

NORME TECNICHE UNI SULLA TECNOLOGIA DI REALIZZAZIONE DELLE **INFRASTRUTTURE INTERRATE A BASSO IMPATTO AMBIENTALE**

**Sistemi di perforazione guidata:
Trivellazione Orizzontale
Controllata (TOC)**

CESARE BIANCHI
SNAM S.P.A.

07 ottobre 2026

Geofluid - Piacenza



NORMA ITALIANA

UNI 11990-3

FEBBRAIO 2026

Tecnologia di realizzazione delle infrastrutture interraste a basso impatto ambientale – Parte 3: Sistemi di perforazione guidata: Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC)

Low environmental impact underground infrastructure technology – Part 3: Directional Drilling Systems: Controlled Horizontal Drilling (CHD)

TESTO ITALIANO

La presente norma sostituisce la UNI/PdR 26.3:2017.

ICS 93.080.10; 93.020



© Copyright UNI - Tutti i diritti riservati

PRESENTAZIONE DELLA NORMA

La Norma 11990-3 è il proseguimento del lavoro iniziato con la prassi di riferimento **UNIPdR 26.2017**.

E' il risultato del lavoro di un gruppo multidisciplinare composto da **progettisti, committenti, imprese esecutrici e produttori** dedicato da anni alla diffusione della tecnologia di posa TOC.

La condivisione **di competenze ed esigenze diverse** ha permesso di affrontare il tema da prospettive complementari e di elaborare un riferimento tecnico completo e fruibile a tutti i soggetti interessati.

Le TOC **interessano**: telecomunicazioni, reti trasporto di energia (gas e energia elettrica), teleriscaldamento, reti di drenaggio delle acque e acquedotti; infrastrutture realizzate tramite cavi, tubi rigidi e flessibili.

OBIETTIVI E CONTENUTI DELLA NORMA

Per i **progettisti** è stata l'occasione per fornire criteri chiari per la progettazione di una TOC.

Per le **stazioni appaltanti/Committenti** l'obiettivo era avere uno standard di verifica che li supportasse nell'affidamento e nella gestione dei lavori.

Per i **costruttori e produttori** uno strumento utile per scegliere la soluzione costruttiva più adatta e per uniformare metodi e criteri di verifica e controllo della qualità del lavoro.

Il documento è articolato nei seguenti argomenti:

- 1. STUDI E INDAGINI PRELIMINARI** per la scelta della tecnologia di posa più idonea
- 2. CRITERI PROGETTUALI E REQUISITI MINIMI**
- 3. CARATTERISTICHE DELLE TUBAZIONI IMPIEGATE**
- 4. DESCRIZIONE DELLE FASI REALIZZATIVE DELLA TECNOLOGIA**
- 5. ASPETTI LEGATI AD AMBIENTE E SICUREZZA**

1. STUDI E INDAGINI PRELIMINARI

STUDI E INDAGINI PRELIMINARI

Finalità

- Devono fornire le basi per lo **sviluppo della progettazione** (PFTE e PE), la **valutazione dei costi** e dei **tempi di realizzazione** dell'opera.



La norma UNI 11990-3 dà indicazioni sui contenuti del **Piano di Indagine Preliminare** specifici per una TOC:

- rilievo topografico
- caratterizzazione geologico-geotecnica del sottosuolo;
- mappatura del sottosuolo per l'individuazione di oggetti interrati esistenti;
- Parametri ambientali
- Indagini Archeologiche,
- Indagini per l'individuazione di ordigni bellici.

STUDI E INDAGINI PRELIMINARI

Topografia

- Devono essere rilevate le aree di entrate e di uscita della trivellazione per definire il posizionamento delle attrezzature, gli accessi, ecc. Deve essere inoltre rilevato il profilo topografico a cavallo del profilo di trivellazione e lungo la colonna di varo

Caratterizzazione geologica-geotecnica del terreno

- Le indagini, dirette e indirette, in situ e in laboratorio, devono permettere la ricostruzione stratigrafica dei terreni attraversati, la definizione del livello di falda e la determinazione dei parametri geotecnici e idrologici
- Importante individuare terreni critici (sabbie sciolte, limi, ghiaie, rocce fratturate, faglie) discontinuità e anomalie.

TIPO DI INDAGINE	VARIE				INFORMAZIONI GEOTECNICHE										CONDIZIONI DI TERRENO								
	Tipo di terreno		Stratigrafia	Sottoservizi, anomalie terreno	Quota piezometrica	Pressione idrostatica (U)	Angolo di attrito (ϕ)	Re. Taglio non drenata (S_u)	Densità relativa (D_r)	Compressibilità (m_v , C_v)	Consolidazione (C_c , C_u)	Coefficiente di Permeabilità (k)	Modulo di taglio e di Young (G , E)	Storzo orizzontale in sito (K_0)	Storzo stato tensionale (OCR)	Curva sforzo deformazione	Roccia dura	Roccia tenera, molle, etc.	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	Torba - Terre Organiche
Scissometrica (FV)	C	C	*	*	*	*	A	*	*	*	*	*	C	B	B	*	*	*	*	*	B	A	B
Dilatometrica (DMT)	B	A	*	*	*	B	B	B	C	B	B	B	B	B	B	C	*	C	*	A	A	A	A
Penetrometrica																							
statica meccanica	B	A	*	*	*	B	C	B	C	*	*	C	C	C	*	*	C	*	A	A	A	A	A
elettrica (CPT)	B	A	*	*	*	B	C	B	C	*	*	B	C	C	*	*	C	*	A	A	A	A	A
piezometro (CPTU)	A	A	*	*	*	A	B	B	B	C	A	B	B	C	B	C	*	C	*	A	A	A	A
piezometro sismico (SCPTU)	A	A	*	*	*	A	B	B	B	C	A	A	B	B	B	B	*	C	*	A	A	A	A
dinamica (OP)	C	B	*	*	*	C	C	B	*	*	*	C	*	*	C	*	C	*	B	A	B	B	B
standard Penetr. Test (SPT)	A	B	*	*	*	B	C	B	*	*	*	B	*	C	*	*	C	B	A	B	C	C	
Pressiometrica																							
con preforo (MPM)	B	B	*	*	*	C	B	C	C	C	*	A	C	C	C	A	A	B	B	B	A	B	
con autoperforante (SBP)	B	B	*	*	*	B	B	B	B	C	A	B	A	A	A	A	*	C	*	B	A	A	A
Carico su piastra																							
tradizionale (PLT)	C	C	*	*	*	C	B	B	B	C	C	A	C	B	B	B	A	B	B	A	A	A	A
ad elica (SPLT)	C	C	*	*	*	C	B	C	B	C	C	A	C	B	C	*	*	*	A	A	A	A	A
Cella di pressione totale	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	B	B	*	*	*	*	*	C	A	A	
Fratturazione idraulica	*	*	*	*	*	A	*	*	*	*	C	C	*	B	B	*	B	B	C	C	B	A	C
Sismica																							
a rifrazione	C	B	C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	A	A	A	A	A	A	A
a riflessione	C	B	B	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	A	A	A	A	A	A	A
cross hole, down hole, etc.	C	B	B	*	*	*	*	C	*	*	*	A	C	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A
Geoelettrica	C	B	C	B	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	A	A	A	A	A	A	A
Georadar																							
di superficie	C	B	A	B	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	A	A	A	A	A	B	A
in foro	C	A	A	A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	A	A	A	A	A	B	A
Sondi, a carotaggio continuo	A	A	A	A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	A	A	A	A	A	A	A
Misure piezometriche	*	*	*	A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	A	A	A	A	A	A	A
Prove di pompaggio	*	*	*	A	*	*	*	*	*	*	A	*	*	*	*	*	A	A	A	A	B	C	B
Prove di laboratorio	A	*	*	*	*	C	A	A	A	A	A	B	A	*	B	A	A	B	B	A	A	A	A
Legenda																							
A:	Elevata applicabilità.																						
B:	Moderata applicabilità.																						
C:	Limitata applicabilità.																						
*:	Nessuna applicabilità.																						

Legenda
 A: Elevata applicabilità.
 B: Moderata applicabilità.
 C: Limitata applicabilità.
 *: Nessuna applicabilità.

STUDI E INDAGINI PRELIMINARI

Mappature dei sottoservizi

- Al fine di evitare danneggiamenti delle infrastrutture sotterranee è necessario richiedere ai gestori shape file o cartacei delle infrastrutture. Se non disponibili indagini georadar o saggi puntuali

Parametri ambientali

- Caratterizzazione ambientale ante-operam per valutare e mitigare possibili fenomeni di inquinamento-contaminazione dei luoghi
- Individuazione di siti per le TRS

Indagini archeologiche

- Qualora l'opera ricada in aree di potenziale archeologico è necessaria una verifica preventiva, in caso di interferenza deve essere redatta relazione archeologica
- Il Sovrintendente può richiedere dei saggi prima dell'inizio dei lavori

Indagini per l'individuazione di ordigni bellici

- Tutte le attività di scavo sono soggette a valutazione preventiva
- Consigliabile effettuare una campagna di indagine indiretta con magnetometro

TIPOLOGIE DI INDAGINE E RISULTATI ATTESI

Indagini geognostiche vanno ubicate lungo il tracciato dell'opera privilegiando i punti potenzialmente strategici:

Dirette (discontinue lungo il tracciato):

- sondaggi a carotaggio continuo
- prove penetrometriche (CPT, SPT...)
- Piezometri per la ricostruzione del livello di falda

Indirette (continue, permettono un riscontro e una correlazione con le prove dirette):

- prospezioni geoelettriche in acquisizione tomografica (ERT)
- Indagini sismiche a rifrazione e/o riflessione
- Magnetometria
- georadar (GPR)

Indagini in aree marine

Caratterizzazione geologica lungo il tracciato

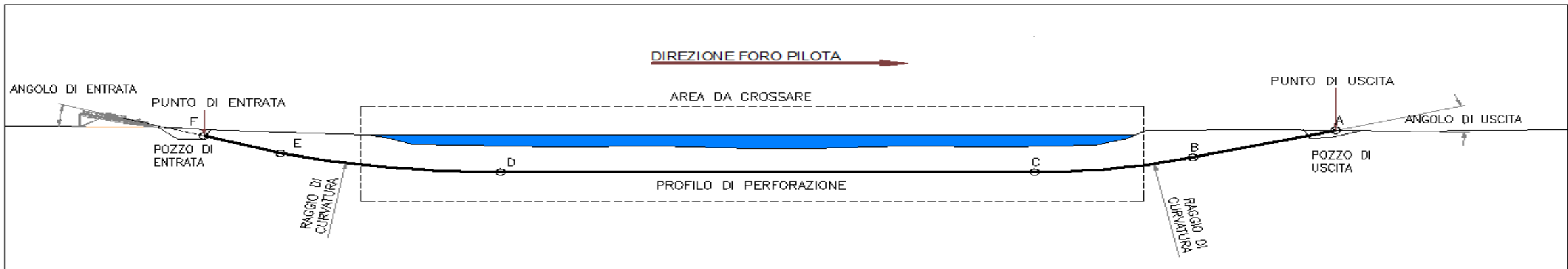


2. CRITERI PROGETTUALI E REQUISITI MINIMI

CRITERI DI PROGETTAZIONE DI UNA TOC

I **parametri principali** per la definizione del profilo di trivellazione sono:

- i punti e gli angoli di entrata e di uscita;
- i raggi di curvatura;
- la catenaria di varo;
- il calcolo della forza di tiro e analisi delle sollecitazioni sulla condotta;
- la copertura e il calcolo delle massime pressioni ammissibili in foro;
- il sistema di controllo direzionale.



RAGGIO DI CURVATURA PER TUBI IN ACCIAIO

La Norma raccomanda, di valutare quale sia il raggio consigliato per una TOC valutandolo tra :

1. Il raggio di flessione delle aste di perforazione ($R_{\min_rods}$)

$$R_{\min_rods} = f(MBR) \text{ (Minimum Bending Radius fornito dal costruttore)}$$

2. Il raggio di flessione della tubazione da installare ($R_{\min_pipe}$)

$$R_{\min_pipe} = \frac{E \times D_e}{2 \times \sigma_c}$$

3. Il raggio in funzione della reazione esercitata dal terreno durante il tiro ($R_{\text{Bring_Kruse}}$)

$$R_{\min_bk} = C \times \sqrt{D_e \times t} \text{ (C è un Valore tabellato)}$$

La norma UNI in linea con le linee guida internazionali raccomanda come Raggio di curvatura di progetto il più grande tra i precedenti:

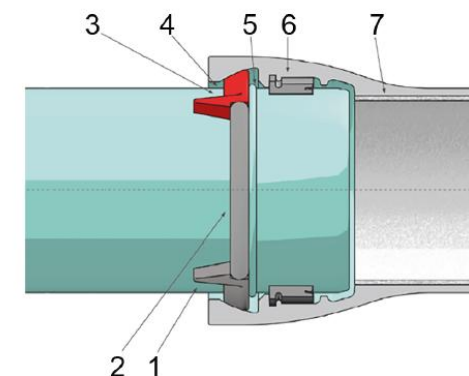
$$R_{\text{design}} > F_s * \max \{ R_{\min_pipe}; R_{\min_rods}; R_{\text{Bring_Kruse}} \}$$

RAGGIO DI CURVATURA PER ALTRI MATERIALI

I tubi in **PEAD** sono saldati come quelli in acciaio, ma sono molto più flessibili per cui il raggio elastico del tubo non è un vincolo per il profilo di trivellazione.

I tubi in **PVC-HI** e **GHISA** sono assemblati con giunti a bicchiere. Ogni giunzione permette importanti deviazioni angolari tra una tubazione e quella successiva, che permette la realizzazione di raggi di curvatura senza sollecitare il materiale costituente le tubazioni.

Ai fini della progettazione della TOC è necessario acquisire le caratteristiche meccaniche dei tubi e delle giunzioni dal produttore.



Legenda

- 1 Fermo destro
- 2 Elemento di sicurezza
- 3 Fermo sinistro
- 4 Camera di serraggio
- 5 Cordone di saldatura
- 6 Guarnizione
- 7 Bicchiere

CATENARIA DI VARO (OVERBEND)

La colonna di varo deve essere indirizzata in maniera rettilinea dentro il foro. La colonna di varo allontanandosi dal punto di infilaggio si riadagia a livello del p.c. attraverso una conformazione elastica.

$$R_{\min_pipe} = \frac{E \times D_e}{2 \times F_s \times R_{t0,5}}$$

In funzione della morfologia deve essere progettata anche la trincea o rampa di transizione nel punto di uscita della condotta.



CALCOLO DELLA FORZA DI TIRO AMMISSIBILE

La finalità è determinare la capacità di tiro minima a far avanzare la tubazione all'interno del foro ($T_{\min}$) e lo sforzo di trazione massimo che la sezione di tubo o il giunto può sopportare ($T_{\text{ammissibile}}$)

$$T_{\min} < T_{\text{design}} < T_{\text{ammissibile}}$$

Un metodo analitico largamente utilizzato per il calcolo del tiro è quello della **AGA (American Gas Association) del 1995 nella PCRI PR227-9424 “Installation of Pipelines By Horizontal Directional Drilling”**: somma dei tiri parziali per tratti con caratteristiche omogenee, rettilinei o curvilinei, in cui è possibile suddividere il profilo.

La reale forza di tiro necessaria è affetta da molti parametri (diametro di alesaggio finale, la instabilità parziale del foro e le proprietà effettive del fango caricato di detriti).

Il calcolo teorico ed i parametri utilizzati vanno attentamente valutati da un TRENCHLESS SPECIALIST!

COPERTURA E CALCOLO DELLE PRESSIONI

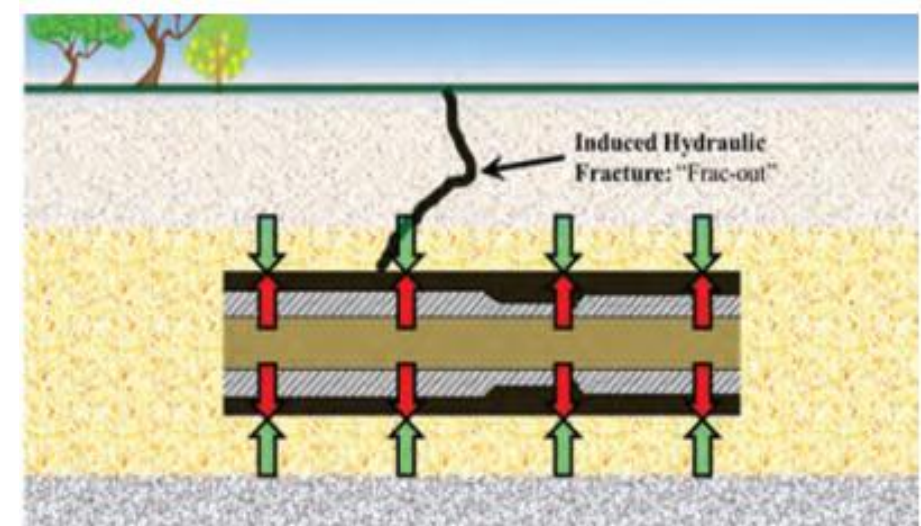
La **copertura** è importante parametro del profilo di una TOC:

- per la sicurezza della condotta
- per minimizzare il rischio di collasso e/o fuoriuscita dei fanghi di perforazione in ambiente.

Per stimare la copertura adeguata è opportuno eseguire un **calcolo delle massime pressioni ammissibili**.

Si utilizza un modello analitico per **confrontare** la pressione del fluido di perforazione, detta "**Pressione Anulare**", con la resistenza teorica del terreno circostante che viene mobilitata per resistere alla fratturazione del terreno stesso, detta "**Pressione Massima Ammissibile**".

$$P_{anulus} < P_{max}$$



CLASSIFICARE LE TOC IN TRE CATEGORIE DI COMPLESSITÀ

Novità: Tutti gli argomenti trattati finora vanno applicati in base alla tre nuove categorie di riferimento di complessità di una TOC

Finalità: Per ciascuna categoria è definito il livello di indagini e il dettaglio degli studi richiesti.

CATEGORIA 1 PROGETTI DI TOC DI ROUTINE

CATEGORIA 2 PROGETTI DI TOC STANDARD

CATEGORIA 3 PROGETTI DI TOC COMPLESSI

Se un progetto non rientra nella categoria 1 né nella 3 si classifica nella categoria 2.

Criterio di classificazione TOC	1	3
Lunghezza della perforazione	Corta ≤ 150 m	Lunga ≥ 150 m
Diametro finale del foro	Piccolo ≤ 200 mm	Grande ≥ 500 mm
Distanza da infrastrutture esistenti	Distante > 30 m	Vicino < 5 m
Differenza in elevazione tra entrata e uscita	Non rilevante	Differenza > 10 m
Tipo di terreno	Terreni fini tipo limi e argille consolidate e sabbie fini	Terreni granulari o rocce tipo terreni non consolidati $> 40\%$, ghiaie, alternanza di stratigrafie da dure a soffici a strati rocciosi
Tipo di stratigrafia	Omogenea e senza faglie	Eterogenea, con faglie e fratturazioni
Permeabilità	$\leq 5 \times 10^{-4}$ m/s	$\leq 5 \times 10^{-3}$ m/s
Composizione chimica della falda	Acqua dolce	Acqua di mare
Vulnerabilità delle strutture alla subsidenza e al frac-out	Non rilevata	Elevata
Raggio di perforazione	$R_{design} > 3 R_{min}$	$R_{design} \approx R_{min}$
Livello dell'iter autorizzativo in relazione all'ostacolo da attraversare	Procedura semplice senza richieste di integrazioni	Procedura complessa e subordinata all'approvazione di integrazioni durante il progetto esecutivo

3. CARATTERISTICHE DELLE TUBAZIONI IMPIEGATE

CARATTERISTICHE DELLE TUBAZIONI IMPIEGATE

La Norma, per tutte le tipologie di tubi utilizzabili con la tecnologia TOC, indica:

- Ambito di utilizzo
- Caratteristiche dimensionali
- Caratteristiche meccaniche
- Criteri di verifica

Ambito di utilizzo	Acciaio	PEAD	PVC-HI	Ghisa Sferoidale
Acqua	X	X	X	X
Drenaggio	X	X	X	X
Fognatura	X	X	X	X
Gas Bassa pressione (fino a 5 bar)	X	X		
Gas Media/alta pressione e idrocarburi liquidi	X			
Elettricità		X	X	
Telecomunicazioni		X	X	
Scarichi per rimozione inquinamento		X	X	

4. DESCRIZIONE DELLE FASI REALIZZATIVE DELLA TECNOLOGIA

REALIZZAZIONE DI UNA TOC

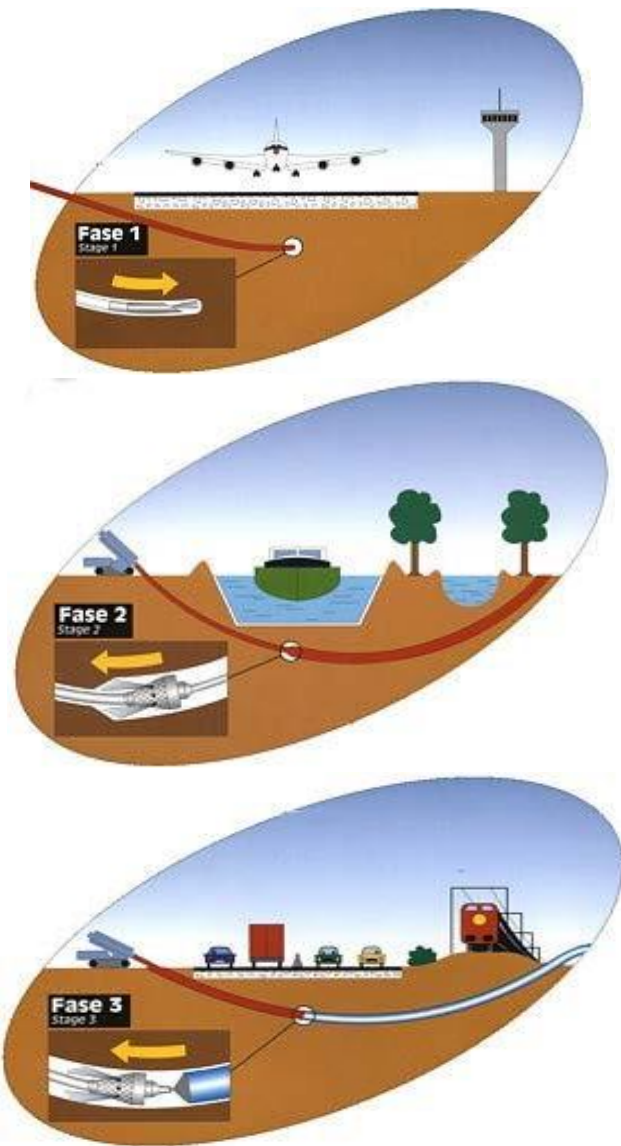
La norma UNI descrive le **fasi realizzative** necessarie per la realizzazione di una Trivellazione Orizzontale Controllata:

1. Trivellazione foro pilota
2. Alesaggio
3. Operazione di tiro-posa

Durante il **foro pilota** è importante controllare l'andamento plano-altimetrico della trivellazione per definire la reale configurazione del tubo una volta posato.

Nella norma sono esplicitate le varie metodologie per il controllo direzionale.

Sono inoltre descritte le **attrezzature** necessarie per la realizzazione di attraversamenti in TOC.



CONTROLLO DIREZIONALE

La TOC richiede la conoscenza esatta della posizione della testa di perforazione e della relativa direzione.

La scelta dipende principalmente la precisione richiesta dal progetto.

I sistemi di **controllo direzionale** largamente utilizzati sono i seguenti:

1. Sistema walk-over
2. Sistema con trasmissione via cavo
3. Sistema di tipo magnetico MGS (Magnetic Guidance System)
4. Sistema Gyro

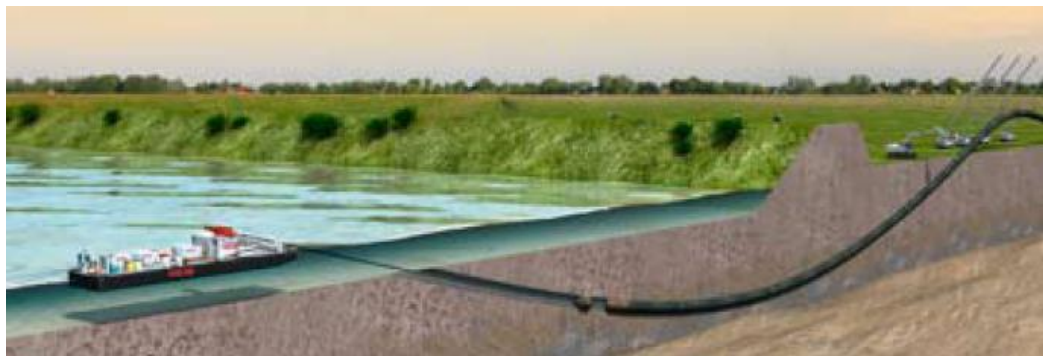


NOVITÀ: TIRO DI CONDOTTA MARINA

CONDOTTA INSTALLATA IN MARE: rig a terra e ingresso della condotta nel foro in 2 modi:

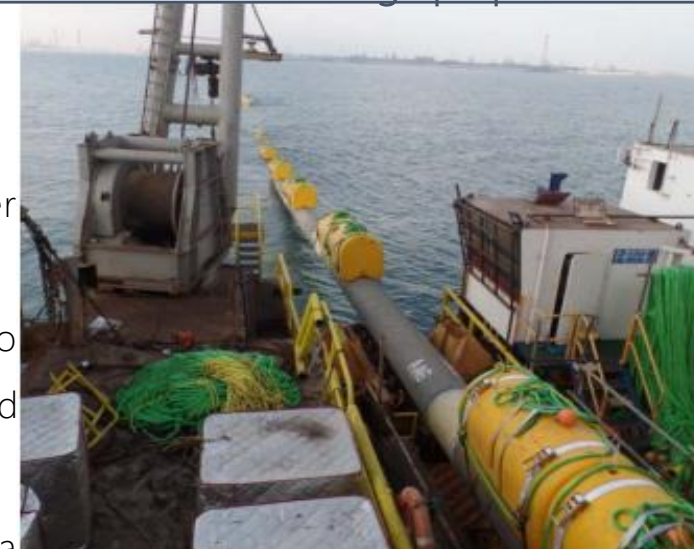
1. Se la condotta è in galleggiamento verrà allineata con un sistema chiatte, o supporti a pali e per farla affondare si bilancerà il peso riempiendola con un fluido o con opportuni zavorramenti.
2. Se la condotta è posata sul fondale marino (la condotta potrà essere alleggerita con boe a sgancio rapido), e verrà realizzata una rampa di transizione nel rispetto dei requisiti previsti dagli Standard applicabili (es. DNV). E' importante una lunghezza extra per il recupero in mare.

CONDOTTA INSTALLATA A TERRA: il rig va ancorato in mare allineato con la traiettoria della perforazione. E' importante che la stringa abbia una lunghezza extra per il recupero in mare.



Tiro da mare con stringa
preparata a terra

Tiro da terra con stringa preparata a mare



NOVITÀ: TOC CON PIPE THRUSTER

Tecnica per attraversamenti lunghi, grandi diametri o forti dislivelli.

Combina una classica **TOC + Pipe Thruster (T-TOC)** durante il varo.

Il Pipe Thruster aggiunge spinta alla forza di tiro del rig:

- Migliora la gestione delle forze lungo la condotta
- Aumenta sicurezza ed efficienza, soprattutto in condizioni critiche

Il Pipe Thruster ha movimenti molto limitati → richiede altissima precisione in uscita

- Necessaria precisione planimetrica e altimetrica, soprattutto negli ultimi 30–40 m di foro
- Errori di allineamento possono compromettere o annullare i benefici del Thruster
- Soluzione: foro pilota ad intersezione (secondo rig da uscita) per garantire il corretto tracciato
- Varo su rulli + spinta del Thruster → maggiore stabilità e controllo dell'installazione



FLUIDI DI PERFORAZIONE

La Norma lascia spazio alla trattazione dei fanghi di trivellazione, che però considerata l'importanza che rivestono ai fini della corretta esecuzione di una TOC sono trattati a parte con una prassi di riferimento specifica.

Per la **gestione dei fanghi durante la trivellazione** la norma nello specifico delle TOC richiede a fine lavori:

- Smaltimento fluidi in discariche autorizzate
- Pianificazione preventiva della gestione residui
- Ripristino area con autorizzazione dei proprietari



Unità vibrovaglio

PERFORAZIONI CONTROLLATE DI PICCOLO DIAMETRO

Principio operativo delle TOC di grande diametro

CONDOTTE IN PARALLELO

TOC con fascio di tubi per l'attraversamento di ostacoli.
Essenziale garantire franco di sicurezza adeguato.

CONDOTTE IN SERIE

Posa infrastrutture lungo strada in sostituzione degli scavi tradizionali.
Preferiti i tubi in polietilene (flessibilità e resistenza al tiro).

ATTRAVERSAMENTI STRADALI / FERROVIARI

ATTRAVERSAMENTI FLUVIALI / CORSI D'ACQUA

AMBITO URBANO AD ALTA DENSITÀ

CLASSIFICAZIONE DELLE PICCOLE TOC

MIDI

Diametro foro
200 mm

Tratto massimo
200 ÷ 250 m

MINI

Diametro foro
200 mm

Tratto massimo
120 ÷ 200 m

MICRO

Diametro foro
200 mm

Tratto massimo
80 ÷ 100 m

Macchine di dimensioni contenute (posizionabili anche in camerette/pozzetti). Riduce ingombro, impatto ambientale, oneri sociali e costi di cantiere.

5. ASPETTI LEGATI AD AMBIENTE E SICUREZZA

NOVITÀ: ASPETTI DELLA NORMA IN AMBITO SICUREZZA

Redazione apposita **Procedura operativa di sicurezza**

Personale operante in cantiere con un'adeguata formazione ed esperienza specifica (patentino).

Prescrizioni obbligatorie

Segnalazioni stradali

Ogni volta che si occupa la sede stradale: apposizione delle segnalazioni prescritte da Norme e legislazione vigente, con tutti gli accorgimenti per ridurre l'intralcio.

Vincoli ambientali

Ottemperanza alla legislazione nazionale e locale in relazione a vincoli idrogeologici, ambientali, paesaggistici, architettonico-monumentali ed ecologici.

Conformità delle macchine

Perforatrici e attrezzature accessorie (gruppi di miscelazione, centraline, ecc.) devono essere conformi alla legislazione vigente. Monitoraggio su base semestrale / annuale.

Sicurezza sul lavoro

Rispetto di tutte le norme e prescrizioni vigenti in materia di prevenzione degli infortuni sul lavoro durante l'esecuzione dei lavori. (D.Lgs. 81/2008)



GRAZIE

Cesare Bianchi

cesare.bianchi@snam.it

www.snam.it

Sponsor tecnici dell'iniziativa:

