



Trans Adriatic
Pipeline

TAP AG Project Title / Facility Name:

Trans Adriatic Pipeline Project

Document Title:

Studio Idrogeologico e Monitoraggio Piezometrico (Prescrizione A.20)

Revisionato dove indicato

Rev.	Revision Date (dd-mm-yyyy)	Reason for issue and Abbreviation		Prepared by	Checked by	Approved by
1	12-01-2017	Emesso per Informazione	IFI	D. Sartirana	L. Bertolè	D. Strippoli
0	25-11-2015	Emesso per Informazione	IFI	M. Rusmini	L. Bertolè	D. Strippoli
A	23-11-2015	Emesso per Revisione	IFR	M. Rusmini	L. Bertolè	D. Strippoli

	Contractor Name:	ERM Italia S.p.A.
	Contractor Project No.:	0360462
	Contractor Doc. No.:	n.a.
	Tag No's.:	

TAP AG Contract No.:C533	Project No.:
--------------------------	--------------

PO No.:	Page: 1 of 21
---------	---------------

TAP AG Document No.:
IAL00-ERM-643-Y-TAE-1039

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IAL00-ERM-643-Y-TAE-1039	Rev. No.:	1
 ERM	Doc. Title:	Studio Idrogeologico e Monitoraggio Piezometrico (Prescrizione A.20)	Page:	2 of 21

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	3
2. APPROFONDIMENTO DEL QUADRO IDROGEOLOGICO.....	4
2.1 Caratteristiche costruttive del microtunnel	4
2.2 Approccio metodologico.....	4
2.3 Attività di Campo	5
2.4 Risultati	8
3. ATTIVITA' INTEGRATIVE PER LA DEFINIZIONE DELLA PIEZOMETRIA DELLA FALDA.....	12
3.1 Realizzazione di tre nuovi piezometri.....	12
3.2 Nuovo single point dilution test	13
4. PIANO DI MONITORAGGIO PIEZOMETRICO.....	14
4.1 Piano di Monitoraggio della Falda (Piezometria) Area onshore del Microtunnel	14
4.2 Sintesi dei risultati del monitoraggio Ante Operam della Falda (Piezometria) – Area onshore del Microtunnel	16
5. PIANO DI MONITORAGGIO DELLE SORGENTI.....	17
5.1 Piano di Monitoraggio delle Acque Superficiali – Area onshore del Microtunnel.....	18
6. CONCLUSIONI.....	20

Appendici:

Appendice 1 - Carta delle Isofreatiche

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IAL00-ERM-643-Y-TAE-1039	Rev. No.:	1
 ERM	Doc. Title:	Studio Idrogeologico e Monitoraggio Piezometrico (Prescrizione A.20)	Page:	3 of 21

1. INTRODUZIONE

Il presente documento è stato redatto al fine di ottemperare la prescrizione A.20 contenuta nel decreto di compatibilità ambientale del progetto (D.M. 223 del 11/09/2014) di cui qui di seguito si riporta un estratto con la prescrizione in oggetto:

A.20 Sempre in relazione all'ambiente idrico nell'intera area di cantiere del microtunnel, e con particolare riferimento all'area della Palude di Cassano e dell'impianto di fitodepurazione del Comune di Melendugno, in fase di progettazione esecutiva del microtunnel, dovranno essere condotte accurate indagini geofisiche di dettaglio atte a definire il quadro particolareggiato della falda idrica, tenuto conto dell'attuale incertezza circa la conformazione e variabilità morfologica e strutturale dei luoghi, unitamente alle caratteristiche litostratigrafiche e idrogeologiche, che non consentono di definire una piezometrica omogeneamente distribuita. Sulla base degli esiti dello studio dovrà essere predisposto uno specifico piano di monitoraggio (ante, durante e post-operam), da definire in accordo con le autorità competenti, sulle sorgenti presenti lungo il tracciato e potenzialmente interessate dai lavori previsti per la realizzazione del microtunnel.

La prescrizione A20 richiede quindi sostanzialmente:

- un approfondimento degli studi idrogeologici finalizzato a definire il quadro particolareggiato della piezometria della falda, con particolare riferimento alle eventuali interferenze del microtunnel con la falda stessa e alla presenza della Palude di Cassano e dell'impianto di fitodepurazione;
- un piano di monitoraggio delle sorgenti presenti lungo il tracciato e potenzialmente interferite dalle attività di realizzazione del microtunnel.

In relazione all'approfondimento del quadro idrogeologico, il presente documento riporta una sintesi dello Studio Idrogeologico effettuato dal Proponente, nella versione aggiornata con simulazioni numeriche aggiuntive basate su ulteriori test e misurazioni del livello della falda effettuate nel 2016 (Rif: *Approdo italiano - Potenziale interferenza del microtunnel sull'assetto idrogeologico locale – OPL00-SPF-200-G-TRX-0019 rev.03*).

Ai fini di una definizione maggiormente particolareggiata della piezometria della falda, è stata inoltre integrata la rete di monitoraggio delle acque sotterranee con la realizzazione di tre nuovi piezometri ed è stato effettuato un nuovo “single point dilution test”, a profondità maggiori rispetto a quello eseguito precedentemente.

In merito alle attività previste per la definizione dettagliata della piezometria della falda viene inoltre riportato, per completezza, il Piano di Monitoraggio Piezometrico della falda ante, durante e post operam delle aree potenzialmente interferite dalle attività di progetto nell'area del microtunnel, incluso nel *Progetto di Monitoraggio Ambientale* (doc n° IAL00-ERM-643-Y-TAE-1028 rev.6 trasmesso all'Autorità competente nel gennaio 2017, di seguito indicato come PMA).

In relazione al Piano di Monitoraggio delle Sorgenti, si rimanda a quanto discusso nel Capitolo 4 e al piano di monitoraggio delle Acque Superficiali incluso nel PMA.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IAL00-ERM-643-Y-TAE-1039	Rev. No.:	1
 ERM	Doc. Title:	Studio Idrogeologico e Monitoraggio Piezometrico (Prescrizione A.20)	Page:	4 of 21

2. APPROFONDIMENTO DEL QUADRO IDROGEOLOGICO

In relazione all'approfondimento del quadro idrogeologico e in particolare alle eventuali interferenze del microtunnel con la piezometria della falda, si presenta di seguito una sintesi del documento “*Approdo Italiano – Potenziale interferenza del microtunnel sull’assetto idrogeologico locale*” predisposto da TAP (doc. n.° OPL00 SPF 200 G TRX 0019 rev.03), incluso nel pacchetto documentale trasmesso alle Autorità per rispondere alla prescrizione A20.

Lo studio è finalizzato a valutare, per mezzo di simulazioni 3D, l’influenza esercitata dal pozzo di spinta/microtunnel sul deflusso idrico sotterraneo.

Il modello concettuale della simulazione numerica in 3D delle acque di falda è basato sui dati relativi all’assetto idrogeologico regionale e locale desunti dalla bibliografia disponibile in merito alla geologia e all'idrogeologia dell'area e dalle attività di campo eseguite da TAP lungo il percorso della condotta onshore e nell’area di approdo.

2.1 Caratteristiche costruttive del microtunnel

Le operazioni di costruzione del microtunnel prevedono la realizzazione del pozzo di spinta, una struttura temporanea, funzionale all’esecuzione delle attività di micro-tunnelling, al tiro della condotta ed alle attività di collaudo idraulico, che al termine dei lavori sarà parzialmente demolita e completamente riempita. Il progetto del pozzo di spinta prevede una struttura impermeabile realizzata con diaframmi costruiti mediante pali secanti e tappo di fondo ottenuto mediante jet-grouting. Tale metodologia è in grado di garantire la completa tenuta all’acqua.

Anche il microtunnel sarà completamente impermeabilizzato durante tutte le sue fasi costruttive adottando una postazione di trivellazione a tenuta idraulica, una fresa “a bilanciamento” delle pressioni idrostatiche esterne e giunti di tenuta idraulica tra gli elementi tubolari posati.

La struttura del microtunnel sarà quindi completamente impermeabile sia durante la sua costruzione (ossia durante lo scavo del pozzo), sia durante lo svolgimento delle successive operazioni costruttive. Non sarà pertanto necessario l’emungimento della falda.

2.2 Approccio metodologico

Lo studio è stato eseguito attraverso la seguente metodologia:

- *Attività 1: Valutazione delle indagini in sito*, finalizzata a determinare l'assetto idrogeologico esistente nei pressi dell'area del microtunnel/pozzo di spinta e a caratterizzare la conducibilità idraulica della falda acquifera. Questa fase ha incluso la revisione della letteratura esistente e delle attività di campo svolte da TAP e la conseguente definizione del modello concettuale del sistema idrogeologico;
- *Attività 2: Valutazione della risposta del suolo*, finalizzata a determinare la deviazione del flusso idrico sotterraneo attorno al pozzo. L’attività ha compreso la quantificazione dei parametri idrodinamici del sistema idrogeologico per l’implementazione di un nuovo modello 3D, e l’analisi di sensitività e simulazione numerica tramite il codice di modellazione 3D.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IAL00-ERM-643-Y-TAE-1039	Rev. No.:	1
 ERM	Doc. Title:	Studio Idrogeologico e Monitoraggio Piezometrico (Prescrizione A.20)	Page:	5 of 21

2.3 Attività di Campo

Nell'area di progetto (tratto onshore e approdo, compreso il sito del microtunnel), il Proponente ha provveduto ad eseguire indagini geologiche e idrogeologiche e relativi rilevamenti geotecnici e geofisici. Da Luglio 2013 a oggi sono state effettuate le seguenti indagini geofisiche, geologiche – geotecniche e idrogeologiche:

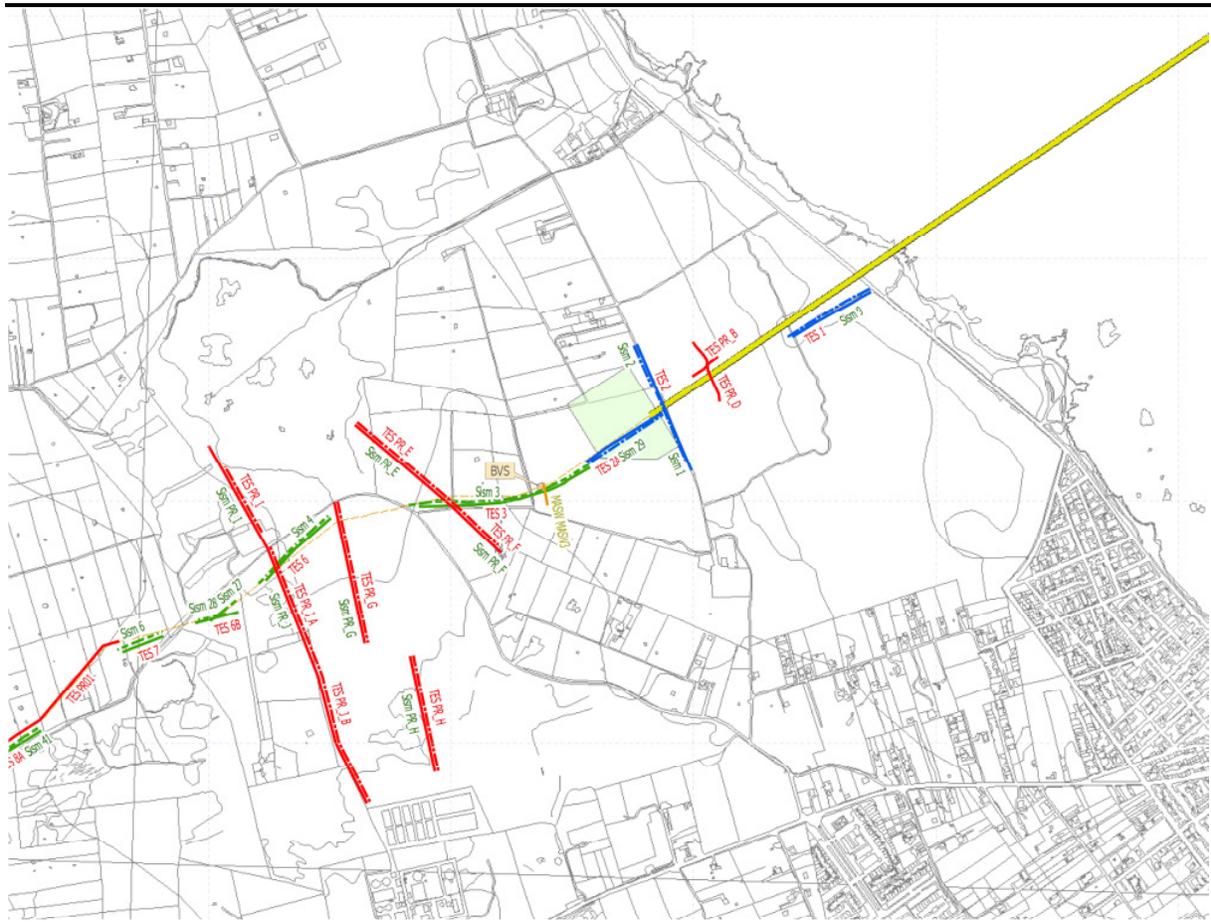
- indagini geofisiche: Tomografia a resistività elettrica (Imaging ERT - Electrical Resistivity Tomography) e Sismica a rifrazione;
- indagini geologiche e geotecniche: sondaggi geognostici, raccolta di campioni e prove in situ);
- indagini idrogeologiche: realizzazione di piezometri, prove di permeabilità in foro (prove di tipo Lefranc e Lugeon), misure piezometriche, ricostruzione della geometria dell'acquifero superficiale e della direzione di flusso delle acque di falda.

Le indagini geofisiche sono state realizzate mediante due campagne effettuate nel 2013 e nel 2015. Entrambe sono state condotte con due tecniche differenti: l'imaging ERT, ovvero la tomografia a resistività elettrica, e la sismica a rifrazione, abitualmente utilizzate in combinazione per consentire la conferma incrociata dei risultati.

La seguente Figura riporta l'ubicazione delle indagini geofisiche effettuate nell'area di approdo.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.: IAL00-ERM-643-Y-TAE-1039	Rev. No.: 1
 ERM	Doc. Title: Studio Idrogeologico e Monitoraggio Piezometrico (Prescrizione A.20)	Page: 6 of 21

Figura 2.1 Ubicazione indagini geofisiche nell'area di approdo



**GEOFISICA
ONSHORE**

- 2013 (Giu) - Geoelettrica (TES)
- - - 2013 (Giu) - Sismica a Rifrazione
- 2013 (Lug) - Geoelettrica (TES)
- - - 2013 (Lug) - Sismica a Rifrazione
- 2015 (Mar-Apr) - Geoelettrica (TES)
- - - 2015 (Mar-Apr) - Sismica a Rifrazione
- 2015 (Mar-Apr) - MASW

Fonte: SAIPEM 2017

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IAL00-ERM-643-Y-TAE-1039	Rev. No.:	1
 ERM	Doc. Title:	Studio Idrogeologico e Monitoraggio Piezometrico (Prescrizione A.20)	Page:	7 of 21

Le indagini geologiche - geotecniche nell'area del microtunnel e della condotta sono state effettuate nel periodo Aprile - Giugno 2015, attraverso 24 sondaggi geognostici. I sondaggi sono stati realizzati con la tecnica del carotaggio continuo con un diametro della carota di 101 mm. Durante la trivellazione sono stati eseguiti test SPT (Standard Penetration Test - Prova penetrometrica dinamica) e sono stati raccolti campioni indisturbati per l'analisi granulometrica e per la determinazione del peso di volume, del contenuto di acqua, dei limiti di Atterberg, della permeabilità (tramite prova edometrica).

Un'ulteriore campagna di indagini geognostiche è stata effettuata lungo il gasdotto a terra nel mese di Dicembre 2016 nelle aree in cui erano state individuate anomalie di tipo geofisico potenzialmente ascrivibili a fenomenologie carsiche sotterranee, non già investigate con i sondaggi eseguiti nella precedente campagna di indagine. Sono stati eseguiti n° 15 sondaggi geognostici, di profondità compresa fra 10 e 20 m dal p.c. Durante l'esecuzione dei sondaggi, in corrispondenza di particolari orizzonti litologici sono state eseguite prove SPT. I sondaggi eseguiti non hanno evidenziato fenomenologie carsiche ascrivibili a vuoti o cavità sotterranee di rilievo. Soltanto nel sondaggio NBH12 sono state riscontrate modeste vacuolarità nell'ambito delle calcareniti bioclastiche, a profondità tali da non interferire con la trincea della condotta.

Infine, per quanto riguarda l'area del microtunnel, è stato effettuato sempre nel mese di Dicembre 2016 un'ulteriore indagine geotecnica consistita nell'esecuzione del sondaggio ST-BH3 a seguito del quale non sono state rilevate fratture o cavità assimilabili a carsismo o a fenomeni di sinkholes.

Le indagini idrogeologiche sono state effettuate nel 2015 mediante la realizzazione di cinque piezometri (Piezo 2, Piezo 3, Piezo 4, Piezo 5, Piezo 6) a profondità di 10 m, fessurati sino a fondo foro.

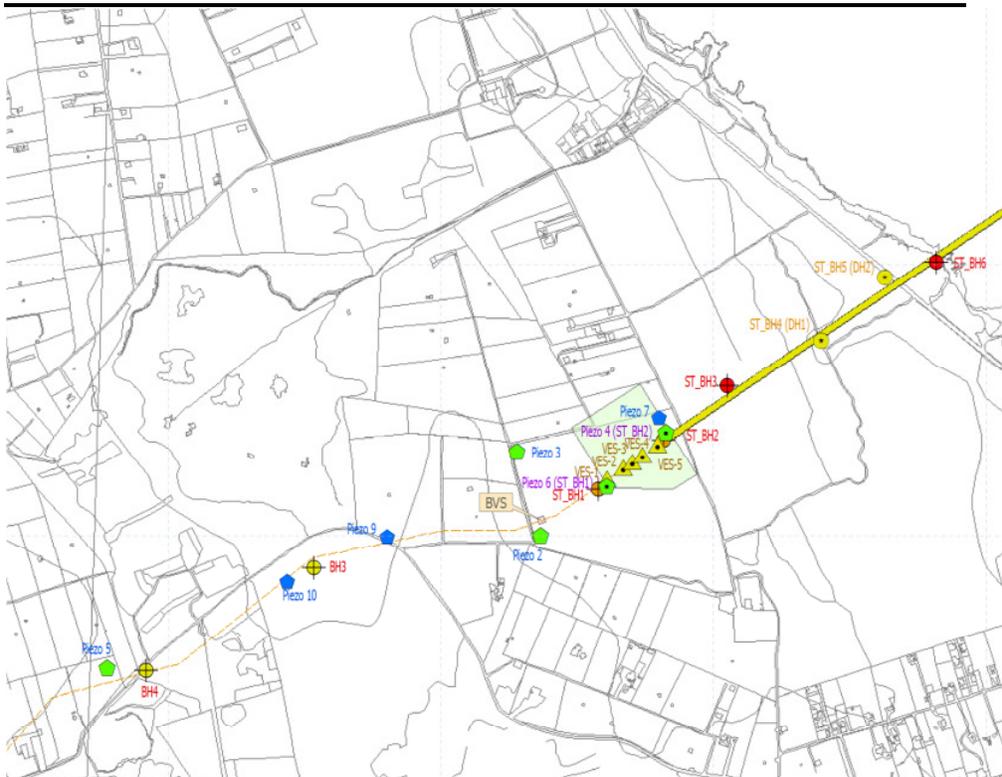
Nel mese di Marzo 2016 è stato inoltre eseguito un "single point dilution test" in corrispondenza del piezometro Piezo 4 al fine di determinare la velocità effettiva di filtrazione mediante la costruzione di profili verticali di velocità, definiti tramite misura della diluizione nel tempo di un tracciante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

Nel mese di Dicembre 2016 sono stati realizzati ulteriori tre piezometri uno nell'area del microtunnel, denominato Piezo 7, e due nell'area della condotta, immediatamente a sud della Palude di Casano, denominati Piezo 9 e Piezo 10. In corrispondenza del Piezo 7 è stato inoltre eseguito un nuovo "single point dilution test" al fine di determinare la velocità effettiva di filtrazione a profondità maggiori rispetto a quanto effettuato nel Piezo 4.

La seguente Figura riporta l'ubicazione dei sondaggi geognostici e dei piezometri realizzati nell'area di approdo.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IAL00-ERM-643-Y-TAE-1039	Rev. No.:	1
 ERM	Doc. Title:	Studio Idrogeologico e Monitoraggio Piezometrico (Prescrizione A.20)	Page:	8 of 21

Figura 2.2 Ubicazione sondaggi geognostici e piezometri nell'area di approdo



GEOGNOSTICA-IDROGEOLOGIA
ONSHORE

- ⊕ 2015 (Feb-Apr) - Sondaggio
- ▲ 2015 (Mar-Apr) - Sondaggio Elettrico Vert. (VES)
- 2015 (Mar-Apr) - Sondaggio+DownHole
- ⊕ 2015 (Apr-Giu) - Sondaggio
- ⊕ 2015 (Mag) - Sondaggio
- 2015 (Mag-Giu) - Piezometro
- 2015 (Mag-Giu) - Sondaggio+Piezometro
- ◆ 2016 (Ott-Dic) - Sondaggio
- ◆ 2016 (Dic) - Sondaggio
- 2016 (Dic) - Piezometro

Fonte: Saipem, 2016

2.4 Risultati

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.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IAL00-ERM-643-Y-TAE-1039	Rev. No.:	1
 ERM	Doc. Title:	Studio Idrogeologico e Monitoraggio Piezometrico (Prescrizione A.20)	Page:	9 of 21

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 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).

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.

Le simulazioni numeriche 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).

E' stato assunto un valore di porosità efficace dell'ordine del 35-40%. I livelli idrici misurati nei cinque piezometri installati durante l'attività sul campo indicano che la soggiacenza della falda varia da 2,3 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 Danish Hydraulic 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.

Lo scenario di 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* dell'ordine di ± 10 cm.

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

La seguente tabella sinottica (*Tabella 2.1*) riassume le ipotesi e i risultati delle analisi di sensibilità eseguite.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IAL00-ERM-643-Y-TAE-1039	Rev. No.:	1
	Doc. Title:	Studio Idrogeologico e Monitoraggio Piezometrico (Prescrizione A.20)	Page:	10 of 21

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

Gli scenari 4, 5 e 6 simulano l'assenza di interazioni dirette tra la palude di Cassano e le acque di falda, rimuovendo la condizione di “*seepage face*”. In tali casi la superficie piezometrica è libera di evolversi.

Tabella 2.1 Tabella sinottica di ipotesi e risultati - Scenari 1-6

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

Fonte: Saipem, 2016

Ai fini dell'approfondimento del quadro idrogeologico sono stati simulati due scenari integrativi riferiti al caso con conducibilità idraulica pari a 1 E-3 m/s (Scenari 7 e 8), sulla base di nuovi dati di campo ottenuti con le campagne di misura effettuate nei mesi di Dicembre 2015-Aprile 2016. In particolare, per la calibrazione del modello numerico di flusso negli scenari integrativi è stata utilizzata la piezometria misurata a Marzo 2016, in quanto presentava i livelli più alti dell'intera serie storica.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IAL00-ERM-643-Y-TAE-1039	Rev. No.:	1
 ERM	Doc. Title:	Studio Idrogeologico e Monitoraggio Piezometrico (Prescrizione A.20)	Page:	11 of 21

I due scenari integrativi includono l'esplicito inserimento del tracciato tridimensionale del pozzo di spinta e del microtunnel all'interno del modello di flusso, al fine di verificare l'assunzione effettuata negli scenari precedenti che non considerano l'effettiva presenza del microtunnel assumendo che tale struttura, per le sue dimensioni limitate (diametro massimo pari a 3 metri) e l'orientamento sub-parallelo rispetto alle linee di flusso, non costituisca una barriera trasversale al naturale deflusso della falda.

Gli scenari integrativi forniscono risultati analoghi ai precedenti scenari, mostrando modifiche trascurabili alla piezometria dell'area, con variazioni dell'altezza piezometrica effettiva ante-operam e post-operam dell'ordine di ± 10 cm, e confermano quindi l'effettiva assenza di interferenze significative tra il microtunnel e la falda.

La seguente tabella sinottica (*Tabella 2.2*) riassume le ipotesi ed i risultati per gli scenari integrativi 7 ed 8.

Tabella 2.2 Tabella sinottica di ipotesi e risultati - Scenari integrativi 7 e 8

<i>Scenario</i>	<i>Conducibilità idraulica [m/s]</i>	<i>Condizioni al contorno</i>	<i>Variazioni dell'altezza piezometrica effettiva tra le condizioni ante-operam e quelle post-operam</i>
Scenario 7	1E-3	Carico piezometrico imposto lungo la linea di costa e lungo il confine di monte. Condizione di <i>seepage face</i> imposta per la palude di Cassano e per i nodi del canale di drenaggio	± 10 cm
Scenario 8	1E-3	Carico piezometrico imposto lungo la linea di costa e lungo il confine di monte. Nessuna condizione imposta per la palude di Cassano o per i nodi del canale di drenaggio	± 10 cm

Fonte: Saipem, 2016

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.: IAL00-ERM-643-Y-TAE-1039	Rev. No.: 1
 ERM	Doc. Title: Studio Idrogeologico e Monitoraggio Piezometrico (Prescrizione A.20)	Page: 12 of 21

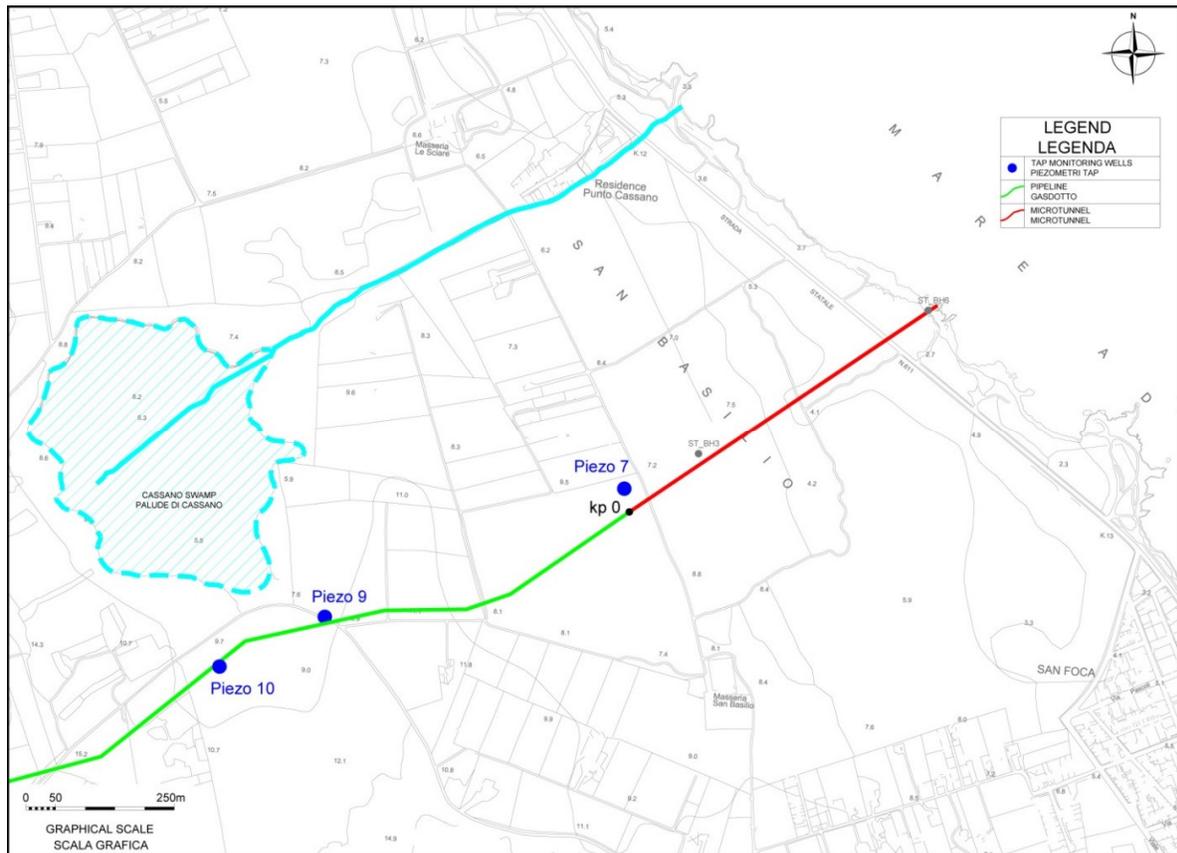
3. ATTIVITA' INTEGRATIVE PER LA DEFINIZIONE DELLA PIEZOMETRIA DELLA FALDA

3.1 Realizzazione di tre nuovi piezometri

Come anticipato nel precedente capitolo, nell'ambito delle attività di approfondimento finalizzate a definire il quadro particolareggiato della falda idrica, la rete di monitoraggio delle acque sotterranee è stata integrata con la realizzazione di ulteriori 3 piezometri di monitoraggio: 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.

L'ubicazione dei tre nuovi piezometri viene riportata in *Figura 3.1*.

Figura 3.1 Ubicazione dei tre nuovi piezometri



Fonte: AECOM URS, 2016

I piezometri sono stati realizzati mediante perforazione a rotazione con diametro di 101 mm, sino alla profondità di 20 m da p.c., analogamente ai piezometri di monitoraggio precedentemente realizzati.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IAL00-ERM-643-Y-TAE-1039	Rev. No.:	1
 ERM	Doc. Title:	Studio Idrogeologico e Monitoraggio Piezometrico (Prescrizione A.20)	Page:	13 of 21

La sequenza litologica riscontrata durante la fase di perforazione ha permesso di confermare l'assetto stratigrafico già evidenziato nello studio idrogeologico, caratterizzato generalmente da sabbie limose, variamente addensate, con intercalati orizzonti calcarenitici più o meno cementati e fratturati.

La seguente tabella riassume le caratteristiche dei piezometri installati.

Tabella 3.1 Caratteristiche dei nuovi piezometri installati

Piezometro	Lunghezza (m da p.c.)	Tratto cieco (m da p.c.)	Tratto fenestrato (m da p.c.)	X WGS 1984 UTM Zone 34N	Y WGS 1984 UTM Zone 34N	Quota testa pozzo (m s.l.m.)
Piezo 7	20	0-2	2-20	277899	4465215	7,480
Piezo 9	20	0-2	2-20	277394	4464999	8,528
Piezo 10	20	0-2	2-20	277216	4464914	9,093

3.2 Nuovo single point dilution test

In corrispondenza del Piezo 7 è stato eseguito un nuovo “single point dilution test” al fine di determinare la velocità effettiva di filtrazione a profondità maggiori rispetto a quanto effettuato nel Piezo 4.

La tecnica utilizzata consiste nel monitorare, nel punto stesso di immissione, la diluizione di un tracciante operata dai filetti liquidi che attraversano il pozzo, fino alla sua completa sparizione. La variazione di concentrazione del tracciante nel tempo segue una legge di tipo esponenziale ed è in relazione con la velocità orizzontale apparente del flusso idrico nel mezzo poroso.

Il profilo di diluizione è stato ricavato da misure di conducibilità elettrica ripetute lungo la verticale del foro a intervalli di tempo crescente dalla perturbazione iniziale fino al ripristino della situazione naturale.

La prova ha interessato uno spessore saturo di 14,12 m, a partire da 4,58 m da b.p. (soggiacenza della falda) sino a 18,70 m da b.p. (fondo foro rilevato).

Ipotizzando un valore di porosità efficace pari a 0,15 (valore al limite inferiore di un intervallo di valori da letteratura relativi a porosità efficaci per la litologia in esame), la velocità effettiva media nel mezzo poroso risulta di circa 2×10^{-5} m/s (circa 2 m/g) tra 5 e 10 m di profondità e di circa 4×10^{-6} m/s (0,3 m/g) tra 10 m e 17 m di profondità.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IAL00-ERM-643-Y-TAE-1039	Rev. No.:	1
 ERM	Doc. Title:	Studio Idrogeologico e Monitoraggio Piezometrico (Prescrizione A.20)	Page:	14 of 21

4. PIANO DI MONITORAGGIO PIEZOMETRICO

Per completare il quadro delle attività previste per la definizione dettagliata della piezometria della falda viene di seguito riportato il Piano di Monitoraggio Piezometrico della falda ante, durante e post operam delle aree potenzialmente interferite dalle attività di progetto nell'area onshore del microtunnel. Tale monitoraggio è incluso nel *Progetto di Monitoraggio Ambientale*.

4.1 Piano di Monitoraggio della Falda (Piezometria) Area onshore del Microtunnel

L'attività qui descritta, relativa alla sezione onshore del microtunnel, è mirata al monitoraggio dei livelli piezometrici delle acque sotterranee per la valutazione di eventuali effetti dovuti alla realizzazione del progetto.

La rete dei punti di monitoraggio è stata definita sulla base delle caratteristiche del Progetto, relative alla costruzione del microtunnel, e sulla base dello Studio Idrogeologico riportato al precedente Capitolo 2.

La rete è attualmente costituita da un totale di 6 piezometri, di cui 5 realizzati precedentemente (Piezo 2- Piezo 3 – Piezo 4 – Piezo 5 - Piezo 6) e 1 realizzato nel Dicembre 2016 (Piezo 7).

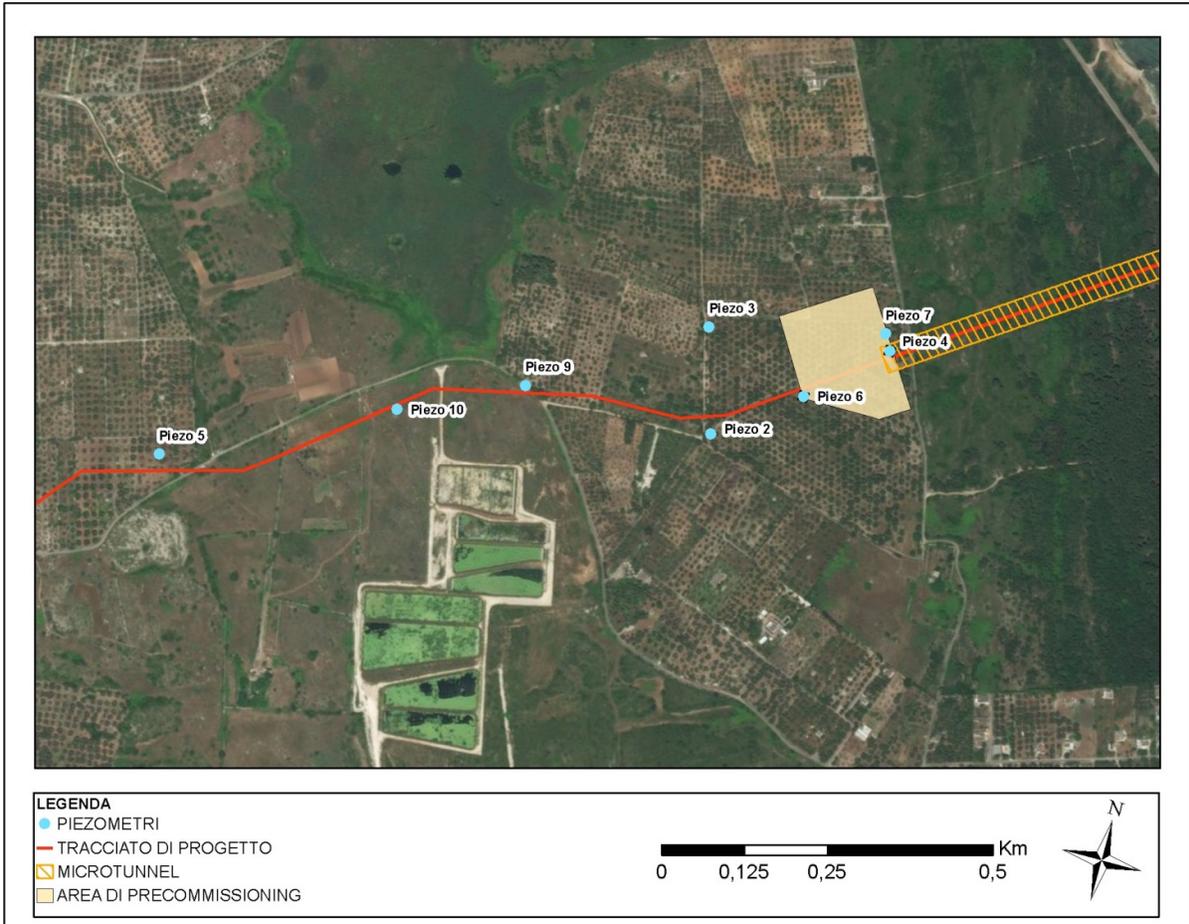
La *Tabella 4.1* sintetizza la metodologia di monitoraggio e i punti di campionamento. La localizzazione dei punti di campionamento è riportata in *Figura 4.1*.

Tabella 4.1 Monitoraggio dei Livelli Piezometrici della Falda

<i>Ante Operam</i>	
Parametro	• Livelli piezometrici
Area di Indagine	• Piezo 2- Piezo 3 – Piezo 4 – Piezo 5 - Piezo 6 – Piezo 7 – Piezo 8-
Durata/Frequenza	• Livelli piezometrici: maggio 2015, periodo invernale 2015/2016 (frequenza ogn 3-4 mesi)
Strumentazione	• Freatimetro per rilievo livelli di falda.
<i>In Corso D'Opera</i>	
Parametro	• Livelli piezometrici
Area di Indagine	• Piezo 2- Piezo 3 – Piezo 4 – Piezo 5 - Piezo 6– Piezo 7 —Piezo 8-
Durata/Frequenza	• Livelli piezometrici: mensili per la durata del cantiere del microtunnel e del precommissioning.
Strumentazione	• Freatimetro per rilievo livelli di falda.
<i>Post Operam</i>	
Parametro	• Livelli piezometrici.
Area di Indagine	• Piezo 2- Piezo 3 – Piezo 4 – Piezo 5 - Piezo 6– Piezo 7 – Piezo 8-
Durata/Frequenza	• Livelli piezometrici: trimestrale per i primi due anni dalla messa in esercizio.
Strumentazione	• Freatimetro per rilievo livelli di falda.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.: IAL00-ERM-643-Y-TAE-1039	Rev. No.: 1
 ERM	Doc. Title: Studio Idrogeologico e Monitoraggio Piezometrico (Prescrizione A.20)	Page: 15 of 21

Figura 4.1 Ubicazione dei piezometri di monitoraggio della falda



Fonte: TAP, 2016

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IAL00-ERM-643-Y-TAE-1039	Rev. No.:	1
 ERM	Doc. Title:	Studio Idrogeologico e Monitoraggio Piezometrico (Prescrizione A.20)	Page:	16 of 21

4.2 Sintesi dei risultati del monitoraggio Ante Operam della Falda (Piezometria) – Area on-shore del Microtunnel

Il monitoraggio ante operam delle acque di falda ha incluso una campagna di misura dei livelli freatici effettuata nel periodo luglio - ottobre 2016 presso i piezometri Piezo 2, Piezo 3, Piezo 4, Piezo 5, Piezo 6. A questi si sono aggiunte le misurazioni freaticometriche effettuate nei tre nuovi piezometri Piezo 7 – Piezo 9 – Piezo 10 nel Dicembre 2016.

Nella tabella seguente si riportano i livelli freaticometrici rilevati.

Tabella 4.2 Livelli Piezometrici Ante Operam

ID	X	Y	Quota testa pozzo (m slm)	Superficie freatica Gennaio 2017 (m slm)
Piezo 2	277683	4465001	8.88	6,09
Piezo 3	277639	4465156	8.64	5,71
Piezo 4 (ST_BH2)	277912	4465191	7.66	2.81
Piezo 5	276887	4464756	15.00	7,89
Piezo 6 (ST_BH1)	277804	4465092	8.30	5.15
Piezo 7	277899	4465215	7.480	2.89
Piezo 9	277394	4464999	8.528	6.39
Piezo 10	277216	4464914	9.093	6,63

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IAL00-ERM-643-Y-TAE-1039	Rev. No.:	1
 ERM	Doc. Title:	Studio Idrogeologico e Monitoraggio Piezometrico (Prescrizione A.20)	Page:	17 of 21

5. PIANO DI MONITORAGGIO DELLE SORGENTI

Nella seguente **Per i motivi suddetti non è stato elaborato un piano di monitoraggio delle sorgenti indicate in Figura 5.1.**

Figura 5.1 è riportato un estratto della Carta Idrogeomorfologica della Puglia, estratta dal Portale WebGIS dell'Autorità di Bacino della Puglia (http://adbpuugia.dyndns.org/gis/map_default.phtml).

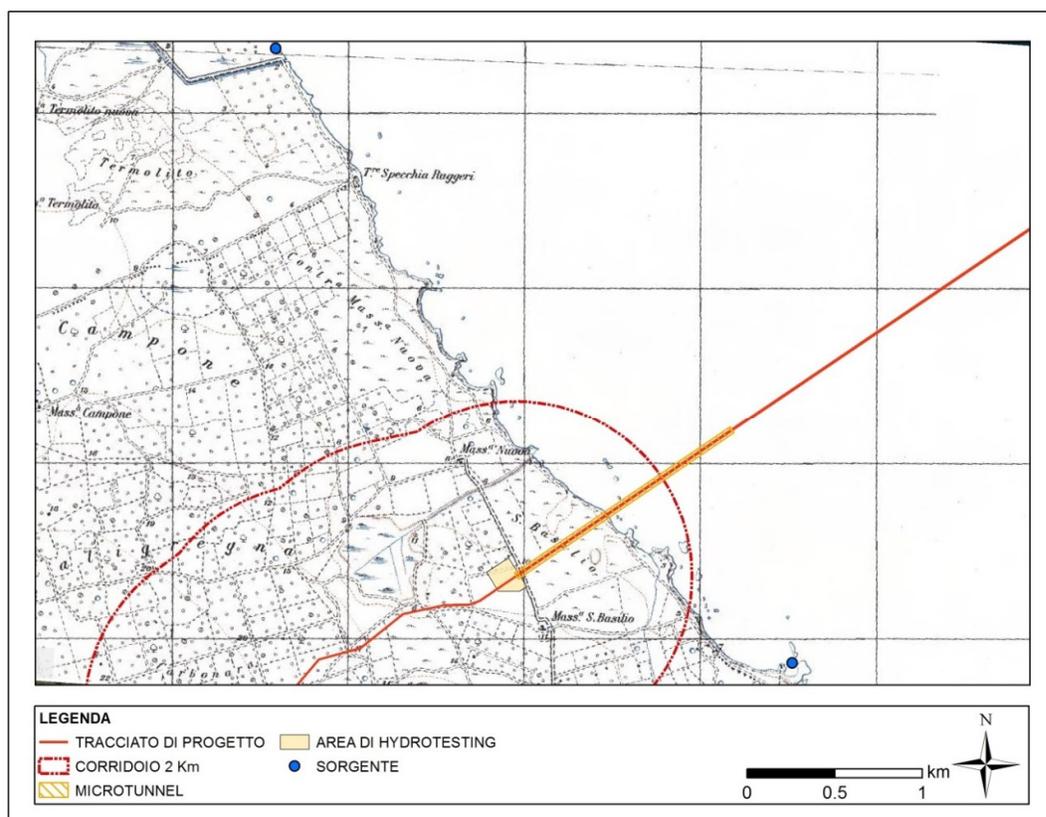
Come si può osservare, non sono mappate sorgenti in prossimità del progetto, essendo queste tutte situate al di fuori del corridoio di 2 km riportato in **Per i motivi suddetti non è stato elaborato un piano di monitoraggio delle sorgenti indicate in Figura 5.1.**

Figura 5.1. **Data la distanza di tali sorgenti dal tracciato della condotta, non si ritiene che esse possano essere interferite dalle attività di progetto.**

Inoltre, le sorgenti mappate dall'AdB non sono sorgenti ubicate a terra, ma efflussi a mare delle acque di falda lungo la fascia costiera, ovvero punti in cui le acque dolci dell'acquifero fluiscono in mare (identificati mediante rilievi all'infrarosso termico e analisi isotopiche). In tali punti quindi le acque di falda si miscelano alle acque saline e non risultano pertanto campionabili separatamente.

Per i motivi suddetti non è stato elaborato un piano di monitoraggio delle sorgenti indicate in Figura 5.1.

Figura 5.1 Ubicazione delle **sorgenti mappate dall'AdB**



Fonte: AdBPuglia, 2015 (Mappa rielaborata da ERM)

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IAL00-ERM-643-Y-TAE-1039	Rev. No.:	1
 ERM	Doc. Title:	Studio Idrogeologico e Monitoraggio Piezometrico (Prescrizione A.20)	Page:	18 of 21

Per quanto riguarda le sorgenti a terra presenti nell'area di progetto, intese come emergenze delle acque sotterranee, l'unico corpo idrico di superficie che può essere considerato come tale è la Palude di Cassano. Infatti, come anche specificato nello studio idrogeologico (documento *Approdo italiano - Potenziale interferenza del microtunnel sull'assetto idrogeologico locale* – OPL00-SPF-200-G-TRX-0019 rev.03), la Palude di Cassano è caratterizzata dall'assenza di corsi d'acqua affluenti: tale condizione suggerisce che, da un punto di vista idrogeologico, la zona umida è originata principalmente dalla venuta in superficie delle acque di falda (con un afflusso irregolare di entità più ridotta proveniente dall'impianto di fitodepurazione).

Il monitoraggio della Palude di Cassano è già stato previsto nel *Progetto di Monitoraggio Ambientale* nell'ambito della componente Acque Superficiali. Il piano di monitoraggio è descritto nel paragrafo successivo.

5.1 Piano di Monitoraggio delle Acque Superficiali – Area onshore del Microtunnel

Il piano di monitoraggio ambientale della componente Acque Superficiali è finalizzato a caratterizzare lo stato di qualità delle acque superficiali che potranno essere interferite direttamente dal Progetto e a valutare le potenziali alterazioni indotte nelle diverse fasi progettuali.

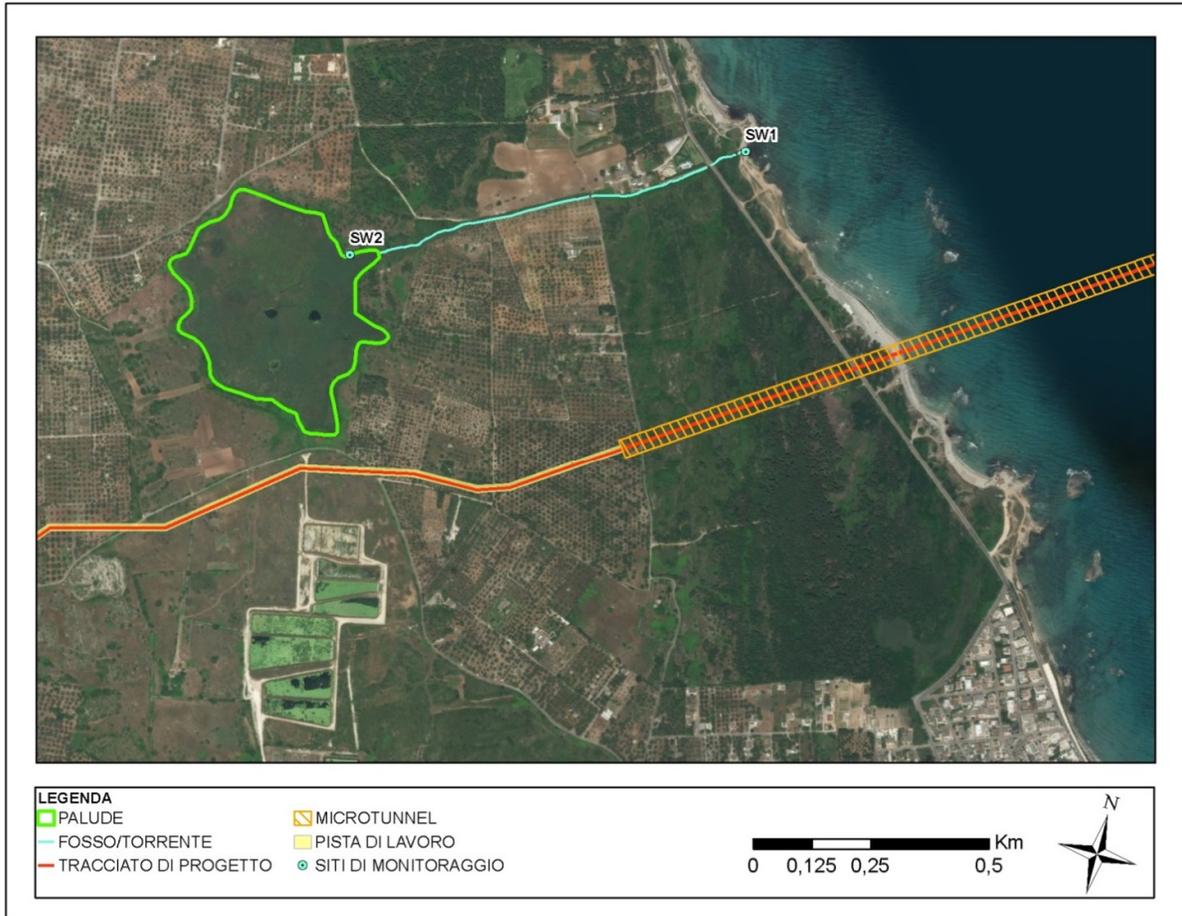
I punti di monitoraggio sono stati definiti in base alle caratteristiche del Progetto e al sistema idrografico dell'area. I punti di campionamento sono stati localizzati in corrispondenza dei siti già oggetto di monitoraggio nell'ambito della procedura di VIA, permettendo l'integrazione dei dati già disponibili con nuovi campionamenti.

Il monitoraggio della qualità delle acque superficiali viene effettuato seguendo le disposizioni individuate dal D.Lgs.152/2006 Allegato 1 Parte III e dalle Linee Guida di ISPRA per la predisposizione del PMA delle opere soggette a procedure di VIA.

Il monitoraggio include in particolare i due punti di campionamento SW1 (canale artificiale di drenaggio della zona umida, a carattere stagionale, che scorre verso la costa a circa 530 m a nord del tracciato) e SW2 (all'interno dell'area umida della Palude di Cassano), ubicati come mostrato in *Figura 5.2*.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.: IAL00-ERM-643-Y-TAE-1039	Rev. No.: 1
 ERM	Doc. Title: Studio Idrogeologico e Monitoraggio Piezometrico (Prescrizione A.20)	Page: 19 of 21

Figura 5.2 Ubicazione dei punti di monitoraggio delle Acque Superficiali



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IAL00-ERM-643-Y-TAE-1039	Rev. No.:	1
 ERM	Doc. Title:	Studio Idrogeologico e Monitoraggio Piezometrico (Prescrizione A.20)	Page:	20 of 21

6. CONCLUSIONI

Nel presente documento sono state descritte le attività di approfondimento condotte al fine di ottemperare alla prescrizione A20, relativamente alla definizione del quadro idrogeologico, alla piezometria delle acque sotterranee e al monitoraggio delle acque superficiali nell'area del microtunnel.

Le attività di monitoraggio sono state effettuate per la fase ante operam e proseguiranno nelle successive fasi in corso d'opera e post operam; i dati raccolti saranno comunicati regolarmente alle autorità competenti.

Le attività di approfondimento del quadro idrogeologico sono state completate mediante l'integrazione della modellazione del flusso dell'acquifero con la simulazione di due scenari aggiuntivi che includono l'inserimento del tracciato tridimensionale del pozzo di spinta e del microtunnel all'interno del modello di flusso. Tali scenari sono stati modellizzati al fine di verificare l'assunzione effettuata negli scenari precedenti, che non considerano la presenza del microtunnel assumendo che tale struttura, per le sue dimensioni limitate (diametro massimo pari a 3 metri) e l'orientamento sub-parallelo rispetto alle linee di flusso, non costituisca una barriera trasversale al naturale deflusso della falda.

Gli scenari integrativi forniscono risultati analoghi ai precedenti scenari, mostrando modifiche trascurabili alla piezometria dell'area, con variazioni dell'altezza piezometrica effettiva ante-operam e post-operam dell'ordine di ± 10 cm e confermano quindi l'effettiva assenza di interferenze significative tra il microtunnel e la falda.

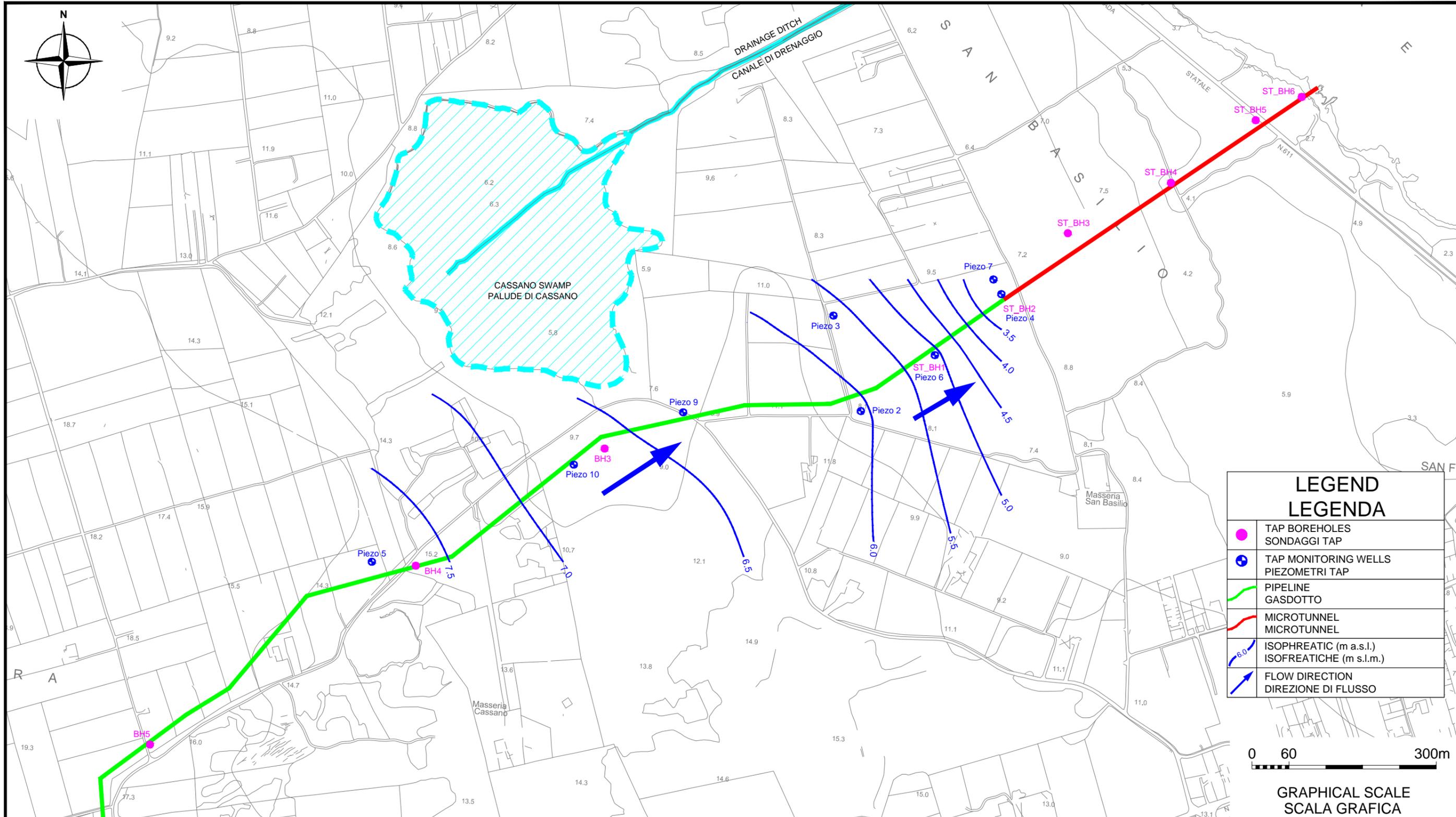
Si specifica inoltre che la struttura del microtunnel sarà completamente impermeabile sia durante la sua costruzione (ossia durante lo scavo del pozzo), sia durante lo svolgimento delle successive operazioni costruttive. Non sarà pertanto necessario l'emungimento della falda.

In conclusione, gli approfondimenti effettuati portano ad escludere che la costruzione del microtunnel comporti modifiche significative sulla piezometria della falda e conseguenti interferenze con la Palude di Cassano e l'impianto di fitodepurazione del Comune di Melendugno.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IAL00-ERM-643-Y-TAE-1039	Rev. No.:	1
 ERM	Doc. Title:	Studio Idrogeologico e Monitoraggio Piezometrico (Prescrizione A.20)	Page:	21 of 21

Appendice 1

Carta delle Isofreatiche
(IPL00-URS-100-F-TRJ-5001-00_A1101)



LEGEND LEGENDA	
	TAP BOREHOLES SONDAGGI TAP
	TAP MONITORING WELLS PIEZOMETRI TAP
	PIPELINE GASDOTTO
	MICROTUNNEL MICROTUNNEL
	ISOPHREATIC (m a.s.l.) ISOFREATICHE (m s.l.m.)
	FLOW DIRECTION DIREZIONE DI FLUSSO



				COMPANY SOCIETA TRANS ADRIATIC PIPELINE AG				DOCUMENT TITLE TITOLO DEL DOCUMENTO TECHNICAL REPORT ON GROUNDWATER MONITORING - JANUARY 2017 NOTA TECNICA DESCRITTIVA DEL RILIEVO FREATIMETRICO - GENNAIO 2017											
				PROJECT TITLE TITOLO DEL PROGETTO TRANS ADRIATIC PIPELINE GASDOTTO TRANS-ADRIATICO				Company Representative : Steve Liddell Rappresentante TAP		Scale: 1:6.000 Scala		Sheet: 1 - 1 Foglio							
				ENGINEERING CONSULTANT KONSULENTI INXHINIERIK				Company Reference : C459 Rif. TAP		Document-No. Numero documento IPL00 - URS - 100 - F - TRJ - 5001		at. all. 01 Rev. Rev. 00							
				CERTIFIED ENGINEER PROGETTISTA 2017-01-11 S.CO.				ETG Representative : Elisabeth Schmidt Rappresentante ETG		Document Originator : G.F. Autore del documento		Attachment 01 Revisione							
				CRE. BY: G.F. CHK. BY: C.B. APR. BY: S.CO. DATE: 2017-01-11				Vendor Doc. ID : 46318441.00101 Codice documento del fornitore : 26 TAP - RIL.FRE.		Location: Luogo Originating Company: Società creatrice System-code: Codice Discipline: Disciplina Document Type: Tipo Documento Sequenz Number: Numero progressivo		Final Purpose of Issue : Issued for Review Ai fini dell'emissione finali		ACAD - FILE NAME : IPL00-URS-100-F-TRJ-5001-00_All.1.dwg ACAD - NOME DEL FILE		ORIGINAL SIZE : 297 mm x 420 mm FORMATO ORIGINALE		SIZE : A3 FORMATO	
REV. NO.	DATE DATA	PURPOSE OF ISSUE SCOPO DELL'EMISSIONE	REMARK / DESCRIPTION ANNOTAZIONE / DESCRIZIONE	CRE. BY PRE. DA	CHK. BY ESA. DA	APR. BY APP. BY	DATE DATA	ACCEPTED BY ACCETTATO DA											
00	2017-01-11	ISSUED FOR INFORMATION		G.F.	C.B.	S.CO.	2017-01-11												
				CONTRACTOR APPALTATORE				ETG ETG											