La posa delle tubazioni rigide in terreni con falda

Dr. Ing. Antonio Miglio
Libero professionista,
antoniomiglio@inwind.it

PREMESSA

La falda freatica, se a un livello prossimo o superiore alla quota di fondo scavo prevista, può essere un serio intralcio durante le operazioni di scavo, posa della condotta e riempimento, ma anche un serio problema che – se non correttamente valutato e risolto – va a compromettere la stabilità dell'opera. Pertanto, in sede progettuale è fondamentale pianificare gli interventi necessari al fine di minimizzare le difficoltà che la falda potrebbe ingenerare nella fase esecutiva, oltre che effettuare le necessarie verifiche sulla statica della condotte in presenza di falda. Per garantire la stabilità dell'opera nel tempo sono dunque fondamentali una corretta progettazione ed esecuzione dei lavori.
Nel presente lavoro, si riportano alcune considerazioni riguardanti la posa di tubazioni rigide in terreni con falda, con particolare riferimento alle condotte in gres. È ovvio che tali considerazioni, vista la complessità della problematica, non pretendono di essere né complete né esaustive, ma sono solo una discretizzazione che deve essere integrata con l'esperienza del Progettista e completata con maggiori informazioni sulle condizioni dello specifico cantiere.

1. NORMATIVA - BREVI RICHIAMI

Relativamente alla posa delle condotte in presenza di falda, la normativa UNI EN 1610 (1999) *"Costruzione e collaudo di connessioni di scarico e collettori di fognatura"* al paragrafo 6.5 "Drenaggio" elenca una serie di punti di seguito sintetizzati:

- gli scavi dovrebbero essere mantenuti privi d'acqua di qualsiasi provenienza durante i lavori di posa di una condotta;
- i metodi di drenaggio non devono influire né sui rivestimenti (ossia i materiali posti nell'intorno del tubo, e cioè quelli costituenti il letto di posa, il rinfianco e il rinterro iniziale) né sulle condotte;
- è necessario prendere delle precauzioni per evitare la perdita di materiale fine durante le operazioni di drenaggio;
- è necessario tenere conto dell'influenza del drenaggio sul movimento della superficie della falda freatica e sulla stabilità della zona circostante l'area di scavo.

2. LA GESTIONE DELLA FALDA

In sede progettuale è importante per il Progettista avere chiaro come gestire la progettazione di una condotta interrata in presenza di falda. È pertanto essenziale conoscere quali sono gli effetti prodotti dalla falda sul sistema tubo-terreno per poi intraprendere azioni volte a limitarli mediante opportuni interventi.

2.1 Effetti prodotti dalla falda sul sistema tubo-terreno

La presenza di falda nel terreno produce effetti sia sul terreno che sul tubo. Riguardo al terreno si ha una variazione dei parametri geotecnici (Tabella 2.1), mentre per il tubo si registra l'insorgenza di sollecitazioni aggiuntive (Tabella 2.2).

Sulla base di quanto riportato nelle tabelle si evince chiaramente la forte influenza della falda sul sistema tubo-terreno.

2.2 Metodologia di valutazione delle condizioni di posa e ipotesi di intervento in presenza di falda

Nelle Tabelle 2.3 e 2.4 – in funzione del tipo di terreno in situ e del tipo di protezione dello scavo – sono descritti sinteticamente i comportamenti del terreno in situ (in termini di stabilità dello scavo) e

Effetti prodotti dalla falda sul terreno	Azioni per limitarne gli effetti
Diminuzione della capacità portante del terreno	• Riduzione delle tensioni massime sotto il tubo
	• Stabilizzazione del terreno di posa
	• Scarico su strati a portanza maggiore
Aumento dei cedimenti	• Abbassamento delle pressioni interstiziali
	• Scelta di condotte compatibili con cedimenti
Diminuzione del grado di compattazione degli inerti	• Aumento dell'energia di compattazione
	• Uso della baulettatura in geotessuto
	• Uso di inerti a granulometria assortita e a spigoli vivi
	• Impiego di condotte non deformabili

Tab. 2.1 *Effetti prodotti dalla falda sul terreno e relative azioni per limitarne gli effetti (le informazioni riportate nella sottostante tabella sono tratte dalle "Linee guida per la progettazione e la realizzazione di fognature in gres ceramico", Aprile 2008).*

Effetti prodotti dalla falda sul tubo	Azioni per contrastare le sollecitazioni indotte dalla falda
Spinta di galleggiamento	• Altezza di copertura adeguata
	• Condotte più pesanti
	• Curare la sistemazione del rinterro
Sollecitazione radiale (Buckling)	• Condotte ad elevata rigidezza anulare
	• Condotte ad elevato spessore

Tab. 2.2 *Effetti prodotti dalla falda sul tubo e relative azioni per limitarne gli effetti (le informazioni riportate nella sottostante tabella sono tratte dalle "Linee guida per la progettazione e la realizzazione di fognature in gres ceramico", Aprile 2008, mod.).*

gli interventi da intraprendere sulla falda, sul terreno impiegato per la realizzazione del letto di posa e del rinfianco durante le diverse fasi di posa in opera delle tubazioni, nonché alcune prescrizioni sul sistema. Quanto riportato nelle tabelle è solo una discretizzazione che deve essere integrata con l'esperienza del Progettista e completata con maggiori informazioni sulle condizioni dello specifico cantiere.
Alcuni degli aspetti schematizzati nelle Tabelle 2.3 e 2.4 verranno esaminati in dettaglio nei prossimi paragrafi.

3. METODI DI DRENAGGIO PER L'ALLONTANAMENTO DELL'ACQUA DA UNO SCAVO

Riguardo agli interventi sulla falda un aspetto importante consiste nello scegliere il metodo più adeguato per prosciugare lo scavo unitamente alla casseratura delle pareti della trincea, sì da poter lavorare in sicurezza ed eseguire correttamente le operazioni di posa. Nell'Appendice A "Eliminazione delle infiltrazioni d'acqua" della UNI EN 1610 (1999) è riportato che *"Se esiste qualche motivo per sospettare che in prossimità della trincea la falda freatica possa essere a un livello superiore alla quota di fondo prevista, si dovrebbe avviare un'indagine in loco per stabilire un metodo adatto per il suo controllo nonché per la casseratura delle pareti della trincea. […]"*.
Inoltre, è da tener ben presente che (UNI EN 1610, 1999):

- le opere provvisionali congiuntamente al drenaggio della falda freatica possono influenzare in modo permanente le opere permanenti;
- il progetto del drenaggio della falda freatica è complesso pertanto, prima di scegliere un metodo, è opportuno richiedere la consulenza di uno specialista;
- le operazioni di drenaggio possono ridurre i livelli della falda freatica a notevole distanza e può influenzare l'estrazione di acqua per altri usi.

Inoltre, in sede progettuale devono essere sempre valutati gli effetti prodotti dall'abbassamento della superficie freatica sulle fondazioni degli edifici adiacenti all'area di lavoro, in presenza di terreni a grana fine (consolidazione).

3.1 Indagini preliminari

La scelta del metodo adeguato per drenare uno scavo è funzione delle caratteristiche del terreno stesso. Per tale ragione, nella scelta del metodo da impiegare per il prosciugamento dello scavo, è fondamentale svolgere indagini preliminari, prendendo in considerazione differenti fattori quali:

- le condizioni geologiche/litologiche della fascia interessata dallo scavo e dell'area in prossimità del cantiere;
- la profondità e l'estensione dello scavo che si va a progettare e realizzare;
- la durata nel tempo del drenaggio;
- la granulometria e la conducibilità idraulica (o coefficiente di permeabilità) del terreno;
- la quota della superficie freatica

Tipo di terreno		Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
Dimensioni (mm)		70÷2	2÷0.02	0.02÷0.002	<0.002
Descrizione	Protezione dello scavo	Sì	Sì	Sì	Sì
	Tipo di protezione dello scavo	Blindo	Palancole / Blindo (la scelta deve assicurare la stabilità del fondo scavo)	Palancole / Blindo (la scelta deve assicurare la stabilità del fondo scavo)	Palancole / Blindo (la scelta deve assicurare la stabilità del fondo scavo)
Comportamento	Stabilità scavo	Sì	Sifonamento / Sollevamento fondo scavo (effettuare le relative verifiche geotecniche)	Sifonamento / Sollevamento (effettuare le relative verifiche geotecniche)	Sifonamento / Sollevamento (effettuare le relative verifiche geotecniche)
Interventi sulla falda	Livello da far raggiungere alla superficie libera della falda in trincea	Al piano di posa	• Al piano di posa per la sabbia grossa • 20 o 30 cm sotto il piano di posa per la sabbia fine	50 cm sotto il piano di posa	Al piano di posa
	Inizio posa	A scavo asciutto	• A scavo asciutto per la sabbia grossa • Attendere discesa acqua interstiziale per la sabbia fine	A scavo asciutto	A scavo asciutto
	Istante in cui iniziar a far risalire la falda	A scavo chiuso	• A scavo chiuso per la sabbia grossa • Graduale per la sabbia fine	Ritardato se bonificato il piano di posa con leganti	Ritardato se bonificato il piano di posa con leganti

Tab. 2.3 Descrizione sintetica del terreno in situ, del comportamento dello stesso in termini di stabilità dello scavo, interventi sulla falda (le informazioni riportate nella sottostante tabella sono tratte dalle "Linee guida per la progettazione e la realizzazione di fognature in gres ceramico", Aprile 2008, mod.).

Tipo di terreno		Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
Dimensioni (mm)		70÷2	2÷0.02	0.02÷0.002	<0.002
Interventi sul terreno costituente il letto di posa e il rinfianco	Letto di posa	Ghiaietto	• Sabbia grossa Ghiaietto • Sabbia fine • Geotessuto + Ghiaietto • Geocomposto + Ghiaietto	• Geotessuto + Ghiaietto • Geocomposto + Ghiaietto • Geocomposto + Ghiaietto + Bauletto in geotessuto • Geocomposto + Ghiaietto + Bauletto in geotessuto • Geocomposto + Griglia + Ghiaietto + Bauletto in geotessuto e ghiaietto	• Geotessuto + Ghiaietto • Geocomposto + Ghiaietto • Geocomposto + Ghiaia + Ghiaietto • Geocomposto + Ghiaia + Bauletto in geotessuto e ghiaietto • Geocomposto + Ghiaietto + Bauletto in geotessuto • Geocomposto + Griglia + Ghiaia + Bauletto in geotessuto e ghiaietto
	Rinfianco	Ghiaietto	Ghiaietto	• Geotessuto + Ghiaietto • Geocomposto + Ghiaietto	• Ghiaietto • Geotessuto + Ghiaietto
Interventi sul sistema	Tubo rigido	Nicchia per bicchiere	Nicchia per bicchiere	Nicchia per bicchiere	Nicchia per bicchiere
	Tubo flessibile	Elevata rigidezza anulare a t_∞	Elevata rigidezza anulare a t_∞	Elevata rigidezza anulare a t∞ Rigidezza longitudinale costante Giunto compatibile con le rotazioni	Elevata rigidezza anulare a t∞ Rigidezza longitudinale costante Giunto compatibile con le rotazioni
	Pozzetti	Guarnizioni di tenuta Tronchetti di collegamento	Guarnizioni di tenuta Tronchetti di collegamento	Guarnizioni di tenuta Giunzione a rotazione Tronchetti di collegamento	Guarnizioni di tenuta Giunzione a rotazione Tronchetti di collegamento

Tab. 2.4 Descrizione sintetica degli interventi sul terreno costituente il letto di posa e il rinfianco e prescrizioni sul sistema (le informazioni riportate nella sottostante tabella sono tratte dalle "Linee guida per la progettazione e la realizzazione di fognature in gres ceramico", Aprile 2008, mod.).

e del carico idrostatico al di sotto dello scavo;
- la fluttuazione stagionale della superficie freatica;
- l'analisi degli effetti prodotti dall'abbassamento della superficie freatica sui fabbricati adiacenti all'area di lavoro.

L'esecuzione di uno o più sondaggi, tramite perforazione del terreno sottostante il futuro scavo, consentono di accertare la successione stratigrafica dello stesso. Il numero dei sondaggi è in rapporto alle dimensioni dello scavo, mentre la loro profondità deve essere almeno 1,5 volte quella dello scavo o qualche metro entro il substrato impermeabile della falda in modo da conoscere con precisione lo spessore dello strato acquifero. Lo scopo di tali sondaggi è quello di ricavare le curve granulometriche, necessarie per valutare la conducibilità idraulica del terreno e poter scegliere quindi il metodo di drenaggio più idoneo (Figura 3.1).

3.2 Metodi per il drenaggio

I metodi di drenaggio impiegati per il prosciugamento degli scavi sono:
- pompe operanti direttamente all'interno dello scavo *(sump pump)*;
- well-point;
- pozzi profondi con pompe sommerse *(deepwells)*;
- fori o cunicoli drenanti sub-orizzontali *(horizontal pipe dewatering)*;
- pozzi a tubo eiettore *(ejectors)*.

Nella Figura 3.1 sono riportati i campi di impiego di alcuni dei sopraccitati metodi per il drenaggio, in funzione della conducibilità idraulica *(permeability)* e dell'abbassamento *(drawdown)*.

I metodi normalmente impiegati per il prosciugamento degli scavi in trincea sono le pompe operanti direttamente all'interno dello scavo *(sump pump)* e i *well-points*.

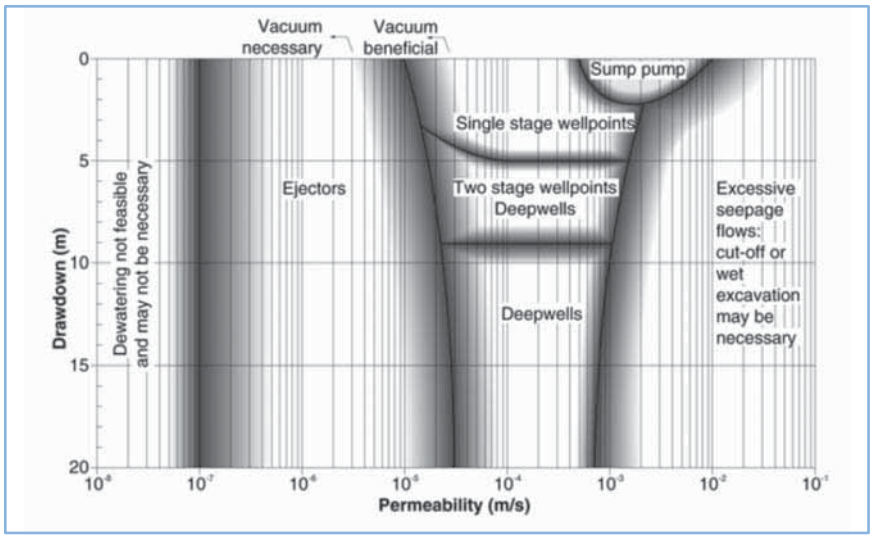


Fig. 3.1 *Campi di impiego di alcuni metodi per il drenaggio della falda (da Preene, M, Roberts, T O L, Powrie, W and Dyer, M R (1997). Groundwater Control: Design and Practice. CIRIA Report C515).*

Il metodo di drenaggio con pompe operanti direttamente all'interno dello scavo (sump pump) è quello più semplice per prosciugare l'acqua penetrata in trincea. Tale metodo può essere utilizzato per abbattimenti e svuotamenti di modesta entità in terreni limosi argillosi scarsamente permeabili e sufficientemente compatti oppure in terreni ghiaiosi con elevata permeabilità, impiegando pompe di notevole portata per quest'ultimo.
Nei terreni in cui esiste il rischio che il passaggio dell'acqua trascini particelle fini, è necessario prendere ulteriori provvedimenti per ridurre la velocità del flusso. Ciò può essere ottenuto infiggendo la casseratura di contenimento ad una quota inferiore a quella del fondo scavo. In tal caso, il Progettista deve valutare se lasciare la casseratura in situ come parte integrante dell'opera permanente oppure se rimuoverla al termine delle operazioni di posa. Profondità di infissione e costo della casseratura limitano l'adozione di tale scelta solo ai casi in cui il terreno è compatto oppure la parte di trincea sotto falda è ridotta.
Qualora il coefficiente di conducibilità idraulica risulti essere molto elevato (campo ricadente nella destra della Figura 3.1), e si debbano contenere gli effetti delle venute d'acqua, è opportuno ricorrere a sistemi di impermeabilizzazione dello scavo mediante: getti di conglomerato, iniezioni di miscele (malta liquida, bentonite), congelamento, tampone bentonitico, tampone in calcestruzzo eseguito in acqua (Cestelli Guidi, 1991).
Il sistema well-point è costituito da una pompa munita di depressore e da un insieme di punte perforanti-filtranti (ossia i well-points) che vengono infisse nel terreno mediante trivellazione a getto oppure lancia ad acqua ad alta pressione, e attraverso le quali avviene l'aspirazione dell'acqua di falda. Ciascun well-point, in genere circondato da sabbia a grana grossa che funge da filtro calibrato, è collegato a un condotto di aspirazione, a sua volta collegato a un collettore orizzontale connesso ad una pompa che mette in depressione i condotti di aspirazione. Durante l'aspirazione ogni well-point modifica la superficie d'acqua, generando così un conoide in asse sul punto di aspirazione e con il vertice rivolto verso il basso.
La profondità e l'interasse dei well-points risultano essere funzione della natura del terreno, della sua permeabilità e del valore di abbattimento richiesto rispetto al livello

indisturbato della falda freatica.
Normalmente i well-points vengono installati lungo un asse parallelo all'asse della trincea prevista, e comunque esterno alla stessa. Possono essere installati su un solo lato della trincea o su entrambi i lati della stessa. I well-points sono limitati a terreni con coefficienti di conducibilità idraulica compresi tra 10-6 e 10-3 m/s. La profondità massima di trincea che può essere drenata in un'unica fase di lavoro è all'incirca 6.0 m, che si riduce a 4.0 m in presenza di alte percentuali di limo e se si installa una sola fila di well-point.

4. REALIZZAZIONE DELLA TRINCEA DI POSA

Lo scavo della trincea per la posa delle tubazioni deve essere realizzato rispettando le prescrizioni indicate al paragrafo 6 "Scavi" della norma UNI EN 1610 (1999).
Normalmente le tubazioni vengono posate nel terreno in uno scavo appositamente praticato. La quota di fondo scavo della trincea è data dalla somma tra la quota del fondo del tubo e lo spessore del letto di posa. Normalmente le trincee, soprattutto quelle realizzate per la posa delle tubazioni nei centri urbani, sono a parete verticale e lo scavo è armato.

4.1 Esecuzione dello scavo

Per la realizzazione della trincea di posa è preferibile l'utilizzo di una benna senza denti. Bisogna inoltre assicurare uno scavo regolare e con terreno stabile. Inoltre, la larghezza dello scavo da realizzare deve tener conto delle dimensioni delle pareti delle opere di sostegno provvisionali. La norma UNI EN 1610 (1999) stabilisce la larghezza minima per le trincee supportate. La larghezza di scavo complessiva è pari alla larghezza minima alla quale bisogna aggiungere gli spessori delle opere.

4.2 Esecuzione dello scavo

Le attuali normative sulla sicurezza prevedono obbligatoriamente l'armatura dello scavo per altezze superiori a 1.50 m. Normalmente, per la posa delle condotte in trincea si ricorre al blindo-scavo. Il blindo-scavo è particolarmente adatto in terreni ghiaiosi e in terreni coesivi compatti. In alternativa o per problemi specifici, quali posa delle condotte in terreni sabbiosi, limosi e argillosi in presenza di falda, è opportuno proteggere lo scavo a mezzo di palancole ad infissione (ad es., palancole tipo Larsen).
Nel caso del blindo-scavo, le operazioni da eseguire consistono nel fare affondare il blindo-scavo nella trincea man mano che lo scavo avanza in direzione verticale (in genere tali opere di sostegno temporaneo sono auto-affondanti). Le maestranze possono accedere in trincea per le operazioni di posa in opera dei tubi solo dopo che l'armatura ha raggiunto il fondo della trincea e possono operare solo nella zona di lavoro all'interno del blindo-scavo. Inoltre, non potranno sostare in prossimità dei fronti dello scavo, che andranno profilati secondo l'angolo di natural declivio indicato nella relazione geotecnica.
Si fa osservare che durante l'estrazione del blindo-scavo lo spazio precedentemente occupato da tale opera di sostegno provvisionale viene occupato dal terreno di rinfianco (Figura 4.1).
Ciò comporta una modifica del grado di compattazione del rinfianco, che va ad incidere in maniera sostanziale sulla distribuzione e sull'entità del carico dovuto al rinterro sulla condotta. Pertanto, sarebbe buona regola estrarre gradualmente il blindo-scavo e, contestualmente, ricompattare il rinterro.

Le operazioni da seguire per la protezione dello scavo con palancole ad infissione consistono:
- nel tracciare il pre-scavo;
- nell'infiggere le palancole a mezzo di maglio battente;
- nel procedere con lo scavo una volta terminata l'operazione di infissione della doppia fila.

Nel caso in cui la profondità di scavo risulti essere molto elevata è necessario prevedere delle controventature.

4.3 Abbassamento della falda

Come già precedentemente detto, in presenza di acqua di falda l'operatività della posa viene compromessa se non si provvede ad abbassarne il livello al di sotto del fondo scavo o comunque al di sotto di un letto drenante (tale operazione è da mettere in atto quando si deve ricorrere all'aggottamento della portata con pompe operanti direttamente all'interno dello scavo). Le modalità di drenaggio sono quelle già discusse al paragrafo 3.2.

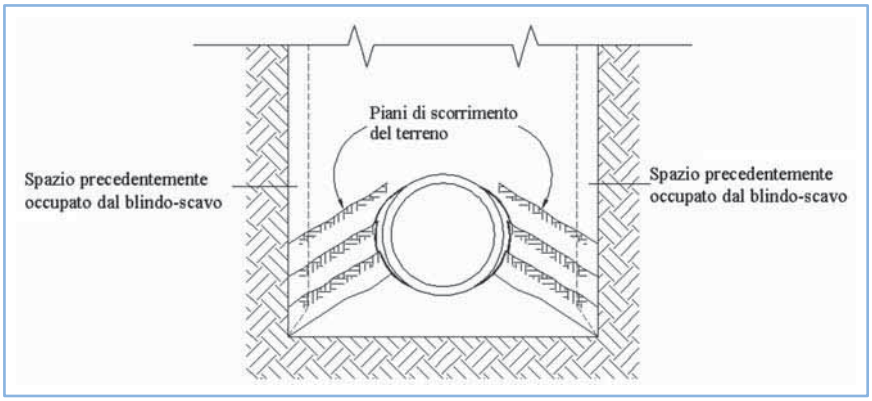


Fig. 4.1 Effetti prodotti dal sollevamento del blindo scavo.

5. FORMAZIONE DELL'ANGOLO DI APPOGGIO IN PRESENZA DI FALDA

La corretta realizzazione del letto di posa è un'operazione fondamentale per assicurare la stabilità strutturale delle condotte. Per tale ragione nella progettazione del letto di posa è necessario prendere le dovute cautele, soprattutto quando si è in presenza di acqua di falda. Il letto di posa deve essere caratterizzato da un appoggio uniforme e da un ampio angolo d'appoggio. Inoltre i materiali usati per la realizzazione del letto di posa, al fine di garantire la già citata stabilità e la resistenza meccanica della condotta interrata, devono essere conformi ai sottopunti del paragrafo 5.3 "Materiali usati per il rivestimento" della norma UNI EN 1610 (1999). Scegliendo sempre le dimensioni dell'inerte in funzione del diametro del tubo (si veda faccia riferimento a quanto riportato nel paragrafo 5.3 UNI EN 1610, 1999), è preferibile utilizzare materiale granulare a spigoli vivi al fine di favorire l'auto-compattazione dell'inerte per un fenomeno di incastro dei grani.
Per la posa in falda è necessario:

- verificare le caratteristiche e la consistenza del fondo scavo;
- seguire le prescrizioni progettuali per l'eventuale bonifica del piano di appoggio.

È importante osservare che l'oscillazione della falda in trincee costituite da materiali a grana fine può andare a inficiare la stabilità del letto di posa. I letti di posa costituiti da materiali granulari favoriscono il flusso dell'acqua di falda tra i granuli. Tale azione, asportando il materiale fine posto nell'intorno del letto di posa e facendolo migrare all'interno dello stesso letto, causa una perdita di supporto al letto di posa e, di conseguenza, alla tubazione. Ciò può accadere soprattutto in terreni torbosi, limosi, sabbiosi sciolti e in argille alluvionali da soffici a molto soffici.
Un metodo efficace per prevenire il movimento di materiale fine è quello di avvolgere l'intero letto di posa, includendo anche il materiale di rinfianco, in un geotessuto come mostrato nella Figura 5.1.

In tal modo si permetterà all'acqua di falda di circolare attraverso il letto di posa, ma si impedirà alle particelle di muoversi verso il letto di posa, mantenendo esse nel terreno intorno alla trincea. Tale misura di protezione dovrebbe essere adottata anche per prevenire il movimento di materiale fine al di sotto dei pozzetti.
Le specifiche del geotessuto, in particolare la dimensione dei pori, dovrebbero essere messe in relazione con le dimensioni del materiale fine costituente il terreno in situ.

Di seguito si riportano alcune indicazioni per la formazione del letto di posa in presenza di falda a seconda della tipologia di terreno in situ ("Linee guida per la progettazione e la realizzazione di fognature in gres ceramico", Aprile 2008), rimanendo ben inteso che le scelte riguardanti la progettazione del letto di posa e l'utilizzo dei materiali per la costituzione dello stesso devono essere sempre fatte dal Progettista sulla base delle informazioni acquisite dallo stesso.

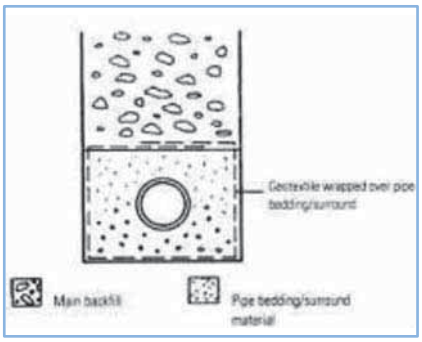


Figura 5.1 Rivestimento avvolto in geotessuto.

Formazione del letto di posa in falda in caso di terreno ghiaioso di grossa granulometria

Bonificare il piano di posa con un fondo in ghiaia (dimensioni 15÷40 mm a seconda del diametro nominale del tubo; spessore del fondo in ghiaia 150 mm), quindi realizzare il letto di posa in ghiaino (dimensione 3÷15 mm; spessore del letto di posa in ghiaino 100 mm) (Figura 5.2). Valutare l'opportunità di impiego del geotessuto.

Fig. 5.2 Esempio di formazione del letto di posa in falda in caso di terreno ghiaioso di grossa granulometria (immagine tratta da "Linee guida per la progettazione e la realizzazione di fognature in gres ceramico", Aprile 2008).

Formazione del letto di posa in falda in caso di terreno coesivo e compatto

Scegliere una delle opzioni riportate in Tabella 2.4 relativa ai terreni a grana fine, utilizzando ghiaia/ghiaino (dimensioni 10÷25 mm a seconda del diametro nominale del tubo) per realizzare lo spessore del letto di posa (150 mm) (Figura 5.3).

Formazione del letto di posa in falda in caso di terreno sabbioso o limoso

Scegliere una delle opzioni riportate in Tabella 2.4, a seconda che si tratti di sabbia o limo, utilizzando per la formazione del letto di posa uno strato di ghiaia/breccia (dimensione 25÷50 mm; spessore dello strato 150 mm) più uno strato di ghiaino (dimensione 5÷15 mm; spessore dello strato 150 mm) (Figura 5.4).

Formazione del letto di posa in falda in caso di limi "liquidi"

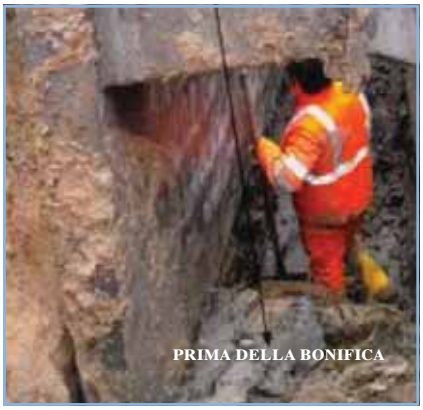
Scegliere una delle opzioni riportate in Tabella 2.4 valida per i terreni costituiti da limo, utilizzando per la formazione del letto di posa uno strato di ghiaia/breccia (dimensione dei grani 25÷50 mm; spessore dello strato 150 mm) più uno strato di ghiaino (dimensione dei grani 5÷15 mm; spessore dello strato 150 mm).

Formazione del letto di posa in falda in caso di terreno a ridotta portanza

Quando il terreno sottostante il fondo della trincea ha una bassa capacità portante e non è capace di supportare in modo adeguato il letto di posa, è necessario stabilizzare il fondo prima delle operazioni di posa della tubazione. Di seguito sono illustrate alcune possibili soluzioni.

Realizzare il letto di posa con uno strato di ghiaia/breccia (dimensioni 20÷50 mm; spessore 150 mm), più soletta di allettamento in calcestruzzo (spessore 150 mm), più letto di posa in ghiaino (dimensioni 3÷15 mm; spessore 150 mm). In alternativa, stendere un telo di geotessuto, più strato di ghiaia (dimensioni 15÷40 mm; spessore 100 mm), più geocomposto triplo strato, più letto e rinfianco in ghiaino (3÷15 mm) e chiusura a bauletto del geotessuto (Figura 5.5).

Nel caso sia impiegata la soletta in calcestruzzo, attendere il tempo di presa del calcestruzzo.



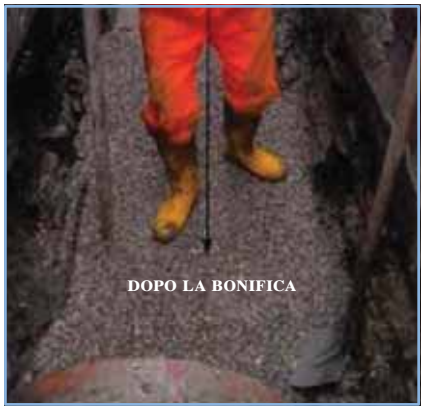
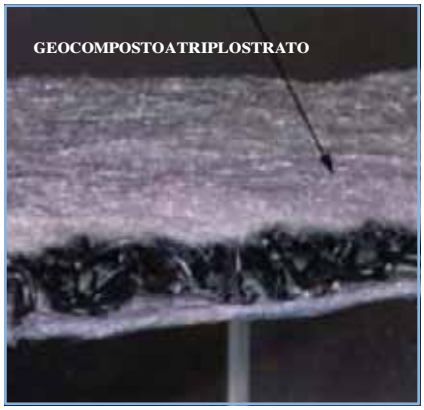


Fig. 5.3 *Esempio di formazione del letto di posa in falda in caso di terreno coesivo e compatto (immagine tratta da "Linee guida per la progettazione e la realizzazione di fognature in gres ceramico", Aprile 2008).*

Fig. 5.4 *Esempio di formazione del letto di posa in falda in caso di terreno limoso o sabbioso (immagine tratta da "Linee guida per la progettazione e la realizzazione di fognature in gres ceramico", Aprile 2008).*



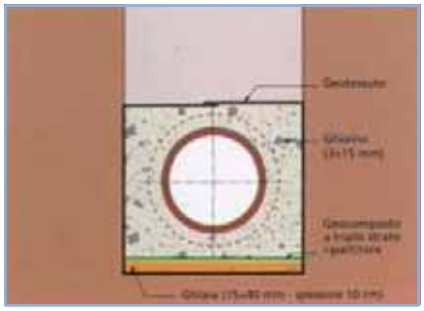


Fig. 5.5 *Esempio di formazione del letto di posa in falda per terreni a ridotta portanza (immagini tratte da "Linee guida per la progettazione e la realizzazione di fognature in gres ceramico", Aprile 2008).*

6. POSA DELLE CONDOTTE

Una volta realizzato il letto di posa, è possibile posare i tubi. Nel caso di posa di tubi rigidi è necessario realizzare delle nicchie in corrispondenza delle giunzioni per allocare i bicchieri e per far sì che la barra (parte cilindrica del tubo) poggi uniformemente sul letto di posa lungo la direzione longitudinale, evitando quindi che i tubi restino appoggiati solo sui bicchieri (ciò è da evitare assolutamente per scongiurare collassi strutturali dei tubi). Inoltre, la giunzione tra due tubi deve avvenire innestando sempre la punta nel bicchiere e fino a fondo battuta.

7. RINFIANCO E RINTERRO DELLE CONDOTTE

L'operazione di rinfianco consiste nel riempire la zona della trincea compresa tra il letto di posa e la generatrice superiore del tubo. Il rinfianco, così come il letto di posa, è importante per la stabilità strutturale del tubo. Inoltre i materiali usati per la realizzazione del rinfianco, al fine di garantire la già citata stabilità e la resistenza meccanica della condotta interrata, devono essere conformi ai sottopunti del paragrafo 5.3 "Materiali usati per il rivestimento" della norma UNI EN 1610 (1999).
In presenza di falda, scegliere una delle opzioni riportate in Tabella 2.4, a seconda del tipo di terreno in situ. Inoltre, sia per i terreni ghiaiosi che per quelli sabbiosi, è opportuno valutare la possibilità di utilizzare il geotessuto sì da avvolgere sia il rinfianco che il letto di posa.
Infine, lo scavo deve essere riempito con materiale previsto dal progetto, avendo cura d compattarlo opportunamente per evitare eccessive deformazioni del piano stradale.

8. VERIFICA STRUTTURALE DI UNA TUBAZIONE RIGIDA

Una tubazione rigida è staticamente verificata se risulta:

$$\frac{B_f \cdot F_N}{F_{tot}} = FS \geq FS_{Minimo}$$

in cui:
- B_f è il fattore di posa;
- F_N è il carico di rottura;
- F_{tot} è la risultante delle forze verticali agenti sul tubo;
- FS il fattore di sicurezza a rottura;
- FS_{Minimo} il fattore di sicurezza minimo a rottura, normalmente assunto pari a 1.5.

Nei successivi paragrafi si riportano alcune considerazioni su come la falda e le modalità esecutive influenzano, a mezzo di specifici parametri, il carico prodotto dal rinterro su una condotta rigida posata in una trincea a pareti verticali (caso trattato nel presente lavoro). Invece, non si entrerà nel merito né sarà trattata la procedura per la determinazione dei carichi prodotti dal peso proprio della condotta e del liquido trasportato, dai sovraccarichi statici e dai carichi prodotti dal traffico veicolare, rimandando per ciò alla norma ATV-DVWK-A 127E (2000) e a quanto dettagliatamente descritto nelle Linee guida per la progettazione e la realizzazione di fognature in gres ceramico (2008).
Successivamente, si analizza un importante parametro che, insieme al carico di rottura del tubo, gioca un ruolo fondamentale sul fattore di sicurezza: il fattore di posa.

8.1 Carico prodotto dal rinterro su una condotta rigida

La risultante delle forze verticali agenti su un tubo posato in trincea (non considerando il peso proprio della condotta e del liquido trasportato e i sovraccarichi statici) è definita dalla seguente relazione (ATV-DVWK-A 127E, 2000):

$$F_{tot} = \lambda_{RG} \cdot \kappa \cdot \gamma \cdot h \cdot D_e + p_v \cdot D_e$$

in cui:
- λ_{RG} è il fattore di concentrazione del carico nel caso di tubo installato in trincea;
- κ il fattore di riduzione del carico;
- γ il peso specifico del rinterro;
- h la distanza intercorrente tra la generatrice superiore della condotta e il piano stradale;
- p_v la pressione esercitata sulla condotta dal carico stradale calcolato secondo la teoria di Boussinesq;
- D_e il diametro esterno della condotta.

Non si entra nel merito del calcolo della risultante prodotta dal carico stradale sul tubo, pV De, in quanto essa non è influenzata dalla presenza o assenza della falda né tantomeno dalle modalità esecutive con cui si eseguono il rinterro e il rivestimento (ossia i materiali posti nell'intorno del tubo, costituenti il letto di posa, il rinfianco e il rinterro iniziale).

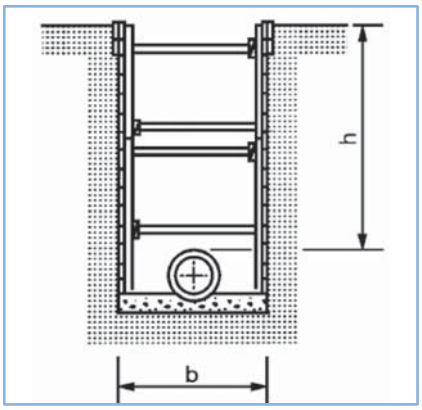


Fig. 8.1 Trincea a pareti verticali con protezione delle pareti di scavo

Invece, il carico del rinterro agente sul tubo è fortemente dipendente:
- dall'esecuzione dello stesso rinterro e dalle modalità di rimozione delle opere di sostegno provvisionali;
- dall'esecuzione del rivestimento e dalle modalità di rimozione delle opere di sostegno provvisionali;
- dalle dimensioni geometriche della trincea (altezza, larghezza della trincea, angolo della parete della trincea β (Figura 8.1));
- dalle caratteristiche del terreno di rinterro.

Di tutte queste influenze si tiene conto tramite i parametri di seguito analizzati.

8.1.1 Fattore di riduzione del carico

Riguardo al fattore di riduzione del carico, κ, esso è definito, in accordo con la "teoria del silo", dalla seguente relazione:

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

in cui:

- b è la larghezza dello scavo;
- K_1 è il rapporto tra la tensione orizzontale e la tensione verticale del terreno;
- δ è l'angolo di attrito che si sviluppa all'interfaccia tra il terreno di rinterro e il terreno costituente la parete della trincea.

Si osserva che per la riduzione del carico generato dal rinterro sul tubo – sintetizzato dal fattore di riduzione del carico κ – sono decisive le pressioni laterali e, di conseguenza, gli sforzi tangenziali, che si sviluppano all'interfaccia parete di scavo-rinterro. Ne consegue che le modalità di esecuzione del rinterro influiscono pesantemente sull'attivazione e sull'intensità degli sforzi tangenziali, che si sviluppano all'interfaccia parete di scavo-rinterro. Infatti, i parametri K1 e δ dipendono dalle modalità con cui viene realizzato il rinterro. A tal riguardo, la norma ATV-DVWK-A 127E (2000) prevede quattro diverse classi di rinterro, descritte nella Tabella 8.1.

Dalla Tabella 8.1 si evince che quando le modalità esecutive prevedono l'impiego in trincea di opere di sostegno provvisionali le classi di rinterro cui far riferimento sono la A2 (nel caso di utilizzo di opere provvisionali con spessori di parete ≤80 mm) e la A3 (nel caso di utilizzo di opere provvisionali con spessori di parete >80 mm).

Nella Tabella 8.2 si riportano i valori dei suddetti parametri in funzione delle descritte classi di rinterro.

Dalla Tabella 8.2 si osserva che l'angolo d'attrito all'interfaccia δ è funzione dell'angolo di attrito interno φ'. Se per il rinterro si utilizza un terreno diverso da quello scavato, si sceglie il minore degli angoli di attrito corrispondenti ai due tipi di terreno a contatto.

In Figura 8.2, sono riportati gli andamenti teorici del fattore di riduzione κ in funzione del rapporto h/b, al variare del tipo di terreno (G1÷G4) (si veda Tabella 8.3) per ciascuna classe di rinterro (A1÷A4).

Classi di rinterro	Modalità di esecuzione
A1	Rinterro della trincea con strati di terreno compattati direttamente contro le pareti di scavo, senza controllo del grado di compattazione raggiunto.
A2	Rinterro della trincea con protezione delle pareti di scavo mediante opportune opere di sostegno provvisionali estratte gradualmente durante le operazioni di rinterro.
A3	Rinterro della trincea con protezione delle pareti di scavo mediante opportune opere di sostegno provvisionali estratte al termine delle operazioni di rinterro.
A4	Rinterro della trincea con strati di terreno compattati direttamente contro le pareti di scavo, con controllo del grado di compattazione raggiunto.

Tab. 8.1 Classi di rinterro

Classe di rinterro	Coefficiente di spinta K1	Angolo d'attrito all'interfaccia δ
A1	0.5	$\frac{2}{3}\varphi'$
A2	0.5	$\frac{1}{3}\varphi'$
A3	0.5	0
A4	0.5	φ'

Tab. 8.2 Valori dei parametri K1 e δ in funzione delle classi di rinterro

Gruppo di terreno	Tipo di terreno	Peso specifico (kN/m³)	Angolo di attrito interno
G1	Terreni ghiaiosi-sabbiosi non plastici	20	35°
G2	Terreni ghiaiosi-sabbiosi con frazione limoso-argillosa <15%	20	30°
G3	Terreni misti con frazione limoso-argillosa compresa tra il 15 e il 35% e limi	20	25°
G4	Terreni limo-argillosi	20	20°

Tab. 8.3 Tipi di terreno (ATV-DVWK-A 127E, 2000)

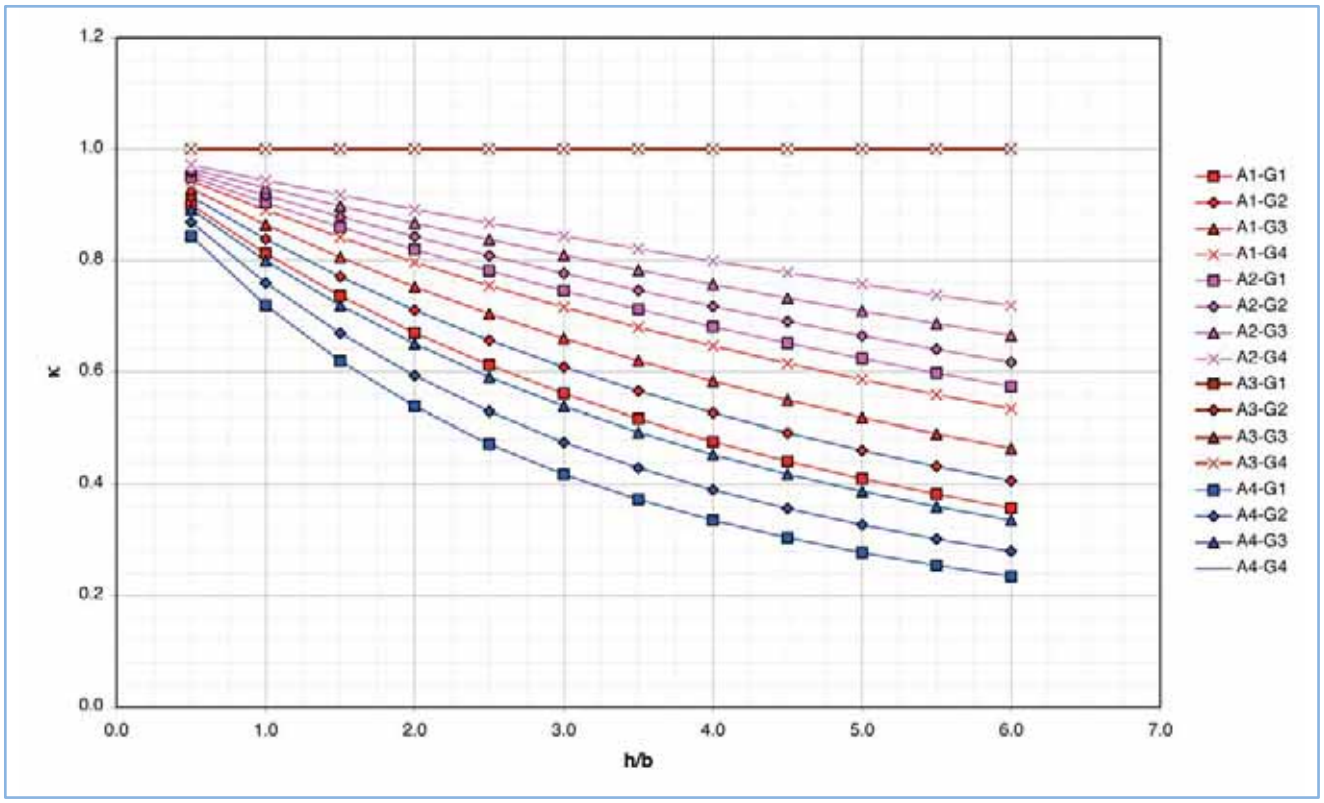


Fig. 8.2 Variazione del fattore di riduzione in funzione di h/b, al variare delle classi di rinterro e del tipo di terreno.

Dall'analisi del grafico si osserva che il fattore di riduzione del carico è fortemente dipendente dalla classe e dall'esecuzione del rinterro e, per una stessa classe, dalla tipologia di terreno.

In merito a tale parametro, per le difficoltà operative che si riscontrano in cantiere, è opportuno, a vantaggio di sicurezza, porre $\kappa=1$. Ciò va fatto anche nel caso di presenza di falda.

8.1.2 Fattore di concentrazione

Nelle condotte interrate la ripartizione del carico tra il tubo e il terreno ad esso circostante è funzione del rapporto tra la rigidezza del tubo e quella del terreno. Nel caso delle tubazioni rigide, a causa della loro elevata rigidezza rispetto a quella del terreno posto nell'intorno, la concentrazione di carico si registra sulla stessa tubazione. L'intensità della concentrazione è possibile valutarla tramite il fattore di concentrazione del carico, λ_{RG}. Nel caso di trincee con $b/D_e<4$, tale parametro è definito dalla seguente relazione:

$$\lambda_{RG} = \frac{\lambda_P - 1}{3} \cdot \frac{b}{D_e} + \frac{4 - \lambda_P}{3}$$

in cui λ_P è il fattore di concentrazione per trincee con $b/D_e \geq 4$.
Per tubi rigidi, il fattore di concentrazione λ_P coincide con il fattore di concentrazione max λ, ed è definito dalla seguente relazione (ATV-DVWK-A 127E, 2000):

$$\lambda_P = \max \lambda = 1 + \frac{\frac{h}{D_e}}{\frac{3.5}{a'} + \frac{2.2}{\frac{E_4}{E_1} \cdot (a' - 0.25)} + \left[\frac{0.62}{a'} + \frac{1.6}{\frac{E_4}{E_1} \cdot (a' - 0.25)} \right] \cdot \frac{h}{D_e}}$$

in cui

- $a' = a \cdot \frac{E_4}{E_2} \geq 0.26$ è il valore della sporgenza efficace, a, corretto tenendo conto del modulo di deformabilità del terreno di rinterro iniziale, E_1, e del modulo di deformabilità del terreno di rinfianco, E_2;
- E_4 è il modulo di deformabilità del terreno costituente il fondo scavo.

Il fattore di concentrazione di carico λRG risulta quindi dipendere:

- dai valori dei moduli di deformazione del terreno E_1, E_2 ed E_4;
- dal gruppo di terreno;
- dalla sporgenza relativa efficace;
- dalla larghezza della trincea.

Moduli di deformazione

Per la posa di condotte in trincea la ATV-DVWK-A 127E (2000) prevede quattro distinte zone di terreno a ciascuna delle quali compete uno specifico modulo di deformazione (Figura 8.3 e Tabella 8.4).

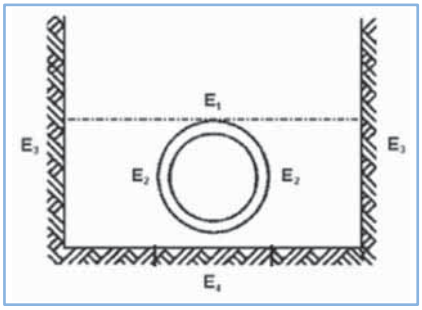


Fig. 8.3 Moduli di deformazione

A seconda delle modalità esecutive si distinguono quattro diverse classi di rinfianco, descritte nella sottostante Tabella 8.5.

Dalla Tabella 8.5 si evince che quando le modalità esecutive prevedono l'impiego in trincea di opere di sostegno provvisionali le classi di rinfianco cui far riferimento sono la B2 (nel caso di utilizzo di opere provvisionali con spessori di parete ≤80 mm) e la B3 (nel caso di utilizzo di opere provvisionali con spessori di parete >80 mm).

I valori dei moduli E_1 ed E_{20} relativi possono essere ottenuti dalla Tabella 8.6

Terreno	Modulo di deformazione
Rinterro	E_1
Rivestimento	E_2
Terreno costituente le pareti della trincea	E_3
Terreno sottostante il fondo della trincea	E_4

Tab. 8.4 Moduli di deformazione

Classi di rinfianco	Modalità di esecuzione
B1	Rinfianco della trincea con strati di terreno compattati direttamente contro le pareti di scavo, senza controllo del grado di compattazione raggiunto.
B2	Rinfianco della trincea con protezione delle pareti di scavo mediante opportune opere di sostegno provvisionali estratte gradualmente durante le operazioni di rinterro.
B3	Rinfianco della trincea con protezione delle pareti di scavo mediante opportune opere di sostegno provvisionali estratte al termine delle operazioni di rinterro.
B4	Rinfianco della trincea con strati di terreno compattati direttamente contro le pareti di scavo, con controllo del grado di compattazione raggiunto.

Tab. 8.5 Classi di rinfianco

Relativamente alla Tabella 8.6 è opportuno fare alcune osservazioni:

- la classificazione prevede uguale livello di compattazione per terreno di rinterro iniziale e quello di rinfianco, ossia $E_1=E_{20}$;
- si può assumere $E_{20}>E_1$ solo se il terreno di rinfianco è migliore di quello di rinterro e/o se il terreno di rinfianco ha grado di compattazione superiore a quello di rinterro;
- il terreno E_3 non interviene nel calcolo del carico su tubazioni rigide;
- in mancanza di informazioni dettagliate la ATV-DVWK-A 127E (2000) assume $E_4=10\cdot E_1$.

I valori di E_{20} riportati in Tabella 8.6 sono validi sotto le seguenti condizioni: terreni in cui sono assenti fenomeni di consolidazione, rapporti $b/D_e \geq 4$ e assenza di falda. Per condizioni differenti, si ottiene un modulo di deformabilità ridotto, E_2, che si valuta tramite la seguente relazione:

$$E_2 = f_1 \cdot f_2 \cdot \alpha_B \cdot E_{20}$$

in cui:

f_1 è un fattore di riduzione che tiene conto della consolidazione del terreno. Secondo la ATV-DVWK-A 127E (2000), f_1=1 per terreni appartenenti al gruppo G1 e G2; f1=0.8 per terreni appartenenti al gruppo G3; f1=0.5 per terreni appartenenti al gruppo G4.

f_2 è un fattore di riduzione che tiene conto della presenza della falda. Il

Classe di rinterro	A1		A2 e A3		A4	
Classe di rinfianco	B1		B2 e B3		B4	
Tipo di terreno	Grado di compattazione D_{Pr} (%) e moduli di deformazione E_1 ed E_{20} (MPa)					
G1	95	16	90	6	97	23
G2	95	8	90	3	97	11
G3	92	3	90	2	95	5
G4	92	2	90	1.5	-	-

Tab. 8.6 Valori rappresentativi dei moduli di deformazione E_1 ed E_{20} (ATV-DVWK-A 127E, 2000)

fattore f_2 risulta essere così definito:

$$f_2 = \frac{D_{Pr} - 75}{20} \leq 1 \ ;$$

α_B è un fattore di riduzione che tiene dell'influenza della larghezza dello scavo sul grado di compattazione del rinfianco e quindi sul modulo di deformabilità E_2. Il fattore f_2 risulta essere così definito:

$$\alpha_B = 1 - \left(4 - \frac{b}{D_e}\right) \cdot \left(\frac{1-\alpha_{Bi}}{3}\right) \leq 1 \ ;$$

In Figura 8.4 si riporta l'andamento di α_B in funzione del rapporto b/D_e al variare della classe di rinfianco scelta.
Dal grafico si osserva che i fattori di riduzione minori si hanno per un rinfianco di classe B_3, mentre per un rinfianco di classe B_4 non si registra alcuna riduzione, infatti $\alpha_B=1$ qualsiasi sia il valore del rapporto b/D_e.

Sporgenza efficace

La sporgenza efficace risulta essere così definita (ATV-DVWK-A 127E, 2000):

$$a' = a \cdot \frac{E_1}{E_2}$$

in cui a è la sporgenza relativa.

La sporgenza efficace tiene conto non solo di parametri puramente geometrici, ma anche delle caratteristiche meccaniche del terreno.
Per posa su letti costituiti da materiale granulare e su massetti in calcestruzzo poco più larghi del diametro del tubo, a=1, qualsiasi sia l'angolo di appoggio (Figura 8.5).

Per posa su massetti in calcestruzzo molto più larghi del diametro del tubo, la sporgenza efficace, a, varia secondo l'angolo d'appoggio (Figura 8.6 e Tabella 8.7).

In Figura 8.7 si riporta l'andamento del parametro max λ in funzione del rapporto h/De, al variare della sporgenza efficace e per diversi valori E_4/E_1.

Dal grafico è possibile trarre utili osservazioni:

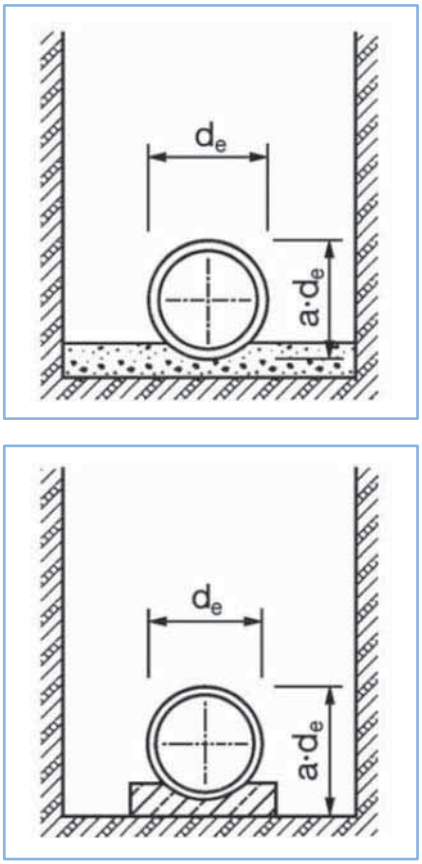


Fig. 8.5 *Sporgenza efficace per condotte posate su letti costituiti da materiale granulare e su massetti in calcestruzzo poco più larghi del diametro tubo.*

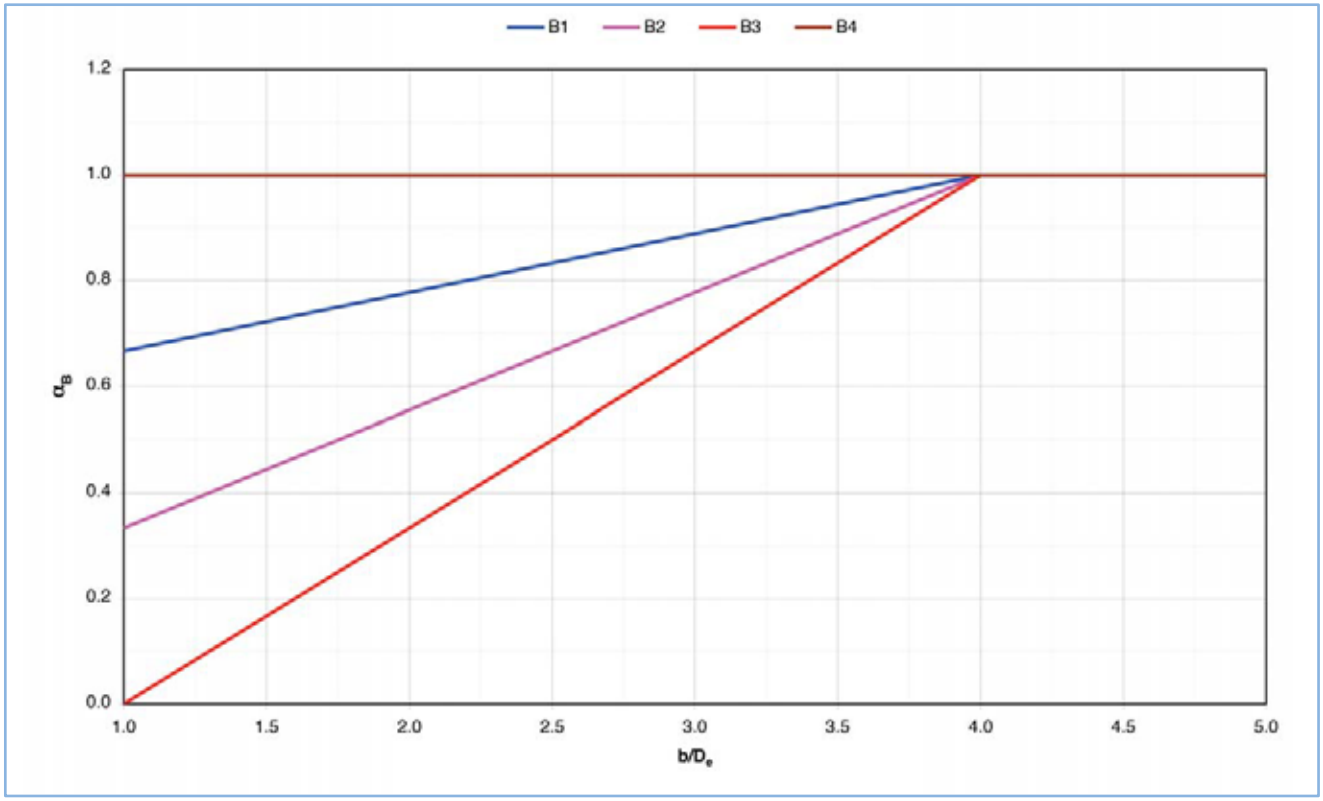


Fig. 8.4 *Variazione di B in funzione del rapporto b/De al variare della classe di rinfianco.*

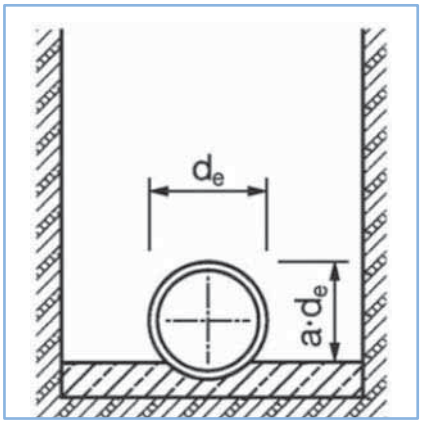


Fig. 8.6 Sporgenza efficace per condotte posate su massetti in calcestruzzo molto più larghi del diametro del tubo.

Angolo di appoggio 2α	A
90°	0.85
120°	0.75
180°	0.50

Tab. 8.7 Sporgenza efficace per condotte posate su massetti in calcestruzzo molto più larghi del diametro del tubo relative agli angoli di appoggio più comuni

- Il valore di max λ varia sensibilmente con la sporgenza efficace a′ e quindi, a parità di modalità di installazione, con il rapporto E_1/E_2. A parità di modalità di installazione e di rapporto E_4/E_1, il caso di posa con falda rispetto al caso di posa in assenza falda comporta la riduzione del modulo di deformazione E_2 rispetto al modulo di deformazione E_1 ($E_2<E_1$), ciò fa incrementare il valore della sporgenza efficace a′ e, di conseguenza, il valore di max λ.
- Il valore di max λ è influenzato, a parità di sporgenza efficace, dal rapporto E_4/E_1. Infatti, ridursi del valore del rapporto E_4/E_1 si riduce anche il valore di max λ.

In Figura 8.8 si riporta l'andamento del parametro λRG in funzione del rapporto h/D_e, al variare di λP=max λ. Dal grafico è possibile trarre utili osservazioni:
Per trincee caratterizzate da un rapporto $b/D_e<4$, il valore di λRG risulta essere inferiore al valore λP, mentre per rapporti $b/D_e>4$ si mantiene costante e pari al fattore di concentrazione λP.

Il valore del fattore di concentrazione λRG, a parità di rapporto b/D_e, cresce al crescere del fattore di concentrazione λP.

8.2 Fattore di posa

Quando un tubo rigido è posato in trincea il carico totale applicato, combinazione del peso del rinterro e dei carichi agenti in superficie, si distribuisce sulla parte superiore del tubo per l'intero diametro, mentre la reazione del letto di posa si distribuisce sulla parte inferiore del tubo su un tratto dipendente dall'angolo di appoggio (detto anche angolo di posa). Una siffatta configurazione di carico produce dei momenti flettenti lungo il profilo circonferenziale del tubo in genere più piccoli di

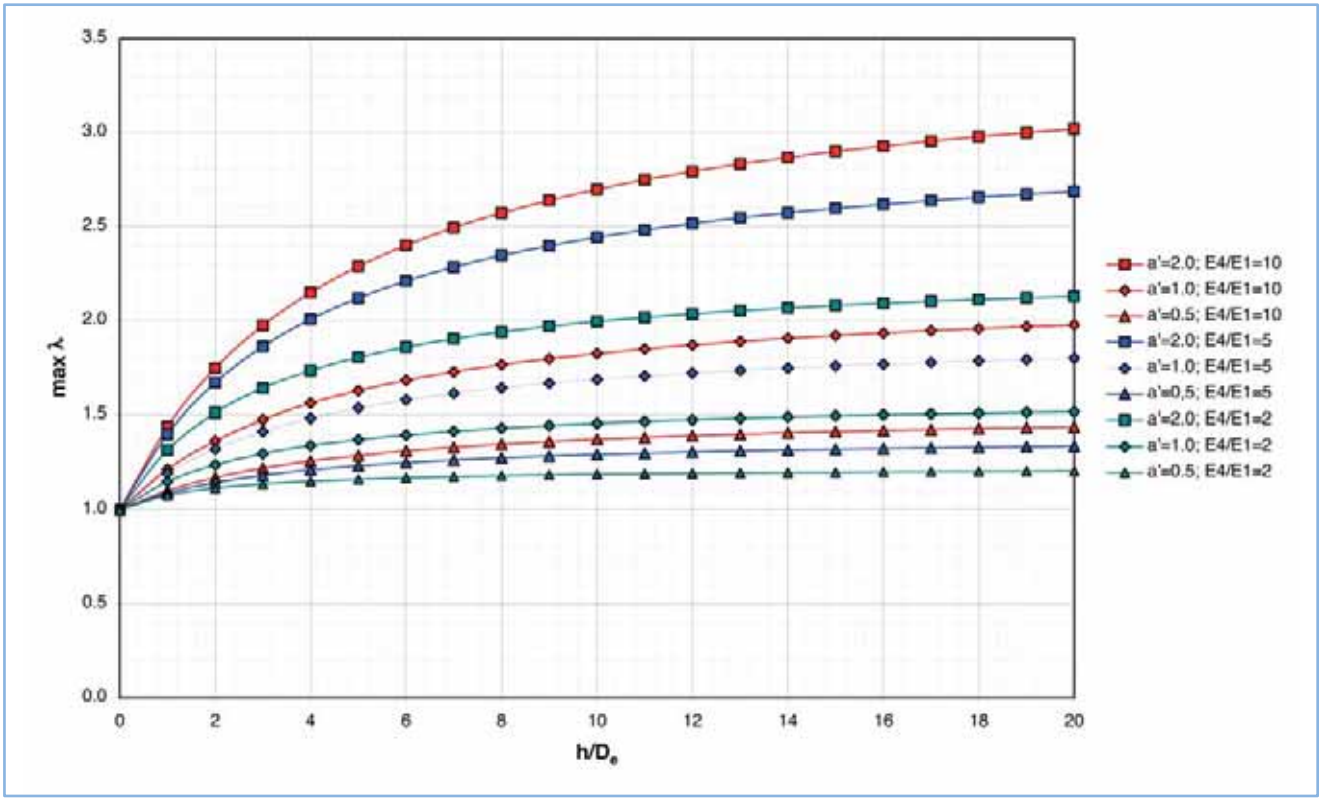


Fig. 8.7 Variazione del parametro max λ in funzione del rapporto h/D_e, al variare della sporgenza efficace e per diversi valori E_4/E_1.

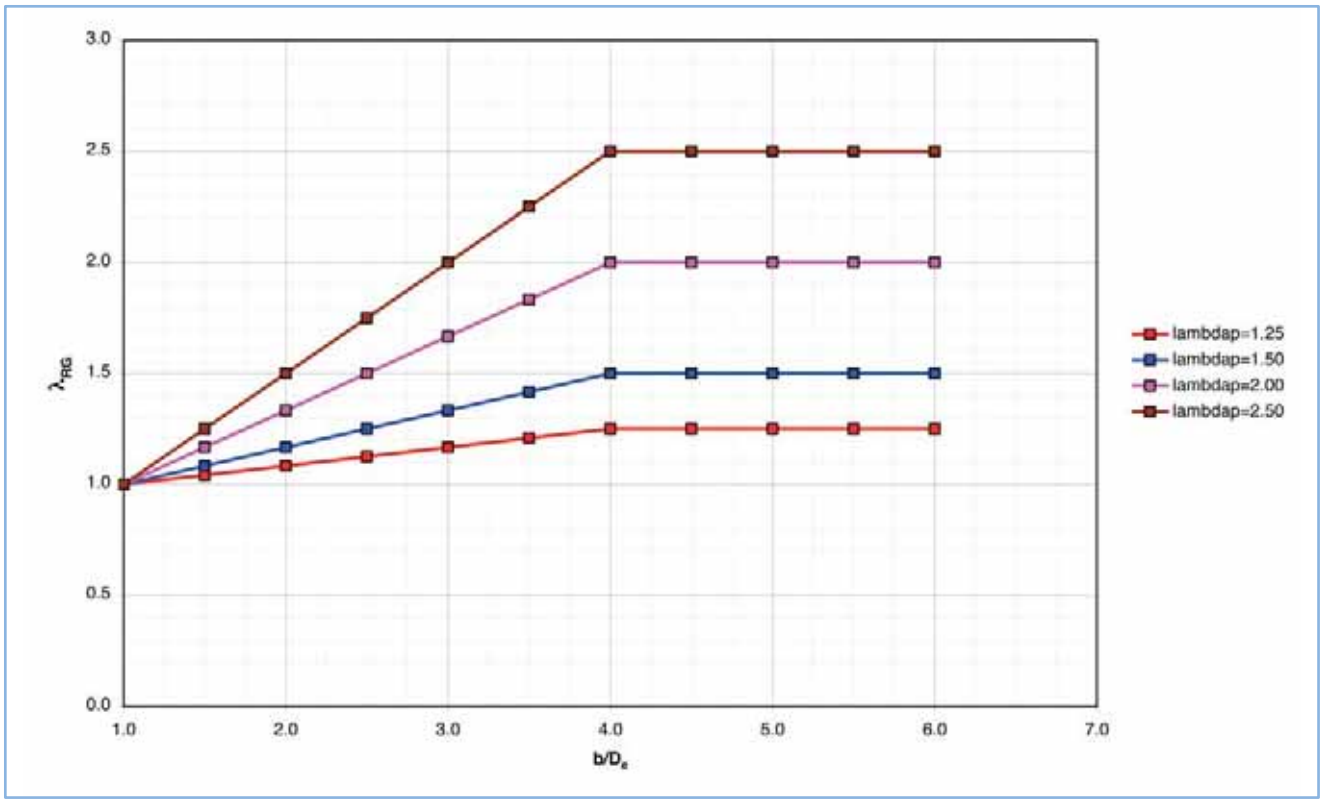


Fig. 8.8 Variazione del parametro λRG in funzione del rapporto b/D$_e$ al variare del parametro λP=max λ.

quelli ottenuti applicando lo stesso carico con la prova di laboratorio "3-Edge Bearing Test" (Figura 8.9).

In tal modo il carico necessario per produrre il collasso strutturale del tubo posato nel terreno è maggiore rispetto a quello applicato nella prova "3-Edge Bearing Test". Si definisce fattore di posa, Bf, il rapporto tra il carico necessario per produrre il collasso strutturale del tubo posato nel terreno e quello ottenuto tramite la prova "3-Edge Bearing Test" (Young e Trott, 1984). Il valore di tale parametro è fortemente influenzato dall'angolo di contatto tra la parte inferiore del tubo e il letto di posa.
Un modello idealizzato della distribuzione dei carichi di un tubo rigido posato nel terreno è mostrato in Figura 8.10, in cui si assume una distribuzione uniforme del carico sulla parte superiore del tubo, mentre per la parte inferiore del tubo si assume una reazione del letto di posa uniformemente distribuita su un angolo di appoggio 2α. In un siffatto modello il momento massimo si localizza nella parte inferiore del tubo.

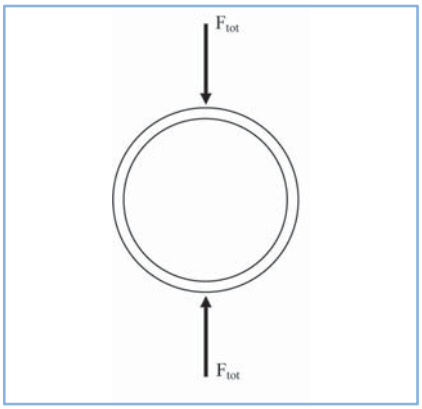


Fig. 8.9 Apparato sperimentale "3-Edge Bearing Test" e relativa schematizzazione della prova

Normalmente nella posa di tubi rigidi in trincea è usuale trascurare gli effetti prodotti dalla spinta orizzontale del terreno a causa della difficoltà di mantenere un elevato standard di compattazione del rinfianco. Nella Figura 8.11 è riportato l'andamento del fattore di posa per angoli di appoggio compresi tra 0° (appoggio puntuale) e 180° (letto di posa esteso fino all'asse orizzontale della sezione del tubo).

In Tabella 8.8 sono riportati i fattori di posa relativi ad angoli di appoggio comunemente adottati nella progettazione di tubazioni rigide installate in trincea su letti di posa costituiti da materiali granulari (ATV-DVWK-A 127E, 2000).

Nella Tabella 8.9 sono invece riportati i fattori di posa relativi ad angoli di appoggio comunemente adottati nella progettazione di tubazioni rigide installate in trincea su letti in calcestruzzo (ATV-DVWK-A 127E, 2000).

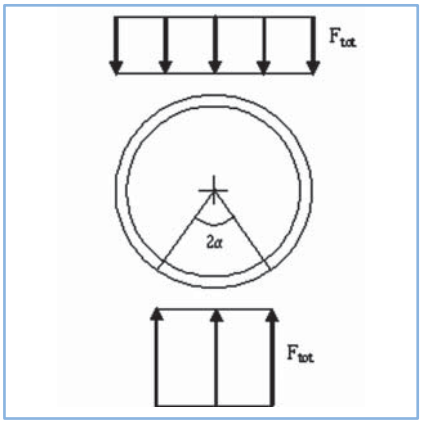


Fig. 8.10 Modello idealizzato di distribuzione dei carichi e reazione del letto di appoggio su un tubo rigido.

Angolo di appoggio 2α	B_f
60°	1.59
90°	1.91
120°	2.18

Tab. 8.8 Angoli di appoggio su letti di posa in materiale granulare (ATV-DVWK-A 127E, 2000)

Angolo di appoggio 2α	B_f
60°	2.17
90°	2.50
120°	2.68

Tab. 8.9 Angoli di appoggio su letti di posa in calcestruzzo (ATV-DVWK-A 127E, 2000)

In ogni operazione di posa in opera delle tubazioni è importante che gli angoli di appoggio definiti in sede progettuale siano effettivamente realizzati. Infatti, come si evince dalla Figura 8.11, modesti angoli di appoggio implicano ridotti valori di fattori di posa e quindi – a parità di altre condizioni (carico di rottura e risultante delle forze verticali agenti sul tubo) – fattori di sicurezza più bassi.

8.3 Carico di rottura

Il fattore di sicurezza, FS, può essere incrementato rispetto a quello minimo, FSMinimo, non solo agendo sull'incremento dell'angolo di appoggio ma anche incrementando il carico di rottura FN del tubo rigido, ossia scegliendo un tubo caratterizzato, a parità di diametro, da una classe di resistenza maggiore.

9. VERIFICA AL GALLEGGIAMENTO

Nel caso di condotte posate in falda è necessario effettuare la verifica al galleggiamento. Il galleggiamento di una condotta risulta dipendere da:

- il peso della condotta;
- il peso del volume d'acqua dislocato dalla condotta;

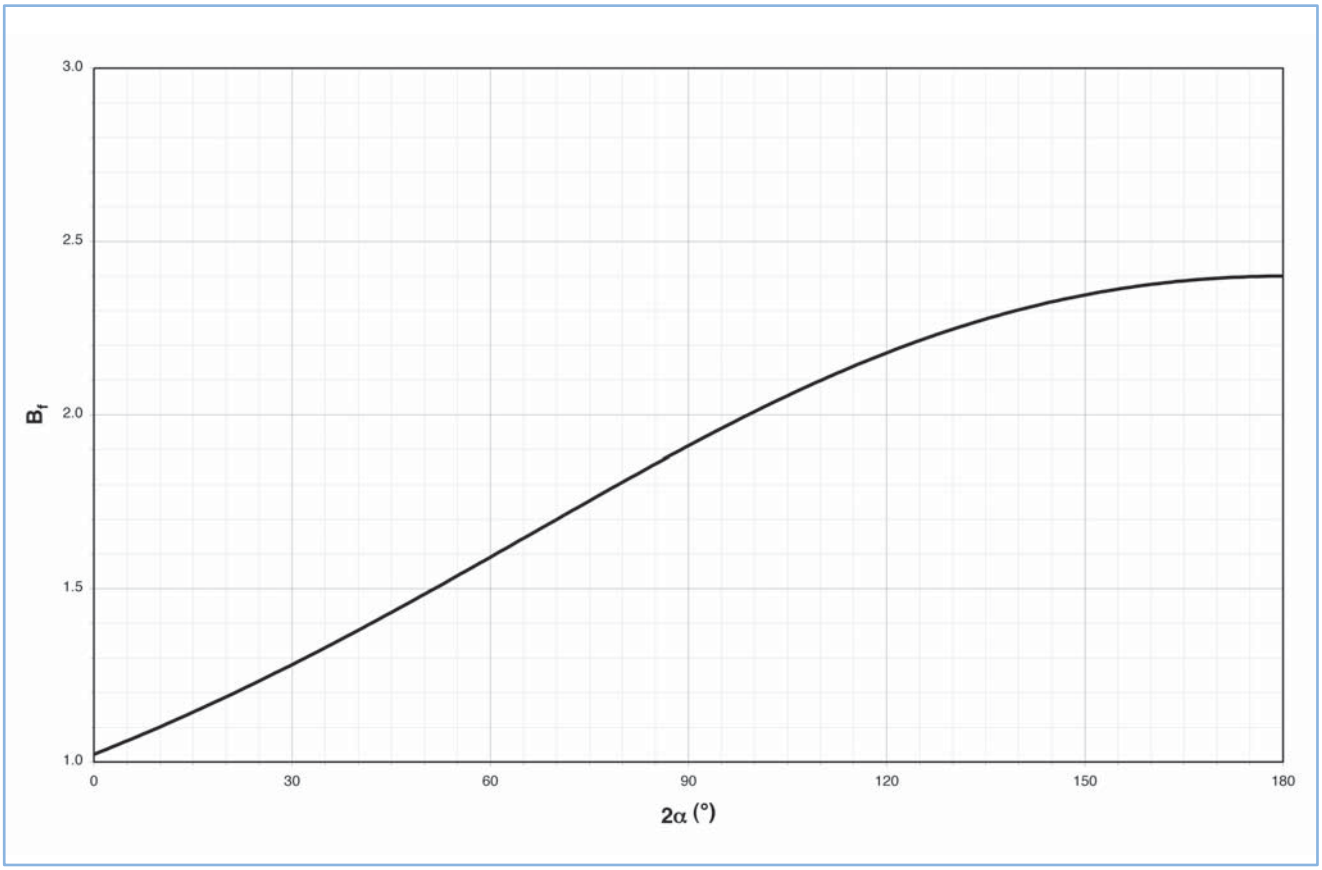


Fig. 8.11 Andamento del fattore di posa per angoli di appoggio compresi tra 0° e 180°.

- il peso del liquido convogliato dalla condotta (normalmente nella verifica al galleggiamento, tale peso si trascura, a vantaggio di sicurezza);
- il peso del rinterro gravante sul tubo.

Peso della condotta

Il peso della condotta può essere calcolato con la seguente relazione:

$$W_P = \frac{\pi}{4} \cdot \gamma_p \cdot \left(D_e^2 - D^2\right)$$

dove:

- W_P è il peso del tubo per unità di lunghezza del tubo stesso (in kN/m);
- γ_p è il peso specifico del tubo (in kN/m^3);
- D_e è il diametro esterno del tubo (in m);
- D è il diametro interno del tubo.

Nel caso di condotte in gres il peso specifico è pari a 22.0 kN/m^3.

Peso del volume d'acqua dislocato dal tubo

Il peso del volume d'acqua dislocato dal tubo si calcola secondo il principio di Archimede. Tale spinta agisce sul tubo immerso in falda dal basso verso l'alto, esercitando quindi sul tubo un'azione instabilizzante.

La spinta di galleggiamento può essere calcolata con la seguente relazione:

$$W_W = \frac{\pi}{4} \cdot \gamma_W \cdot D_e^2$$

dove:

- W_w è la spinta di galleggiamento per unità di lunghezza del tubo (in kN/m);
- γ_w è il peso specifico dell'acqua (in kN/m^3).

Peso del rinterro

Il peso che il rinterro esercita sul tubo è una forza agente dall'alto verso il basso. Tale peso e quello del tubo esercitano un'azione stabilizzante sul tubo stesso.

Il peso specifico del materiale compattato varia con il peso specifico dei grani, il diametro dei grani e il grado di compattazione.

Il peso specifico alleggerito del rinterro, γ', può essere calcolato come segue:

$$\gamma' = \gamma_D - \frac{\gamma_D}{\gamma_S}\gamma_W = \gamma_D \cdot \left(1 - \frac{\gamma_W}{\gamma_S}\right) = \gamma_D \cdot \left(1 - \frac{1}{G_S}\right)$$

in cui $G_S = \gamma_S / \gamma_W$ è il peso specifico relativo dei grani, γ_D il materiale secco costituente il rinterro e γ_S il peso specifico dei grani.

La Figura 9.1 illustra il rinterro sul tubo e i differenti volumi di rinterro da considerare.

Il volume di rinterro compreso tra l'asse orizzontale della condotta e la generatrice superiore del tubo è pari a

$\left(\frac{1}{2} - \frac{\pi}{8}\right) D_e^2$ (espresso in m^3/m).

Il volume di rinterro compreso tra la sommità del tubo fino alla superficie libera della falda è pari a $D_e \cdot H_f$

Il peso del riempimento immerso in falda può essere calcolato come segue:

$$W' = \gamma' \left[\left(\frac{1}{2 - \frac{\pi}{8}} \right) \cdot D_e^2 + D_e \cdot H_f \right]$$

dove

- W' è il peso del rinterro immerso in falda per unità di lunghezza del tubo (in kN/m);
- H_f è l'altezza del rinterro immerso in falda compreso tra la generatrice superiore del tubo e la superficie libera della falda (in m).

Il peso del rinterro asciutto posto al di sopra del livello della falda può essere calcolato con la seguente relazione:

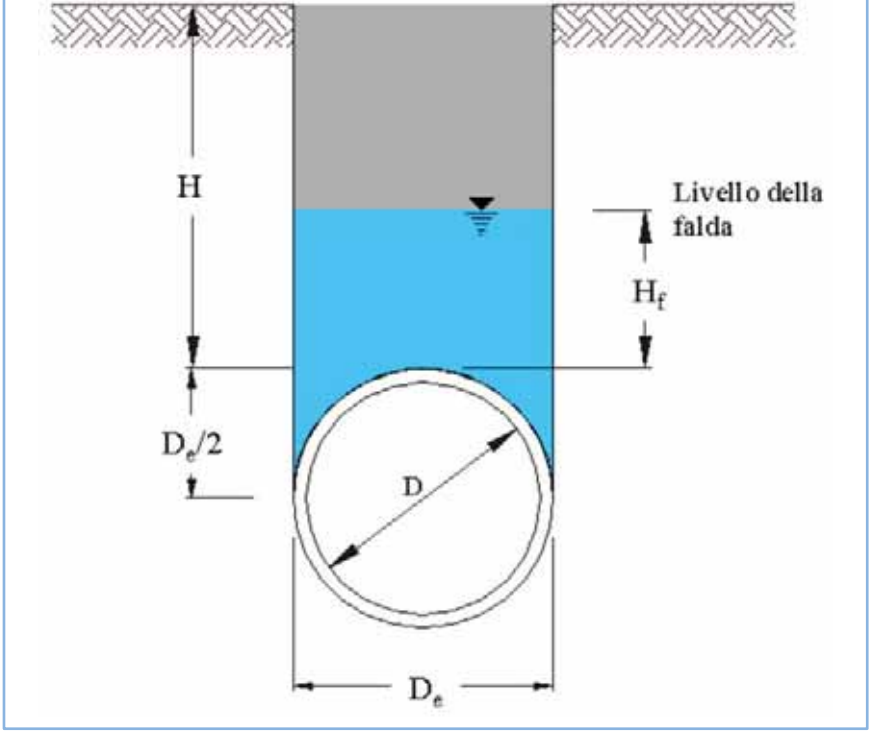


Fig. 9.1 Rinterro sopra la condotta (in grigio il rinterro asciutto, in blu il rinterro immerso in falda).

$$W_D = \gamma_D \cdot D_e \cdot (H - H_f)$$

dove

- W_D è il peso del rinterro di sopra del livello della falda per unità di lunghezza del tubo (in kN/m);
- H è l'altezza del rinterro (in m).

Il peso totale del rinterro agente sul tubo è diretto verso il basso ed è pari alla somma del peso del rinterro immerso in falda e il peso del rinterro asciutto, ossia:

$$W_B = W' + W_D$$

in cui W_B è il peso totale del rinterro per unità di lunghezza del tubo (in kN/m).

Nel caso di livello della falda coincidente con il piano campagna (quindi H_f=H), il peso totale del rinterro è pari al peso del rinterro immerso in falda, e cioè:

$$W_B = W'$$

Le costruzioni in terra sono note per la mancanza di uniformità. Pertanto, in funzione delle informazioni del progettato materiale di riempimento e dalle condizioni del sito, un fattore di sicurezza, FS, variabile tra 1.0 e 1.5 dovrebbe essere applicato per ridurre il peso totale del rinterro agente sul tubo (ACPA, 2007), ossia

$$\frac{W_B}{FS}$$

Se il peso della condotta è la principale forza resistente alla flottazione allora un fattore di sicurezza pari a 1.0 è adeguato (ACPA, 2007). Se invece le forze di attrito o la coesione sono le principali forze resistenti alla flottazione allora un più alto fattore di sicurezza dovrebbe essere considerato per tenere in conto della variabilità delle proprietà del terreno (ACPA, 2007).

Verifica al galleggiamento

La verifica al galleggiamento si intende superata se

$$W_P - W_W + \frac{W_B}{FS} > 0$$

ossia quando le forze stabilizzanti, WP+WB/FS, risultano essere maggiori della forza instabilizzante, WW. In tal caso il tubo non galleggerà.

Se le forze stabilizzanti non fossero sufficienti a prevenire la flottazione allora bisognerebbe ricorrere a misure cautelative contro il galleggiamento (ACPA, 2007). I metodi più comuni sono:

- aumento dello spessore del tubo;
- collari prefabbricati in calcestruzzo;
- collegamento a piastre di ancoraggio in calcestruzzo.

Bibliografia

- American Concrete Pipe Association (2007), Flotation of Circular Concrete Pipe, Design Data 22.
- ATV-DVWK-A Static calculation of Drains and Sewers (in inglese), 3rd Edition, Agosto 2000.
- Cestelli Guidi, C. Geotecnica e Tecnica delle Fondazioni 2. Hoepli, Milano, 1991.
- Preene, M, Roberts, T O L, Powrie, W and Dyer, M R (1997). Groundwater Control: Design and Practice. CIRIA Report C515.
- Società del Gres, Linee guida per la progettazione e la realizzazione di fognature in gres ceramico, Petosino (Bergamo), Aprile 2008.
- UNI EN 1610 (1999), Costruzione e collaudo di connessioni di scarico e collettori di fognatura.
- Young, O.C. and Trott, J.J., Buried rigid Pipes – Structural Design of Pipelines. Elsevier Applied Science Publishers,