Posa di tubazioni a spinta mediante perforazioni orizzontali

Elementi di progettazione e modalità di esecuzione di perforazioni a spinta non guidate

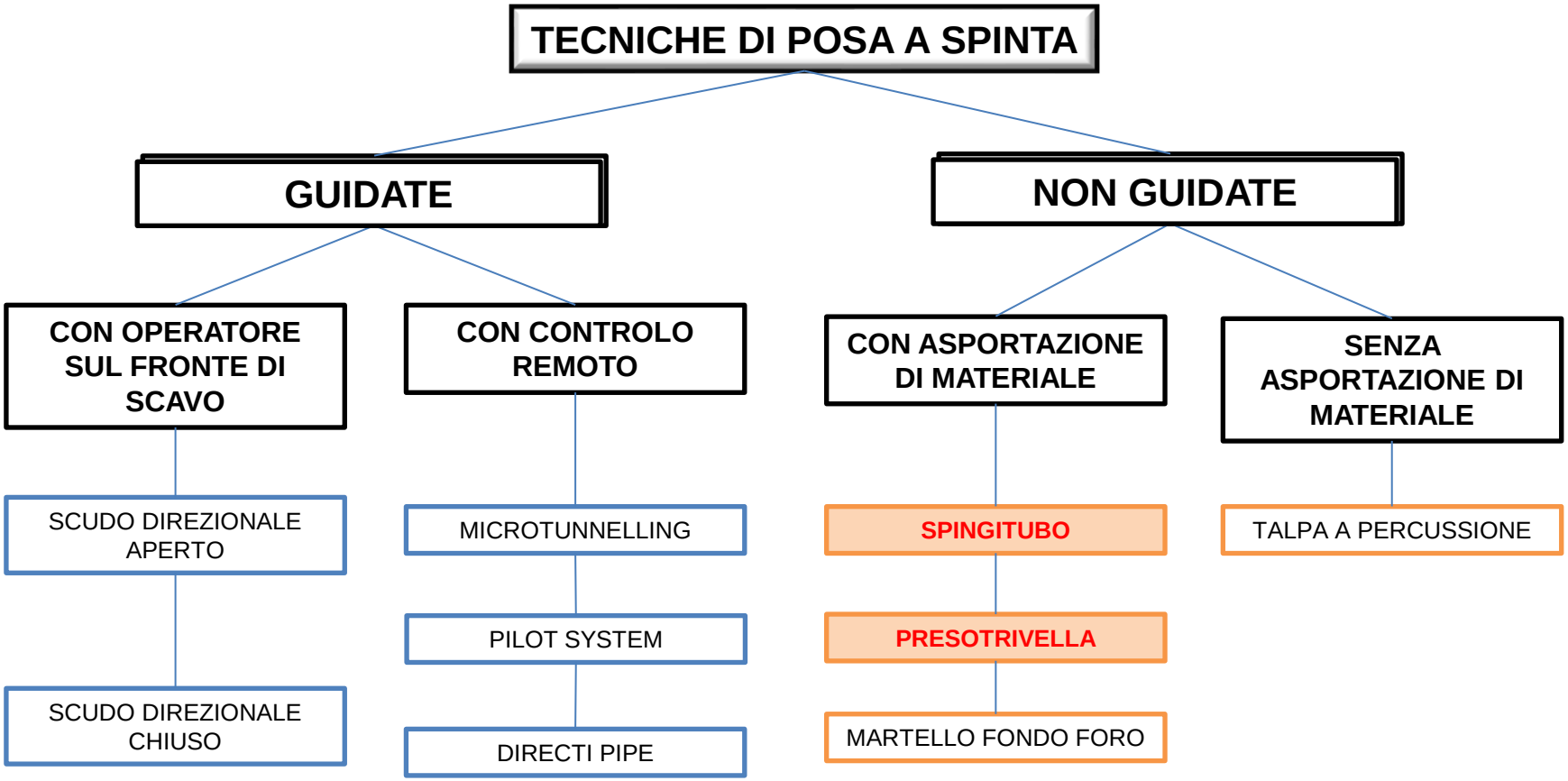
Dr. Ing. Claudio Mastronardi

1 dicembre 2020

Indice degli argomenti:

- Classificazione delle tecniche di posa.
- Campi di applicazione: lunghezze, diametri e materiali.
- Applicabilità delle tecnologie in funzione del terreno.
- Le tubazioni impiegate nei sistemi a spinta.
- Lo Spingitubo.
- La Pressotrivella.
- Elementi di progettazione.
  - Geometria e dimensione dei pozzi di spinta.
  - Posizionamento e livellamento delle attrezzature.
  - Elementi per il dimensionamento delle macchine di spinta.
  - Stima della forza di spinta Ptot.
  - Stima della forza di attrito nei terreni granulari in cui non è garantita la stabilità del cavo.
  - Stima della forza di attrito nei terreni coesivi.
  - Stima della resistenza alla penetrazione.
  - Confronto parametri di progetto.
- Modalità di esecuzione.
- Case history.

CLASSIFICAZIONE DELLE TECNICHE DI POSA



CAMPI DI APPLICAZIONE

VALORI TIPICI DI APPLICAZIONE PER LE TECNOLOGIE A SPINTA

TECNOLOGIA	DAMETRO ESTERNO MIN E MAX DI RIFERIMENTO	DISTANZA DI SPINTA	MINIMO RICORPIMENTO	POSA DI TRATTI CURVILINEI	POSA SOTTO FALDA
SPINGITUBO A PERCUSSIONE PNEUMATICA	> 101,6 (4") < 4500 (177")	In funzione dei diametri, della natura del terreno e dei materiali costituenti la tubazione. N.B. I valori di lunghezza massima di spinta forniti da dati empirici sono butili in una fase di valutazione preventiva della tecnologia da utilizzare. In fase di progettazione la lunghezza di spinta va comunque verificata attraverso una valutazione analitica.	1,00 m	NO	NO
PRESSOTRIVELLA	**> 250 < 1400**		**1,50 x De Min. 1,00m**	**NO**	**NO**
TALPA A PERCUSSIONE	> 45 < 180		10 x De	NO	NO
MARTELLO FONDO FORO	> 76 < 1220		1,50 x De Min. 1,00m	NO	NO
SPINGITUBO	**> 1200 < 3600**		**1,5 / 2,00 x De**	**NO**	**NO**
SCUDO DIREZIONALE APERTO	> 1200 < 3600		1,5 / 2,00 x De	SI	NO
SCUDO DIREZIONALE CHIUSO	> 1800 < 3600		1,5 / 2,00 x De	SI	POSSIBILE
MICROTUNNELLING	> 300 < 3600		1,5 / 2,00 x De	SI	SI
PILOT SYSTEM	> 250 < 1280		1,5 / 2,00 x De	SI	NO
DIRECT PIPE	> 800 < 1500		1,5 / 2,00 x De	SI	SI

CAMPI DI APPLICAZIONE

Applicabilità in funzione della natura dei terreni da attraversare

TIPO DI TERRENO	PRESSOTRIVELLA	SPINGITUBO
ROCCIA	NO	SI
ARGILLA CONSISTENTE	SI	SI
ARGILLE MEDIE E SOFFICI	SI	SI
SABBIE	SI	SI
GHIAIA	POSSIBILE	POSSIBILE
SOTTO FALDA	NO	NO

Sarà necessario valutare attentamente il **grado di consolidazione** delle argille ed **i valori di coesione**.

Sarà necessario valutare con la migliore approssimazione possibile la **granulometria della ghiaia** e confrontarla con il diametro della pressotrivellazione ed in particolare con le dimensioni delle coclee impiegate per lo smarino del terreno di scavo.

È comunque da valutare la **resistenza della roccia** almeno in termini di **UCS** (resistenza uniassiale). Normalmente lo spingitubo può impiegarsi per la posa in roccia tenera UCS < 20/25 Mpa.

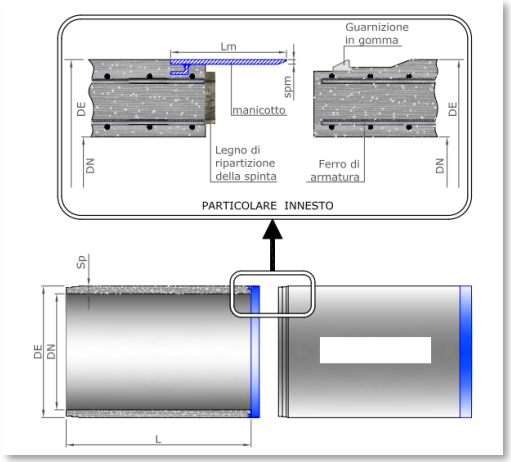
È da valutare l'impiego della tecnica, che non prevede il sostegno del fronte di scavo, in relazione ai possibili cedimenti/assestamenti del terreno sovrastante lo spingitubo.

LE TUBAZIONI IMPIEGATE NEI SISTEMI A SPINTA

Insieme agli aspetti tecnici che guidano la scelta della tubazione in riferimento all'utilizzo finale che quest'ultima dovrà svolgere, nel caso particolare dell'impiego di tecnologie di posa no-dig è necessario tenere in considerazione due aspetti di particolare rilievo:

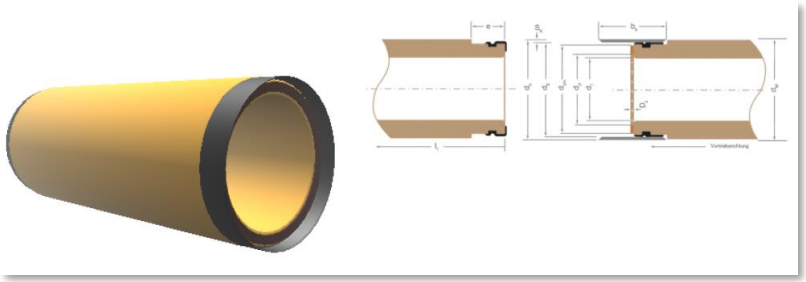
1. Le tubazioni comunemente utilizzate nello spingitubo e nella pressotrivella devono garantire una adeguata resistenza alle sollecitazioni cui saranno soggette per effetto della particolare metodologia di posa, con particolare riguardo **alle forze di spinta** che devono essere calcolate preventivamente e confrontate con i limiti disponibili per ciascuna tipologia di tubazione.

2. I giunti tra conci successivi di tubazione devono avere lo stesso diametro esterno del tubo, non sono ammissibili giunti a «bicchiere».



Tipologico tubo a spinta in calcestruzzo

Immagine tubo in PRFV con tipologico giunto per sistema a spinta



Tipologico tubo a spinta in Gres ceramico

LE TUBAZIONI IMPIEGATE NEI SISTEMI A SPINTA

In commercio sono prodotte tubazioni realizzate per la posa con sistemi a spinta e rispondenti a specifiche norme di settore che garantiscono il rispetto delle caratteristiche dimensionali e costruttive necessarie.
In particolare è possibile impiegare, scegliendo adeguatamente caso per caso, diverse tipologie di tubazioni:

Tubi in Calcestruzzo Presso-vibrato Armato:

prodotti secondo la norma UNI EN 1916

Tubi in Gres Ceramico Vetrificato:

prodotti secondo la norma di riferimento UNI EN 295-7

Tubazioni Plastiche Termoindurenti Rinforzate con Fibre Di Vetro (Prfv):

prodotti secondo la norma di riferimento ISO 25780

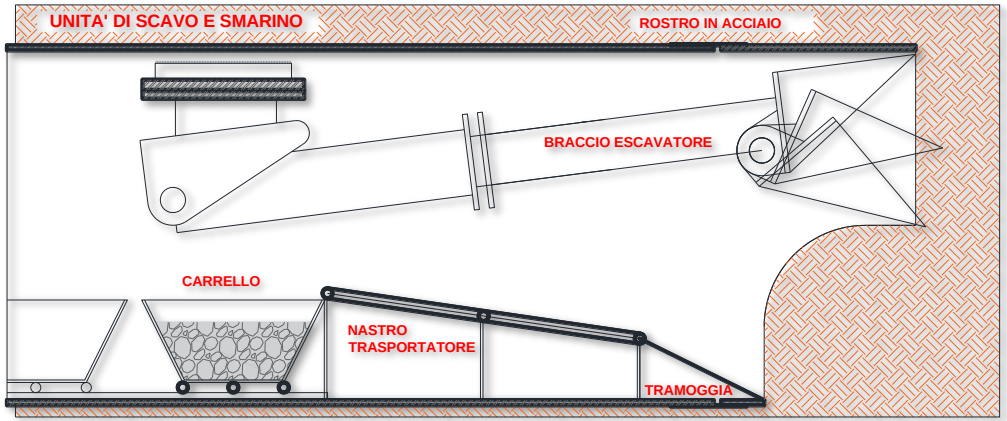
Tubi in Acciaio a Saldatura Longitudinale o Elicoidale:

prodotti secondo le norme di riferimento UNI EN 10224, UNI EN ISO 3183, UNI EN 10219 1-2

LO SPINGITUBO

L'unità principale di scavo e di smarino

- **Unità principale di scavo**, costituita da:
  - scudo di protezione in acciaio portante (ROSTRO);
  - **braccio escavatore** a comando idraulico.
- **Unità principale di smarino**, costituita da:
  - tramoggia per la raccolta del materiale di scavo;
  - nastro trasportatore per materiale di risulta;
  - carrello su binario in acciaio, comprensivo di cassone per trasporto materiale di risulta della perforazione all'esterno verso la camera di spinta.



Disegno schematico dell'unità di scavo per spingitubo

Immagine di un rostro in acciaio completo di braccio escavatore e nastro trasportatore

LO SPINGITUBO

L'unità principale di spinta

- **Unità di principale di spinta**, costituita da:
  - slitta di varo costituita da profilati metallici accoppiati con sella di appoggio per il varo delle tubazioni;
  - Pistoni oleodinamici con forza sufficiente in funzione del diametro della tubazione e della lunghezza di spinta;
  - anello di spinta;
- **Centralina idraulica e distributore** per l'avviamento ed il comando dei pistoni oleodinamici di spinta.

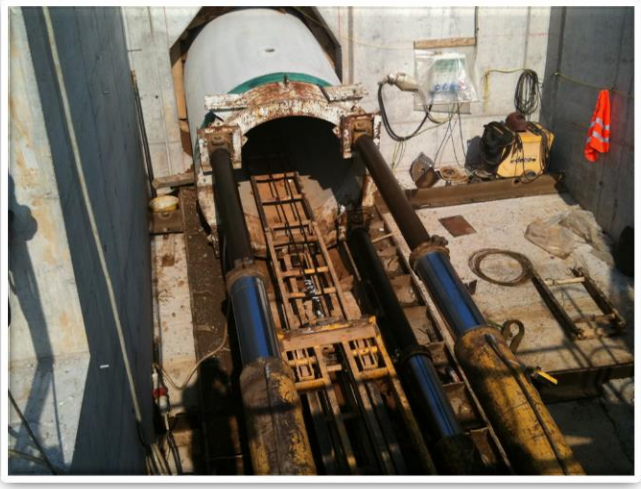
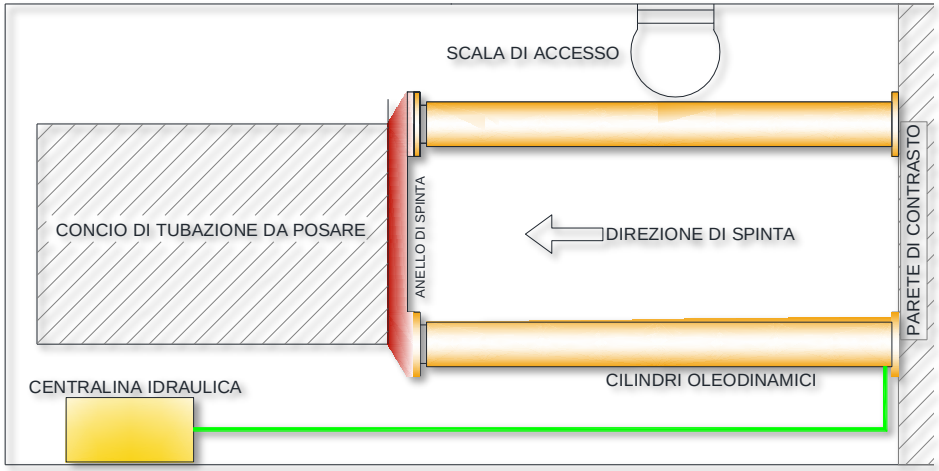


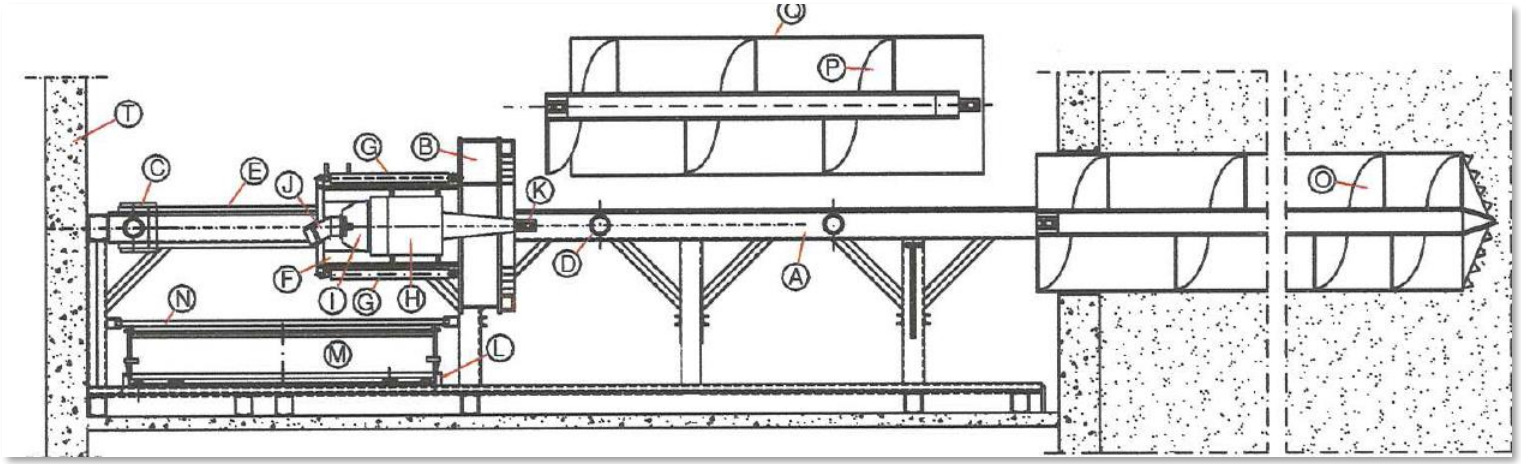
Immagine di uno spingitubo in fase di varo



Disegno schematico di un gruppo di spinta per spingitubo

LA PRESSOTRIVELLA

Unità di spinta - di scavo - di smarino



Disegno schematico di una macchina per pressotrivellazione

COMPONENTI DELLA MACCHINA

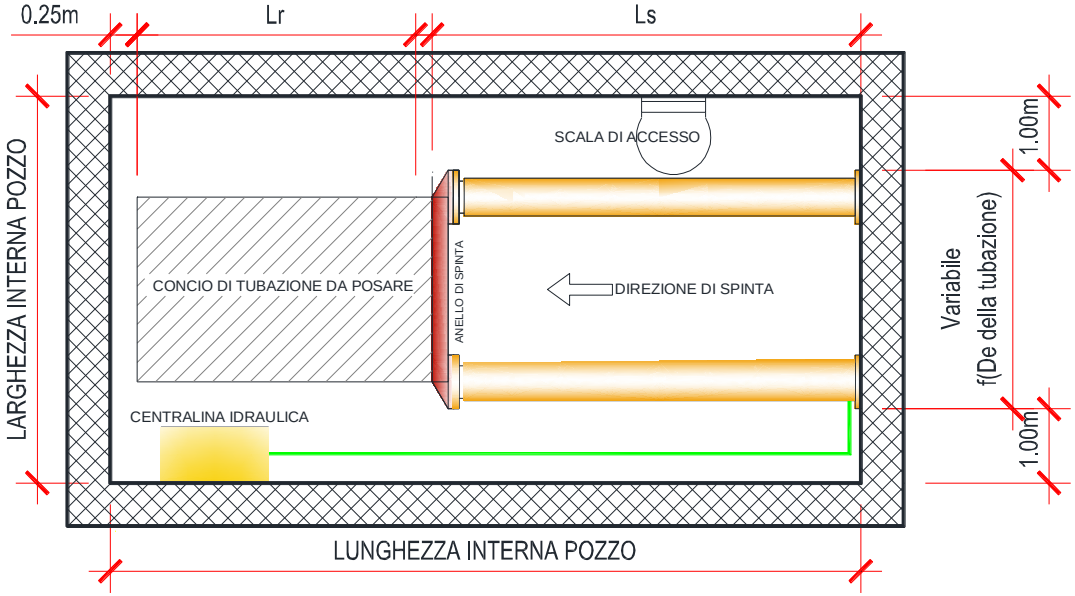
A. TELAIO IN ACCIAIO
B. CARRELLO DI SPINTA
C. TRAVERSA DI REAZIONE
D. BUSSOLE DI ANCORAGGIO
E. MARTINETTI DI SPINTA
F. CURSORE SPOSTAMENTO
G. MARTINETTI DI COMANDO DEL CURSORE
H. SUPPORTO ALBERO PORTAELICA
I. RIDUTTORE
J. MOTORE OLODINAMICO
K. AGGANCIO TRIVELLA
L. CARRELLINO
M. CASSONETTI
N. MECCANISMO SPOSTAMENTO CASSONETTI
O. ELEMENTO DI TESTATA DELL'ELICA, CON DENTI PER FRESARE IL TERRELEMENTO
CORRENTE DI ELICA
P. ENO
Q. ELEMENTO CORRENTE DI TUBO DA INFIGGERE
R. TETTUCCIO DI PROTEZIONE
S. PEDANE DELL'OPERATORE
T. PARETE DI CONTRASTO

ELEMENTI DI PROGETTAZIONE

Geometria e dimensione dei pozzi

Parametri geometrici che identificano le dimensioni minime del pozzo di spinta:

- la **dimensione dell'attrezzatura** di spinta da utilizzare (funzione del DN del tubo da posare);
- la **lunghezza dei conci** di tubazione da posare;
- la distanza tra l'asse della perforazione dal piano di appoggio dell'unità di spinta.



Tipologico pozzo di spinta per spingitubo

Ls = lunghezza dell'unità di spinta (pistoni + anello) **Lr** = lunghezza del concio di tubazione da spingere

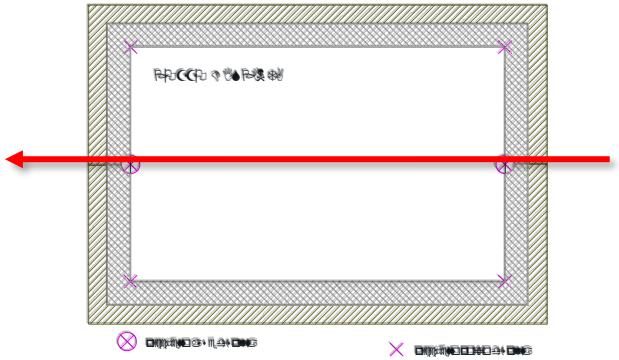
ELEMENTI DI PROGETTAZIONE

Posizionamento e livellamento delle attrezzature

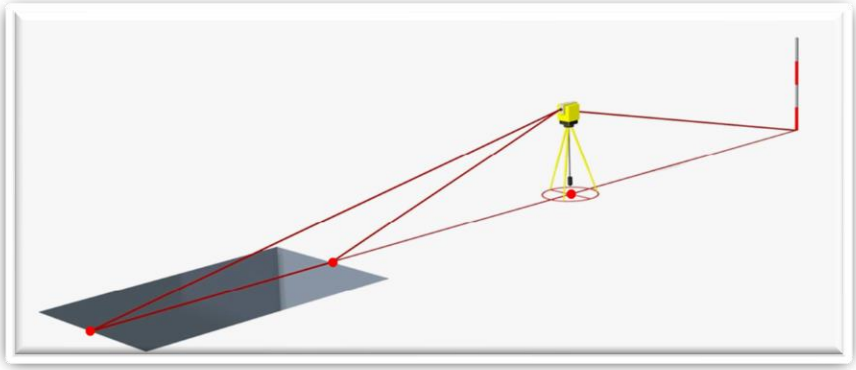
Il posizionamento delle macchine deve essere eseguito attraverso il picchettamento e tracciamento dell'allineamento e della direzione di spinta.

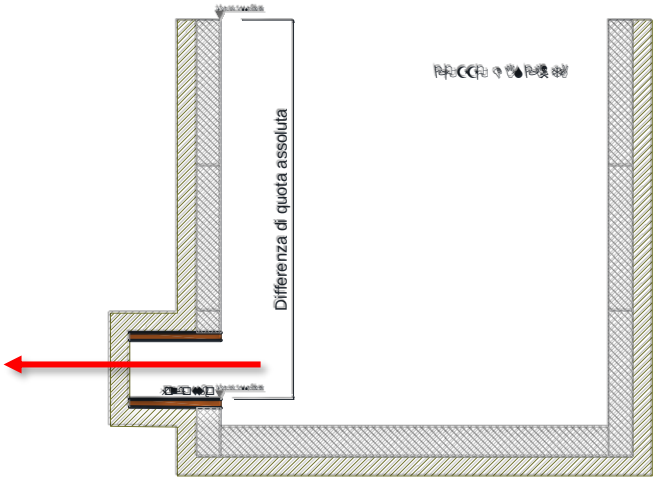
La procedura comunemente impiegata consiste in un accurato rilevo topografico e successivo picchettamento dei seguenti elementi:

1. vertici del pozzo di spinta corrispondenti agli spigoli (interni) del manufatto;
2. direzione di spinta materializzando almeno 2 picchetti normalmente ubicati sulle pareti del pozzo di spinta;
3. quota del fondo della tubazione in termini assoluti.



materializzazione asse di spinta





piazzamento quota di riferimento

ELEMENTI DI PROGETTAZIONE

Elementi per il dimensionamento delle macchine di spinta

Procedura di dimensionamento delle attrezzature di spinta

- Stima della **forza di spinta complessiva (Ptot**) necessaria a superare le forze di attrito e la resistenza alla punta durante la posa della tubazione.
- Confronto tra la forza di spinta necessaria e **la massima spinta (Fmax)** disponibile per l'attrezzatura impiegata:

Fmax > Ptot

- Verifica della compatibilità della compatibilità della **resistenza (Rt) offerta dal tubo di progetto** scelto:

Rt > Fmax

- Verifica della compatibilità della **resistenza (Rs) offerta dalla struttura di contrasto** del pozzo di spinta:

Rs > Fmax

ELEMENTI DI PROGETTAZIONE

Stima della forza di spinta P_{tot}

La forza di spinta totale è data dalla sommatoria di due componenti, la prima delle quali rappresenta le forze di attrito che si sviluppano al contatto tra tubo e terreno mentre la seconda la resistenza offerta dal terreno alla penetrazione della punta fresante, secondo la relazione:

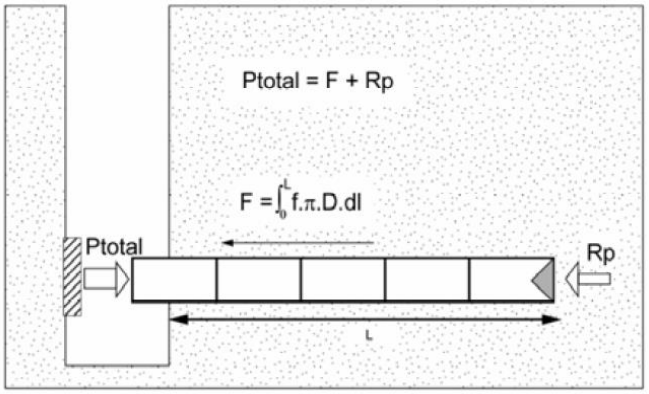
$$P_{tot} = F + Rp$$

In cui:

P_{tot} = forza totale di spinta

F = forza di attrito tra le tubazioni ed il terreno circostante

Rp = resistenza alla penetrazione della fresa



Schema delle forze mobilitate durante l'avanzamento della tubazione nel sottosuolo – estratto da FSTT anno 2006

ELEMENTI DI PROGETTAZIONE

Stima della forza di attrito nei terreni granulari in cui non è garantita la stabilità del cavo

In terreni sciolti, dove non si può garantire la stabilità del cavo, la forza di attrito può essere valutata con riferimento **alle tensioni efficaci** secondo la seguente relazione:

$$F = \pi D L \tau_s = \pi D L (k_a \sigma'_z \tan \delta) = \pi D L [k_0 \gamma' z \tan (2/3\phi)]$$

In cui

D = diametro esterno della tubazione da posare

L = lunghezza totale del tratto

$\sigma'v$ = tensione verticale efficace

Ka = coefficiente di spinta attiva

γ' = peso dell'unità di volume del terreno

z = profondità di posa della tubazione

δ = angolo di attrito tra tubo e terreno

ϕ = angolo di attrito del terreno in sito.

ELEMENTI DI PROGETTAZIONE

Stima della forza di attrito nei terreni coesivi

In terreni sciolti a grana fine di natura coesiva la forza di attrito che si instaura tra tubo e terreno può essere stimata secondo la relazione:

$$F = \pi D L \beta cur$$

In cui

D = diametro esterno della tubazione;

L = lunghezza del microtunnel;

β = coefficiente attrito tubazione/terreno (comunemente assunto pari a 0.6);

cur = coesione non drenata della argilla rilavorata.

ELEMENTI DI PROGETTAZIONE

Stima della resistenza alla penetrazione

La resistenza alla penetrazione Rp è definita come:

$$Rp = rp * \pi D^2/4$$

In cui

D = diametro esterno della tubazione

Rp = resistenza apparente in “testa” (dipendente dagli sforzi necessari alla punta per vincere la resistenza del terreno sul fronte di scavo)

Il valore massimo di rp viene espresso in funzione della granulometria dei terreni:

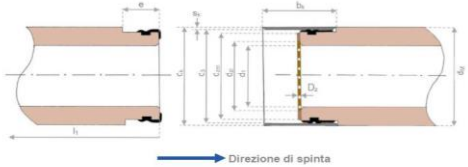
- Argilla: rp = 800 (KPa) con valore medio di 600 (KPa).
- Sabbia: rp = 1800 (KPa) con valore medio di 1000 (KPa).
- Ghiaia: rp = 2300 (KPa) con valore medio di 1700 (KPa).

ELEMENTI DI PROGETTAZIONE

Confronto parametri di progetto

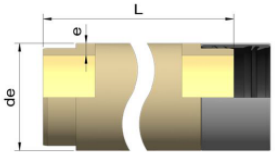
Il valore di spinta massima calcolato deve essere confrontato con:

- la resistenza massima ammissibile della tubazione
- la forza disponibile data dalla macchina di spinta.



Diametro DN	resistenza allo schiacciamento FN	Spinta max ammissibile secondo ATV161	dM	L1	Peso per tubo
mm	kN/m	kN	mm	m	Kg
600	120	2400/2200	65±0/-10	984/1984	240

Forza ammissibili di spinta per tubazione in gres DN 600



de [mm]		e [mm]	Fmax* [kN]	m [kg/m]	SN [N/m²]
1434	min	46	3042	409	32000
	max	76	6222	675	160000
1499	min	48	3361	446	32000
	max	79	6797	733	160000

Forza ammissibile di spinta per tubazione in PRFV De 1434 e 1499

Questi dati sono comunemente disponibili e rilevabili dalle schede tecniche delle tubazione e delle attrezzature di spinta disponibili sul mercato.

Parametri della macchina	Unità di misura	Valore nominale	Valore minimo	Valore massimo
Cilindrata del motore idraulico Hydromatik A2F 107	cm^3	106.7		
Pressione di lavoro del motore Hydromatik A2F 107	MPa	32		40
Coppia del motore idraulico Hydromatik A2F 107	daNm	64		80
Rapporto di riduzione del riduttore Bonfiglioli mod. 311 L	=	1 : 60		
Coppia applicata alla testa fresante tramite la coclea	daNm	3840		4800
Velocità di rotazione del motore idraulico	g/min	883		1600
Velocità di rotazione della coclea	g/min	14.7		30
Cilindri di spinta	numero	2		
Alesaggio	mm	220		
Corsa	mm	1750		
Pressione di lavoro dei cilindri	MPa	22	–	42
Spinta complessiva dei due cilindri	kN	2 x 836		2 x 1600
Velocità di avanzamento dei cilindri	m/s	3.88		6.88

Forza massima di spinta di una macchina per pressotrivvelazioni

MODALITA' DI ESECUZIONE

Spingitubo: installazione del cantiere

Allestimenti interni alla buca di spinta:

- Installazione dell'unità principale di spinta che viene calata all'interno del pozzo mediante l'utilizzo di un mezzo di sollevamento di idonea portata e posizionata secondo la direzione di varo delle tubazioni.
- Calo dell'unità principale di spinta sulla sella di appoggio dell'unità di spinta posizionata in precedenza.
- Posizionamento dei martinetti oleodinamici e dell'anello di spinta per l'inserimento dell'unità principale prima e successivamente dei tubi.

Vista delle travi di appoggio dello spingitubo

Calo dell'unità di scavo nel pozzo di spinta

Vista dell'unità di scavo e di smarino

MODALITA’ DI ESECUZIONE

Spingitubo: fasi esecutive dello spingitubo

1. Perforazione del terreno, attraverso l’utilizzo del braccio meccanico azionato dall’operatore addestrato, che convoglia il terreno sulla tramoggia e da questa attraverso il nastro trasportatore al carrellino.
2. Trasporto del materiale all’esterno della galleria, mediante l’utilizzo del carrellino elettrico a batteria azionato da operatore addestrato. All’uscita dalla galleria il cassone posizionato sul carrellino sarà agganciato dal mezzo di sollevamento per essere trasportato a bordo della buca di spinta, svuotato del suo contenuto e riposizionato sul carrellino pronto per il successivo carico.
3. Spinta del concio in c.a. azionando i martinetti idraulici che attraverso l’azione esercitata sull’anello di spinta consentono l’avanzamento del concio nel terreno.

Vista del fronte di scavo

Vista sistema di smarino

MODALITA’ DI ESECUZIONE

Spingitubo: esecuzione dello spingitubo

4. Le tre operazioni precedenti sono ripetute fino alla completa infissione del concio nel terreno.
5. Calo del concio sulla slitta ed accoppiamento con la tubazione precedente mente posata. L’operazione consiste nel ritrarre i martinetti idraulici e posare sulla culla di base il nuovo concio calato dal mezzo di sollevamento di portata adeguata. A questo punto vengono attivati nuovamente i cilindri di spinta che permettono la giunzione tra due conci successivi.

fase di spinta del tubo

calo della tubazione nel pozzo

completamento del tunnel

MODALITA’ DI ESECUZIONE

Spingitubo: operativita’ in ambienti confinati (articoli 66 e 121 del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81)

I lavori da effettuare con la tecnologia dello spingitubo presentano delle situazioni in cui si andrà ad operare in “ambienti sospetti di inquinamento o confinati”.

Gli ambienti confinati (di cui all'allegato IV, punto 3 del Dlgs. 81/08) sono luoghi spesso caratterizzati dalla presenza contemporanea di più rischi gravi per gli operatori in uno spazio circoscritto, caratterizzato da limitate aperture di accesso e da una ventilazione naturale sfavorevole, con eventuale presenza di agenti chimici pericolosi.

MODALITA' DI ESECUZIONE

Spingitubo: operativita' in ambienti confinati (articoli 66 e 121 del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81)

la posa delle tubazioni con tecnica dello scudo direzionale aperto prevede la presenza di operatori sul fronte scavo pertanto:

- è da prevedere, in questa fase lavorativa, l'installazione di sistemi di areazione di portata adeguata alle dimensioni ed alla natura del lavoro da svolgere;
- **la composizione dell'aria all'interno deve essere monitorata su base regolare attraverso la dotazione di rilevatori portatili della qualità dell'aria** e, nel caso si riscontrassero bassi livelli di ossigeno (ad esempio per concentrazioni inferiori al 20,80%), si provvederà ad azionare immediatamente il sistema di ventilazione;
- l'illuminazione artificiale e l'alimentazione degli attrezzi da lavoro, deve essere consentita a bassa tensione 12/24V;
- L'utilizzo di un gruppo elettrogeno è subordinato solo ed esclusivamente al posizionamento dello stesso al di fuori del pozzo di spinta.

MODALITA' DI ESECUZIONE

Pressotrivella: installazione del cantiere

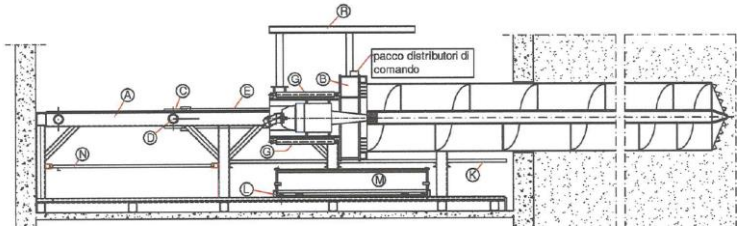
Allestimenti interni alla buca di spinta:

- Installazione della pressotrivella che viene calata all'interno del pozzo mediante l'utilizzo di un mezzo di sollevamento di idonea portata e posizionata secondo la direzione di varo delle tubazioni.

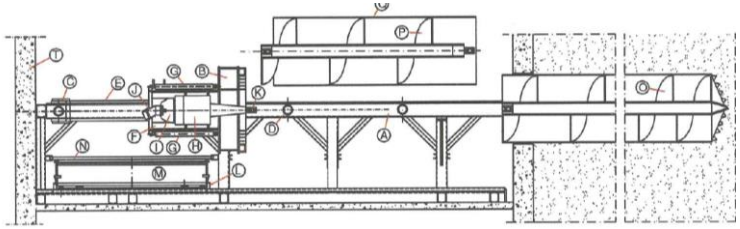
Fasi esecutive per la pressotrivella :

1. Perforazione e contestuale asportazione del materiale di scavo attraverso la coclea preventivamente installata all'interno del tubo a spinta;

2. Accoppiamento del concio successivo da spingere già dotato di coclea posta all'interno



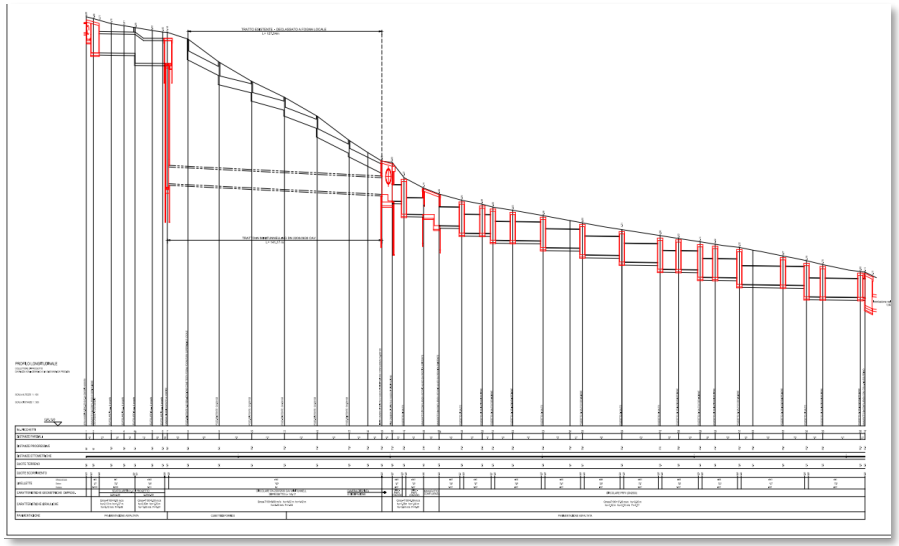
Schema fase 1 di spinta tubazione e contemporaneo smarino con coclea



Schema fase 2 di installazione di tubazione già munita di coclea

CASE HISTORY

Oggetto: Ristrutturazione ed adeguamento funzionale del sistema fognario depurativo intercomunale – Bacoli -Pozzuoli.
Tubazione: Calcestruzzo armato rivestito internamente in PeAD
Diametro: Di 2200mm – De =2600mm
Lunghezza di infissione: 142 ml
N. Cilindri oleodinamici = 4
Fmax di spinta impiegata = 10000 kN
Arrivo in pozzo a vortice profondo circa 30m

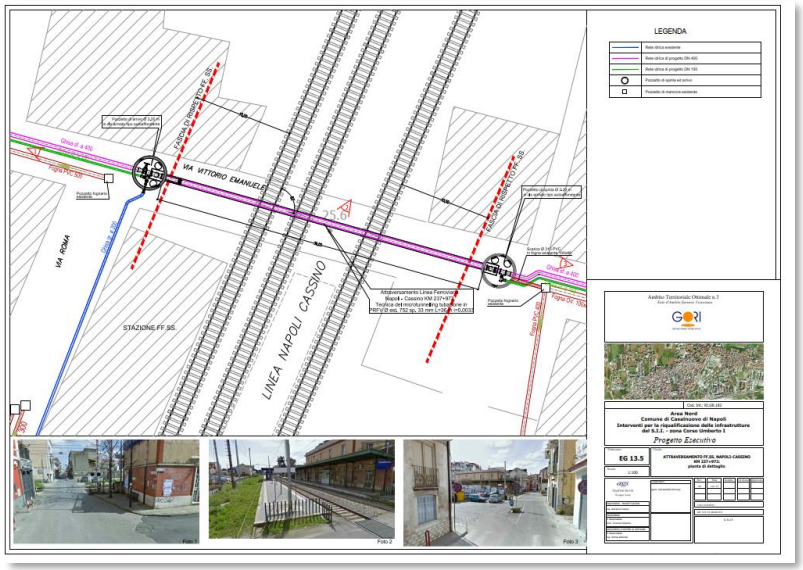


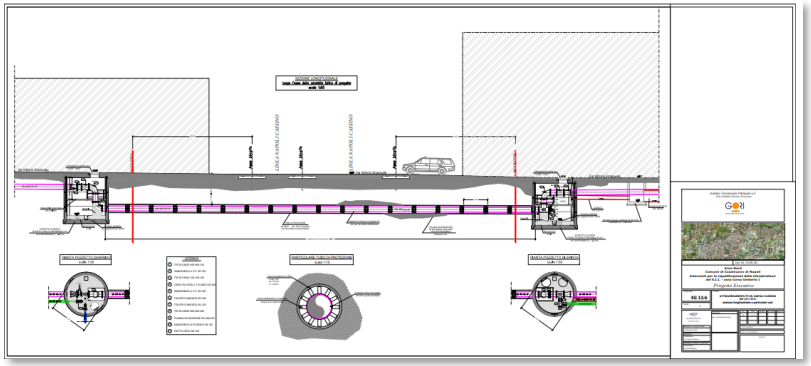
CASE HISTORY

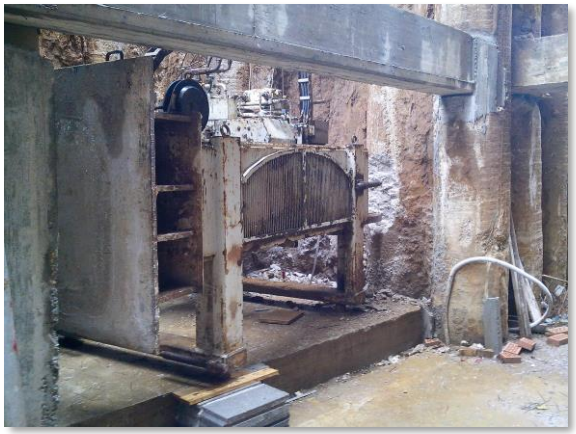
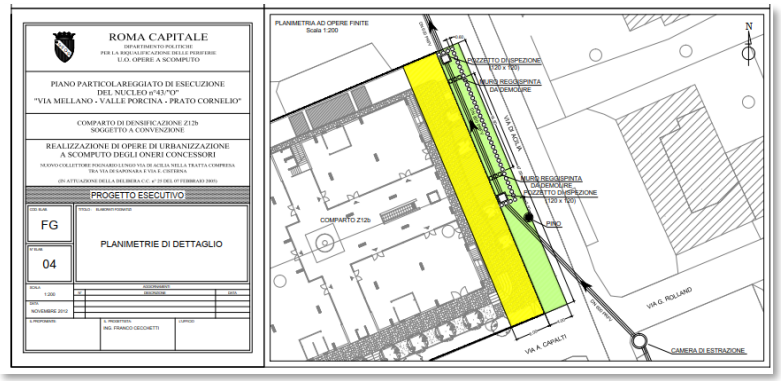
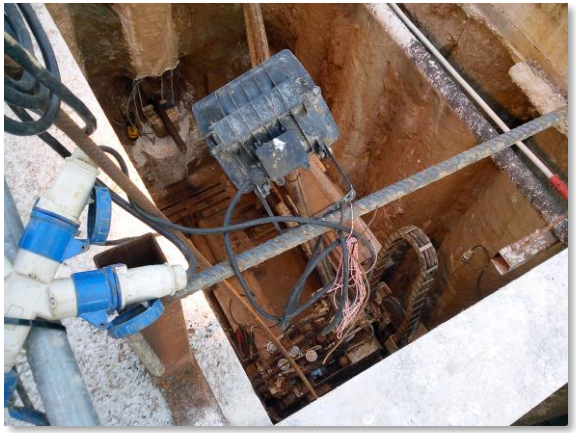
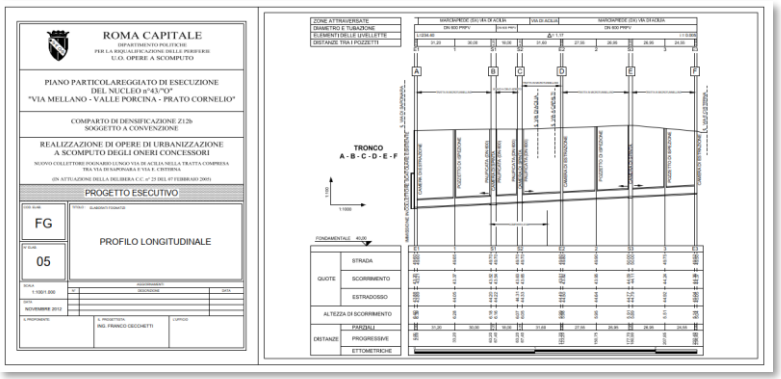
Committente: Castalia servizi idrici s.r.l.
Oggetto: Posa in opera collettore fognario con sistema Spingitubo
Tubazione: Acciaio
Diametro: ø est. 1480 mm
Lunghezza infissione: 50,00 ml
N. Cilindri oleodinamici = 2
Forza di spinta max = 4000 kN

CASE HISTORY

Committente: GORI SpA
Oggetto: Attraversamento ferroviario Comune di Casalnuovo di Napoli (NA)
Tubazione: Tubo guaina in PRFV
Diametro: DN 600mm De 752mm
Lunghezza infissione: 40,00 ml





CASE HISTORY

Committente: Privato
Oggetto: Opere di urbanizzazione primaria nel comune di Roma
Tubazione: Gres Ceramico
Diametro: DN 600mm
Lunghezza infissione: 50,00 ml