



ACEA ATO 2 SPA



Il Responsabile del Procedimento
in fase di progettazione
Ing. Maria Giovanna Sarni

CODICE ATO2- WBS

AAT2	ICS01	000	A342Q.11
------	-------	-----	----------

ELABORATO

SUD10120	PFTE	R	019	1
----------	------	---	-----	---

DATA MARZO 2026	SCALA -
-----------------	---------

--

--

--

PROGETTAZIONE:



INGEGNERIA 2P & associati s.r.l.
30027 - San Dona' di Piave (VE)
Via G.B. Dall'Armi 27/3
Tel. +39.0421.307700 Mail:
info@ingegneria2p.it
Web: www.ingegneria2p.it

Responsabile del progetto: Dott. Ing. Nicola Bisetto
Aspetti Idraulici: Dott. Ing. Gianna Panizzutti
Aspetti Ambientali: Dott. Ing. Caterina Masotto
Aspetti Vincolistici: Dott. For. Michele Marchesin
Aspetti Elettrici: Dott. Ing. Mattia Betti
Aspetti Strutturali: Dott. Ing. Giovanni Carretta

Coordinatore per la sicurezza in fase di
Progettazione
Dott. Ing. Nicola Bisetto

INTERCONNESSIONE ACQUEDOTTO
APPIO-ALESSANDRINO AD ACQUEDOTTO
DOGANELLA
LOTTO I

COMUNE DI MONTE COMPATRI
COMUNE DI SAN CESAREO
COMUNE DI COLONNA

RFI - RELAZIONE TECNICA -
ATTRAVERSAMENTO LINEA
ROMA-CASSINO-NAPOLI - Km 27+200

AGG. N.	DATA	NOTE	FIRMA
1	05/2026	RECEPIMENTO OSSERVAZIONI ATO 2	
2			
3			
4			
5			



Nicola Bisetto
03.08.2026
15:22:47
GMT+02:00

**INTERCONNESSIONE ACQUEDOTTO APPIO-ALESSANDRINO AD
ACQUEDOTTO DOGANELLA
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA
LOTTO I**

RFI - Relazione Tecnica

Attraversamento Linea Roma-Cassino-Napoli - km 27+200

INDICE

I.	PREMESSE	3
II.	LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA DELL'INTERVENTO.....	5
II.	DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO	6
III.	OBIETTIVI PROGETTUALI	8
a.	Scenario a breve-medio termine.....	9
b.	Scenario a lungo termine	10
IV.	I RILIEVI E LE INDAGINI ESEGUITE.....	12
a.	Il rilievo topografico	12
b.	Le indagini georadar	14
II.	DESCRIZIONE DELLE OPERE DI PROGETTO – LOTTO I	15
a.	Generalità	15
b.	Le opere in linea.....	15
III.	ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO KM 27+200 ROMA-CASSINO-NAPOLI	18
a.	VERIFICA INTERVENTO SECONDO IL D.M. 4 APRILE 2014.....	18
IV.	I MATERIALI IMPIEGATI	23
a.	Tubazioni in ghisa.....	23
b.	Tubazioni in PRFV	25
V.	MODALITA' DI COLLAUDO CONDOTTE IN ATTRAVERSAMENTO	25
VI.	PIANO DI MANUTENZIONE.....	26
VII.	ALLEGATO – VERIFICHE STATICHE CONTROTUBO PRFV	27

I. PREMESSE

L'intervento oggetto del presente Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica si pone come obiettivo la riduzione dei prelievi idrici presso il campo pozzi Doganella tramite l'interconnessione tra i sistemi idrici dell'acquedotto Appio Alessandrino e l'acquedotto Doganella.

Tale intervento rientra tra le azioni strategiche di ACEA Ato2 per aumentare la resilienza del sistema idrico, in risposta alla crescente domanda idrica e alla riduzione della disponibilità delle fonti di approvvigionamento.

I prelievi antropici, contestualmente agli effetti del cambiamento climatico, stanno influenzando negativamente la disponibilità idrica degli acquiferi situati nell'area vulcanica dei Colli Albani con ricadute in termini ambientali ed ecologici.

In ragione di una futura revisione delle portate emunte dai pozzi Doganella, ACEA Ato2 ha inserito all'interno del Piano degli Interventi l'interconnessione idraulica suddetta al fine di poter garantire il servizio idrico dei comuni attualmente serviti dall'acquedotto Doganella tramite l'introduzione di scenari di progressiva riduzione del prelievo dal campo pozzi e apporti da altre fonti idriche coerentemente con gli obiettivi di sostenibilità e ottimizzazione delle risorse idriche.

Per raggiungere l'obiettivo di progetto si prevede la realizzazione di impianti e opere di adduzione finalizzate a trasferire l'apporto proveniente dalle fonti dell'Appio Alessandrino (pozzi di Pantano Borghese, Finocchio e Torre Angela) nell'area di Pantano Borghese in una prima fase nel serbatoio di Santa Chiara nel comune di Colonna (oggi alimentato dall'acquedotto Doganella) ed in una seconda fase direttamente nell'acquedotto Doganella mediante interconnessione alla linea che fa capo al partitore P12 – Romito nel comune di Monte Compatri, che alimenterà i partitori ed i serbatoi sia a valle che a monte sull'asta della Doganella.

L'interconnessione degli acquedotti ha l'obiettivo di limitare quanto più possibile l'approvvigionamento idrico dal campo pozzi Doganella, la cui falda è interconnessa con il livello idrico del Lago di Albano, prevedendo due scenari:

- **Scenario a breve-medio termine**, sollevamento di una portata di circa 40 l/s medi dal serbatoio la Chiesuola (nell'area di Pantano Borghese, sfruttando parzialmente le fonti di approvvigionamento dell'acquedotto Appio Alessandrino), presso il serbatoio Santa Chiara (nel comune di Colonna). Dal serbatoio si potrà soddisfare il fabbisogno idropotabile di Colonna e dei distretti Santa Chiara e Laghetto del comune di Monte Compatri oggi alimentati dall'acquedotto Doganella.
- **Scenario a lungo termine**: sfruttamento delle fonti di approvvigionamento dell'acquedotto Appio Alessandrino e del surplus di portata sull'VIII sifone dell'acquedotto Marcio resa disponibile dagli interventi di messa in sicurezza dell'acquedotto Marcio e del raddoppio dell'VIII sifone stesso, oltre che dall'eventuale ulteriore interconnessione OSA – Pantano Borghese, per ridurre al minimo la portata emunta dal campo pozzi Doganella, adducendo:

- a) prima una portata complessiva di circa 170 l/s fino all'acquedotto Doganella presso il partitore P12 - Romito, nel comune di Monte Compatri, soddisfacendo così i fabbisogni idropotabili dei comuni di Colonna, Monte Compatri, Monteporzio Cartone e Frascati;
- b) successivamente una portata complessiva di circa 400 l/s verso il partitore P12 - Romito, nel comune di Monte Compatri, garantendo l'azzeramento dei prelievi da campo pozzi e l'alimentazione di tutti i comuni oggi serviti da tali prelievi sfruttando l'acquedotto esistente.

L'intervento rientra nel Programma degli Interventi 2024-2029 approvato con Delibera 6-24 della Conferenza dei Sindaci dell'ATO 2 Lazio Centrale – Roma del 05/08/2024.

La presente relazione illustra le modalità tecniche di risoluzione e superamento dell'interferenza tra la linea acquedottistica di progetto DN250 mm e le opere inerenti alla linea ferroviaria esistente Roma – Cassino – Napoli al km 27+200.

Tale elaborato si affianca alle tavole grafiche ove sono riportati, nel dettaglio, planimetrie, profili, sezioni, particolari costruttivi quando siano presenti opere civili finalizzate alla realizzazione degli attraversamenti.

II. LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA DELL'INTERVENTO

L'intervento di progetto si estende attraverso i Comuni di Monte Compatri, San Cesareo e Colonna in provincia di Roma.

In particolare l'intervento di progetto si sviluppa per circa 10 km a partire dal Campo Pozzi di Pantano Borghese in Comune di Zagarolo (RM) e prevede la posa di due condotte interrate in affiancamento per una lunghezza ciascuna di 4,5 km circa fino a monte dell'attraversamento della SS n.6 "Casilina", per poi proseguire su due tracciati distinti fino ad arrivare al Serbatoio di Santa Chiara in Comune di Colonna (RM) per un totale di circa 7 km ciascuna (Lotto I – oggetto del presente appalto); dal Serbatoio di Santa Chiara per 2,3 km circa si prevede la posa di un'unica condotta fino all'interconnessione in Via delle Peditate in Comune di Monte Compatri (RM), con l'adduttrice esistente proveniente dal Campo Pozzi Doganella (Lotto II – oggetto di altro appalto).

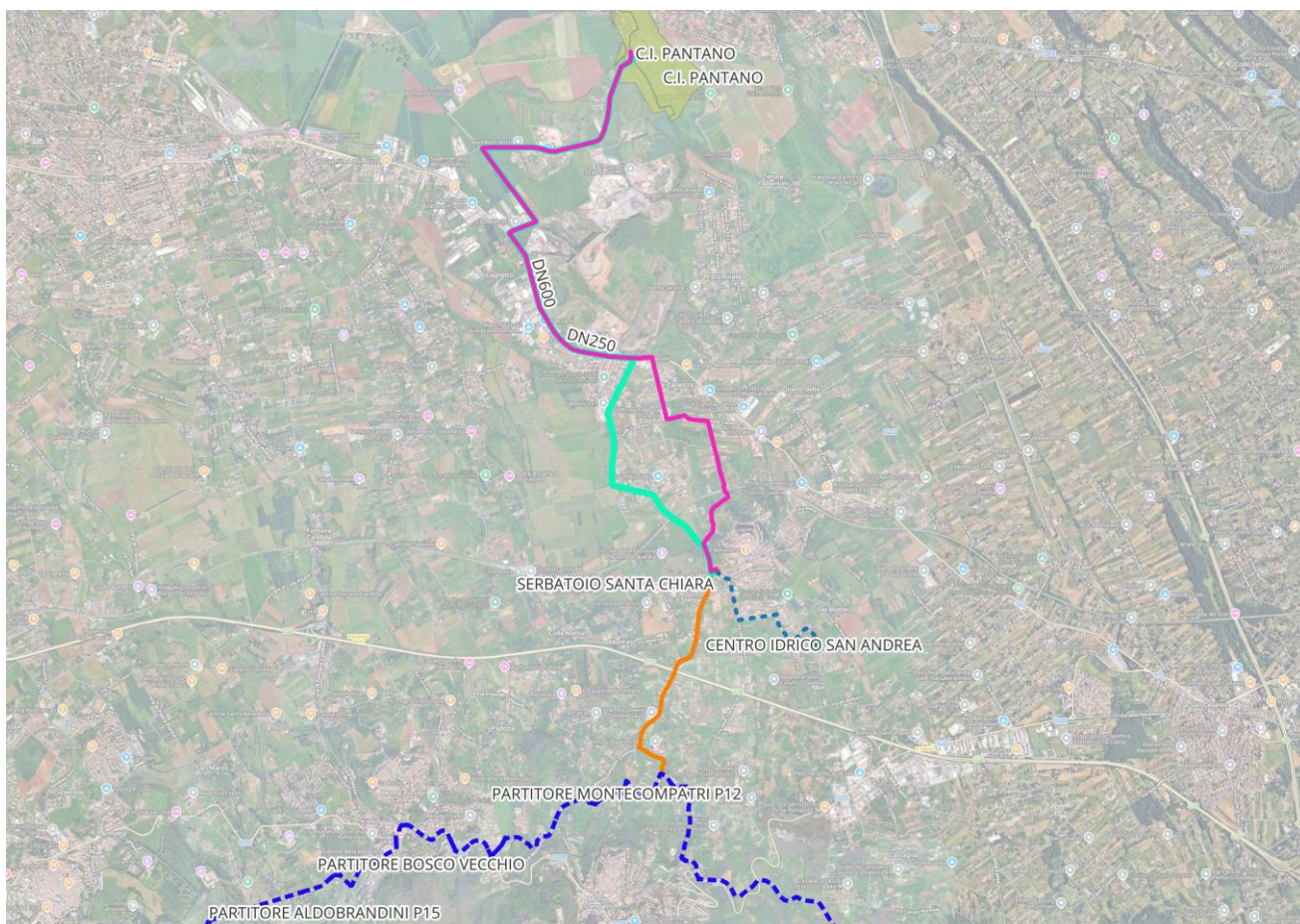


Figura I – Planimetria di inquadramento dell'opera - Lotto I e Lotto 2 - in azzurro il tracciato della condotta DN250 mm, in magenta quello del DN600 mm e in arancione il tracciato DN600 mm di lungo termine.

II. DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO

La descrizione dello stato di fatto riguarda i due sistemi acquedottistici che si prevede di interconnettere mediante la realizzazione del progetto in oggetto: l'Acquedotto Appio Alessandrino e l'Acquedotto Doganella. Inoltre viene riportata la descrizione anche dell'VIII Sifone dell'Acquedotto Marcio in quanto un'ulteriore contributo all'adduzione verso l'acquedotto Doganella potrebbe essere addotto, ad un orizzonte temporale futuro per il raggiungimento della portata obiettivo di 400 l/s, dall'VIII sifone dell'acquedotto Marcio, una volta terminati gli interventi che interessano quest'ultimo. In attesa che tali interventi siano ultimati, il contributo dall'acquedotto Marcio potrà essere addotto a La Chiesuola sfruttando la rifunzionalizzazione dell'attuale nodo di interconnessione "Nodo Alessandrino" che interconnette l'acquedotto Appio Alessandrino proprio all'VIII Sifone dell'acquedotto Marcio, o, in alternativa, tramite futuro nuovo stacco dal nodo in pressione OSA.



Figura 2 - Serbatoio La Chiesuola

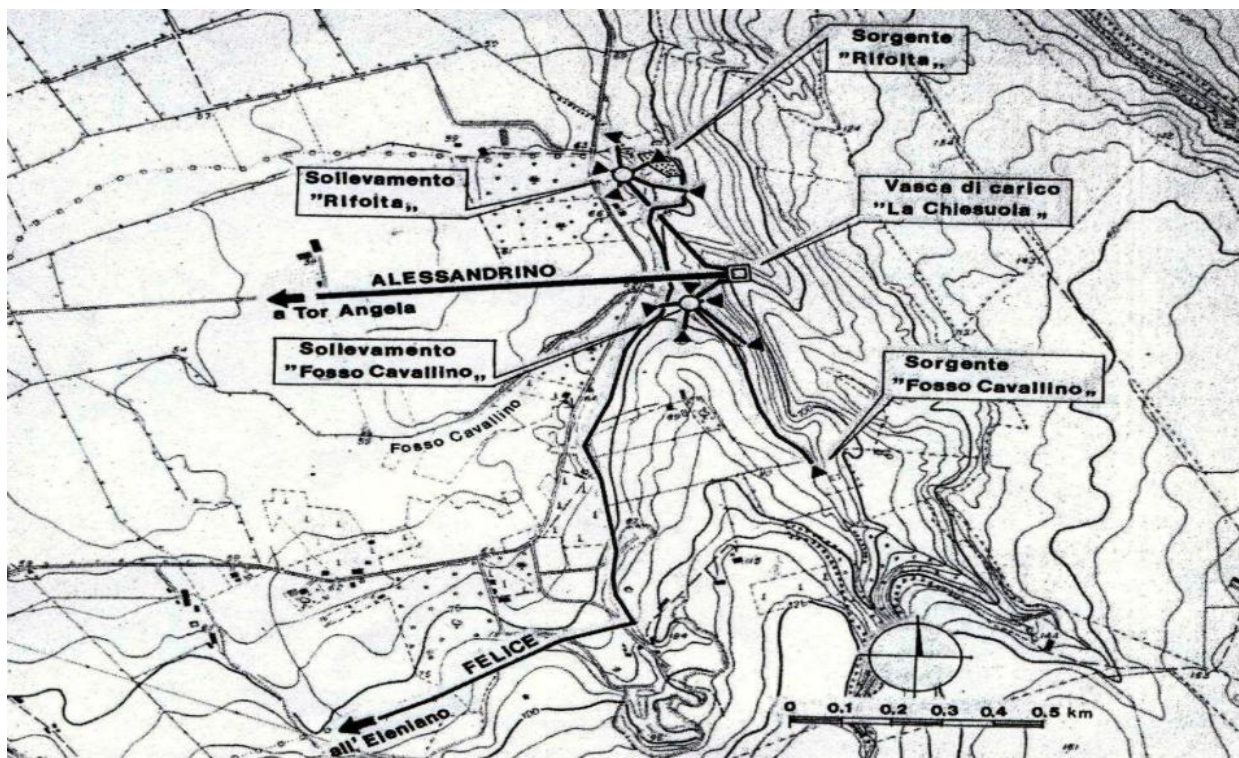


Figura 3 - Planimetria della captazione Pantano Borghese

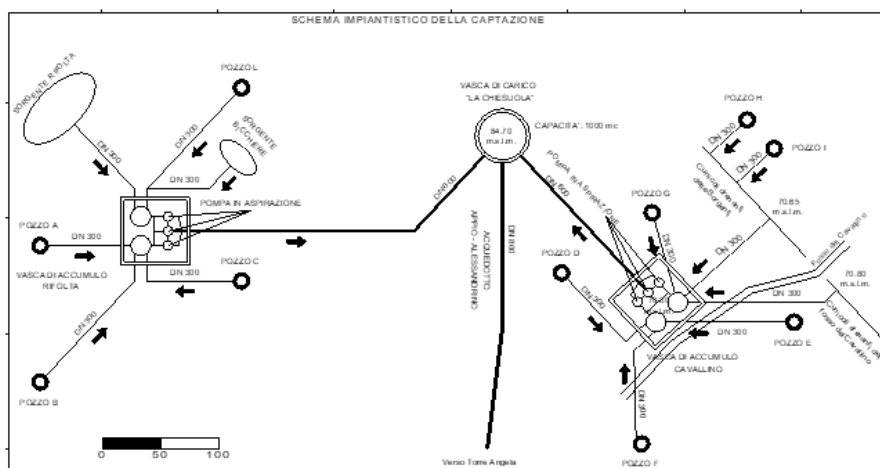


Figura 4 - Schema impiantistico della captazione Pantano Borghese

III. OBIETTIVI PROGETTUALI

L'intervento in oggetto ha come obiettivo la riduzione dei prelievi idrici presso il campo pozzi Doganella tramite l'interconnessione tra i sistemi idrici dell'acquedotto Appio Alessandrino ed acquedotto Doganella.

Tale intervento rientra tra le azioni strategiche di ACEA Ato2 per aumentare la resilienza del sistema idrico, in risposta alla crescente domanda idrica e alla riduzione della disponibilità delle fonti di approvvigionamento.

Di seguito si riportano le considerazioni tecniche volte a guidare la progettazione di un nuovo sistema di adduzione che prevede il prelievo di risorsa idrica presso fonti di approvvigionamento dell'acquedotto Appio Alessandrino e la costruzione di un sistema di adduzione volto ad alimentare i fabbisogni (in uno scenario a breve termine – Lotto 1) del comune di Colonna e parzialmente di Monte Compatri, e successivamente (nello scenario a lungo termine – Lotto 2) l'estensione della condotta di adduzione fino all'interconnessione con l'adduttrice esistente per prevedere la totale copertura dei fabbisogni attualmente soddisfatti dal campo pozzi della Doganella.

L'apporto proveniente dalle fonti dell'Appio Alessandrino (pozzi di Pantano Borghese, Finocchio e Torre Angela) verrà conferito, con contributi sempre crescenti, presso il serbatoio la Chiesuola nell'area di Pantano Borghese e tramite un sistema di sollevamento verrà addotto in una prima fase nel serbatoio di Santa Chiara nel comune di Colonna (oggi alimentato dall'acquedotto Doganella) ed in una seconda fase direttamente nell'acquedotto Doganella all'interconnessione con l'adduttrice esistente in Via delle Pedicate nel comune di Monte Compatri, che alimenterà i partitori ed i serbatoi sia a valle che a monte sull'asta della Doganella.

L'intervento prevede la progettazione e la realizzazione delle opere di interconnessione tra i pozzi dell'Appio Alessandrino (pozzi Pantano Borghese, Finocchio e Torre Angela) e la rete di adduzione della Doganella in due distinte fasi temporali:

- **Scenario a breve-medio termine**, sollevamento di una portata di circa 40 l/s medi dal serbatoio la Chiesuola (nell'area di Pantano Borghese, sfruttando parzialmente le fonti di approvvigionamento dell'acquedotto Appio Alessandrino), presso il serbatoio Santa Chiara (nel comune di Colonna). Dal serbatoio si potrà soddisfare il fabbisogno idropotabile di Colonna e dei distretti Santa Chiara e Laghetto del comune di Montecompatri oggi alimentati dall'acquedotto Doganella.
- **Scenario a lungo termine**: sfruttamento delle fonti di approvvigionamento dell'acquedotto Appio Alessandrino e del surplus di portata sull'VIII sifone dell'acquedotto Marcio resa disponibile dagli interventi di messa in sicurezza dell'acquedotto Marcio e del raddoppio dell'VIII sifone stesso, oltre che dall'eventuale ulteriore interconnessione OSA – Pantano Borghese, per ridurre al minimo la portata emunta dal campo pozzi Doganella, adducendo:

- c) in prima fase una portata complessiva di circa 170 l/s fino all'acquedotto Doganella presso il nuovo nodo di interconnessione di Via delle Pedicate, nel comune di Monte Compatri, soddisfacendo così i fabbisogni idropotabili dei comuni di Colonna, Monte Compatri, Monteporzio Cartone e Frascati;
- d) in una seconda fase una portata complessiva di circa 400 l/s verso il nodo di interconnessione di Via delle Pedicate, nel comune di Monte Compatri, garantendo l'azzeramento dei prelievi da campo pozzi e l'alimentazione di tutti i comuni oggi serviti da tali prelievi sfruttando l'acquedotto esistente.

a. Scenario a breve-medio termine

Lo scenario di breve termine è finalizzato a ridurre in modo tempestivo i prelievi dal campo pozzi Doganella, garantendo al contempo la continuità del servizio idrico nei comuni attualmente serviti.

Questo prevede lo sfruttamento parziale delle fonti di approvvigionamento dell'acquedotto Appio Alessandrino per alleggerire il prelievo presso il campo pozzi Doganella mediante interconnessione con il serbatoio Santa Chiara, nel comune di Colonna, per una portata di circa 40 l/s medi, destinati all'alimentazione del Comune di Colonna e, in parte, della rete di Monte Compatri. da considerarsi relativa al solo prelievo dal campo pozzi di Pantano Borghese.

Per raggiungere l'obiettivo si prevede l'installazione di un impianto di sollevamento di breve termine presso il centro idrico La Chiesuola, nei locali oggi esistenti del Pozzo Cavallino, che sia in grado di sollevare una portata di 40 l/s e con una prevalenza valutata sulla base delle condotte che si prevede di installare come meglio verrà descritto successivamente.

Riassumendo l'intervento di breve termine consta di:

- Realizzazione di un nuovo impianto di sollevamento presso i locali civili esistenti del Pozzo Cavallino;
- prevede la posa di due condotte interrate in affiancamento per una lunghezza ciascuna di 4,5 km circa fino a monte dell'attraversamento della SS n.6 "Casilina", per poi proseguire su due tracciati distinti fino ad arrivare al Serbatoio di Santa Chiara in Comune di Colonna (RM) per un totale di circa 7 km ciascuna;
- Integrazione dell'impianto di sollevamento presso il serbatoio Santa Chiara per garantire la portata a copertura del serbatoio Sant'Andrea (portata 8 l/s, prevalenza 65 m).

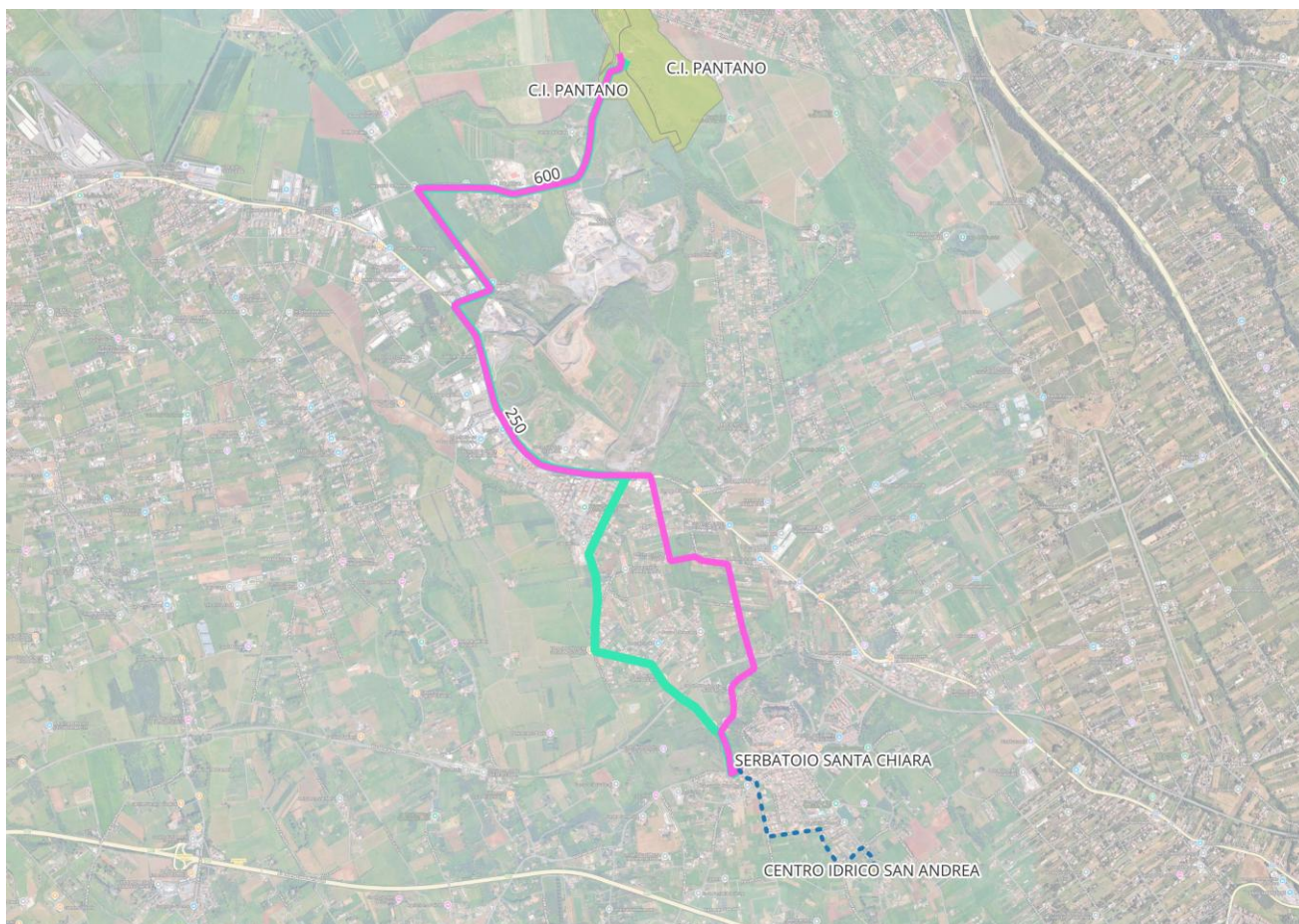


Figura 5 - Tracciato Pantano Borghese – Santa Chiara – scenario a breve termine – in azzurro il tracciato della condotta DN250 mm in magenta quello del DN600 mm

b. Scenario a lungo termine

L'obiettivo progettuale consiste nell'adduzione di portata dal serbatoio Santa Chiara, che dovrà essere oggetto di lavori di potenziamento in termini di capacità di accumulo, fino al serbatoio Doganella, attraverso un nuovo tracciato che preveda la posa di una condotta fino all'interconnessione con l'adduttrice esistente nel punto di interconnessione di Via delle Pedicate in Comune di Monte Compatri. Da questo punto, il flusso sarà convogliato in parte verso il serbatoio Doganella sfruttando l'attuale condotta esistente in acciaio con diametri variabili dal DN400 al DN700, utilizzata in senso inverso rispetto alla configurazione attuale, ed in parte verso i comuni idraulicamente a valle del partitore PI2 – Romito in Comune di Monte Compatri. Questo prevede lo sfruttamento integrale delle fonti di approvvigionamento dell'acquedotto Appio Alessandrino (Pantano Borghese, Finocchio e Torre Angela) e del surplus di portata sull'VIII sifone dell'acquedotto Marcio, resa disponibile dagli interventi di messa in sicurezza dell'acquedotto Marcio e del raddoppio dell'VIII sifone stesso, oltre che dall'eventuale ulteriore interconnessione OSA – Pantano Borghese, per ridurre al minimo la portata emunta dal campo pozzi Doganella, adducendo:

a) in prima fase una portata complessiva di circa 170 l/s (fino ad un massimo di 200 l/s) fino all'acquedotto Doganella presso il nuovo nodo di interconnessione, nel comune di Monte Compatri, soddisfacendo così i fabbisogni idropotabili dei comuni di Colonna, Monte Compatri, Monteporzio Catone e Frascati; affinché questo sia possibile si rendono necessari i seguenti interventi:

- Realizzazione di un nuovo impianto di sollevamento nell'area del Campo Pozzi di Pantano Borghese ad una portata di 170 l/s;
- Posa di una condotta dal serbatoio Santa Chiara al nodo di interconnessione di Via delle Pedicate, per una lunghezza complessiva di 2,3 km su via Monte Compatri e Via delle Pedicate;
- Potenziamento del serbatoio Santa Chiara (volume attuale 250 m³; volume complessivo atteso di almeno di 4.000 m³). Attualmente, il serbatoio svolge esclusivamente la funzione di disconnessione idraulica tra il sistema di adduzione della Doganella e la rete di distribuzione del Comune di Colonna. Gli interventi di rifunionalizzazione e aggiornamento del sistema di adduzione della Doganella dovranno prevedere un nuovo ruolo per il serbatoio di Santa Chiara, valorizzandone la funzione strategica. In particolare, per garantire la continuità del servizio e la completa copertura del fabbisogno idrico dei comuni attualmente alimentati dal tratto di adduzione della Doganella, è necessario che il volume abbia una capacità tale da immettere in rete una portata massima di 400 l/s (360 l/s in direzione del serbatoio Doganella e 40 l/s verso il comune di Colonna e una parte di rete di Monte Compatri). Considerando anche gli aspetti legati alla sicurezza il nuovo serbatoio avrà anche la funzione di accumulo, compensazione e riserva, garantendo la continuità del servizio anche in caso di interruzioni o carenze nell'alimentazione.
- Realizzazione di un impianto di sollevamento che da Santa Chiara sollevi fino al nuovo nodo di interconnessione 170 l/s (sino alla portata massima di 360 l/s nello scenario definitivo) con una prevalenza tale da raggiungere in una prima fase il nodo stesso ed i due serbatoi più alti della rete a valle (Romito di Montecompatri e Bosco di Monteporzio Catone) ed in una seconda fase il serbatoio della Doganella.

b) In una seconda fase una portata complessiva di circa 360 l/s fino all'acquedotto Doganella presso il nodo di interconnessione, garantendo il potenziale azzeramento dei prelievi dal campo pozzi Doganella e del contributo del NASC e l'alimentazione di tutti i comuni oggi serviti dall'acquedotto Doganella; affinché questo sia possibile si rendono necessari i seguenti interventi:

- Funzionamento del nuovo impianto di sollevamento presso l'area del campo pozzi di Pantano Borghese ad una portata di 400 l/s;
- Funzionamento dell'impianto di sollevamento al serbatoio Santa Chiara ad una portata di 360 l/s.

Inoltre verranno valutate le ripercussioni che il nuovo regime di pressioni imposto dal sollevamento presso il serbatoio Santa Chiara imporrà nell'acquedotto Doganella esistente e nei relativi partitori e l'introduzione nel sistema di idonei sistemi di controllo delle pressioni (dissipatori) ove necessario nonché l'eventualità di adeguamento dei nodi più critici.

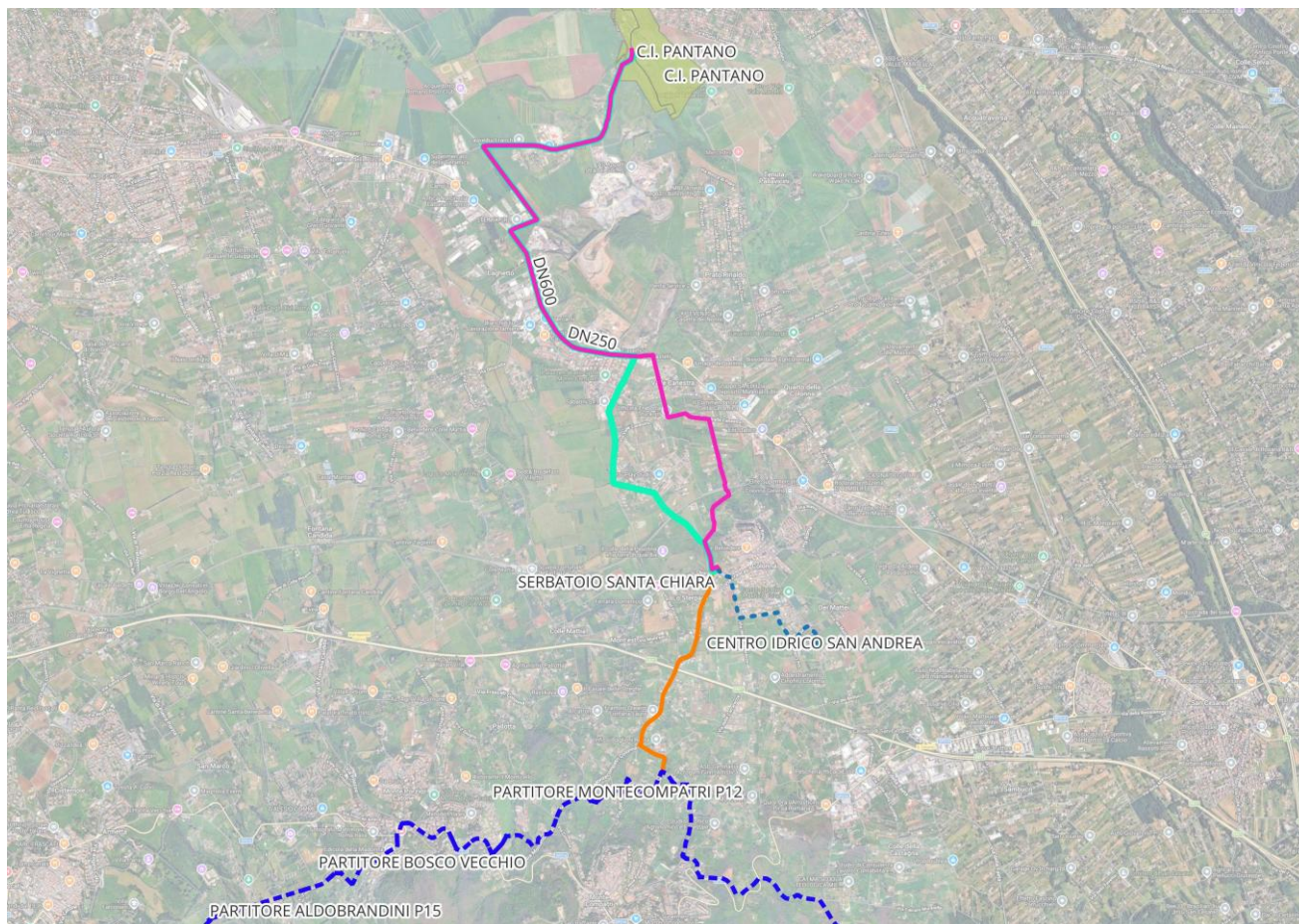


Figura 6 - Tracciato Santa Chiara – Via delle Pedicate, scenario a lungo termine - in azzurro il tracciato della condotta DN250 mm, in magenta quello del DN600 mm e in arancione il tracciato DN600 mm di lungo termine.

IV. I RILIEVI E LE INDAGINI ESEGUITE

Con l'avvio del servizio di progettazione sono stati redatti piani di indagine per l'esecuzione di rilievi topografici, indagini georadar e indagini geognostiche.

a. Il rilievo topografico

Il rilievo topografico ha intessato l'area del campo pozzi di Pantano Borghese, la fascia di posa delle tubazioni. Per la consegna all'Appaltatore dei lavori è stata creata una rete di Caposaldi, costituita da 30 monografie – allegate al presente progetto – come riportato nell'esempio di seguito illustrato.

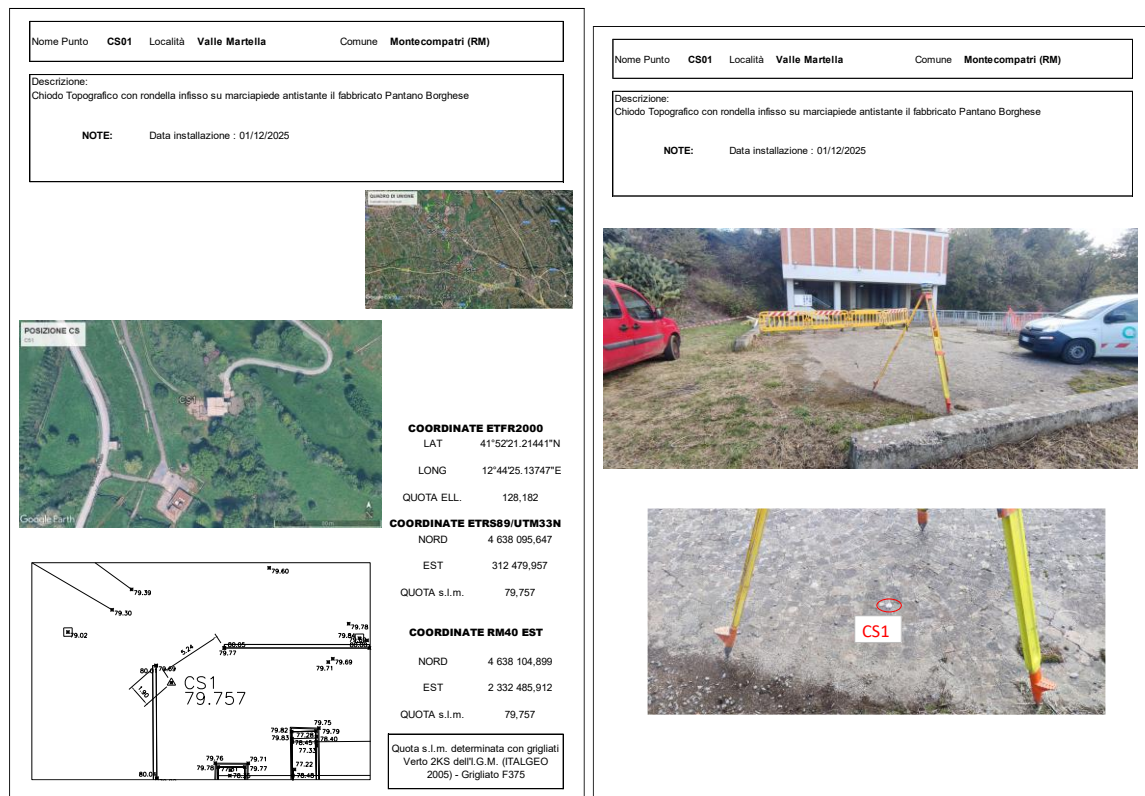


Figura 7 : Scheda Caposaldo posizionato all'interno del campo pozzi Pantano Borghese.



Figura 8 : Rappresentazione grafica delle planimetrie con i rilievi eseguiti.

b. Le indagini georadar

Le strade interessate dall'opera risultano caratterizzate dalla presenza di sottoservizi. Per rendere comptabile la posa delle nuove tubazioni con quelle previste in progetto, una volta acquisite le cartografie dai vari Enti è stata svolta una campagna di indagine in alcuni tratti, ritenuti critici, ai fini della posa.

Nell'immagine seguente le tratte indagate; gli esiti sono stati riportati all'interno delle planimetrie di progetto.

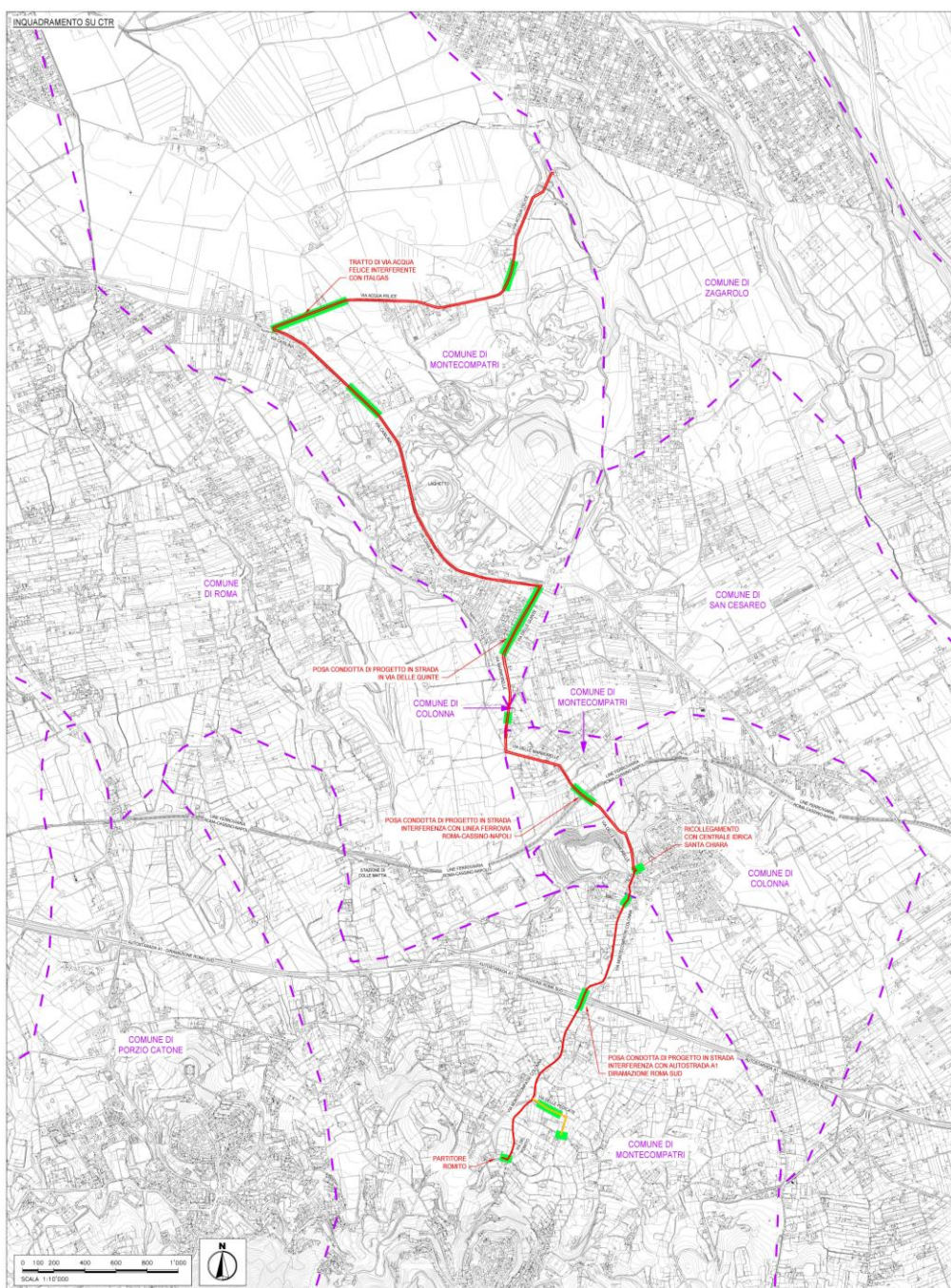


Figura 9 : In verde le tratte oggetto di georadar.

II. DESCRIZIONE DELLE OPERE DI PROGETTO – LOTTO I

a. Generalità

Il progetto prevede l'inserimento di un nuovo impianto presso il campo pozzi Pantano Borghese e lo sviluppo di opere in linea per l'interconnessione del sistema acquedottistico Appio-Alessandrino con il sistema acquedottistico della Doganella.

Le opere consistono in:

- Realizzazione di un nuovo impianto di sollevamento della potenzialità di 400 l/s;
- La posa di una condotta in ghisa DN 250 mm per uno sviluppo di 6897 ml;
- La posa di una condotta in ghisa DN 600 mm per uno sviluppo di 7049 ml;
- L'installazione di un gruppo pompe da 40 l/s all'interno dell'edificio esistente denominato Cavallino posto all'interno del campo pozzi Pantano Borghese;
- La sostituzione di un gruppo pompe da 8 l/s all'interno della centrale idrica di Santa Chiara;

Le opere, inoltre includono:

- N.ro 9 attraversamenti di canali a cielo aperto e tombati;
- N.ro 1 attraversamento della SS n.ro 6 denominata "Casilina" - km 23+632;
- N.ro 1 attraversamento della SS n.ro 6 denominata "Casilina" - km 23+780;
- N.ro 1 attraversamento della linea ferroviaria Roma-Cassino-Napoli - km 27+200;
- N.ro 1 attraversamento della linea ferroviaria Roma-Cassino-Napoli - km 27+722;
- Impianti elettrici;

Si riporta nei paragrafi seguenti le caratteristiche principali delle opere rimandando ai contenuti degli allegati grafici per maggiori approfondimenti.

b. Le opere in linea

A partire dal campo pozzi Pantano Borghese si svilupperanno le condotte di progetto per uno sviluppo di circa 7000 ml. Il tracciato seguirà il percorso di seguito illustrato:

- All'uscita dai rispettivi impianti le condotte si porteranno in parallelo andando ad attraversare in sub-alveo il canale a cielo aperto denominato Cavallino;
- Superato il canale suddetto dopo uno sviluppo di 140 ml le condotte raggiungono la viabilità proseguendo con la posa lungo la strada comunale Via Acqua Felice coprendo uno sviluppo di circa 1800 ml;
- Nel tratto terminale di via Acqua Felice le tubazioni gireranno verso est portandosi al di fuori della viabilità comunale e portandosi in una capezzagna pubblica fino a raggiungere Via Colle di Pero Alto in parallellismo con una linea aerea di MT;

- All'incrocio tra via Colle di Pero Alto e la strada statale n.ro 6 “Casilina” la posa prosegue lungo l'ex sedime ferroviario in direzione dell'abitato di Colonna costeggiando la strada statale;
- Superato lo sviluppo di circa 1700 m la posa delle due condotte prosegue su due tracciati separati:
 - DN250 mm in GHISA:
 - prosegue in direzione trasversale seguendo via Delle Quinte per uno sviluppo di circa 510 ml;
 - Al termine di via Delle Quinte la posa prosegue lungo via delle Marmorelle per un ulteriore sviluppo di 1275 ml raggiungendo il sottopasso in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario della linea Roma – Cassino – Napoli km 27+200;
 - Superato l'attraversamento ferroviario la posa prosegue per ulteriori 650 ml raggiungendo la centrale di Santa Chiara;
 - interconnessione alla rete in ingresso al serbatoio di Santa Chiara.
 - DN 600 mm in GHISA:
 - prosegue in direzione trasversale seguendo via dei Cesti per uno sviluppo di circa 530 ml;
 - prosegue in direzione trasversale seguendo via Valle Canestra per uno sviluppo di circa 365 ml;
 - Al termine di via Valle Canestra la posa prosegue lungo via del Giunco per un ulteriore sviluppo di 590 ml raggiungendo il sottopasso in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario della linea Roma – Cassino – Napoli km 27+722;
 - Superato l'attraversamento ferroviario la posa prosegue per ulteriori 390 ml su Via del Giunco;
 - prosegue in direzione sud seguendo via Bel Poggio per uno sviluppo di circa 200 ml fino a ri-immettersi su Via delle Marmorelle in parallelismo con la condotta DN250 mm per ulteriori 290 m circa raggiungendo la centrale di Santa Chiara.

Nella figura seguente si riportano le immagini dello stato di fatto dell'attraversamento ferroviario alla pk 27+200.



Figura 10 : Via delle Marmorelle lato nord.



Figura 11 : Via delle Marmorelle lato sud.

III. ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO KM 27+200 ROMA-CASSINO-NAPOLI

L'intervento di progetto prevede la realizzazione di una condotta adduttrice in ghisa di diametro DN250 mm; in corrispondenza di Via delle Marmorelle, in comune di Monte Compatri, è presente un sottopasso ferroviario di dimensioni 6x3 m al di sotto del quale sono già presenti alcuni sottoservizi come le tubazioni del gas gestite da Italgas e le tubazioni acquedottistiche gestite da ACEA.

L'opera di progetto sarà completa di tutte le opere necessarie (controtubo, manufatti, scarichi, etc..) al fine di rispettare il D.M. del 4 Aprile 2014 "Norme Tecniche per gli attraversamenti e i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto".

La lunghezza complessiva della tubazione di esercizio nel tratto in attraversamento è di circa 34; a monte e a valle di questo tratto la condotta di progetto andrà a ricollegarsi con la condotta di progetto di Via delle Marmorelle.

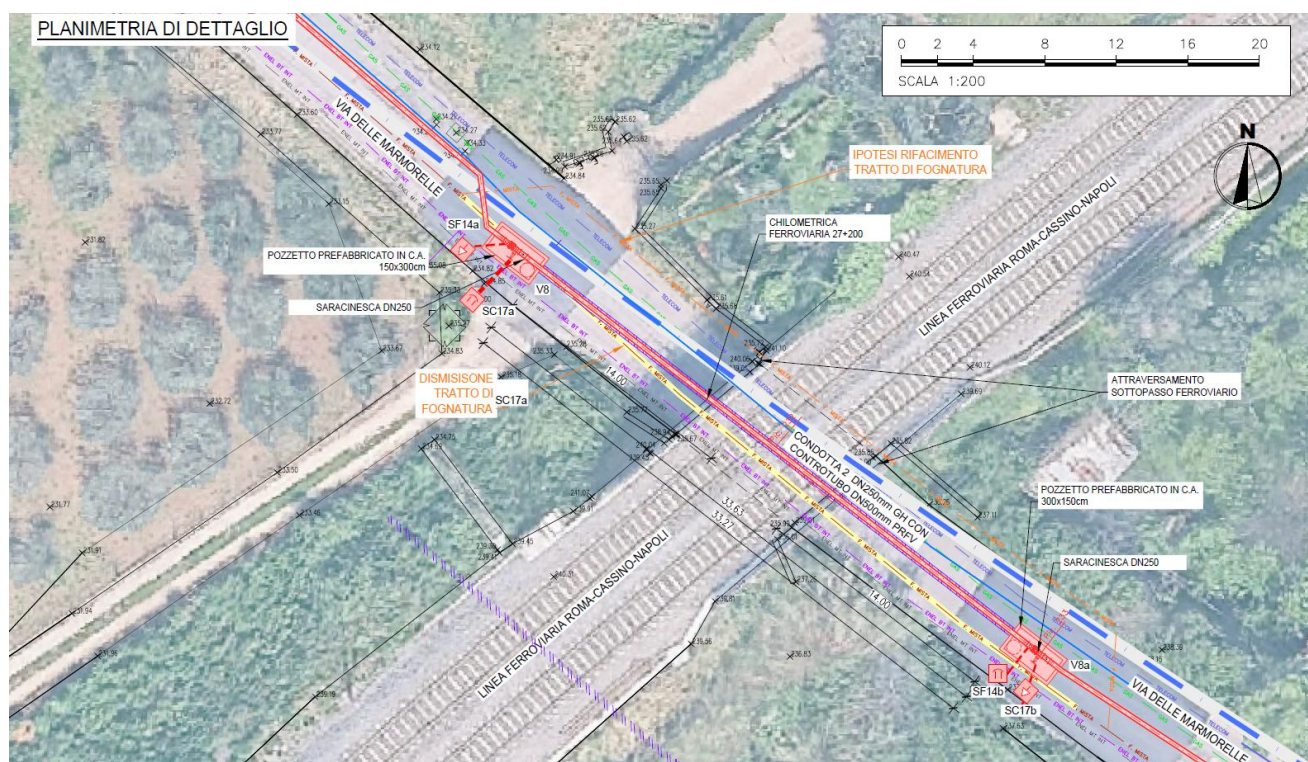


Figura 12 : Attraversamento Linea ferroviaria Roma/Cassino/Napoli - DN250 mm.

a. VERIFICA INTERVENTO SECONDO IL D.M. 4 APRILE 2014

Le caratteristiche dell'attraversamento ferroviario, delle condotte oggetto di intervento, corrispondono alle norme tecniche emanate dal Ministero dei Trasporti con D.M 4 aprile 2014 *Norme Tecniche per gli attraversamenti e parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto*, di cui all'Allegato «A».

In particolare, l'intervento di progetto si classifica come attraversamento inferiore (p.to 4.1.3 Allegato A del DM 4 aprile) e passa al di sotto dell'attraversamento ferroviario esistente alla km 27+200 della linea ferroviaria Roma-Cassino-Napoli con una condotta convogliante acqua sotto pressione.

Nei successivi paragrafi, vengono evidenziate le conformità al DM 4 aprile.

1. Art. 4.1.3.1 - Se la condotta (o il fascio di condotte), è interrata sotto il piano di campagna o sotto il manto di una strada è sempre necessario il tubo di protezione come indicato nel punto 4.1.1.3 per le condotte di acciaio o di altro materiale anche non metallico (comprese quelle in cemento armato di diametro interno minore di 0,8 m). Detto tubo di protezione deve avere pendenza non inferiore al due per mille in direzione del pozzetto di valle o a quota bassa. [...]Le condotte posate sotto il manto di una strada dovranno essere verificate ai carichi stradali.

Nel progetto è previsto il tubo di protezione con pendenza del 2 per mille in direzione dello scarico.

2. Art. 4.3.5 - Gli spessori delle condotte di ghisa vanno scelti in relazione al diametro della condotta ed al valore della pressione massima che può verificarsi nelle più gravose condizioni di esercizio, compreso il colpo d'ariete, moltiplicato per 1,5. In ogni caso però lo spessore minimo della condotta non deve essere inferiore a 5mm.

Il colpo d'ariete è un fenomeno idraulico che si presenta in una condotta quando un flusso di liquido in movimento al suo interno viene bruscamente fermato dalla repentina chiusura di una valvola.

Per tale motivo, oltre alle verifiche statiche effettuate in ottemperanza al Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti del 04.04.2014, è stata effettuata anche una verifica delle sollecitazioni dinamiche a cui è sottoposta la premente di progetto nell'ipotesi di interruzione improvvisa del flusso in corrispondenza del pozzetto terminale. Le condotte di progetto sono in GHISA Classe di pressione C40 DN 250 mm.

- Condotta DN250 mm

Nelle condizioni più gravose si verifica, una sovrappressione massima di $1.5 \cdot \Delta p_a = 1.5 \cdot 24 = 45$ bar che sommata alla pressione di esercizio (24 bar) comporta una pressione totale di circa 45 bar, assolutamente sopportabili dalla condotta di progetto Classe di Pressione C40 DN 250 mm.

3. Art. 4.4.1 - Il tubo di protezione deve essere di spessore adeguato alle sollecitazioni esterne ed interne da sopportare. Nei tubi di acciaio tale spessore, indipendentemente dai risultati dei calcoli di cui appresso, non può essere inferiore a 4mm.

Per attraversamento di progetto la condotta di protezione è stata prevista in PRFV DN500 mm sp. 28 mm.

Si riportano in allegato (CAPITOLO VII - ALLEGATO – VERIFICHE STATICHE CONTROTUBO PRFV) le verifiche statiche.

4. Art. 4.4.3 - Il diametro del tubo di protezione deve essere tale da assicurare lo smaltimento della intera portata della condotta.

Si riportano di seguito le verifiche.

- Condotta DN250 mm

In caso di rottura della tubazione in ghisa DN250 mm l'acqua verrà convogliata nel tubo camicia DN 500 mm in PRFV. È necessario quindi verificare che l'area dell'intercapedine tra il tubo di protezione e la tubazione interna sia maggiore dell'area liquida effettiva della tubazione di progetto.

- Area Liquida effettiva tubo in ghisa DN 250 mm $A=0.049$ mq
- Area Liquida effettiva tubo camicia in Acciaio DN 500 mm ($D_i=478$ mm) $A= 0.179$ mq

L'area dell'intercapedine risulta essere maggiore dell'area liquida del tubo di progetto, dunque la verifica è soddisfatta.

5. Art. 4.4.4 - Il tubo di protezione, qualora realizzato in acciaio, deve essere protetto esternamente con vernici, bendaggi o altri rivestimenti protettivi.

La tubazione non è prevista in acciaio.

6. Art. 4.4.5 - La condotta portante deve essere posata nell'interno del tubo di protezione con distanziatori di materiale isolante non deteriorabile. I distanziatori non devono occupare più di un quarto dell'area dell'intercapedine, dovranno essere in numero tale da garantire che i due tubi non vengano in nessun caso a contatto e dovranno essere posti in modo da consentire il libero deflusso delle acque.

Sono presenti i collari distanziatori di materiale isolante non deteriorabile.

7. Art. 4.4.6 - Negli attraversamenti interrati e inferiori il tubo di protezione deve essere posato con pendenza uniforme non inferiore al due per mille in direzione del pozzetto di ispezione di valle. Negli attraversamenti superiori il tubo di protezione deve essere posato con una pendenza non inferiore al due per mille in direzione del pozzetto di ispezione di valle. In ogni caso il tubo di protezione dovrà terminare, da ciascun lato dei binari esterni, ad una distanza minima di 10 m a partire dalla più vicina rotaia. Contemporaneamente dovrà essere rispettata la distanza minima di 3 m dal piede del rilevato o 5m dal ciglio delle trincee, anche se ciò comporta un aumento della sopra indicata distanza minima di 10m. Le predette distanze debbono intendersi misurate sulla ortogonale all'asse del binario.

Il tubo di protezione rispetta la livelletta di progetto con pendenza pari a 7.17 % maggiore quindi della pendenza minima del due per mille in direzione del pozzetto di ispezione di valle richiesta dal decreto inoltre la condotta terminerà ad una distanza di 10 m a partire dalla più vicina rotaia e a 3 m dal piede del rilevato.

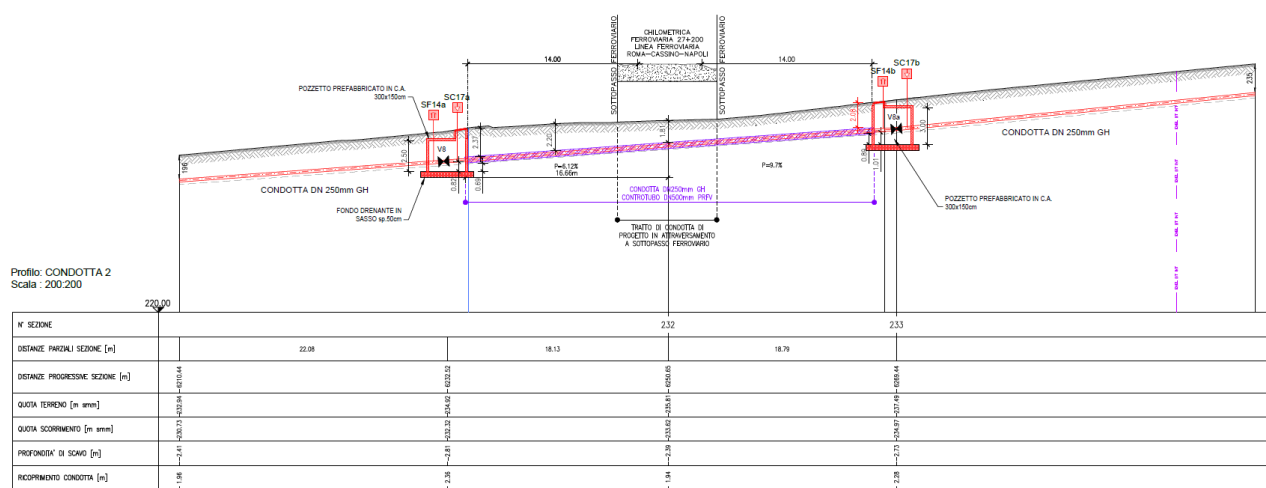


Figura 13 : Sezione Attraversamento Linea ferroviaria Roma/Cassino/Napoli - DN250 mm.

8. Art. 4.4.8 - Le estremità del tubo di protezione debbono terminare in pozzetti praticabili e aventi lo scopo di consentire l'ispezione della intercapedine libera fra la condotta ed il tubo di protezione, di raccogliere e smaltire lontano dalla sede ferroviaria le eventuali perdite, dovute ad avaria o rottura della condotta. Il bordo più vicino di tali pozzetti deve essere posto ad una distanza non inferiore a 10m a partire dalla più vicina rotaia misurata in ortogonale al binario. Lo smaltimento dovrà essere realizzato, mediante scarichi di fondo e/o luci di sfioro alla sommità dei pozzetti, che dovranno essere adeguatamente dimensionati in relazione alla portata di rottura della condotta ed opportunamente protetti con grate.

Detti scarichi dovranno inoltre essere collegati ad idonei ricettori finali ubicati nelle vicinanze.

Le estremità del tubo di protezione terminano in pozzetti praticabili posti ad una distanza di 14 m a partire dalla più vicina rotaia. Lo smaltimento è realizzato mediante un pozzettone con fondo drenante che permette di allontanare la portata eventualmente prodotta dalla rottura della tubazione in esercizio.

A. Verifica capacità di smaltimento portata di rottura DN 250 mm

Nel presente paragrafo si riporta la verifica della capacità del tubo di protezione in PRFV DN 500 mm di smaltire la portata convogliata dalla linea di acquedotto DN250 mm in caso di rottura di quest'ultima: il sistema è costituito quindi dal controtubo in PRFV che al suo interno contiene la tubazione DN 250 mm, per una lunghezza pari a quella del parallelismo, ossia 40 m circa, tra inizio e fine interferenza.

B. E' verosimile che la perdita possa verificarsi per la presenza di una foratura del tubo o per l'allentamento di qualche giunzione flangiata. Si ipotizza che la perdita sia assimilabile alla fuoriuscita d'acqua da un foro di 20 mm di diametro sulla tubazione. La portata che fuoriesce con una pressione di esercizio 23 bar è stimabile attraverso le normali formule della foronomia $Q = \mu * S * \sqrt{2 * g * h}$ considerando come carico h il carico istantaneo di 65 m nella sezione dell'attraversamento e come coefficiente di contrazione μ il valore di 0,61. Si ottiene il valore di $Q = 6.84$ l/s, valore che deve essere smaltito dall'area disponibile tra controtubo e tubazione di linea.

C. Tale portata verrà convogliata, in caso di rottura, nel pozzetto di nuova posa posto a valle dell'attraversamento ferroviario di Via delle Marmorelle; lo smaltimento lontano dalla sede ferroviaria di eventuali perdite sarà realizzato mediante il fondo drenante del pozzetto di fine attraversamento che sarà a tenuta stagna per evitare l'intrusione nell'intercapedine di eventuali acque meteoriche.

IV. I MATERIALI IMPIEGATI

a. Tubazioni in ghisa

Per la realizzazione delle nuove condotte adduttrici si prevede l'impiego di tubazioni in ghisa sferoidale prodotti in stabilimento europeo certificato a norma EN ISO 9001:2000 e conformi alla norma EN 545:2010–ISO 2531:2009. Classe di spessore C40.

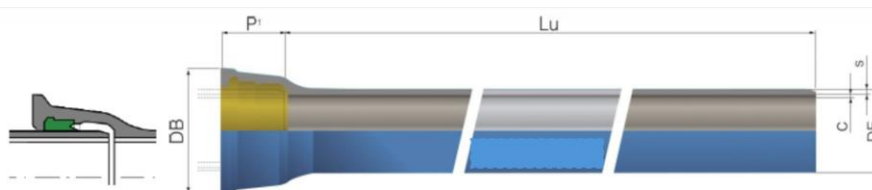
La lunghezza utile è pari a 6 metri e relative tolleranze conformi alla norma EN 545:2010. I tubi hanno un'estremità a bicchiere e sono rivestiti – esternamente con una protezione rinforzata di lega fusa di zinco e alluminio, con una composizione pari a 85%Zn–15%Al e arricchita in rame(Cu) con una massa totale minima pari a 400 g/m², con successivo strato di protezione di natura acrilica AQUACOAT di spessore minimo 80µm di colore blu conformi alla norma EN 545:2010–ISO 8179. Il rivestimento è idoneo per la maggior parte dei suoli, come definito nell'allegato D.2.2 della norma EN545:2010 – internamente con malta cementizia d'altoforno applicata per centrifugazione secondo a norma EN 545:2010–ISO 4179 UNI-EN 197. Per trasportare acqua potabile il rivestimento è conforme alla Direttiva 98/83/CE. Sistema di giunzione a mezzo di anello di gomma, giunto elastico automatico di tipo “standard” conforme alla norma UNI 9163 con guarnizione conforme alla norma EN 681-I, consentono deviazioni angolari in funzione del DN. $\leq \text{DN } 300 = 5^\circ$ – $\text{DN } 350 \div 600 = 4^\circ$

I pezzi speciali, ricavati da tubi già opportunamente collaudati in officina, devono corrispondere alle sopracitate prescrizioni, ove applicabili, e devono essere dimensionati con uno spessore maggiorato di almeno il 15% rispetto alle tubazioni correnti, per tener conto delle maggiori sollecitazioni a cui sono sottoposte.

Il rivestimento esterno delle tubazioni dovrà essere in polietilene triplo strato estruso mentre il rivestimento interno dovrà essere in resina epossidica certificato per acque destinate al consumo umano.

A causa della presenza in parallelismo delle condotte Terna di prossima realizzazione, solo per questi tratti, è prevista l'adozione di un ulteriore rivestimento esterno consistente nell'avvolgimento della tubazione mediante nastratura in PE; inoltre la copertura del giunto, che rimane parzialmente scoperto dalla nastratura, è realizzata mediante l'applicazione di una guaina in EPDM (non termorestringente). Tale guaina viene installata manualmente, senza l'ausilio di attrezzature, garantendo la continuità del rivestimento esterno.

Il sistema di rivestimento così configurato risulta idoneo per la posa in terreni caratterizzati dalla presenza di correnti vaganti, come nel caso di progetto.



DN	Lu	Dimensioni			Spessore Nominale		Massa			Dev. Ang.	Classe
		DE	DB _{AJ}	P _{1,AJ}	S	C	Kg/m	Kg/pz. 5,5m	Kg/pz. 6,0m		
mm	m	mm	mm	mm	mm	mm					
80	5,5/6,0	98	168	80	4,9	4,0	11,9	65,5	71,4	5°	C50
100	5,5/6,0	118	189	82	4,9	4,0	13,9	76,4	83,3	5°	C50
125	5,5/6,0	144	216	85	4,9	4,0	17,4	95,8	104,5	5°	C50
150	5,5/6,0	170	243	88	5,0	4,0	20,9	115,0	125,4	5°	C50
200	5,5/6,0	222	296	94	4,6	4,0	28,6	157,0	171,3	5°	C40
250	5,5/6,0	274	353	94	5,5	4,0	40,3	221,7	241,8	5°	C40
300	5,5/6,0	326	410	95	6,2	4,0	53,3	293,3	320,0	5°	C40
350	5,5/6,0	378	465	98	6,4	5,0	68,1	374,8	408,8	4°	C30
400	5,5/6,0	429	517	100	6,5	5,0	79,7	438,6	478,4	4°	C30
450	5,5/6,0	480	575	103	6,9	5,0	94,1	517,5	564,5	3°	C30
500	5,5/6,0	532	630	105	7,4	5,0	111,8	614,9	670,8	3°	C30
600	5,5/6,0	635	739	110	8,6	5,0	151,5	833,3	909,1	3°	C30
700	5,5/6,0	738	863	135	8,8	6,0	184,7	1015,7	1108,1	3°	C25
800	5,5/6,0	842	974	135	9,6	6,0	227,6	1251,7	1365,5	3°	C25
900	5,5/6,0	945	1082	135	10,6	6,0	278,7	1533,0	1672,4	1,5°	C25
1000	5,5/6,0	1048	1191	150	11,6	6,0	334,8	1841,2	2008,6	1,5°	C25
1200	5,5/6,0	1255	-	-	13,6	6,0	474,6	2610,1	2847,4	1,5°	C25
1400	5,5/6,0	1462	-	-	15,6	9,0	653,4	3593,9	3920,6	1,5°	C25
1600	5,5/6,0	1668	-	-	17,7	9,0	830,2	4566,1	4981,2	1,5°	C25

b. Tubazioni in PRFV

Per la realizzazione degli attraversamenti ferroviari si prevede di controtubare la tubazione in ghisa sferoidale antisfilo mediante l'inserimento delle stesse in condotte di PRFV: per la condotta DN250 mm si prevede un controtubo DN500 mm sp. 11 mm, PN 1 SNI0000.

Caratteristiche del materiale: resina poliestere rinforzata con fibre di vetro prodotte con tecnologia ad avvolgimento continuo;

Giunto: a manicotto in PRFV

Lunghezza barra: 6 m

Pressione nominale: 1 bar

Norme di produzione: EN 1796, EN 14364, ISO 10639, ISO 10467, AWWA C950, AWWA M45.

Norme di collaudo: AWWA C950, ASTM D3517.

V. MODALITA' DI COLLAUDO CONDOTTE IN ATTRAVERSAMENTO

La prova di collaudo idraulico della tubazione avverrà con le seguenti modalità:

- **MODALITA' DI RIEMPIMENTO:** con acqua potabile fino alla massima saturazione della sezione;
- **STABILIZZAZIONE:** la fase preliminare prevede la stabilizzazione della pressione in condotta – con valore indicato direttamente dal ACEA - per almeno 6 ore consecutive valutandone l'andamento nel tempo che deve essere privo di scostamenti significativi;
- **PRESSIONE DI COLLAUDO:** se la fase di stabilizzazione non ha evidenziato anomalie, si procede al collaudo con la pressione di collaudo PC pari a 1,5 volte la pressione di esercizio PE;
- **PROVA DI TENUTA:** la prova avrà durata almeno pari a 24 ore e l'andamento della pressione sarà registrato con continuità per mezzo di apposito disco manografo (precisione < 1%, fondo scala 25 bar) collegato in parallelo ad un manometro (precisione < 1%, divisione 0,02 bar, fondo scala 25 bar). La pressione deve risultare costante per tutta la durata della prova di tenuta.
- Tutte le apparecchiature sopra elencate devono essere corredate da apposita documentazione tecnica nonché di certificati di taratura validi nel periodo di prova. Inoltre, la stessa documentazione deve essere consegnata alla Direzione Lavori prima dell'inizio della prova medesima.

Tali modalità di prova risultano conformi a quanto disposto dall'Allegato A del D.M. 137/2014.

VI. PIANO DI MANUTENZIONE

Come richiesto dal D.M. 04/04/2014, si prevede la verifica con cadenza annuale, nell'ambito dei piani aziendali di manutenzione, dei seguenti aspetti:

- Rintracciabilità, coerenza cartografica e assenza di dispersioni nel tratto in attraversamento;
- Verifica della tenuta delle tubazioni;
- Verifica dei pozzetti di inizio/fine attraversamento;
- Verifica della botola di copertura dei pozzetti di ispezione;
- Rintracciabilità, accessibilità e corretto funzionamento dello scarico;
- Rintracciabilità, stato conservazione e verifica assenza acqua intercapedine del fodero.

VII. ALLEGATO – VERIFICHE STATICHE CONTROTUBO PRFV

Content

1 Jacking pipe according to DWA-A 161, 2nd edition	4
1.1 Input	4
1.1.1 Jacking method	4
1.1.2 Routing and jacking force	4
1.1.3 Pressure transfer ring (PTR)	4
1.1.4 Soil mechanical values	4
1.1.5 Soil	4
1.1.6 Loadings	5
1.1.7 Calculation options	5
1.1.8 Pipe with nominal stiffness	5
1.1.8.1 System drawing	6
1.2 Results	7
1.2.1 Partial safety coefficients (impacts)	7
1.2.2 Intermediate results pipe	7
1.2.2.1 Material properties	7
1.2.2.2 Safety factors	7
1.2.2.3 Checking of the minimum wallthickness	8
1.2.3 Strain proof (minimum design)	8
1.2.4 Intermediate results for the soil	8
1.2.5 Construction state	9
1.2.5.1 Loads Construction state	9
1.2.5.2 Section forces Construction state	10
1.2.5.3 Deflection proof Construction state	10
1.2.5.4 Buckling proof Construction state	10
1.2.5.5 Strain proof Construction state	11
1.2.6 Proof of admissibility of jacking force	12
1.2.6.1 Pipe	12
1.2.6.2 Angular deviation	12
1.2.6.3 Deformation of pipe	12
1.2.6.4 Interaction - equivalent stress proof shaft	13
1.2.6.5 Axial buckling proof (thermoplast or grp Pipe)	13
1.2.7 Operating state	13
1.2.7.1 Loads Operating state	13
1.2.7.2 Section forces Operating state	14
1.2.7.3 Deflection proof Operating state	14
1.2.7.4 Buckling proof Operating state	15
1.2.7.5 Strain proof Operating state	15
1.2.7.6 Proof of safety against failure with not predominantly static loading	16
2 Jacking pipe according to DWA-A 161, 2nd edition	17
2.1 Input	17
2.1.1 Jacking method	17

2.1.2 Routing and jacking force	17
2.1.3 Pressure transfer ring (PTR)	17
2.1.4 Soil mechanical values	17
2.1.5 Soil	17
2.1.6 Loadings	18
2.1.7 Calculation options	18
2.1.8 Pipe with nominal stiffness	18
2.1.8.1 System drawing	19
2.2 Results	20
2.2.1 Partial safety coefficients (impacts)	20
2.2.2 Intermediate results pipe	20
2.2.2.1 Material properties	20
2.2.2.2 Safety factors	20
2.2.2.3 Checking of the minimum wallthickness	21
2.2.3 Strain proof (minimum design)	21
2.2.4 Intermediate results for the soil	21
2.2.5 Construction state	22
2.2.5.1 Loads Construction state	22
2.2.5.2 Section forces Construction state	23
2.2.5.3 Deflection proof Construction state	23
2.2.5.4 Buckling proof Construction state	23
2.2.5.5 Strain proof Construction state	24
2.2.6 Proof of admissibility of jacking force	25
2.2.6.1 Pipe	25
2.2.6.2 Angular deviation	25
2.2.6.3 Deformation of pipe	25
2.2.6.4 Interaction - equivalent stress proof shaft	26
2.2.6.5 Axial buckling proof (thermoplast or grp Pipe)	26
2.2.7 Operating state	26
2.2.7.1 Loads Operating state	26
2.2.7.2 Section forces Operating state	27
2.2.7.3 Deflection proof Operating state	27
2.2.7.4 Buckling proof Operating state	28
2.2.7.5 Strain proof Operating state	28
2.2.7.6 Proof of safety against failure with not predominantly static loading	29

1 Jacking pipe according to DWA-A 161, 2nd edition

The calculation module takes into account the following corrections of the worksheet DWA-A 161: DWA-A 161 04/2017, DWA-A 161 10/2017, TM 4-2019 DB Netz AG, DWA-A 161 10/2020, DWA-A 127-10:2020-10, DWA-A 161 03/2021

Permissible thrust force:	F_j	565	kN
Kind of calculation:	Nominal stiffness		
States to be calculated:	Construction and operational state		
Add sketch to print:	Yes		
Print minimum sectional forces in operating state:	Yes		

1.1 Input

1.1.1 Jacking method

Method:	Microtunneling and manned methods		
Complete and permanent grouting of the annular gap:	No		
Using of proppant or lubricant:	Yes		
Pressure of proppant or lubricant:	p_{stm}	0.5	bar
Annular gap:	Other jacking techniques, continuous support of annular gap with documentation		

1.1.2 Routing and jacking force

Jacking route:	Straight line		
Calculation of the unplanned deviations from the nominal axis (straight track):	Without pilot jacking		
Combination coefficient for pipe's angular deflection:	ψ	0.80	[-]
Specification of jacking force:	Yes		
Chosen jacking force:	$F_{j,m}$	615.0	kN
Free input of safety coefficient for the longitudinal direction:	No		
Monitored installation:	Yes		

1.1.3 Pressure transfer ring (PTR)

Kind of thrust transfer:	Without pressure transfer ring
--------------------------	--------------------------------

1.1.4 Soil mechanical values

Soil conditions:	Granular soil		
Soil group around pipe:	G2		
Different soil group above pipe:	No		
Bedding angle (granular soil):	$2\alpha = 180^\circ$ (standard case)		
Manual definition inner friction of soil:	Yes		
Inner friction of soil around pipe:	ϕ'	35.000	°
Manual entering of specific weight of soil:	Yes		
Specific weight of soil:	γ_B	22.4	kN/m ³
Buoyant weight of soil:	γ'_B	11.0	kN/m ³

1.1.5 Soil

Manual specification of modulus of deformation of soil:	No
Application of silo theory:	Automatic

Manual specification of κ and κ_0 :
Manual specification of K_1 , δ and c :
Compactness of the packing around pipe:
Taking concentration factor λF in account:

No
No
Medium dense to dense
No

1.1.6 Loadings

Cover height:
Additional surface load:
Partial safety factor for outer water pressure:
Groundwater level above pipe invert:
Inner pressure (construction state):
Inner pressure (operational state):
Pipe is filled with liquid during jacking:
Pipe is filled with liquid during operation:
Specific weight of medium:
Free input of safety factor for traffic load:
Traffic load:
Load factor α_{Qi} LM71 (DIN EN 1991-2):
Manual definition reduction ratio for dynamic load:
Railway load lies in the area of the Deutsche Bundesbahn:

h	1.3	m
P_0	0.00	kN/m ²
$\gamma_{F,W}$	1.35	[-]
h_{GW}	0.0	m
$P_{I,C}$	0.0	bar
$P_{I,O}$	0.0	bar
Yes		
Yes		
γ_{WF}	10.0	kN/m ³
No		
Railway LM 71 - multiple track		
$\alpha_{Qi,LM71}$	1.00	[-]
No		
Yes		

1.1.7 Calculation options

Buckling proof:
Deformation proof:
Admissible deflection according A161:
Dynamic proof:
Treatment minimum sectional forces:
Comparison stress minimum sectional forces:

According to A 127
According to A 161
Yes
Not to be carried out
According to standard
Use design values

1.1.8 Pipe with nominal stiffness

Partial safety coefficient according to standard:

Yes

Pipe chosen from database:
Choice of input:
Caption:
Outer diameter:
Wall thickness:
Local predeformation:
A type predeformation:

No
Do - s
DN400 PN1 SN320000

d_a	427	mm
t	28.0	mm
$\delta_{v,I}$	0.0	%
$\delta_{v,A}$	1.0	%

Nominal stiffness:
Nominal pressure:
Creep ratio:
Reduction factor due to temperature effect:
Reduction factor due to media attack:
Reduction factor due to dynamic loading:

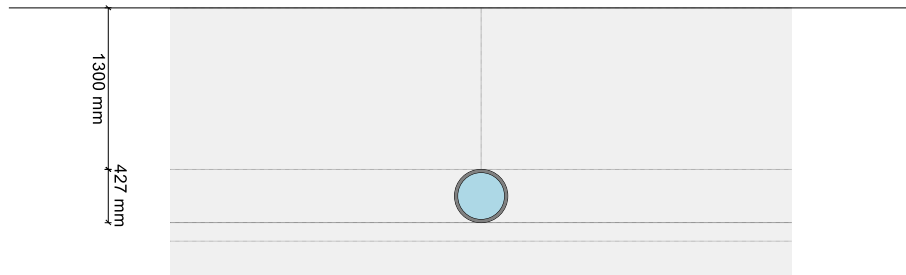
SN	320,000	N/m ²
PN	1.0	bar
f_{Kriech}	2.00	[-]
$A_{1,Temp}$	1.00	[-]
$A_{2,Medium}$	1.00	[-]
$A_{3,dyn}$	1.00	[-]

Specific gravity:
Poissons ratio:
Input of ultimate hoop tensile stress:
Ultimate strain tensile strength according to standard:
Amplitude with $2 \cdot 10^6$ tests is known:
Amplitude with $1 \cdot 10^8$ tests is known:
Outer set-off:
Inner set-off:
Pipe length:
Axial compressive strength, short term:
Longitudinal compressive strength, long-term:
Fiber strain for axial pressure, short term:
Elongation limit for longitudinal compression, long-term:
Manually given Δa_{cal} :

γ_R	18.00	kN/m ³
ν	0.30	[-]
No		
Yes		
No		
No		
$\Delta d_{a,min}$	9.8	mm
$\Delta d_{i,max}$	0.0	mm
L_R	6.00	m
$\sigma_{D,K}$	90.0	N/mm ²
$\sigma_{D,L}$	60.0	N/mm ²
ε_{AxK}	1.0	%
ε_{AxL}	0.8	%
No		

1.1.8.1 System drawing

Railway LM 71 - multiple track



1.2 Results

1.2.1 Partial safety coefficients (impacts)

Partial safety factor for non-static loads (traffic loads), radial:	γ_Q	1.35	[-]
Partial safety coefficient for inner pressure (pressure pipes > 0,5 bar):	$\gamma_{F, Pi}$	1.50	[-]
Partial safety factor for static loads, radial:	γ_F	1.35	[-]
Partial safety factor for loads, longitudinal:	$\gamma_{F, ax}$	1.15	[-]

1.2.2 Intermediate results pipe

Inner diameter:	d_i	371.0	mm
Outer diameter:	d_a	427.0	mm
Mean radius:	r_m	199.50	mm
Wall thickness:	s	28.00	mm
Ratio radius to wall thickness:	r_m/s	7.125	[-]
Curve correction factor, internal:	α_{ki}	1.047	[-]
Curve correction factor, external:	α_{ka}	0.953	[-]
Local predeformation:	$\delta_{v, l}$	0.00	%
Predeformation (ovalisation before load):	$\delta_{v, A}$	1.00	%
Axially effected profile surface:	A_{ax}	28.00	mm ² /mm
Radial cross section:	A_{rad}	28.00	mm ² /mm
Distance of inertia:	e	14.00	mm
Moment of inertia:	I	1,829.33	mm ⁴ /mm
Outer moment of resistance:	W_a	130.67	mm ³ /mm
Inner moment of resistance:	W_i	130.67	mm ³ /mm
Surface ratio:	κ_Q	1.2	[-]
Minimum outer diameter:	$d_{a, min}$	407	mm
Maximum inner diameter:	$d_{i, max}$	371	mm
Max. deviation of the abutting faces of pipes from perpendicular to the pipe axis in a pipe joint:	$\Delta_{a, cal}$	2.0	mm
Length of the single jacking pipe:	L_R	6.00	m

1.2.2.1 Material properties

		short term	long term	
Specific gravity	γ_R	18.0	18.0	kN/m ³
Poissons ratio	ν	0.30	0.30	[-]
Characteristic value of Young's modulus in ring direction	E_R	11,111.6	5,555.8	N/mm ²
Creep ratio:	f_{creep}		2.00	[-]
Table 3 of ATV DVWK-A 127, footnote 34: <i>Determined from the momentary value and the creep ratio (2) with characteristic values for 2 years for the description of the long term behavior. Also permitted for the long term verification for 50 years. Tests take place in accordance with DIN EN 1228 (momentary) and DIN EN 1225 (long term).</i>				
Characteristic value of Young's modulus in axial direction	$E_{R, ax}$	9,000.0	-	N/mm ²
Characteristic value of ultimate strain for edge fibers	ϵ_R	1.000	0.800	%
Characteristic value of hoop tensile strength	σ_{RZ}	2.9	1.4	N/mm ²
Amplitude for 2·10 ⁶ load cycles:		$2\sigma_{a, 2E6}$	n. def	N/mm ²
Amplitude at 5·10 ⁶ load cycles:		$2\sigma_{a, 5E6}$	n. def	N/mm ²
Amplitude for 1·10 ⁸ cycles:		$2\sigma_{a, 1E8}$	n. def	N/mm ²
Axial compressive strength	σ_{LD}	90.0	-	N/mm ²

1.2.2.2 Safety factors

The partial safety coefficient transverse to the pipe axis is set at 1.15 (instead of 1.1 or 1.13 according to DWA-A 161 Table 6) in accordance with DIN EN 1993-1-9 Table 3.1.

Local safety coefficient for component friction longitudinal to pipe axis	$\gamma_{M, ax}$	1.54	1.54	[-]
---	------------------	------	------	-----

Local safety coefficient for component friction lateral to pipe axis	$\gamma_{M,rad}$	1.48	1.48	[-]
Local safety coefficient for component friction longitudinal on stability	$\gamma_{M,stab}$	1.85	1.85	[-]
Local safety coefficient for component friction longitudinal on stability regarding the pipe deformation	$\gamma_{M,stab,red}$	1.45	1.45	[-]
1.2.2.3 Checking of the minimum wallthickness				
Nominal diameter:	DN	427	mm	
Mean radius:	r_m	199.50	mm	
Wall thickness:	s	28.00	mm	
Calculated minimum wallthickness:	min. t	11.97	mm	
The wall thickness is equal to or greater than the minimum wall thickness according to A161 9.3.1 table 19/20!				
1.2.3 Strain proof (minimum design)				
Increasing coefficient for planned curves:		K_{min}	1.000	[-]
Design moment for minimum dimensioning	$M_{d,min}$	crown 1.791	springline -1.791	invert 1.791
Design normal force for minimum dimensioning	$N_{d,min}$	-26.933	-53.865	-26.933
				kNm/m kN/m
Stress due to minimum design	σ_{min}	-14.027	11.142	-14.027
Strain due to minimum design	ϵ_{min}	-0.126	0.100	-0.126
Ultimate bending tensile strain for edge fibers:			$\epsilon_{R,d}$	0.676
				%
Utilisation factor (minimum design):	U_{min}	---	14.8	---
				%
Stress due to minimum design	σ_{min}	13.386	-16.272	13.386
Strain due to minimum design	ϵ_{min}	0.120	-0.146	0.120
Ultimate bending tensile strain for edge fibers:			$\epsilon_{R,d}$	0.676
				%
Utilisation factor (minimum design):	U_{min}	17.8	---	17.8
				%
All calculated strains due to minimum design are smaller than the admissible values.				
1.2.4 Intermediate results for the soil				
Specific weight of soil:	γ_B	22.4	kN/m ³	
Buoyant weight of soil:	γ'_B	11.0	kN/m ³	
Soil group around pipe:	G2			
Angle of inner friction around pipe:	ϕ'_2	35.0	°	
Basis value of modulus of deformation of soil:	E_0	30.00	N/mm ²	
Coefficient for the compactness of the packing/consistency according A161 table 3/4:	f_1	0.60	[-]	
Loosening coefficient caused by jacking according to A161, table 5.:	f_2	0.80	[-]	
Angle of inner friction above pipe:	ϕ'_1	35.0	°	
Stress exponent:	z	0.5	[-]	
Ratio:	δ/ϕ'_1	0.50	[-]	
Angle of wall friction:	δ	17.50	°	
Earth pressure ratio above pipe:	K_1	0.50	[-]	
$b = d_a \cdot \sqrt{3}$				
Influence width of soil above pipe:	b	0.74	m	(7)

$$\kappa = \frac{1 - e^{\left(-2 \cdot \frac{h}{b} \cdot K_1 \cdot \tan \delta\right)}}{2 \cdot \frac{h}{b} \cdot K_1 \cdot \tan \delta} \quad (8)$$

Reduction factor earth load: κ 0.768 [-]

$$\kappa_0 = e^{\left(-2 \cdot \frac{h}{b} \cdot K_1 \cdot \tan \delta\right)} \quad (9)$$

Reduction factor surface load: κ_0 0.575 [-]

Remarks concerning silo theory: Silo theory can be used.

The consideration of concentration factor λF is necessary.: Yes

Concentration factor: λ 1.000 [-]

Base value of earth pressure ratio below crown: $K_{2,0}$ 0.43 [-]

Earth pressure ratio above pipe, construction state: $K_{2,Bau}$ 0.34 [-]

Earth pressure ratio above pipe, operational state: $K_{2,End}$ 0.43 [-]

1.2.5 Construction state

1.2.5.1 Loads Construction state

Impact factor: Φ_2 1.67 [-]

For pipes which are laid using the jacking method, the greater of the two values a) cover depth (measured from railway sleeper's upper edge to pipe's crown) $h_{\ddot{u}} \geq 1.50$ m or b) soil cover (measured from road stone's lower edge to pipe's crown) $h_B \geq 2$ -da, see DWA-A 161 section 6.2.3.3 or Ril 836.4505 (8).

For the execution of crossings under railway systems with smaller cover depths - and in principle with $h_{\ddot{u}} < 1.1$ m - an internal company permit (Unternehmensinterne Genehmigung, UiG) from DB AG and, if applicable, an approval in individual cases (Zustimmung im Einzelfall, ZIE) from the Federal Railway Authority (Eisenbahn-Bundesamt, EBA) is required.

Commitment of the German railways agency: The impact factor is 1.67 for cover depths $h_{\ddot{u}} < 1.50$ m.

Impact factor: red Φ_2 1.67 [-]

Load factor α_{Qi} LM71 (DIN EN 1991-2): $\alpha_{Qi,LM71}$ 1.00 [-]

Basic vertical soil stress due to traffic load: p 60.45 kN/m²

Vertical soil stress at crown height due to traffic load: p_T 100.95 kN/m²

Vertical soil stresses due to traffic load at springline (without impact factor φ): p_K 48.89 kN/m²

Earth pressure ratio below crown: K_2 0.34 [-]

Horizontal soil stress due to traffic load: $p_{T,h}$ 22.27 kN/m²

Vertical soil stress at crown level: p_{Ev} 22.356 kN/m²

Effective vertical stress at pipe crown level: q_{Ev} 22.356 kN/m²

Total vertical soil stresses at pipe crown level: $q_{Ges,v}$ 129.599 kN/m²

Distribution of earth pressure at the pipe is assumed to be $\cos^2$ - or $\sin^2$ -shaped.: Yes

Radial earth load on pipe during jacking: q_0 28.647 kN/m²

Horizontal soil stress during jacking: $q_{0,h}$ 10.574 kN/m²

Total horizontal soil stresses at pipe: $q_{Ges,h}$ 32.840 kN/m²

Inner gauge pressure: p_i 0.000 bar

Outer gauge pressure above pipe crown: $p_{a,Sc}$ 0.000 bar

Pipe stiffness: S_R 2,560 kN/m²

Pipe stiffness: $\bar{S}_R$ 2,560 kN/m²

Scaling reference value: $\sigma_{B,0}$ 100.0 kN/m²

Increase factor due to soil stress: f_3 1.00 [-]

Modulus of deformation of soil:	E_B	14.40	N/mm ²
Earth pressure ratio below crown:	K_2	0.34	[-]
Stiffness of bedding:	S_{Bh}	8.64	N/mm ²
System stiffness:	V_{RB}	0.2963	[-]
The pipe soil system behaves flexible.:	Yes		

According to DWA-A 161, chapter 6.2.2, the lateral bedding reaction pressure may be applied only in operating state.

1.2.5.2 Section forces Construction state

Moments:		crown	springline	invert	
Vertical load due to earth coverage	$M_{q0v,d}$	0.257	-0.257	0.257	kNm/m
Vertical load due to traffic load	$M_{pTv,d}$	1.356	-1.356	1.356	kNm/m
Horizontal load due to traffic	$M_{pTh,d}$	-0.299	0.299	-0.299	kNm/m
Horizontal load due to earth coverage	$M_{qh,d}$	-0.095	0.095	-0.095	kNm/m
Dead weight	$M_{g,d}$	0.010	-0.012	0.019	kNm/m
Waterfilling upto crown	$M_{w,d}$	0.021	-0.023	0.038	kNm/m
Bouyancy (outer water level upto crown)	$M_{a,d}$	0.000	0.000	0.000	kNm/m
Water pressure	$M_{pw,d}$	0.000	0.000	0.000	kNm/m
Bedding reaction pressure due to earth load	$M_{qEh*,d}$	0.000	0.000	0.000	kNm/m
Bedding reaction pressure	$M_{qh*,d}$	0.000	0.000	0.000	kNm/m
Sum of moments	ΣM_d	1.250	-1.254	1.276	kNm/m
Normal forces:		crown	springline	invert	
Vertical load due to earth coverage	$N_{q0v,d}$	-2.569	-5.146	-2.569	kN/m
Vertical load due to traffic	$N_{pTv,d}$	0.000	-27.189	0.000	kN/m
Horizontal load due to traffic	$N_{pTh,d}$	-5.997	0.000	-5.997	kN/m
Horizontal load due to earth coverage	$N_{qh,d}$	-1.899	-0.948	-1.899	kN/m
Dead weight	$N_{g,d}$	0.034	-0.213	-0.194	kN/m
Waterfilling upto crown	$N_{w,d}$	0.336	0.116	0.422	kN/m
Bouyancy (outer groundwater level upto crown)	$N_{a,d}$	0.000	0.000	0.000	kN/m
Water pressure	$N_{pw,d}$	0.000	0.000	0.000	kN/m
Bedding reaction pressure due to earth load	$N_{qEh*,d}$	0.000	0.000	0.000	kN/m
Bedding reaction pressure due to traffic load	$N_{qTh*,d}$	0.000	0.000	0.000	kN/m
Bedding reaction pressure	$N_{qh*,d}$	0.000	0.000	0.000	kN/m
Sum of normal forces	ΣN_d	-10.096	-33.381	-10.237	kN/m

1.2.5.3 Deflection proof Construction state

Deflection coefficient:	$C_{v,qh*}$	0.0640	[-]
Deflection coefficient:	$C_{v,qv}$	-0.0833	[-]
Coefficient of bedding reaction pressure:	K^*	0.230	[-]
Deflection coefficient:	c^*_v	-0.069	[-]
Radial earth load on pipe during jacking:	q_0	28.647	kN/m ²
Vertical soil stress due to traffic load:	p_T	100.95	kN/m ²
Total vertical soil stresses at pipe crown level:	$q_{Ges,v}$	129.599	kN/m ²
Horizontal soil stress during jacking:	$q_{0,h}$	10.574	kN/m ²
Horizontal soil stress due to traffic load:	p_{Th}	22.27	kN/m ²
Total horizontal soil stresses at pipe:	$q_{Ges,h}$	32.840	kN/m ²
Relative vertical change of diameter:	δ_v	0.25	%
Admissible change of vertical diameter:	$zul \delta_v$	2.00	%
Utilisation factor deflection:	$U_{\delta v}$	12.3	%

The calculated deflection is less than the permissible deflection.

1.2.5.4 Buckling proof Construction state

Local safety coefficient for component friction longitudinal on stability regarding the pipe deformation:	$\gamma_{M,stab,red}$	1.45	[-]
Pressure of proppant or lubricant:	p_{stm}	0.5	bar
Vertical soil stress due to traffic load:	p_T	100.95	kN/m ²

Relative vertical change of diameter:	δ_V	0.25	%
Predeformation (ovalisation before load):	$\delta_{V,A}$	1.00	%
Total change in diameter:	$\delta_{V\Sigma}$	1.25	%
Reduction factor for critical outer water pressure due to ovalisation (acc. A127):	K_{a2}	0.93	[-]
Critical outer water pressure:	$krit\ p_{a,d}$	4.939	N/mm ²
Utilisation factor stability:	$U_{Stab,rad}$	4.1	%

The proof of stability is provided.

1.2.5.5 Strain proof Construction state

Inside:		crown	springline	invert	
Stress due to earth and traffic load	$\sigma_{ST,d}$	9.393	-10.955	9.393	N/mm ²
$\varepsilon_{ST,d} = \frac{\sigma_{ST,d}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot \bar{S}_R} \cdot \left(\frac{s \cdot \Sigma N_{qv,qh,qh^*,d}}{6} + \Sigma M_{qv,qh,qh^*,d} \cdot \alpha_{ki} \right)$					
Strain due to earth- and traffic loads	$\varepsilon_{ST,d}$	0.085	-0.099	0.085	%
Stress due to other loads	$\sigma_{re,d}$	0.261	-0.286	0.464	N/mm ²
$\varepsilon_{re,d} = \frac{\sigma_{re,d}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot \bar{S}_R} \cdot \left(\frac{s \cdot \Sigma N_{sonst,d}}{6} + \Sigma M_{sonst,d} \cdot \alpha_{ki} \right)$					
Strain due to other loads	$\varepsilon_{re,d}$	0.002	-0.003	0.004	%
Total strain	ε	0.087	-0.101	0.089	%
Relevant limit of outer fiber strain	$\varepsilon_{R,res,d}$	0.676	0.676	0.676	%
$\frac{\sigma_d}{\sigma_{R,d}} \leq 1,0$					
Utilisation flexural compression:	U_{BZ}	12.9	---	13.1	%
Utilisation flexural compression:	U_{BD}	---	15.0	---	%
Outside:		crown	springline	invert	
Stress due to earth and traffic load	$\sigma_{ST,d}$	-9.267	7.705	-9.267	N/mm ²
$\varepsilon_{ST,d} = \frac{\sigma_{ST,d}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot \bar{S}_R} \cdot \left(\frac{s \cdot \Sigma N_{qv,qh,qh^*,d}}{6} - \Sigma M_{qv,qh,qh^*,d} \cdot \alpha_{ka} \right)$					
Strain due to earth- and traffic loads	$\varepsilon_{ST,d}$	-0.083	0.069	-0.083	%
Stress due to other loads	$\sigma_{re,d}$	-0.213	0.254	-0.407	N/mm ²
$\varepsilon_{re,d} = \frac{\sigma_{re,d}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot \bar{S}_R} \cdot \left(\frac{s \cdot \Sigma N_{sonst,d}}{6} - \Sigma M_{sonst,d} \cdot \alpha_{ka} \right)$					
Strain due to other loads	$\varepsilon_{re,d}$	-0.002	0.002	-0.004	%
Total strain	ε	-0.085	0.072	-0.087	%
Relevant limit of outer fiber strain	$\varepsilon_{R,res,d}$	0.676	0.676	0.676	%
$\frac{\sigma_d}{\sigma_{R,d}} \leq 1,0$					
Utilisation flexural compression:	U_{BZ}	---	10.6	---	%
Utilisation flexural compression:	U_{BD}	12.6	---	12.9	%

All calculated strains are smaller than the admissible values.

1.2.6 Proof of admissibility of jacking force

1.2.6.1 Pipe

Minimal wall thickness of pipe:	$t_{R,min}$	18.2	mm
Relevant area of force transferring area:	A_R	222.533	cm ²
Axial compressive strength:	σ_{LD}	90.0	N/mm ²
Local safety coefficient for component friction longitudinal to pipe axis:	$\gamma_{M,ax}$	1.54	[-]
Characteristical strength of pipe material.:	f_k	90.00	N/mm ²
Mean tensile strength of pipe material in ring direction:	f_{tm}	n. def	N/mm ²
Characteristic value of Young's modulus in axial direction:	$E_{R,ax}$	9,000.0	N/mm ²
Local safety coefficient for component friction longitudinal to pipe axis:	$\gamma_{M,ax}$	1.54	[-]
Design value of pipe strength:	f_d	58.44	N/mm ²

1.2.6.2 Angular deviation

Minimal planned radius of jacking route:	R_{Plan}	+∞	m
Length of the single jacking pipe:	L_R	6.00	m
Calculated angular deflection due to the planned curve: φ_R was assumed as 0°, as for $\varphi_R < 0,05^\circ$ the route is considered to be straight.	φ_R	0.000	°
Angular deflection due to the planned curve:	φ_R	0.000	°
Maximum inner diameter:	$d_{i,max}$	371	mm
Calculation value of angular deflection due to unplanned deviation:	$\varphi_{St,0/LR}$	0.167	°/m
Angular deflection due to unplanned deviation:	φ_{St}	1.063	°
Nominal diameter:	DN	427	mm
Max. deviation of the abutting faces of pipes from perpendicular to the pipe axis in a pipe joint:	$\Delta_{a,cal}$	2.0	mm
Minimum outer diameter:	$d_{a,min}$	407	mm
Angular deflection due to deviation of the pipe area from perpendicular to the pipe axis:	$\varphi_{\Delta a,cal}$	0.281	°
Combination coefficient for pipe's angular deflection:	ψ	0.80	[-]
Total angular deflection at a pipe joint:	φ_{ges}	1.075	°
Ratio $t_{DÜR}$ to t_{Rohr} :	K_t	1.000	[-]
Mean tensile strength of pipe material in ring direction:	f_{tm}	n. def	N/mm ²
Coefficient for permissible compressive stress:	$\alpha_{D,T}$	1.000	[-]
Highest permissible compressive stress, effective in pipe joint:	σ_{cal}	58.44	N/mm ²

1.2.6.3 Deformation of pipe

Calculated compressive stress in pipe material:	σ_{max}	58.44	N/mm ²
Ratio pipe length to outer diameter:	L_R/d_a	14.05	[-]
Deformation coefficient of pipe:	α_b	0.585	[-]
$\alpha_\varphi = \varphi_R - 0.05 \leq 1 \ \& \ \geq 0$			
Coefficient:	α_φ	0.000	[-]
Deformation factor of pipe:	K_{ab}	0.500	[-]
Deflection component of jacking pipe:	Δ_{SR}	19.5	mm

Result

Joint gap dimension:	$z_k/d_{a,min}$	1.00	[-]
Stress ratio due to eccentric applied thrust forces (from picture 22/23):	σ_{max} / σ_0	2.00	[-]
Relevant area of force transferring area:	A_R	222.533	cm ²
Partial safety factor for loads, longitudinal:	$\gamma_{F,ax}$	1.15	[-]
Permissible thrust force:	F_j	565	kN
Axial stress, Design value acting in the spigot end:	$\sigma_{x,d}$	-63.56	N/mm ²

When jacking under railways in Germany (Deutsche Bahn), it is prohibited to reduce the partial safety coefficient in axial direction according to DWA-A 161 Table 12 for temporary situations.

Chosen jacking force:	$F_{j,m}$	615.0	kN
-----------------------	-----------	-------	----

Utilisation factor permissible thrust force:	UFj	108.8	%
--	-----	-------	---

The chosen thrust force is admissible.

Area for axial pressure beyond coupling zone:	AR,0	350.98	cm ²
Axial stress in the pipe. Design value:	σ _{x,d,0}	-40.30	N/mm ²

1.2.6.4 Interaction - equivalent stress proof shaft

Maximum axial stress:	max σ _{x,d}	-40.30	N/mm ²
Maximum radial stress: (Bottom, inside)	max σ _{φ,d}	9.86	N/mm ²

Equivalent stress:	σ _{VGE,d}	46.03	N/mm ²
Axial compressive strength:	σ _{LD}	90.0	N/mm ²
Local safety coefficient for component friction longitudinal to pipe axis:	Y _{M,ax}	1.54	[-]
Admissible equivalent stress:	σ _{Z,d}	58.44	N/mm ²
Utilisation factor equivalent stress shaft:	U _{σVGE}	78.8	%

The equivalent stress is smaller than the permissible value.

1.2.6.5 Axial buckling proof (thermoplast or grp Pipe)

Coefficient:	k _i	0.40	[-]
Utilisation factor axial stability:	min α _L	1.00	[-]
Critical axial load:	krit σ _{L,d}	307.20	N/mm ²
Axial stress in the pipe. Design value:	σ _{x,d,0}	-40.30	N/mm ²
Utilisation factor axial buckling:	U _{Stab,ax}	13.1	%

The proof against axial buckling is provided.

1.2.7 Operating state

1.2.7.1 Loads Operating state

Impact factor:	Φ ₂	1.67	[-]
----------------	----------------	------	-----

For pipes which are laid using the jacking method, the greater of the two values a) cover depth (measured from railway sleeper's upper edge to pipe's crown) $h_{\bar{u}} \geq 1.50$ m or b) soil cover (measured from road stone's lower edge to pipe's crown) $h_B \geq 2$ -da, see DWA-A 161 section 6.2.3.3 or Ril 836.4505 (8).

For the execution of crossings under railway systems with smaller cover depths - and in principle with $h_{\bar{u}} < 1.1$ m - an internal company permit (Unternehmensinterne Genehmigung, UiG) from DB AG and, if applicable, an approval in individual cases (Zustimmung im Einzelfall, ZiE) from the Federal Railway Authority (Eisenbahn-Bundesamt, EBA) is required.

Commitment of the German railways agency: The impact factor is 1.67 for cover depths $h_{\bar{u}} < 1.50$ m.

Impact factor:	red Φ ₂	1.67	[-]
Load factor α _{Qi} LM71 (DIN EN 1991-2):	α _{Qi,LM71}	1.00	[-]
Basic vertical soil stress due to traffic load:	p	60.45	kN/m ²
Vertical soil stress at crown height due to traffic load:	p _T	100.95	kN/m ²

Vertical soil stresses due to traffic load at springline (without impact factor φ):	p _K	48.89	kN/m ²
Earth pressure ratio below crown:	K ₂	0.43	[-]
Horizontal soil stress due to traffic load:	p _{T,h}	27.83	kN/m ²
Vertical soil stress at crown level:	p _{Ev}	22.356	kN/m ²

Effective vertical stress at pipe crown level:	q _{Ev}	22.356	kN/m ²
Total vertical soil stresses at pipe crown level:	q _{Ges,v}	123.307	kN/m ²

Distribution of earth pressure at the pipe is assumed to be cos ² - or sin ² -shaped.:	No		
--	----	--	--

Horizontal soil stress at pipe:	q _{Eh}	11.57	kN/m ²
Total horizontal soil stresses at pipe:	q _{Ges,h}	39.405	kN/m ²

Inner gauge pressure:	p_i	0.000	bar
Outer gauge pressure above pipe crown:	$p_{a,Sc}$	0.000	bar
Pipe stiffness:	S_R	1,280	kN/m ²
Pipe stiffness:	$\bar{S}_R$	2,328	kN/m ²
Scaling reference value:	$\sigma_{B,0}$	100.0	kN/m ²
Increase factor due to soil stress:	f_3	1.00	[-]
Modulus of deformation of soil:	E_B	14.40	N/mm ²
Earth pressure ratio below crown:	K_2	0.43	[-]
Stiffness of bedding:	S_{Bh}	8.64	N/mm ²
System stiffness:	V_{RB}	0.2694	[-]
The pipe soil system behaves flexible.:	Yes		

According to DWA-A 161, chapter 6.2.2, the lateral bedding reaction pressure may be applied only if the pipe remains permanently and completely grouted after the jacking is finished.

1.2.7.2 Section forces Operating state

Moments:		crown	springline	invert	
Vertical load due to earth coverage	$M_{pEv,d}$	0.300	-0.300	0.300	kNm/m
Vertical load due to traffic load	$M_{pTv,d}$	1.356	-1.356	1.356	kNm/m
Horizontal load due to traffic	$M_{pTh,d}$	-0.374	0.374	-0.374	kNm/m
Horizontal load due to earth coverage	$M_{pEh,d}$	-0.155	0.155	-0.155	kNm/m
Dead weight	$M_{g,d}$	0.010	-0.012	0.019	kNm/m
Waterfilling upto crown	$M_{w,d}$	0.021	-0.023	0.038	kNm/m
Bouyancy (outer water level upto crown)	$M_{a,d}$	0.000	0.000	0.000	kNm/m
Water pressure	$M_{pw,d}$	0.000	0.000	0.000	kNm/m
Bedding reaction pressure due to earth load	$M_{qEh^*,d}$	0.000	0.000	0.000	kNm/m
Bedding reaction pressure	$M_{qh^*,d}$	0.000	0.000	0.000	kNm/m
Sum of moments	ΣM_d	1.158	-1.162	1.184	kNm/m

Normal forces:		crown	springline	invert	
Vertical load due to earth coverage	$N_{pEv,d}$	0.000	-6.021	0.000	kN/m
Vertical load due to traffic	$N_{pTv,d}$	0.000	-27.189	0.000	kN/m
Horizontal load due to traffic	$N_{pTh,d}$	-7.496	0.000	-7.496	kN/m
Horizontal load due to earth coverage	$N_{pEh,d}$	-3.117	0.000	-3.117	kN/m
Dead weight	$N_{g,d}$	0.034	-0.213	-0.194	kN/m
Waterfilling upto crown	$N_{w,d}$	0.336	0.116	0.422	kN/m
Bouyancy (outer groundwater level upto crown)	$N_{a,d}$	0.000	0.000	0.000	kN/m
Water pressure	$N_{pw,d}$	0.000	0.000	0.000	kN/m
Bedding reaction pressure due to earth load	$N_{qEh^*,d}$	0.000	0.000	0.000	kN/m
Bedding reaction pressure due to traffic load	$N_{qTh^*,d}$	0.000	0.000	0.000	kN/m
Bedding reaction pressure	$N_{qh^*,d}$	0.000	0.000	0.000	kN/m
Sum of normal forces	ΣN_d	-10.243	-33.307	-10.384	kN/m

1.2.7.3 Deflection proof Operating state

Deflection coefficient:	C_{v,qh^*}	0.0640	[-]
Deflection coefficient:	$C_{v,qv}$	-0.0833	[-]
Coefficient of bedding reaction pressure:	K^*	0.248	[-]
Deflection coefficient:	C^*_{v}	-0.067	[-]
Vertical soil stress at crown level:	p_{Ev}	22.356	kN/m ²
Vertical soil stress due to traffic load:	p_T	100.95	kN/m ²
Total vertical soil stresses at pipe crown level:	$q_{Ges,v}$	123.307	kN/m ²
Horizontal soil stress at pipe:	q_{Eh}	11.57	kN/m ²
Horizontal soil stress due to traffic load:	p_{Th}	27.83	kN/m ²
Total horizontal soil stresses at pipe:	$q_{Ges,h}$	39.405	kN/m ²
Relative vertical change of diameter:	δ_v	0.24	%
Admissible change of vertical diameter:	$zul \delta_v$	2.00	%
Utilisation factor deflection:	U_{δ_v}	12.1	%

The calculated deflection is less than the permissible deflection.

1.2.7.4 Buckling proof Operating state

Local safety coefficient for component friction longitudinal on stability regarding the pipe deformation:
Total vertical load, design value:

$\gamma_{M,stab,red}$	1.45	[-]
$q_{v,d}$	166.46	kN/m ²

Angle of inner friction around pipe:
Reduction factor for critical vertical load (acc. A127):
Critical earth load:

φ'_2	35.0	°
K_{v2}	0.85	[-]
$k_{rit} q_{v,d}$	5.782	N/mm ²

$$k_{rit} q_{v,d} = K_{v2} \cdot \left(3 + \frac{1}{3 V_{RB}} \right) \cdot S_R \cdot \frac{1}{\gamma_{M,stab,red}} \quad (72b)$$

Utilization ratio Stability (total vertical load):

U_{qv}	2.9	%
----------	-----	---

Outer gauge pressure, invert:

$p_{a,So}$	0.000	bar
------------	-------	-----

Maximum external pressure due to water, supporting aids or lubricant, forge pressure:

$p_{a,max}$	0.000	bar
-------------	-------	-----

Outer hydrostatic pressure, design value:

$p_{a,d}$	0.00	bar
-----------	------	-----

The buckling proof due to water pressure is not necessary, because there is neither ground water nor depression.

Utilisation factor stability:

$U_{Stab,rad}$	2.9	%
----------------	-----	---

The proof of stability is provided.

1.2.7.5 Strain proof Operating state

Inside:

Stress due to earth and traffic load	$\sigma_{ST,d}$	crown	springline	invert	
		8.650	-10.215	8.650	N/mm ²

$$\varepsilon_{ST,d} = \frac{\sigma_{ST,d}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot \bar{S}_R} \cdot \left(\frac{s \cdot \sum N_{qv,qh,qh^*,d}}{6} + \sum M_{qv,qh,qh^*,d} \cdot \alpha_{ki} \right) \quad (63)$$

Strain due to earth- and traffic loads

$\varepsilon_{ST,d}$	0.086	-0.101	0.086	%
----------------------	-------	--------	-------	---

Stress due to other loads

$\sigma_{re,d}$	0.261	-0.286	0.464	N/mm ²
-----------------	-------	--------	-------	-------------------

$$\varepsilon_{re,d} = \frac{\sigma_{re,d}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot \bar{S}_R} \cdot \left(\frac{s \cdot \sum N_{sonst,d}}{6} + \sum M_{sonst,d} \cdot \alpha_{ki} \right) \quad (64)$$

Strain due to other loads

$\varepsilon_{re,d}$	0.005	-0.005	0.008	%
----------------------	-------	--------	-------	---

Total strain

ε	0.090	-0.106	0.094	%
---------------	-------	--------	-------	---

Relevant limit of outer fiber strain

$\varepsilon_{R,res,d}$	0.648	0.648	0.646	%
-------------------------	-------	-------	-------	---

Utilisation flexural compression:

U_{BZ}	13.9	---	14.6	%
----------	------	-----	------	---

Utilisation flexural compression:

U_{BD}	---	16.4	---	%
----------	-----	------	-----	---

Outside:

Stress due to earth and traffic load	$\sigma_{ST,d}$	crown	springline	invert	
		-8.601	7.036	-8.601	N/mm ²

$$\varepsilon_{ST,d} = \frac{\sigma_{ST,d}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot \bar{S}_R} \cdot \left(\frac{s \cdot \sum N_{qv,qh,qh^*,d}}{6} - \sum M_{qv,qh,qh^*,d} \cdot \alpha_{ka} \right) \quad (63)$$

Strain due to earth- and traffic loads

$\varepsilon_{ST,d}$	-0.085	0.070	-0.085	%
----------------------	--------	-------	--------	---

Stress due to other loads

$\sigma_{re,d}$	-0.213	0.254	-0.407	N/mm ²
-----------------	--------	-------	--------	-------------------

$$\varepsilon_{re,d} = \frac{\sigma_{re,d}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot \bar{S}_R} \cdot \left(\frac{s \cdot \sum N_{sonst,d}}{6} - \sum M_{sonst,d} \cdot \alpha_{ka} \right) \quad (64)$$

Strain due to other loads

$\varepsilon_{re,d}$	-0.004	0.005	-0.007	%
----------------------	--------	-------	--------	---

Total strain	ε	-0.089	0.074	-0.092	%
Relevant limit of outer fiber strain	$\varepsilon_{R,res,d}$	0.649	0.647	0.646	%
Utilisation flexural compression:	U_{BZ}	---	11.5	---	%
Utilisation flexural compression:	U_{BD}	13.7	---	14.3	%

All calculated strains are smaller than the admissible values.

1.2.7.6 Proof of safety against failure with not predominantly static loading

The fatigue proof with not predominantly static loading is not desired in this case.

All necessary proofs are ok.

2 Jacking pipe according to DWA-A 161, 2nd edition

The calculation module takes into account the following corrections of the worksheet DWA-A 161: DWA-A 161 04/2017, DWA-A 161 10/2017, TM 4-2019 DB Netz AG, DWA-A 161 10/2020, DWA-A 127-10:2020-10, DWA-A 161 03/2021

Permissible thrust force:	F_j	1,530	kN
Kind of calculation:	Nominal stiffness		
States to be calculated:	Construction and operational state		
Add sketch to print:	Yes		
Print minimum sectional forces in operating state:	Yes		

2.1 Input

2.1.1 Jacking method

Method:	Microtunneling and manned methods		
Complete and permanent grouting of the annular gap:	No		
Using of proppant or lubricant:	Yes		
Pressure of proppant or lubricant:	p_{stm}	0.5	bar
Annular gap:	Other jacking techniques, continuous support of annular gap with documentation		

2.1.2 Routing and jacking force

Jacking route:	Straight line		
Calculation of the unplanned deviations from the nominal axis (straight track):	Without pilot jacking		
Combination coefficient for pipe's angular deflection:	ψ	0.80	[-]
Specification of jacking force:	No		
Free input of safety coefficient for the longitudinal direction:	No		
Monitored installation:	Yes		

2.1.3 Pressure transfer ring (PTR)

Kind of thrust transfer:	Without pressure transfer ring		
--------------------------	--------------------------------	--	--

2.1.4 Soil mechanical values

Soil conditions:	Granular soil		
Soil group around pipe:	G2		
Different soil group above pipe:	No		
Bedding angle (granular soil):	$2\alpha = 180^\circ$ (standard case)		
Manual definition inner friction of soil:	Yes		
Inner friction of soil around pipe:	φ'	35.000	°
Manual entering of specific weight of soil:	Yes		
Specific weight of soil:	γ_B	22.4	kN/m ³
Buoyant weight of soil:	γ'_B	11.0	kN/m ³

2.1.5 Soil

Manual specification of modulus of deformation of soil:	No		
Application of silo theory:	Automatic		
Manual specification of κ and κ_0 :	No		

Manual specification of K1, δ and c:
 Compactness of the packing around pipe:
 Taking concentration factor λF in account:

No
 Medium dense to dense
 No

2.1.6 Loadings

Cover height:
 Additional surface load:
 Partial safety factor for outer water pressure:
 Groundwater level above pipe invert:
 Inner pressure (construction state):
 Inner pressure (operational state):
 Pipe is filled with liquid during jacking:
 Pipe is filled with liquid during operation:
 Specific weight of medium:
 Free input of safety factor for traffic load:
 Traffic load:
 Load factor α_{Qi} LM71 (DIN EN 1991-2):
 Manual definition reduction ratio for dynamic load:
 Railway load lies in the area of the Deutsche Bundesbahn:

h	1.3	m
P_0	0.00	kN/m ²
$\gamma_{F,W}$	1.35	[-]
h _{GW}	0.0	m
$P_{I,C}$	0.0	bar
$P_{I,O}$	0.0	bar
Yes		
Yes		
γ_{WF}	10.0	kN/m ³
No		
Railway LM 71 - multiple track		
$\alpha_{Qi,LM71}$	1.00	[-]
No		
Yes		

2.1.7 Calculation options

Buckling proof:
 Deformation proof:
 Admissible deflection according A161:
 Dynamic proof:
 Treatment minimum sectional forces:
 Comparison stress minimum sectional forces:

According to A 127
 According to A 161
 Yes
 Not to be carried out
 According to standard
 Use design values

2.1.8 Pipe with nominal stiffness

Partial safety coefficient according to standard:

Yes

Pipe chosen from database:
 Choice of input:
 Caption:
 Outer diameter:
 Wall thickness:
 Local predeformation:
 A type predeformation:

No
 Do - s
 DN860 PN1 SN64000

d_a	860	mm
t	35.0	mm
$\delta_{v,I}$	0.0	%
$\delta_{v,A}$	1.0	%

Nominal stiffness:
 Nominal pressure:
 Creep ratio:
 Reduction factor due to temperature effect:
 Reduction factor due to media attack:
 Reduction factor due to dynamic loading:

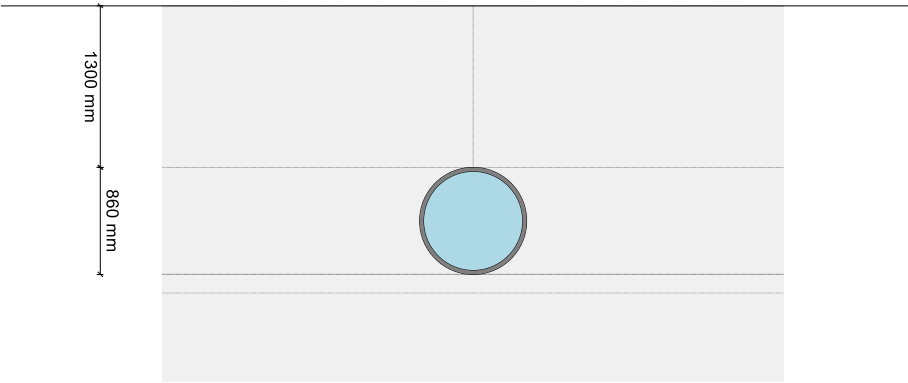
SN	64,000	N/m ²
PN	1.0	bar
f_{Kriech}	2.00	[-]
$A_{1,Temp}$	1.00	[-]
$A_{2,Medium}$	1.00	[-]
$A_{3,dyn}$	1.00	[-]

Specific gravity:
 Poissons ratio:
 Input of ultimate hoop tensile stress:
 Ultimate strain tensile strength according to standard:
 Amplitude with $2 \cdot 10^6$ tests is known:
 Amplitude with $1 \cdot 10^8$ tests is known:
 Outer set-off:
 Inner set-off:
 Pipe length:
 Axial compressive strength, short term:
 Longitudinal compressive strength, long-term:
 Fiber strain for axial pressure, short term:
 Elongation limit for longitudinal compression, long-term:
 Manually given Δa_{cal} :

γ_R	18.00	kN/m ³
ν	0.30	[-]
No		
Yes		
No		
No		
$\Delta d_{a,min}$	11.2	mm
$\Delta d_{i,max}$	0.0	mm
L_R	6.00	m
$\sigma_{D,K}$	90.0	N/mm ²
$\sigma_{D,L}$	60.0	N/mm ²
ϵ_{AxK}	1.0	%
ϵ_{AxL}	0.8	%
No		

2.1.8.1 System drawing

Railway LM 71 - multiple track



2.2 Results

2.2.1 Partial safety coefficients (impacts)

Partial safety factor for non-static loads (traffic loads), radial:	γ_Q	1.35	[-]
Partial safety coefficient for inner pressure (pressure pipes > 0,5 bar):	$\gamma_{F,Pi}$	1.50	[-]
Partial safety factor for static loads, radial:	γ_F	1.35	[-]
Partial safety factor for loads, longitudinal:	$\gamma_{F,ax}$	1.15	[-]

2.2.2 Intermediate results pipe

Inner diameter:	d_i	790.0	mm
Outer diameter:	d_a	860.0	mm
Mean radius:	r_m	412.50	mm
Wall thickness:	s	35.00	mm
Ratio radius to wall thickness:	r_m/s	11.786	[-]
Curve correction factor, internal:	α_{ki}	1.028	[-]
Curve correction factor, external:	α_{ka}	0.972	[-]
Local predeformation:	$\delta_{v,l}$	0.00	%
Predeformation (ovalisation before load):	$\delta_{v,A}$	1.00	%
Axially effected profile surface:	A_{ax}	35.00	mm ² /mm
Radial cross section:	A_{rad}	35.00	mm ² /mm
Distance of inertia:	e	17.50	mm
Moment of inertia:	I	3,572.92	mm ⁴ /mm
Outer moment of resistance:	W_a	204.17	mm ³ /mm
Inner moment of resistance:	W_i	204.17	mm ³ /mm
Surface ratio:	κ_Q	1.2	[-]
Minimum outer diameter:	$d_{a,min}$	838	mm
Maximum inner diameter:	$d_{i,max}$	790	mm
Max. deviation of the abutting faces of pipes from perpendicular to the pipe axis in a pipe joint:	$\Delta_{a,cal}$	2.0	mm
Length of the single jacking pipe:	L_R	6.00	m

2.2.2.1 Material properties

		short term	long term	
Specific gravity	γ_R	18.0	18.0	kN/m ³
Poissons ratio	ν	0.30	0.30	[-]
Characteristic value of Young's modulus in ring direction	E_R	10,058.2	5,029.1	N/mm ²
Creep ratio:		f_{creep}	2.00	[-]
Table 3 of ATV DVWK-A 127, footnote 34: <i>Determined from the momentary value and the creep ratio (2) with characteristic values for 2 years for the description of the long term behavior. Also permitted for the long term verification for 50 years. Tests take place in accordance with DIN EN 1228 (momentary) and DIN EN 1225 (long term).</i>				
Characteristic value of Young's modulus in axial direction	$E_{R,ax}$	9,000.0	-	N/mm ²
Characteristic value of ultimate strain for edge fibers	ϵ_R	1.000	0.800	%
Characteristic value of hoop tensile strength	σ_{RZ}	4.7	2.4	N/mm ²
Amplitude for 2·10 ⁶ load cycles:		$2\sigma_{a,2E6}$	n. def	N/mm ²
Amplitude at 5·10 ⁶ load cycles:		$2\sigma_{a,5E6}$	n. def	N/mm ²
Amplitude for 1·10 ⁸ cycles:		$2\sigma_{a,1E8}$	n. def	N/mm ²
Axial compressive strength	σ_{LD}	90.0	-	N/mm ²

2.2.2.2 Safety factors

The partial safety coefficient transverse to the pipe axis is set at 1.15 (instead of 1.1 or 1.13 according to DWA-A 161 Table 6) in accordance with DIN EN 1993-1-9 Table 3.1.

Local safety coefficient for component friction longitudinal to pipe axis	$\gamma_{M,ax}$	1.54	1.54	[-]
---	-----------------	------	------	-----

Local safety coefficient for component friction lateral to pipe axis	$\gamma_{M,rad}$	1.48	1.48	[-]
Local safety coefficient for component friction longitudinal on stability	$\gamma_{M,stab}$	1.85	1.85	[-]
Local safety coefficient for component friction longitudinal on stability regarding the pipe deformation	$\gamma_{M,stab,red}$	1.45	1.45	[-]
2.2.2.3 Checking of the minimum wallthickness				
Nominal diameter:	DN	860	mm	
Mean radius:	r_m	412.50	mm	
Wall thickness:	s	35.00	mm	
Calculated minimum wallthickness:	min. t	24.75	mm	
The wall thickness is equal to or greater than the minimum wall thickness according to A161 9.3.1 table 19/20!				
2.2.3 Strain proof (minimum design)				
Increasing coefficient for planned curves:		K_{min}	1.000	[-]
Design moment for minimum dimensioning	$M_{d,min}$	crown 7.657	springline -7.657	invert 7.657
Design normal force for minimum dimensioning	$N_{d,min}$	-55.688	-111.375	-55.688
				kNm/m kN/m
Stress due to minimum design	σ_{min}	-38.034	33.261	-38.034
Strain due to minimum design	ϵ_{min}	-0.378	0.331	-0.378
Ultimate bending tensile strain for edge fibers:			$\epsilon_{R,d}$	0.676
				%
Utilisation factor (minimum design):	U_{min}	---	48.9	---
				%
Stress due to minimum design	σ_{min}	36.973	-41.747	36.973
Strain due to minimum design	ϵ_{min}	0.368	-0.415	0.368
Ultimate bending tensile strain for edge fibers:			$\epsilon_{R,d}$	0.676
				%
Utilisation factor (minimum design):	U_{min}	54.4	---	54.4
				%
All calculated strains due to minimum design are smaller than the admissible values.				
2.2.4 Intermediate results for the soil				
Specific weight of soil:	γ_B	22.4	kN/m ³	
Buoyant weight of soil:	γ'_B	11.0	kN/m ³	
Soil group around pipe:	G2			
Angle of inner friction around pipe:	ϕ'_2	35.0	°	
Basis value of modulus of deformation of soil:	E_0	30.00	N/mm ²	
Coefficient for the compactness of the packing/consistency according A161 table 3/4:	f_1	0.60	[-]	
Loosening coefficient caused by jacking according to A161, table 5.:	f_2	0.80	[-]	
Angle of inner friction above pipe:	ϕ'_1	35.0	°	
Stress exponent:	z	0.5	[-]	
Ratio:	δ/ϕ'_1	0.50	[-]	
Angle of wall friction:	δ	17.50	°	
Earth pressure ratio above pipe:	K_1	0.50	[-]	
$b = d_a \cdot \sqrt{3}$				
Influence width of soil above pipe:	b	1.49	m	(7)

$$\kappa = \frac{1 - e^{\left(-2 \cdot \frac{h}{b} \cdot K_1 \cdot \tan \delta\right)}}{2 \cdot \frac{h}{b} \cdot K_1 \cdot \tan \delta} \quad (8)$$

Reduction factor earth load: κ 0.874 [-]

$$\kappa_0 = e^{\left(-2 \cdot \frac{h}{b} \cdot K_1 \cdot \tan \delta\right)} \quad (9)$$

Reduction factor surface load: κ_0 0.759 [-]

Remarks concerning silo theory: Silo theory can be used.

The consideration of concentration factor λF is necessary.: Yes

Concentration factor: λ 1.000 [-]

Base value of earth pressure ratio below crown: $K_{2,0}$ 0.43 [-]

Earth pressure ratio above pipe, construction state: $K_{2,Bau}$ 0.34 [-]

Earth pressure ratio above pipe, operational state: $K_{2,End}$ 0.43 [-]

2.2.5 Construction state

2.2.5.1 Loads Construction state

Impact factor: Φ_2 1.67 [-]

For pipes which are laid using the jacking method, the greater of the two values a) cover depth (measured from railway sleeper's upper edge to pipe's crown) $h_{\bar{u}} \geq 1.50$ m or b) soil cover (measured from road stone's lower edge to pipe's crown) $h_B \geq 2$ -da, see DWA-A 161 section 6.2.3.3 or Ril 836.4505 (8).

For the execution of crossings under railway systems with smaller cover depths - and in principle with $h_{\bar{u}} < 1.1$ m - an internal company permit (Unternehmensinterne Genehmigung, UiG) from DB AG and, if applicable, an approval in individual cases (Zustimmung im Einzelfall, ZIE) from the Federal Railway Authority (Eisenbahn-Bundesamt, EBA) is required.

Commitment of the German railways agency: The impact factor is 1.67 for cover depths $h_{\bar{u}} < 1.50$ m.

Impact factor: red Φ_2 1.67 [-]

Load factor α_{Qi} LM71 (DIN EN 1991-2): $\alpha_{Qi,LM71}$ 1.00 [-]

Basic vertical soil stress due to traffic load: p 60.45 kN/m²

Vertical soil stress at crown height due to traffic load: p_T 100.95 kN/m²

Vertical soil stresses due to traffic load at springline (without impact factor φ): p_K 47.16 kN/m²

Earth pressure ratio below crown: K_2 0.34 [-]

Horizontal soil stress due to traffic load: $p_{T,h}$ 21.48 kN/m²

Vertical soil stress at crown level: p_{Ev} 25.457 kN/m²

Effective vertical stress at pipe crown level: q_{Ev} 25.457 kN/m²

Total vertical soil stresses at pipe crown level: $q_{Ges,v}$ 133.573 kN/m²

Distribution of earth pressure at the pipe is assumed to be $\cos^2$ - or $\sin^2$ -shaped.: Yes

Radial earth load on pipe during jacking: q_0 32.621 kN/m²

Horizontal soil stress during jacking: $q_{0,h}$ 12.742 kN/m²

Total horizontal soil stresses at pipe: $q_{Ges,h}$ 34.220 kN/m²

Inner gauge pressure: p_i 0.000 bar

Outer gauge pressure above pipe crown: $p_{a,Sc}$ 0.000 bar

Pipe stiffness: S_R 512,000 N/m²

Pipe stiffness: $\bar{S}_R$ 512,000 N/m²

Scaling reference value: $\sigma_{B,0}$ 100.0 kN/m²

Increase factor due to soil stress: f_3 1.00 [-]

Modulus of deformation of soil:	E_B	14.40	N/mm ²
Earth pressure ratio below crown:	K_2	0.34	[-]
Stiffness of bedding:	S_{Bh}	8.64	N/mm ²
System stiffness:	V_{RB}	0.0593	[-]
The pipe soil system behaves flexible.:	Yes		

According to DWA-A 161, chapter 6.2.2, the lateral bedding reaction pressure may be applied only in operating state.

2.2.5.2 Section forces Construction state

Moments:		crown	springline	invert	
Vertical load due to earth coverage	$M_{q0v,d}$	1.251	-1.251	1.251	kNm/m
Vertical load due to traffic load	$M_{pTv,d}$	5.797	-5.797	5.797	kNm/m
Horizontal load due to traffic	$M_{pTh,d}$	-1.233	1.233	-1.233	kNm/m
Horizontal load due to earth coverage	$M_{qh,d}$	-0.489	0.489	-0.489	kNm/m
Dead weight	$M_{g,d}$	0.056	-0.063	0.102	kNm/m
Waterfilling upto crown	$M_{w,d}$	0.182	-0.208	0.334	kNm/m
Bouyancy (outer water level upto crown)	$M_{a,d}$	0.000	0.000	0.000	kNm/m
Water pressure	$M_{pw,d}$	0.000	0.000	0.000	kNm/m
Bedding reaction pressure due to earth load	$M_{qEh*,d}$	0.000	0.000	0.000	kNm/m
Bedding reaction pressure	$M_{qh*,d}$	0.000	0.000	0.000	kNm/m
Sum of moments	ΣM_d	5.564	-5.597	5.763	kNm/m

Normal forces:		crown	springline	invert	
Vertical load due to earth coverage	$N_{q0v,d}$	-6.049	-12.117	-6.049	kN/m
Vertical load due to traffic	$N_{pTv,d}$	0.000	-56.217	0.000	kN/m
Horizontal load due to traffic	$N_{pTh,d}$	-11.960	0.000	-11.960	kN/m
Horizontal load due to earth coverage	$N_{qh,d}$	-4.733	-2.363	-4.733	kN/m
Dead weight	$N_{g,d}$	0.088	-0.551	-0.501	kN/m
Waterfilling upto crown	$N_{w,d}$	1.436	0.494	1.806	kN/m
Bouyancy (outer groundwater level upto crown)	$N_{a,d}$	0.000	0.000	0.000	kN/m
Water pressure	$N_{pw,d}$	0.000	0.000	0.000	kN/m
Bedding reaction pressure due to earth load	$N_{qEh*,d}$	0.000	0.000	0.000	kN/m
Bedding reaction pressure due to traffic load	$N_{qTh*,d}$	0.000	0.000	0.000	kN/m
Bedding reaction pressure	$N_{qh*,d}$	0.000	0.000	0.000	kN/m
Sum of normal forces	ΣN_d	-21.219	-70.754	-21.438	kN/m

2.2.5.3 Deflection proof Construction state

Deflection coefficient:	$C_{v,qh*}$	0.0640	[-]
Deflection coefficient:	$C_{v,qv}$	-0.0833	[-]
Coefficient of bedding reaction pressure:	K^*	0.666	[-]
Deflection coefficient:	c^*_v	-0.041	[-]
Radial earth load on pipe during jacking:	q_0	32.621	kN/m ²
Vertical soil stress due to traffic load:	p_T	100.95	kN/m ²
Total vertical soil stresses at pipe crown level:	$q_{Ges,v}$	133.573	kN/m ²
Horizontal soil stress during jacking:	$q_{0,h}$	12.742	kN/m ²
Horizontal soil stress due to traffic load:	p_{Th}	21.48	kN/m ²
Total horizontal soil stresses at pipe:	$q_{Ges,h}$	34.220	kN/m ²
Relative vertical change of diameter:	δ_v	0.74	%
Admissible change of vertical diameter:	$zul \delta_v$	1.21	%
Utilisation factor deflection:	$U_{\delta v}$	60.9	%

The calculated deflection is less than the permissible deflection.

2.2.5.4 Buckling proof Construction state

Local safety coefficient for component friction longitudinal on stability regarding the pipe deformation:	$\gamma_{M,stab,red}$	1.45	[-]
Pressure of proppant or lubricant:	p_{stm}	0.5	bar
Vertical soil stress due to traffic load:	p_T	100.95	kN/m ²

Relative vertical change of diameter:	δ_V	0.74	%
Predeformation (ovalisation before load):	$\delta_{V,A}$	1.00	%
Total change in diameter:	$\delta_{V\Sigma}$	1.74	%
Reduction factor for critical outer water pressure due to ovalisation (acc. A127):	K_{a2}	0.81	[-]
Critical outer water pressure:	$krit\ p_{a,d}$	0.863	N/mm ²
Utilisation factor stability:	$U_{Stab,rad}$	23.6	%

The proof of stability is provided.

2.2.5.5 Strain proof Construction state

Inside:		crown	springline	invert	
Stress due to earth and traffic load	$\sigma_{ST,d}$	26.178	-28.847	26.178	N/mm ²
$\varepsilon_{ST,d} = \frac{\sigma_{ST,d}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot \bar{S}_R} \cdot \left(\frac{s \cdot \Sigma N_{qv,qh,qh^*,d}}{6} + \Sigma M_{qv,qh,qh^*,d} \cdot \alpha_{ki} \right) \quad (63)$					
Strain due to earth- and traffic loads	$\varepsilon_{ST,d}$	0.260	-0.287	0.260	%
Stress due to other loads	$\sigma_{re,d}$	1.240	-1.365	2.236	N/mm ²
$\varepsilon_{re,d} = \frac{\sigma_{re,d}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot \bar{S}_R} \cdot \left(\frac{s \cdot \Sigma N_{sonst,d}}{6} + \Sigma M_{sonst,d} \cdot \alpha_{ki} \right) \quad (64)$					
Strain due to other loads	$\varepsilon_{re,d}$	0.012	-0.014	0.022	%
Total strain	ε	0.273	-0.300	0.282	%
Relevant limit of outer fiber strain	$\varepsilon_{R,res,d}$	0.676	0.676	0.676	%
$\frac{\sigma_d}{\sigma_{R,d}} \leq 1,0 \quad (62)$					
Utilisation flexural compression:	U_{BZ}	40.3	---	41.8	%
Utilisation flexural compression:	U_{BD}	---	44.5	---	%
Outside:		crown	springline	invert	
Stress due to earth and traffic load	$\sigma_{ST,d}$	-26.001	23.332	-26.001	N/mm ²
$\varepsilon_{ST,d} = \frac{\sigma_{ST,d}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot \bar{S}_R} \cdot \left(\frac{s \cdot \Sigma N_{qv,qh,qh^*,d}}{6} - \Sigma M_{qv,qh,qh^*,d} \cdot \alpha_{ka} \right) \quad (63)$					
Strain due to earth- and traffic loads	$\varepsilon_{ST,d}$	-0.259	0.232	-0.259	%
Stress due to other loads	$\sigma_{re,d}$	-1.087	1.287	-2.041	N/mm ²
$\varepsilon_{re,d} = \frac{\sigma_{re,d}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot \bar{S}_R} \cdot \left(\frac{s \cdot \Sigma N_{sonst,d}}{6} - \Sigma M_{sonst,d} \cdot \alpha_{ka} \right) \quad (64)$					
Strain due to other loads	$\varepsilon_{re,d}$	-0.011	0.013	-0.020	%
Total strain	ε	-0.269	0.245	-0.279	%
Relevant limit of outer fiber strain	$\varepsilon_{R,res,d}$	0.676	0.676	0.676	%
$\frac{\sigma_d}{\sigma_{R,d}} \leq 1,0 \quad (62)$					
Utilisation flexural compression:	U_{BZ}	---	36.2	---	%
Utilisation flexural compression:	U_{BD}	39.9	---	41.3	%

All calculated strains are smaller than the admissible values.

2.2.6 Proof of admissibility of jacking force

2.2.6.1 Pipe

Minimal wall thickness of pipe:	$t_{R,min}$	23.8	mm
Relevant area of force transferring area:	A_R	608.477	cm ²
Axial compressive strength:	σ_{LD}	90.0	N/mm ²
Local safety coefficient for component friction longitudinal to pipe axis:	$\gamma_{M,ax}$	1.54	[-]
Characteristic strength of pipe material.:	f_k	90.00	N/mm ²
Mean tensile strength of pipe material in ring direction:	f_{tm}	n. def	N/mm ²
Characteristic value of Young's modulus in axial direction:	$E_{R,ax}$	9,000.0	N/mm ²
Local safety coefficient for component friction longitudinal to pipe axis:	$\gamma_{M,ax}$	1.54	[-]
Design value of pipe strength:	f_d	58.44	N/mm ²

2.2.6.2 Angular deviation

Minimal planned radius of jacking route:	R_{Plan}	+∞	m
Length of the single jacking pipe:	L_R	6.00	m
Calculated angular deflection due to the planned curve: φ_R was assumed as 0°, as for $\varphi_R < 0,05^\circ$ the route is considered to be straight.	φ_R	0.000	°
Angular deflection due to the planned curve:	φ_R	0.000	°
Maximum inner diameter:	$d_{i,max}$	790	mm
Calculation value of angular deflection due to unplanned deviation:	$\varphi_{St,0}/L_R$	0.118	°/m
Angular deflection due to unplanned deviation:	φ_{St}	0.773	°
Nominal diameter:	DN	860	mm
Max. deviation of the abutting faces of pipes from perpendicular to the pipe axis in a pipe joint:	$\Delta_{a,cal}$	2.0	mm
Minimum outer diameter:	$d_{a,min}$	838	mm
Angular deflection due to deviation of the pipe area from perpendicular to the pipe axis:	$\varphi_{\Delta a,cal}$	0.137	°
Combination coefficient for pipe's angular deflection:	ψ	0.80	[-]
Total angular deflection at a pipe joint:	φ_{ges}	0.773	°
Ratio $t_{DÜR}$ to t_{Rohr} :	K_t	1.000	[-]
Mean tensile strength of pipe material in ring direction:	f_{tm}	n. def	N/mm ²
Coefficient for permissible compressive stress:	$\alpha_{D,T}$	1.000	[-]
Highest permissible compressive stress, effective in pipe joint:	σ_{cal}	58.44	N/mm ²

2.2.6.3 Deformation of pipe

Calculated compressive stress in pipe material:	σ_{max}	57.85	N/mm ²
---	----------------	-------	-------------------

The maximum permissible axial stress was determined from the proof of equivalent stress in the reverse direction, so that the utilization is 100%. This means that a lower axially permissible stress is included in the calculation of the permissible precompression force if the proof of equivalent stress is the determining factor.

Pipe area ratio:
The stress was increased due to a reduced wall thickness in the spigot end, as the proof of equivalent stress is guided in the middle of the tube.

Maximum possible axial stress from interaction, shaft:	$\max \sigma_{x,l,d}$	57.85	N/mm ²
Ratio pipe length to outer diameter:	L_R/d_a	6.98	[-]
Deformation coefficient of pipe:	α_b	0.585	[-]

$$\alpha_\varphi = \varphi_R - 0.05 \leq 1 \quad \& \quad \geq 0$$

Coefficient:	α_φ	0.000	[-]
Deformation factor of pipe:	K_{ab}	0.500	[-]
Deflection component of jacking pipe:	Δ_{SR}	19.3	mm

Result

Joint gap dimension:	$z_k/d_{a,min}$	1.00	[-]
Stress ratio due to eccentric applied thrust forces (from picture 22/23):	σ_{max} / σ_0	2.00	[-]
Relevant area of force transferring area:	A_R	608.477	cm ²

Partial safety factor for loads, longitudinal:	$\gamma_{F,ax}$	1.15	[-]
Permissible thrust force:	F_j	1,530	kN
Axial stress, Design value acting in the spigot end:	$\sigma_{x,d}$	-57.85	N/mm ²

When jacking under railways in Germany (Deutsche Bahn), it is prohibited to reduce the partial safety coefficient in axial direction according to DWA-A 161 Table 12 for temporary situations.

Area for axial pressure beyond coupling zone:	$A_{R,0}$	907.13	cm ²
Axial stress in the pipe. Design value:	$\sigma_{x,d,0}$	-38.80	N/mm ²

2.2.6.4 Interaction - equivalent stress proof shaft

Maximum axial stress:	$\max \sigma_{x,d}$	-38.80	N/mm ²
Maximum radial stress: (Bottom, inside)	$\max \sigma_{\varphi,d}$	28.41	N/mm ²
Equivalent stress:	$\sigma_{VGE,d}$	58.44	N/mm ²
Axial compressive strength:	σ_{LD}	90.0	N/mm ²
Local safety coefficient for component friction longitudinal to pipe axis:	$\gamma_{M,ax}$	1.54	[-]
Admissible equivalent stress:	$\sigma_{z,d}$	58.44	N/mm ²
Utilisation factor equivalent stress shaft:	$U_{\sigma VGE}$	100.0	%

The equivalent stress is smaller than the permissible value.

2.2.6.5 Axial buckling proof (thermoplast or grp Pipe)

Coefficient:	k_i	0.40	[-]
Utilisation factor axial stability:	$\min \alpha_L$	1.00	[-]
Critical axial load:	$k_{rit} \sigma_{L,d}$	173.04	N/mm ²
Axial stress in the pipe. Design value:	$\sigma_{x,d,0}$	-38.80	N/mm ²
Utilisation factor axial buckling:	$U_{Stab,ax}$	22.4	%

The proof against axial buckling is provided.

2.2.7 Operating state

2.2.7.1 Loads Operating state

Impact factor:	Φ_2	1.67	[-]
----------------	----------	------	-----

For pipes which are laid using the jacking method, the greater of the two values a) cover depth (measured from railway sleeper's upper edge to pipe's crown) $h_{\bar{u}} \geq 1.50$ m or b) soil cover (measured from road stone's lower edge to pipe's crown) $h_B \geq 2 \cdot d_a$, see DWA-A 161 section 6.2.3.3 or Ril 836.4505 (8).

For the execution of crossings under railway systems with smaller cover depths - and in principle with $h_{\bar{u}} < 1.1$ m - an internal company permit (Unternehmensinterne Genehmigung, UiG) from DB AG and, if applicable, an approval in individual cases (Zustimmung im Einzelfall, ZIE) from the Federal Railway Authority (Eisenbahn-Bundesamt, EBA) is required.

Commitment of the German railways agency: The impact factor is 1.67 for cover depths $h_{\bar{u}} < 1.50$ m.

Impact factor:	$\text{red } \Phi_2$	1.67	[-]
Load factor α_{Qi} LM71 (DIN EN 1991-2):	$\alpha_{Qi,LM71}$	1.00	[-]
Basic vertical soil stress due to traffic load:	p	60.45	kN/m ²
Vertical soil stress at crown height due to traffic load:	p_T	100.95	kN/m ²
Vertical soil stresses due to traffic load at springline (without impact factor φ):	p_K	47.16	kN/m ²
Earth pressure ratio below crown:	K_2	0.43	[-]
Horizontal soil stress due to traffic load:	$p_{T,h}$	26.85	kN/m ²
Vertical soil stress at crown level:	p_{Ev}	25.457	kN/m ²
Effective vertical stress at pipe crown level:	q_{Ev}	25.457	kN/m ²
Total vertical soil stresses at pipe crown level:	$q_{Ges,v}$	126.409	kN/m ²

Distribution of earth pressure at the pipe is assumed to be $\cos^2$ - or $\sin^2$ -shaped.:	No		
Horizontal soil stress at pipe:	q_{Eh}	14.96	kN/m ²
Total horizontal soil stresses at pipe:	$q_{Ges,h}$	41.810	kN/m ²
Inner gauge pressure:	p_i	0.000	bar
Outer gauge pressure above pipe crown:	$p_{a,Sc}$	0.000	bar
Pipe stiffness:	S_R	256,000	N/m ²
Pipe stiffness:	$\bar{S}_R$	460,445	N/m ²
Scaling reference value:	$\sigma_{B,0}$	100.0	kN/m ²
Increase factor due to soil stress:	f_3	1.00	[-]
Modulus of deformation of soil:	E_B	14.40	N/mm ²
Earth pressure ratio below crown:	K_2	0.43	[-]
Stiffness of bedding:	S_{Bh}	8.64	N/mm ²
System stiffness:	V_{RB}	0.0533	[-]
The pipe soil system behaves flexible.:	Yes		

According to DWA-A 161, chapter 6.2.2, the lateral bedding reaction pressure may be applied only if the pipe remains permanently and completely grouted after the jacking is finished.

2.2.7.2 Section forces Operating state

Moments:		crown	springline	invert	
Vertical load due to earth coverage	$M_{pEv,d}$	1.462	-1.462	1.462	kNm/m
Vertical load due to traffic load	$M_{pTv,d}$	5.797	-5.797	5.797	kNm/m
Horizontal load due to traffic	$M_{pTh,d}$	-1.542	1.542	-1.542	kNm/m
Horizontal load due to earth coverage	$M_{pEh,d}$	-0.859	0.859	-0.859	kNm/m
Dead weight	$M_{g,d}$	0.056	-0.063	0.102	kNm/m
Waterfilling upto crown	$M_{w,d}$	0.182	-0.208	0.334	kNm/m
Bouyancy (outer water level upto crown)	$M_{a,d}$	0.000	0.000	0.000	kNm/m
Water pressure	$M_{pw,d}$	0.000	0.000	0.000	kNm/m
Bedding reaction pressure due to earth load	$M_{qEh^*,d}$	0.000	0.000	0.000	kNm/m
Bedding reaction pressure	$M_{qh^*,d}$	0.000	0.000	0.000	kNm/m
Sum of moments	ΣM_d	5.096	-5.129	5.295	kNm/m

Normal forces:		crown	springline	invert	
Vertical load due to earth coverage	$N_{pEv,d}$	0.000	-14.176	0.000	kN/m
Vertical load due to traffic	$N_{pTv,d}$	0.000	-56.217	0.000	kN/m
Horizontal load due to traffic	$N_{pTh,d}$	-14.950	0.000	-14.950	kN/m
Horizontal load due to earth coverage	$N_{pEh,d}$	-8.332	0.000	-8.332	kN/m
Dead weight	$N_{g,d}$	0.088	-0.551	-0.501	kN/m
Waterfilling upto crown	$N_{w,d}$	1.436	0.494	1.806	kN/m
Bouyancy (outer groundwater level upto crown)	$N_{a,d}$	0.000	0.000	0.000	kN/m
Water pressure	$N_{pw,d}$	0.000	0.000	0.000	kN/m
Bedding reaction pressure due to earth load	$N_{qEh^*,d}$	0.000	0.000	0.000	kN/m
Bedding reaction pressure due to traffic load	$N_{qTh^*,d}$	0.000	0.000	0.000	kN/m
Bedding reaction pressure	$N_{qh^*,d}$	0.000	0.000	0.000	kN/m
Sum of normal forces	ΣN_d	-21.759	-70.451	-21.978	kN/m

2.2.7.3 Deflection proof Operating state

Deflection coefficient:	C_{v,qh^*}	0.0640	[-]
Deflection coefficient:	$C_{v,qv}$	-0.0833	[-]
Coefficient of bedding reaction pressure:	K^*	0.699	[-]
Deflection coefficient:	c_v^*	-0.039	[-]
Vertical soil stress at crown level:	p_{Ev}	25.457	kN/m ²
Vertical soil stress due to traffic load:	p_T	100.95	kN/m ²
Total vertical soil stresses at pipe crown level:	$q_{Ges,v}$	126.409	kN/m ²
Horizontal soil stress at pipe:	q_{Eh}	14.96	kN/m ²
Horizontal soil stress due to traffic load:	p_{Th}	26.85	kN/m ²

Total horizontal soil stresses at pipe:	$q_{Ges,h}$	41.810	kN/m ²
Relative vertical change of diameter:	δ_V	0.71	%
Admissible change of vertical diameter:	$zul \delta_V$	1.21	%
Utilisation factor deflection:	U_{δ_V}	58.4	%

The calculated deflection is less than the permissible deflection.

2.2.7.4 Buckling proof Operating state

Local safety coefficient for component friction longitudinal on stability regarding the pipe deformation:	$\gamma_{M,stab,red}$	1.45	[-]
Total vertical load, design value:	$q_{v,d}$	170.65	kN/m ²
Angle of inner friction around pipe:	φ'_2	35.0	°
Reduction factor for critical vertical load (acc. A127):	K_{v2}	0.86	[-]
Critical earth load:	$krit q_{v,d}$	2.353	N/mm ²
Utilization ratio Stability (total vertical load):	U_{qv}	7.3	%
Outer gauge pressure, invert:	$p_{a,So}$	0.000	bar
Maximum external pressure due to water, supporting aids or lubricant, forge pressure:	$p_{a,max}$	0.000	bar
Outer hydrostatic pressure, design value:	$p_{a,d}$	0.00	bar
The buckling proof due to water pressure is not necessary, because there is neither ground water nor depression.			
Utilisation factor stability:	$U_{Stab,rad}$	7.3	%

The proof of stability is provided.

2.2.7.5 Strain proof Operating state

Inside:		crown	springline	invert	
Stress due to earth and traffic load	$\sigma_{ST,d}$	23.804	-26.480	23.804	N/mm ²
$\varepsilon_{ST,d} = \frac{\sigma_{ST,d}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot \bar{S}_R} \cdot \left(\frac{s \cdot \sum N_{qv,qh,qh^*,d}}{6} + \sum M_{qv,qh,qh^*,d} \cdot \alpha_{ki} \right) \quad (63)$					
Strain due to earth- and traffic loads	$\varepsilon_{ST,d}$	0.263	-0.293	0.263	%
Stress due to other loads	$\sigma_{re,d}$	1.240	-1.365	2.236	N/mm ²
$\varepsilon_{re,d} = \frac{\sigma_{re,d}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot \bar{S}_R} \cdot \left(\frac{s \cdot \sum N_{sonst,d}}{6} + \sum M_{sonst,d} \cdot \alpha_{ki} \right) \quad (64)$					
Strain due to other loads	$\varepsilon_{re,d}$	0.025	-0.027	0.044	%
Total strain	ε	0.288	-0.320	0.308	%
Relevant limit of outer fiber strain	$\varepsilon_{R,res,d}$	0.643	0.643	0.639	%
Utilisation flexural compression:	U_{BZ}	44.8	---	48.1	%
Utilisation flexural compression:	U_{BD}	---	49.7	---	%
Outside:		crown	springline	invert	
Stress due to earth and traffic load	$\sigma_{ST,d}$	-23.788	21.112	-23.788	N/mm ²
$\varepsilon_{ST,d} = \frac{\sigma_{ST,d}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot \bar{S}_R} \cdot \left(\frac{s \cdot \sum N_{qv,qh,qh^*,d}}{6} - \sum M_{qv,qh,qh^*,d} \cdot \alpha_{ka} \right) \quad (63)$					
Strain due to earth- and traffic loads	$\varepsilon_{ST,d}$	-0.263	0.233	-0.263	%
Stress due to other loads	$\sigma_{re,d}$	-1.087	1.287	-2.041	N/mm ²
$\varepsilon_{re,d} = \frac{\sigma_{re,d}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot \bar{S}_R} \cdot \left(\frac{s \cdot \sum N_{sonst,d}}{6} - \sum M_{sonst,d} \cdot \alpha_{ka} \right) \quad (64)$					
Strain due to other loads	$\varepsilon_{re,d}$	-0.022	0.026	-0.041	%

Total strain	ε	-0.285	0.259	-0.304	%
Relevant limit of outer fiber strain	$\varepsilon_{R,res,d}$	0.644	0.642	0.640	%
Utilisation flexural compression:	U_{BZ}	---	40.3	---	%
Utilisation flexural compression:	U_{BD}	44.2	---	47.4	%

All calculated strains are smaller than the admissible values.

2.2.7.6 Proof of safety against failure with not predominantly static loading

The fatigue proof with not predominantly static loading is not desired in this case.

All necessary proofs are ok.