

## Paper n° 31

**INTERCONNESSIONE DEGLI SCHEMI IDRAULICI DEI TORRENTI SAN NICOLA E MACCHIONI NELL'AMBITO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE IRRIGUA DEL FONDOVALLE UFITA**

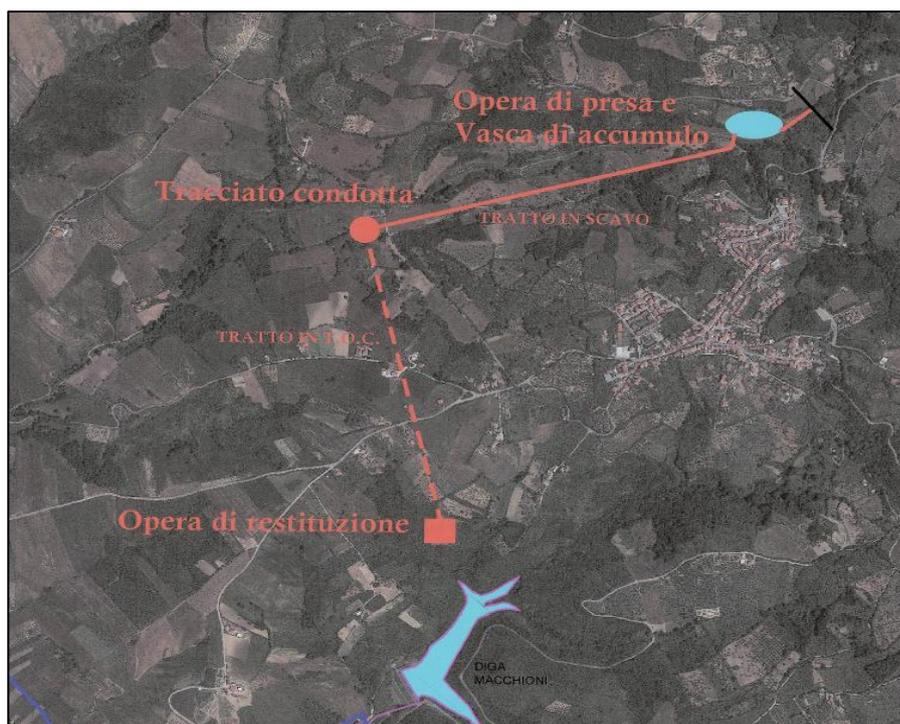
\*\*\*

**OPERE DI PRESA DAL TORRENTE SAN NICOLA E COLLETTAMENTO CON TUBAZIONE IN GHISA DN300 PER UNA LUNGHEZZA DI 1.234 MT ESEGUITA CON TECNICA TOC**

Dott. Geol. Marcello Viti  
*Trenchless Director Manager*

**1. INTRODUZIONE****Descrizione generale del lavoro**

Il lavoro generale si proponeva l'interconnessione degli schemi idraulici dei torrenti "San Nicola", nella parte a Nord di Figura 1, e "Macchioni" generante l'invaso "Diga Macchioni", a Sud della Figura 1, nell'ambito dell'infrastrutturazione irrigua del Fondovalle Ufita. L'obiettivo era quello di approvvigionare una quantità fino a 975.000 mc (volume di progetto) di acqua disponibile ad uso irriguo da stivare nell'invaso artificiale, ambendo così alla completa riconversione del fabbisogno idrico attualmente emunto da falda profonda, a prelievo superficiale da fiume, con conseguente annullamento dei costi di prelievo (energia per pompe di emungimento, gestione dei pozzi ecc.).

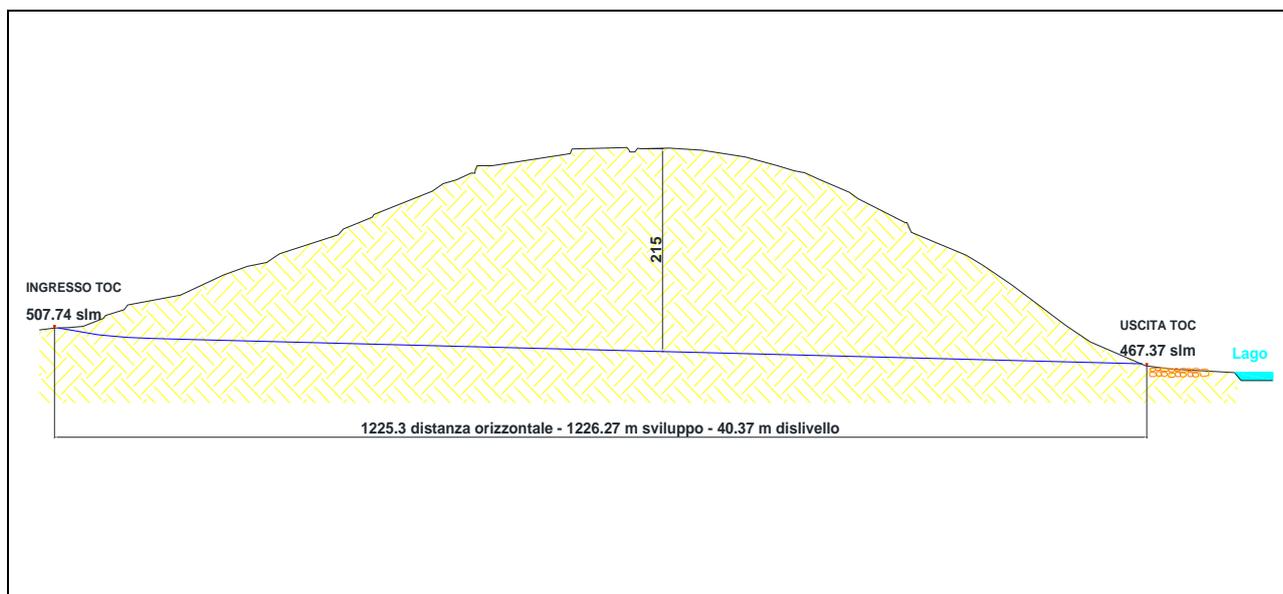


**Figura 1: Tracciato dell'opera su ortofoto.**

Per ottenere questo scopo occorre arrivare a disporre l'attingimento di una parte delle maggiori portate del torrente "San Nicola", corpo idrico che in corrispondenza della sezione di presa è sotteso da un bacino con estensione tre volte maggiore rispetto a quello del torrente "Macchioni" che alimenta il bacino dell'omonima diga.

Nello specifico l'intervento si componeva di una opera di presa a gravità sul detto torrente "San Nicola", quindi una vasca di accumulo di 41.000 mc di progetto di nuova costruzione ed infine una condotta di collettamento per il trasporto delle acque nel bacino della diga Macchioni. Sono stati previsti due tratti di condotta: il primo, della lunghezza di 1265 m in tubo PEAD DN 355 posato in trincea ed il secondo, della lunghezza di 1230 m circa, in ghisa sferoidale DN 300, posato con la tecnologia della Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.). L'intervento ha interessato interamente l'agro del Comune di Castel Baronia, in provincia di Avellino.

In questo documento ci occuperemo esclusivamente del tratto posto in opera con la tecnologia trenchless della TOC, di 1230 m circa. Lo scarico dell'acqua in arrivo dalla vasca di accumulo e dal Vallone San Nicola avviene per gravità quindi il tratto in TOC quindi la posa doveva essere realizzata in andamento monotono, curvilineo per i primi 50 metri circa rettilineo per i restanti metri, senza sifoni o contropendenze per consentire lo scarico a gravità verso la diga Macchioni evitando possibili condizioni di ristagno come riportato col tratto blu in Figura 2.



**Figura 2: Sezione del tratto in TOC**

## 2. STUDIO GEOLOGICO DI DETTAGLIO

Una corretta caratterizzazione geologica è fondamentale per una progettazione esecutiva di una trivellazione orizzontale controllata, lo è in maniera particolare in una situazione come questa dove la notevole lunghezza, la necessità di una traiettoria precisa e la criticità derivante dalla particolare tubazione da posare rappresentano aspetti non standard.

A questo scopo è stata eseguita una campagna di sondaggi dedicati. Per valutare la TOC in oggetto sono stati realizzati 5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo: S8, S9, S10, S11 ed S12 il cui posizionamento è riportato in Figura 5 .

I 5 carotaggi sono stati realizzati a notevole profondità ed eseguiti con tecnica a distruzione di nucleo tranne che per i 5 metri finali, posizionati a cavallo del tracciato di perforazione, dove si è passati al carotaggio continuo ed al recupero dei campioni indisturbati come riportato in Figura 3. Anche nei tratti di sondaggio a distruzione di nucleo è stato sempre controllato il materiale di ritorno ed è stata sempre controllata la resistenza all'avanzamento della perforazione in modo da poter avere un quadro seppur indicativo, dei cambi di colore, di granulometria e di consistenza dei terreni in avanzamento.

Al passaggio tra i tratti a distruzione e quelli a carotaggio sono state eseguite anche prove SPT che in tutti i casi hanno restituito valori di SPT compresi tra 18 e 20.

Su ogni campione prelevato è stata eseguita analisi di laboratorio utili ad identificare le curve granulometriche ed i parametri di consistenza e plasticità dei materiali coesivi prelevati (come è possibile valutare dal report delle curve

granulometriche dei 5 campioni, Figura 4, i terreni sono essenzialmente costituiti da granulometrie molto fini con tenori in argilla compresi tra 40 e 80%).

Sondaggio	Profondità investigata m.	Quota piano campagna m. s.l.m.	Quota fondo foro m. s.l.m.	Campione	Profondità prelievo m.	Classificazione granulometrica
ST 8	0,0 – 51,5	541,83	490,33	S8C1	46,5 – 47,0	Limo con argilla
ST 9	0,0 – 104,5	593,66	489,16	S9C1	104,0 – 104,5	Limo con argilla sabbioso
ST 10	0,0 – 118,5	603,05	484,55	S10C1	117,7 – 118,2	Argilla limosa debolmente sabbiosa
ST 11	0,0 – 84,5	563,13	478,63	S11C1	84,0 – 84,5	Argilla con limo debolmente sabbiosa
ST 12	0,0 – 34,5	508,01	473,51	S12C1	34,0 – 34,5	Limo con argilla debolmente sabbioso

Figura 3: Caratteristiche dei sondaggi verticali eseguiti e campioni indisturbati prelevati.

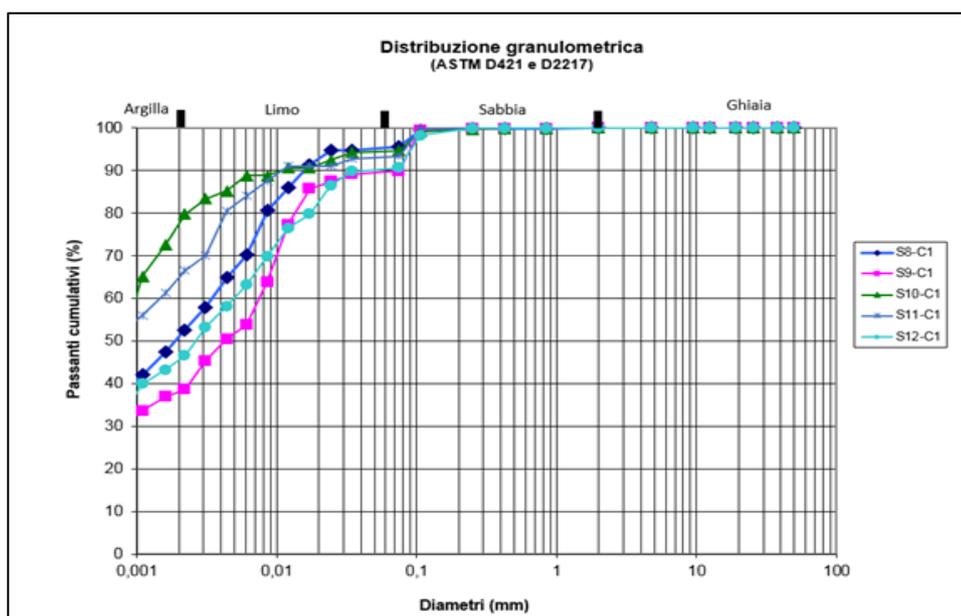
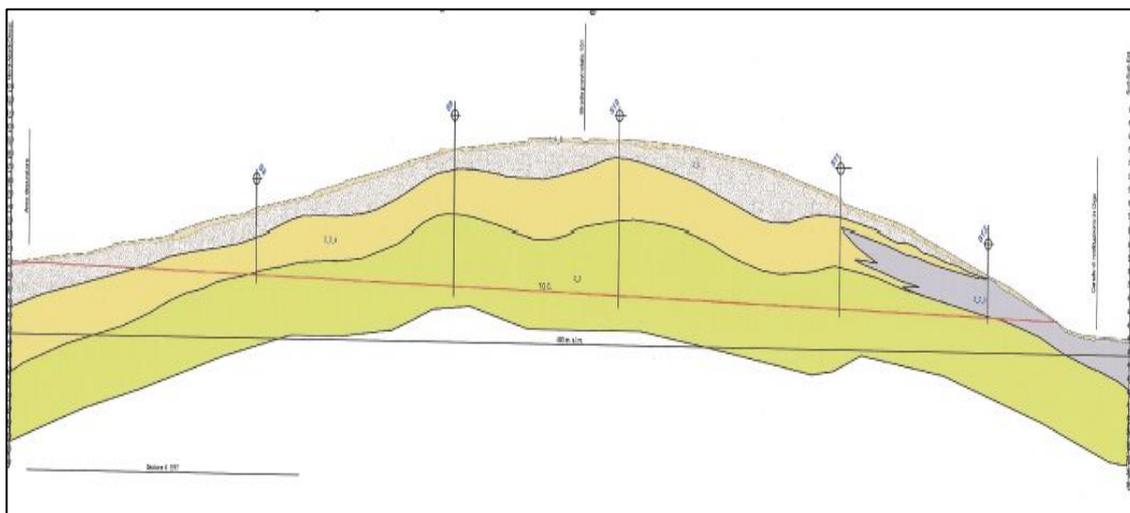


Figura 4: Curve granulometriche di campioni presi da ciascun sondaggio.

Le osservazioni annotate durante le fasi di sondaggio eseguite con perforazione a distruzione di nucleo unite ai campioni indisturbati prelevati, ci hanno dato la possibilità di ricostruire una sezione litostratigrafica come riportata in Figura 5. Essenzialmente le parti più superficiali sono risultate costituite da una porzione sabbio limosa in superficie poggiate su uno strato più limoso con presenza di argilla tendente a diventare sempre più predominante all'aumentare della profondità fino ad arrivare allo strato più profondo costituito da argilla predominante da dura a molto dura (SPT come riportato sopra con valori tra 18 e 20) con livelli a consistenza marnosa quasi litoide. In Figura 5 si riporta quanto ricostruito dai sondaggi eseguiti, il posizionamento e le profondità raggiunte dalle 5 perforazioni ed in rosso il tracciato della TOC.



**Figura 5: Tracciato di perforazione su sezione litostratigrafica ricostruita.**

### **3. ANALISI DELLE CRITICITA' DELL'INTERVENTO**

La realizzazione di questa TOC presentava una serie di criticità rilevanti legate ad aspetti differenti:

1. Lunghezza rilevante pari a 1.226 metri con ricoprimenti sul tracciato anche superiori ai 200 m
2. Necessità di esecuzione della traiettoria estremamente accurata con pendenza monotona costante
3. Aree di cantiere estremamente limitate soprattutto lato Lago Macchioni con via di accesso praticamente inesistente non raggiungibile con mezzi su gomma e prossima della riva del lago e senza spazi sufficienti alla realizzazione della catenaria di varo del tubo che normalmente viene pre-assemblata fuori terra prima del varo
4. Dislivello tra punto di entrata e di uscita con reflimento dei fanghi di perforazione e seguente svuotamento del foro
5. Bassa resistenza allo sforzo in trazione del “giunto a bicchiere” delle tubazioni in ghisa da posare

La conoscenza approfondita delle caratteristiche geologiche del sito e l'esperienza ormai maturata dalla ANESE che può annoverare oltre 30 TOC eseguite con lunghezze oltre i 1000 m di cui 8 con lunghezza superiore ai 2000 m, hanno reso possibile “l'accettazione della sfida” proposta dal cliente.

Le criticità dalla nr.1 alla 4 in qualche modo già erano state incontrate in altri contesti ed in qualche modo si aveva esperienza sulle procedure da adottare. La vera novità nel progetto era rappresentata dalla criticità nr.5: riuscire a posare in trazione un tubo di peso complessivo pari a 107,5 Ton con resistenza massima del giunto a bicchiere di unione tra due tubazioni contigue pari a 400 kN (40,8 Ton) oltretutto in un foro “vuoto” quindi senza poter contare sulla spinta di galleggiamento quindi con deminuzione del “peso transitorio” che i fanghi di perforazione potevano produrre.

Ci si è focalizzati su questo aspetto e si è partiti dalla valutazione delle stime di tiro atteso in modo da poter capire l'entità della criticità e di trovare un modus operandi per minimizzarla.

### **4. STIMA DEL TIRO ATTESO**

Andremo ora a produrre una stima del tiro atteso durante il varo della tubazione considerando prima il caso del varo con il foro realizzato vuoto da fluidi. La traiettoria altimetrica può essere rappresentata come segue, procedendo dall'uscita perforazione verso l'entrata con denominazione dei tratti rettilinei (Lr) e curvi (Lc) come riportati in Figura 6:

- ~1129.28 m rettilinei a  $-1.55^\circ$  di pendenza (tratto Lr 2)
- ~67.5 m in curva elastica con 600 m di raggio di curvatura, da  $-1.55^\circ$  a  $-8^\circ$  (tratto Lc 2)
- ~ 30 m rettilinei a  $-8^\circ$  (tratto Lr 3)

La distanza orizzontale nel piano raggiunge gli 1223.8 m. Lo sviluppo totale planoaltimetrico è di 1226.7. Il profilo di perforazione è monotono con un dislivello tra ingresso ed uscita di 38.5 m.

Nel paragrafo che segue determineremo la forza di tiro necessaria per il varo della tubazione per l'attraversamento in oggetto. Allo scopo ci sono diversi metodi che considerano vari fattori. Noi ci baseremo su quel metodo che tiene in conto

dell'attrito del tubo sul foro e con il fango di perforazione durante il tiro (se presente), il cosiddetto "AGA - Method". Il tiro totale viene calcolato come sommatoria dei contributi dai tratti retti e curvi. Il carico assiale totale deriva dalla somma degli attriti tra tubo e terreno, dall'attrito dinamico con il fango viscoso e anche dalla componente della curvatura della tubazione. Per quest'ultimo caso lo schema statico è quello della trave su due appoggi.

$$T = \text{fric} + \text{drag} \pm W_s \cdot L_x \cdot \text{sen}(\alpha_x) \quad [1]$$

$$\text{fric} = W_s \cdot L_x \cdot \text{cos}(\alpha_x) \cdot m \quad [2]$$

$$\text{drag} = p \cdot D \cdot L_x \cdot m_{\text{mud}} \quad [3]$$

$$F_a = m \cdot 8 \cdot E \cdot J / R \cdot L_{cx} \quad [4]$$

Dove:

- T = tensione assiale da un settore rettilineo di tubo
- F<sub>a</sub> = la tensione assiale derivate da un tratto curvo di tubo
- W<sub>s</sub> = peso effettivo del tubo
- L<sub>x</sub> = lunghezza del tratto rettilineo
- α<sub>x</sub> = angolo della sezione rettilinea con piano
- D = diametro esterno
- L<sub>cx</sub> = lunghezza del tratto curvo
- R<sub>c</sub> = raggio di curvatura
- E = Young modulus
- m<sub>mud</sub> = coefficiente di attrito dinamico del tubo nel fango di perforazione
- m = coefficiente di attrito medio tra tubo e terreno

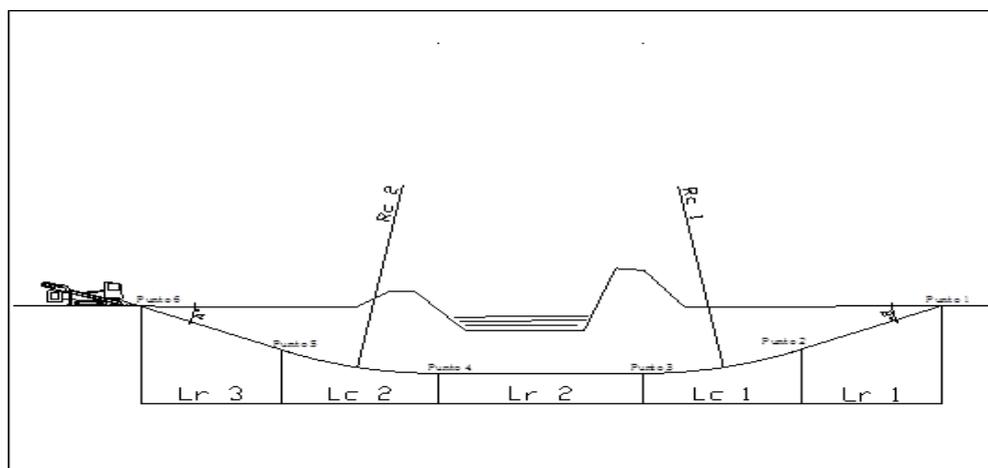
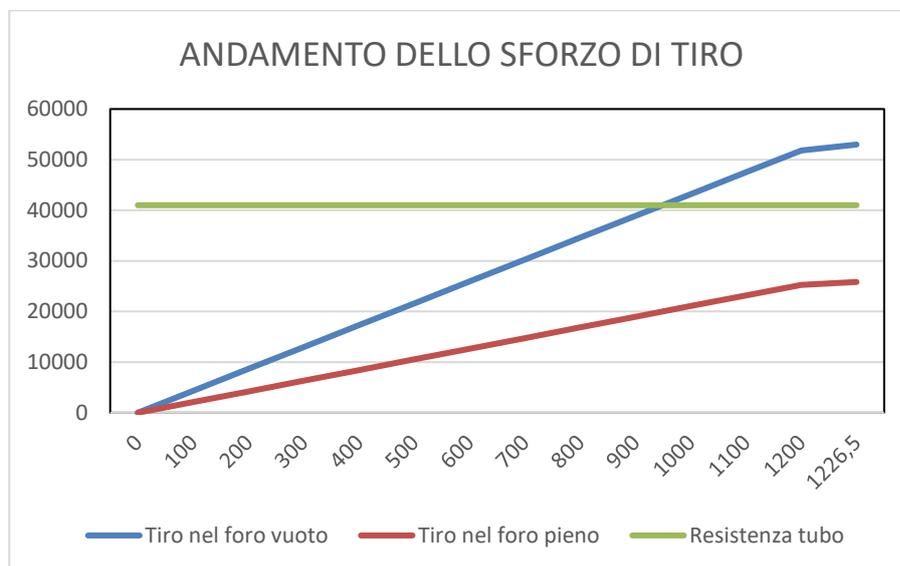


Figura 2: Schema di profilo di perforazione standard secondo AGA - Method.

Nella tabella 1 sono riportati le stime di tiro attese nei due casi di varo con foro vuoto e riempito di fluidi di perforazione.

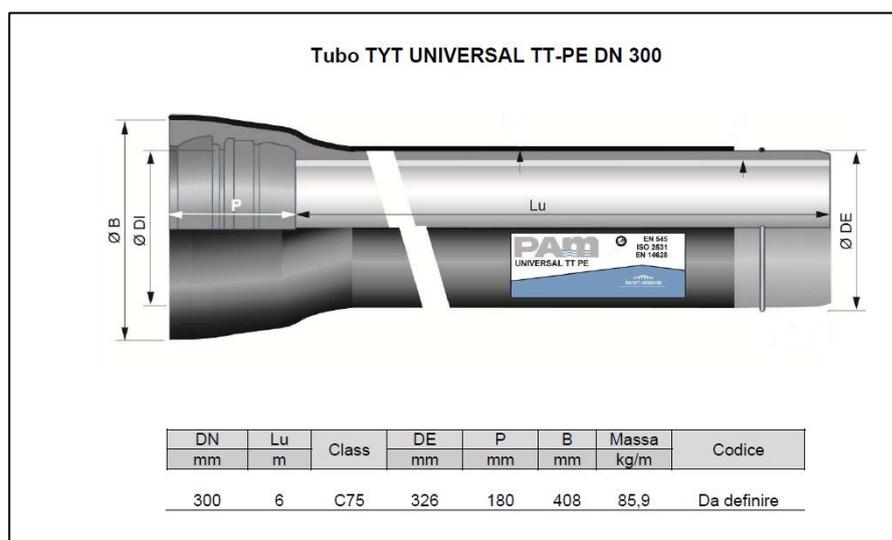
Tabella 1. Stime di tiro calcolate con AGA - Method

Tubo Universal TT-PE DN 300			Foro vuoto	Foro pieno
#	Straight/Curved	Length	Stima tiro	Stima tiro
	Id. tratto	m	Kg	Kg
1	Lr 1 – Lc 1	0	0	0
2	Lr 3	30	1051	624
3	Lc 2	67	2904	3014
4	Lr 2	1129	52983	25834
<b>Sforzo di tiro atteso</b>			<b>52983 Kg</b>	<b>25834 Kg</b>



**Figura 7: Tavola di confronto degli sforzi di tiro lunghezza/kg**

In maniera immediata si è potuto osservare che la stima dello sforzo di varo nell'ipotesi di procedere mantenendo il foro vuoto non era assolutamente compatibile con il valore di resistenza massima del giunto della tubazione pari a circa 41 Ton; d'altro canto riuscire a mantenere il foro pieno di fluido generava una situazione teorica ampiamente soddisfacente e cautelativa per la resistenza del giunto (peso della tubazione da valutare per le resistenze di attrito in caso di foro vuoto da fluidi è, come riportato in Figura 8, pari a +85,9 kg/m mentre il "peso transitorio" del tubo immerso nel fluido di perforazione con densità circa 1,22 è pari a -15 kg/m quindi con spinta verso l'alto nel foro).



**Figura 8: Caratteristiche della tubazione posata**

Appurata la necessità di mantenere il foro pieno di fluidi in fase di varo si è studiato un sistema che permettesse tale condizione introducendo un sistema con "preventer" da inserire nell'ultima parte del foro, nella porzione a quota inferiore tale da permettere il passaggio delle aste di perforazione per il traino del tubo che quindi necessariamente è stato posizionato nella parte alta, impedendo però la fuoriuscita dei fluidi. Questo argomento sarà trattato nel prossimo capitolo dove verranno descritte tutte le procedure di perforazione messe in atto che hanno permesso il varo della tubazione risolvendo tutte le criticità ripostate nel precedente capitolo 3.

## 5. PROCEDURE OPERATIVE DI PERFORAZIONE

Lo studio geologico realizzato ha fornito informazioni relative ai litotipi presenti caratterizzati essenzialmente da argille marnose ha richiesto l'utilizzo di sistemi di perforazione "da roccia" quindi turbina a fanghi (mud motor) (vedi Figura 10) per il foro pilota e alesatori da roccia tenera quali "hole opener" del tipo di quelli riportati in figura 9.



Figura 9: Alesatori del tipo "Hole opener"



Figura 10: Turbina a fanghi (Mud motor)

### 5.1 FORO PILOTA

Considerando la precisione di traiettoria richiesta e le grandi coperture presenti lungo il tracciato si è utilizzato un sistema di guida di tipo MGS (Magnetics Ground System) del tipo Paratrack 2 in abbinamento ad un modulo giroscopico che ha permesso di avere accuratezza nei valori di direzionalità anche nelle aree dove la copertura era notevolmente superiore ai 100 metri, profondità che rappresenta una sorta di limite teorico nell'utilizzo del "sistema magnetico puro". La precisione strumentale del sistema di guida utilizzato, Paratrack2 e Gyro System è la seguente:

- Inclinazione: +/- 0.15°

- Azimut: +/- 0.4°
- Orientamento testa perforazione: +/- 0.5°

Questa procedura ha permesso di risolvere la criticità 2 riportata al capitolo 3 ed ha assicurato la precisione sull'esecuzione della traiettoria monotona richiesta.

Il foro pilota è stato fermato a circa 40 metri dall'uscita quindi è stato lasciato un diaframma in modo da permettere che le successive fasi di alesatura, che come vedremo sono state eseguite con una particolare "tecnica a spinta", veicolassero l'intero quantitativo dei fanghi di risulta carica del cutting di scavo, a bocca foro posizionato nell'area cantiere principale posizionata nella parte alta dell'intervento visto il diaframma di chiusura lasciato nella parte bassa. Questo ha permesso di evitare il rischio che dei fanghi potessero defluire in maniera accidentale nel lago ed ha soprattutto permesso il riutilizzo dei fanghi dopo vagliatura. L'impossibilità di accesso con mezzi gommati lato uscita, infatti, non rendeva possibile il prelievo dei fanghi ed il loro trasporto nell'area cantiere di monte per essere ripuliti e reimpiegati.

## 5.2 ALESAGGIO

Come accennato pocanzi le fasi di alesatura sono state eseguite con un alesatore di tipo Hole opener DN550 non con andamento a trazione, come tipico nelle lavorazioni in TOC ma con andamento a spinta quindi partendo dal Rig di perforazione spingendo verso l'uscita perforazione.

Il processo di alesatura che ha richiesto circa 15 giorni di lavoro, si è fermato sempre in corrispondenza del punto dove precedentemente si era interrotto il foro pilota.

A questo punto, prima di procedere e considerando la necessità di mantenere il foro realizzato pieno di fluidi per consentire la fase di varo del tubo in quella condizione si è proceduto alla messa in opera di una tubazione casing in acciaio DN650 spinta dal punto previsto per l'uscita della perforazione verso il foro già alesato al diametro 550 mm.

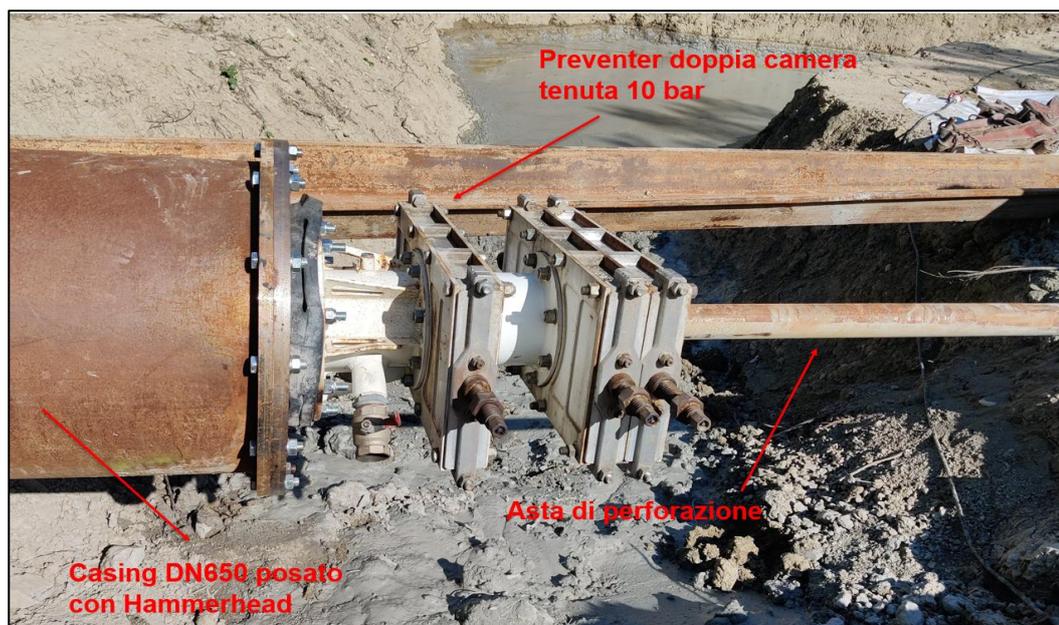
La posa del tubo casing è stata realizzata con tecnologia Hammerhead (Figura 11) quindi con infissione a percussione e sfruttando la rigidità del tubo casing con spessore 16 mm per il mantenimento della traiettoria rettilinea desiderata collimata a quella realizzata lato opposto con la perforazione in TOC.



**Figura 11: Sistema Hammerhead per infissione del tubo in acciaio**

Al fine di permettere la terminazione della perforazione e quindi del foro senza la fuoriuscita dei fluidi di perforazione quindi di creare la condizione di procedere al varo della tubazione con il foro pieno, nella parte terminale del tubo casing si è posizionato un "preventer" che è stato fatto realizzare appositamente per questo intervento. Il preventer è un sistema di giunti muniti di apposite guarnizioni in gomma con tenuta a pressione (in questo caso quello realizzato aveva una tenuta nominale fino a 10 bar quindi ampiamente cautelativo al contenimento dei circa 4,8 bar derivanti dal carico dei fluidi e dei 3 bar aggiuntivi generati dal flusso dei fluidi all'interno del foro) che ha permesso il passaggio delle aste di perforazione utilizzate per il tiro della tubazione impedendo la fuoriuscita del fluido (Figura 12).

Dopo aver assemblato il preventer si è terminato l'alesaggio del foro al diametro 550 mm arrivando in battuta al preventer stesso quindi si è completata la realizzazione dell'intero foro mantenendolo pieno dei fluidi di perforazione. Questo intervento ci ha permesso di risolvere le criticità 3, 4 e 5 riportate al capitolo 3.



**Figura 12: Casing con applicazione del preventer**

### **5.3 VARO DELLA TUBAZIONE**

Il montaggio del casing e del preventer nella parte bassa ha richiesto che il tiro della tubazione avvenisse dal cantiere in alto verso la postazione in basso. Ad ogni modo si sarebbe dovuto procedere nella stessa maniera anche a causa dell'elevata difficoltà di trasportare le tubazioni in prossimità del lago ed anche per i ridotti spazi di cantiere disponibili che sono stati realizzati con un terrazzamento sul versante acclive che si immerge nel lago stesso.

Per realizzare questa fase è stato messo in campo un altro rig di perforazione semovente su cingolo che è riuscito a raggiungere l'area di cantiere in basso ed è stato utilizzato per il tiro della tubazione.

La tubazione è stata collegata un tubo alla volta in quanto anche nell'area di cantiere di monte, nonostante gli spazi a disposizione fossero maggiori, non c'era ugualmente la possibilità di pre-assemblare l'intera stringa di tubo in maniera preventiva al varo come normalmente è richiesto nella realizzazione delle TOC (vedi figura 13).

Particolare attenzione si è messa nel montaggio delle tubazioni in quanto è fondamentale che sia realizzata nella maniera indicata dal costruttore al fine del rispetto della tenuta a pressione del giunto. Il varo è durato circa 32 ore considerando che ogni singolo montaggio della tubazione, di lunghezza cadauna di 6 m, ha richiesto una media di 7 minuti ed lo sforzo massimo di tiro registrato è stato pari a 23 Ton quindi circa il 30% inferiore del valore computato ed in ogni caso assolutamente cautelativo rispetto al valore nominale di tenuta del giunto pari a 41 Ton.

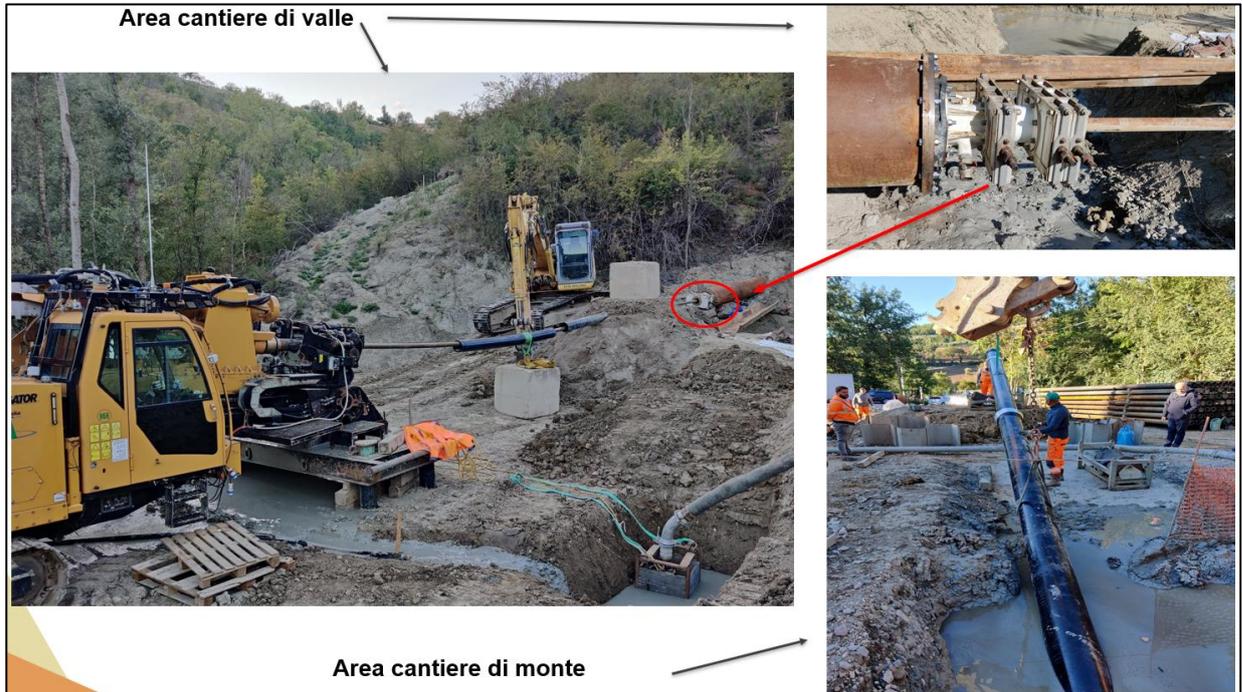
## **6. CONCLUSIONI**

Il progetto TOC è stato ultimato con successo in complessivi 40 giorni lavorativi.

Il cantiere ha visto impiegati nr. 9 persone operative oltre ad un tecnico direttore di cantiere ed un ingegnere di guida che ha curato l'intera fase di realizzazione del foro pilota.

Sia il collaudo sia la videospesione realizzata per il controllo della parte interna del tubo e per il controllo della livelletta di progetto ha sortito esito positivo con grossa soddisfazione del cliente.

Spingere la tecnologia verso punti sempre più distanti è sempre una sfida interessante ma ogni sfida ha sempre bisogno di una attenta progettazione, una valutazione dei rischi, personale e tecnici preparati e tanta, tanta sicurezza sui luoghi di lavoro.



**Figura 13: Fase di varo della tubazione**



**Figura 14: Porzioni del cantiere di monte con Rig principale e Impianto di pulizia fanghi**