

CUP: E32G11000200005

FSC 2014-2020 "Patto per lo sviluppo della Regione Puglia"

PROGETTO DEFINITIVO

LAVORI DI COMPLETAMENTO DELL'ACQUEDOTTO DEL
LOCONE - II LOTTO - DAL TORRINO DI BARLETTA AL
SERBATOIO DI BARI-MODUGNO

Il Responsabile del Procedimento

ing. Massimo Pellegrini

PROGETTAZIONE

Progettisti

ing. Michelangelo GUASTAMACCHIA (Responsabile del progetto)

ing. Tommaso DI LERNIA

ing. Rosario ESPOSITO

ing. M. Alessandro SALIOLA

geom. Pietro SIMONE

geom. Giuseppe VALENTINO



acquedotto pugliese
l'acqua, bene comune

Il Direttore
ing. Andrea VOLPE

Il Responsabile Ingegneria di Progettazione

ing. Massimo PELLEGRINI

Elaborato

D.8

**Relazione tecnica sugli attraversamenti:
stradali, autostradali, ferroviario, lame ed
impluvi**

Codice Intervento P1063

Codice SAP: 21/10993

Prot. N. 0093292

Data 25/11/2019

N. Rev.	Data	Descrizione	Disegnato	Controllato	Approvato
00	NOV.2019	Emesso per PROGETTO DEFINITIVO	/	/	/

INDICE

1.	ATTRAVERSAMENTI NO-DIG CON TECNOLOGIA “SPINGITUBO”	2
1.1.	ATTRAVERSAMENTI AUTOSTRADALI (A14)	2
1.1.1.	<i>Modalità di raccolta ed allontanamento delle perdite</i>	4
1.1.2.	<i>Calcolo idraulico della soglia sfiorante e delle cunette di allontanamento</i>	4
1.1.3.	<i>Calcolo sezione della cunetta di allontanamento</i>	6
1.1.4.	<i>Verifica idraulica dei tubi di protezione</i>	6
1.1.5.	<i>Spessori dei controtubi e delle tubazioni idriche</i>	8
1.2.	ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO (FERROVIA BARI-NORD)	11
1.3.	ATTRAVERSAMENTI STRADE PROVINCIALI	12
1.3.1	<i>Verifica idraulica dei tubi di protezione</i>	14
2.	ATTRAVERSAMENTI NO-DIG CON TECNOLOGIA “MICROTUNNELLING”	15
2.1.	ATTRAVERSAMENTI LAME	15
3.	ATTRAVERSAMENTI CON POSA IN TRINCEA	19
3.1.	ATTRAVERSAMENTI LAME	19
3.2.	ATTRAVERSAMENTI IMPLUVI	21

Il secondo lotto del Locone avrà origine dal nuovo torrino di Barletta, di altezza fuori terra di circa 33 m, con calice di arrivo posto a quota 128,50 m s.l.m. e fondo vasca 122,18 m. s.l.m.

L'adduttrice principale, sia nel primo tratto del DN 1200, sia nel secondo del DN 1000, e le diramazioni verso i serbatoi di Trani nuovo e Palese-S. Spirito nuovo, rispettivamente del DN 400 e DN 300, interessano lungo il loro tracciato alcune infrastrutture autostradali, stradali e ferroviaria e diverse lame ed impluvi che saranno, quindi, attraversate trasversalmente in modalità differenti.

Precisamente, gli attraversamenti dell'adduttore principale sono:

- N. 1 attraversamento autostradale (A14) con tecnologia "spingitubo";
- N.1 attraversamento ferroviario (Ferrovie del Nord Barese) con tecnologia "spingitubo";
- N. 17 attraversamenti di strade provinciali con tecnologia "spingitubo", di cui N. 10 su Strade Provinciali in provincia di Bari e e N. 7 su Strade Provinciali in provincia di Barletta-Andria-Trani;
- N.2 attraversamenti di lame mediante la tecnica del "microtunnelling";
- N.4 attraversamenti di lame con posa in trincea;
- N.32 attraversamenti di impluvi con posa in trincea.

Gli attraversamenti della diramazione per il serbatoio di Trani nuovo sono:

- N. 1 attraversamento autostradale (A14) con tecnologia "spingitubo".

Gli attraversamenti della diramazione per il serbatoio di Palese-S. Spirito nuovo sono:

- N. 1 attraversamento di strada provinciale (SP218) con tecnologia "spingitubo".

1. ATTRAVERSAMENTI NO-DIG CON TECNOLOGIA "SPINGITUBO"

1.1. ATTRAVERSAMENTI AUTOSTRADALI (A14)

Le opere in progetto attraverseranno in due punti distinti l'Autostrada Adriatica A14: con l'adduttrice principale del DN 1200, al picchetto 111, progressiva 4.117,28 m dell'adduttore e Km 631 dell'autostrada; con la diramazione per Trani del DN 400, alla progressiva 355,75 m della condotta e Km 638,75 dell'autostrada (Elaborato G.24).

Entrambe le condotte in acciaio in progetto del DN 1200 e del DN 400, saranno contenute in tubi di protezione anch'essi in acciaio, rivestiti esternamente con vernici protettive idonee.

Tali tubi guaina avranno spessore idoneo a sopportare le sollecitazioni interne ed esterne e diametri tali (DN 1600 nel primo caso e DN 800 nel secondo) da formare una intercapedine sufficiente per garantire lo smaltimento della massima portata in condotta pari a 1.231 l/s per l'adduttore principale e 200 l/s per la diramazione del DN 400.

Il tubo di protezione verrà infisso nel terreno mediante apposite apparecchiature con sistema a “spingitubo” ad una profondità tale che tra il piano stradale e la generatrice superiore del contro-tubo, venga garantita una distanza di almeno 2 m.

Anche in questo caso all'interno del tubo guaina la condotta verrà posata mediante opportuni collari distanziatori di materiale isolante non deteriorabile, applicati in modo da non occupare più di un quarto dell'area dell'intercapedine e tali da consentire il libero deflusso delle acque.

A monte e valle del tubo di protezione saranno ubicati due pozzetti di ispezione muniti di botole di accesso: in quello di monte per l'attraversamento al Km. 631 ed in quello di valle per l'attraversamento al Km. 638,75, è prevista una apertura laterale (luce di sfioro), dotata di grata di protezione, opportunamente dimensionata per consentire lo smaltimento dell'intera portata transitante in caso di rottura della tubazione.

I due pozzetti saranno parzialmente fuori terra per una altezza dal piano campagna di circa 50 cm, al fine di impedire la penetrazione delle acque meteoriche.

La pendenza dei tubi è pari a 1,51 % per la tubazione di adduzione principale e 0,39% per la diramazione per Trani, verso il pozzetto dotato di luce di sfioro.

Con nota prot. n. 18522 del 07/11/2016 (allegato 13 del verbale di conferenza di servizi del 8/11/2016) il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Dipartimento per le Infrastrutture, i Sistemi Informativi e Statistici - Direzione Generale per la Vigilanza sulle Concessionarie Autostradali - Ufficio Ispettivo Territoriale di Roma, ha rilasciato alcune prescrizioni in merito alla completezza degli elaborati progettuali relativi al progetto di fattibilità tecnica ed economica per i lavori di completamento dell'acquedotto del Locone II lotto.

Pertanto, al fine di ottemperare alle richieste del MIT e ricevere conseguentemente parere favorevole sul progetto di fattibilità tecnica ed economica redatto, è stata redatta la presente relazione integrativa ed è stato revisionato l'elaborato grafico G.10.3 di cui al PFTE, successivamente rinominato in TAV. 17 “Attraversamento Autostrada A14: Piante, sezioni e particolari costruttivi”, facente parte del progetto di fattibilità tecnica ed economica.

1.1.1. Modalità di raccolta ed allontanamento delle perdite

In mancanza di norme specifiche, gli attraversamenti autostradali sono stati progettati nel rispetto del D.M. del 04/04/2014 "Norme tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto".

Alle estremità del tubo di protezione sono stati previsti due pozzetti praticabili per consentire l'ispezione dell'intercapedine libera fra la condotta in pressione ed il controtubo, nonché, per quanto concerne il pozzetto posto a quota inferiore, per raccogliere e smaltire lontano dalla sede stradale le eventuali perdite dovute ad avaria della condotta.

Per ciascuno dei due attraversamenti autostradali lo smaltimento avviene attraverso luci di sfioro rettangolari da realizzare nella parte fuori terra del pozzetto posto a quota inferiore. La portata stramazza viene raccolta da una cunetta prefabbricata in c.a.v. e successivamente smaltita sul terreno agricolo circostante sfruttando la pendenza del terreno opposta alla sede stradale (si vedano i profili longitudinali rappresentati nell'elaborato G.10.3 REV.1).

In questa fase di redazione del progetto di fattibilità tecnica ed economica è stata adottata la soluzione di smaltimento dell'acqua sui suoli, avendo il terreno andamento planimetrico tale, come detto, da permettere l'allontanamento delle acque dalla sede stradale; tuttavia, nella fase di redazione del progetto definitivo, saranno eseguite opportune prove di permeabilità del terreno a valle delle quali potrà essere confermata la soluzione progettuale prevista o adottate tecniche di allontanamento e smaltimento delle acque differenti.

1.1.2. Calcolo idraulico della soglia sfiorante e delle cunette di allontanamento

Per la verifica delle dimensioni della luce di sfioro si è utilizzata la seguente formula valida per gli stramazzi in parete grossa, rettangolari, senza contrazione laterale:

$$Q = \mu LH \sqrt{2gH}$$

dove:

- Q = portata (m³/s)
- $\mu = 0,385$ è il coefficiente di efflusso
- L = lunghezza della soglia (m)
- H = altezza del fluido indisturbato a monte della soglia - carico (m)

dalla suddetta relazione si ricava:

$$H = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{2g\mu^2L^2}}$$

$$h = \frac{2}{3} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{2g\mu^2L^2}}$$

con:

$$h = \frac{2}{3} H = \text{altezza della vena fluida sopra la soglia (m)}.$$

Attraversamento autostradale con tubazione DN 1200

Su tre delle pareti del pozzetto di monte (escluso quella verso la sede stradale) sono state previste luci di sfioro di dimensioni 200 cm x 50 cm tali da consentire lo smaltimento della intera portata transitante nella condotta nel caso estremo, anche se verosimilmente improbabile, di completo collasso della tubazione.

I dati sono:

- $Q = 1,231 \text{ m}^3/\text{s}$
- $L = 2,00 \text{ m}$
- $L_{\text{tot}} = 3 * 2,00 = 6,00 \text{ m}$

da cui risulta:

- $H = 24 \text{ cm}$
- $h = 16 \text{ cm} < 50 \text{ cm}$

Attraversamento autostradale con tubazione DN 400

Sulla parete opposta alla sede stradale del pozzetto di valle è stata prevista una apertura di dimensioni 200 cm x 50 cm tale da consentire lo smaltimento della intera portata transitante nella condotta nel caso estremo, anche se verosimilmente improbabile, di completo collasso della tubazione.

I dati sono:

- $Q = 0,20 \text{ m}^3/\text{s}$
- $L = 2,00 \text{ m}$

da cui risulta:

- $H = 15 \text{ cm}$
- $h = 10 \text{ cm} < 50 \text{ cm}$

1.1.3. Calcolo sezione della cunetta di allontanamento

Per la raccolta e l'allontanamento della portata sfiorante in corrispondenza dell'attraversamento autostradale della condotta principale del DN 1200, verrà utilizzata una cunetta prefabbricata a sezione trapezoidale in c.a.v. dello spessore di 15 cm e di dimensioni nette pari a:

- B = 1,44 m
- b = 0,40 m
- H = 0,50 m
- L = 0,61 m

Per il calcolo della massima portata defluente si è utilizzata la formula di *Manning - Strickler*:

$$Q = AkR^{2/3}i^{1/2}$$

Con:

- k = 85, indice di scabrezza di *Gauckler-Strickler* (pareti in calcestruzzo non perfettamente lisce).

I dati di progetto sono:

- A = 0,375 m² = superficie bagnata
- P = 1,62 m = perimetro bagnato
- i = 2% = pendenza della cunetta
- $R = \frac{A}{P} = 0,23$ m = raggio idraulico

da cui risulta:

$$Q_{\max} = 1,70 \text{ m}^3/\text{s} > 1,231 \text{ m}^3/\text{s}$$

1.1.4. Verifica idraulica dei tubi di protezione

In mancanza di norme specifiche, la verifica idraulica degli attraversamenti autostradali è stata cautelativamente effettuata facendo riferimento al p.to 4.4.3 del D.M. del 04/04/2014 "*Norme tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto*".

Si verifica lo smaltimento del generico tubo guaina calcolando la massima portata defluente con la pendenza assegnata al complesso tubo/contro-tubo, nell'ipotesi che l'intercapedine si riempia completamente **senza andare in pressione**.

Il valore della portata che fluirebbe nel contro-tubo in caso di completa rottura della condotta idrica, è dato da:

$$Q = V * (A_1 - A_2)$$

dove:

- A_1 = Area interna del tubo guaina (m^2);
- A_2 = Area esterna del tubo di acquedotto (m^2);
- C = perimetro bagnato dell'intercapedine = $\pi (DN_{1i} + DN_{2e})$ (m);
- R = raggio idraulico = $(A_1 - A_2) / C$;
- DN_{1i} = diametro interno del contro-tubo (m);
- DN_{2e} = diametro esterno del tubo di acquedotto (m);
- i = pendenza del contro-tubo;

Per il calcolo della massima portata defluente nel controtubo si è utilizzata la formula di *Manning* - *Strickler*:

$$Q = AkR^{2/3}i^{1/2}$$

con $k = 100$, indice di scabrezza di *Gauckler-Strickler* (pareti metalliche senza risalti nei giunti)

Tale valore è stato poi confrontato con la massima portata defluente in condotta.

Diametro contro-tubo	Portata defluente $Q(l/s)$	Pendenza tubazioni (%)	Diametro esterno tubo acquedotto DN_{2e} (mm)	Diametro interno contro-tubo DN_{1e} (mm)	Portata defluente ammissibile $Q(l/s)$
Attraversamento autostradale (DN1200)	1231	1,51	1219	1600	2162
Attraversamento autostradale (DN400)	200	0,39	406,4	800	496

1.1.5. Spessori dei controtubi e delle tubazioni idriche

Verifica di stabilità del controtubo in acciaio

In mancanza di norme specifiche, la verifica di stabilità del controtubo degli attraversamenti autostradali è stata cautelativamente effettuata facendo riferimento al p.to 4.4 del D.M. del 04/04/2014 "Norme tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto".

a) peso proprio controtubo

diametro controtubo (mm)	spessore controtubo (mm)	peso specifico acciaio (daN/mc)
1.600	22,20	7.850
800	10,00	7.850

b) calcolo ripartito superiore:

b₁) peso del terreno sovrastante la tubazione

diametro controtubo (mm)	altezza rinterro (m)	peso specifico terreno (daN/mc)	peso del terreno (daN/mq)
1.600	3,22	1.700	5.474
800	2,70	1.700	4.590

b₂) carico mobile:

$$q = \frac{15.000}{3,08+0,8H} \text{ daN/m}^2$$

con H = distanza tra il piano stradale e la generatrice superiore del tubo di protezione.

diametro controtubo (mm)	H (m)	carico mobile (daN/mc)
1.200	3,22	2.652
400	2,70	2.863

b₁+b₂) carico risultante

diametro controtubo (mm)	p (daN/mq)
1.600	8.126
800	7.453

c) carico ripartito laterale

- angolo di attrito interno del terreno: $\varphi = 35^\circ$
- coefficiente di spinta attiva $k_a = \text{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) = 0,27$

diametro controtubo (mm)	p (daN/mq)	q (daN /mq)
1.600	8.126	2.199
800	7.453	2.017

d) *carico triangolare laterale*

diametro controtubo (mm)	peso specifico terreno (daN/mc)	z (daN /mq)
1.600	1.700	736
800	1.700	368

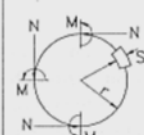
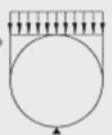
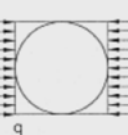
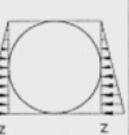

e) *reazione radiale*

diametro tubo acq. (mm)	spessore tubo (mm)	peso specifico acciaio (daN/mc)
1.200	12,50	7.850
400	7,10	7.850

diametro controtubo (mm)	peso rinterro + carico mobile (daN)	peso condotta vuota (daN)	peso controtubo vuoto (daN)	peso acqua nella condotta (daN)
1.600	13.002	375	888	1130
800	5.962	71	200	126

diametro condotta (mm)	Q (daN)
1.200	15.395
400	6.359

Utilizzando le formule della tabella seguente si ricavano le sollecitazioni agenti nel controtubo:

	A	B	C	D	E
	PESO PROPRIO	CARICO RIPARTITO SUPERIORE	CARICO RIPARTITO LATERALE	CARICO TRIANGOLARE LATERALE	REAZIONE RADIALE COSTANTE SETTORE $2\varphi_0 = 60^\circ$
SCHEMA					
SEZIONE VERTICALE SUPERIORE	$M = \frac{1}{2} \gamma_1 sr^2$ $N = -\frac{1}{2} \gamma_1 sr$	$M = \left(\frac{4}{3\pi} - \frac{1}{8}\right) pr^2 = 0.29941 pr^2$ $N = -\frac{1}{3\pi} pr = -0.10610 pr$	$M = -\frac{1}{4} qr^2$ $N = qr$	$M = -\frac{5}{48} zr^2 = -0.10417 zr^2$ $N = \frac{5}{16} zr = 0.31250 zr$	(Q=reazione totale) $M = -0.0073038 Or$ $N = 0.014817 O$
SEZIONE ORIZZONTALE MEDIANA	$M = -\frac{\pi-2}{2} \gamma_1 sr^2 = -0.57080 \gamma_1 sr^2$ $N = \frac{\pi}{2} \gamma_1 sr = 1.57080 \gamma_1 sr$	$M = \left(\frac{1}{\pi} - \frac{5}{8}\right) pr^2 = -0.30669 pr^2$ $N = pr$	$M = \frac{1}{4} qr^2$ $N = 0$	$M = \frac{1}{8} zr^2 = 0.125 zr^2$ $N = 0$	$M = 0.0075118 Or$ $N = 0$
SEZIONE VERTICALE INFERIORE	$M = \frac{3}{2} \gamma_1 sr^2$ $N = \frac{1}{2} \gamma_1 sr$	$M = \left(\frac{2}{3\pi} + \frac{3}{8}\right) pr^2 = 0.58721 pr^2$ $N = \frac{1}{3\pi} pr = 0.10610 pr$	$M = -\frac{1}{4} qr^2$ $N = qr$	$M = -\frac{7}{48} zr^2 = -0.14583 zr^2$ $N = \frac{11}{16} zr = 0.68750 zr$	$M = -0.11165 Or$ $N = 0.11916 O$

DN 1600								
sezione	soll.	p.p.	p	q	z	Q	totale	tensione (daN/cm ²)
verticale superiore	M (daNm)	55,77	1.557,13	-351,91	-49,08	-89,95	1.121,95	1372,26
	N (daN)	-69,71	-689,74	1.759,57	184,05	228,11	1.412,29	
orizzontale mediana	M (daNm)	-63,66	-1.594,99	351,91	58,90	92,52	-1.155,33	-1376,27
	N (daN)	218,99	6.500,84	0,00	0,00	0,00	6.719,84	
verticale inferiore	M (daNm)	167,30	3.053,89	-351,91	-68,71	-1.375,09	1.425,47	1756,85
	N (daN)	69,71	689,74	1.759,57	404,92	1.834,48	4.758,42	

DN 800								
sezione	soll.	p.p.	p	q	z	Q	totale	tensione (daN/cm ²)
verticale superiore	M (daNm)	6,28	357,02	-201,72	-6,14	-18,58	136,87	827,38
	N (daN)	-15,70	-316,29	806,87	46,01	94,22	615,11	
orizzontale mediana	M (daNm)	-7,17	-365,70	80,69	7,36	19,11	-265,72	-1563,99
	N (daN)	49,32	2.981,04	0,00	0,00	0,00	3.030,36	
verticale inferiore	M (daNm)	18,84	700,20	-201,72	-8,59	-283,98	224,75	1368,49
	N (daN)	15,70	316,29	806,87	101,23	757,70	1.997,79	

Tale verifica è stata eseguita nella condizione cautelativa in cui la tubazione idrica risulta in pressione e dunque piena d'acqua ed il controtubo vuoto (si rammenta che sulla base delle assunzioni fatte – vedasi paragrafo 3.4 della presente relazione - il controtubo al più si riempie di acqua senza andare in pressione).

Le tubazioni previste sono in acciaio tipo L 355 con una tensione minima di snervamento $\sigma_y = 3550$ daN/cm²

Tutte le tensioni agenti sono inferiore al 50% della σ_y pari a 1775 daN/cm²

Verifica dello spessore delle condotte idriche in pressione

La verifica dello spessore delle tubazioni in pressione che attraverseranno le sedi autostradali è stata effettuata facendo riferimento al p.to 4.3.3 del D.M. del 04/04/2014 "*Norme tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto*".

La massima pressione che può verificarsi nelle più gravose condizioni di esercizio, compreso il colpo d'ariete è pari a circa $P = 25$ daN/cm².

Le tubazioni prescelte sono in acciaio tipo L 355 con una tensione minima di snervamento $S = 35,5$ daN/mm²

$$s_{min} = \frac{(200 \frac{S}{K_s} + pD_e)}{200 \frac{S}{K_s} + 2p}$$

con:

$K_s = 2$ coefficiente di sicurezza minimo

diametro esterno condotta (mm)	s (mm)	p (daN/cm ²)	S (daN/mm ²)	K _s	s _{min}
1.220	12,50	25,00	35,50	2,00	9,46
406,4	7,10	25,00	35,50	2,00	3,81

Nell'elaborato progettuale D.3 "Relazione tecnica specialistica sulle tubazioni" sono riportate le ulteriori verifiche sulle tubazioni, tra cui la verifica all'instabilità elastica per depressione interna della condotta idrica.

1.2. ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO (FERROVIA BARI-NORD)

L'adduttrice principale nel tratto DN 1000 attraversa la Ferrovia Bari Nord al picchetto 1058, progressiva 40.968,32 m; l'asse della condotta forma con quello della ferrovia un angolo di circa 90°. Tale attraversamento, sottopasserà anche la SP91 data la estrema vicinanza tra le due infrastrutture ferroviaria e viaria (Elaborato G.25).

L'attraversamento della sede ferroviaria sarà realizzato con la tecnica costruttiva dello "spingitubo" con la realizzazione di due pozzetti di ispezione a monte e a valle dell'attraversamento.

Un controtubo in acciaio protegge la condotta in progetto, anch'essa in acciaio, lasciando, mediante appositi collari distanziatori in plastica, un'intercapedine di 20 cm.

La condotta in progetto avrà andamento per lo più perpendicolare all'asse ferroviario ed una pendenza longitudinale maggiore, in valore assoluto, dello 0.64%.

Il tubo di protezione avrà uno spessore adeguato a sopportare le sollecitazioni interne ed esterne, comunque superiore a 4 mm, e diametro DN 1400 il quale forma una intercapedine sufficiente per garantire lo smaltimento della massima portata in condotta, pari a 587 l/s.

Inoltre, al fine di garantire la fuoriuscita dell'acqua in caso di rottura della tubazione al di sotto della sede, è stata prevista, per il pozzetto realizzato a quota più bassa, la realizzazione di una soglia di sfioro grigliata, che consenta la fuoriuscita dell'acqua raccolta.

Per una descrizione completa della tecnica adottata per l'attraversamento si rimanda alla relazione illustrativa.

1.3. ATTRAVERSAMENTI STRADE PROVINCIALI

Come si rileva dalle planimetrie e dai profili longitudinali allegati al presente progetto, l'adduttore principale intersecherà in diversi punti, lungo il suo tracciato, alcune strade provinciali nei territori provinciali di Bari e BAT.

Le intersezioni rilevate sono 17 relativamente al vettore principale, di cui 10 con strade provinciali della provincia di Bari e 7 con strade provinciali della provincia di BAT, e una relativamente alla diramazione per il serbatoio di Palese-S.Spirito nuovo (Elaborati G.26.1 e G.26.2).

Di seguito si riportano due tabelle riassuntive in cui sono riassunte le interferenze del vettore principale con le strade provinciali con le seguenti informazioni: SP interessata, progressiva dell'adduttore nel punto di intersezione, DN dell'adduttore e DN del relativo controtubo nel quale la condotta è inserita.

PROVINCIA DI B.A.T

SFIORO A MONTE

I.D. attraversamento	Numero picchetto iniziale	Numero picchetto finale	Progressiva iniziale (m)	Progressiva finale (m)	DN condotta (mm)	DN controtubo (mm)	L (m)	a (m)	b (m)	A (m)	B (m)	H (m)	i (%)
S.P. 130	97	99	3686.61	3704.39	1200	1600	17.78	5.10	5.10	4.00	3.92	2.36	-2.33
S.P. 168	208	209	8271.12	8279.06	1200	1600	7.94	8.20	4.00	4.29	4.32	2.37	-0.74
S.P. 86	490	492	19713.92	19719.76	1200	1600	5.84	5.20	5.90	4.74	4.87	2.63	-1.80
S.P. 23	536	537	21550.87	21555.37	1200	1600	4.50	6.90	7.00	4.90	4.93	2.86	-0.69
S.P. 85	438	440	17677.72	17684.02	1200	1600	6.30	5.20	5.10	4.74	5.02	2.85	0.51

SFIORO A VALLE

I.D. attraversamento	Numero picchetto iniziale	Numero picchetto finale	Progressiva iniziale (m)	Progressiva finale (m)	DN condotta (mm)	DN controtubo (mm)	L (m)	a (m)	b (m)	A (m)	B (m)	H (m)	i (%)
S.P. 13	184	185	7335.58	7345.51	1200	1600	9.93	9.70	9.70	4.83	4.99	2.99	0.50
S.P. 238	296	297	12031.16	12045.30	1200	1600	14.14	25.20	18.90	3.69	3.98	2.72	0.66

CITTA' METROPOLITANA DI BARI

SFIORO A MONTE

I.D. attraversamento	Numero picchetto iniziale	Numero picchetto finale	Progressiva iniziale (m)	Progressiva finale (m)	DN condotta (mm)	DN controtubo (mm)	L (m)	a (m)	b (m)	A (m)	B (m)	H (m)	i (%)
S.P. 56	597	598	23976.97	23983.57	1200	1600	6.60	5.20	5.20	4.68	4.59	2.54	-1.22
S.P. 112	667	668	26785.96	26796.74	1200	1600	10.78	5.20	4.80	4.91	5.18	2.92	0.50
S.P. 55	751	752	29944.56	29950.36	1200	1600	5.80	4.80	5.00	4.35	4.27	2.23	-1.51
S.P. 218	1087	1089	42086.15	42114.18	1000	1400	9.00	10.00	6.30	4.78	4.71	2.82	-0.65
S.P. 156 compl.	1095	1096	42207.95	42215.99	1000	1400	8.04	3.70	33.10	4.54	4.54	2.55	-0.65
S.P. 156	1097	1098	42229.91	42244.01	1000	1400	14.10	25.70	5.00	4.54	4.54	2.53	-0.65
S.P. 231	1155	1156	44311.26	44321.55	1000	1400	10.29	11.80	11.10	6.56	4.37	5.71	-16.55
S.P. 218	1168	1169	44758.21	44765.68	1000	1400	7.47	5.30	1.70	5.08	5.02	3.22	-0.50

SFIORO A VALLE

I.D. attraversamento	Numero picchetto iniziale	Numero picchetto finale	Progressiva iniziale (m)	Progressiva finale (m)	DN condotta (mm)	DN controtubo (mm)	L (m)	a (m)	b (m)	A (m)	B (m)	H (m)	i (%)
S.P. 88	984	985	38334.20	38347.30	1000	1400	13.10	5.10	5.10	3.93	3.93	2.16	1.21
S.P. 91	1056	1057	40955.70	40965.13	1000	1400	9.43	5.30	24.30	5.35	4.38	3.35	-0.64

Mentre l'attraversamento della SP218 da parte della diramazione verso il serbatoio di Palese-S.Spirito nuovo, ha origine al picchetto 5 alla progressiva 143,27 e fine al picchetto 8 alla progressiva 166,67. La condotta è del DN300 mentre il controtubo è del DN500.

Le condotte in acciaio in progetto, saranno contenute in tubi di protezione anch'essi in acciaio, rivestiti esternamente con vernici protettive idonee.

Tali tubi guaina avranno spessore idoneo a sopportare le sollecitazioni interne ed esterne e diametri tali da formare una intercapedine sufficiente per garantire lo smaltimento della massima portata in condotta.

Il tubo di protezione verrà infisso nel terreno mediante apposite apparecchiature con sistema a "spingitubo" ad una profondità tale che tra il piano stradale e la generatrice superiore del controtubo, venga garantita una distanza di almeno 2 m.

All'interno del tubo guaina la condotta verrà posata mediante opportuni collari distanziatori di materiale isolante non deteriorabile, applicati in modo da non occupare più di un quarto dell'area dell'intercapedine e tali da consentire il libero deflusso delle acque.

Per ciascuno degli attraversamenti, a monte e valle del tubo di protezione, saranno ubicati due pozzetti di ispezione muniti di botole di accesso, di cui uno (quello posto a quota inferiore) dotato di una apertura laterale (luce di sfioro) con grata di protezione, opportunamente dimensionata per consentire lo smaltimento dell'intera portata transitante in caso di rottura della tubazione.

I due pozzetti saranno parzialmente fuori terra per una altezza dal piano campagna non superiore a 1 metro, al fine di impedire la penetrazione delle acque meteoriche.

La pendenza dei tubi sarà a seconda dei casi uguale o maggiore dello 0,5% verso il pozzetto dotato di luce di sfioro.

1.3.1 Verifica idraulica dei tubi di protezione

La verifica idraulica dell'attraversamento ferroviario viene effettuata con riferimento al p.to 4.4.3 del D.M. del 04/04/2014 "*Norme tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto*". In mancanza di norme specifiche, anche la verifica idraulica degli attraversamenti stradali è stata cautelativamente effettuata facendo riferimento al suddetto Decreto Ministeriale.

Si verifica lo smaltimento del generico tubo guaina calcolando la portata defluente con la pendenza assegnata al complesso tubo – contro-tubo, nell'ipotesi che l'intercapedine si riempia completamente senza andare in pressione.

Per i contro-tubi degli attraversamenti ferroviario e autostradali, si assumono le pendenze indicate nei relativi paragrafi precedenti, mentre per gli attraversamenti delle strade provinciali, si assume cautelativamente la pendenza dello 0,5%.

Il valore della portata che fluirebbe nel contro-tubo in caso di rottura delle condotte idriche, è dato da:

$$Q = V * (A_1 - A_2)$$

dove:

- A_1 = Area interna del tubo guaina (m^2);
- A_2 = Area esterna del tubo di acquedotto (m^2);
- C = perimetro bagnato dell'intercapedine = $\pi (DN_{1i} + DN_{2e})$ (m);
- R = raggio idraulico = $(A_1 - A_2) / C$;
- DN_{1i} = diametro interno del contro-tubo (m);
- DN_{2e} = diametro esterno del tubo di acquedotto (m);
- i = pendenza del contro-tubo;

Per il calcolo della velocità si è utilizzata la formula di *Manning - Strickler*:

$$V = kR^{2/3}i^{1/2}$$

con $k = 100$, indice di scabrezza di *Gauckler-Strickler*.

Tale valore è stato poi confrontato con la massima portata defluente in condotta.

Nella tabella seguente è riportata la verifica idraulica dei vari tubi di protezione.

Tipologia Diametro contro-tubo	attraversamento/ ferroviario/ autostradale	Portata defluente Q(l/s)	Penden za tubazio ni (%)	Diametro esterno tubo acquedott o DN _{2e} (mm)	Diametro interno contro- tubo DN _{1e} (mm)	Portata defluente ammissibil e Q(l/s)
Attraversamento (DN1000)	ferroviario	587	0,64	1016	1400	1222
Attraversamento (DN1200)	autostradale	1231	1.51	1219	1600	2162
Attraversamento (DN400)	autostradale	200	0,39	406,4	800	496
Attraversamento S.P. (DN1200)		1231	0,50	1219	1600	1244
Attraversamento S.P. (DN1000)		587	0,50	1016	1400	1080
Attraversamento S.P. (DN300)		123	1,38	323,9	500	167

2. ATTRAVERSAMENTI NO-DIG CON TECNOLOGIA “MICROTUNNELLING”

2.1. ATTRAVERSAMENTI LAME

Lungo il tracciato, la condotta principale di progetto intersecherà diverse incisioni naturali, tra cui alcune lame in sei punti differenti, di cui le due seguenti attraversate con tecnologia no-dig:

- lama Lioy – progr. 23.370,88 m;
- lama Cupa – progr. 28.311,23 m;

A causa dell'andamento planimetrico delle lame, non è stato possibile individuare un tracciato, idraulicamente coerente con le finalità progettuali, che evitasse tali interferenze.

Com'è noto le lame sono aree individuate dal Piano Paesaggistico Territoriale della Regione Puglia come *ulteriori contesti* delle *Componenti geomorfologiche*, cioè sottoposte ad una specifica disciplina di salvaguardia.

Pertanto, al fine di ridurre l'impatto paesaggistico dell'opera in argomento, è stata accantonata la soluzione di attraversamento aereo delle lame, preferendo a questa, quella di attraversamento nel sottosuolo.

Per limitare ulteriormente l'impatto nei confronti del paesaggio, si è valutata la possibilità di utilizzare tecnologie di posa *no-dig o trenchless* (senza scavo) alternative alla posa tradizionale con scavo in trincea.

Tra le varie tecnologie no-dig (per nuove installazioni) disponibili la scelta è ricaduta sul *microtunneling* che è risultato il più performante con riferimento ai diametri delle condotte, alle caratteristiche geologiche dei terreni, alle lunghezze di attraversamento e ai costi di installazione.

In riferimento a tale tecnica di Microtunneling a scudo chiuso a smarino idraulico del materiale di risulta, la regola del buon costruire suggerisce di mantenere una certa copertura di terreno al di sopra del cielo della tubazione allo scopo di abbattere il rischio di eventuali sfondamenti o cedimenti del terreno in superficie. Tale ricoprimento è suggerito dell'ordine di circa 3 volte il diametro della tubazione camicia da posare in opera, specie nel nostro caso in cui le caratteristiche geomeccaniche dei terreni attraversati sono favorevoli.

Per tale motivo per gli attraversamenti di Lama Liroy e Lama Cupa, sia a monte che a valle è stato previsto un tratto del tipo "a sifone" per evitare eccessivi approfondimenti della condotta nei tratti a monte e a valle degli attraversamenti che avrebbero comportato difficoltà operative oltre che eccessiva movimentazione di materiali.

La tecnologia *Microtunneling* richiede la realizzazione di due camere di spinta: una di partenza, in cui alloggiare l'unità di spinta e la fresa perforatrice, ed una di arrivo, in cui è spinto il *Microtunneler* con il resto della canna armata.

Entrando maggiormente nel dettaglio in merito alle specifiche della camera di spinta e di arrivo, esse presentano dimensioni differenti in funzione degli scopi per cui vengono realizzate. La prima necessita di maggior spazio in quanto al suo interno trovano alloggiamento l'unità di spinta, costituita da un telaio metallico e un piastrone metallico verticale su cui sono fissati ortogonalmente martinetti idraulici in grado di esplicare una forza complessiva dell'ordine delle centinaia di tonnellate, ed in seguito il Microtunneler e i conci della condotta man mano che si avvanza con la perforazione. Pertanto le dimensioni nette previste sono di 9 m di lunghezza e 5,65 m di larghezza ed una profondità del piano della platea in c.a. pari alla profondità dell'asse della perforazione aumentata di circa 1,2 metri.

La camera di arrivo, avendo unicamente la funzione di recuperare il microtunneler una volta ultimata la perforazione, richiede uno spazio minore pari a circa 5 metri di lunghezza e 5 metri di larghezza.

La profondità è pari a quella dell'asse della condotta aumentata di circa 1,2 metri anche in questo caso. Per la camera di spinta è stata prevista la realizzazione di un muro di spinta in c.a. le cui caratteristiche geometriche sono riportate negli elaborati grafici degli attraversamenti (G.27.5 e G.27.6).

Il sistema di posa con *microtunneling* consiste essenzialmente nelle operazioni di avanzamento a spinta delle tubazioni, che andranno a costituire il contro-tubo, all'interno di una microgalleria (< 2000 mm) realizzata da cosiddetto *microtunneller*. Il *microtunneller* è uno scudo telecomandato munito di una fresa rotante che disgrega il materiale durante il suo avanzamento.

In funzione delle condizioni geologiche vengono adoperate teste fresanti diverse (teste da argilla, da ghiaia, da roccia).

Le principali fasi realizzative possono essere sintetizzate come di seguito descritto.

Individuata la profondità di scavo si realizzano due camere, una di partenza e l'altra di arrivo, il *microtunneller* viene posizionato sul fondo della camera di partenza ed inizia a perforare il terreno.

L'avanzamento dell'attrezzatura avviene a mezzo di un carrello di spinta dotata di martinetti che agiscono sui tubi installati: questi vengono man mano posizionati in coda alla testa fresante e trasmettono a questa la spinta esercitata dai martinetti, così fino a raggiungere la camera di arrivo.

Con l'avanzare della testa fresante, il materiale di scavo è sospinto all'interno dello scudo dove viene frantumato fino a dimensioni tali da poter essere facilmente trasportato all'esterno con circolazione di acqua, o di acqua e bentonite, in circuito chiuso.

La perforazione avviene a sezione piena con sostentamento meccanico ed idraulico del fronte di scavo; in tal modo si evitano la decompressione del terreno e gli eventuali conseguenti cedimenti in superficie.

La perforazione avviene di regola secondo tracciati rettilinei con pendenza massima variabile dal 10% al 30%, a seconda dei casi.

L'unità di perforazione è guidata da un sistema laser di rilevamento continuo che consente di individuare in tempo reale gli eventuali errori di traiettoria e di applicare conseguentemente le necessarie correzioni plano-altimetriche nel corso della perforazione. In questo caso è possibile ottenere scostamenti dell'asse di progetto inferiori ai 2-3 cm su lunghezze di perforazione di 100 m.

Per il contro-tubo, per motivazioni tecnico-economiche, si è preferito l'utilizzo di speciali tubazioni in calcestruzzo armato del DN interno 1600 mm, di lunghezza pari a circa 3 m.

Tali tubi devono essere idoneamente progettati per le installazioni *no-dig* dovendo essere in grado di resistere alla forza di spinta assiale applicata durante la messa in opera, al carico del terreno ricoprente ed agli altri eventuali carichi esterni applicati in superficie.

Nella figura seguente si rappresentano schematicamente gli elementi principali di cui si compone un cantiere finalizzato all'esecuzione della tecnologia *microtunnelling* prevista.

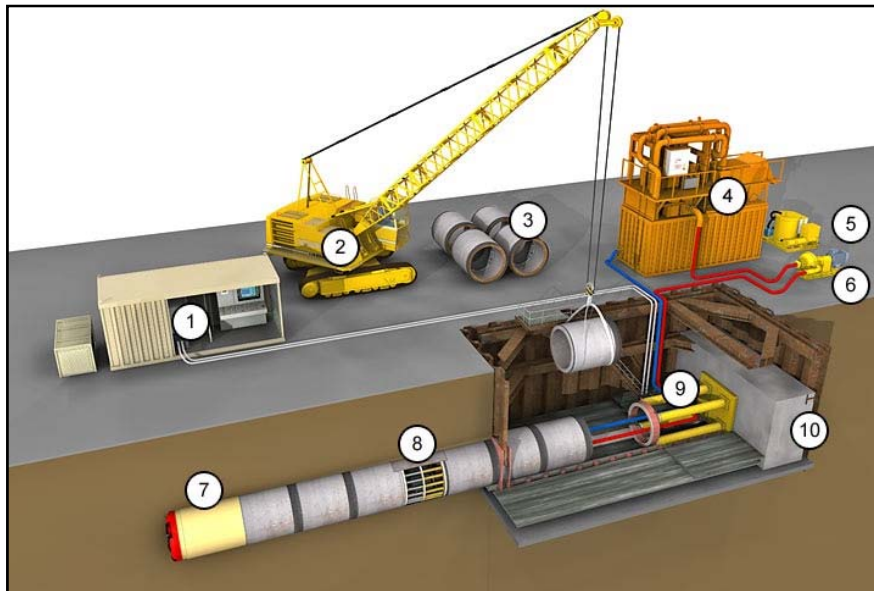


Fig. 10.1 – Allestimento cantiere tipo per l'esecuzione della tecnologia *microtunnelling*

dove gli elementi indicati rappresentano:

- 1) container cabina comando di rilevamento, registrazione e controllo;
- 2) gru di movimentazione tubi;
- 3) tubi in c.a. prefabbricato da movimentare nel pozzo di spinta;
- 4) impianto di confezione, alimentazione e iniezione dei fanghi bentonitici per il trasporto all'esterno dei materiali scavati;
- 5) gruppo elettrogeno d'alimentazione;
- 6) pompa;
- 7) testa fresante scudata;
- 8) tubo prefabbricato in c.a. già posto in opera;
- 9) martinetto di spinta;
- 10) muro di contrasto.

Purtroppo tale tecnologia è risultata applicabile solo per gli attraversamenti di “*Lama Cupa*” e “*Lama Lioy*”; negli altri casi si sarebbero dovute raggiungere profondità di posa incompatibili con le attività connesse alla gestione dell'acquedotto.

Per le altre lame attraversate, pertanto (lama di Pietra, lama Giulia, lama Balice e affluente di lama Balice), e per tutte le altre interferenze minori con il reticolo idrografico superficiale, ci si è

visti costretti ad utilizzare la posa delle condotte con scavo in trincea, con opere di protezione dallo scalzamento.

3. ATTRAVERSAMENTI CON POSA IN TRINCEA

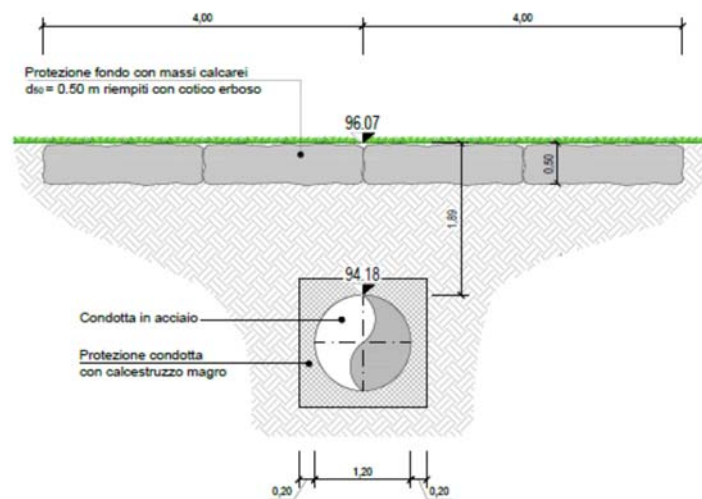
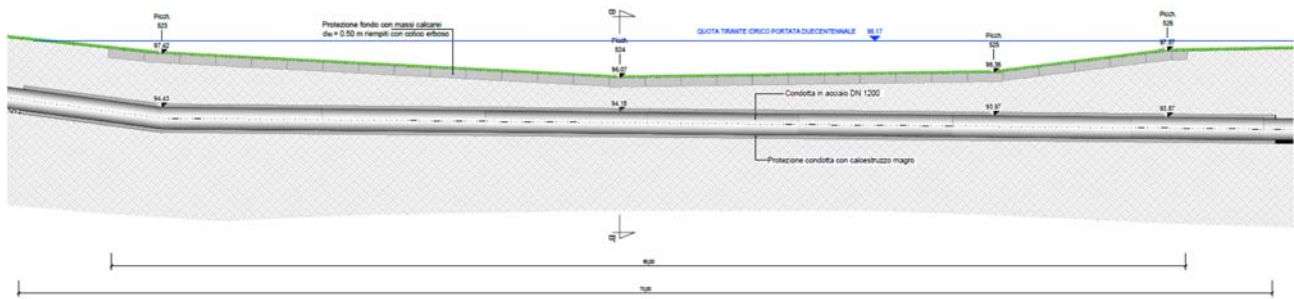
3.1. ATTRAVERSAMENTI LAME

Lungo il tracciato, la condotta principale di progetto intersecherà quattro lame in quattro punti differenti, da attraversare mediante posa con scavo in trincea:

- lama di Pietra – progr. 18.566,67 m;
- lama Giulia – progr. 21.171,57 m;
- lama Balice – progr. 43.922,76 m;
- affluente lama Balice – progr. 44.269,24 m.

Nello specifico, in prossimità degli attraversamenti la condotta sarà posata ad una profondità tale da garantire almeno un ricoprimento minimo pari a 1,60 metri, rispetto al cielo della condotta, e la stessa sarà inserita all'interno di un cassonetto in calcestruzzo, per una dimensione minima di 0,20 m in tutte le direzioni, che poggerà su un letto di posa sporgente di 0,20 m rispetto all'ingombro del cassonetto e di spessore almeno pari a 0,20 m; inoltre, per completare il ripristino della sezione di scavo, saranno ubicati in sommità dei massi calcarei, caratterizzati da un diametro rappresentativo D_{50} pari a 0,50 m per una larghezza di almeno pari a 8,00 m, riempiti con cotico erboso, e di lunghezza complessiva pari all'impronta idraulica relativa alla portata con tempo di ritorno $T_R = 200$ anni come derivata dalle analisi idrauliche illustrate nello Studio di Compatibilità Idrologica ed Idraulica allegato al presente progetto e redatto in conformità a quanto richiesto dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale Sede Puglia (di seguito AdB) con nota prot. n°0010900 del 09/08/2016 e sulla scorta dell'incontro tecnico tenutosi presso AdB in data 16/01/2019.

Si riportano le figure relative alle sezioni trasversale e longitudinale per indicazione delle modalità di ripristino della sezione di scavo.



In particolare, conformemente a quanto richiesto da AdB con la succitata nota, sulla base del rilievo topografico di dettaglio e delle indagini geologiche appositamente eseguite in corrispondenza delle 6 principali intersezioni della condotta di progetto con il reticolo idrografico, lo studio idrologico ed idraulico è stato condotto in regime di moto permanente.

Sfruttando i dati di portata ricavati dal suddetto studio relativo alle 6 lame principali, sono state effettuate verifiche in moto uniforme in tutte le restanti intersezioni con il reticolo idrografico adottando criteri di similitudine per caratteristiche morfologiche dei bacini scolanti.

Le verifiche idrauliche così condotte hanno consentito sia di ricavare i valori delle tensioni tangenziali esercitate al fondo dalla corrente riferito all'evento duecentennale, sia di ottenere i valori delle relative impronte idrauliche a cui estendere la tipologia di ripristino delle sezioni di scavo come prima descritta.

Utilizzando il "criterio d'inizio del trasporto dei sedimenti uniformi", proposto da Shields (1936) e consistente nella definizione di un valore minimo di soglia τ_{cr} della tensione adimensionale al di sopra del quale si possono realizzare le condizioni di erosione/trasporto al fondo, i suddetti valori di tensione tangenziale al fondo sono stati messi a confronto con il valore minimo di soglia relativo alla tipologia di materiale utilizzato per la sistemazione del fondo delle lame in corrispondenza delle sezioni di intersezione con la condotta di progetto.

I risultati di tali verifiche hanno mostrato come il valore adimensionale della tensione tangenziale risulta essere sempre minore rispetto al valore indicato come valore minimo di soglia (o valore critico); pertanto, realizzando il ripristino della sezione di scavo con la tipologia di materiale scelto, non si realizzeranno le condizioni di trasporto e/o erosione al fondo in nessuna delle sezioni oggetto di studio.

3.2. ATTRAVERSAMENTI IMPLUVI

Lungo il tracciato, la condotta principale di progetto intersecherà anche i compluvi secondari del reticolo idrografico regionale in molteplici sezioni, anch'esse da attraversare mediante posa con scavo in trincea.

Per tali attraversamenti si sono condotte analisi in moto uniforme, considerando per ciascun compluvio il valore della portata duecentennale rapportando alla effettiva estensione di ciascun bacino la portata di "lama Giulia", essendo questa la più simile tra quelle principali ai compluvi secondari per caratteristiche morfometriche del bacino stesso.

La condotta, lungo tali attraversamenti, sarà inserita all'interno di un cassonetto in calcestruzzo, per una dimensione minima di 0,20 m in tutte le direzioni, che poggerà su un letto di posa sporgente di 0,20 m rispetto all'ingombro del cassonetto e di spessore almeno pari a 0,20 m; inoltre, per completare il ripristino della sezione di scavo, saranno ubicati in sommità dei massi calcarei, caratterizzati da un diametro rappresentativo D_{50} pari a 0,22 m per una larghezza di almeno pari a 8,00 m, riempiti con cotico erboso,

Nella tabella sottostante si riportano i dati salienti di tutti i compluvi secondari simulati, indicando sia le lunghezze del ricoprimento della tubazione in corrispondenza degli attraversamenti con i suddetti compluvi, che le lunghezze del cassonetto di protezione in calcestruzzo. A seguire, le figure relative alle sezioni trasversale e longitudinale per indicazione delle modalità di ripristino della sezione di scavo.

Picchetto (nr)	Progress. (m)	QUOTE (m s.l.m.)			A (m)	DN (mm)	L1 (m)	L2 (m)
		Quota impluvio	Cielo condotta	Fondo scavo				
22 e 28	706.89	81.81	79.49	78.07	2.32	1200	85.00	95.00
54	1673.06	85.47	82.86	81.44	2.61	1200	30.00	40.00
68	2323.68	82.66	80.52	91.10	2.14	1200	115.00	125.00
91	3521.24	71.83	69.84	68.42	1.99	1200	50.00	60.00
129	4873.54	94.43	92.47	91.05	1.95	1200	50.00	60.00
142	5521.09	95.72	93.75	92.33	1.97	1200	145.00	155.00
154	6121.68	96.64	94.66	93.24	1.97	1200	95.00	105.00
168	6685.05	94.39	92.36	90.94	2.03	1200	60.00	70.00
177	7098.42	93.66	91.42	90.00	2.25	1200	80.00	90.00
213	8411.34	98.72	95.90	94.48	2.82	1200	70.00	80.00
231	9337.61	97.46	95.49	94.07	1.97	1200	145.00	155.00
238	9650.48	92.05	90.08	88.66	1.96	1200	75.00	85.00
277	11309.50	97.33	95.36	93.94	2.04	1200	260.00	270.00
310	12584.14	96.39	94.47	93.05	1.93	1200	120.00	130.00
339	13766.17	96.17	93.30	91.88	3.11	1200	170.00	180.00
363	14863.42	98.91	96.92	95.50	1.99	1200	125.00	135.00
505	20318.30	101.03	99.15	97.73	1.88	1200	60.00	70.00
553	22217.30	96.52	94.62	93.20	1.91	1200	85.00	95.00
607	24293.35	99.70	97.58	96.16	2.12	1200	95.00	105.00
619	24842.12	97.02	95.04	93.62	1.98	1200	80.00	90.00
626	25142.23	95.61	93.71	92.29	1.91	1200	110.00	120.00
670 e 674	26813.24	89.75	86.90	85.48	2.85	1200	145.00	155.00
694	27765.40	87.25	84.68	83.26	2.57	1200	70.00	80.00
740	29512.60	72.91	70.97	69.55	1.94	1200	90.00	100.00
847	33151.52	75.94	74.05	72.63	1.89	1200	75.00	85.00
876	34063.15	77.64	75.72	74.50	1.92	1000	30.00	40.00
893	34748.91	74.68	72.73	71.51	1.95	1000	220.00	230.00
913	35581.47	76.30	74.40	73.18	1.90	1000	100.00	110.00
972	37868.37	83.17	81.27	80.05	1.90	1000	170.00	180.00
1002	38893.50	73.45	71.52	70.31	1.93	1000	85.00	95.00
1186	45285.94	91.57	88.99	87.78	2.58	1000	125.00	135.00
1235	47305.90	91.34	89.34	88.12	2.00	1000	150.00	160.00

