



Trans Adriatic  
Pipeline

TAP AG Project Title / Facility Name:

**Trans Adriatic Pipeline Project**

Document Title:

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

saipem spa  
Il Progettista  
Dott. Ing. A. NAPOLITANO Iscritto all'Ordine  
degli Ingegneri di Foggia al n. 2285  
Tel. 0721-1482377 Fax 0721-1482319  
P. e R. IVA 00825790157

*SAIPEM*  
*SAIPEM*  
*SAIPEM*

0	11/01/2017	Emissione per Costruzione	IFC	Romiti	Marchionni	Napolitano
IR	10/01/2017	Emesso per Revisione Interna	IR	Romiti	Marchionni	Napolitano
Rev/	Revision Date (dd-mm-yyyy)	Reason for issue and Abbreviation for it	Prepare d by	Checked by	Approved by	

	Contractor Name:	SAIPEM
	Contractor Project No/:	022720
	Contractor Doc/ No/:	01-LA-E-82002
	Tag No's/:	

TAP AG Contract No/: C14758	Project No/: 022720
-----------------------------	---------------------

PO No/:	RD Code:	Page: 1 of 85
---------	----------	---------------

TAP AG Document No/:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>
----------------------	---------------------------------

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	2 of 85

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>5</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	Documenti di costruzione	9
4.4	Altri Documenti	10
<b>5</b>	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>METODO COSTRUTTIVO</b>	<b>13</b>
<b>7</b>	<b>DEFINIZIONE PLANOALTIMETRICA DEL MICROTUNNEL</b>	<b>14</b>
<b>8</b>	<b>DATI TOPOGRAFICI</b>	<b>19</b>
<b>9</b>	<b>DATI GEOLOGICI</b>	<b>20</b>
9.1	Inquadramento geologico	20
9.2	Indagini geognostiche nel tratto Onshore	22
9.2.1	<i>Indagini geognostiche dirette</i>	22
9.2.2	<i>Indagini geognostiche indirette</i>	23
9.2.3	<i>Campagna indagini 2013</i>	24
9.2.4	<i>Campagna indagini di approfondimento del 2015</i>	27
9.3	Indagini geognostiche nel tratto Offshore	32
9.4	Interpretazione geologica	33
<b>10</b>	<b>INTERAZIONE DELL'OPERA CON LA STRUTTURA IDROGEOLOGICA</b>	<b>35</b>
10.1	Primo set di analisi	36
10.2	Secondo set di analisi	37

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	3 of 85

<b>11</b>	<b>VERIFICHE SISMICHE DELL'OPERA</b>	<b>39</b>
11.1	Caratterizzazione della Sismicità	39
11.2	Verifica del potenziale di liquefazione	39
11.3	Verifica del potenziale di frana indotta da sisma	39
11.4	Verifica della risposta del microtunnel allo scuotimento sismico	40
<b>12</b>	<b>OPERE PRELIMINARI E COMPLEMENTARI</b>	<b>41</b>
12.1	Strada temporanea di accesso al Cantiere di costruzione	41
12.2	Area di cantiere per il microtunnel	43
<b>13</b>	<b>COSTRUZIONE POZZO DI SPINTA</b>	<b>45</b>
13.1	Criteri di progetto del pozzo di spinta	45
13.2	Costruzione del pozzo di spinta	50
13.2.1	Paratia in Pali secanti in c.a.	51
13.2.2	Jet Grouting	54
13.3	Scavo del pozzo	58
13.4	Lavori accessori di completamento del pozzo	58
<b>14</b>	<b>TUBO CAMICIA (O DI PROTEZIONE) IN ACCIAIO DI COLLEGAMENTO ALLA SUPERFICIE</b>	<b>59</b>
14.1	Completamento e ripristino dell'area del pozzo di spinta	62
<b>15</b>	<b>ESECUZIONE DEL MICROTUNNEL</b>	<b>63</b>
15.1	Descrizione del sistema di perforazione	63
15.1.1	<i>Scavo del tunnel a controllo remoto</i>	63
15.1.2	<i>Sistema di lubrificazione</i>	63
15.1.3	<i>Evacuazione dello smarino</i>	63
15.1.4	<i>Guida della fresa</i>	64
15.1.5	<i>Rilievo della posizione</i>	64
15.1.6	<i>Rivestimento tunnel (tubo in c.a.)</i>	64
15.1.7	<i>Unità di spinta</i>	64
15.1.8	<i>Stazioni di spinta intermedia</i>	64
15.2	Conci di calcestruzzo prefabbricati	65
15.3	Scudo fresante (TBM - Tunnel Boring Machine)	67
15.4	Sistema di spinta dei conci in c.a.	72
15.5	Sistema di evacuazione del materiale di scavo	75
15.6	Sistemi di ventilazione per il microtunnel	77

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	4 of 85

15.7	<b>Sistema di illuminazione e telecomunicazione</b>	78
15.8	<b>Sigillatura e levigatura della superficie interna del tunnel</b>	78
15.9	<b>Installazione del cavo messaggero</b>	78
15.10	<b>Allagamento tunnel e recupero TBM</b>	78
15.11	<b>Installazione del raccordo di entrata "Bell Mouth"</b>	80
15.12	<b>Ripristino Finale</b>	82
16	<b>PROGRAMMA LAVORI</b>	<b>83</b>
17	<b>APPENDICE 1 – SOMMARIO DELLE INDAGINI GEOFISICHE, GEOGNOSTICHE ED IDROGEOLOGICHE NELL'AREA INTERESSATA DALLA REALIZZAZIONE DEL MICROTUNNEL</b>	<b>84</b>
18	<b>REGISTRO DELLE REVISIONI</b>	<b>85</b>

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	5 of 85

## 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 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.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	6 of 85

## 2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Il progetto costruttivo del Microtunnel come opera complementare per la installazione della condotta è parte fondamentale e integrante del progetto costruttivo del gasdotto TAP. Lo scopo del documento è descrivere il progetto costruttivo del microtunnel per l'istallazione 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 costruttivo include anche gli elaborati grafici riportati nel capitolo 4.2 che includono la planimetria e il profilo del microtunnel, i dettagli esecutivi e i requisiti per il completamento dei lavori.

Il progetto costruttivo, costituito dal presente documento e dagli elaborati grafici, presenta le seguenti ottimizzazioni rispetto al progetto esecutivo presentato alle Autorità precedentemente:

- Realizzazione di un pozzo di spinta a perfetta tenuta idraulica;
- Ottimizzazione del profilo del microtunnel mediante allungamento in corrispondenza dell'exit point per annullare l'interferenza con l'esistente prateria di Cymodocea nodosa rilevata con la campagna di indagini integrative svolte nel luglio 2016;
- Installazione di palancolato provvisorio, in corrispondenza dell'exit point, per limitare l'area di scavo, concorrendo all'annullamento della interferenza con le praterie di fanerogame marine;
- Diminuzione dei volumi di scavo all'exit point a mare;
- Diminuzione dei volumi del terrapieno nella zona di transizione a mare in corrispondenza del exit point;

Congiuntamente, per la redazione del progetto costruttivo, si è proceduto a:

- Integrare le indagini di campo dirette necessarie a verificare l'assenza di fenomeni carsici lungo il tracciato della condotta a terra e del microtunnel;
- Integrare il numero dei piezometri installati per monitorare l'andamento della falda durante le operazioni costruttive del pozzo di spinta;
- Aggiornare le verifiche sismiche;

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	7 of 85

### 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

CFA	Continuous Flight Auger (Elica Continua)
CCFA	tecnologia di perforazione con Elica Continua e Rivestimento
ESIA	Studio di impatto ambientale e sociale
ESIP	Environmental and Social Implementation Plan
FOC	Fiber Optic Cable (Cavo in fibra ottica)
HSE	Health Safety Environmental (Salute Sicurezza Ambiente)
LIDAR	Rilevamento topografico aereo basato su tecnologia laser
KP	Kilometer Post (Progressiva Chilometrica)
POS	Piano Operativo di Sicurezza
DPI	Dispositivo di Protezione Individuale
PRT	Terminale di Ricezione del Gasdotto
PSC	Piano di Sicurezza e Coordinamento
QHSE	Qualità, Salute, Sicurezza e Ambiente
RFO	Ready for Operation (Pronto per il funzionamento)
SCC	Calcestruzzo autocompattante
TBM	Tunnel Boring Machine
HSE	Salute, sicurezza e ambiente
SSI	Stazione di spinta intermedia

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	8 of 85

## 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 | Design Basis                                                                               |
| [8]  | OPL00-SPF-200-G-DXA-0013 | Approdo italiano - Planimetria generale                                                    |
| [9]  | OPL00-SPF-200-Q-DQP-0001 | Profilo e Planimetria di installazione del Microtunnel                                     |
| [10] | OPL00-SPF-200-G-DGD-0003 | Interventi di scavo e interrimento all'uscita a mare del Microtunnel                       |
| [11] | OPL00-SPF-200-G-DXA-0015 | Approdo italiano - Disposizione gasdotto nel tubo di protezione                            |
| [12] | OPL00-DAP-160-Y-TRE-0010 | Rapporto interpretativo - Indagine geotecnica, Approdo italiano (D'Appolonia, agosto 2012) |
| [13] | IPL00-URS-000-Q-TRG-0001 | Studio geotecnico e geofisico lungo il tracciato del gasdotto - Italia. URS, Nov. 2015     |

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	9 of 85

[14]	IPL00-URS-000-Q-TRS-0001	Studio idrogeologico nell'area della pipeline e del microtunnel (Italia) (Novembre 2015)
[15]	IPL00-URS-000-Q-TRG-0002	Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel - Italia. URS, Nov. 2015
[16]	OPL00-SPF-200-G-TRX-0019	Approdo Italiano - Potenziale interferenza del microtunnel sull'assetto idrogeologico locale
[17]	OPL00-SPF-200-G-TRX-0017	Approdo Italiano – Analisi Sismica del Microtunnel
[18]	OPL00-SPF-200-G-DXA-0020	Ubicazione delle indagini geofisiche, geognostiche ed idrogeologiche nell'area interessata dalla realizzazione del microtunnel.
[19]	IPL00-URS-000-Q-TRS-0001	Hydrogeological report for Pipeline and Microtunnel (Italy)
[20]	OPL00-FOC-150-Y-TRG-002	ST13573 – TAP – Italian Nearshore Geophysical Survey Seismic Refraction – Italian Landfall – San Foca – Italy
[21]	OPL00-DAP-150-Y-TRE-0002	Deep Geotechnical Survey (D'Appolonia, agosto 2013).
[22]	OPL00-DAP-160-Y-TRE-0016	Nearshore Geotechnical Soil Investigation Italian Landfall (D'Appolonia, giugno 2014)
[23]	IPL00-TPI-000-Q-TRG-0001	Report Indagine Geognostica Sondaggio STBH3
[24]	IPL00-URS-000-Q-TRG-5000	Studio geologico e geotecnico – Sondaggio STBH6
[25]	IPL00-URS-100-F-TRG-5001	Nota tecnica descrittiva – Realizzazione piezometri Piezo 7, Piezo 9 e Piezo 10
[26]	IPL00-URS-100-F-TRG-5002	Nota tecnica: elaborazione dei risultati del “single point dilution test” eseguito nel punto Piezo 7
[27]	IPL00-URS-000-Q-TRJ-5001	Nota tecnica descrittiva del rilievo freaticometrico condotto nel mese di Gennaio 2017

### 4.3 Documenti di costruzione

[28]	OPL00-C10713-000-A-DAA-0001-01	Area Di Cantiere Del Microtunnel
[29]	OPL00-C10713-160-C-DQT-0001-01	Pozzo di spinta: Sequenza costruttiva completa
[30]	OPL00-C10713-160-C-DQT-0001-02	Pozzo di spinta: fasi costruttive Jet Grouting
[31]	OPL00-C10713-160-C-DQT-0002-01	Pozzo di spinta: carpenteria sezione A-A
[32]	OPL00-C10713-160-C-DQT-0002-02	Pozzo di spinta: carpenteria SEZIONE B-B
[33]	OPL00-C10713-160-C-DQT-0002-03	Pozzo di spinta: carpenteria sezione C-C

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	10 of 85

- [34] OPL00-C10713-160-C-DQT-0002-04 Pozzo di spinta: carpenteria pianta fuori terra
- [35] OPL00-C10713-990-A-TCX-0001 Progetto strutturale esecutivo del pozzo di spinta
- [36] OPL00-C10713-990-A-TPK-0005 Procedura di Costruzione del Pozzo di Spinta
- [37] OPL00-C10713-160-CV-DTG-0001-01 Tubi spinta (TSCA) geometria generale
- [38] OPL00-C10713-160-CV-DTG-0008-01 TSCA - Dettaglio Giunzione Tra Due Tubi
- [39] OPL00-C10713-160-CV-DTG-0008-03 RCJP: Sequenza
- [40] OPL00-C10713-160-G-TRE-0001 Progetto Esecutivo dell'uscita offshore del MT
- [41] OPL00-C10713-160-C-TCX-0001 Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel

#### 4.4 Altri Documenti

- [42] 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.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	11 of 85

## 5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il progetto del microtunnel per l'approdo della condotta in Italia è stato affrontato scegliendo la metodologia più appropriata in base alle caratteristiche geomorfologiche della zona e ai vincoli ambientali presenti nell'area interessata.

Il progetto, utilizzando la tecnologia di attraversamento in microtunnel, non prevede la realizzazione di scavi a cielo aperto, evitando così le interferenze con l'ambiente di superficie a terra e del fondo marino nella fascia costiera interessata dai lavori. L'utilizzo di un microtunnel in c.a. in cui alloggiare il metanodotto ed 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.

Sono state svolte le indagini necessarie per lo sviluppo del progetto costruttivo in particolare indagini geotecniche e geofisiche che non evidenziano criticità e consentono una adeguata taratura del sistema costruttivo scelto.

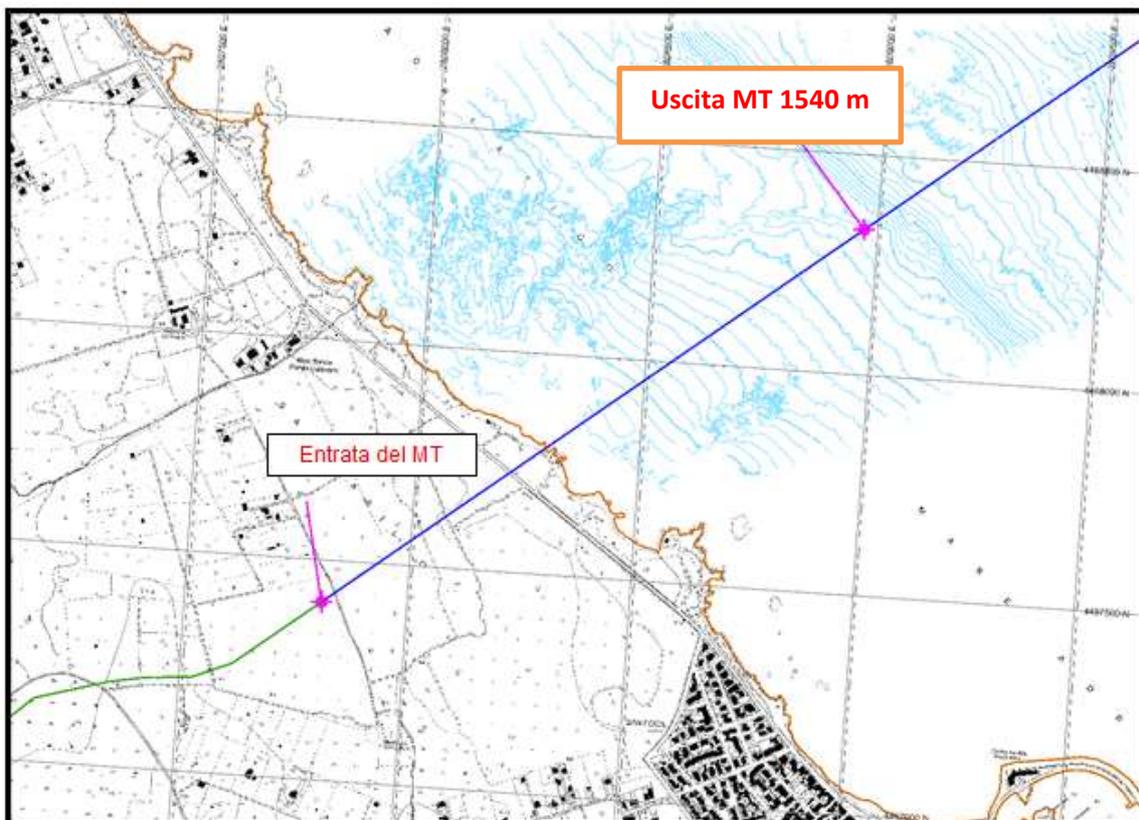


Figura 5-1: Planimetria ubicazione microtunnel

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	12 of 85

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

Ingresso a terra (coordinata Est)	277907,49 m
Ingresso a terra (coordinata Nord)	4465176,61 m
Progressiva ingresso (KP <sub>of</sub> )	104,916 km
Uscita a mare (coordinata Est)	279181.84 m
Uscita a mare (coordinata Nord)	4466041.26 m
Progressiva uscita (KP <sub>of</sub> )	103,376 km
Lunghezza	1540 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	28 m
Pendenza in ingresso	3°53'
Pendenza in uscita	-0° 33'

*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 13)	1300 m <sup>3</sup>
Installazione del tubo di protezione (vedi Paragrafo 13.2.1)	100 m <sup>3</sup>
Realizzazione del microtunnel (vedi Capitolo 15)	10885 m <sup>3</sup>

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

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	13 of 85

## 6 METODO COSTRUTTIVO

Il metodo costruttivo del microtunnel per l'approdo italiano del Gasdotto TAP prevede la tecnica del "pipe jacking", che consiste nel far avanzare a spinta conci cilindrici di calcestruzzo armato, appositamente progettati per questa funzione, all'interno di un foro contemporaneamente scavato da una macchina a scudo fresante.

All'inizio dei lavori di scavo, lo scudo fresante (TBM) sarà posto in un "pozzo di spinta" ("Shaft" o "Entry Pit"), alla quota di progetto e di dimensioni adeguate alle operazioni e di tipologia costruttiva adeguata per consentire la tenuta idraulica nei confronti della filtrazione di acque.

Il terreno, rimosso dal fronte di scavo, è trasportato a giorno con sistema ad umido, in altre parole attraverso un apposito circuito idraulico di tipo chiuso, con una condotta di mandata dal pozzo allo scudo fresante ed una condotta di ritorno verso l'impianto di separazione in superficie, dove il fluido attraverserà l'unità di separazione solido/liquido che include vibrovagli, cicloni e centrifughe (vedi Paragrafo 15.5).

Il rivestimento del microtunnel è costituito da conci tubolari in calcestruzzo 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 utilizzando stazioni di spinta intermedie (vedi Paragrafo 15.4).

Il microtunnel in oggetto è progettato per essere realizzato sotto falda; il tunnel sarà impermeabile 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.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	14 of 85

## 7 DEFINIZIONE PLANOALTIMETRICA DEL MICROTUNNEL

La definizione dell'asse, la dimensione e la geometria del microtunnel sono definite nel disegno in Rif. [9] Le principali caratteristiche sono qui di seguito descritte.

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

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 Rif. [8] (vedi Figura 7-1).
- 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, eliminando l'interferenza diretta con le praterie di Fanerogame marine (Cymodocea).
- La necessità di non avere impatto dei lavori di costruzione sulla spiaggia e nelle aree limitrofe (vedi Figura 7-1).

La lunghezza del tunnel è di circa 1540 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 7-2 e Figura 7-3).

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

- Per ottenere una copertura di sicurezza, la profondità del microtunnel è stata fissata a circa 4,0 m nel punto finale offshore, con un'inclinazione mediamente simile al profilo del fondale marino (Figura 7-4). Tale copertura consente una adeguata stabilità del tunnel realizzato con adeguato contrasto al galleggiamento;
- La geometria verticale del microtunnel che raccorda il punto di partenza a terra a quota di 7.86 m con l'uscita a mare a quota - 28 m (Rif. [9], 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 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, limitando le forze di attrito che altrimenti, considerando raggi di curvatura sensibilmente minori, potrebbero costituire un elemento di criticità.

La trincea di scavo all'uscita (Figura 7-4) del Microtunnel viene scavata prima dell'installazione della condotta e del FOC. Lo scopo è di permettere il recupero della TBM a seguito del completamento dello scavo del tunnel, e di generare un piano di accesso regolare e allineato sulla direzione del tunnel. Completato lo scavo della trincea, sul fondo di quest'ultima può essere posato uno strato di pietrame dello spessore di circa 30cm con lo scopo di garantire una superficie uniforme e poi continuare con la costruzione del terrapieno.

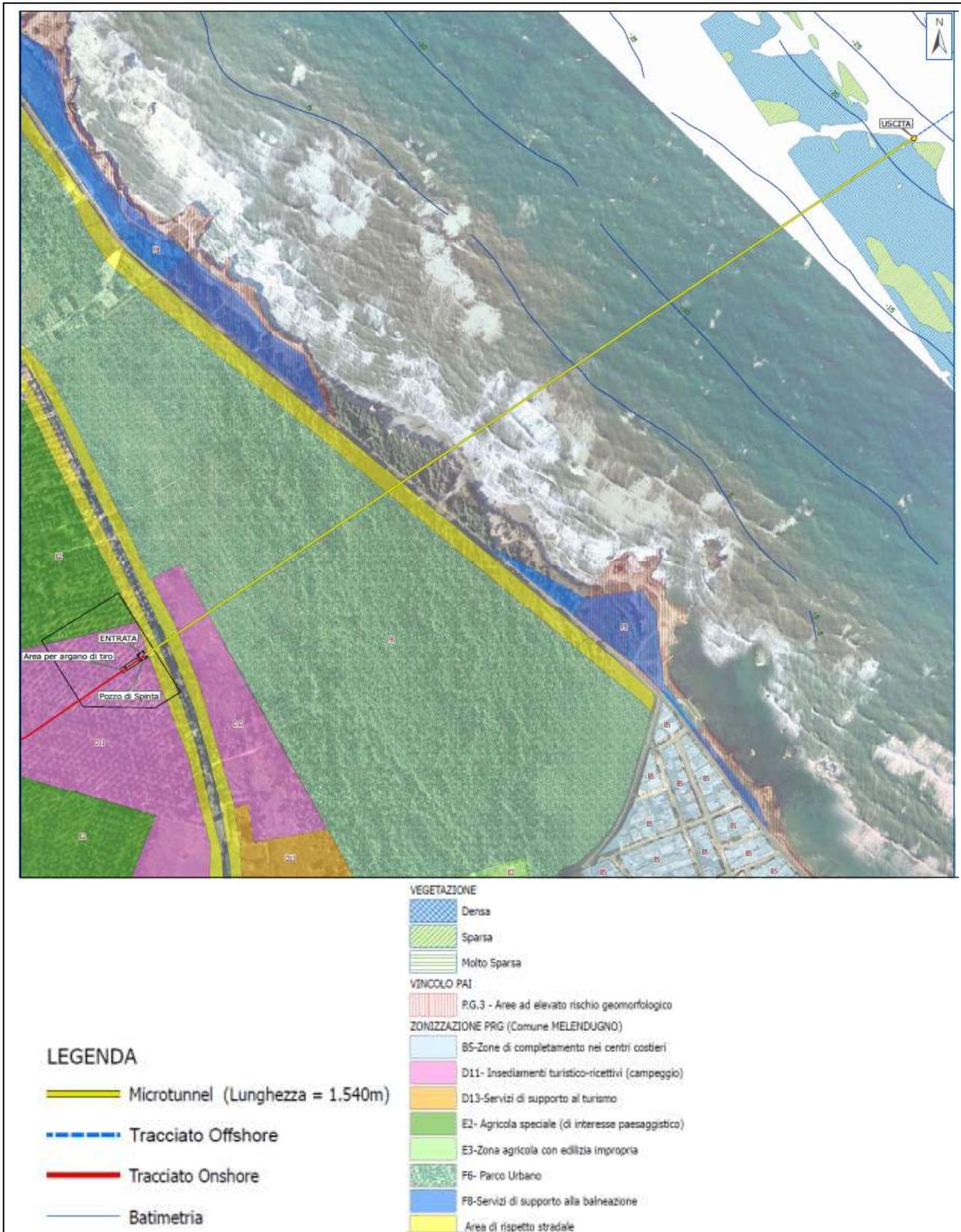
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	15 of 85

Al fine di limitare eventuali impatti diretti sulla zona interessata dalla presenza di Cymodocea, verranno installate delle palancole (Rif.[40]) . Il palancoleto sarà costituito da elementi del tipo AZ48-700 (o equivalente) con una lunghezza di circa 28m. Le palancole verranno infisse nel fondo marino per circa 21 metri.

Al fine di garantire la stabilità del suolo direttamente sopra l'uscita del Microtunnel verrà installata una barriera di chiusura sull'estremità del microtunnel tra il palancoleto a lato Nord e quello a lato Sud.

Il fondo naturale viene quindi ripristinato al completamente del collaudo del gasdotto, utilizzando il materiale di scavo, temporaneamente immagazzinato su idonee bettoline.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	16 of 85



*Figura 7-1- Asse 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 microtunnel di approdo tramite operazioni di tiro da una nave posa-tubi.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	17 of 85

La planimetria e profilo di progetto sono riportati nel disegno Rif.[9].

Il profilo in scala rettangolare (scala ordinate pari a 10 volte la scala delle ascisse) è riportato anche in Figura 7-2.

Le caratteristiche principali sono di seguito qui riassunte.

- La lunghezza del microtunnel è di circa 1.540 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 circa 28 m
- La pendenza al punto di ingresso è di circa  $3^{\circ}53'$
- Il raggio di curvatura è di 6.000 m
- La pendenza al punto di uscita del MT è quasi orizzontale ( $0^{\circ} 33'$ )

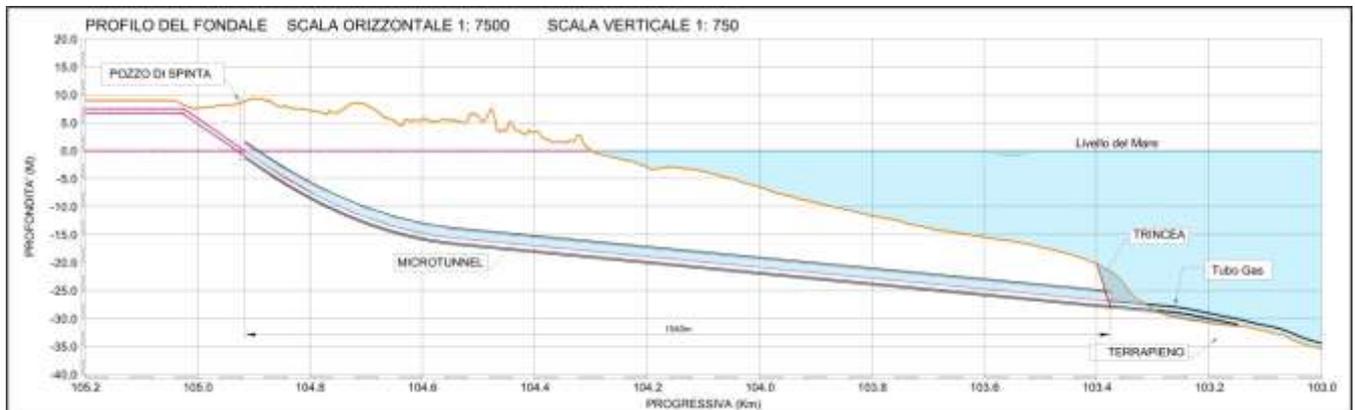


Figura 7-2: Profilo longitudinale del microtunnel di approdo

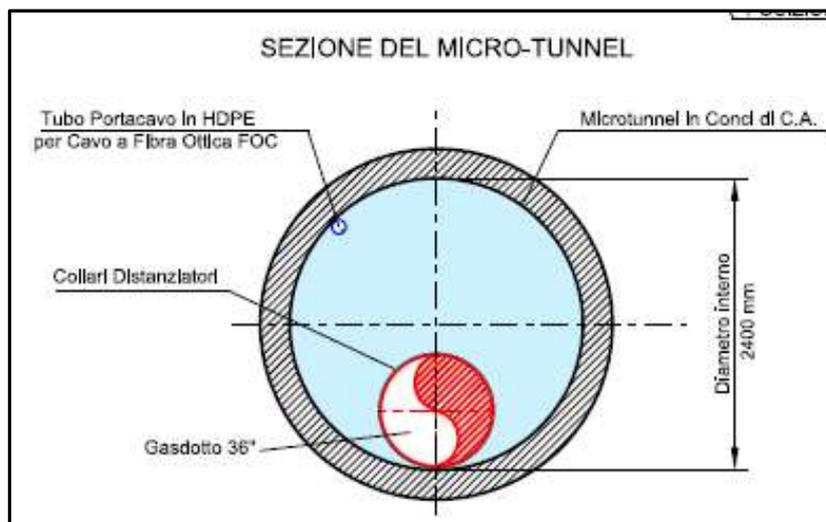


Figura 7-3: Sezione trasversale del microtunnel

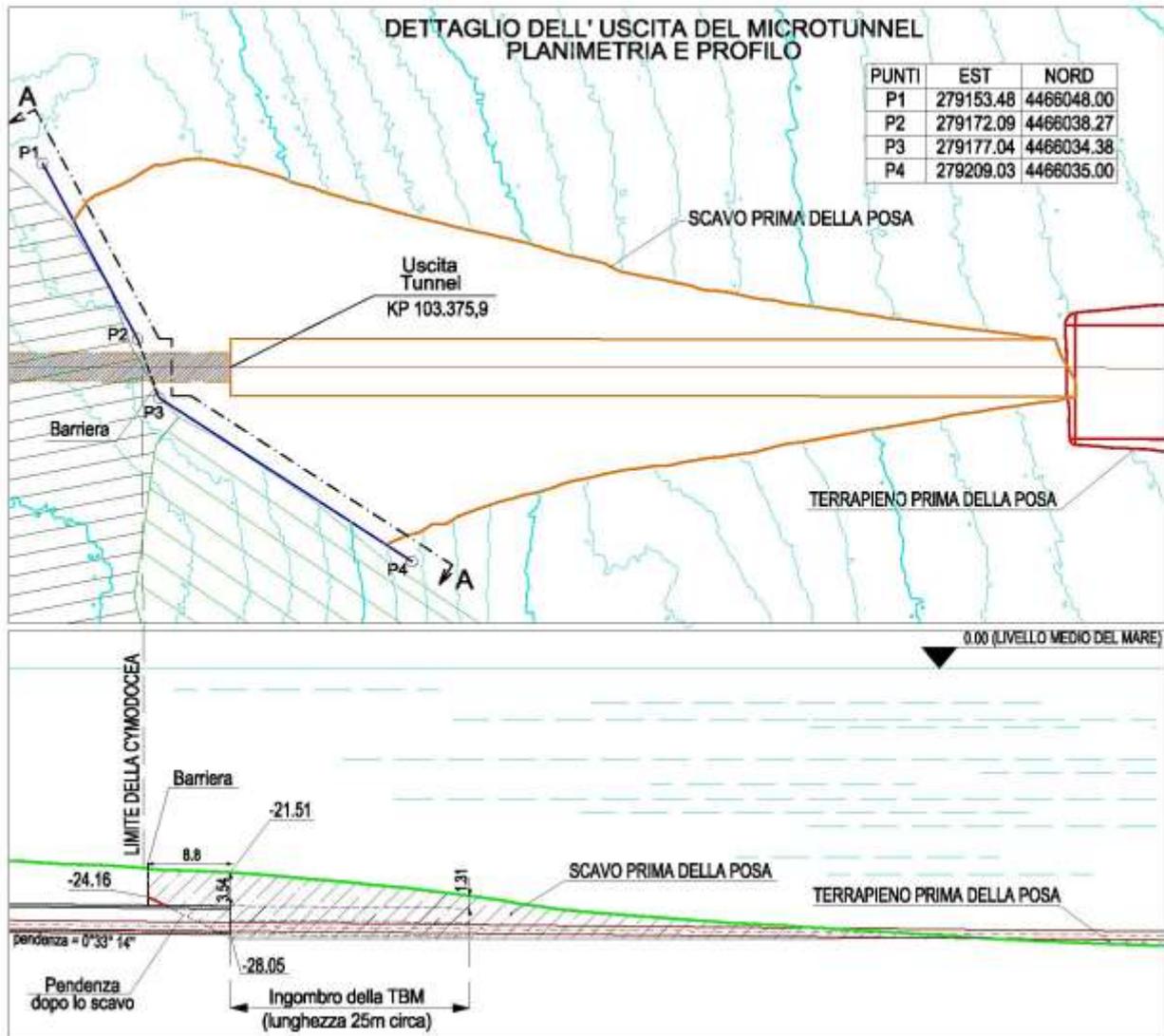


Figura 7-4: dettaglio del microtunnel in corrispondenza dell'uscita a mare

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	19 of 85

## 8 DATI TOPOGRAFICI

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

Datum: WGS84  
 Sferoide: WGS84  
 Proiezione: UTM (Zone 34)  
 Meridiano Centrale: 21°E  
 Riferimento di quota: 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= 279181.84  
 N= 4466041.26

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

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	20 of 85

## 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 geologia dell'area è ufficialmente descritta nel foglio n.214 Gallipoli della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 (Largaiolli et al. 1969).

Le caratteristiche litologiche delle diverse unità affioranti nell'area esaminata sono di seguito descritte facendo riferimento alle definizioni della citata Carta Geologica d'Italia, seppure queste risultino in buona parte superate da più recenti studi geologico-stratigrafici sul Salento leccese in cui, soprattutto per ciò che riguarda i depositi neozoico-quadernari, si è proceduto sia ad accorpamenti delle unità formazionali della carta geologica, sia alla distinzioni di ulteriori unità formazionali su basi litologiche e considerazioni stratigrafiche e paleoambientali (Ciaranfi et al., Ricchetti et al. Bossio et al. ecc,)

In riferimento alla Carta Geologica d'Italia, viene di seguito fornita una breve descrizione delle unità formazionali presenti nell'area esaminata e nel settore di territorio ad essa limitrofo:

#### ***Calcareniti e calcari del Miocene***

A tale gruppo appartengono le seguenti formazioni:

**Pietra Leccese** Il tipo litologico prevalente della formazione è costituito da una calcarenite marnosa organogena a grana fine, omogenea, generalmente porosa, e scarsamente tenace, di colore giallo paglierino, talora biancastro, spesso glauconitica.

#### ***Calcareniti di Andrano***

La formazione è costituita da calcareniti grigio chiare, organogene, talora marnose giallastre o leggermente glauconitiche; calcari detritici porosi calcari compatti grigio chiari e biancastri, oppure bioclastici

#### ***Calcareniti e sabbie del Pliocene e Pleistocene***

A tale gruppo appartengono le seguenti formazioni:

#### ***Sabbie di Uggiano***

La formazione presenta un'ampia variabilità litologica nel contesto delle rocce carbonatico-detritiche, passando da facies sabbioso-calcaree poco cementate e calcareniti detritico-organogene talora marnose a vario grado di cementazione, generalmente più o meno friabili, a calcari detritici organogeni compatti, alla base della formazione si rinvengono spesso livelli conglomeratici.

#### ***Calcareniti del Salento***

Anche questa formazione è caratterizzata da notevole variabilità litologica: si tratta di calcareniti marnose poco coerenti a grana medio fine di colore in genere giallo o grigio passanti a calcareniti grossolane fossilifere e sabbioni calcarei più o meno cementati ed argillosi ricoperti da crostoni molto duri di colore giallo o rossastro.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	21 of 85

### ***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 del microtunnel 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 e lenti calcarenitici, generalmente di spessore metrico, spesso molto fratturati a tratti subaffioranti.

### ***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.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	22 of 85

## 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 6 sondaggi a carotaggio continuo (Figura 10-1), spinti fino alle profondità indicate in Tabella 9.1.

In ordine di tempo, gli ultimi sondaggi sono stati realizzati nel periodo compreso tra Ottobre e Dicembre 2016: si tratta dei sondaggi ST\_BH3 e ST\_BH6, eseguiti, al fine di verificare, lungo la verticale investigata, la natura dei terreni attraversati e l'eventuale presenza di cavità carsiche e/o sinkholes (Rif. [23],[24]).

Durante l'esecuzione del sondaggio geognostico a carotaggio continuo, STBH3, di sviluppo verticale pari a circa 25 ml sono state previste prove penetrometriche dinamiche del tipo SPT e prelievo di campioni di terreno da analizzare in laboratorio geotecnico. Lungo tutta la perforazione non sono state riscontrate fratture o cavità assimilabili a carsismo o a fenomeni di sinkholes.

Il sondaggio STBH6 è stato posizionato a pochi metri dalla linea di battigia ad una quota che posta a circa 0,30 m sul livello del mare. Lo sviluppo verticale è di circa 30ml e sono state previste prove penetrometriche dinamiche del tipo STP. Data la tipologia dei terreni attraversati, caratterizzata da materiale di natura incoerente, non è stato possibile prelevare campioni indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisiche di taglio e di compressibilità. La sequenza litostratigrafica riscontrata ha permesso di individuare un unico litotipo, riferibile ad una sequenza di materiali incoerenti, in cui la frazione granulometrica predominante è quella delle sabbie, con frazioni secondarie di limo e ghiaia, e solo subordinatamente minime frazioni di argilla

Sondaggio	Profondità
ST-BH1	10
ST-BH2	20
ST-BH3	25
ST-BH4	20
ST-BH5	30
ST-BH6	30

Tabella 9 1: Indagini

Durante le perforazioni sono state eseguite prove SPT (Standard Penetration Test) e sono stati raccolti 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 le seguenti unità stratigrafiche:

	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	23 of 85

- a. *Terreno pedogenizzato di colore marrone-rossastro costituito da sabbie limose e limi sabbiosi, talvolta argillosi, piuttosto sottili (da 15 cm a 1 metro);*
- 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. *Calcareniti giallastre e/o grigiastre sovente intercalate a livelli sabbiosi o limosi.*

Le unità stratigrafiche descritte al punto b) e al punto c) sono riferibili alla formazione delle Calcareniti del Salento (Carta Geologica d'Italia) e si rinvencono fino alle massime profondità investigate (30 metri).

I relativi parametri geotecnici sono sintetizzati in Tabella 9.2

Unità	Descrizione	Profondità (m)		N <sub>SPT</sub>	Dr	γ media	φ' <sub>d</sub>
		Da	a				
				[n]	[%]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]
a	Terreno pedogenizzato	0	0.15 - 1.0				
b	Sabbia e sabbia limosa addensata	0.15 - 1.0	30	10-25	30-50	18.5 - 19.5	32
b	Sabbia e sabbia limosa debolmente cementata	0.15 - 1.0	30	25-40	50-70	18.5 - 19.5	37
C	Calcarenite fratturata	0.15 - 1.0	30	>50	-	19.0 - 20.0	

*Tabella 9.2: Onshore: riassunto delle unità e dei parametri geotecnici*

Le stratigrafie dei sondaggi eseguiti e la sintesi delle prove di laboratorio sono incluse nei documenti (Rif. [15], [23],[24])

### 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

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	24 of 85

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.

### 9.2.3 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.

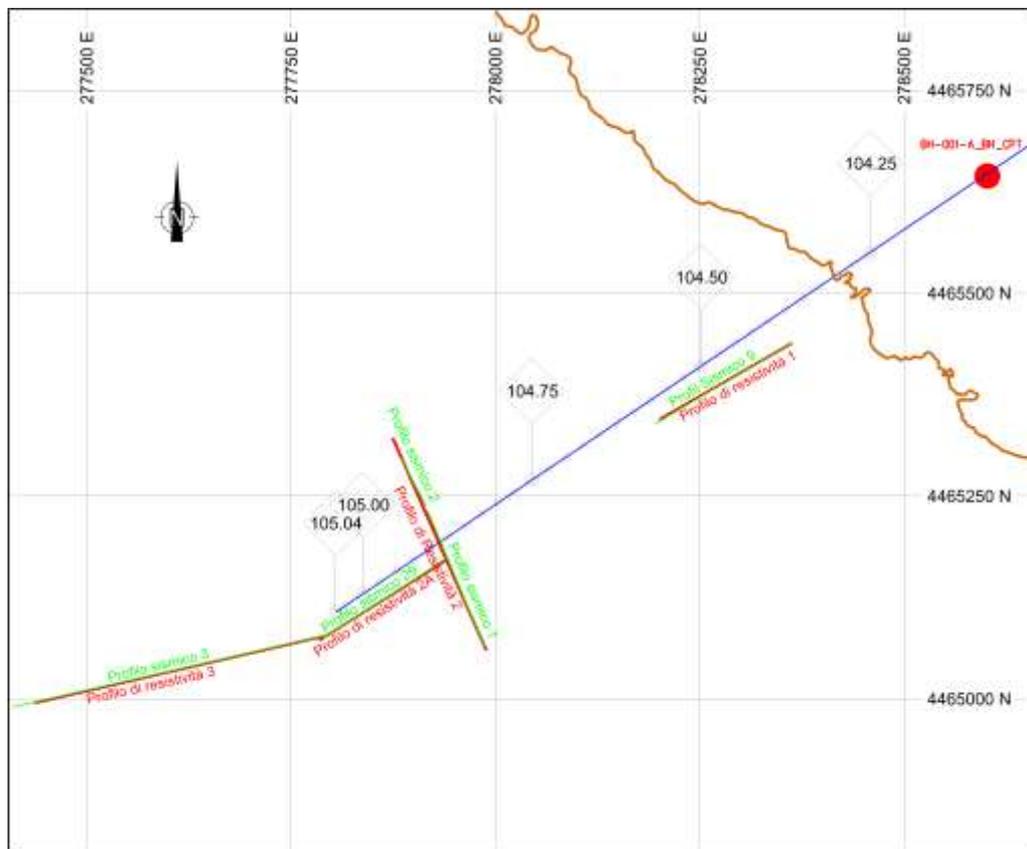


Figura 9-1 – Allineamenti delle indagini geofisiche eseguite nel 2013 nell'area onshore del microtunnel

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.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	25 of 85

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.

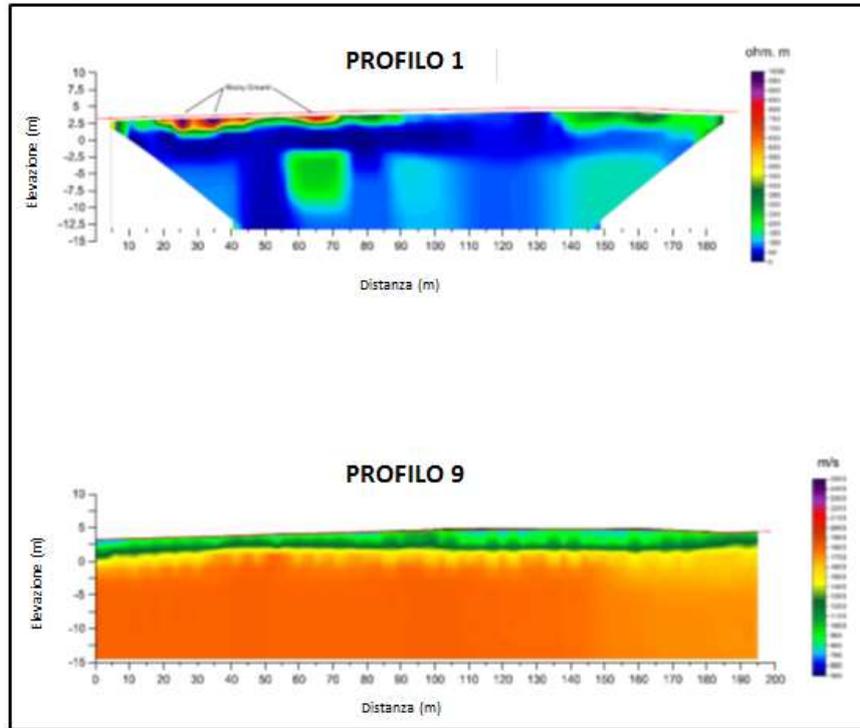


Figura 9-2- Resistività (alto) e rifrazione (basso)

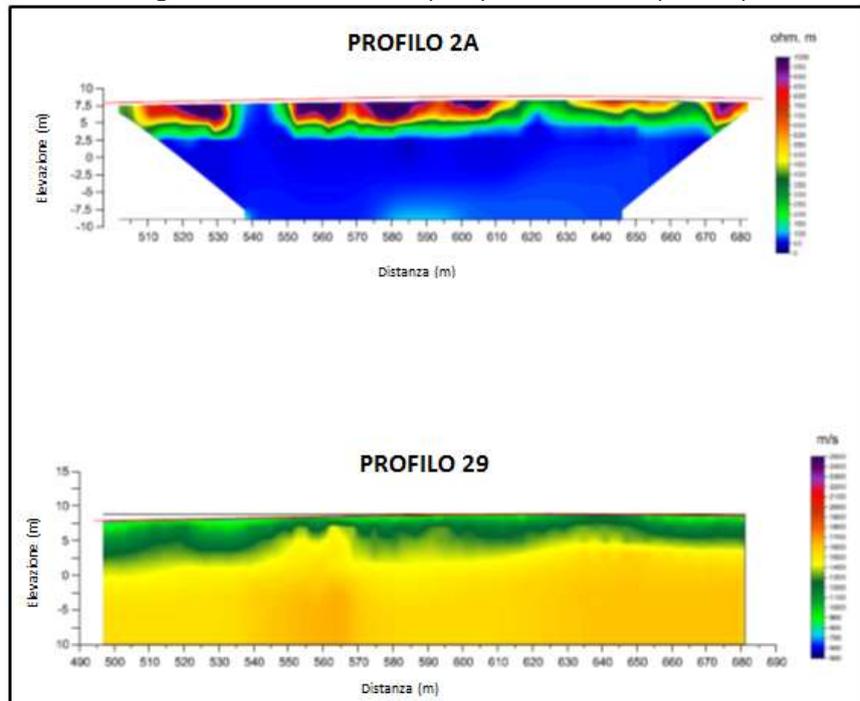


Figura 9-3- Resistività (alto) e rifrazione (basso)

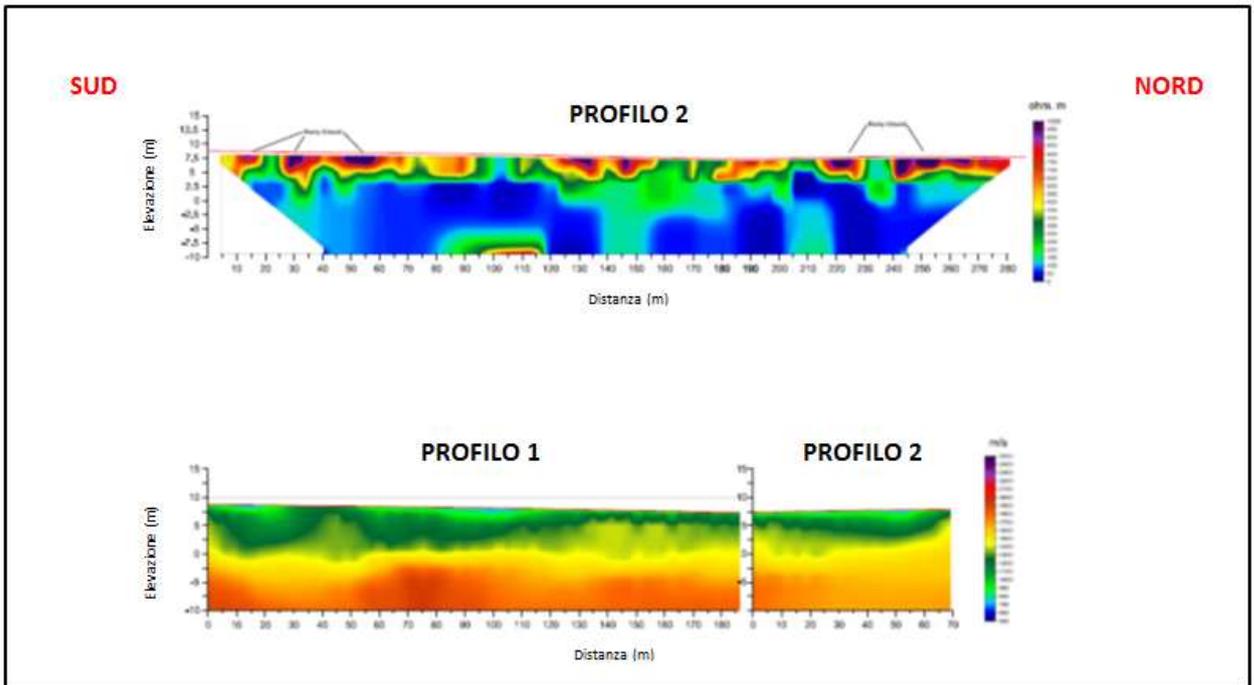


Figura 9-4- Resistività (alto) e rifrazione (basso)

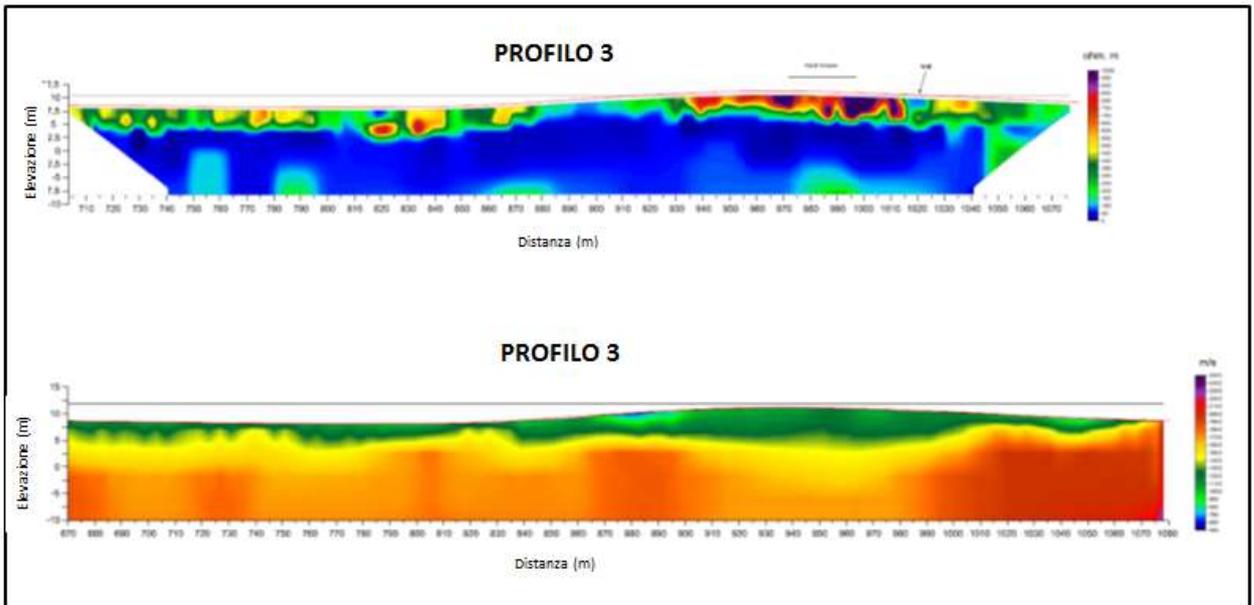


Figura 9-5- Resistività (alto) e rifrazione (basso)

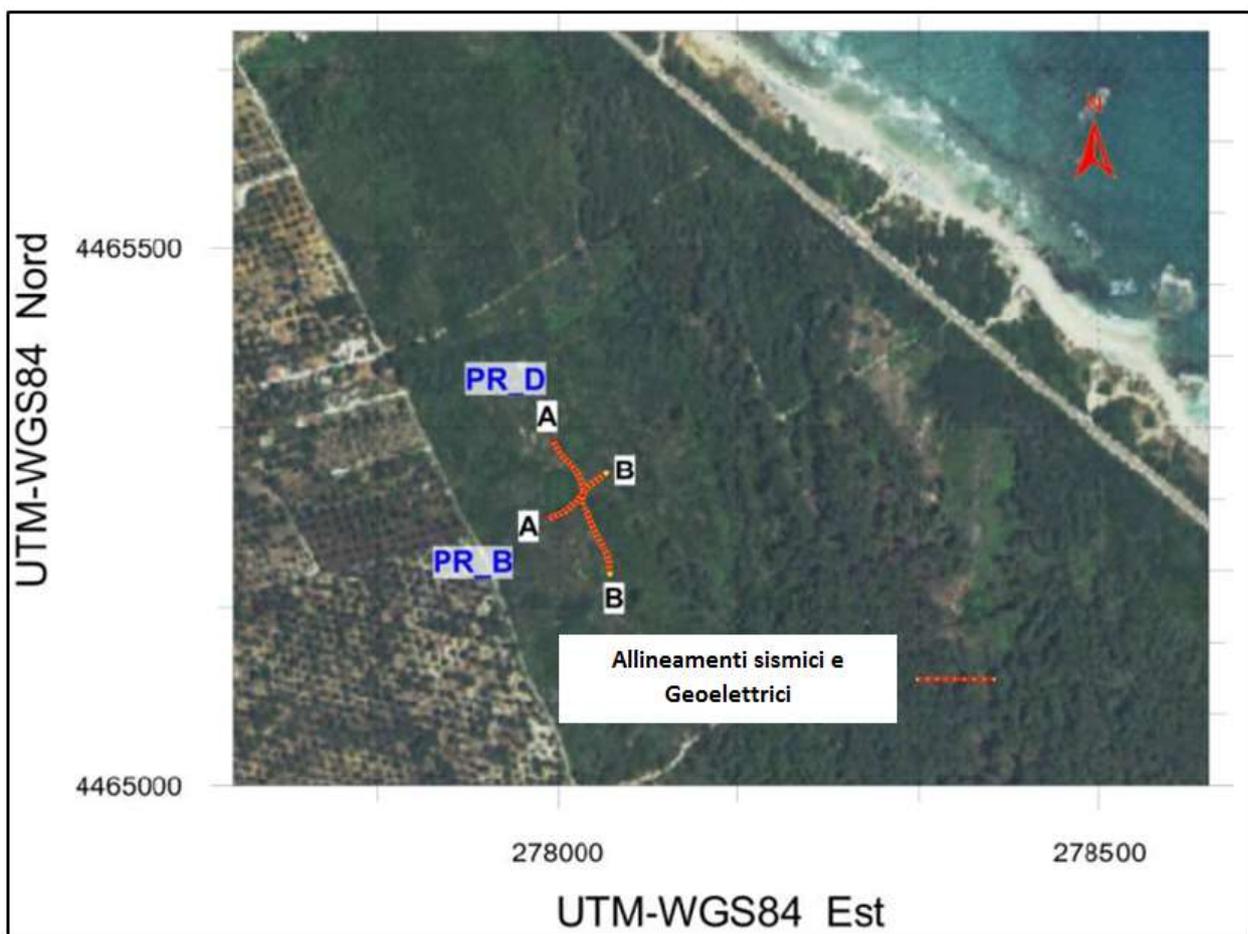
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	27 of 85

#### 9.2.4 Campagna indagini di approfondimento del 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 di approfondimento 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-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	28 of 85

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



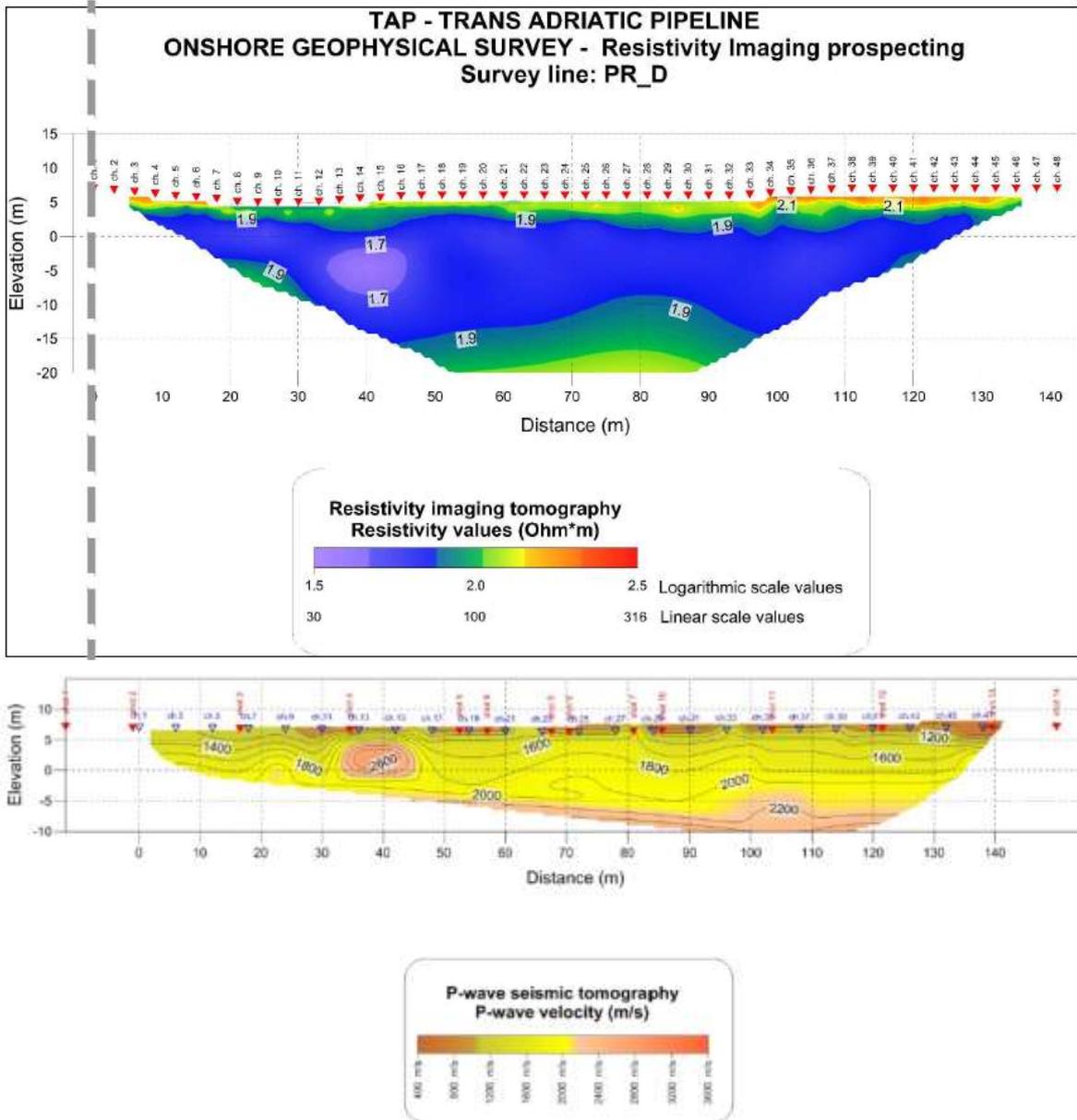
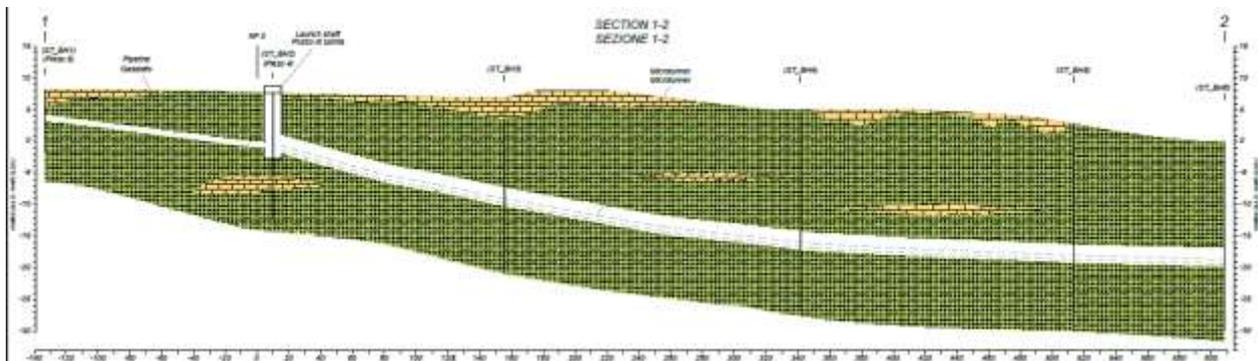


Figura 9-8- Profilo PR\_D: risultati della tomografia di resistività e sismica nella zona di investigazione di approfondimento

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	31 of 85

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



*Figura 9-9: Sezione geologica della zona a terra interessata dalla realizzazione del microtunnel*

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).

	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	32 of 85

### 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 (Ref. [22]) e indagini indirette (sismica a rifrazione; Rif. [20]).

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

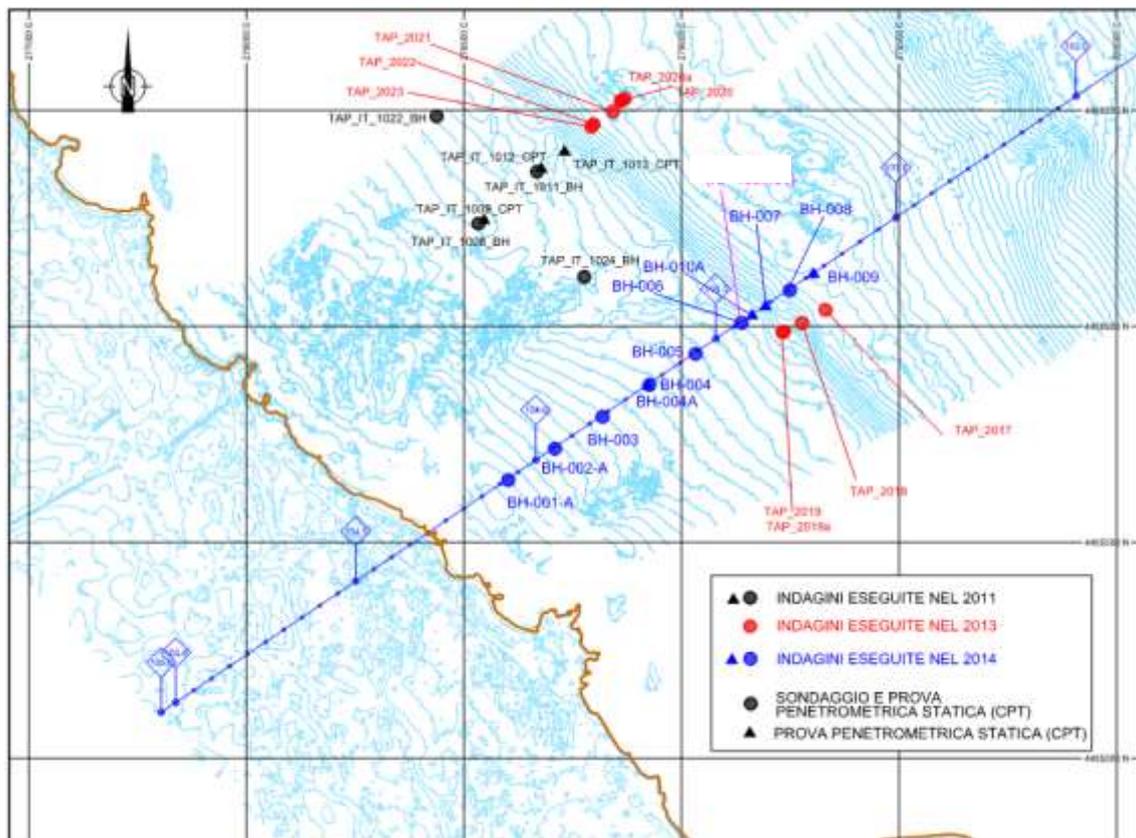


Figura 9-10: Ubicazione delle indagini offshore nel tratto in prossimità della costa italiana

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 che conferma la fattibilità del microtunnel.

I parametri geotecnici sono sintetizzati in Tabella 9-1:

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 siltosa 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 9-1- Nearshore italiano: riassunto delle unità e dei parametri geotecnici

#### 9.4 Interpretazione geologica

La figura (Fig. 9-11) seguente riporta la sezione geologica interessata dalla esecuzione del microtunnel interpretata dalle indagini svolte.

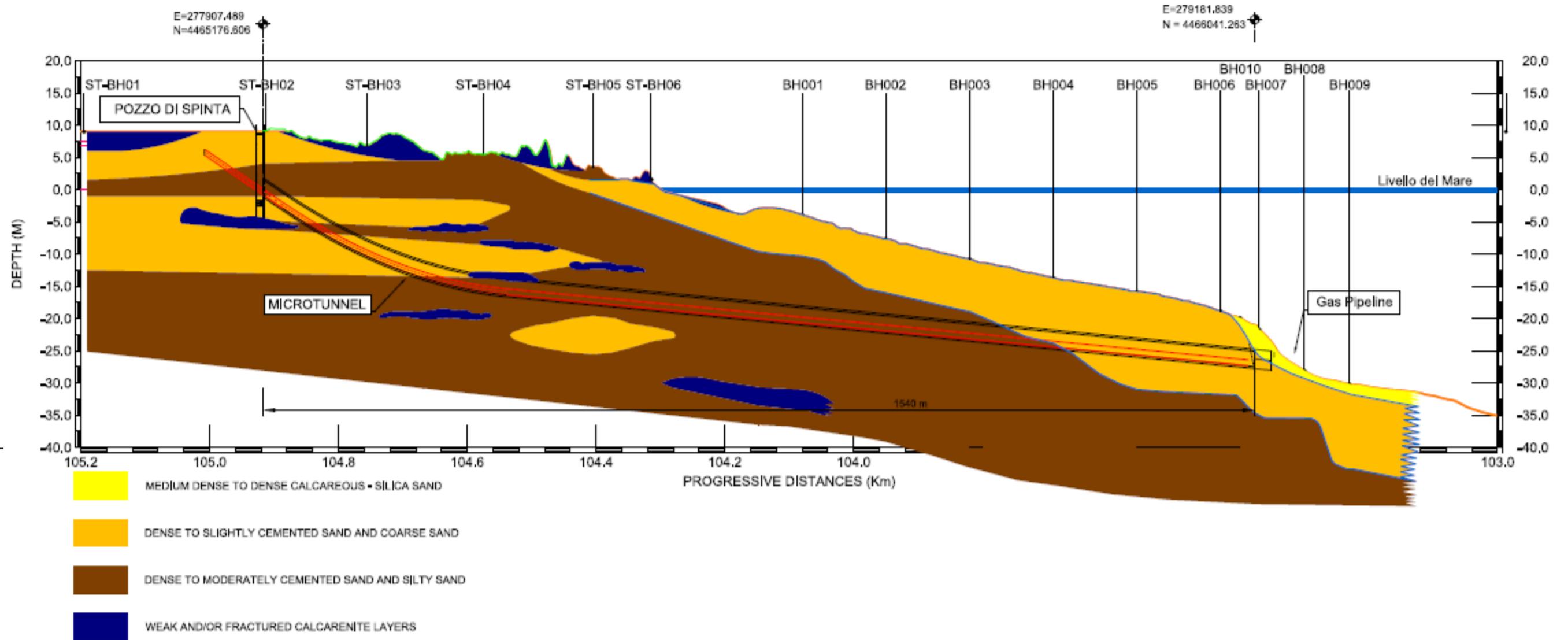


Figura 9-12- Sezione geologica interpretata

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	35 of 85

## 10 INTERAZIONE DELL'OPERA CON LA STRUTTURA IDROGEOLOGICA

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 lungo il percorso della condotta onshore e nel settore dell'approdo (Rif. [14], [25],[26],[27]).

Un numero totale di cinque piezometri (Piezo 2, Piezo 3, Piezo 4, Piezo 5, Piezo 6), aventi una profondità di 10 m, sono stati trivellati e dotati di tubi fessurati sul fondo nel corso della survey del 2015.

In corrispondenza dei piezometri Piezo 4, Piezo 6 e in BH4, sono state eseguite Nr. 6 prove di Lefranc e 1 prova di Lugeon.

Nel mese di Marzo 2016 è stato inoltre eseguito un "single point dilution test" in corrispondenza del piezometro Piezo 4 (ST\_BH2) al fine di determinare la velocità effettiva di filtrazione mediante la costruzione di profili verticali di velocità, definiti tramite misura della diluizione nel tempo di un tracciante a differenti profondità (Rif. [15]).

Nel mese di Dicembre 2016 sono stati realizzati ulteriori 3 piezometri di monitoraggio delle acque sotterranee, precisamente uno nell'area del Microtunnel, denominato Piezo 7, e due nell'area della condotta, immediatamente a sud della Palude di Cassano, denominati Piezo 9 e Piezo 10.

In corrispondenza del Piezo 7 è stato inoltre eseguito un "single point dilution test" (Rif. [26]) al fine di determinare la velocità effettiva di filtrazione a profondità maggiori rispetto a quanto effettuato nel Piezo 4 (STBH2).

I valori ottenuti dall'interpretazione dei dati raccolti durante l'esecuzione del test sono simili a quelli acquisiti nel precedente test nel Piezo 4 (STBH2),

In Figura 10-1 sono indicate le posizioni dei sondaggi e piezometri utilizzati per gli studi. L'andamento della superficie freatica desunta dalle indagini svolte è mostrata nella Figura 10-2 che ricostruisce il flusso delle acque di falda lungo un ristretto tratto, comprendente il percorso della condotta (per una lunghezza di circa un chilometro) e il microtunnel.

Il pozzo di spinta, come il microtunnel, sono concepite e realizzate come strutture impermeabili; In particolare, il pozzo di spinta, è una struttura temporanea, funzionale all'esecuzione delle attività di micro-tunnelling, al tiro della condotta ed alle attività di collaudo idraulico e sarà parzialmente demolito e completamente riempito al termine dei lavori.

Il progetto del pozzo di spinta del microtunnel prevede una struttura impermeabile realizzata con diaframmi costruiti mediante pali secanti e tappo di fondo ottenuto mediante jet-grouting (Rif. [29] e [30]).

Tale metodologia è efficace nelle condizioni di terreno previste, ed è in grado di garantire la tenuta all'acqua, realizzando una struttura impermeabile sia durante la sua costruzione (ossia durante lo scavo del pozzo) sia durante lo svolgimento delle successive operazioni ed evitando di drenare l'acqua di falda. Non è previsto, pertanto, l'emungimento della falda. Il tunnel sarà completamente impermeabilizzato durante tutte le sue fasi costruttive adottando una postazione di trivellazione a tenuta idraulica, una fresa "a bilanciamento"

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	36 of 85

delle pressioni idrostatiche esterne e giunti di tenuta idraulica tra gli elementi tubolari posati.

Nell'area del sito, che si estende dall'approdo alla palude di Cassano e all'impianto di fitodepurazione, sono stati eseguiti rilevamenti geologici, geotecnici, geofisici e idrogeologici per raccogliere i dati necessari alla progettazione del gasdotto TAP. Le informazioni bibliografiche e i dati dell'indagine hanno consentito di delineare il quadro dell'assetto idrogeologico locale e regionale.

Il quadro paesaggistico del sito consta di una piana leggermente ondulata che degrada dolcemente verso il mare Adriatico. L'unico specchio d'acqua significativo nell'area dell'approdo è l'area paludosa nota come palude di Cassano, una vasta depressione di probabile origine carsica che contiene acque continentali e ospita la vegetazione tipica delle zone acquitrinose. La palude di Cassano è una zona acquitrinosa dominata principalmente dalle acque di falda.

L'area appartiene interamente allo strato acquifero superficiale rappresentato, da un punto di vista litologico, dalla sequenza superiore delle "calcareniti del Salento". La sequenza sedimentaria dell'area del sito è composta prevalentemente di sabbia, limo sabbioso e calcareniti. Gli strati di calcarenite, spesso molto fratturati, sono comuni nella parte alta della sequenza sedimentaria o, meno frequentemente, si presentano interstratificati con sedimenti sabbiosi. A causa della mancanza di strati a bassa permeabilità, l'intero deposito può essere considerato uno strato acquifero di tipo freatico dalle caratteristiche fondamentalmente uniformi fino alla profondità di 30 m, investigata dalla campagna di perforazione, e probabilmente fino ad una profondità maggiore (45-50 m).

## 10.1 Primo set di analisi

Durante le indagini sul campo è stata effettuata una valutazione dei parametri idrodinamici dello strato acquifero di tipo freatico. Dalle prove di permeabilità in foro, di tipo Lefranc e Lugeon, eseguite negli strati di limo sabbioso e sabbia, non sono state rilevate differenze significative e i valori di conducibilità idraulica si collocano in un intervallo che va da  $2E-4$  a  $1E-5$  m/s, con un valore medio di  $1E-4$  m/s.

Pertanto le simulazioni numeriche, con l'ottica di una analisi di sensitività rispetto all'effetto della conducibilità idraulica, sono state eseguite estendendo il valore di tale parametro tra un ordine di grandezza inferiore ( $1E-5$  m/s) e uno maggiore ( $1E-3$ m/s) rispetto al valore medio ( $1E-4$ m/s).

I livelli idrici misurati nei cinque piezometri installati durante l'attività sul campo indicano che la soggiacenza della falda varia da 2,31 a 6,3 metri dal piano campagna e sono stati utilizzati per realizzare una mappa della superficie freatica. La ricostruzione della superficie piezometrica mostra che il flusso delle acque di falda è orientato in direzione sudovest - nordest verso la linea costiera, confermando quella che è la tendenza regionale di detto flusso.

Le simulazioni numeriche del flusso nell'acquifero sono state eseguite utilizzando il codice di modellazione agli elementi finiti FEFLOW 6.2 FM3 del DHI Group (DHI-WASY GmbH, 2014; Diersch 2006).

Al fine di valutare l'influenza della costruzione del microtunnel TAP sulle condizioni della superficie freatica (detta anche tavola d'acqua) sono state analizzate varie configurazioni idrogeologiche, cambiando le condizioni al contorno ed il valore di conducibilità idraulica.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	37 of 85

Lo scenario del progetto, che prevede la presenza di un pozzo impermeabile, contempla modifiche trascurabili sulla piezometria dell'area, con variazioni dell'altezza piezometrica effettiva ante-operam e post-operam del tutto trascurabili e dell'ordine di grandezza delle variazioni stagionali.

## 10.2 Secondo set di analisi

A seguito della richiesta di integrazioni fatta dall'Autorità di Bacino della Puglia (Rif.[42]), sono stati simulati 2 scenari integrativi che recepiscono le indicazioni contenute all'interno della richiesta di integrazioni ed i nuovi dati di campo ottenuti con le campagne di misura effettuate nei mesi di Dicembre 2015-Aprile2016 Rif. [16].

La restituzione grafica 3D in Figura 10-3 permette di evidenziare gli effetti, del tutto locali delle diversioni alle linee di flusso. La presenza dell'opera impermeabile non comporta nessuna influenza sull'assetto piezometrico preesistente se non nell'intorno dei manufatti.

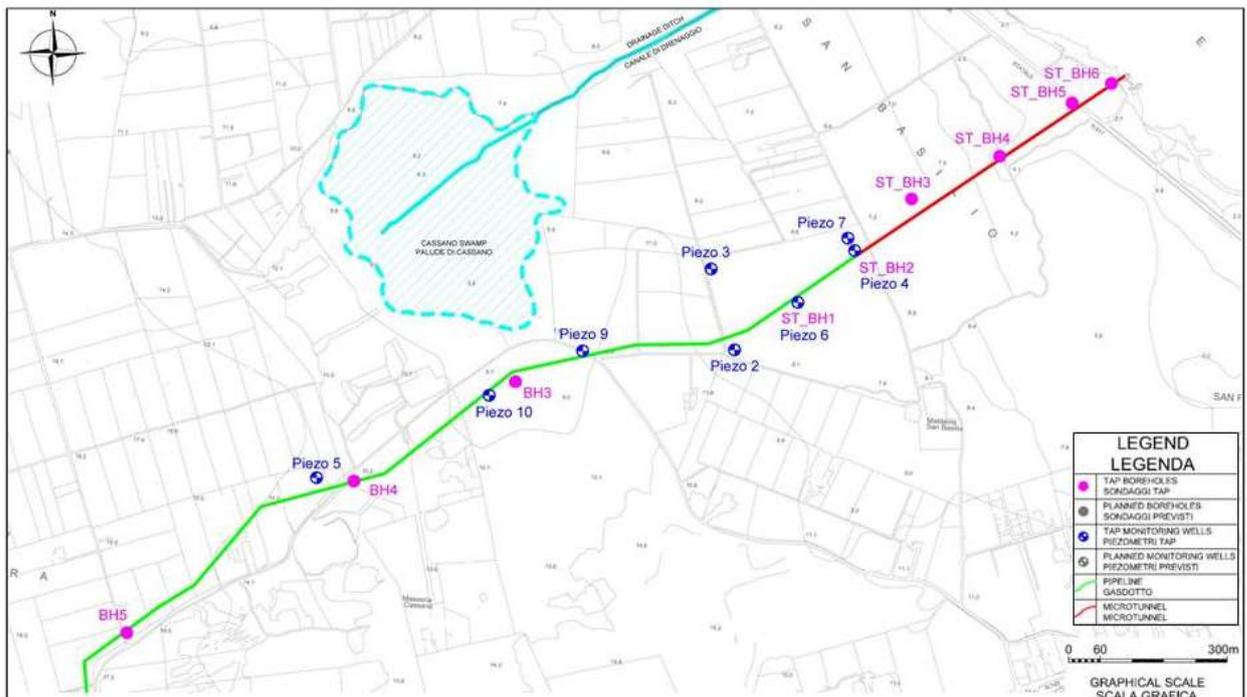


Figura 10-1 – Ubicazione sondaggi geognostici e piezometri nell'area dell'approdo.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	38 of 85

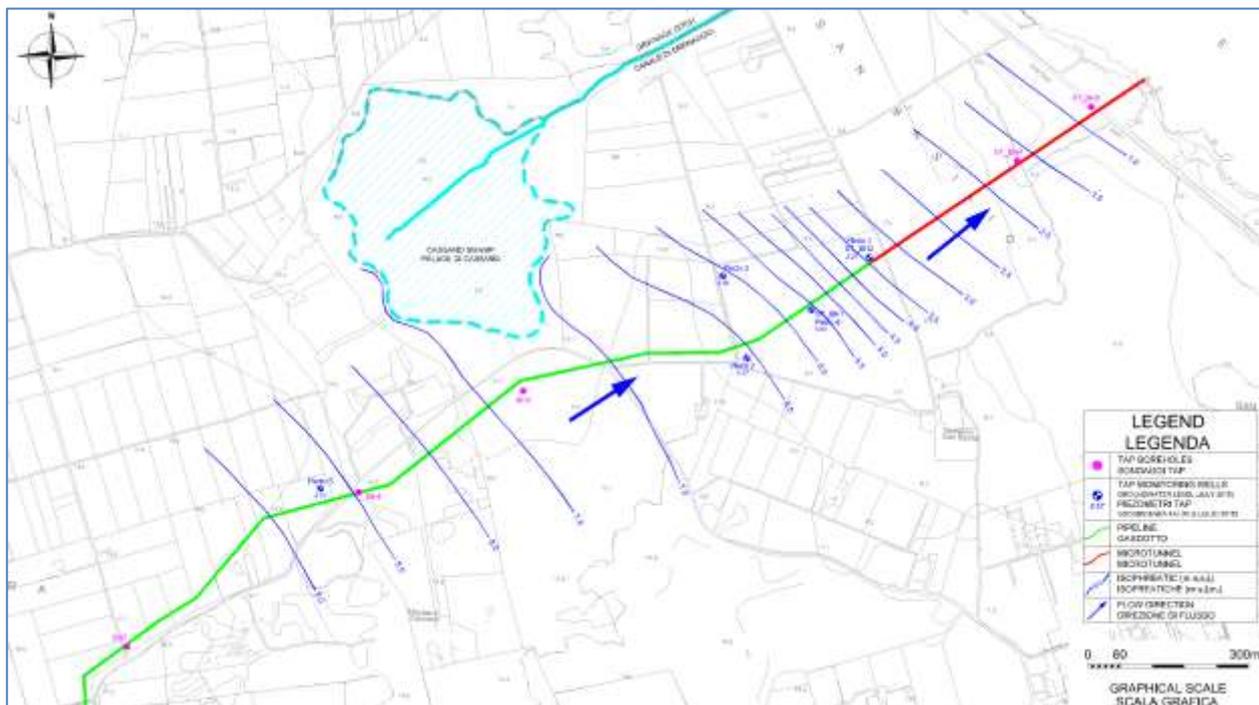


Figura 10-2 – Carta piezometrica (URS, 2017, Rif. [27]).

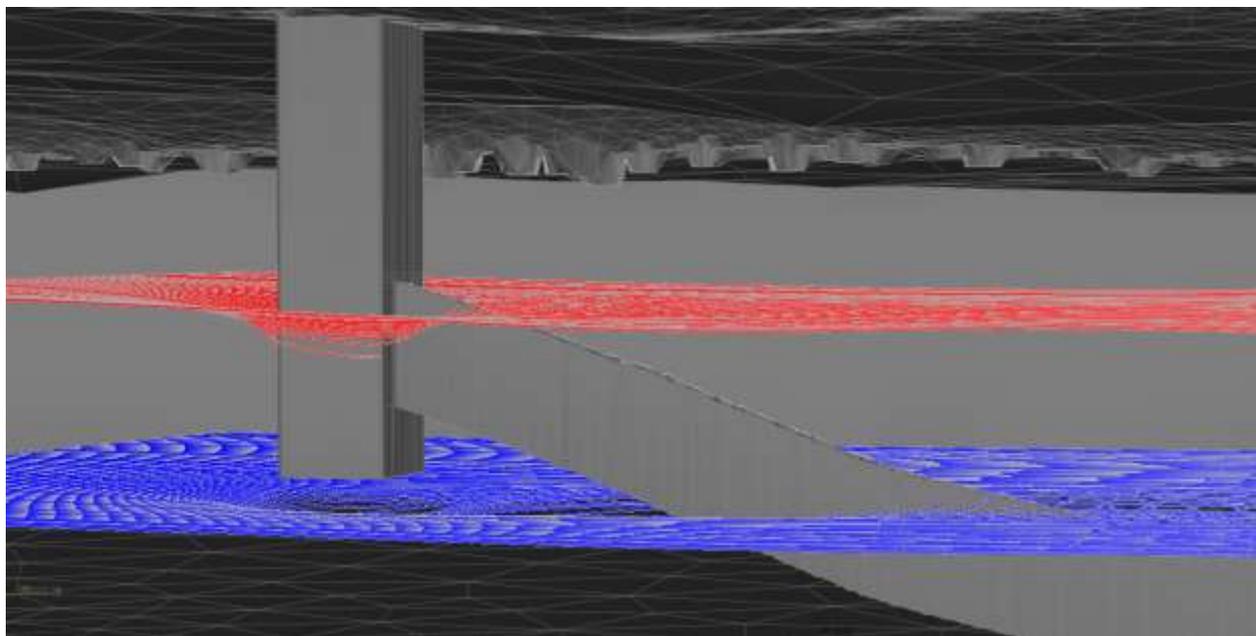


Figura 10-3 – dettaglio 3D delle linee di flusso in prossimità dei manufatti impermeabili, esagerazione verticale 5:1 (particolare illustrativo fuori scala). Linee rosse a profondità 7 m circa dal piano campagna, linee blu a profondità 12 m circa dal piano campagna

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	39 of 85

## 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.[17]).

### 11.1 Caratterizzazione della Sismicità

La distribuzione e l'entità dei terremoti storici nell'area di interesse (estratti dal catalogo CPTI11) 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 estreme (TR = 10000 anni).

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	40 of 85

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

Lo studio sismico (Rif.[17]) 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 attrittive che si esercitano sul piano trasversale al giunto, lo spostamento massimo assiale dei conci nella sezione giuntata per effetto dello scuotimento sismico risulta di 0,3 mm, mentre lo spostamento trasversale è di 0,2 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 0,6 e 0,5 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-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	41 of 85

## 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 12-1; 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..

La nuova strada di accesso temporanea 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.



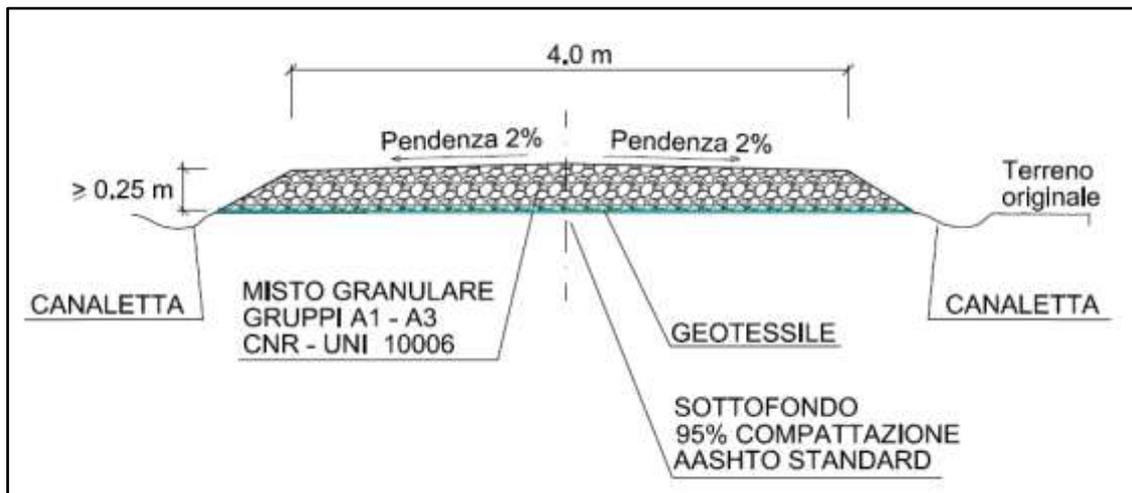
Figura 12-1: Ubicazione delle indagini geotecniche svolte per la strada di accesso

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.

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 12-2.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	42 of 85



*Figura 12-2- Sezione tipica per la nuova strada di accesso*

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 12-3.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	43 of 85

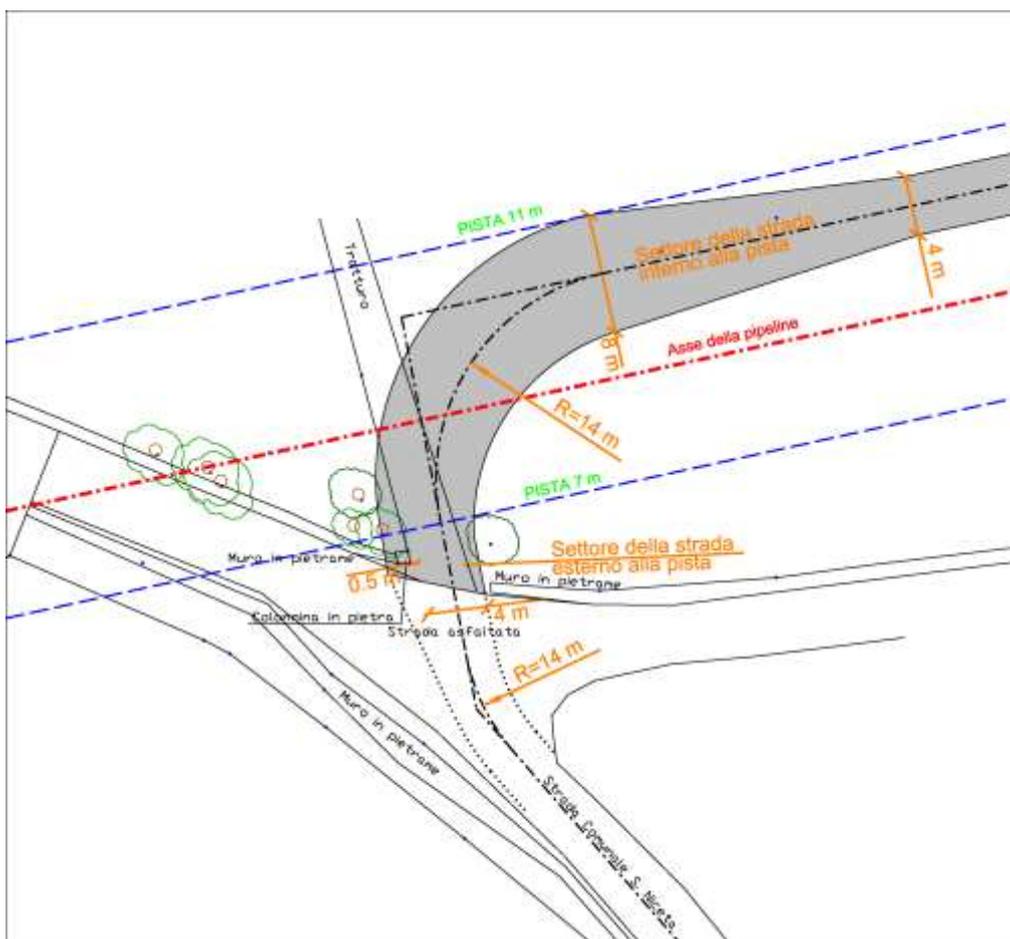


Figura 12-3 - Dettagli dell'allargamento della curva nel punto di innesto alla viabilità esistente.

## 12.2 Area di cantiere per il microtunnel

L'area richiesta per l'esecuzione dei lavori del microtunnel, con l'individuazione delle aree per il deposito temporaneo delle terre e per il posizionamento delle strutture e attrezzature principali previste, è indicata nel disegno riportato in Figura 12-4.

I principali mezzi necessari per la costruzione sono, oltre allo scudo fresante (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 sarà livellata per operare in sicurezza con i mezzi pesanti e per ridurre le attività di scavo e rinterro in maniera tale da non avere comunque materiale in esubero (Figura 12-4).

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-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	44 of 85

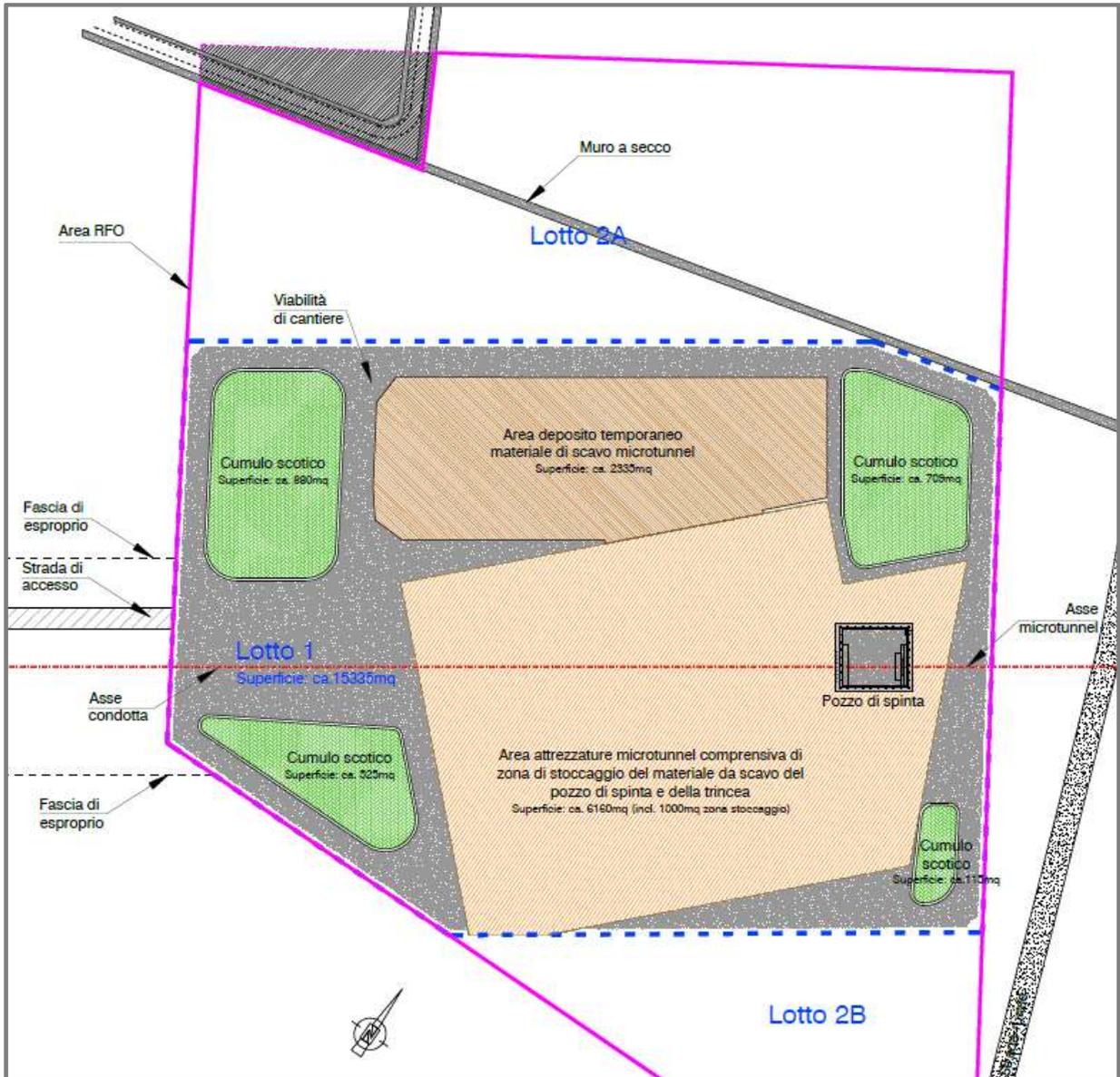


Figura 12-4- Cantiere costruzione microtunnel nell'area di San Foca

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	45 of 85

## 13 COSTRUZIONE POZZO DI SPINTA

### 13.1 Criteri di progetto del pozzo di spinta

Il pozzo di spinta è progettato con i seguenti requisiti funzionali:

- Consentire l'installazione della TBM e il successivo sistema di spinta dei conci in c.a.
- Controllare l'operazione di tiro della condotta.
- Installare 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 spinta, durante la fase di costruzione del microtunnel, sono posizionate le seguenti attrezzature:

- Stazione di spinta principale con il sistema di pistoni idraulici;
- Muro in c.a. per la controspinta;
- Condotti per la circolazione dello smarino ;
- Anello di tenuta idraulica in corrispondenza dell'imbocco;
- Quadri elettrici di sezionamento alimentazione TBM e pompe smarino ;
- Pompa smarino;
- Scale di accesso ed evacuazione del personale.

Le dimensioni del pozzo sono state pertanto determinate al fine di eseguire efficacemente ed in sicurezza lo scavo 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 conformato per costituire a tutti gli effetti una presa di acqua marina. Il fondo del tunnel si trova quindi sotto il livello medio del mare ad una quota 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 uno ad uno. Il centro dell'anello di spinta dovrà essere perfettamente allineato con l'asse del tunnel; i binari sono fissati sul fondo in c.a.. L'anello di spinta è dotato di 4/6 martinetti idraulici.

Sull'estremità posteriore del pozzo di spinta viene costruito un muro di spinta in c.a. al quale è fissata una 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 di spinta è fermamente fissato l'anello guida di tenuta mediante tasselli ad espansione.

Sulla base delle considerazioni che precedono, ed in funzione della necessità di evitare aggotamenti/abbassamenti della falda sia durante la fase di costruzione del pozzo che durante il suo successivo utilizzo, è stata adottata una metodologia costruttiva per il pozzo di spinta che consiste nel realizzare lo stesso mediante una paratia continua a tenuta in

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	46 of 85

pali secanti e mediante un tappo di fondo anch'esso a tenuta eseguito con la tecnica del "jet-grouting".

Questa metodologia risulta fattibile ed efficace nelle condizioni di terreno previste, ed è in grado di garantire la tenuta all'acqua.

La struttura sarà a tenuta sia durante lo svolgimento delle operazioni, sia durante la sua costruzione (ossia durante lo scavo del pozzo), evitando quindi la necessità di drenare l'acqua di falda.

Alcune pompe sommerse saranno tenute a disposizione in cantiere per aggotare l'eventuale acqua piovana.

Di seguito sono riportati alcuni dei vantaggi inerenti all'uso dei pali secanti con tappo di fondo in "jet-grouting":

- permette di costruire una struttura a tenuta, evitando il drenaggio dell'acqua durante la costruzione del pozzo e durante le successive attività di progetto: lo scavo del pozzo può essere eseguito senza necessità di abbassare il livello della falda acquifera;
- pareti di pali secanti possono essere costruite in modo efficace in quasi tutti i terreni: il loro impiego è particolarmente efficace quando i terreni sono difficili da perforare e dove le pareti di scavo sono difficili da sostenere (ad esempio, terreni di riempimento sciolti o di scarsa qualità, oppure terreni contenenti ostacoli come massi o strati duri), poiché le pareti del foro possono essere sostenute per mezzo di camicie di rivestimento temporanee. La possibilità di usare camicie di rivestimento temporanee, infatti:
  - riduce significativamente le deformazioni e gli assestamenti nella zona che circonda la parete, attenuando quindi i possibili effetti negativi sulle strutture ed i servizi circostanti;
  - permette di rompere o perforare un'ostruzione con minimo rischio di danni o disturbo alle aree circostanti, rispetto ad altre tecniche;
  - consente di scegliere i metodi di scavo più adatti per attraversare le specifiche formazioni presenti in loco; inoltre, la rigidità e l'inerzia inerenti nelle camicie di rivestimento agevolano la realizzazione di colonne ben allineate.
- Il metodo è rispettoso dell'ambiente: non è necessario utilizzare un fluido tipo bentonico per sostenere lo scavo. Il volume del calcestruzzo necessario per gettare ciascun palo è contenuto, in virtù del minor rischio di possibili, localizzati, crolli delle pareti di scavo da riempire con calcestruzzo.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	47 of 85



*Figura 13-1- Esempio di Pozzo di spinta eseguito con pali secanti.*

Le dimensioni complessive del pozzo di spinta sono state determinate tenendo conto delle dimensioni del muro di spinta e del muro di intestazione da costruire al suo interno, dell'ingombro delle attrezzature da installare, delle dimensioni degli elementi della TBM da lanciare e dei requisiti di spazio per l'installazione delle pompe.

Le dimensioni planimetriche interne del pozzo, sono circa 10.3mx11.7m (con la dimensione maggiore nella direzione di spinta); la quota di progetto del fondo scavo è circa -10.25m (con una tolleranza sul livello di +0/-0.25m) rispetto al livello medio del piazzale, che ha una quota di circa 8,1m sul livello del mare.

I pali che compongono le pareti del pozzo hanno un diametro di 88cm, un interasse di 70cm, e sono lunghi 16.0m. Una trave di coronamento rettangolare, 1.2m di larghezza e 0.6m di altezza, collega in modo continuo le teste dei pali lungo l'intero perimetro del pozzo.

Il "tappo di fondo" inizia circa 1,1m al di sotto del fondo di scavo e si estende per circa 7.0m di profondità. Si compone di colonne in "jet-grouting" aventi un diametro di circa 1.1m, eseguite secondo una maglia triangolare in cui gli assi delle colonne si trovano ai vertici di triangoli equilateri con lato di 75cm di lunghezza, in modo da garantire una compenetrazione adeguata delle colonne e la conseguente impermeabilizzazione del fondo.

Una soletta di cemento armato è costruita sul fondo del pozzo per fornire una superficie di lavoro stabile e piana.

La configurazione del pozzo per le operazioni di microtunnelling è completata dal muro di spinta e dal muro di intestazione. Il muro di intestazione è una parete in cemento armato situata in corrispondenza del punto di entrata della macchina, opportunamente sagomata per installare l'anello di tenuta e consentire l'ingresso dei tubi nel foro scavato. Il muro di

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	48 of 85

spinta è costruito sul lato opposto rispetto al muro di intestazione; esso distribuisce la spinta esercitata dalla stazione di spinta principale alla parete in pali e al terreno ad essa retrostante.

Inoltre, il “jet-grouting” sarà utilizzato anche per consolidare il terreno vicino alla zona di uscita della TBM (l’inizio del microtunnel) e dietro il muro di spinta.

Nell'area di uscita della TBM (l’inizio del microtunnel) sarà eseguita una serie di colonne in “jet-grouting” che cominciano a circa 3.0m di profondità rispetto al piano di campagna, e si estendono per una lunghezza di circa 9.0m. Lo scopo di tali colonne è di consolidare il terreno in modo che esso supporti la TBM quando esce dal pozzo ed entra nel terreno, al fine di garantire un migliore allineamento sulla traiettoria di progetto durante questa fase di transizione.

A tergo della parete di spinta, sarà eseguito un trattamento simile. In questo caso, il trattamento è necessario per garantire la tenuta necessaria a demolire parzialmente - al termine dell'installazione del microtunnel in calcestruzzo - i pali situati in corrispondenza del punto di ingresso del tubo di rivestimento.

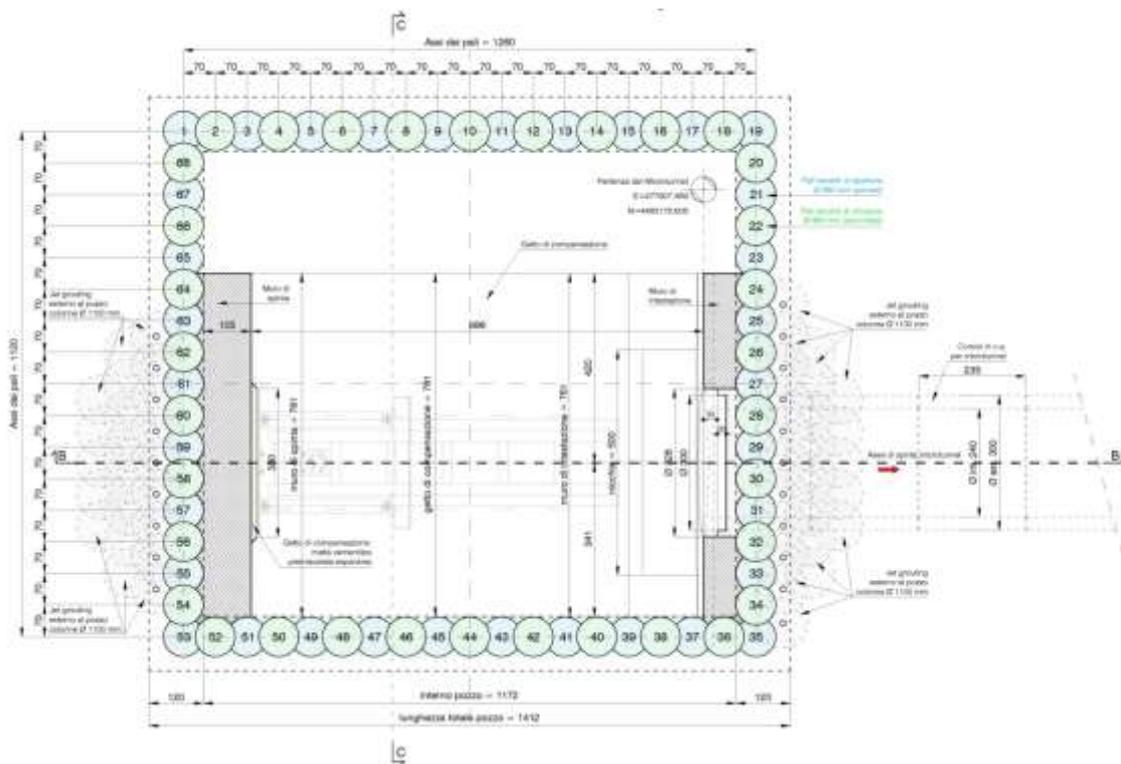


Figura 13-2- Pozzo di spinta: vista in pianta.

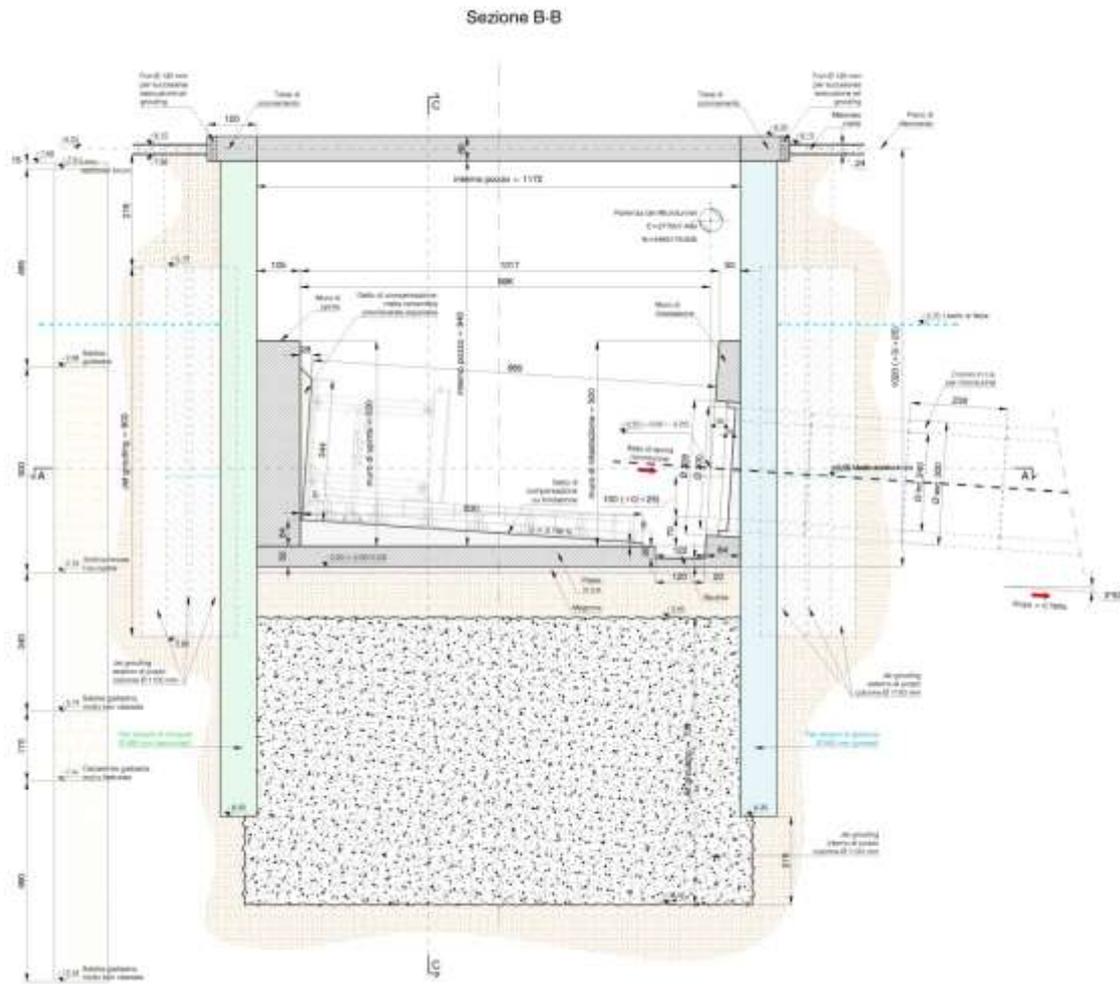
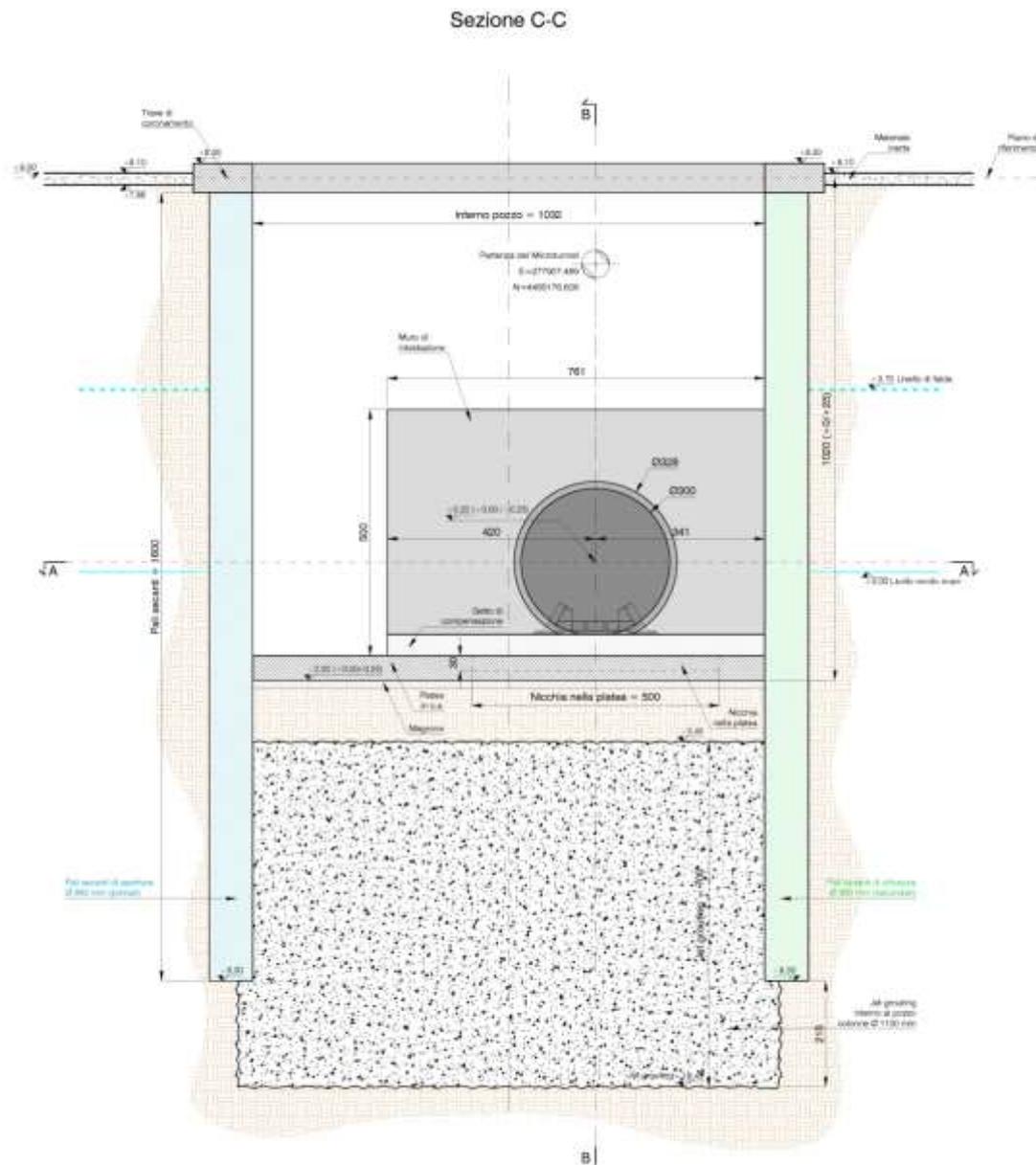


Figura 13-3- Pozzo di spinta: sezione longitudinale.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	50 of 85



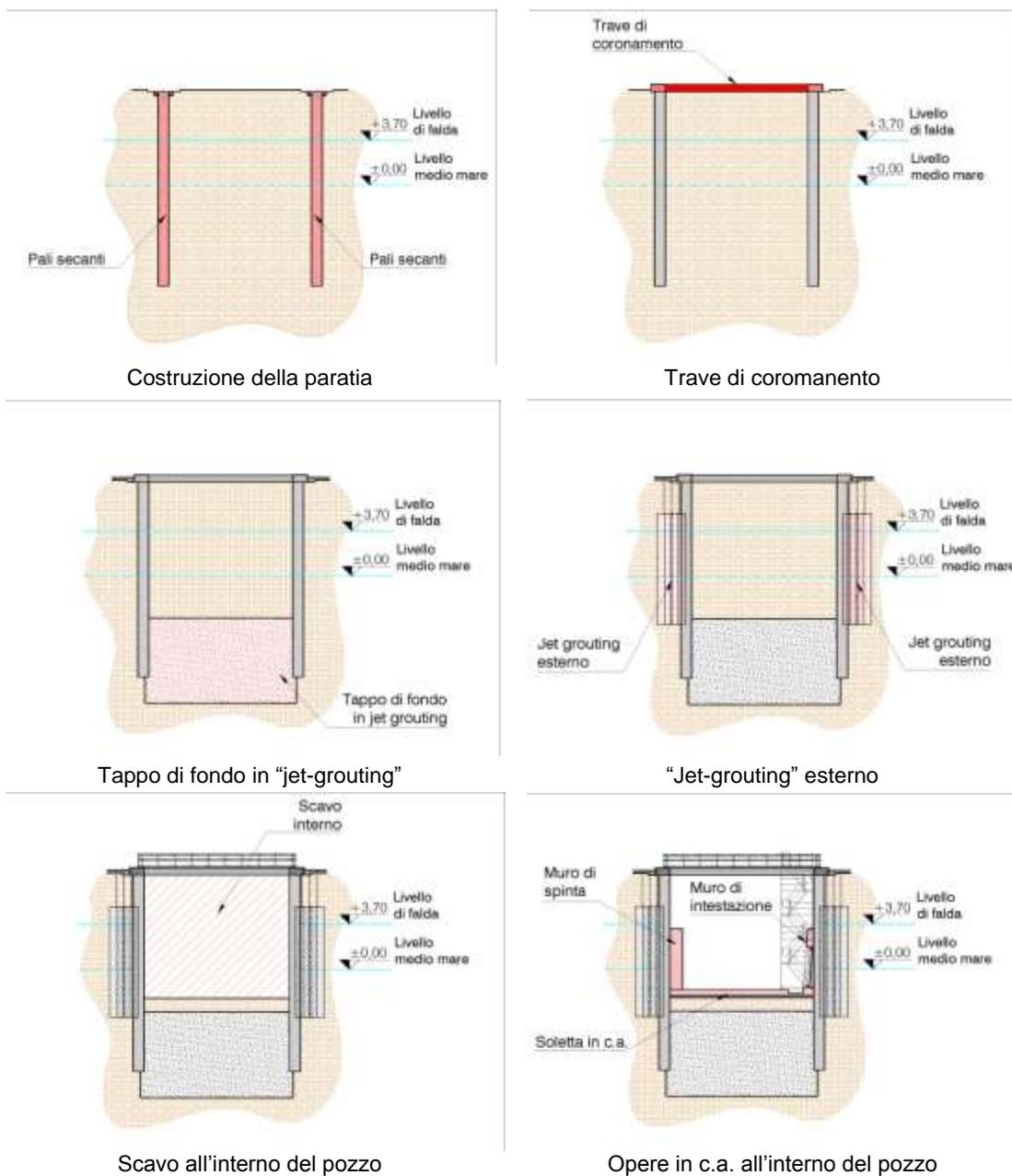
*Figura 13-4- Pozzo di spinta: sezione trasversale.*

## 13.2 Costruzione del pozzo di spinta

La presente sezione descrive le tecnologie di costruzione che saranno utilizzate per la costruzione del pozzo di spinta, secondo la seguente sequenza di costruzione:

- costruzione dei diaframmi in calcestruzzo armato del pozzo mediante la tecnica dei pali secanti;
- trave di coronamento;
- esecuzione del “jet-grouting” per la realizzazione del tappo di fondo;
- scavo all’interno del pozzo;
- esecuzione di opere in c.a. per realizzazione della soletta di fondo e dei muri di spinta e di intestazione.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	51 of 85



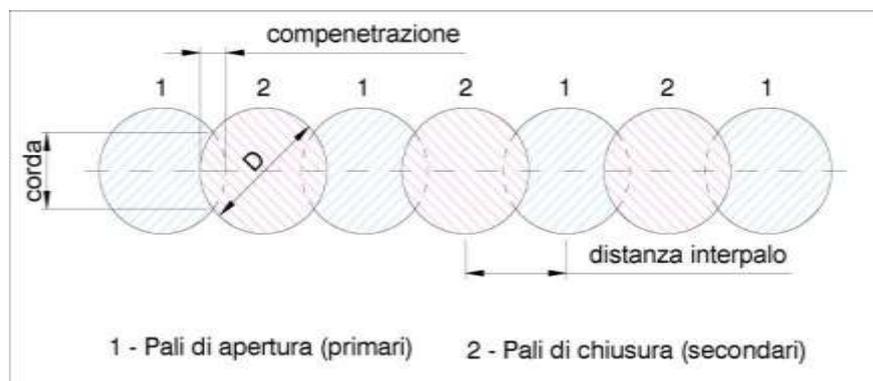
*Figura 13-5- Pozzo di spinta: fasi costruttive*

### 13.2.1 Paratia in Pali secanti in c.a.

I pali secanti vengono definiti come una serie di pali costruiti con una configurazione tale da intersecarsi l'uno con l'altro. Sono realizzati con un interasse (distanza interpalo) che è minore della somma dei raggi dei due pali ad esso adiacenti. In questa configurazione, i pali contigui si intersecano e quindi si compenetrano.

La metodologia dei pali secanti si basa sulla costruzione di pali primari o di apertura alternati a pali secondari o di chiusura. I pali secondari si intersecano con i pali primari, garantendo la continuità e la tenuta della parete.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	52 of 85



*Figura 13-6- Schema dei pali secanti.*

La profondità di compenetrazione e, di conseguenza, la lunghezza della corda sono dimensionate per trasferire i carichi orizzontali da un palo all'altro e per sigillare il giunto tra pali adiacenti.

Chiaramente, è necessaria una compenetrazione minima per tutta la profondità della parete. In questo caso, la profondità di compenetrazione è 18cm poiché il diametro del palo è 88cm e l'interasse è 70cm.

Al fine di garantire la compenetrazione per tutta la lunghezza dei pali, prima di iniziare lo scavo dei pali, saranno costruiti dei cordoli guida, allo scopo di soddisfare i criteri di posizionamento, allineamento e verticalità.

I cordoli guida hanno i seguenti scopi principali:

- garantiscono la corretta posizione di ogni palo, in particolare dei pali secondari, e quindi garantiscono la compenetrazione prevista in superficie;
- facilitano il posizionamento della sonda, in particolare l'allineamento e la verticalità del "mast";
- sostengono la gabbia di armatura o sezione di acciaio e favoriscono il suo corretto posizionamento verticale.

Completati i cordoli guida, i pali sono realizzati secondo una sequenza di costruzione prestabilita che assicura che, quando un palo secondario viene scavato tra due pali primari adiacenti, il calcestruzzo dei pali primari abbia maturato per circa 36 ore. Questo tempo di maturazione consente al calcestruzzo di diventare sufficientemente duro, affinché i pali non vengano danneggiati ma, allo stesso tempo, è tale da garantire che il processo di scavo avvenga senza problemi.

La sequenza di costruzione dei pali è definita, in base ai seguenti requisiti: i pali secondari devono essere scavati dopo il completamento dei pali primari adiacenti; i pali secondari devono essere eseguiti quando i due pali con cui si intersecano hanno maturato per almeno 36 ore.

La metodologia scelta per la costruzione dei pali è la tecnica Cased Continuous Flight Auger (CCFA), o dei Pali Rivestiti Trivellati ad Elica Continua: i pali sono trivellati con un'elica continua rivestita e gettati in opera versando calcestruzzo a pressione controllata. L'uso di fango bentonitico e polimeri non è previsto; ciò permette di coniugare la vantaggiosa efficacia del sistema di perforazione dei pali ad elica continua (CFA) con le caratteristiche tipiche dei pali rivestiti, ovvero la sicurezza e la stabilità di perforazione.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	53 of 85

Il processo di scavo dei pali inizia dopo aver attentamente allineato la macchina per pali con il foro da scavare e verificato dell'allineamento verticale del "mast" della macchina mediante il monitor all'interno della cabina dell'operatore.

Durante lo scavo, la camicia di rivestimento e l'elica continua avanzano contemporaneamente nel terreno. Mentre avanzano, il rivestimento e l'elica ruotano in direzioni opposte; questo movimento relativo permette al materiale scavato di fluire verso l'alto attraverso l'elica, all'interno del rivestimento, finché non viene scaricato lateralmente in un sistema a tramoggia situato all'altezza della testa della macchina. Grazie al sistema a tramoggia, il materiale scavato viene accumulato in modo sicuro e ordinato al suolo.

Quando viene raggiunto il fondo scavo di progetto, si procede alla fase di getto: il calcestruzzo viene pompato in pressione nel foro attraverso l'asta cava dell'elica ed esce (circa a 1-2bar) alla sua estremità inferiore. Allo stesso tempo, il sistema elica/rivestimento viene estratto gradualmente, ed automaticamente.

Infatti, la fase di risalita è assistita elettronicamente: la portata e la pressione del calcestruzzo sono controllati mediante misuratori di pressione e di volume, e la velocità di risalita viene regolata automaticamente per garantire un omogeneo riempimento del palo. I diagrammi di risalita del calcestruzzo sono registrati.

Il calcestruzzo da impiegare, pur soddisfacendo i requisiti relativi alla classe di resistenza e alla classe di esposizione, deve avere una consistenza super fluida (slump), tipo SCC (Self Compacting Concrete), e una dimensione massima dell'aggregato non superiore a 15mm.

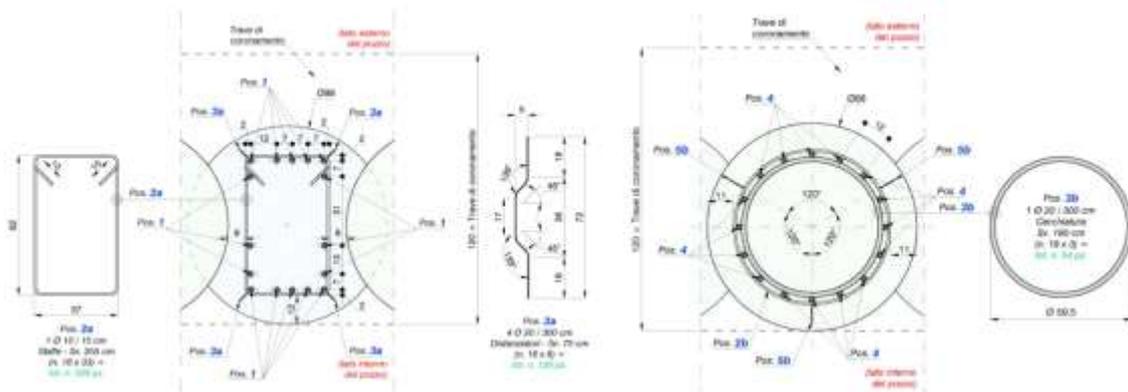
Il calcestruzzo sarà consegnato preconfezionato in cantiere; la fase di getto sarà organizzata in modo da garantire una portata minima di 35 m<sup>3</sup>/h.

Al termine della fase risalita/getto, l'armatura in acciaio è calata nel calcestruzzo fresco del palo. Le armature sono generalmente inserite nel palo per gravità; considerando la lunghezza dei pali da costruire, un piccolo vibratore può essere utilizzato per facilitare l'installazione dell'armatura all'interno del palo.

Le armature consistono in gabbie di tondini d'acciaio saldati in stabilimento e consegnate in cantiere già pre-assemblate. Poiché i pali sono lunghi 16m, le gabbie d'armatura saranno fornite in due sezioni e collegate in cantiere prima della loro installazione nel palo. Le due sezioni di ciascuna gabbia saranno collegate mediante saldature o morsetti. Un supporto sarà utilizzato per collegare le due sezioni di gabbia, in modo da allinearle correttamente.

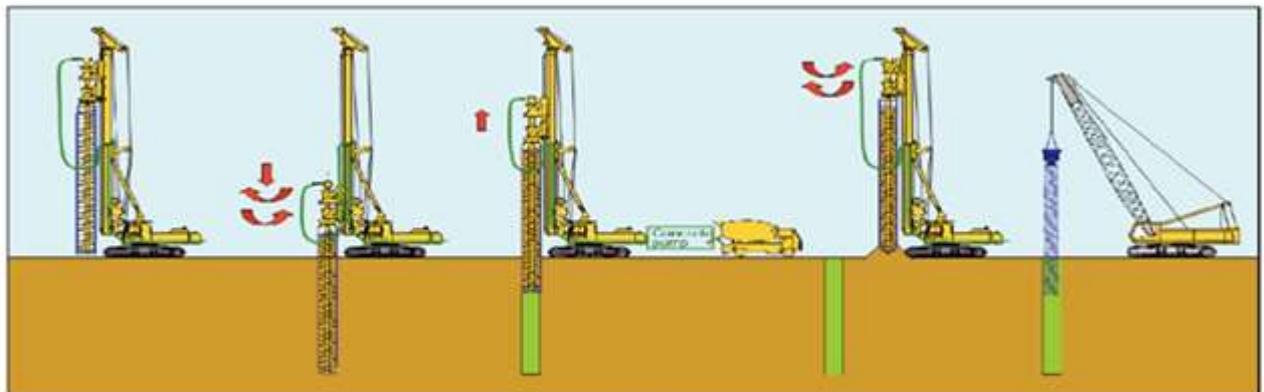
Quando si installano le gabbie di armatura dei pali primari, che sono di forma rettangolare, queste sono dotate di idonei distanziatori, al fine di centrarle esattamente.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	54 of 85



*Figura 13-7- Esempio di armatura dei pali primari e pali secondari*

La sequenza di costruzione dei pali è schematicamente rappresentata nella figura qui sotto.



1. Il sistema utilizzato consiste in due teste rotary controrotanti; la testa superiore è collegata all'elica continua, quella inferiore al rivestimento;
2. La perforazione avviene ruotando e spingendo l'elica continua nel terreno, mentre il terreno scavato all'estremità inferiore dell'elica viene trasportato verso l'alto nel rivestimento;
3. Al raggiungimento della profondità di progetto, l'elica continua e il rivestimento vengono estratti mentre il calcestruzzo viene versato attraverso l'asta cava dell'elica;
4. La macchina si sposta dal foro e si svuota l'elica invertendo il verso di rotazione;
5. L'armatura viene spinta o vibrata all'interno del calcestruzzo fresco

*Figura 13-8- Fasi di esecuzione dei pali secanti*

### 13.2.2 Jet Grouting

Il "Jet-Grouting" è una metodologia costruttiva che utilizza un getto di fluido ad alta pressione (generalmente >300bar) per disgregare il terreno in profondità e miscelarlo con una miscela cementizia auto-indurente in modo da formare colonne, pannelli e altre strutture nel terreno, allo scopo di rinforzare il terreno e ridurre la permeabilità.

I parametri per il procedimento di "jet-grouting" e la resistenza finale del terreno trattato dipendono da una serie di caratteristiche, come ad esempio il tipo di suolo, la tecnica utilizzata e l'obiettivo da raggiungere.

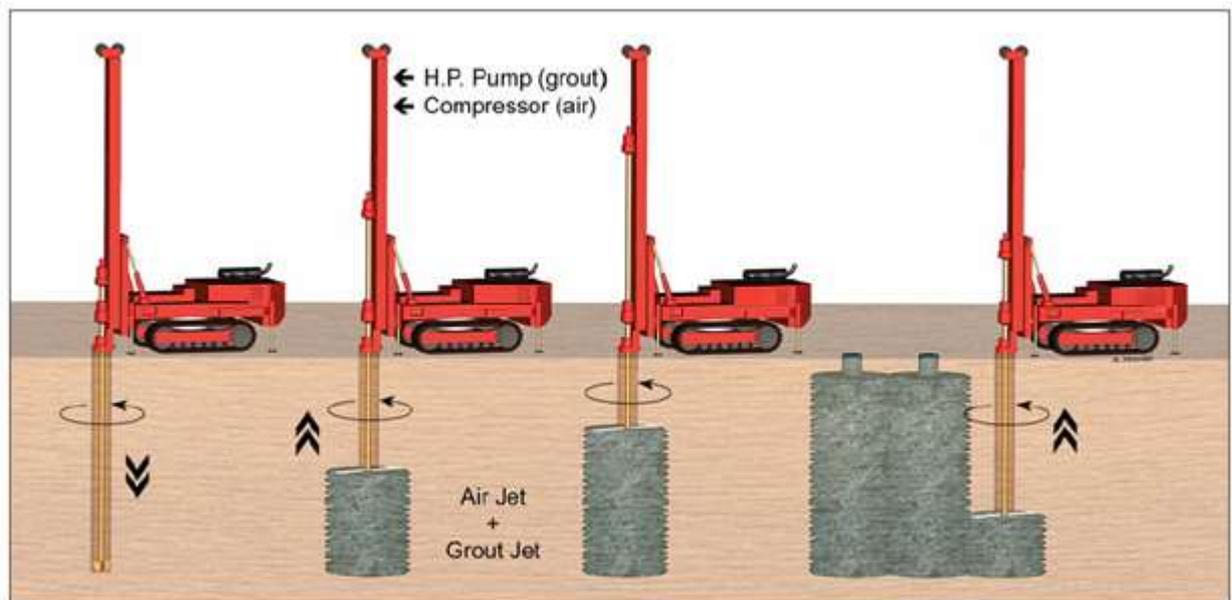
La tecnica consiste sostanzialmente nell'esecuzione di una perforazione e nel successivo pompaggio, al suo interno, di un fluido a base di cemento ad alta pressione attraverso uno o più ugelli posizionati all'estremità inferiore della batteria di aste di perforazione, per ottenere la miscela di terreno e cemento.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	55 of 85

Tutte le tecniche “jet-grouting” includono una fase di perforazione seguita da una fase di iniezione.

Un utensile di taglio relativamente piccolo (diametro 4-8 pollici), installato nella parte inferiore dell'asta di perforazione, viene utilizzato per perforare il terreno e raggiungere il fondo della zona da trattare.

Successivamente, la miscela cementizia è iniettata orizzontalmente ad alta pressione mentre l'asta di perforazione viene ritirata in movimento roto-traslatorio con valori prefissati di velocità di rotazione ed risalita, pressione di pompaggio e portata della miscela.



*Figura 13-9- Fasi di esecuzione di jet grouting*

Tipicamente, il fluido di iniezione è una miscela cementizia; tuttavia, al fine di migliorare ulteriormente il mescolamento tra le particelle di terreno e la miscela cementizia, è possibile utilizzare fluidi ausiliari che sono iniettati contemporaneamente alla miscela cementizia. A seconda del numero di fluidi coinvolti nel processo di consolidamento, sono identificate le seguenti modalità di “jet-grouting”:

- Mono-fluido: il trattamento del terreno avviene con l'utilizzo di un unico fluido (miscela cementizia, eventualmente additivata).
- Bi-fluido: il trattamento del terreno avviene iniettando una miscela cementizia, la cui efficienza è aumentata da un getto d'aria coassiale.
- Tri-fluido: il terreno è disgregato mediante un flusso di aria ed acqua e trattato iniettando una miscela cementizia.

La scelta del tipo di “jet-grouting” da eseguire dipende dalle condizioni del terreno, dal diametro delle colonne da realizzare e dalle caratteristiche meccaniche e fisiche del terreno da ottenere dopo il trattamento, come meglio dettagliato di seguito.

Per la costruzione del tappo di fondo, vengono realizzate diverse colonne di “jet-grouting” tra loro intersecanti. La disposizione planimetrica delle colonne (maglia) è progettata in modo da garantire che le colonne si intersechino lungo tutta la profondità

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	56 of 85

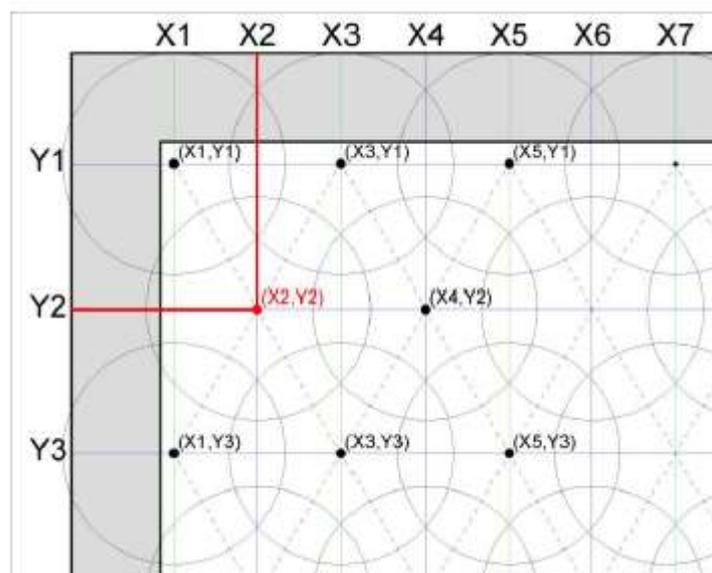
del tappo. La perforazione avviene dal livello del piano di campagna, ma la miscela è iniettata solo dal fondo della perforazione alla superficie superiore del tappo.

Le colonne hanno un diametro di ca. 110cm e un interasse di ca.75cm. La parte inferiore del tappo si trova ad una profondità di circa 10.45m rispetto al livello medio mare e l'altezza del trattamento è 7,0m.

Ulteriori colonne sono previste al di fuori del perimetro del pozzo per gli scopi descritti nella Sezione 13.1; le colonne hanno un diametro di circa 110cm e un interasse di 75cm. Le colonne cominciano circa 3.0m di sotto della superficie di lavoro e hanno una lunghezza di circa 9.0m. Le colonne all'interno del perimetro del pozzo sono eseguite per prime; le colonne al di fuori del perimetro del pozzo sono eseguite successivamente.

Le colonne sono eseguite secondo uno schema alternato. Le colonne secondarie sono iniettate fra le colonne primarie ad essa adiacenti dopo il completamento di entrambe le colonne primarie. Tipicamente, vengono saltate 3 colonne tra l'ultima colonna iniettata e la nuova colonna da eseguire, al fine di evitare il dilavamento delle colonne vicine, ancora fresche.

Al fine di raggiungere le tolleranze di costruzione desiderate per l'esecuzione delle colonne, la posizione di ciascuna colonna deve essere chiaramente ed accuratamente identificata sul campo, per consentire il corretto posizionamento della sonda di perforazione. Questo può essere fatto tracciando, lungo il perimetro dell'area, la posizione delle linee X e Y che individuano le coordinate X-Y dei centri delle colonne con riferimento al bordo interno della trave di coronamento. Poi, si tirano i fili di allineamento per picchettare il centro di ogni colonna, situato in corrispondenza dell'intersezione tra i due allineamenti corrispondenti alle coordinate del centro della colonna.



*Figura 13-10- Schema di tracciamento dei centri delle colonne di jet-grouting*

Il processo di perforazione inizia dopo aver posizionato accuratamente la sonda e verificato l'allineamento verticale del "mast". Prima di iniziare, l'allineamento verticale dell'asse di perforazione è controllato per mezzo di un livello elettronico, fissato al "mast" e collegato al pannello di controllo della macchina.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	57 of 85

Il sistema di perforazione è costituito da aste d'acciaio aventi un diametro di 114 mm. Il diametro dell'utensile di taglio è 130mm. Il fluido di perforazione è l'acqua. L'acqua è immagazzinata in vasconi e pompata nell'asta di perforazione per mezzo di una pompa ad alta pressione.

Un sistema di registrazione dati viene utilizzato per registrare i parametri di perforazione:

- profondità di perforazione [m];
- velocità di perforazione [m/h];
- velocità di rotazione [giri/min];
- coppia [bar];
- spinta [bar].

L'inclinazione del "mast" della sonda di perforazione è costantemente monitorata.

Al termine della fase di scavo, l'operatore della sonda avvisa l'operatore della pompa che interrompe il flusso d'acqua e attiva la fase di iniezione della miscela cementizia. Quando la pressione di progetto della miscela è stata raggiunta, l'operatore della sonda inizia ad estrarre l'asta di perforazione, a velocità di rotazione e velocità di risalita predeterminate, fino al completamento della colonna.

La fase di iniezione è assistita elettronicamente. Mediante la strumentazione di monitoraggio in continuo, i parametri di esecuzione sono tenuti sotto controllo e la profondità e la lunghezza del trattamento sono controllati. Durante la fase di iniezione, i seguenti parametri principali sono monitorati:

- pressione della miscela [bar];
- portata della miscela [l/min];
- volume della miscela [l];
- velocità di rotazione [giri/min];
- velocità di risalita [m/h];
- inclinazione del "mast" della sonda di perforazione.

Anche la continuità del flusso dello spurgo è controllata visivamente.

Se l'iniezione viene interrotta, il processo deve essere ricominciato almeno 50 cm sotto il livello in corrispondenza del quale era stato interrotto.

In base alle informazioni sulle caratteristiche del terreno, i parametri selezionati per la miscela cementizia sono:

- cemento tipo CEM I 32.5 R;
- rapporto A/C = 1,0;
- densità di 1,51 t/m<sup>3</sup>.

La miscela cementizia è preparata in cantiere.. Il cemento deve essere mantenuto asciutto e protetto dalle intemperie durante il trasporto e lo stoccaggio in cantiere.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	58 of 85

Per ottenere buoni risultati in termini di diametro della colonna e geometria della maglia nel tipo effettivo di terreno da trattare, è necessario eseguire un campo prove preliminare. Il campo prove sarà utilizzato per scegliere la modalità di “jet-grouting” da adottare ed ottimizzare i parametri di iniezione da applicare al fine di garantire che le colonne di “jet-grouting” abbiano il diametro desiderato (min. 1,1m). In base ai risultati della prova, la disposizione delle colonne di progetto (maglia) sarà calibrata. I parametri selezionati verranno applicati alle colonne di “jet-grouting” eseguite sia all'interno che all'esterno del pozzo.

### 13.3 Scavo del pozzo

Lo scavo all'interno del pozzo è effettuato al completamento delle operazioni di “jet-grouting”.

Lo scavo sarà realizzato in due fasi:

- 1^ FASE: scavo dall'esterno, mediante escavatore idraulico;
- 2^ FASE: scavo dall'interno del pozzo mediante un piccolo escavatore idraulico con il supporto di una gru mobile per l'estrazione del materiale scavato.

Durante la fase di scavo, l'accesso del personale al fondo scavo sarà garantito mediante il montaggio di una scalca fissa modulare prefabbricata, dotata di paraschiena. I moduli della scala saranno progressivamente installati all'interno del pozzo, con l'avanzare dello scavo.

### 13.4 Lavori accessori di completamento del pozzo

Le opere in c.a. per la costruzione del pozzo consistono nella costruzione della trave di coronamento, della soletta di fondo, del muro di spinta e del muro di intestazione.

La trave di coronamento è una trave in c.a. continua che corre lungo tutto il perimetro del pozzo, collegando le teste dei pali secanti. È gettata in situ ed ha la funzione di collegare e legare i pali per impedirne lo spostamento laterale o l'instabilità.

La trave di coronamento è costruita dopo il completamento di tutta la sequenza di pali e la demolizione dei cordoli guida. Prima di iniziare lo scavo all'interno delle pareti di ritenuta del pozzo, la trave di coronamento avrà già maturato e raggiunto una resistenza adeguata.

La soletta di fondo in c.a. contribuisce a contrastare, con la sua rigidità, lo spostamento delle pareti del pozzo verso il suo interno ed assicura una superficie di lavoro stabile. La soletta è spessa 50cm ed è armata con una doppia rete in acciaio; viene gettata in cantiere al termine della fase di scavo.

Il muro di spinta e il muro di intestazione sono funzionali all'esecuzione delle operazioni di microtunnelling. Il muro di intestazione è una parete in calcestruzzo armato situata in corrispondenza del punto di ingresso della macchina, opportunamente progettata per installare l'anello di tenuta e permettere l'ingresso dei tubi nello scavo.

Il muro di spinta è costruito sul lato opposto della muro di intestazione; esso distribuisce spinta esercitata dalla stazione di spinta principale, utilizzata per spingere la TBM e i tubi nel terreno, alla parete di pali e al terreno dietro di essa.

I muri sono gettati in cantiere con calcestruzzo preconfezionato, dopo l'installazione delle armature in acciaio.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	59 of 85

## 14 TUBO CAMICIA (O DI PROTEZIONE) IN ACCIAIO DI COLLEGAMENTO ALLA SUPERFICIE

Al termine della fase di scavo 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 camicia (o di protezione) in acciaio a tergo del pozzo di spinta, in continuità di allineamento (l'asse geometrico del tubo posato nel Microtunnel e all'interno del tubo casing è lo stesso) con la condotta da varare all'interno del microtunnel come mostrato nella Figura 14-1 e nella Figura 14-3.

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

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 14-1 e Figura 14-2) e che quindi partirebbe da profondità di circa 10 m per arrivare a una quota pari a 2.80 m.

Non appena completato il microtunnel, il tubo di protezione in acciaio sarà reso operativo con la demolizione del muro di spinta e l'apertura della porzione di parete in c.a. 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 maggiori potranno essere eventualmente impiegati per garantire una maggiore tolleranza sull'allineamento microtunnel - tubo di protezione.

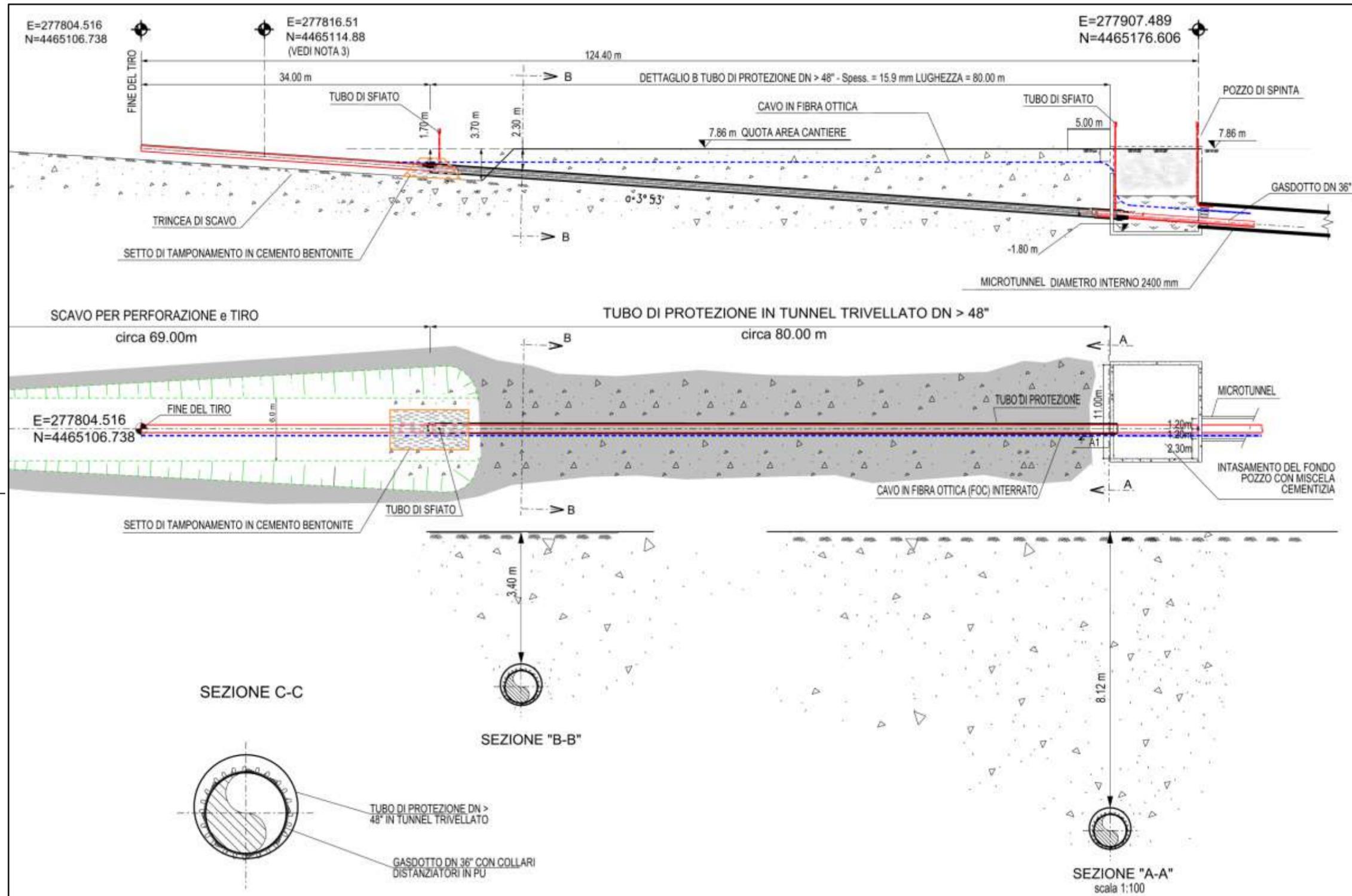
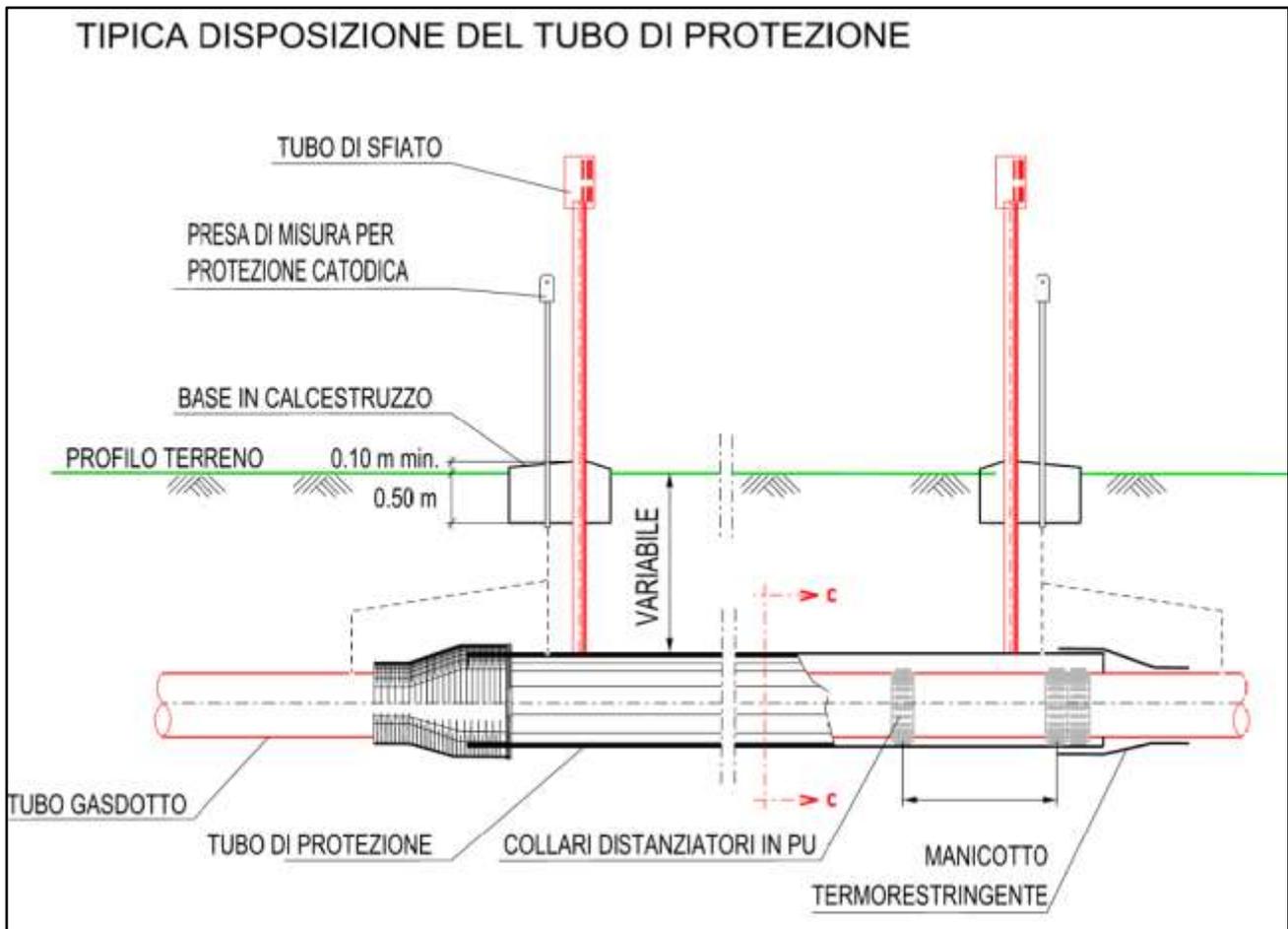


Figura 14-1- Installazione della condotta nel tubo di protezione installato a tergo del pozzo di spinta.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	61 of 85

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 posa del tubo di protezione sarà effettuata con metodologia che preveda il monitoraggio continuo dell'avanzamento con possibilità di correzione.



*Figura 14-2- 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 verricello lineare ubicato a piano campagna. Il cavo di tiro sarà generalmente in allineamento sull'asse teorico all'interno del tubo di protezione e successivamente nel microtunnel.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	62 of 85

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

Al termine dei lavori di costruzione del microtunnel e della successiva installazione della condotta, si eseguiranno i seguenti lavori:

- sigillatura della parte bassa del pozzo, compresa l'uscita (lato terra) del microtunnel e l'ingresso del tubo di protezione, con uno strato impermeabile composto da una miscela a base di cemento gettato direttamente sul fondo del pozzo di spinta come illustrato in Figura 14-3;
- riempimento del pozzo con materiale proveniente dallo scavo del pozzo stesso fino ad una profondità di circa 2,0m dal p.c.;
- demolizione delle opere in c.a. fino a circa 1,5m dal p.c. e conferimento del materiale risultante dalla demolizione presso impianto di recupero autorizzato;
- completamento del riempimento del pozzo con materiale proveniente dallo scavo del pozzo stesso, fino al raggiungimento del livello del p.c..

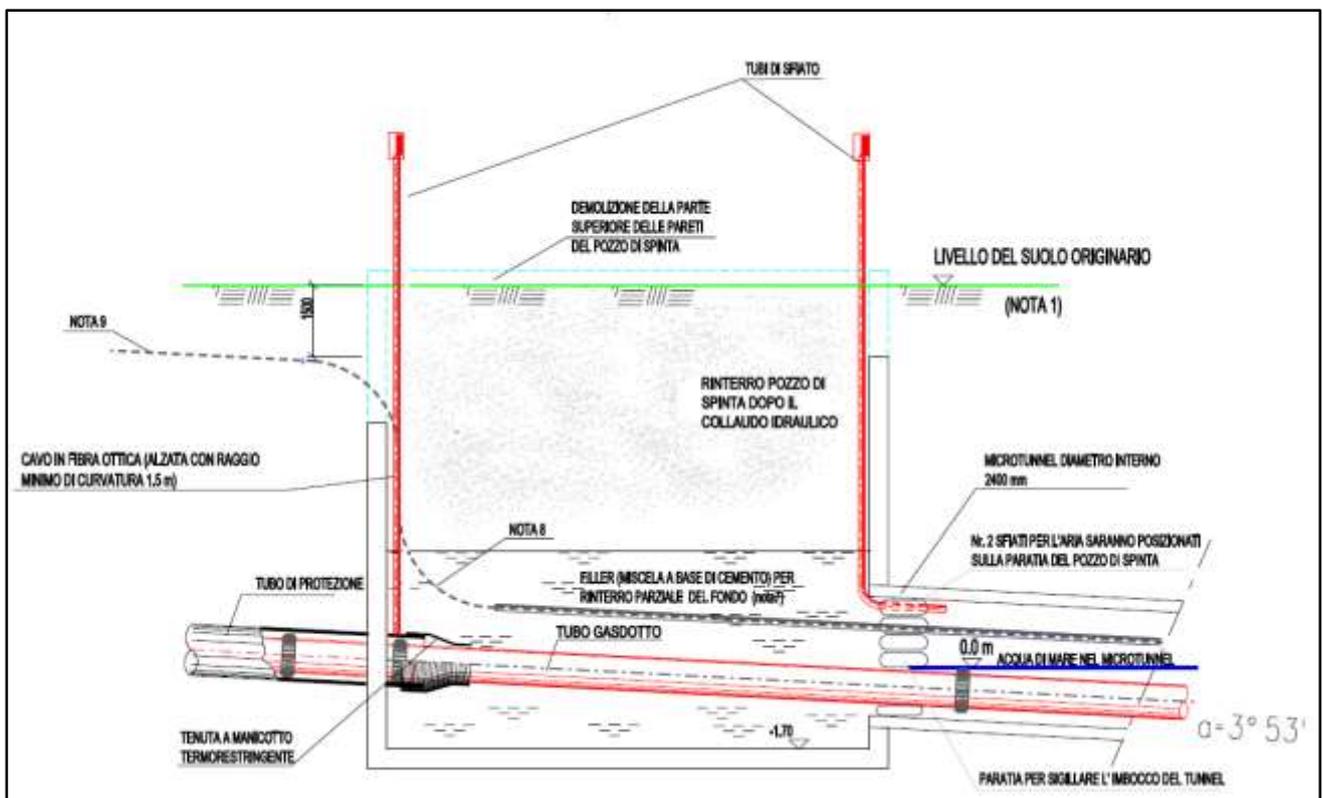


Figura 14-3- Pozzo di spinta a completamento dei lavori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	63 of 85

## 15 ESECUZIONE DEL MICROTUNNEL

Per *microtunnelling* (MT) si intende una metodologia “no-dig”, ovvero senza scavo a cielo aperto, che permette di realizzare tunnel mediante l’avanzamento di una testa fresante seguita da tubi in c.a. guidata da un sistema laser e spinta da martinetti idraulici. Le condotte possono perciò essere posate senza necessità di realizzare trincee.



Figura 15-1- Schema tipico di un microtunnel per approdo marino

### 15.1 Descrizione del sistema di perforazione

Sarà utilizzato un sistema di microtunnelling avente le seguenti caratteristiche principali:

#### 15.1.1 Scavo del tunnel a controllo remoto

Mediante uno scudo fresante a piena sezione di tipo chiuso (scavo a sezione integrale) con bilanciamento idraulico delle pressioni al fronte di scavo. Il personale operante non è mai in contatto con il fronte di scavo; ciò consente di eliminare tutti i rischi legati ai lavori in sotterraneo. La perforazione avviene in condizione di massima sicurezza in quanto l'operatore controlla tutti i parametri di scavo da un unico quadro di controllo e comando.

#### 15.1.2 Sistema di lubrificazione

Mediante un impianto posto in superficie, che prepara la miscela di bentonite secondo i parametri necessari (costantemente tenuti sotto controllo) e la inietta a bassa pressione nell'anulus attraverso un sistema di valvole/stazioni telecomandate, così da ridurre significativamente l'attrito durante l'avanzamento.

#### 15.1.3 Evacuazione dello smarino

Di tipo idraulico. Il terreno scavato viene portato a giorno tramite un circuito di evacuazione idraulica di tipo chiuso. Sono assicurate massime garanzie di stabilità del fronte scavo attraverso il controllo della pressione sulla testa di scavo ed il controllo della pressione dell'acqua, ottenuti regolando i parametri del circuito di evacuazione (pressione e portata). Il circuito idraulico consente inoltre elevate velocità di evacuazione del materiale scavato indipendentemente dalla lunghezza del tunnel. Un sistema completo di separazione solido-liquido consente di preservare le caratteristiche del fluido di scavo, minimizzando lo smaltimento del fluido non più utilizzabile. Il sistema è composto da vagli primari, secondari, cicloni, centrifughe ed eventuali filtropresse.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per          l'approdo in Italia</b>	Page:	64 of 85

#### 15.1.4 Guida della fresa

Mediante controllo remoto delle operazioni di scavo. Tutte le operazioni di scavo vengono effettuate da un container di comando posizionato in superficie, nelle immediate vicinanze del pozzo di spinta. Mediante una sorgente laser che punta sul bersaglio solidale allo scudo è possibile conoscere in ogni istante la posizione dello scudo stesso. Controlli topografici periodici di verifica e taratura del sistema assicurano elevati gradi di precisione.

#### 15.1.5 Rilievo della posizione

Mediante impiego di sorgente laser a fuoco variabile per gli attraversamenti rettilinei; sistema del tipo SLS-RV della ditta VMT per i microtunnel curvilinei.

#### 15.1.6 Rivestimento tunnel (tubo in c.a.)

Il rivestimento del tunnel sarà realizzato mediante impiego di elementi tubolari prefabbricati in c.a. con giunti del tipo a tenuta e con posa mediante avanzamento a spinta. In questo modo il tunnel è dotato di un rivestimento definitivo di elevato standard qualitativo che viene posto in opera contemporaneamente alla fase di scavo.

L'avanzamento del rivestimento avviene in contemporanea all'avanzamento dello scudo fresante. I manufatti, in ragione di uno ogni tre, saranno forniti di valvole di iniezione (n.3 valvole per tubo), necessarie per eseguire le iniezioni di lubrificazione tra terreno e tubo. Tali valvole potranno essere inoltre impiegate per intasare l'intercapedine tra il terreno ed il tubo di rivestimento nelle fasi conclusive della costruzione del microtunnel. I giunti saranno in grado di assorbire le deviazioni angolari di progetto e di guida, e di garantire la tenuta idraulica.

---

#### 15.1.7 Unità di spinta

L'unità di spinta principale è di tipo idraulico ed è montata su una slitta in corrispondenza del pozzo di partenza. Essa è composta da martinetti idraulici e da un anello di spinta che permettono l'avanzamento della macchina nel terreno e, successivamente, delle tubazioni lungo la linea prestabilita, fino al punto di arrivo. La potenza della stazione di spinta principale sarà adeguata alle forze resistenti all'avanzamento, al numero delle stazioni intermedie, alle modalità e caratteristiche esecutive adottate.

#### 15.1.8 Stazioni di spinta intermedia

Vengono utilizzate quando l'uso della bentonite non è in grado, da solo, di garantire forze di spinta ridotte.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	65 of 85

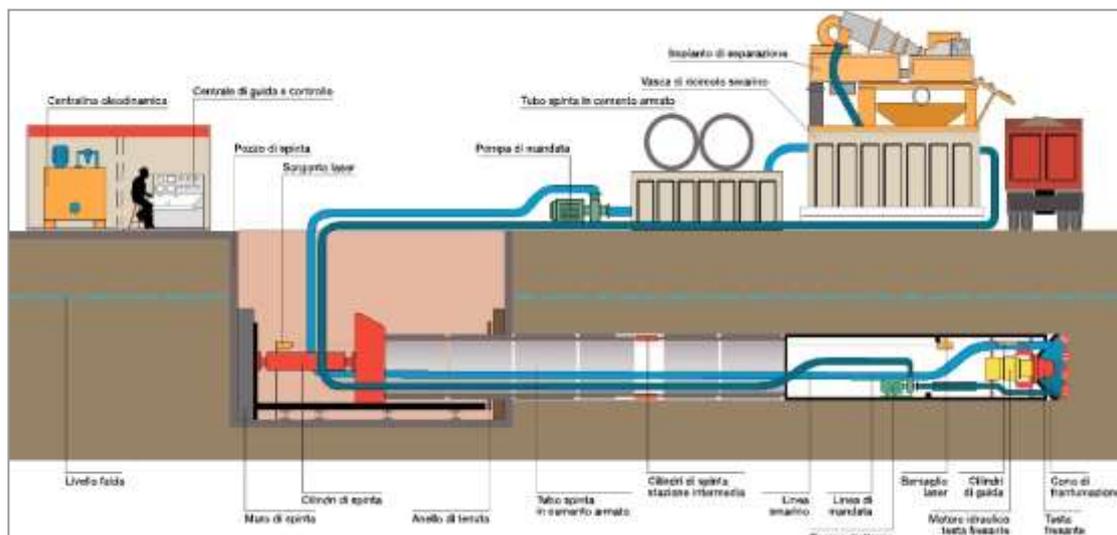


Figura 15-2- Schema di funzionamento microtunnel ad evacuazione idraulica

Il sistema consiste, come detto, nell'avanzamento progressivo di uno scudo fresante cilindrico dotato di una testa di scavo munita di appropriati utensili di scavo, posizionato 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 tramite la circolazione dello "slurry", o smerino, (acqua miscelata a bentonite e/o polimeri) all'interno della camera di scavo della TBM.

L'esatta composizione della miscela bentonitica viene tarata durante l'avanzamento, 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.

In virtù del metodo di scavo adottato, l'interferenza con le aree sottofalda, , è quindi praticamente nulla e comunque circoscritta al momento transitorio di passaggio dello scudo fresante; in condizioni operative standard per garantire la stabilità del fronte scavo durante l'avanzamento sono previsti infatti modesti delta di pressione del fluido di scavo (dell'ordine di ca. 0,1-0,3bar)

Per la realizzazione del microtunnel è previsto lo scavo di un volume nominale di terreno pari a circa 10885 m<sup>3</sup>.

## 15.2 Conci di calcestruzzo prefabbricati

I tubi prefabbricati in cemento armato saranno prodotti in conformità con la normativa A125E ATV standard (Rif.[37]). 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

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	66 of 85

- spessore t = 300 mm
- diametro interno Di = 2400 mm
- lunghezza di ogni tubo L > 2320 mm

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

I conci sono dimensionati per resistere alla spinta assiale (conferita dal sistema di avanzamento) e verificati per i carichi litostatici del terreno, sia durante le fasi di posa, sia a lungo termine, garantendo così la stabilità dell'opera nel tempo (Rif. [41]).



*Figura 15-3- 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 15-4).

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 riempire il sovrascavo ("overcut") con un fluido di lubrificazione (bentonite e/o polimeri); in questo modo si potrà lubrificare la superficie di scorrimento dei conci secondo necessità, in funzione dei parametri di scavo riscontrati durante l'avanzamento.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	67 of 85

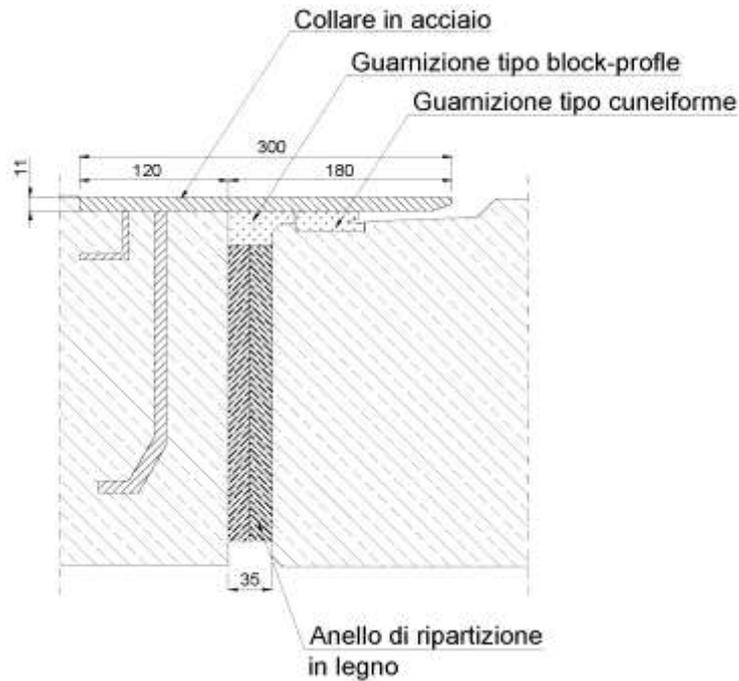


Figura 15-4: Sistema di tenuta conci in calcestruzzo

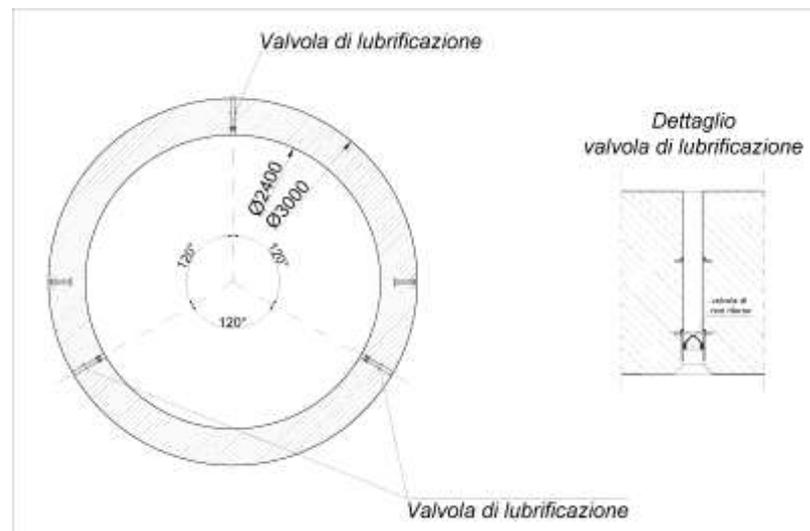


Figura 15-5: Ugelli di lubrificazione dei conci in calcestruzzo

Una volta completato lo scavo del microtunnel, potrà essere richiesta l'esecuzione di iniezioni di miscele cementizie dagli ugelli dei conci per una sigillatura completa degli eventuali interstizi residui tra concio e terreno circostante ("overcut").

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

Il metodo di scavo del microtunnel prevede l'utilizzo di una TBM con scudo chiuso ed evacuazione idraulica dello smarino, dotata di una opportuna testa di taglio di tipo misto, idonea ad operare nelle condizioni di suolo previste.

Lo scudo di perforazione, o TBM, include le seguenti attrezzature principali (Figura 15-6):

- Testa di taglio rotante;

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	68 of 85

- Motore idraulico di rotazione;
- Cono di frantumatore del terreno e Sistema di evacuazione dello smarino;
- “Air-lock”, ovvero la camera a tenuta per eventuali operazioni straordinarie che richiedono l’accesso al fronte scavo in aria compressa;
- “Sub-sea recovery unit”, o modulo di recupero a mare, per consentire il recupero della TBM a tunnel completato.

La Figura 15-6 mostra, in particolare, una macchina tipica con bilanciamento delle pressioni ed evacuazione idraulica dello smarino.

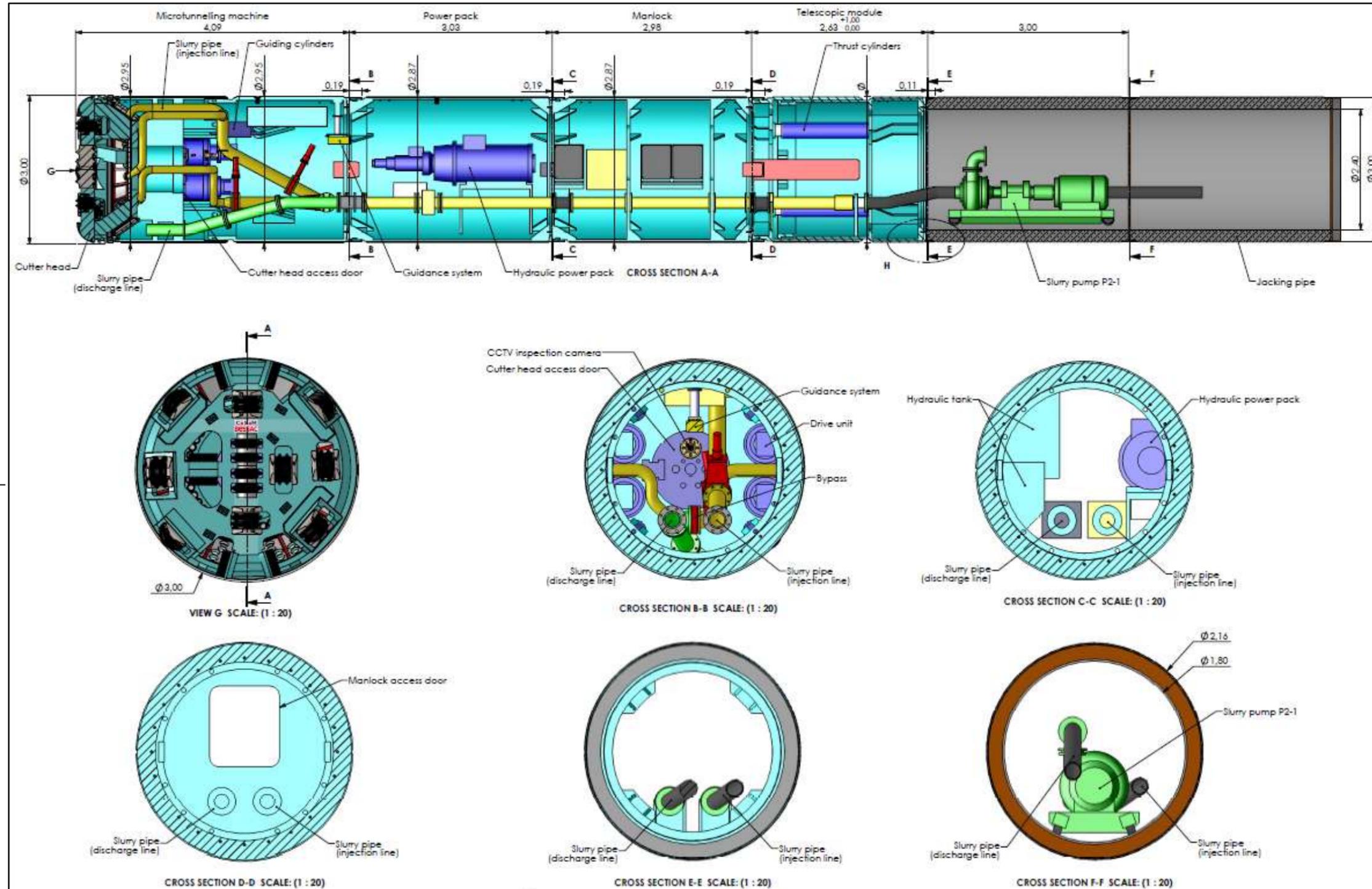


Figura 15-6- TBM per progetto TAP (schema da Fornitore internazionale)

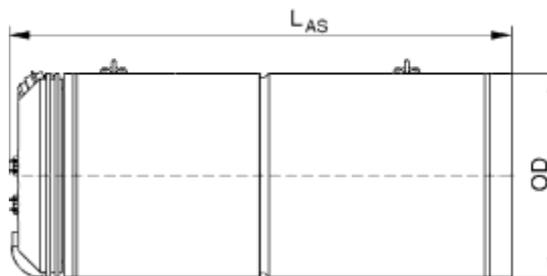
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	70 of 85

La TBM sarà calata nel fondo del pozzo per moduli successivi come indicato in Figura 15-7.



Figura 15-7- Installazione della TBM

Le caratteristiche della TBM proposta sono, indicativamente, le seguenti:



- Diametro esterno della macchina 3.030 mm
- Diametro esterno dei concetti 3.000 mm
- Diametro interno 2.400 mm
- Rotazione LH/R H (rpm 0-,8,4)
- Potenza kW 315
- Numero di cilindri di spinta alla stazione di partenza Nr 4/6
- Diametro dei condotti di circolazione fango. 150/200 mm
- Lunghezza dello scudo L<sub>AS</sub>=5,0 m
- Testa fresante di tipo misto, dotata di utensili di scavo a rulli e a denti, adatti quindi per terreni variabili da calcare a terreni sciolti;
- Possibilità di accesso al fronte di scavo in caso sia richiesta la sostituzione di utensili di scavo ("backloading system").
- Ugelli per iniezione di fluido, acqua o fanghi, a media 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 in continuo durante l'avanzamento, per mezzo del sistema di rilievo che consente di avere la visualizzazione in continuo della posizione della TBM rispetto all'asse di progetto; sulla base delle deviazioni registrate è possibile regolare i cilindri di guida della TBM per mantenere un allineamento dell'avanzamento in linea con quello di progetto.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	71 of 85

Le operazioni di guida della TBM avvengono con il controllo dei parametri di scavo, in particolare

- Potenza TBM utilizzata;
- Velocità di rotazione dello scudo;
- Velocità di avanzamento;
- Pressione e volume del fluido di mandata;
- Pressione e volume del fluido sulla linea di ritorno;
- Velocità di rotazione delle pompe di mandata ed evacuazione;
- Spinta dei martinetti sul concio in c.a.

In uno scudo fresante con bilanciamento idraulico delle pressioni, la pressione del terreno e la pressione dell'acqua al fronte di scavo possono essere mantenute stabili, regolando i parametri del circuito idraulico chiuso, con il bilanciamento della portata di mandata con la portata di ritorno.

Durante l'avanzamento, la pressione nella camera di scavo sarà tenuta da 0,1 a 0,3 bar superiore alla pressione della falda. Questa sovrappressione consentirà di mantenere stabile il fronte di scavo. La pressione nella camera di scavo sarà monitorata e registrata. Quando la pressione del fronte scenderà, la velocità di avanzamento dovrà essere aumentata e/o il flusso di ritorno dovrà essere ridotto o quello di mandata aumentato.

Durante l'avanzamento dello scavo, la TBM sarà monitorata in continuo e la posizione esatta sarà visibile all'operatore della sala controllo in tempo reale.

A questo scopo è utilizzata una "stazione totale" a puntamento laser automatico per il 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.

Il sistema di guida a puntamento 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 scavo dalla sala controllo ubicata nel cantiere all'esterno.

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

In condizioni normali le tolleranze di costruzione presso il punto di arrivo sono previste dell'ordine di +/- 300mm.

Nelle applicazioni di microtunnel con sbocco in mare, come nel caso in oggetto, posteriormente alla TMB viene prevista un'unità speciale integrativa detta "sub sea recovery unit", Figura 15-8, consistente in un'unità a tenuta ermetica con apertura stagna e passa cavi per i tubi del circuito idraulico e dei 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

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	72 of 85

TBM a fine trivellazione. Nella fase di recupero, la TBM deve rimanere pressurizzata evitando che l'acqua possa entrare all'interno.

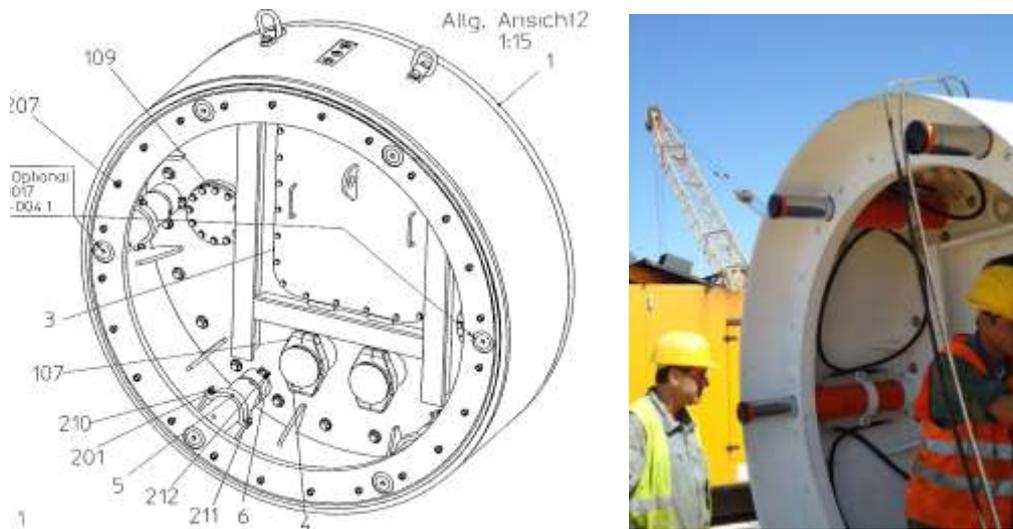


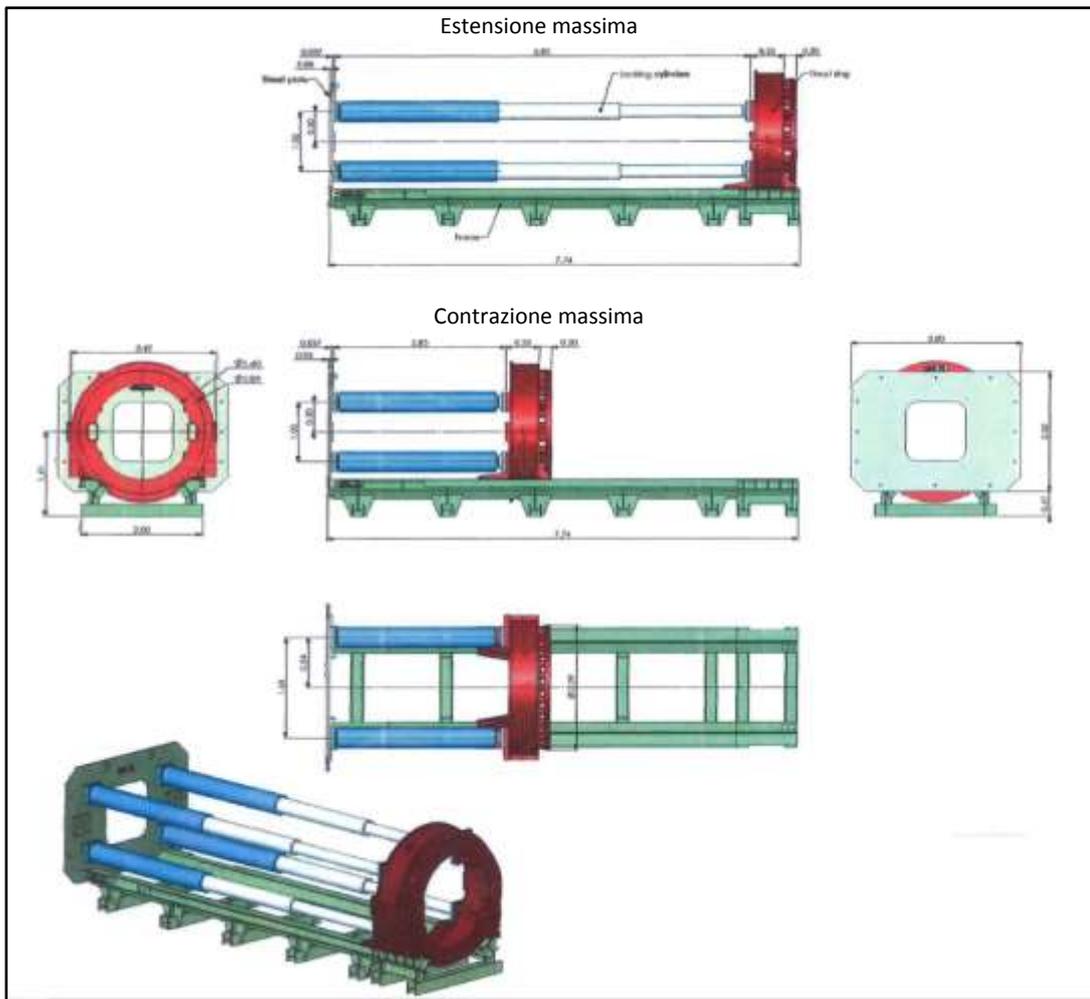
Figura 15-8- Tipico elemento "sub-sea recovery unit" posizionato dietro l'ultimo elemento della TBM

#### 15.4 Sistema di spinta dei conci in c.a.

L'operazione di avanzamento a spinta dei conci in c.a. sarà effettuata da martinetti telescopici idraulici montati tra un anello di spinta e una piastra di contrasto in acciaio (Figura 15-9). La piastra di contrasto in acciaio sarà posizionata contro il muro di spinta del pozzo, dimensionata per sopportare lo sforzo di compressione risultante.

I martinetti di spinta hanno una capacità di spinta massima di 350ton/cad e saranno installati in ragione di n°4/6 elementi, in funzione delle spinte registrate nel corso dei lavori.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	73 of 85



*Figura 15-9- Tipico sistema di spinta principale ubicato nel pozzo di spinta*

Il sistema prevede, inoltre, l'utilizzo delle stazioni di spinta intermedie (SSI). Infatti quando la lunghezza del tunnel supera i 200m ca., la spinta esercitata dai martinetti idraulici sulla tubazione può risultare insufficiente a vincere le forze di attrito laterale e la resistenza in punta agenti sulla TBM e sui conchi in c.a..

Per evitare di sovradimensionare l'unità di spinta principale e, conseguentemente, di dover incrementare eccessivamente lo spessore della tubazione, si interviene sul valore della forza necessaria per l'avanzamento, che viene diminuito agendo sul coefficiente di attrito (ridotto mediante lubrificazione dell'interfaccia tubo-terreno), e sulla lunghezza di spinta.

La lunghezza di spinta viene ridotta frazionando lo sviluppo del microtunnel in tratti di minore estensione mediante l'inserimento di una stazione di spinta intermedia ("interjack") tra due elementi di tubazione, in una o più sezioni del tunnel.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	74 of 85

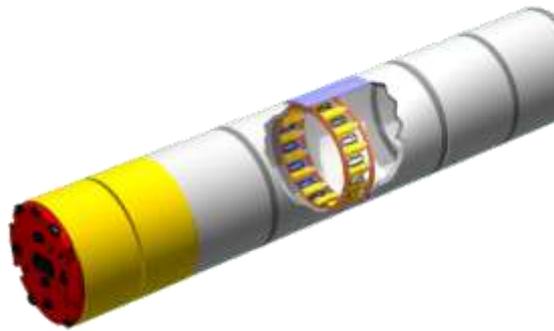


Figura 15-10- Schema di installazione stazione intermedia

Durante l'avanzamento, la stazione di spinta intermedia viene messa in funzione alternativamente alla stazione di spinta principale posta nel pozzo di spinta. Azionando i martinetti presenti in ciascun "interjack" ed usando i tubi posti dietro la stazione intermedia stessa come elemento di reazione, i tubi al fronte vengono spinti in avanti. I martinetti di spinta all'interno delle stazioni di spinta intermedie sono posizionati in maniera da distribuire uniformemente il carico sulla superficie del cono in c.a..

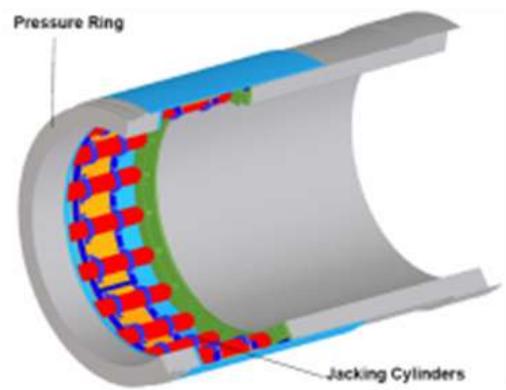


Figura 15-11- Stazione intermedia vista dall'interno e sezione schematica.

In questo modo, il carico richiesto per spingere la totale lunghezza del tunnel viene diviso in un certo numero di punti di spinta. La determinazione delle pressioni di esercizio consente di individuare numero, tipo e distanza delle stazioni intermedie. Nel caso di microtunnel con avanzamento del tubo spinto, le pressioni agenti sul sistema sono quelle rappresentate nello schema seguente.

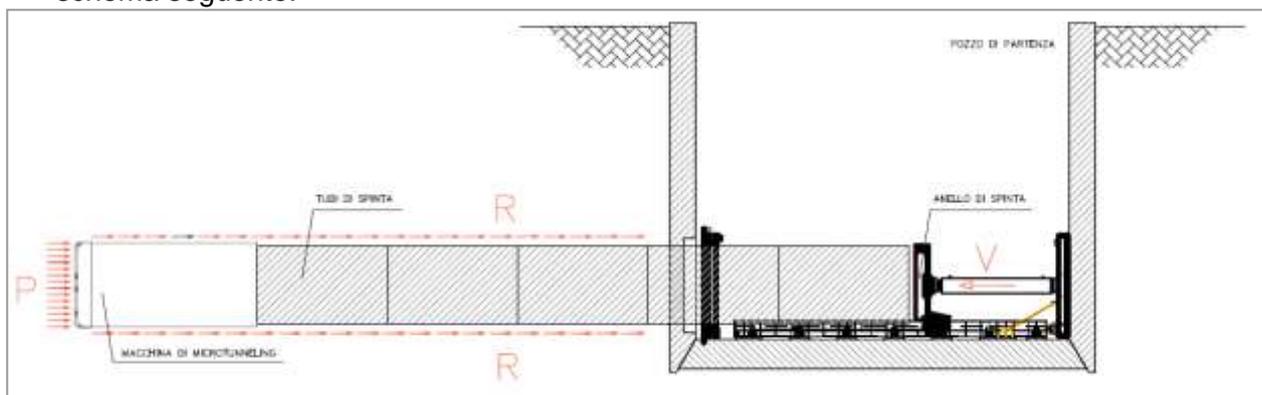


Figura 15-12- Schema delle forze assiali agenti sulla condotta microtunnel

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	75 of 85

La forza  $V$  di spinta, necessaria per imporre l'avanzamento del microtunnel durante la posa in opera dei conci in c.a., deve soddisfare la seguente relazione:

$$V \geq P + \Sigma R$$

dove:

$V$  = spinta richiesta

$P$  = resistenza in punta (di penetrazione)

$R$  = resistenza laterale (di attrito)

con:

$$P = P1 + P2$$

$P1$  = pressione di contatto terreno - testa fresante

$P2$  = pressione idraulica nella camera di evacuazione (uguaglia la spinta idrostatica sulla testa fresante)

In generale le stazioni di spinta intermedie vengono disposte mediamente ogni 100/120m. Nel caso in esame si prevede l'installazione di n.14 stazioni intermedie.

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

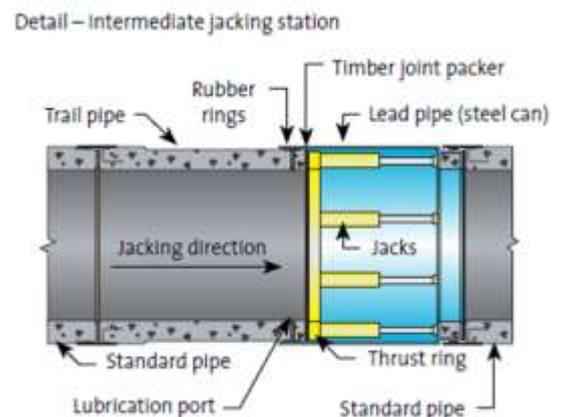


Figura 15-13- Immagine fotografica e schema (da Fornitore internazionale) di una stazione di spinta intermedia

### 15.5 Sistema di evacuazione del materiale di scavo

La miscela di acqua/bentonite viene preparata in un'area appositamente dedicata del cantiere di costruzione,

e viene pompata fino alla testa di perforazione dove raccoglie il materiale scavato e lo trasporta fino all'impianto di separazione, in un circuito chiuso.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	76 of 85

La miscela ha il compito di:

- Bilanciare la pressione sul fronte di scavo della TBM;
- Formare la pellicola di stabilizzazione sul fronte scavo impermeabilizzando lo stesso;
- Trasportare il terreno scavato in sospensione fino alla superficie all'interno dei tubi del circuito.

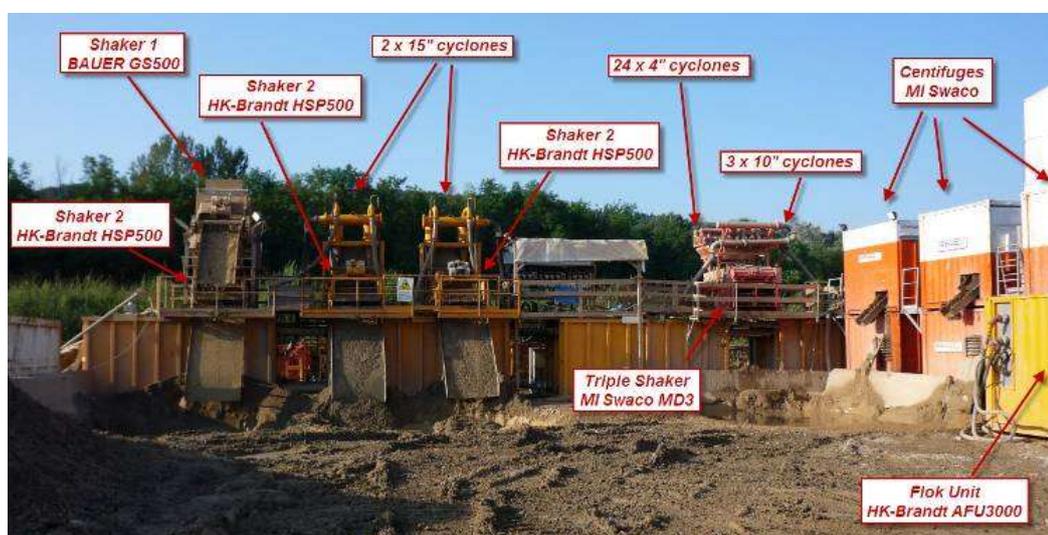
Il terreno scavato dagli utensili dello scudo fresante sarà trasportato dal fronte di scavo tramite la linea di ritorno, il cui regime di velocità e portata è tarato in modo che il materiale di scavo asportato si trovi costantemente in una sospensione nel fluido.

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

I tubi e le pompe del circuito di smarino sono in grado di garantire una velocità di flusso minima di circa 2 cm/sec, in quanto velocità di flusso più basse possono causare il deposito del materiale sospeso nei tubi e quindi il blocco della linea stessa.

La portata del circuito di evacuazione viene regolata anche in funzione della velocità massima di avanzamento della spinta.

Utilizzando vibrovagli e cicloni, le particelle più grandi di 50/60 µm saranno rimosse dallo smarino, mentre le particelle più piccole saranno separate da una centrifuga. L'unità di centrifugazione può anche essere utilizzata in combinazione con un sistema di flocculazione per rimuovere virtualmente tutti i solidi dai fanghi.



*Figura 15-14- Installazione tipica dell'impianto di separazione dello smarino*

Per il microtunnel in oggetto, viene fornita la stima dei volumi gestiti dall'impianto di separazione, basata su lavori di scavo per microtunnel di dimensioni e condizioni geologiche simili (vedi Tabella 15-1).

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	77 of 85

	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 (dissabbiatore)	100 m <sup>3</sup> /giorno
Fanghi	10-20 m <sup>3</sup> /giorno

*Tabella 15-1- Volumi tipici gestiti dall'impianto di separazione*

L'impianto di miscelazione del fluido di scavo dovrà essere dotato di:

- un'unità di miscelazione per la preparazione del fluido bentonitico,
- un dosatore automatico,
- silos di stoccaggio,
- una vasca per la maturazione ed agitazione della bentonite,
- pompe adeguate per garantire un efficiente circuito idraulico.

La bentonite sarà 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.

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.

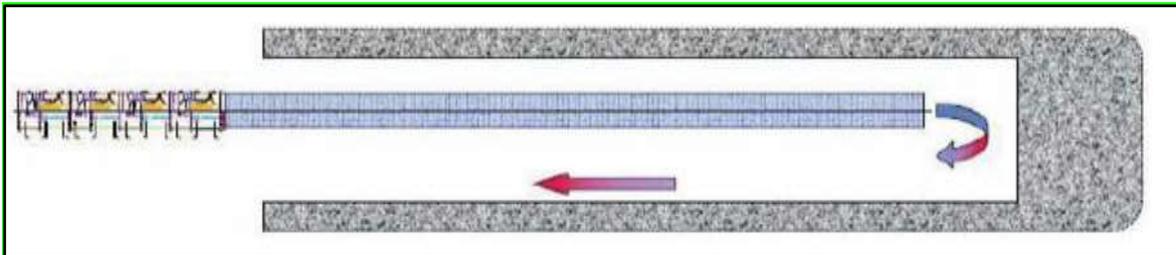
Per migliorare le proprietà della miscela di bentonite, possono essere aggiunti dei polimeri, il cui utilizzo sia compatibile con le normative vigenti sulla tutela dell'ambiente dai prodotti inquinanti.

## **15.6 Sistemi di ventilazione per il microtunnel**

Le macchine presenti all'interno della TBM sono tutte di tipo elettrico ed il personale opera in modo limitato all'interno del tunnel. Sulla base di esperienze simili la qualità dell'aria è sufficiente e normalmente non è necessario un sistema di ventilazione dedicato. Ciò nonostante, il personale operante sarà dotato di rilevatori portatili della qualità dell'aria e, nel caso si riscontrassero bassi livelli di ossigeno, si prevede di azionare un sistema di ventilazione.

Il sistema comprenderà una ventilazione principale, che fornisce aria fresca dalla superficie alla parte posteriore della TBM ed una aspirazione secondaria, che preleva l'aria nella parte anteriore della TBM per portarla a valle della linea principale.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	78 of 85



*Figura 15-15- 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.

### **15.7 Sistema di illuminazione e telecomunicazione**

L'illuminazione del microtunnel sarà realizzata con lampade fluorescenti, circa 36W ciascuna, poste a intervalli di 25m circa. Queste lampade forniranno abbastanza luce per il passaggio del personale ed, in caso di lavori puntuali, l'illuminazione sarà integrata localmente.

Un cavo di telecomunicazione ausiliario sarà ubicato all'interno del microtunnel; telefoni saranno disponibili in corrispondenza delle stazioni intermedie.

### **15.8 Sigillatura e levigatura della superficie interna del tunnel**

Non appena completata lo scavo del microtunnel, tutte le attrezzature interne al microtunnel quali pompe, tubi smarino, martinetti interjack ed i cavi di alimentazione dovranno essere rimossi per liberare il microtunnel per le fasi successive di installazione del tubo finale per mezzo di operazioni di tiro.

Dovrà essere eseguito un rilievo topografico "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 microtunnel con una malta di calcestruzzo ad alta resistenza, in modo da ottenere una superficie interna del tunnel perfettamente continua, atta ad evitare "piccoli gradini" tra i giunti; inoltre il lavoro di sigillatura offrirà un'ulteriore garanzia contro possibili fenomeni di filtrazione.

### **15.9 Installazione del cavo messaggero**

Un cavo messaggero (o messaggera) verrà posato nel microtunnel, fino alla uscita lato mare del microtunnel per le future operazioni di tiro della condotta all'interno del microtunnel (installazione del cavo di tiro e operazioni di tiro della condotta). La posa avverrà prima delle operazioni di allagamento del microtunnel..

### **15.10 Allagamento tunnel e recupero TBM**

Una volta completata la costruzione del microtunnel, è necessario recuperare la TBM (Rif. [40]).

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	79 of 85

Il recupero della testa fresante 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 lo scavo 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.

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 7-4) 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 "subsea recovery unit", dietro la TBM (vedi Figura 15-8) 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.

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.

La procedura di scavo soddisferà i seguenti requisiti:

- il materiale di scavo sarà rimosso e temporaneamente accantonato a bordo di mezzi navali dedicati, in modo da evitare danni alle adiacenti praterie di Posidonia e Cymodocea e ridurre l'intorbidamento dell'acqua;
- la conformazione del fondale sarà ripristinata al termine dei lavori con materiale precedentemente scavato della trincea limitando la diffusione dei sedimenti nell'acqua circostante.

Al fine di limitare eventuali impatti diretti sulla zona interessata dalla presenza di Cymodocea, verrà impiegata la nave multiuso operante con posizionamento dinamico DP2 "Adhémar de Saint" (o equivalente). Inoltre, durante la fase di palificazione verranno usate le seguenti attrezzature:

- Gru cingolata da circa 150 t a cui verrà installato il martello vibrante PTC60HFV (o equivalente) e relativo generatore
- Attrezzature per taglio a torcia e saldatrici
- Dima per posizionamento palancole
- Pali di sostegno temporaneo per dima di posizionamento (King piles)

Il recupero della TBM comporterà la rimozione della sabbia nel suo intorno. I mezzi utilizzati per tale operazione saranno coadiuvati da sommozzatori specializzati (Figura 15-16).

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	80 of 85



*Figura 15-16- TBM allo sbocco in seguito alla rimozione del deposito marino.*

Il riempimento con acqua di mare del microtunnel che verrà allagato gradualmente fino al pozzo di spinta si consentirà di evitare una pressione differenziale tra la parte anteriore e posteriore della TBM durante la fase di recupero della TBM.

#### **15.11 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 microtunnel, può rappresentare un aspetto critico, a causa della possibilità di urti tra le pareti e il rivestimento all'ingresso del microtunnel; 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 15-17, per facilitare le operazioni di tiro della condotta dalla trincea a mare di fronte al microtunnel all'interno del microtunnel stesso.

L'installazione del raccordo bell mouth è eseguita e guidata con l'aiuto di sommozzatori specializzati.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	81 of 85

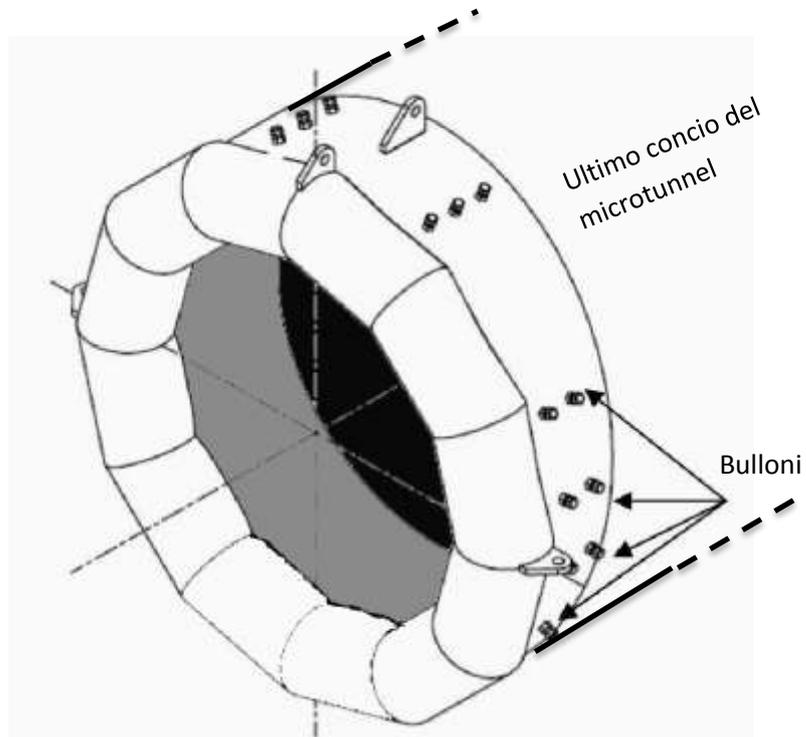
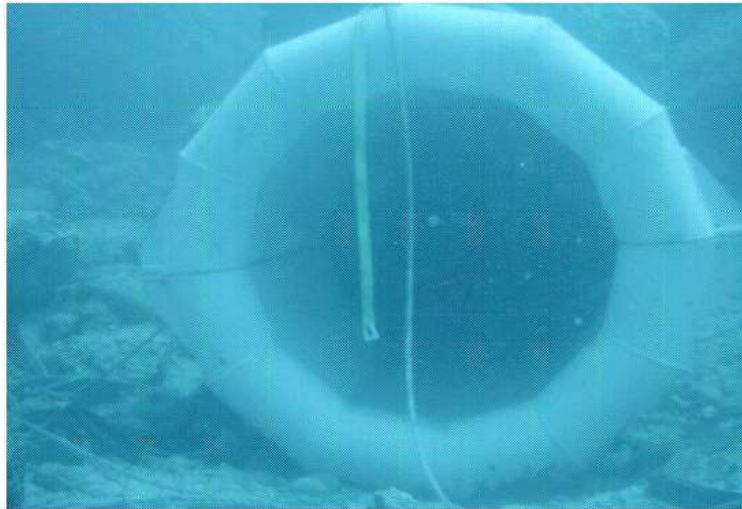


Figura 15-17- Tipico schema di un raccordo di entrata (bell mouth).

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	82 of 85

## 15.12 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 con una grata e infine ulteriormente coperto sul lato esterno da uno strato di sabbia spesso circa 4 metri.

La prima operazione di riempimento verrà eseguita dopo il tiro a terra della condotta e del cavo a fibra ottica. La trincea sarà parzialmente riempita con materiale ghiaioso in modo da ottenere una copertura della parte superiore del gasdotto di circa 1 metro. Per questa operazione verrà utilizzata una nave per installazione di roccia con tubo di caduta (FPV).

La seconda parte del riempimento sarà fatta dopo il collaudo del gasdotto. La trincea scavata verrà completamente riempita con terreno precedentemente scavato. Per questa operazione verrà utilizzata una nave per installazione di ghiaia con tubo di caduta (FPV).

Tra la prima e la seconda fase del riempimento sarà effettuata l'installazione dei sacchi di sabbia all'uscita a mare del microtunnel. Lo scopo dell'installazione dei sacchi di sabbia è quello di chiudere l'uscita a mare del microtunnel.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	83 of 85

## 16 PROGRAMMA LAVORI

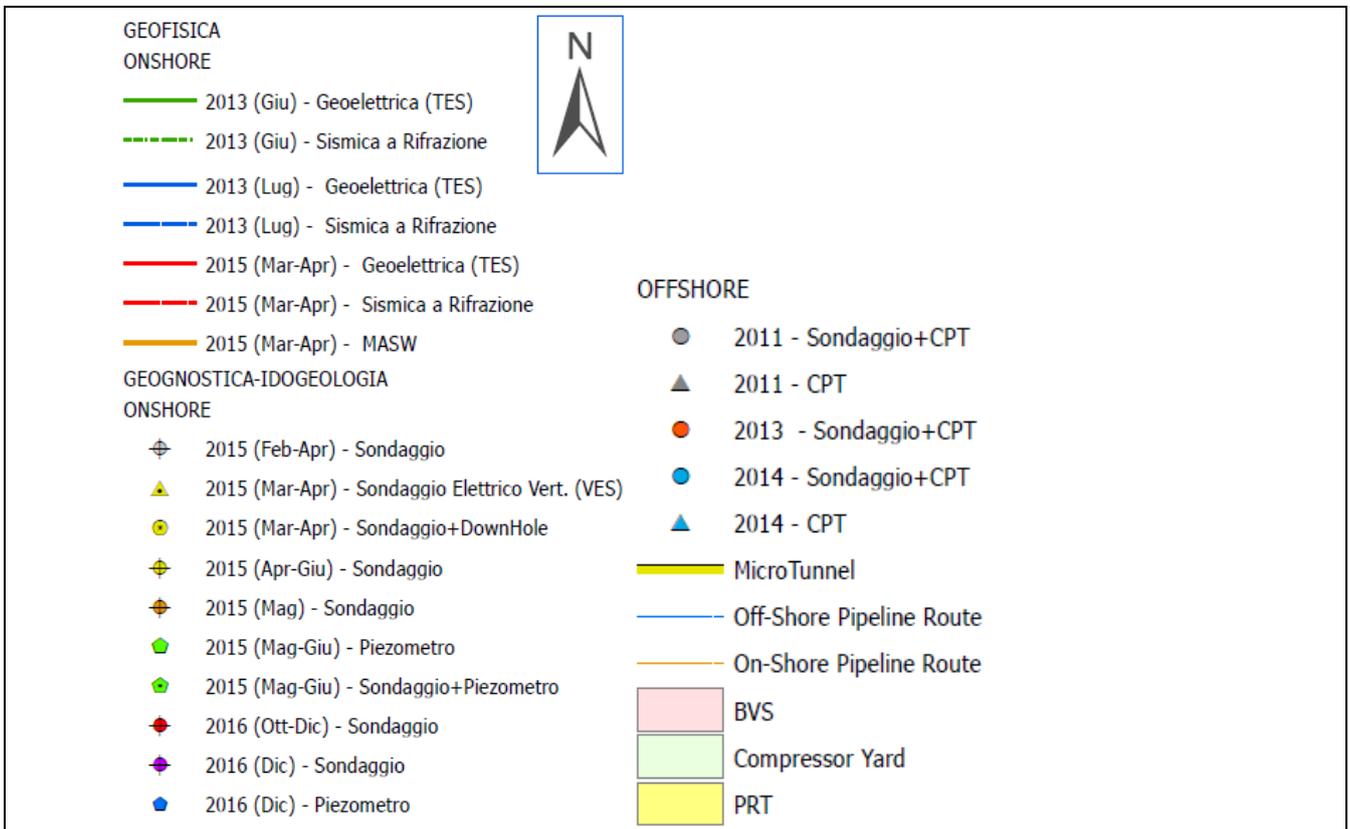
Viene qui di seguito riportato il programma indicativo dei lavori di costruzione del microtunnel (Tabella 16-1).

FASE	DURATA PREVISTA
Mobilizzazione	70 giorni
Preparazione area cantiere	110 giorni
Costruzione Pozzo di spinta	60 giorni
Periodo di sospensione lavori (stagione estiva)	120 giorni
Costruzione microtunnel	240 giorni

*Tabella 16-1: 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.

## 17 APPENDICE 1 – sommario delle indagini geofisiche, geognostiche ed idrogeologiche nell'area interessata dalla realizzazione del microtunnel



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-Q-TRX-0001</b>	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	<b>Progetto costruttivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	85 of 85

## 18 REGISTRO DELLE REVISIONI

Rev.	Data	Descrizione
IR	10/01/2017	Emissione per Revisione Interna
1	11/01/2017	Emissione per Costruzione