Genoa Debottlenecking Project

Alessandro Olcese
PRAOIL OLEODOTTI ITALIANI SPA

Antonio Guerini
ICOP SPA

Gabriele Gallingani
IMPRESA TRE COLLI SPA

Sabrina Biagioni
ENERECO S.C.

Giuliano Ciaroni
ENERECO S.C.

Andrea Nosetto
SNAMPROGETTI SPA

Cristina Plisco
ASL 3 LIGURIA

Massimo Bruzzone
ASL3 LIGURIA

Silvano Figini
SAIM SRL

Supplemento a Quarry and Construction N. 507 - Marzo 2005

Autori
Alessandro Olcese - Praoil Oleodotti Italiani SpA
Antonio Guerini - Icop SpA
Gabriele Gallingani - Impresa Tre Colli SpA
Sabrina Biagioni, Giuliano Ciaroni - Enereco S.C.
Andrea Nosetto - Snamprogetti SpA
Massimo Bruzzone - Cristina Plisco - ASL 3 Liguria
Silvano Figini - Saim srl

indice

1. PREMESSA - *Alessandro Olcese - Praoil Oleodotti Italiani SpA* 1

2. PROGETTAZIONE: PERFORAZIONE E ASSEMBLAGGIO TUBAZIONI - *Alessandro Olcese - Praoil Oleodotti Italiani SpA* 2

2.1 Inquadramento generale - *Alessandro Olcese - Praoil Oleodotti Italiani SpA* 2
2.2 Indagini geognostiche - *Andrea Nosetto - Snamprogetti SpA* 3
2.3 Caratteristiche geologiche, geotecniche e geomeccaniche - *Andrea Nosetto - Snamprogetti SpA* 5
2.4 Scelta delle attrezzature - *Antonio Guerini - Icop SpA* 6
2.5 Progettazione meccanica - *Sabrina Biagioni, Giuliano Ciaroni - Enereco S.C* 8
2.5.1 Inserimento delle tubazioni nel microtunnel 9
2.5.2 Progetto del sistema di varo 11
2.5.3 Attrito tra i carrelli-slitta e i conci in calcestruzzo armato 11
2.5.4 Il varo 12

3. COSTRUZIONE DEL MICROTUNNEL - *Antonio Guerini - Icop SpA* 13

4. MONTAGGIO E VARO DEL FASCIO TUBIERO - *Gabriele Gallingani - Impresa Tre Colli SpA* 16

4.1 Galleria allargata in prossimità della pista di varo - *Gabriele Gallingani - Impresa Tre Colli SpA* 16
4.2 Pista di varo - *Gabriele Gallingani - Impresa Tre Colli SpA* 16
4.3 Struttura per la divaricazione delle condotte - *Gabriele Gallingani - Impresa Tre Colli SpA* 18
4.4 Prefabbricazione delle "Stringhe" (colonne) di condotta - *Gabriele Gallingani - Impresa Tre Colli SpA* 19
4.5 Assemblaggio e saldatura dei "Tronchi di Fascio Tubiero" sulla pista di varo - *Gabriele Gallingani - Impresa Tre Colli SpA* .. 20
4.6 Fasi di preparazione del varo - *Gabriele Gallingani - Impresa Tre Colli SpA* 21
4.6.1 Montaggio della "Testa di tiro" 21
4.6.2 Posizionamento "Argano di Tiro" 22
4.6.3 Dispositivi di trattenuta e di ancoraggio posteriore 22
4.6.4 Collegamento telefonico tra la pista di varo, l'argano di traino e l'argano di trattenuta 23
4.6.5 Preparazione della superficie di scorrimento nel microtunnel 23
4.7 Varo del fascio tubiero all'interno del microtunnel - *Gabriele Gallingani - Impresa Tre Colli SpA* 23

5. OPERE COMPLEMENTARI - *Gabriele Gallingani - Impresa Tre Colli SpA* 24

5.1 Montaggio dei tratti di condotta all'esterno del microtunnel - *Gabriele Gallingani - Impresa Tre Colli SpA* 24
5.2 Collaudo idraulico - *Gabriele Gallingani - Impresa Tre Colli SpA* 24
5.2.1 Riempimento delle condotte 24
5.2.2 Pressurizzazione e collaudo idraulico 24
5.2.3 Svuotamento e asportazione dell'acqua residua 27

6. CONCLUSIONI - *Alessandro Olcese - Praoil Oleodotti Italiani SpA* 27

7. BIBLIOGRAFIA 28

1° Scheda: La tecnologia del microtunnelling - *Alessandro Olcese - Praoil Oleodotti Italiani SpA* 7
2° Scheda: Caratteristiche di perforazione del microtunnel realizzato - *Antonio Guerini - Icop SpA* 12
3° Scheda: La protezione catodica delle tubazioni - *Silvano Figini - Saim srl* 18
4° Scheda: Attraversamento in rocce contenenti fibre di amianto - *Massimo Bruzzone - Cristina Plisco - ASL 3 Liguria* 25

Genoa
DEBOTTLENECKING PROJECT

Allo scopo di razionalizzare il proprio sistema di trasporto petrolifero, la Praoil Oleodotti Italiani ha realizzato un nuovo fascio tubiero di collegamento tra il Porto Petroli di Genova Multedo ed il Deposito di Genova Pegli. Il fascio tubiero, costituito da 6 condotte in acciaio, è stato posato per la prima volta in Europa e forse nel mondo, all'interno di un microtunnel curvilineo lungo 640 m, con diametro interno pari a 2,60 m, utilizzando tecnologie all'avanguardia nel campo dell'ingegneria civile e meccanica. La realizzazione, resa particolarmente complessa dall'ambito intensamente urbanizzato del ponente genovese, non ha comportato disagi per le normali attività del quartiere, grazie proprio all'uso di Tecnologie Trenchless, e avrà positivi riflessi ambientali per lo smantellamento delle strutture rese obsolete dal nuovo impianto che sta per entrare in esercizio

1. Premessa

La Praoil Oleodotti Italiani SpA, Società del Gruppo ENI, opera nel settore del trasporto del greggio e dei prodotti finiti via terra mediante un sistema integrato di Depositi, Stazioni di Pompaggio ed una Rete di Oleodotti di proprietà e di terzi. La Praoil fu fondata a Genova nell'Agosto 1997, raccogliendo gli Assets, il personale e le esperienze di altre Società dell'ENI, quali la SNAM (Dire-

AUTORI
ALESSANDRO OLCESE - PRAOIL OLEODOTTI ITALIANI SPA
ANTONIO GUERINI - ICOP SPA
GABRIELE GALLINGANI - IMPRESA TRE COLLI SPA
SABRINA BIAGIONI - ENERECO S.C.
GIULIANO CIARONI - ENERECO S.C.
ANDREA NOSETTO - SNAMPROGETTI SPA
CRISTINA PLISCO - ASL 3 LIGURIA
MASSIMO BRUZZONE - ASL3 LIGURIA
SILVANO FIGINI - SAIM SRL

zione Oleodotti), l'Agip Petroli e l'Italiana Petroli: ciò ha permesso di consolidare su Genova un'importante attività, ben integrata all'interno della Logistica di ENI REFINING & MARKETING, che a Genova trova una felice collocazione.

Dall'inizio della propria operatività la Praoil ha portato avanti una politica di standardizzazione, razionalizzazione ed ottimizzazione dei propri impianti, in modo da rendere più funzionale la gestione del network oleodotti.

Nell'ambito del citato settore operativo la Praoil ha deciso di ricorrere, ove possibile, a tecnologie all'avanguardia, sia nell'ambito dei controlli dei propri impianti (oleodotti, serbatoi etc), sia per la costruzione di nuove strutture atte ad integrare quelle esistenti e a sostituire quelle per cui se ne fosse rilevata la necessità.

È il caso del Genoa Debottlenecking Project, il cui scopo è di rinnovare e razionalizzare il trasporto petrolifero dallo sbarco portuale alla Pianura Padana, concorrendo ad eliminare il collo di bottiglia operativo attualmente rappresentato dal vecchio fascio tubiero che collega il Porto Petroli di Genova Multedo al Deposito di Genova Pegli.

Area di cantiere prima dell'istallazione

2. Progettazione

2.1 Inquadramento generale

Il fascio tubiero che ancora collega il Porto Petroli di Multedo con il Deposito di Pegli ha un percorso lungo e tortuoso

Figura 1 - Tracciato tubazioni esistente e di progetto

Postazione di arrivo del microtunnelling

(fig. 1), che si snoda dal litorale marino di Multedo, attraverso l'alveo del Torrente Varenna e la strada in sponda sinistra torrentizia fino a raggiungere l'area del Deposito: complessivamente si tratta di una percorrenza lunga oltre 1500 m, il cui tracciato è stato condizionato, all'epoca della realizzazione, dalle evidenti difficoltà morfologiche ed urbanistiche, che non lasciavano alternative percorribili.

Infatti tra l'area portuale ed il Deposito di Pegli, in linea d'aria, sono presenti strutture viarie importanti (SS Aurelia, Autostrada Genova - Savona), una linea ferroviaria (Genova - Ventimiglia), un impianto Petrolchimico ed un Campo Sportivo, il tutto situato in posizione più elevata sia rispetto al punto di partenza (Porto Petroli), sia rispetto all'accesso all'area di proprietà Praoil (Zona di antica caricazione autobotti a Fondega Sud - Pegli).

Tra gli anni 60 e 70 del secolo scorso, l'unica tecnologia che avrebbe permesso un percorso rettilineo alle tubazioni di collegamento sarebbe stata una galleria, i cui costi e tempi di realizzazione sarebbero comunque stati "non sopportabili" in relazione alle necessità di trasporto idrocarburi dei tempi, soprattutto in confronto con possibilità alternative percorribili e realizzabili con tempi e costi di gran lunga inferiori.

Considerata ora la necessità di razionalizzazione del collegamento attraverso un nuovo fascio tubiero, alla luce delle tecnologie innovative ormai presenti sul mercato, è stata riesaminata la possibilità di realizzare un tracciato rettilineo, che sottopassasse tutte le asperità morfologiche e le strutture urbane grazie alla costruzione di un tunnel del diametro adeguato a contenere le tubazioni atte a svolgere la funzione di trasporto idrocarburi necessaria.

Già un'altra società del gruppo ENI aveva utilizzato proficuamente la tecnologia del microtunnel curvilineo per sottopassare i fiumi Adige e Po, posandovi all'interno una condotta di grande diametro per il trasporto di gas naturale; Praoil, dopo avere condotto tutte le opportune indagini sul sito, ha deciso di adottare la stessa tecnica, con l'obiettivo, assolutamente innovativo in campo mondiale, di posare all'interno della nuova struttura tutte le sei tubazioni di trasporto ritenute necessarie (4 condotte da DN 750 e 2 da DN 300).

Nel proseguo dell'articolo si vogliono illustrare i risultati della progettazione e ripercorrere le fasi realizzative dell'opera.

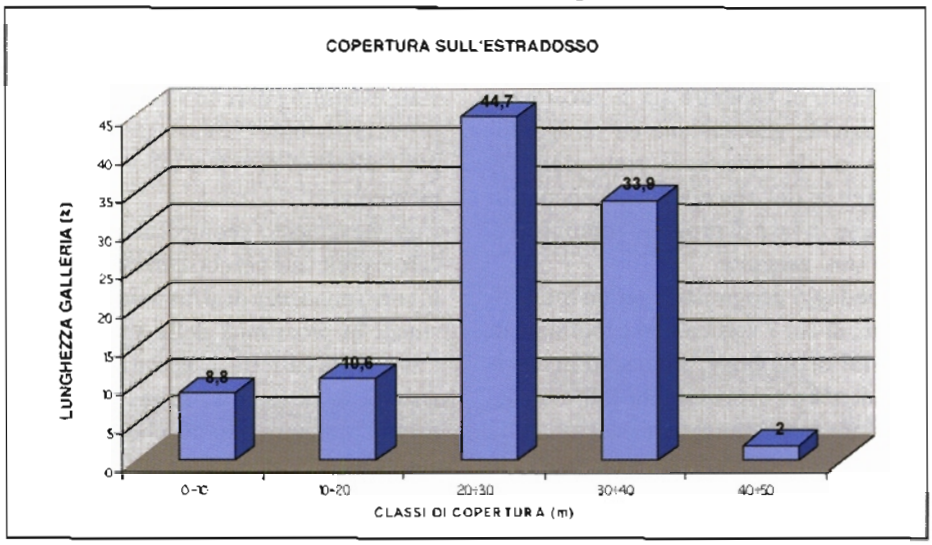
2.2 Indagini geognostiche

Come già accennato il microtunnel in questione, il cui sviluppo planoaltimetrico è rappresentato in fig. 1, è ubicato in una porzione di territorio interamente urbanizzata, sottopassando le infrastrutture presenti con coperture sull'estradosso (fig. 2) sempre inferiori a 42 m (14 diametri) e, per il 64% del tracciato, inferiori a 30 m (10 diametri).

Sulla base anche della situazione delle coperture è stata impostata una campagna d'indagine geognostica dettagliata, eseguita in tre differenti periodi coincidenti con le fasi di progettazione preliminare, definitiva ed esecutiva.

• In fase di progettazione preliminare, allo scopo di evidenziare le principali caratteristiche litologiche del sottosuolo e conoscere i principali parametri geotecnici dei terreni interessati dalla realizzazione della costruenda galleria,

Figura 2 - Spessore dei terreni di copertura all'estradosso della galleria



Tracciato microtunnel

sono stati realizzati i seguenti studi, indagini e prove:

- rilevamento geologico in scala 1:5.000 dell'area in studio :
- 9 sondaggi lungo l'asse della galleria ed in prossimità dello stesso, con profondità comprese tra 16 e 35 m, per un totale di 230 m, con relative prove in foro e di laboratorio.

• In fase di progettazione definitiva, con la finalità di superare sia le incertezze geologiche, geotecniche ed idrogeologiche sia le incertezze riguardanti la geometria del tracciato che ancora si avevano in fase di progetto preliminare, sono stati eseguiti:

- 8 sondaggi geognostici per un totale di 313 m, di cui 7 verticali ed 1 inclinato di 15° sull'orizzontale, realizzati in corrispondenza od in prossimità dell'asse del tracciato, con impiego prevalente della tecnica a carotaggio continuo, mentre la tecnica a distruzione di nucleo è stata utilizzata nell'esecuzione delle seconde verticali da impiegare nelle prove cross-hole. Il sondaggio inclinato è stato realizzato in asse galleria con imbocco in corrispondenza dell'ubicazione del pozzo di spinta. La sua lunghezza (123 m) ha consentito di intercettare il passaggio litologico tra le Argille di Ortovero ed i Calcescisti del Turchino, più oltre descritti.

All'interno dei fori di sondaggio sono state eseguite prove in situ (comprese le prove cross-hole). Sono state inoltre eseguite ulteriori prove di laboratorio geotecnico;

- un rilevamento geomeccanico sia sulle carote prelevate nel corso dei sondaggi sia in corrispondenza di affioramenti rocciosi situati in prossimità della verticale dell'asse della galleria. L'esecuzione di tale attività ha consentito la raccolta di informazioni utili per la classificazione geomeccanica degli ammassi rocciosi attraversati dalla galleria di progetto;
- un censimento delle infrastrutture e dei sottoservizi. Per poter giungere ad una definizione della geometria del tracciato esente da interferenze sotterranee è stato eseguito un censimento delle infrastrutture e dei sottoservizi presenti in una fascia di 50 m di larghezza a cavallo dell'asse della galleria. Tale operazione ha comportato una fase di rilievo topografico sul terreno con prima individuazione dei sottoservizi, delle infrastrutture e dei relativi enti di appartenenza, seguita da una fase di contatto degli enti stessi. Il censimento ha consentito di confermare la geometria di tracciato inizialmente prevista, escludendo la presenza di infrastrutture sepolte interferenti con la galleria di progetto.

• In fase di progettazione esecutiva sono state eseguite:

– un'indagine georadar relativa al sottopassaggio della S.S.1 "Aurelia", con la finalità di stabilire con esattezza la posizione di tutti i sotto servizi presenti al di sotto della carreggiata;

Progr m	litotipo	peso volume kN/m³			res taglio		res compres.	res. Abras.	perm media	condiz. Idrauliche	vel onde sism	mod. elastico	Class.RMR	RQD	dens rel
		γ_d	γ_n	γ_{nat}	Ø°	c' kPa	MPa	%	k in m/s		m/s	Mpa	Classe		
0 - 141	Argille Ortovero:marne, siltiti alternate a sabbie cementate	19.2	21.2	22.5	35÷37 sabbie 0.0 29÷36.5 siltiti 275		3.9÷6.2	80.7÷84.4	$1x10^{-6}$÷$4.9x10^{-8}$	falde sovrapposte, presenza acquiferi in debole pressione	1471÷3125 P 368÷877 S	2187÷2570E_i 2137÷2452E_d	III		
141-151 586 - 589	Fascia di alterazione Calcescisti del Turchino									venute d'acqua			V - IV	0 - 20	
151 - 586	Calcescisti del Turchino: scisti micacei, quarzitico cloritici	27.1÷27.9			14÷28, 92÷235		4÷30.9 uniax 2.6÷236 PL	24.7÷28.4	$6.6x10^{-7}$÷$6x10^{-6}$	stillicidio e venute d'acqua lungo fratture	3571÷4167 P 870÷1639 S	2745÷5949E_i 1631÷8413E_d	III - IV		
589 - 630	Ofioliti del M. Beigua: brecce serpentinitiche, contenenti anche minerali amiantiferi	24.7		26.1	14.5÷21.5, 95÷165		1.7÷6.7uniax 4.2÷301.7 PL	19.4÷20.3	$8.9x10^{-6}$÷$5.3x10^{-5}$	bassa transitabilità lungo fratture, stillicidio	3105÷3576 P 894÷1639 S	2729÷4731E_i 1259÷2818E_d	IV - V		
630 - 643	Materiali antropici	18÷19			28÷30	0.0			$1x10^{-4}$	falda libera	787÷2226 P 293÷733 S				40÷50
630 - 643	Depositi alluvionali:ghiaie sabbiose con materiali antropici	17	20.5	20.5	34÷38	0.0			1.2÷$1.4x10^{-4}$	falda libera	787÷2226 P 293÷733 S		A1- terre ghialose sabbiose		65÷85

Tabella 1

- una campagna geognostica con esecuzione di 5 sondaggi a carotaggio continuo e 3 a distruzione di nucleo per un totale di 135 m nei settori in cui, in fase di progetto definitivo, non era stato possibile operare. Nei fori di sondaggio posti in adiacenza alla ferrovia Genova-Ventimiglia e alla SS1 "Aurelia" sono stati inseriti 3 assestimetri (per il successivo monitoraggio in fase di realizzazione dell'opera) e 4 piezometri. Inoltre sono state eseguite ulteriori prove in foro (SPT, Lefranc e Lugeon). Anche sui campioni qui prelevati sono state eseguite prove di laboratorio geotecnica.

Il rapporto tra la lunghezza complessiva dei sondaggi geognostici effettuati e la lunghezza della galleria è di 1.05 (678/643), vale a dire che l'indagine è stata assai accurata, in sintonia con l'importanza dell'opera da realizzare.

2.3 Caratteristiche geologiche, geotecniche e geomeccaniche

L'area in cui è stata realizzata la galleria è geologicamente caratterizzata da coperture quaternarie e ridotti lembi di depositi pliocenici (Argille di Ortovero) depositatisi su un basamento cristallino, già strutturato, costituito da litologie riferibili a crosta oceanica (Gruppo di Voltri). I depositi pliocenici si sono depositati durante fasi di trasgressione marina in corrispondenza di insenature, spesso coincidenti con gli sbocchi vallivi del reticolato idrografico.

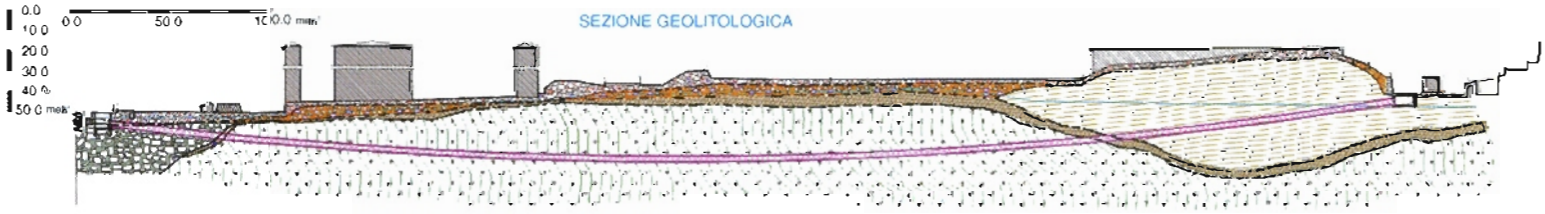
Il rilevamento geologico di superficie, unitamente a tutte le altre indagini geognostiche svolte, ha portato alla definizione di una sezione geologico-tecnica in asse galleria, riportante tutte le informazioni di carattere geologico, idrogeologico, geotecnico e geomeccanico utili per una corretta progettazione e realizzazione della galleria (fig. 3).

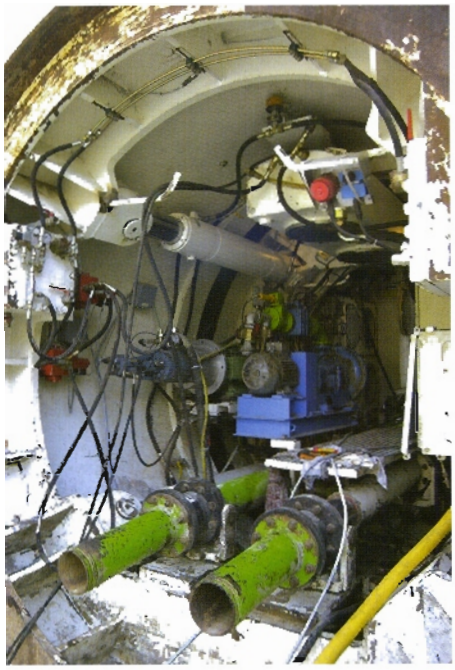
Da tale sezione risulta che la galleria attraversa le seguenti unità (progressive calcolate per il centro scavo):

- da 0 a 141 m: "Argille di Ortovero"
- da 141 a 151 m: Coltre di alterazione dei "Calcescisti del Turchino"
- da 151 a 586 m: "Calcescisti del Turchino" (Cretacico inf.- Giurassico - Trias sup.):
- da 586 a 589 m : Coltre di alterazione dei "Calcescisti del Turchino";
- da 589 a 630 m: "Ofioliti di Monte Beigua";
- da 630 a 643 (fine galleria): "Alluvioni recenti - Terreno di riporto e rimaneggiato".

Nella tabella 1 sono riportate le caratteristiche geotecniche e geomeccaniche dei terreni attraversati.

Figura 3 - Sezione geologica in asse microtunnel





2.4 Scelta delle attrezzature

Sulla base dei risultati delle indagini eseguite e in funzione dell'assetto geomorfologico dell'area da attraversare è stata effettuata la scelta delle attrezzature ritenute idonee allo scopo. Scelta che si è poi rilevata vincente, consentendo il completamento nei tempi previsti dell'opera in progetto.

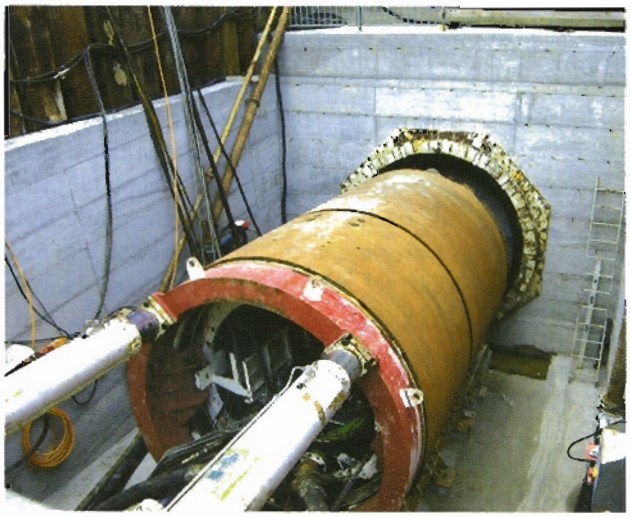
Si è ritenuto opportuno utilizzare una AVN2000D fabbricata dalla Herrenknecht Gmbh di Schwanau (D), costituita da uno scudo chiuso con testa fresante a piena sezione ed avanzamento del rivestimento a spinta. Con questo tipo di attrezzatura, tutte le operazioni di scavo, controllo e guida sono del tipo remoto.

La sequenza delle attrezzature di scavo è composta dai seguenti elementi:

- **scudo fresante:** del diametro esterno OD3000, dotato di testa di scavo da roccia attrezzata con rulli senza riporto d. 305mm, con supporti del tipo back - loading. Lo scudo è dotato di giunto snodato per poter orientare la parte anteriore durante le correzioni di guida;
- **elemento motore:** dotato di centralina oleodinamica per l'azionamento della rotazione della testa e per il funzionamento delle valvole del circuito di evacuazione e dei cilindri di guida;
- **elemento "air-lock":** è un elemento dotato di due portelli a tenuta e da un sistema di controllo e regolazione dell'aria compressa. Questo elemento viene messo in servizio quando il personale deve accedere al fronte di scavo, per sostituzioni utensili, in presenza di aria compressa. L'aria compressa serve a stabilizzare il fronte scavo e quindi viene impiegata in terreni sciolti, in presenza di falda;
- **stazione telescopica:** è una stazione di spinta metallica, che funziona come una stazione di spinta intermedia e contiene al suo interno una centralina oleodinamica per l'azionamento delle stazioni di spinta intermedie in cls. Nel caso di microtunnel lunghi, cioè l>500m, è particolarmente utile poter alimentare le prime stazioni di spinta intermedie direttamente dalla macchina invece che dal container di comando: in questo caso si utilizzano condutture idrauliche più corte e si riducono significativamente le perdite di carico.

Completano il sistema di attrezzature per l'esecuzione del microtunnel i seguenti elementi:

- **le pompe smarino:** sono pompe centrifughe a portata variabile, azionate tramite inverter, di potenza 132kw;
- **il dissabbiatore:** per la rimozione in continuo dei detriti di scavo è costituito da vibrovagli e cicloni principali e secondari; è stato utilizzato un dissabbiatore tipo Bauer Be500. Nella parte finale del tunnel in cui si è operato in presenza di materiale fibroso l'impianto è stato adattato mediante costruzione di setti in c.a. per separare la frazione grossolana da quella fine e di carter metallici sugli scivoli per un migliore recupero nei bigbags;
- **il sistema di spinta:** è composto da n. 4 martinetti telescopici aventi 4 m di corsa e 350 ton di spinta massima a 500 bar, per complessivi 1400 ton;
- **il sistema di lubrificazione:** la bentonite contenuta in silos viene miscelata



con acqua in sistema ad alta turbolenza fino a produrre una miscela lubrificante che viene iniettata, tramite un iniettore a pistone, nelle valvole presenti nello spessore della tubazione in c.a. Da segnalare che l'azionamento delle valvole è di tipo remoto: ciò significa che l'operatore è in grado di impostare la sequenza di valvole di lubrificazione che intende utilizzare e che saranno pertanto azionate dal sistema secondo tempi o volumi predeterminati. Questo è uno degli elementi chiave che hanno permesso al sistema microtunnelling la realizzazione di tunnel su lunghe distanze in quanto garantisce un efficace e completo sistema di lubrificazione di tutto l'estradosso della tubazione spinta;

• **il sistema di guida:** parte di assoluto rilievo per l'esecuzione del lavoro è rivestita dal sistema di guida utilizzato durante l'esecuzione del microtunnel di Pegli: esso è noto come SLS-RV della ditta VMT gmbh di Bruchsal (D). Que-

La Tecnologia del Microtunnelling

Generalità

Questa tecnologia consiste nella realizzazione di tunnel, generalmente di diametro fino a 3.6 ÷ 4 m, mediante l'avanzamento di uno scudo cilindrico, cui è applicato frontalmente un sistema di scavo. L'avanzamento è sostenuto dalla spinta di martinetti idraulici, montati su un telaio metallico e da un anello di spinta mobile posto davanti ai martinetti, ed è guidato da un sistema laser che consente di accorgersi tempestivamente di errori di traiettoria e di applicare conseguentemente le necessarie correzioni di rotta. La perforazione inizia da una postazione di partenza, in cui viene realizzato un muro per reggere la spinta, e raggiunge la postazione d'arrivo, in corrispondenza della quale viene rimossa l'unità di perforazione. Il procedere dell'unità della perforazione viene seguito dal rivestimento del tunnel, che comprende il sistema di martinetti menzionato ed è generalmente costituito da conci in calcestruzzo armato o da barre di tubo camicia in acciaio.

L'unità di perforazione può essere costituita da scudi aperti in cui la fresa o la benna in testa effettua lo scavo (perforazione a sezione piena o puntuale) o scudi chiusi con la testa fresante mantenuta in pressione contro il fronte scavo.

Il materiale scavato viene frantumato e portato all'esterno mediante trasporto meccanico o con flusso di fango bentonitico.

Terminata l'esecuzione del microtunnel, il cavo così creato può accogliere la/le tubazioni per il trasporto fluido, dopodichè l'intercapedine tra tubi di linea e rivestimento viene intasata con miscele cementizie, bentonitiche o polimeriche autoindurenti.

Una variante operativa, di più recente introduzione sul mercato, è rappresentata dalla possibilità di realizzare microtunnel ad andamento curvilineo; detti microtunnel consentono una maggiore flessibilità nelle scelte progettuali e l'abbattimento dei costi legati alla realizzazione di postazioni di partenza ed arrivo in pozzi molto profondi.

Applicabilità

La scelta di utilizzo della tecnologia del microtunnelling deve basarsi su studi preliminari e di dettaglio, che consentano di individuare con buona approssimazione le caratteristiche stratigrafiche, geotecniche e geomeccaniche del sottosuolo da attraversare. Si deve perciò procedere, dopo un'analisi bibliografica delle conoscenze acquisite sul sito, ad un'indagine geognostica che può comprendere sia sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di campioni e prove in foro, sia prove di laboratorio geotecnica/geomeccaniche, sia, se del caso, prove sismiche a rifrazione.

Nel caso di tratti a modesta profondità si possono eseguire anche indagini georadar per l'individuazione dei sottoservizi esistenti.

La tecnologia del microtunnelling fornisce soluzioni progettuali assolutamente in linea con le necessità di rispetto ambientale e paesaggistico per:

- attraversamento di zone intensamente urbanizzate, nodi viari e/o ferroviari;
- attraversamento di dossi rocciosi;
- attraversamento corsi d'acqua.

Vantaggi e Costi

I vantaggi più evidenti che la tecnologia del microtunnel consente, specie nel campo della realizzazione di linee per trasporto di idrocarburi, sono:

- facilitazione nell'ottenimento dei permessi per l'attraversamento di aree protette;
- abbattimento dei costi di ripristino ambientale;
- annullamento dei costi relativi alla protezione e manutenzione delle condotte di trasporto posate all'interno dei cavi realizzati;
- diminuzione delle lunghezze dei percorsi delle condotte di trasporto;
- superamento di ostacoli naturali ed artificiali altrimenti difficilmente aggirabili se non a costi elevatissimi;
- abbattimento dei costi sociali legati alla realizzazione in ambito urbano di nuove linee di trasporto.

Ovviamente il costo di applicazione della tecnologia deve essere commisurato all'opera da realizzare e all'investimento previsto, non si può cioè prescindere da un computo costo/benefici per ciascuna proposta operativa. In ogni caso i costi sono legati a vari fattori, quali:

- diametro e lunghezza del microtunnel;
- caratteristiche dei terreni da attraversare;
- caratteristiche delle postazioni di partenza ed arrivo;
- eventuali opere di preconsolidamento da eseguire.

Perciò ogni caso va esaminato attentamente per arrivare ad una valutazione realistica del costo.

Alcuni microtunnel realizzati da Società del Gruppo ENI

La Snam (oggi Snam Rete Gas) ha realizzato numerosi microtunnel sia ad andamento rettilineo (ad esempio quello di "Castello d'Orlando" in Sicilia per superare un versante montuoso in frana) sia ad andamento curvilineo (ad esempio quelli per il superamento in subalveo dei fiumi Adige e Po). In tutti questi microtunnel del diametro interno di 2 m vennero posate condotte in acciaio per trasporto di gas naturale del diametro DN 1200 (48").

Per la prima volta in Europa e, forse, nel mondo, la Praoil ha invece realizzato un microtunnel curvilineo, lungo 640 m del diametro interno di 2,60 m, in cui ha collocato 6 tubazioni in acciaio (2 x 12" e 4 x 30").

sto sistema viene comunemente utilizzato per l'esecuzione di microtunnel curvilinei, ma nel progetto di Pegli è stato impiegato adottando particolari accorgimenti atti a ridurre le tolleranza insite nella metodologia. Le azione intraprese sono state:

1. definizione di un accurato sistema di coordinate locali tra il pozzo di partenza e quello di arrivo;
2. creazione di tre capisaldi integrativi dotati di prisma fisso;
3. formazione di supporti metallici fissi all'interno del tunnel per un efficace posizionamento della stazione integrale durante il rilievo del tunnel;
4. la distanza tra un rilievo e quello successivo è stata ridotta da 80 m a 25 m;
5. esecuzione dei rilievi la mattina presto per evitare le influenze delle dilatazioni termiche dovute al riscaldamento solare e quelle dovute al riscaldamento dell'aria nel tunnel;
6. impiego di strumenti ad elevata precisione.

2.5 Progettazione Meccanica

Contemporaneamente alla progettazione del microtunnel a conci in calcestruzzo è stata eseguita l'ingegneria di dettaglio per le parti meccaniche, per determinare la tecnica di montaggio ed inserimento del fascio tubiero di 640 m, costituito da quattro condotte da 30" (762 mm), da due condotte da 12" (323 mm), dai tubi-guaina da 4" per l'alloggiamento dei cavi elettrici necessari al completamento dell'opera e da altre tubazioni secondarie di sfiato e drenaggio.

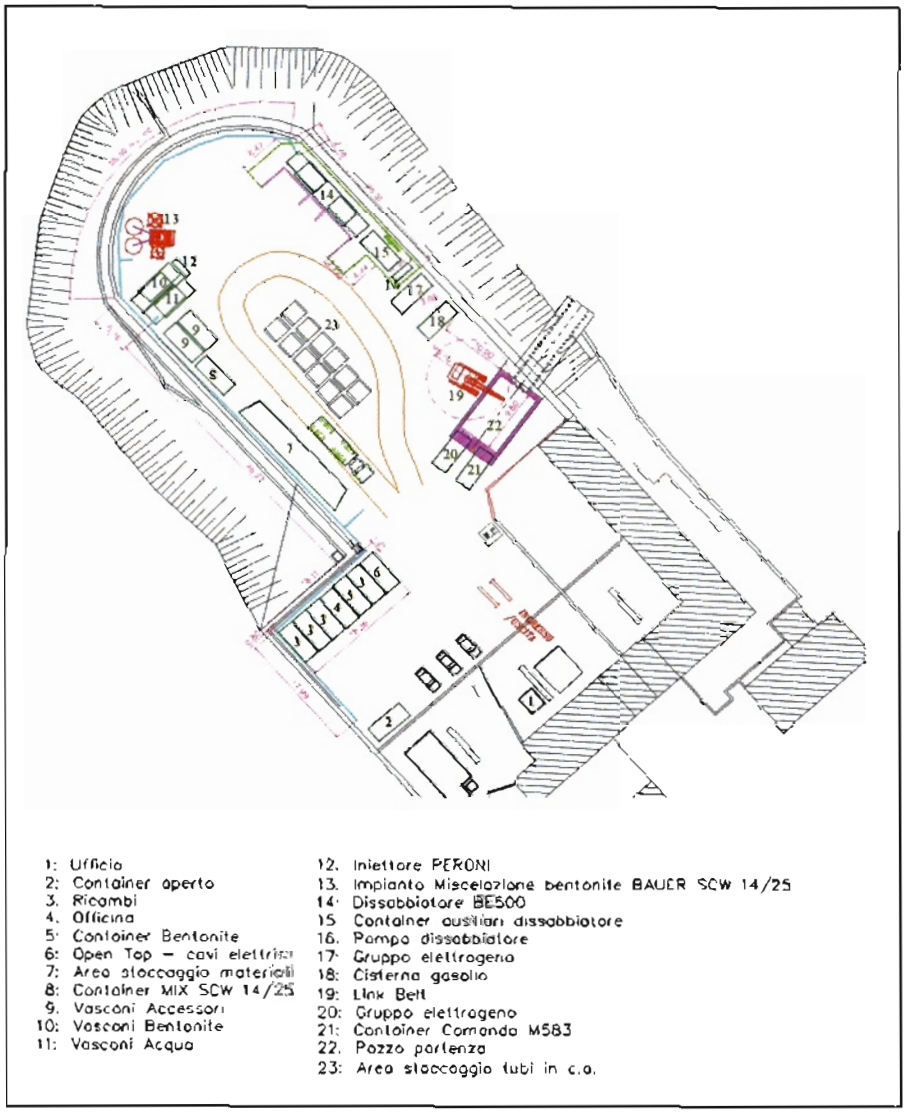


Figura 4 - Area di cantiere

Immediatamente è apparsa chiara la quantità e l'entità dei problemi da risolvere: gli spazi a disposizione, la gestione degli attriti del sistema fascio tubiero-microtunnel, la gestione del sistema di scorrimento, il sistema di supporto dei tubi in uno spazio estremamente ristretto, il controllo della rotazione del fascio tubiero all'interno del microtunnel, la valutazione del metodo di infilaggio a tiro o a spinta in funzione delle grandi forze in gioco, il sistema di saldatura del fascio di condotte estremamente ravvicinate tra loro, l'impossibilità di effettuare interventi per eventuali riparazioni dopo il varo del fascio tubiero, il mantenimento di un livello accettabile di

tensione su ogni singolo tubo. il controllo del raggio di curvatura elastico del sistema tubo in considerazione delle difficoltà costruttive del microtunnel e dell'eventuale disallineamento dei conci.
Il coordinamento di tutti questi parametri strettamente correlati tra loro ha portato alla definizione di una complessa e dettagliata metodologia di varo. La cura dedicata ad ogni dettaglio, ad ogni problematica e all'aspetto della sicurezza hanno fatto di questo studio un modello realizzato per la prima volta nel panorama internazionale.
La necessità di eseguire il lavoro nelle aree prospicienti l'entrata e l'uscita del microtunnel, già intensamente sfruttate, ha fortemente condizionato l'esecuzione dell'intera procedura di varo. Infatti l'area della stazione di pompaggio di Multedo, all'interno del porto petroli di Genova, si presenta occupata da molteplici infrastrutture, impianti e fasci di tubazioni, che riducono marcatamente lo spazio utile per il cantiere. L'area antistante il deposito Praoil di Fondega Sud si presenta all'interno di una sorta di anfiteatro artificiale, ricavato sul fianco della collina di Fondega (fig. 4). Tale area, seppur la più ampia disponibile in zona, è di dimensioni ridotte, ed è stata scelta come area di cantiere organizzando quest' ultimo in modo da poter utilizzare al massimo lo spazio disponibile. Inoltre il dislivello favorevole (Fondega +13.6 m s.l.m., Multedo +3.8 m s.l.m.) avrebbe agevolato le operazioni di varo (fig. 5).

2.5.1 Inserimento delle tubazioni nel microtunnel

In primo luogo è stato affrontato il problema del metodo di assemblaggio delle sei tubazioni principali e di tutte le condotte e i cavidotti di servizio. Dopo aver valutato diverse soluzioni, si è deciso di appoggiare le condotte su carrelli in carpenteria metallica collegando i 4 oleodotti da 30" tra loro a coppie mediante cravatte bullonate alla struttura (fig. 6).
È stato quindi deciso di varare il fascio tubiero per tronchi, ognuno poggiante su due carrelli, prevedendo l'assemblaggio ed il varo dei singoli tronchi in sequenze successive.

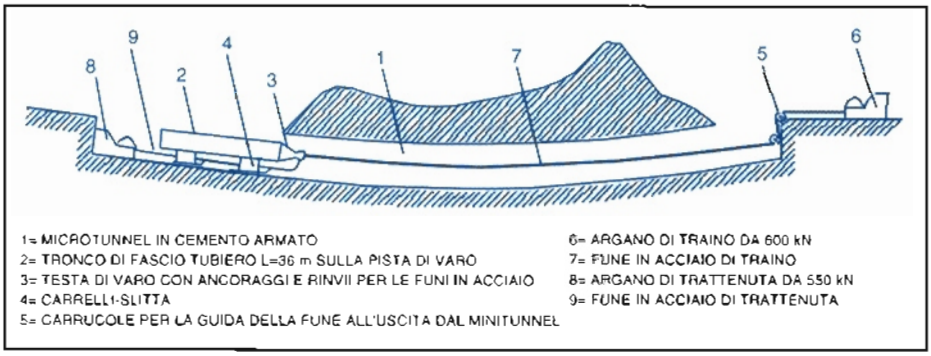


Figura 5 - Schema di varo

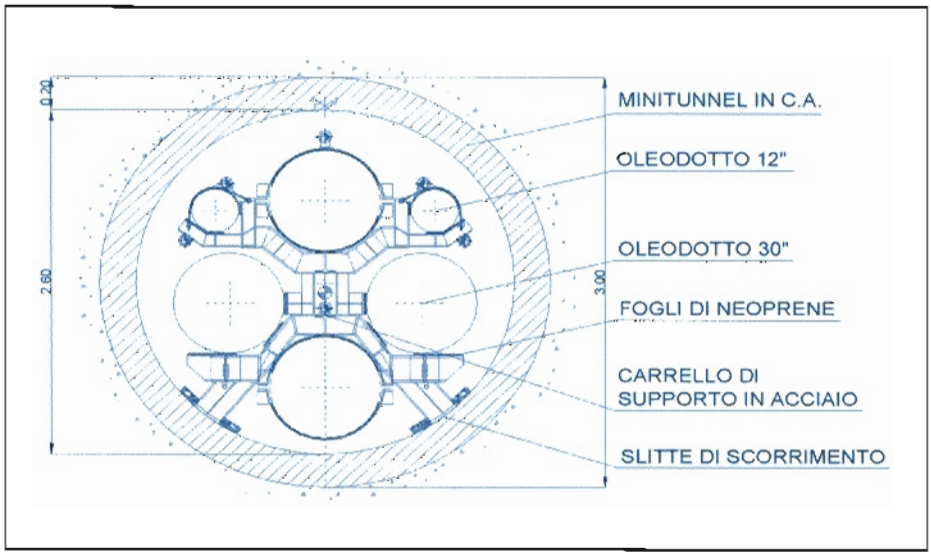


Figura 6 - Sezione microtunnel con oleodotti assemblati sui carrelli

La lunghezza di ogni tronco di varo della lunghezza di 36 metri (pari a tre barre di 12 m ognuna) è stata scelta in maniera da ottenere il migliore compromesso fra tempi e costi del varo, in considerazione delle dimensioni massime consentite dall'area di cantiere.
Poiché il secondo tronco di condotte al termine dello scorrimento sarebbe giunto in corrispondenza di una linea ferroviaria, si è studiato il sistema di inserire le tubazioni all'interno di tubi di protezione (4 DN 34" e 2 DN 16") come richiesto dall'Ente Ferrovie. La necessità di dovere adottare diametri maggiori ha portato alla modifica della struttura dei carrelli di supporto e collegamento del secondo tronco.

Carrelli e Staffe di Ancoraggio

Si è previsto che ogni elemento del fascio di tubi fosse appoggiato su due carrelli speciali e fissato mediante opportuno serraggio delle staffe di ancoraggio. Ciascun carrello è stato progettato con due telai principali in elementi in acciaio collegati da travi a T e a doppio T per rendere solidali i due telai. Al piede di ogni telaio è stata prevista l'applicazione di pattini di scorrimento.
Le condotte laterali da 30" sono state progettate per essere vincolate tra loro e semplicemente appoggiate sui bracci laterali del carrello, mentre per quelle superiore ed inferiore è stato previsto un vincolo al carrello stesso. Queste connessioni erano da realizzare mediante staffe, preventivamente collaudate, in modo da verificare che il serraggio non producesse deformazioni sulla condotta tali da comprometterne la funzionalità e che l'attrito sviluppato tra la staffa e il rivestimento del tubo fosse sufficiente per escludere scorrimenti o sfilamenti delle condotte dai carrelli. A tal fine si è deciso di interporre fra la staffa metalli-

ca e le tubazioni uno strato di gomma stirolica (SBR), che ha mostrato il rapporto aderenza/costo migliore fra quelle esaminate. Per mobilitare la maggiore aderenza possibile, si è deciso di sabbiare l'interno delle staffe, mentre la gomma SBR e la superficie protettiva della tubazione dovevano essere sgrassate e abrase manualmente per aumentare la scabrezza della superficie.
Quindi, grazie alla staffatura, il sistema sarebbe stato obbligato a reagire alle sollecitazioni in modo distinto sui due piani principali, verticale ed orizzontale. Tale ipotesi è stata considerata cautelativa, in quanto è stata complessivamente sovrastimata la rigidezza delle coppie di tubi, visto che la presenza di elementi elastici fra tubo e staffa permetteva degli scorrimenti, anche se molto piccoli.

Catenaria di varo

La geometria del microtunnel, curvilinea sul piano verticale con concavità verso l'alto, ha influenzato in modo consistente lo stato tensionale delle condotte e il dimensionamento dei supporti del fascio tubiero.
Gli effetti che la configurazione finale del profilo verticale ed orizzontale di un microtunnel possono provocare sulla condotta sono determinate dal raggio di curvatura della catenaria, in quanto la deformata indotta sul fascio tubiero dalla curvatura del microtunnel induce nelle tubazioni sollecitazioni flessionali, che si sommano a quelle derivanti dalle condizioni di esercizio delle condotte stesse.
Con le ipotesi di cui sopra e noti sia il raggio di curvatura del microtunnel (R= 2150 m circa) sia l'angolo di ingresso (Ø=8.4°), è stato verificato che la tensione del fascio di condotte fosse minore di quella ammissibile, mediante simulazione con un programma di calcolo specifico per l'analisi strutturale delle tubazioni (AutoPIPE).
Un secondo momento flettente, agente sulle tubazioni, può essere dato dalle deviazioni laterali (piano orizzontale) dovute alle inevitabili tolleranze di costruzione del microtunnel. Poiché le condotte laterali sono vincolate fra loro dalla reciproca staffatura e sono semplicemente appoggiate al carrello, le sollecitazioni da deviazioni planimetriche non vengono trasmesse al carrello ma vengono assorbite solamente dalle tubazioni, avendo un gioco pari alla deviazione teorica media del microtunnel di circa 10 cm. È stato comunque verificato che, anche in caso di errore massimo (raggio di curvatura sul piano orizzontale di circa 1620 m), le tensioni interne alle tubazioni fossero inferiori a quelle di sicurezza.
Un ulteriore problema poteva nascere in fase di varo mediante spinta posteriore: in tal caso il fascio di tubi sarebbe stato compresso e quindi posto a rischio di fenomeni di instabilità per carico di punta, accentuati dalle inevitabili imperfezioni geometriche delle condotte. Ogni stringa di tubo non è infatti perfettamente rettilinea ma presenta delle curvature, anche se piccole. Questo tipo di fenomeno è stato debitamente analizzato, giudicandolo ininfluente, dato che i carrelli interrompono la campata libera, riducendo sensibilmente la lunghezza libera di inflessione del fascio di condotte.

Pista di varo

La catenaria, di cui si è parlato, ha portato infine alla definizione della rampa di varo, che è stata progettata prevedendo un basamento di calcestruzzo armato sagomato con lo stesso raggio di curvatura del microtunnel. Si è inoltre previsto un pozzo di saldatura all'ingresso del tunnel, allo scopo di consentire le saldature fra i vari tronchi del fascio tubiero duran-

te le fasi di assemblaggio.
Per consentire l'esecuzione ottimale delle saldature e per accedere al fascio tubiero, si è previsto di allargare i primi 18 metri del microtunnel (lato Fondega).

2.5.2 Progetto del sistema di varo

Analisi degli attriti e sistema di scorrimento
In fase di progettazione si è valutato attentamente quale fosse il sistema migliore per far scorrere il fascio tubiero all'interno del microtunnel e di conseguenza quale fosse la procedura di varo ottimale. Tutto ciò doveva essere analizzato in funzione delle forze di attrito, che si sarebbero mobilitate durante il varo e che, vista la mole del fascio tubiero, sarebbero state molto elevate. Inoltre gli obiettivi che ci si proponeva di raggiungere, cercando di controllare l'entità delle forze di attrito e quindi i costi del varo, erano:
- garantire sicurezza e controllo durante le operazioni di assemblaggio sulla pista di varo;
- garantire il controllo del fascio tubiero durante le fasi di varo;
- evitare di danneggiare le pareti del microtunnel e gli organi di manovra;
- limitare le sollecitazioni nelle condotte e nelle opere di supporto durante il varo;
- razionalizzare le procedure di varo ed assicurare il completamento del varo stesso anche in caso di inaspettati incrementi delle forze di attrito totali.

Dopo accurate analisi, che avevano preso in considerazione le difficoltà realizzative e le probabilità di successo di una serie di possibili alternative, si è deciso di utilizzare dei carrelli in carpenteria metallica dotati di pattini su cui fissare, mediante staffature bullonate, i sei tubi. Per garantire l'attrito ottimale carrello-concio, si è pensato di interporre dei pattini di scorrimento in un materiale dotato di basso coefficiente di attrito, al fine di ridurre al massimo la differenza tra i coefficienti di attrito statico e dinamico.

Valutazione della procedura di varo ottimale
Riguardo alla procedura di varo, sono state esaminate due soluzioni operative:
- traino dal pozzo di arrivo (Multedo) con un argano;
- spinta dalla zona di partenza (Fondega) con la medesima macchina spingitubi utilizzata per l'esecuzione del microtunnel.

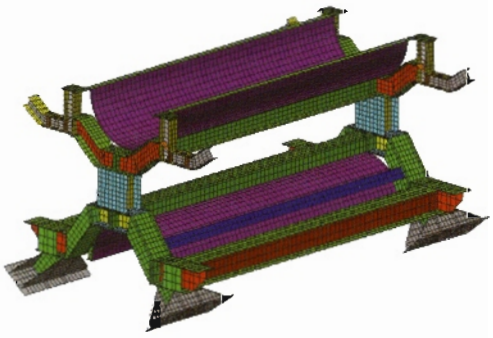
In base alle simulazioni di calcolo, si è deciso di trainare il fascio di condotte, nella fase iniziale del varo, fino a che la forza necessaria a far scorrere il fascio tubiero fosse stata maggiore della capacità di tiro dell'argano di traino.

2.5.3 Attrito tra i carrelli-slitta e i conci in calcestruzzo armato

Scelta del materiale per i sottopattini di scorrimento
La scelta del materiale con cui realizzare i sottopattini di scorrimento ha assunto fondamentale importanza per la progettazione del sistema di varo: infatti l'attrito dovuto allo scorrimento del fascio tubiero nel microtunnel determinava la forza massima da applicare durante il varo.
Poiché ogni singola fase di varo iniziava con il fascio tubiero in condizioni statiche, le forze di attrito di primo distacco, che si generavano durante l'inserimento nel microtunnel del fascio di tubi assemblato, dovevano essere compatibili con le capacità portanti degli organi di traino o di spinta che si intendeva utilizzare. Inoltre si doveva garantire che i tronchi da varare, fermi sulla pista di varo, non cominciassero a scivolare autonomamente e fuori controllo e che i pattini non si usurassero tanto da modificare le loro prestazioni.
Sono state quindi eseguite prove in campo con vari materiali (sottopattini in PE, in PTFE, in acciaio, in acciaio lubrificato) sia di aderenza sia di usura, trascinando un carrello di prova (caricato secondo le condizioni di esercizio) all'interno di alcuni conci in calcestruzzo predisposti appositamente in cantiere.

Verifica dei carrelli slitta
Lo studio delle sollecitazioni, delle deformazioni e delle tensioni di un carrel-

Figura 7 - Rappresentazione grafica delle deformazioni del carrello di varo



lo è stato eseguito modellando la struttura metallica con uno speciale strumento di calcolo (analisi F.E.M.- Finite Element Method - Algor SuperSap, USA). Tra le varie condizioni di carico analizzate la condizione di carico più gravosa si è dimostrata quella durante il varo dove agivano le forze verticali, dovute al peso del fascio di tubi, e quelle longitudinali e trasversali, date dall'attrito dei tubi sugli staffaggi e dei pattini sulle pareti del microtunnel. Lo stato tensionale combinato (tensioni di membrana e tensioni flessionali) è stato verificato rientrare nei limiti di sicurezza, così come lo stato di deformazione (fig. 7).

In modo analogo sono stati studiati e verificati strutturalmente i carrelli slitta posti a supporto delle stringhe di condotta inserite in tubo di protezione (2° tronco), in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario. Tali carrelli infatti risultano essere leggermente diversi dai precedenti per esigenze dimensionali, a causa dell'ingombro dei tubi di protezione.

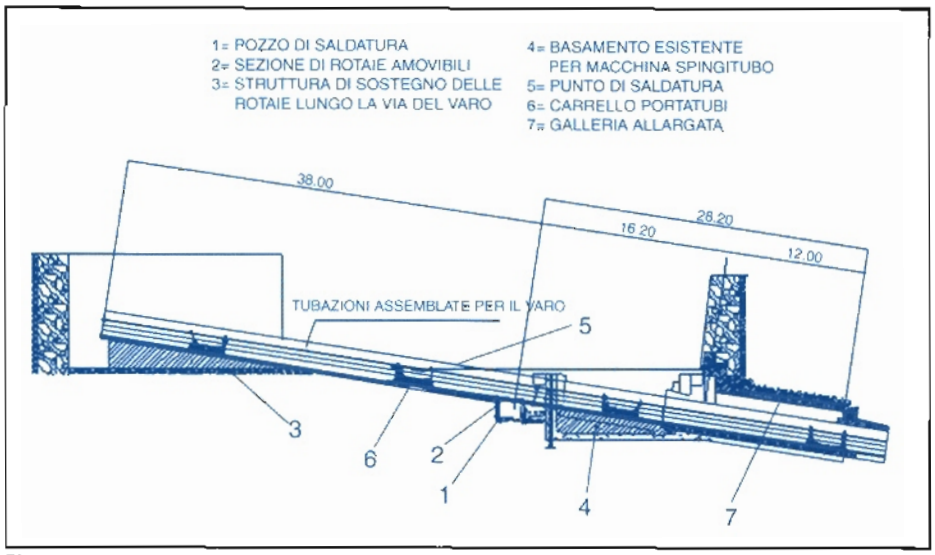


Figura 8 - Rampa di varo

Per evitare lo sfilamento dal tubo di protezione durante il varo (l'aderenza fra tubo di linea e tubo di protezione è fornita solamente dagli anelli distanziatori in PVC), si è scelto di collegare i carrelli tra loro con dei tiranti metallici.

Inoltre, all'interno del microtunnel, sono state realizzate opportune guide metalliche per i pattini dei carrelli slitta, in modo da non consentire rotazioni delle stringhe durante le fasi di varo.

2.5.4 Il varo

Sistema di varo definitivo

Poichè si è deciso di trainare il fascio di condotte dal pozzo di arrivo, trattenendolo dal pozzo di partenza (fig. 8), è

CARATTERISTICHE DI PERFORAZIONE DEL MICROTUNNEL REALIZZATO

L'analisi dai parametri di perforazione rapportata alle formazioni litologiche incontrate consente le seguenti considerazioni.

- Nelle argilliti, cioè nei primi 140 m ca., si evidenzia un andamento costante della spinta all'aumentare della lunghezza. Ci troviamo praticamente nelle condizioni ideali di lavoro: un foro autoportante in cui l'extra scavo è completamente riempito di bentonite e la tubazione si trova in una condizione di galleggiamento.
- Nei calcescisti si registra un aumento deciso e costante dei valori di spinta, dovuto principalmente al cambio di litologia: si passa infatti a un litotipo meno tenero (γ = 2.75 t/m^3 e coesione = 16,5 t/m^2), composto in buona percentuale da minerali silicei, quindi abrasivi e che conferiscono all'ammasso roccioso una certa resistenza alla perforazione. In presenza di roccia dura si verifica inoltre una produzione di materiale fino che produce un aumento degli attriti. In roccia compatta la spinta complessiva aumenta anche per il contributo della resistenza di penetrazione dei rulli al fronte.
- A partire dalla progressiva 495m ca. si è iniziato l'uso della stazione telescopica per poter operare con valori di pressioni più basse. I valori di spinta registrati dalla macchina sono quelli relativi alla chiusura della la stazione telescopica, e pertanto non direttamente confrontabili con quelli precedenti.
- L'ultimo tratto, scavato in alluvioni e terreno di riporto antropico, si presenta di nuovo lineare, senza particolare incremento dei valori e con contenute difficoltà di scavo.

In un microtunell ideale, realizzato cioè all'interno dello stesso litotipo per tutta la sua lunghezza,la spinta aumenta proporzionalmente alla lunghezza del tracciato secondo una retta (Stein et al., 1989).

Per capire meglio il comportamento della macchina in relazione ai diversi litotipi attraversati, è stato realizzato un grafico in cui viene evidenziata la spinta specifica per m^2 di superficie del tubo. I valori di Spinta sono stati divisi per la superficie esterna del tubo, secondo la seguente relazione:

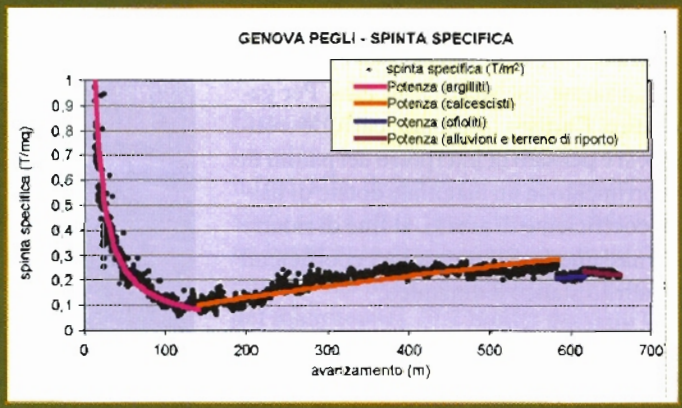
$S^* = S / (\pi x d x L)$

Dove:

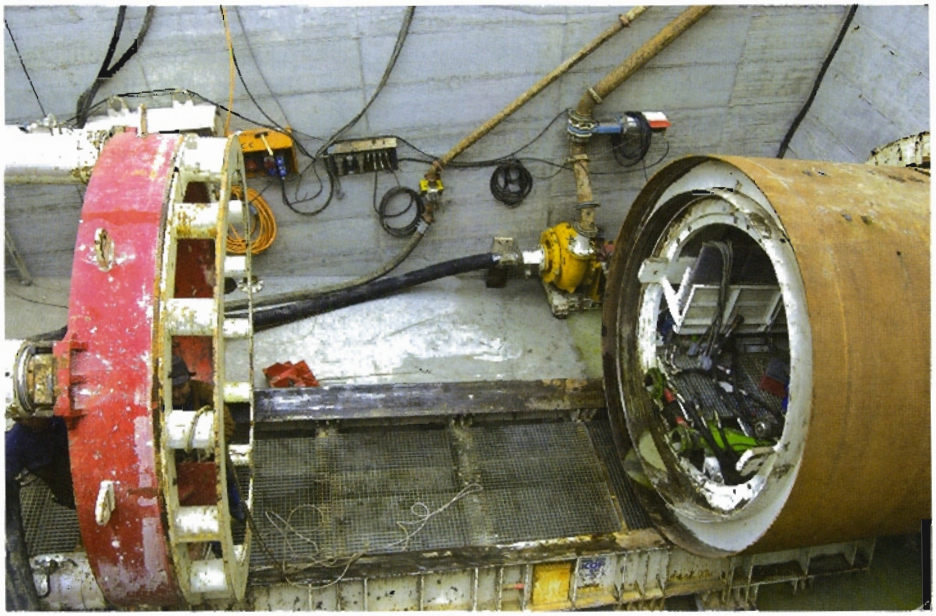
- S^* = spinta specifica (ton/m^2)
- S = spinta (ton)
- D = diametro esterno della macchina (m)
- L = lunghezza progressiva del tracciato (m)

Grafico "Spinta specifica"

In generale questo parametro presenta, per i primi metri di perforazio-



stato necessario limitare il più possibile il tiro all'argano di traino adottando, per i pattini, delle lastre in PTFE (Teflon) rinforzate con fibra di vetro, che hanno mostrato il coefficiente di attrito e la resistenza ad usura richieste.
Avendo riscontrato dalle prove sperimentali un coefficiente medio di attrito statico per il complesso carrelli/tubi pari a Ø=0.16 e di attrito dinamico pari a Ø'=0.11, si è deciso di trainare "direttamente" il fascio assemblato fino a raggiungere l'infilaggio di 360 m (10 tronchi) e, tramite rinvio, fino al completamento del tiro - posa.
Perciò è stato previsto l'utilizzo di un argano da 400 kN di tiro massimo (600 kN nominali).



3. Costruzione del microtunnel

La realizzazione del microtunnel di fatto consisteva nel perforare la collina lungo il profilo, previsto in progetto, per sottopassare tutta l'area urbana precedentemente descritta, e porre in opera i tubi o conci in c.a., che avrebbero costituito il "cavo", poi utilizzabile per la posa del fascio tubero.
L'elemento essenziale del microtunnel è perciò costituito dai tubi in calcestruzzo, mentre gli elementi accessori, vale a dire di supporto alla realizzazione, sono rappresentati dal pozzo o postazione di partenza e da quello di arrivo.

I conci in c.a.
I tubi impiegati nel microtunnel di Pegli hanno diametro interno 2600 mm, diametro esterno 3000 mm e lunghezza del singolo elemento di 2350 mm. Lo spesso-

ne, valori molto elevati a causa di L molto basso; in terreno omogeneo, man mano che si procede nella perforazione, S* si stabilizza attorno ad un valore costante.

Grafico "Attrito"
Più interessante è la valutazione dell'attrito lungo la tubazione. Questo valore si ottiene a partire dai valori di spinta depurati dai contributi della forza peso e della spinta sul fronte, secondo la seguente formula:

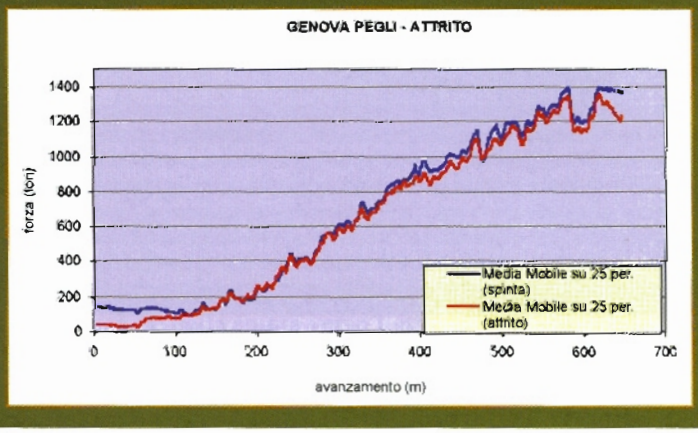
$$S = R + Cfp + Sf$$

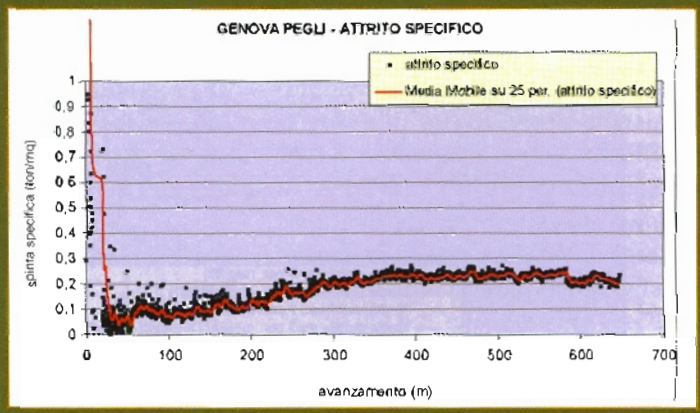
Dove:
- S = spinta esercitata dai martinetti;
- R = forza di attrito totale sulla tubazione;
- Cfp = componente della forza peso lungo l'asse di spinta, data dalla somma del peso dei tubi in calcestruzzo (che aumenta con la distanza percorsa) e della macchina (costante). La Componente Forza Peso è funzione della pendenza del tracciato, in particolare di sen α, dove α è l'angolo del profilo del tracciato sull'orizzontale.
- Sf = spinta esercitata dal fronte di scavo. Questo valore viene ricavato dai valori di pressione dei cilindri di guida registrati dalla macchina (pi) e dalla sezione dei cilindri di guida Ac; Sf = Ac * Σpi

Dalla precedente relazione si ricava facilmente che:

$$R = S - Cfp - Sf$$

Nel caso di tragitto rettilineo a pendenza nulla la componente Sf è trascurabile e quindi R = S - Sf.
Dal grafico precedente si può determinare l'attrito superficiale (o di parete)





re della tubazione è stato ridotto rispetto al valore standard, da 25 cm a 20 cm, per poter disporre di una maggiore tolleranza durante la fase di varo del fascio tubero. La lunghezza del singolo concio di 2,35 m è stata scelta per semplificare il trasporto in cantiere, utilizzando cioè dei normali camion ribassati che non necessitano di permessi per fuori sagoma.

Il calcestruzzo impiegato per la costruzione dei tubi è di classe R'ck>50N/mm2, prevedendo l'impiego di additivi fluidificanti ed acceleranti per poter scasserare dopo le quattro ore programmate, necessarie per poter eseguire n.2 getti al giorno per ogni sistema di cassero.

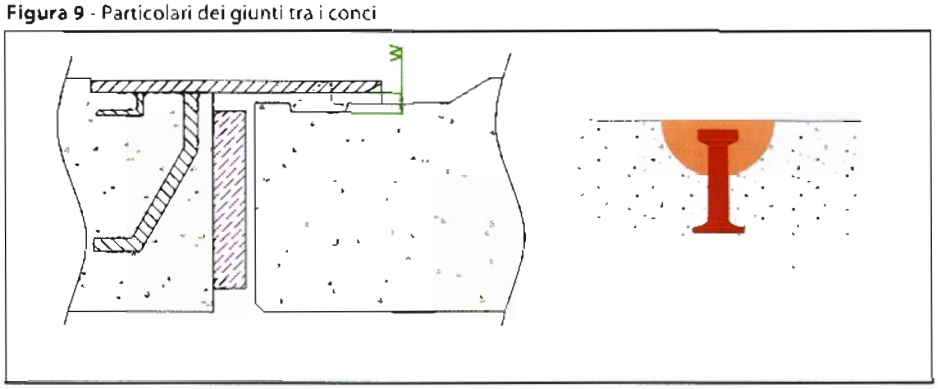
Il giunto è costituito da un anello in acciaio incorporato nel getto e da una guarnizione a cuspide h=28 mm, vulcanizzata a caldo, conforme alle prescrizioni della norma DIN4060.

Tra le testate della tubazione è stato premontato in stabilimento un anello in legno truciolare avente spessore 28 mm, e resistenza a flessione 13N/mm². Le geometrie delle tubazioni hanno tolleranze rispondenti alle prescrizioni contenute nelle normative: DIN 4035 e ATV A 125.

Il ciclo produttivo è composto dalle seguenti fasi:

- posizionamento del manicotto sopra il fondello di base;
- posizionamento delle gabbie di armatura interna ed esterna, con relativi distanziatori;
- posa del cassero interno e poi di quello esterno, che viene agganciato al fondello di base;
- inizio della fase di getto e contemporanea attivazione del sistema di vibratori posizionati sul cassero esterno;
- a presa avvenuta rimozione del cassero interno e poi di quello esterno;
- ad indurimento avvenuto sollevamento del manufatto mediante impiego di sistema DEHA e posizionamento nella zona di stoccaggio. La tubazione DN 2600 ha un peso di circa 11 ton, quindi per la movimentazione è stato adottato un sistema a due ancoranti disposti dia-

Figura 9 - Particolari dei giunti tra i conci



M secondo la seguente relazione:

$$M = R / D \times \pi \times L$$ (Stein et al., 1989)

Grafico "Attrito specifico"

Tabella 1: attrito superficiale riscontrato a Genova-Pegli (media di R per litotipo)

Tipo di terreno	Argilliti	Calcescisti	Ofioliti	Alluvioni
M (KN/m²)	1 ± 0,9	2 ± 0,4	2,2 ± 0,1	2,1 ± 0,01

I valori ricavati sono sensibilmente inferiori rispetto a quelli presenti in letteratura (vedi tabella 2) e ciò è dovuto a:

- lo scavo in roccia garantisce condizioni di stabilità del "over-cut" e quindi minore pressione del terreno sulla tubazione;
- maggiore efficienza dei sistemi di lubrificazione rispetto a quelli di riferimento in letteratura (di tipo manuale o solo di tipo puntuale)

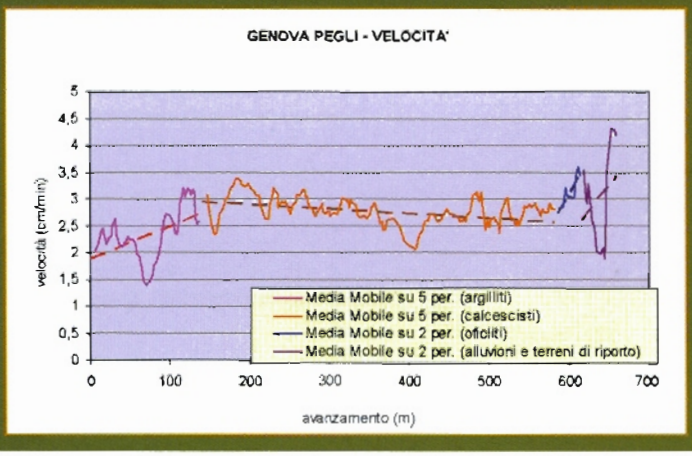


Tabella 2: attrito superficiale secondo il tipo di terreno (da Stein et al., 1989)

Tipo di terreno	Ghiaia,sabbia	Sabbia argillosa	Argilla	Argilla,roccia
M (KN/m²)	8,4 ± 2	9,3 ± 1	7,3 ± 1	5,7 ± 4

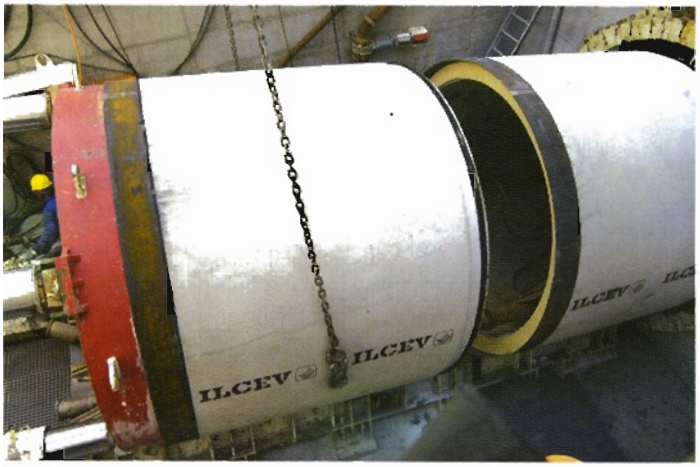
Un ultimo fattore sperimentale ricavabile dai dati macchina e sul quale può essere utile fare alcune considerazioni è la velocità d'avanzamento in fase di perforazione. Questo parametro non viene registrato direttamente dalla macchina, ma viene calcolato sulla base del tempo di avanzamento di ogni singolo concio in c.a. da 2,35 m. Nel grafico seguente oltre alla linea che rappresenta la media della velocità viene visualizzata (tratteggiata) la linea di tendenza per evidenziare l'evoluzione del parametro nello spazio all'interno dello stesso litotipo.

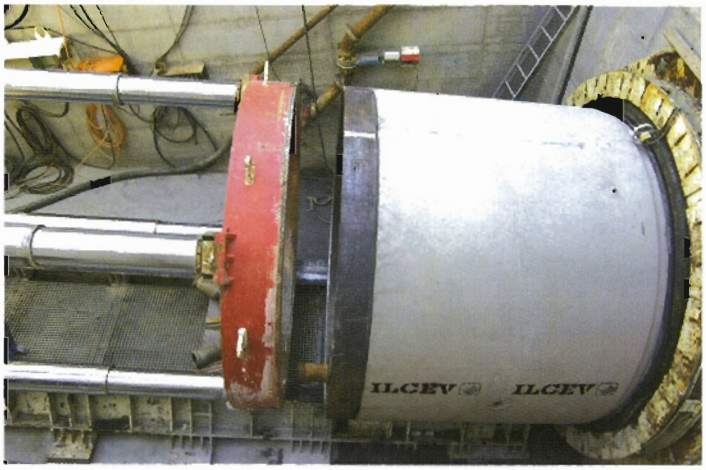
I valori medi riscontrati all'interno di ogni singola litologia sono i seguenti:

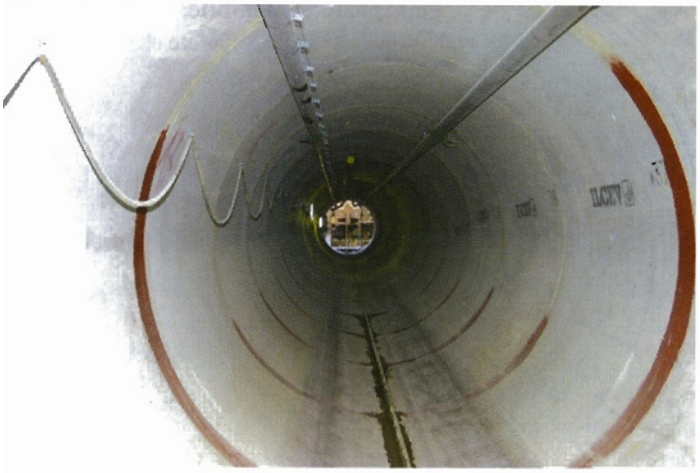
- argilliti: 2,30 ± 0,61 cm/min;
- calcescisti: 2,75 ± 0,40 cm/min;
- ofioliti: 3,07 ± 0,36 cm/min;
- alluvioni e terreni di riporto: 2,96 ± 0,89 cm/min.

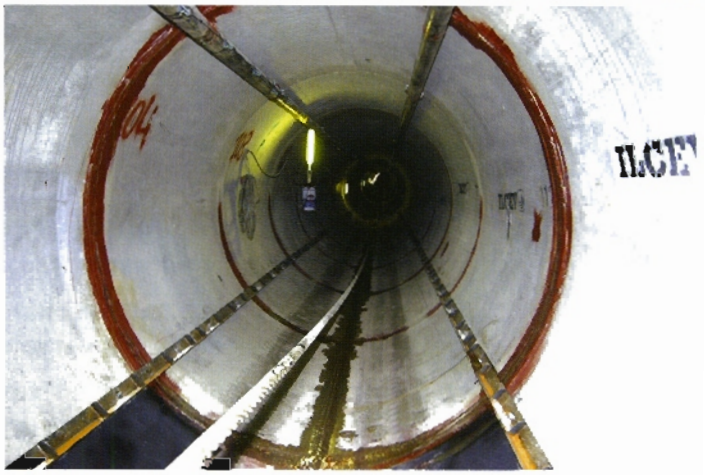
Analizzando il grafico e premesso che l'andamento oscillatorio del parametro velocità è caratteristico, si può osservare come la velocità nelle argilliti sia leggermente minore rispetto a quella delle altre litologie (anche riguardo agli ammassi rocciosi litoidi); questo fatto non deve sorprendere, in quanto nell'attraversamento di materiali argillosi l'asportazione del materiale dal cono di frantumazione richiede più tempo rispetto ai terreni incoerenti. La velocità tende a stabilizzarsi all'interno dei calcescisti per poi aumentare leggermente nelle ofioliti , che sono mediamente più fratturate.

	argilliti	calcesc.	ofioliti	Alluvioni
v.media (cm/min)	2,30	2,75	3,07	2,96
dev. Standard	0,61	0,40	0,36	0,89









metralmente opposti, longitudinalmente alla tubazione e nella zona centrale. La portata di ciascun gancio è di 10 ton, permettendo così di sollevare e trasportare in sicurezza, un carico di oltre 20 ton: abbondantemente superiore al peso del manufatto:

• verifiche geometriche, montaggio di guarnizione ed anello in legno.

Il pozzo di spinta
(postazione di partenza)

Il pozzo di spinta di dimensioni interne 6,5 m x 9,2 m per una profondità di 6,5 m, è stato realizzato con uno scatolare in c.a. gettato in opera. Le caratteristiche principali di quest'opera sono:

• posizionamento in aderenza al muro di sostegno di notevole peso ed altezza (8m);
• inclinazione della spinta verso l'alto;
• presenza di condotte a tergo muro che non consentono il completo scarico della forza di spinta;
• allargamento del microtunnel a 5 m di diametro per 15 m a partire dall'imbocco posizionato proprio sotto il muro esistente.

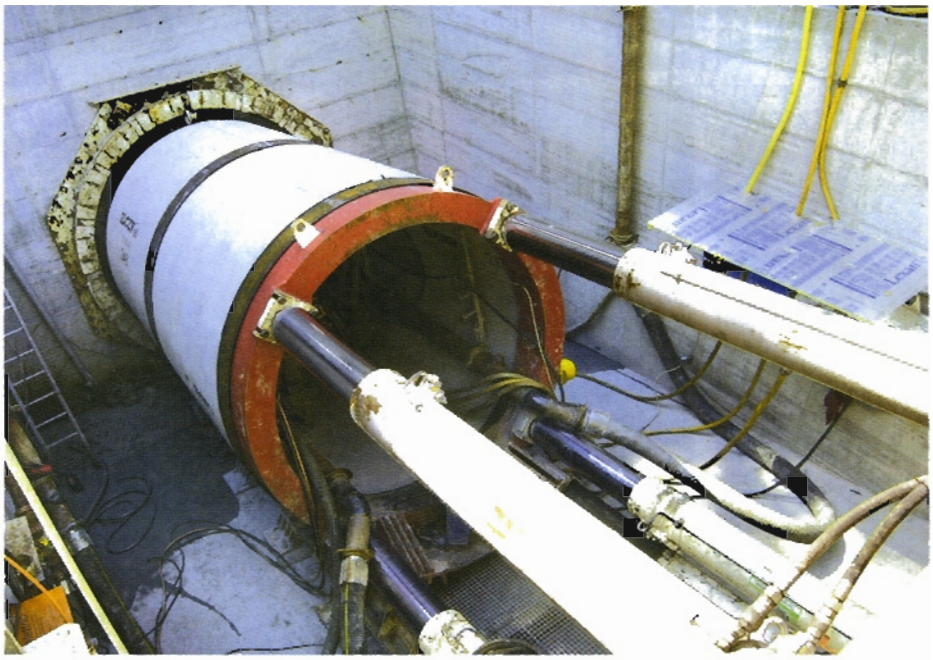
Le problematiche sopra evidenziate sono state risolte realizzando le seguenti opere:

• lo scavo al di sotto del muro è stato preceduto dalla costruzione di una trave di sottofondazione che appoggia su micropali in grado di assorbire il peso del muro; la trave è stata eseguita per conci ed inoltre è stata tirantata al terreno posteriore al muro per assorbire i notevoli carichi di spinta che il muro scarica alla base;sono stati realizzati n. 16 micropali aventi lunghezza 16 m e diametro 250 mm;
• la forza di spinta massima prevista durante il microtunnel pari a 2100 ton è stata assorbita da un sistema a cavalletto (puntone-tirante) realizzato con micropali inclinati e verticali collegati da un muro in cls avente il paramento interno ortogonale alla spinta;sono stati realizzati n. 30 micropali, inclinati disposti su tre file aventi l=15 m e n.18 micropali verticali aventi l=15 m; il diametro dei micropali è di 250 mm.
• l'allargamento della galleria è stato preceduto dalla costruzione di infilaggi aventi l=16m e diam. 168mm: lo scavo è stato eseguito con avanzamenti da 1m e posa in opera di una centina HEB140 chiusa alla base.

Il pozzo di ricevimento
(postazione di arrivo)

Il pozzo di arrivo avente dimensioni 7.05 x 7,6/h=8,0 m, è ubicato all'interno del Porto Petroli in adiacenza all'edificio adibito al controllo pompe. Il terreno riscontrato nel sondaggio aveva evidenziato la presenza della falda a -2,5 m dal p.c. e la seguente successione stratigrafica:

• terreno di riporto fino a -2,6m dal p.c.;
• deposito naturale sabbioso ghiaioso



fino a -5,3m dal p.c.;
• substrato lapideo, prima alterato e disarticolato, e poi a partire da -8 m da parzialmente integro ad integro.
Il pozzo è stato realizzato mediante una paratia di pali aventi d.1000 mm e h=10 m collegati in testa da una trave in c.a.; la trave ha permesso sia di ridurre le sollecitazioni sia le deformazioni; l'interspazio tra i pali è stato sigillato mediante micropali e jet-grouting. Il pozzo è stato predisposto per assorbire il carico di un argano durante la fase di varo del fascio tubero da 80 ton.
La perforazione del microtunnel è iniziata in data 25 febbraio, ed è proseguita regolarmente fino al 21 giugno, per complessivi giorni solari 120 ca.
L'andamento delle produzioni settimanali ha evidenziato un valore medio di ca. 40 m settimanali, con punte massime fino a 60-65 m (fig. 10).
Le deviazioni massime rilevate a fine lavori sono state di +/-6 cm sia in orizzontale che in verticale.
Altri tunnel eseguiti con il medesimo sistema VMT, ma nella sua configurazione standard aveva portato a deviazioni massime di +/- 10 cm orizzontali e verticali. Nel caso di Pegli si è registrato quindi un miglioramento del 40% (fig. 11).

4. Montaggio e varo del fascio tubiero

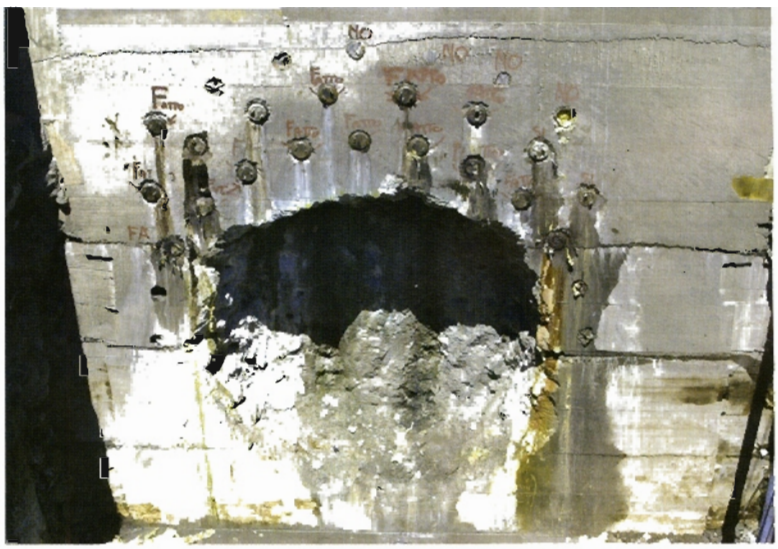
4.1 Galleria allargata in prossimità della pista di varo

Per consentire la divaricazione delle tubazioni durante la fase di saldatura in opera delle stringhe di condotta (la sezione del microtunnel di diametro interno m 2,60 non era sufficiente allo scopo), e per accedere al fascio tubiero per il tratto interessato da operazioni varie di montaggio (serraggio cravatte, saldatura dei tubi di sfiato, posizionamento dei cavi di protezione catodica), è stato necessario costruire un tratto di galleria di lunghezza pari a circa 18 m, larghezza m 5,24 e altezza m 4,22.
Dall'imbocco del microtunnel si è dapprima proceduto con la formazione d'infilaggi Ø 168 armati di lunghezza 21 m, ed a seguire con la costruzione della galleria, per la realizzazione della quale sono state eseguite le seguenti operazioni:
- scavo fino all'ottenimento della sezione di progetto (18.64 mq);
- rimozione di otto conci in c.a. del microtunnel (operazione che si è rivelata particolarmente difficoltosa per l'esiguo spazio disponibile;
- messa in opera della rete elettrosaldata e delle centine (assemblate in parte fuori opera);
- esecuzione di spritz beton.

4.2 Pista di varo

Il piano di scorrimento dei carrelli-slitta sulla pista di varo (con inclinazione di 8,4° pari alla pendenza del 14,7%) fino all'imbocco nel microtunnel è stato realizzato mediante un basamento in calcestruzzo armato sagomato con lo stesso raggio di curvatura dei tubi in cemento armato costituenti il microtunnel (R = 1,30 m).
La superficie di scorrimento è stata rifinita mediante applicazione di malta di cemento e quarzo, dello spessore di 1 cm, lisciata a mano.
Al fine di realizzare lo spazio necessario

Scudo fresante microtunneler in corrispondenza del pozzo di arrivo



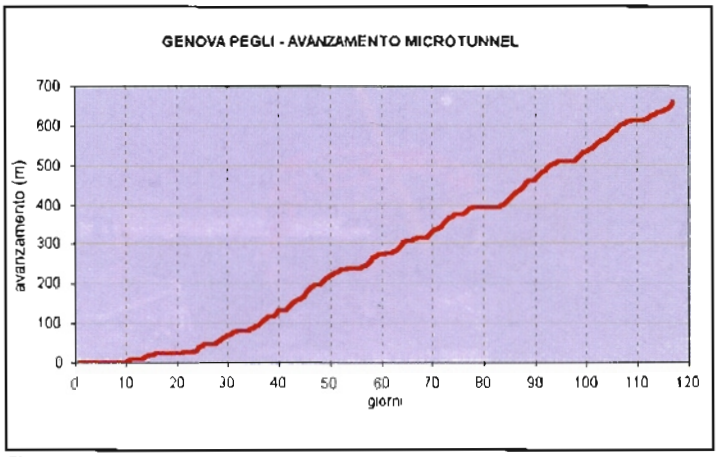


Figura 10 - Avanzamento microtunnel

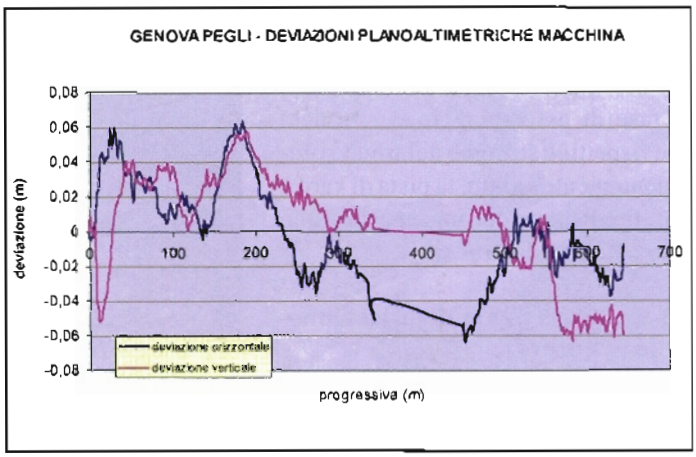


Figura 11 - Deviazioni registrate

per consentire l'esecuzione delle saldature di collegamento tra le stringhe di tubi DN 750 (30") e DN 300 (12"), in fase di assemblaggio dei tronchi alle rispettive stringhe del tronco precedentemente varato, la pista di varo è stata predisposta con un apposito vano o pozzo di saldatura.

4.3 Struttura per la divaricazione delle condotte

Il posizionamento estremamente ravvicinato delle sei condotte sui carrelli-slitta, previsto dal progetto, non consentiva lo spazio minimo necessario per l'esecuzione in opera delle saldature di collegamento tra i fasci tubieri in fase di assemblaggio. È stato pertanto predisposto sulla pista di varo, in cor-

La Protezione Catodica delle Tubazioni

Tutte le condotte in acciaio installate all'interno del microtunnel sono protette dalla corrosione tramite un rivestimento esterno (protezione passiva) associato ad un sistema di protezione catodica a corrente impressa (protezione attiva).

Protezione passiva

Le condotte sono rivestite esternamente da uno strato di 3 mm di polietilene estruso mentre i giunti di saldatura sono stati isolati dall'ambiente esterno tramite l'applicazione di fasce termorestingenti, dopo una adeguata preparazione della superficie metallica.
Il particolare sistema di posa delle condotte impediva l'effettuazione di controlli del rivestimento a posa ultimata e pertanto al fine di assicurarne l'integrità, prima della posa di ciascuna sezione di oleodotto il suo rivestimento è stato accuratamente controllato visivamente e tramite l'impiego di adeguata strumentazione.
Per garantirne nel tempo l'integrità, i supporti metallici che sostengono le tubazioni sono stati trattati con un adeguato ciclo di verniciatura e prima del loro utilizzo sottoposti a controlli allo scopo di verificare la corretta applicazione della pittura e la sua continuità.
Le imperfezioni riscontrate sul rivestimento delle condotte e sulla verniciatura dei supporti sono state eliminate tramite l'impiego di prodotti compatibili con quelli presenti sulle superfici interessate.

Protezione attiva

Il microtunnel, costituito da conci in cemento precompresso, a fine lavori è stato completamente intasato con malta cementizia e pertanto le condotte si trovano totalmente immerse in tale miscela.
Da esperienze acquisite su oleodotti in esercizio da tempo in questa zona, si è a conoscenza che l'area in cui si trova il microtunnel è fortemente interessata da correnti vaganti generate dal circuito di ritorno della linea ferroviaria Genova-Ventimiglia. Tali correnti investono le condotte sia in direzione di Pegli sia in direzione di Multedo.
Il punto d'incrocio del microtunnel con la linea ferroviaria si trova ad una profondità di circa 15 metri dalla superficie e ad una distanza di circa 70 metri dal terminale di Multedo.

In accordo a quanto stabilito nel DPR 2445 del febbraio 1971, nel punto in cui le condotte incrociano la linea ferroviaria queste sono dotate di un tubo di protezione adeguatamente dimensionato e protetto catodicamente.
Alle estremità del microtunnel le tubazioni sono separate elettricamente dalle strutture del deposito di Pegli e del Porto Petroli di Multedo tramite giunti isolanti.
Ciascun giunto è dotato di idonei apparati che lo proteggono dagli effetti generati da eventuali sovratensioni indotte o di origine atmosferica.
Il sistema di protezione catodica essenzialmente è costituito da:
- n° 1 dispersore filiforme in titanio attivato installato all'interno del microtunnel è composto da sei sezioni lunghe ciascuna 83 metri, adeguatamente distanziate e disposte alternativamente sul lato destro e sul lato sinistro del tunnel;
- n° 31 elettrodi di riferimento, di cui n° 9 con coupon, posizionati in corrispondenza dell'ingresso del deposito di Pegli e del porto di Multedo, a monte e valle dei tubi di protezione ed in punti significativi lungo linea.
- n° 2 alimentatori catodici automatici a potenziale costante con corrente di base;
- n° 4 armadi con morsettiere per shuntaggi, collegamenti elettrici per la protezione catodica dei tubi di protezione dell'attraversamento ferroviario, misure di potenziale in corrispondenza dei giunti isolanti, dei tubi di protezione, in diversi punti lungo il percorso degli oleodotti e di alcuni supporti metallici.

Le sezioni del dispersore in titanio attivato, poste all'interno del microtunnel, sono state predisposte per consentire, tramite l'inserimento di resistenze regolabili, una corretta distribuzione della corrente erogata dagli impianti, sufficiente a garantire un giusto ed omogeneo livello di protezione dalla corrosione delle tubazioni, anche in presenza di disturbi elettrici esterni.
Come sopra accennato, nel sistema di protezione catodica sono stati inseriti, tramite resistenze regolabili, anche i tubi di protezione dell'attraversamento ferroviario.
Allo scopo di garantire nel tempo l'integrità dei tratti di oleodotti al loro interno, anche nel caso d'infiltrazione d'acqua, nell'intercapedine presente fra le due strutture sono stati installati, a 120° fra loro e per tutta la lunghezza dei tubi di protezione, nastri di zinco collegati alle condotte.

rispondenza della fossa di saldatura, un portale in struttura metallica con la funzione di consentire la divaricazione delle stringhe.

4.4 Prefabbricazione delle "Stringhe" (colonne) di condotta

In funzione dello spazio disponibile, si è optato per la realizzazione di stringhe di condotta di lunghezza pari a circa 36 m, da assemblare successivamente sulla pista di varo per la formazione dei "Tronchi di fascio tubiero".
La prefabbricazione è stata eseguita in concomitanza con l'assemblaggio in opera dei fasci tubieri ed i vari degli stessi: non appena le stringhe di tubazioni venivano messe in opera sulla pista di varo, e quindi si creava spazio, si procedeva immediatamente con la prefabbricazione di altre stringhe per i vari successivi.
Per ciascuno dei 18 "Tronchi di Fascio" sono state prefabbricate le "stringhe" di condotte costituenti il "fascio tubiero" di ogni tronco, ovvero 4 stringhe DN 750 (30") e 2 DN 300 (12)."
La prefabbricazione di ciascuna stringa di condotta, della lunghezza media di circa 36 m, è stata realizzata nel piazzale di Fondega adiacente all'imbocco del Microtunnel, mediante le seguenti fasi di lavoro:
• sfilamento e allineamento di 3 barre

Argano di ritenuta della pista di varo

Tratto di galleria per allargamento del microtunnel al fine di consentire la divaricazione delle condotte e la saldatura al fascio successivo

di tubo;
• accoppiamento e saldatura elettrica;
• controllo radiografico ed ultrasonoro delle saldature.
• rivestimento dei giunti di saldatura di ogni stringa mediante applicazione di fasce in polietilene termoretraibile, previa sabbiatura della superficie ed applicazione di primer epossidico bicomponente.
Per la prefabbricazione delle stringhe di condotte costituenti il 2° tronco da varare (ricadente a varo ultimato in corrispondenza dell'attraversamento Ferroviario Genova-Ventimiglia) sono state eseguite le seguenti ulteriori operazioni:

• accoppiamento e saldatura delle stringhe di tubi guaina di protezione (con tubi DN 850 (34") per le condotte DN 750 (30") e con tubi DN 400 (16") per le condotte DN 300 (12");
• rivestimento dei due giunti di saldatura di ogni stringa di tubo guaina di protezione, mediante applicazione di fasce termoretrattili;
• montaggio di collari distanziatori in materiale plastico, ad interasse di circa 1 m, sulle stringhe DN 750 (30") e DN 300 (12");
• infilaggio delle stringhe di condotte nelle rispettive stringhe di tubo guaina di protezione;
• applicazione di "tappi di tenuta", alle estremità di ciascuna stringa di tubo guaina di protezione, realizzati con fasce termoretraibili.

4.5 Assemblaggio e Saldatura dei "Tronchi di Fascio Tubiero" sulla Pista di Varo

Ognuno dei tronchi di fascio tubiero, costituito dalle 4 stringhe DN 750 (30"), dalle 2 stringhe DN 300 (12") oltre ai rispettivi tubi di sfiato e di spurgo, è stato assemblato sulla pista di varo e saldato al successivo mediante le seguenti operazioni:
• divaricazione delle stringhe laterali (DN 30", DN 12") del fascio tubiero (precedentemente varato), fino all'ottenimento dello spazio minimo occorrente per le saldature di collegamento;
• applicazione dei pattini di scorrimento in Teflon sulle quattro slitte di ciascun carrello-slitta;
• accurata pulizia ed irruvidimento del rivestimento in polietilene delle stringhe DN 30" e 12", nei due tratti interessati dal posizionamento dei carrelli slitta e dalle clampe laterali (ad interasse 18 m), successivo controllo dell'integrità del rivestimento delle stringhe mediante passaggio di Holiday Detector ed esecuzione di eventuali riparazioni;
• posa dei due carrelli-slitta, sulla stringa inferiore DN 30" e serraggio delle cravatte di sostegno, controllo del serraggio con chiave dinamometrica;
• posizionamento sulla pista di varo dei

due carrelli-slitta, con la stringa inferiore montata, accoppiamento e saldatura della stringa con la corrispondente condotta del tronco di fascio precedentemente varato;
• posizionamento della stringa DN 30" superiore sui carrelli slitta, accoppiamento e saldatura con la corrispondente condotta del tronco di fascio precedentemente varato;
• posizionamento delle stringhe DN 30" laterale destra e laterale sinistra sulla pista di varo, accoppiamento e saldatura con le corrispondenti divaricate condotte del tronco di fascio precedentemente varato;
• posizionamento delle due stringhe DN 12" sulla pista di varo, accoppiamento e saldatura con le corrispondenti divaricate condotte del tronco di fascio precedentemente varato;
• controllo radiografico ed ultrasonoro delle saldature di collegamento;
• rivestimento dei giunti mediante applicazione di fasce in polietilene termoretraibile, previa sabbiatura delle superficie ed applicazione di primer epossidico bicomponente;
• posizionamento delle 6 stringhe all'interno dei carrelli-slitta e delle clampe, nelle loro posizioni definitive, serraggio delle cravatte e delle clampe con controllo del serraggio a mezzo chiave dinamometrica;
• saldatura dei tubi di sfiato DN 2" e di spurgo DN 1", posizionamento degli stessi sul fascio tubiero a mezzo reggette in materiale plastico.

Le difficoltà maggiori riscontrate nell'assemblaggio dei tronchi di fascio tubiero, si sono verificate principalmente durante l'esecuzione di due operazioni:
• la movimentazione dei tronchi di condotta, a causa dell'esiguo spazio a disposizione che non consentiva il posizionamento delle stringhe in parallelo con la pista di varo;
• il posizionamento delle stringhe laterali DN 30", ad assemblaggio avvenuto, all'interno delle clampe. Le tubazioni laterali DN 30" nella fossa di saldatura, venivano divaricate di circa 40 cm: tale divaricazione però, riportata a 36 m di distanza (lunghezza della tronco successivo), faceva si che parte delle stringhe risultassero direzionate al di fuori della pista di varo con difficoltà di riallineamento delle stesse all'interno delle clampe laterali.

L'assemblaggio in opera di ciascun tronco di fascio tubiero ha richiesto un periodo variabile dalle 36 alle 48 ore.

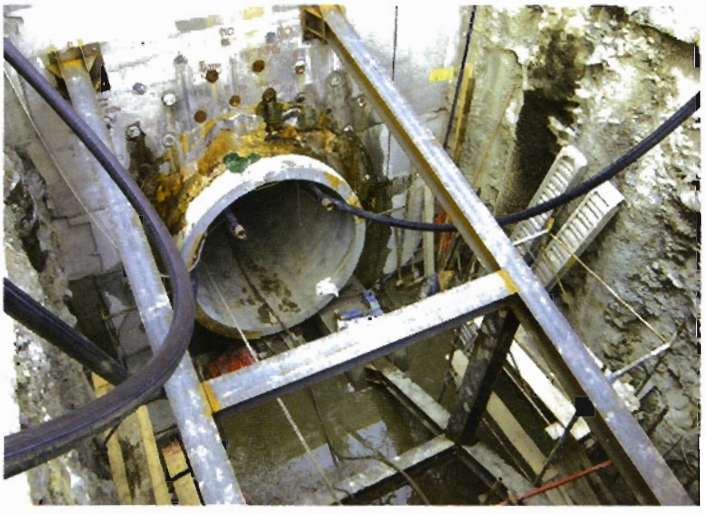
4.6 Fasi di preparazione del varo

4.6.1 Montaggio della "Testa di tiro"

La "testa di tiro" era costituita essenzialmente dai seguenti componenti:
• struttura anteriore in carpenteria metallica, predisposta per l'aggancio della fune di traino e della fune di trattenuta;
• struttura posteriore costituita da 4 tronchetti di tubo DN 750 (30"), collegati da apposita struttura in carpenteria metallica, coassiali con le 4 stringhe di condotta DN 750 (30") costituenti il 1° tronco di fascio tubiero;
• 4 slitte predisposte con pattini di scorrimento in Teflon.

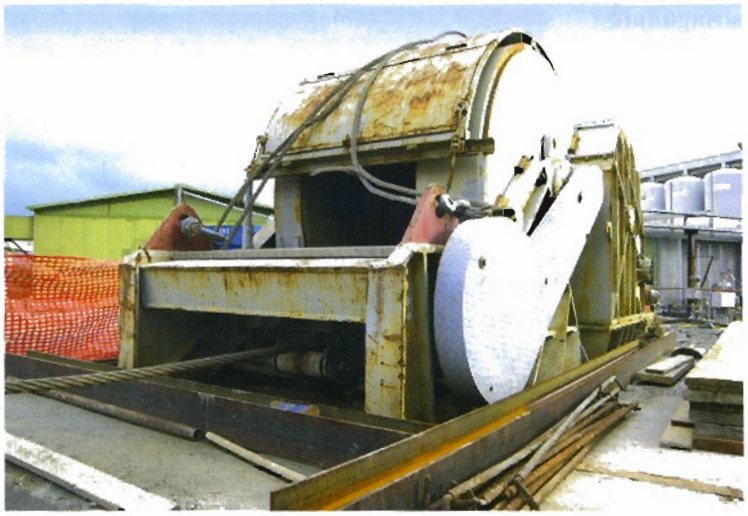
Il montaggio della "testa di tiro" sulla pista di varo è stato realizzato mediante la saldatura dei 4 tronchetti di tubo DN 750 (30") alle rispettive testate anteriori delle 4 stringhe DN 750 (30") del 1° tronco di fascio tubiero.

Fori di arrivo della testa dell'argano



4.6.2 Posizionamento "Argano di Tiro"

L'argano di tiro da 600 kN utilizzato per il varo del fascio tubiero all'interno del Microtunnel è stato installato ed ancorato in asse con il Microtunnel, su apposito basamento in cemento armato realizzato alla quota di piano campagna, in adiacenza al lato del Pozzo di Arrivo opposto all'imbocco del Microtunnel.



Argano di tiro

Per il passaggio della fune di traino dalla quota dell'asse di tiro alla quota di avvolgimento dell'argano, sono state installate 2 carrucole in posizione verticale ancorate alla parete del Pozzo di Arrivo.

4.6.3 Dispositivi di trattenuta e di ancoraggio posteriore

Al fine di prevenire eventuali scorrimenti incontrollati del fascio tubiero durante la fase di assemblaggio dei tronchi di fascio sulla pista di varo e durante la fase di varo, sono stati installati i seguenti sistemi di trattenuta e di ancoraggio:

a) "Argano di trattenuta" (da 550kN) installato in sommità alla pista di varo, con fune collegata alla "Testa di tiro", allo scopo di evitare eventuali scorrimenti incontrollati del fascio tubiero in fase di varo dovuti all'effetto elastico della fune di traino;

b) 2 funi in acciaio ancorate, da un lato ai golfari del carrello-slitta posteriore del tronco precedentemente varato, e dall'altro lato a due punti fissi di ancoraggio realizzati nella struttura in cemento armato della pista di varo, allo scopo di impedire eventuali scorrimenti del tronco di fascio tubiero in fase di assemblaggio sulla pista di varo.

Qualora in corso d'opera fosse risultato insufficiente il sistema di "varo a traino", per cause ed eventi imprevedibili, si è predisposto un varo "a spinta" mediante macchina spingitubo da 12000

Postazione di arrivo

kN, posizionato in sommità alla pista di varo (lato Fondega), agente all'estremità posteriore di ciascun tronco di fascio oleodotti. Tuttavia non si è reso necessario utilizzare detta spinta.

4.6.4 Collegamento telefonico tra la pista di varo, l'argano di traino e l'argano di trattenuta

Per il coordinamento delle manovre degli operatori dell'argano di traino e dell'argano di trattenuta durante la fase di varo, è stato installato un collegamento telefonico tra il Responsabile del Varo e gli operatori degli argani, mediante apposito cavo precedentemente posizionato all'interno di uno dei due tubi portacavo ancorati alla volta del microtunnel.

4.6.5 Preparazione della Superficie di Scorrimento nel Microtunnel

La superficie interna dei tubi in c.a. costituenti il microtunnel si presentava con un perfetto grado di finitura, tipico delle strutture prefabbricate con ciclo industriale in cassaforma metallica.
Tuttavia, al fine di ridurre ulteriormente in fase di varo l'attrito dei pattini dei carrelli-slitta sulle superfici di scorrimento in c.a. interne al microtunnel, è stato applicata una speciale pasta lubrificante adesiva, il cui effetto ha contribuito notevolmente alla riduzione delle forze di tiro durante il varo.

4.7 Varo del fascio tubiero all'interno del microtunnel

Il varo dei 18 tronchi di fascio oleodotti all'interno del Microtunnel è stato realizzato mediante un "sistema di traino" costituito dall'argano da 600 kN, posizionato in prossimità dell'uscita dal microtunnel nel Porto Petroli di Multedo, dotato di fune in acciaio (44 mm agganciata alla Testa di tiro saldata all'estremità anteriore del 1° tronco di fascio tubiero).
I primi 13 tronchi di fascio tubiero sono stati varati mediante "tiro diretto", per i rimanenti tronchi l'aumento dei carichi e quindi della forza di traino, ha reso necessario ricorrere al "tiro indiretto" previa formazione di rinvii.

Per i vari dei Tronchi di fascio tubiero dal 14° al 17° è stato utilizzato il "tiro indiretto" con l'ausilio di un rinvio, mentre per il varo del 18° Tronco si è dovuto ricorrere all'installazione di un secondo rinvio.
Si è rilevato che gli sforzi di traino per il varo degli ultimi tronchi sono risultati inferiori a quelli previsti in sede di progettazione.
Ciò è spiegabile con il parziale consumo del Teflon dei pattini che si è depositato sulla superficie di scorrimento del microtunnel, svolgendo la funzione di ulteriore lubrificante per gli ultimi carrelli del fascio tubiero, riducendo così gli attriti e quindi lo sforzo di traino dell'argano.

5 Opere complementari

5.1 Montaggio dei tratti di condotta all'esterno del microtunnel

Le operazioni di montaggio dei tratti di condotte in risalita, alle estremità esterne al Microtunnel, sono state pesantemente condizionate dai seguenti fattori:
a) limitatissimo spazio tra le condotte DN 750 (30") all'interno del Microtunnel, insufficiente per consentire l'esecuzione "dall'esterno" delle saldature di montaggio delle curve DN 750 (30") di risalita;
b) vincoli dimensionali e di spazio imposti dalla configurazione geometrica del piping e degli impianti progettati ai Limiti di Batteria delle condotte.
All'estremità lato Fondega Sud, la presenza del tratto di galleria allargata ha consentito la divaricazione delle condotte DN 750 (30") laterali (previa la rimozione temporanea delle clampe di serraggio dell'ultimo carrello-slitta) permettendo in tal modo la normale saldatura dall'esterno delle curve di risalita sulle tubazioni all'imbocco del Microtunnel.
All'estremità lato Multedo invece, la distanza tra le condotte all'interno del Microtunnel ha consentito di eseguire "dall'esterno" solo la saldatura delle curve alle due condotte DN 750 (30") "superiore" e "inferiore" e alle due condotte DN 300 (12").
Per la saldatura delle curve di risalita alle due condotte DN 750 (30") "laterali" si è reso necessario, quale unica soluzione praticabile, eseguire la saldatura "dall'interno" delle condotte, mediante l'impiego di un solo saldatore e l'adozione delle opportune misure di sicurezza.

5.2 Collaudo idraulico

Il collaudo idraulico delle 6 condotte costituenti il fascio tubiero è stato eseguito in due fasi successive, in ciascuna delle quali sono state collaudate 2 condotte DN 750 (30") e 1 condotta DN 300 (12"), riducendo in tal modo i tempi complessivi delle operazioni.

5.2.1 Riempimento delle condotte

In relazione alle caratteristiche del profilo altimetrico regolare ed uniforme delle condotte nel microtunnel e nei tratti di risalita alle sue estremità, è stato possibile eseguire il loro corretto riempimento immettendo l'acqua dalle "Testate di Prova" poste nel punto più alto del tracciato (estremità di ondeva Sud), scaricando l'aria presente nelle tubazioni attraverso le valvole di sfiato esistenti in sommità alle "Tastate di Prova", sia di ondeva Sud che di Multedo.

5.2.2 Pressurizzazione e Collaudo Idraulico

Trascorsa la fase di regimazione termica

Fasi del varo

ATTRAVERSAMENTO DI ROCCE CONTENENTI FIBRE DI AMIANTO

Il contesto

A seguito di notifica dei lavori alla nostra ASL 3, competente territorialmente, le Unità Operative "Prevenzione e Sicurezza negli Ambienti di Lavoro" (PSAL) ed "Igiene e Sanità Pubblica" (ISP), prima dell'inizio dei lavori, chiedevano l'applicazione di quanto previsto dal Piano Regionale Amianto della Regione Liguria (1996) ad iniziare da un'analisi integrativa, specialmente incentrata sulla zona di attraversamento di rocce ofiolitiche, per determinare l'eventuale presenza di fibre di amianto nelle rocce stesse.

Il supplemento di relazione geologica confermava la presenza di materiale asbestiforme negli ultimi 50 - 60 metri di scavo, lato mare.

Due successivi carotaggi ed analisi del Dipartimento TERIS dell'Università di Genova misuravano tale presenza in concentrazione variabile tra il 5 ed il 15%.

Questa zona corrisponde all'ultima fascia di terreno sul litorale, prima dei riempimenti artificiali del Porto Petroli, e non poteva, quindi, essere evitata semplicemente modificando il percorso dello scavo, peraltro già autorizzato nelle precedenti fasi.

La zona interessata dal possibile rilascio di fibre di amianto corrispondeva, secondo le previsioni del piano di lavoro, agli ultimi 6-7 giorni di scavo. La lavorazione prevista per queste rocce e la macinazione necessaria all'evacuazione dello smarino in forma fluida, avrebbe prodotto certamente materiale con contenuto non trascurabile di fibre libere di amianto.

Era quindi necessario il coinvolgimento di una nuova impresa, specializzata in rimozione e trattamenti di materiali contenenti amianto.

In tale fase si sono dovuti affron-

Dissabbiatore

tare una serie di problemi specifici e inconsueti rispetto agli abituali interventi di rimozione di amianto: era perciò necessario studiare soluzioni appropriate di cui misurare l'efficacia in corso d'opera.
Come previsto dal D.lgs 277/91 l'impresa specializzata presentava un Piano Operativo di smaltimento alla ASL che lo approvava con alcune prescrizioni aggiuntive.

Gli sviluppi operativi

Il supplemento di progetto, così presentato, prevedeva, dal giorno precedente all'attraversamento del materiale amiantifero, una serie di nuove procedure operative così riassumibili:

- la presenza di personale della nuova ditta specializzata, in sostituzione/integrazione di quello normalmente addetto allo scavo, per il controllo e l'insaccamento progressivo dello smarino di scavo. Naturalmente questo personale nuovo, che operava sul materiale in uscita, era dotato delle abituali protezioni personali di chi operi su amianto, formato sul rischio specifico, sottoposto ai previsti protocolli di sorveglianza sanitaria ed alla certificazione di idoneità sanitaria;
- in corrispondenza della zona di uscita dai vagli del materiale, molto bagnato perchè la fresa lavorava ad umido, venivano ulteriormente aggiunti due sistemi di spruzzaggio di liquido incapsulante per amianto, diretti sul punto di uscita del materiale dai vagli;
- giornalmente si effettuavano 4 campionamenti ambientali, 2 in prossimità dei vagli (P1 e P2) e 2 all'esterno del cantiere (P3 e P3-filtro per SEM).

I campioni P1, P2 e P3 dei vari giorni erano analizzati giornalmente da un laboratorio privato specializzato con la tecnica della Microscopia Ottica in Contrasto di Fase (MOCF).
I campionamenti P3-filtro per SEM, invece, dal Laboratorio SEM del Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell'Università di Genova;

- una delle prescrizioni formulate dalla ASL era di ricevere i risultati analitici entro tempi molto brevi:

12 ore per la MOCF
24 per SEM.
Per ottenere questa tempestività, ma esaminare comunque un volume significativo di aria, si concordava di procedere con condizioni di prelievo leggermente modificate rispetto alle standard: 2 litri/min. per 240 minuti;

- in parallelo, per circa il 50% dei campionamenti, sono stati effettuati campionamenti anche da parte della U.O. PSAL e successive letture in MOCF del Laboratorio Amianto, per validazione dei risultati. Tali esiti confrontati, utilizzando i Limiti Fiduciari Inferiore e Superiore - LFI ed LFS - come da DM 6/9/94, sono sempre stati in buon accordo.

I risultati

Le analisi al SEM hanno rilevato valori inferiori rispetto alla microscopia ottica per l'attesa presenza di fibre vegetali.
Da queste ultime analisi è stato anche possibile rilevare, in alcuni campioni, l'efficacia dell'ulteriore sistema di abbattimento indotto dall'aspersione di incapsulante in prossimità della zona di uscita del materiale dai vagli, come visibile dall'ingrandimento della foto, in cui è evidente la "cattura" di una fibra da da parte di una goccia di fissativo.
La situazione ambientale, considerata con particolare riguardo ai risultati del SEM, si è mantenuta su livelli confrontabili con una situazione di inquinamento di fondo urbano anche grazie ad una interruzione dei lavori di 3 giorni, in corrispondenza di una percepibile crescita progressiva dell'inquinamento ambientale. Tale interruzione e alcuni episodi di pioggia nello stesso periodo hanno riportato la situazione a valori di inquinamento ambientale inferiori ed invertito il trend di crescita della concentrazione di fibre.

La gestione dei rifiuti

I rifiuti prodotti, il cosiddetto smarino, in uscita dalla vagliatura è stato diviso in due categorie:

- una grossolana (ciottoli di qualche centimetro di diametro)
- ed una fine (in pratica sabbia grossolana)

con la stabilizzazione della temperatura dell'acqua, è iniziata la pressurizzazione di ciascuna condotta fino alla pressione di collaudo idraulico pari a 1,5 volte la pressione massima di progetto.
Raggiunta la pressione di collaudo idraulico, è iniziata la fase di collaudo per una durata di 48 ore, registrando ininterrottamente i valori della pressione, della temperatura ambiente con strumenti Manotermografi e Bilance Idrostatiche.

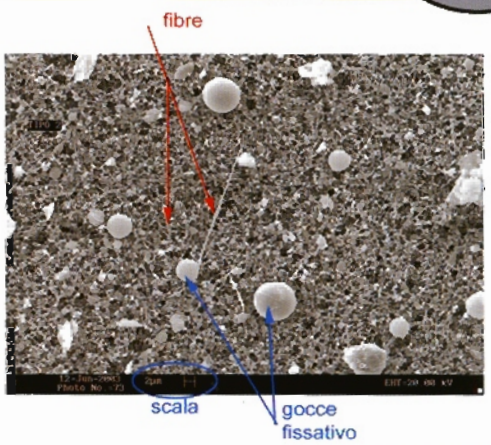
5.2.3 Svuotamento e asportazione dell'acqua residua

Al termine del Collaudo Idraulico con esito positivo, si è proceduto alla depressurizzazione delle condotte scaricando acqua dalle "Testate di Prova" poste alle due estremità, ed in seguito al loro svuotamento mediante successivi passaggi di "Pigs Bidirezionali", fino alla completa asportazione dell'acqua residua.

6. Conclusioni

L'esecuzione del progetto basato su soluzioni tecnicamente all'avanguardia, sia nel campo delle opere civili (microtunnel curvilineo) sia in quello delle strutture meccaniche (carelli di varo), ha consentito di posare un nuovo fascio di tubazioni in acciaio, per trasporto prodotti petroliferi, superando le enormi difficoltà morfologiche, urbanistiche ed ambientali che, in un contesto territoriale intensamente urbanizzato, si frapponevano alla razionalizzazione e alla modernizzazione delle strutture preesistenti.
Le tecnologie innovative utilizzate hanno consentito di azzerare i "Costi Sociali" solitamente legati alla realizzazione di importanti opere civili: infatti la normale attività del quartiere del ponente genovese si è svolta senza alcun ostacolo mentre, in profondità, veniva posata la nuova struttura di trasporto.
Questa realizzazione ha incontrato anche difficoltà geologiche (attraversamento di rocce contenenti fibre di amianto) evidenziatesi nella fase finale di preparazione del progetto esecutivo. Grazie alla collaborazione con gli Enti Territoriali preposti al controllo, si è messa a punto una metodologia di intervento in sicurezza, che potrebbe essere di riferimento per successive opere civili in ambiti geologicamente simili, considerata la "novità" della materia e la scarsità di riferimenti in letteratura.
Infine il progetto portato a compimento garantirà, attraverso l'assoluta affidabilità della struttura di trasporto in genere e delle nuove condotte in acciaio in particolare, un miglioramento non trascurabile nel sistema di trasporto petrolifero che si diparte dal Porto Petroli di Genova. ■

nella misura di circa 450 Big Bags di materiale fine e 150 di materiale grossolano.
Il materiale grossolano è stato analizzato mediante tecnica di "autocessione" come indicato dal DM 14/5/1996, effettuata da due laboratori diversi: Laboratorio SEM dell'ARPAL Ligure ed un Laboratorio privato extra-Regione.
I risultati, in discreto accordo, hanno qualificato il materiale come "speciale non pericoloso" permettendo di destinarlo al riempimento di cavità presenti in sito.
Le sabbie sono state anch'esse analizzate dai due Laboratori citati.
Per questa tipologia di materiale non esiste, a livello normativo, una definizione standardizzata; a seguito di metodiche analitiche diverse tra i laboratori, questa volta si è verificato minor accordo tra i risultati; dopo il dovuto approfondimento di questi aspetti, si sono considerati determinanti i risultati del Laboratorio privato, maggiormente cautelativi, che hanno portato i rifiuti ad essere classificati come "pericolosi" e smaltiti presso una discarica adeguata.
In ultimo restava il problema della acque reflue: il processo di vagliatura infatti era necessario per il riciclo del fluido (acqua additivata con bentonite).
A conclusione delle operazioni quest'acqua, certamente inquinata da fibre di amianto, veniva accumulata in alcuni serbatoti interrati dello stabilimento, per un totale di circa 300 metri cubi.
Alcuni mesi dopo la fine delle operazioni di scavo, è stato realizzato un impianto di filtrazione a candele, del tutto analogo a quelli utilizzati nei cantieri di rimozione di amianto friabile, per separare acqua e fanghi. L'impianto, inizialmente calibrato sperimentalmente misurando la concentrazione di fibre nell'acqua filtrata, ha dimostrato una buona efficienza di filtrazione.
L'acqua in uscita da tale impianto è stata scaricata in fognatura.
Periodicamente sono state ripetute le analisi (al SEM) per la verifica del mantenimento dell'efficacia, sempre con buoni risultati.
I fanghi depositati sul fondo, e le candele di filtrazione, sono in corso di smaltimento.



Elementi significativi

- L'individuazione e valutazione di una situazione di rischio potenziale derivante da lavorazioni su materiali contenenti fibre di amianto.
- L'attuazione di una serie di misure operative e di lavoro atte ad evitare che il rischio si trasformasse in esposizione di persone.
- Il monitoraggio della situazione ambientale realizzato con le tecniche più idonee ad una corretta misura.
- La validazione dei risultati ottenuti attraverso misure incrociate tra più Laboratori.
- La tempestività di tali controlli, in sincronia tra i Laboratori, per permettere correzioni operative "in corsa".
- La notevole sinergia realizzata tra tutti i soggetti coinvolti nelle operazioni di realizzazione e di controllo della situazione.

TRE COLLI S.p.A.

Sede legale e uff. amministrativi:
via Cornini Malpeli, 2 - Fidenza (PR)
Sede operativa: via Jutificio, 1 - Carrosio (AL)
Società fondata nel 1971, opera principalmente nelle seguenti attività di costruzione:
- condotte e impianti per oleodotti e gasdotti
- lavori civili e meccanici di manutenzione e servizi di pronto intervento su reti di oleodotti e gasdotti
- costruzione e montaggio strutture prefabbricate in cemento armato per edifici industriali, commerciali, sportivi e viabilità
- opere civili e di urbanizzazione.

Enereco S.C. - Engineering & Consulting

Sede principale: Via Divisione Carpazi, 14 (PU)
Fondata nel 1988, ENERECO ha maturato negli anni ampie ed approfondite esperienze nell'ingegneria multidisciplinare per l'industria dell'oil & gas.
Grazie a collaborazioni e positive esperienze con le maggiori aziende nazionali ed internazionali del settore, la società oggi è in grado di fornire attività di supervisione e consulenza, studi di fattibilità e di impatto ambientale, ingegneria per impianti petroliferi e petrolchimici, condotte, sistemi onshore e offshore, impianti di produzione energia, trattamento rifiuti e infrastrutture civili ed industriali.
L'integrazione di diverse professionalità, la flessibilità delle risorse produttive e il continuo aggiornamento dei sistemi informatici consentono ad ENERECO di partecipare con successo a sfide internazionali e di esportare le sue competenze e il suo modello organizzativo in paesi strategici quali Qatar, Nigeria e Kazakhstan, per mezzo di Società partecipate.

I.CO.P. S.p.A.

Sede principale: Via S. Pellico, 2 - Basiliano (UD)
L'impresa I.CO.P. SPA opera da oltre trent'anni nel settore delle costruzioni stradali, delle fondazioni e delle opere speciali; settori in cui, per restare competitivi attraverso una continua innovazione tecnologica, sono essenziali professionalità, esperienza ed impianti sempre all'avanguardia.
La I.CO.P. SPA è oggi in grado di fornire una serie completa di lavori specialistici in molteplici settori: esecuzione di pali, diaframmi, micropali, tiranti, colonne consolidate, palancole, in qualsiasi tipo di terreno e struttura, coprendo quindi tutta la gamma di opere speciali nel campo delle fondazioni.
Da una decina d'anni inoltre, la I.CO.P. SPA ha sviluppato un nuovo settore d'intervento per la realizzazione di microgallerie con la tecnica del microtunnelling, consentendole in breve di imporsi per professionalità e sviluppo tecnologico a livello internazionale.

7. Bibliografia

- Lazzarini U., Zannier S., Baak N., Montecalvo S., Gallingani G., Contiero I., "Attraversamenti da Record con Microtunnelling" - Estratto da Quarry & Construction gennaio 2000;
- Matteucci M., Soia N., Tomassini M., Morgante S., Olcese A., "A Microtunnel in a Complex Geological Formation" - Conference Papers 14th Int NO-DIG 1997 pag 67 -78;
- Vescovo C., Lazzarini U., "La Costruzione di Condotte in Acciaio nel Segno del Rispetto Ambientale. le Tecnologie Trenchless" - Snam Rete Gas - 2002.

Ringraziamenti

Si ringraziano tutti coloro che, a vario titolo, hanno partecipato all'ideazione, alla progettazione e alla realizzazione dell'opera, appartenenti alle seguenti Aziende: Praoil Oleodotti Italiani, Aquater, Simeco, Enereco, Icop, Tre Colli, Saim, ASL3 Liguria, Snam Rete Gas, Istituto Italiano della Saldatura, Ecoge, Foster&Wheeler Env. Italia.
Va menzionato tra gli altri il Sig. Simone Montecalvo, capocantiere della Tre Colli, che ha assiduamente curato gli aspetti costruttivi dell'intero progetto.
Un particolare ricordo va a Rino Sampietro che fu tra i primi a proporre questa soluzione per "togliere il collo di bottiglia al trasporto petrolifero da Genova verso la Pianura Padana".

Coordinamento di Alessandro Olcese

"Quarry and Construction" ringrazia
Enereco S.C., Icop Spa e Tre Colli Spa per l'aiuto fornito
alla realizzazione di questo supplemento

EDIZIONI PEI s.r.l.
Strada Naviglio Alto 48 - 43100 Parma Tel. 0521 771818 - Fax 0521 773572 • homepage: www.edizionipei.it - e-mail: info@edizionipei.it