

## *Posa di condotte di gres in zone di protezione di falda*



### 1. Introduzione

La costruzione di un'opera di ingegneria rappresenta da sempre il punto di incontro tra le motivazioni progettuali, le esigenze operative e le difficoltà di inserimento ambientale. Negli anni passati il desiderio di realizzare strutture sempre più ambiziose e la sfida per la affermazione della potenza della tecnica hanno prevaricato spesso le implicazioni di carattere ambientale che sempre sono collegate alla costruzione di un opera di ingegneria civile. Quanto successo per strutture ben visibili e appariscenti, lo si riscontra anche in un settore delle costruzioni dimesso quale quello delle fognature. L'ambientazione tipicamente sotterranea degli impianti fognari ha consentito, venendo a mancare le ultime remore di natura estetica e paesistica, ancor più di tralasciare le valutazioni sui rapporti tra opera realizzata e ambiente.

Finalmente la maniera moderna di progettare ha risvegliato la sensibilità verso l'impatto che le strutture e le infrastrutture hanno sull'ambiente di inserimento, riportando il giusto equilibrio, almeno sulla carta, tra i tre fattori citati in apertura.

Nel nostro caso, quello delle reti di fognatura, l'obiettivo si sposta quindi dalla "fognatura nell'ambiente" alla "fognatura per l'ambiente": la struttura diventa un mezzo per tutelare e migliorare l'ambito in cui si inserisce e si sviluppa.

Non a caso ho parlato di "risveglio" di sensibilità, dato che la poca attenzione ai problemi ambientali, per buona fortuna, non era comune a tutti. Infatti la Società del Gres, nei suoi 116 anni di storia, ha sempre perseguito un fine di affinità ecologica. Negli ultimi anni questa naturale vocazione, suggerita da un ma-

teriale altamente ecologico come il gres, è diventato il motore per un continuo miglioramento, alla ricerca "dell'impatto zero" sull'ambiente.



### 2. La falda: un elemento importante nel suolo

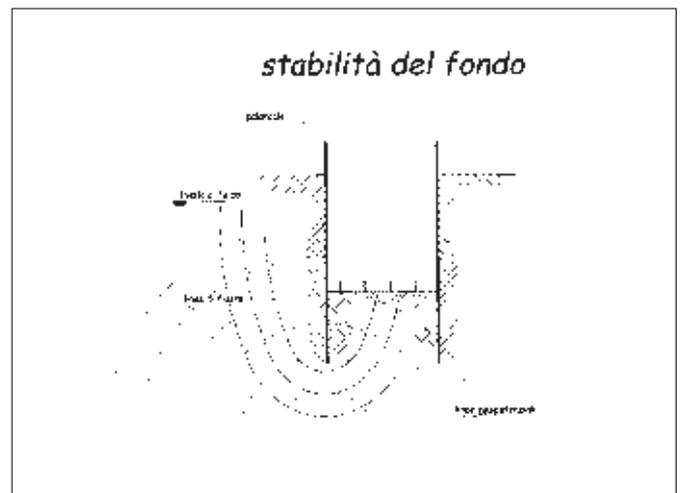
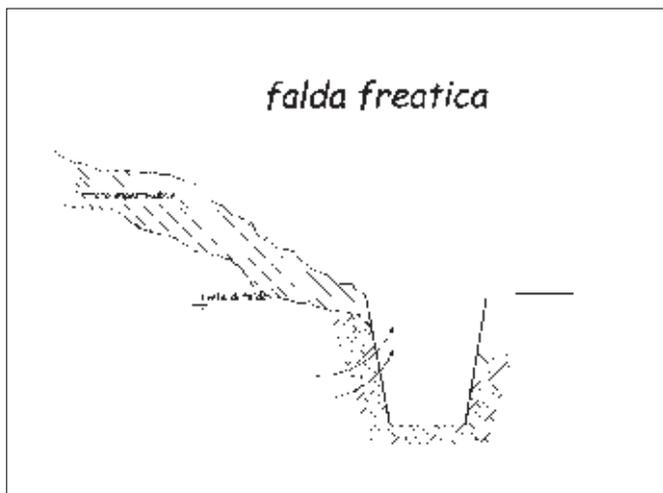
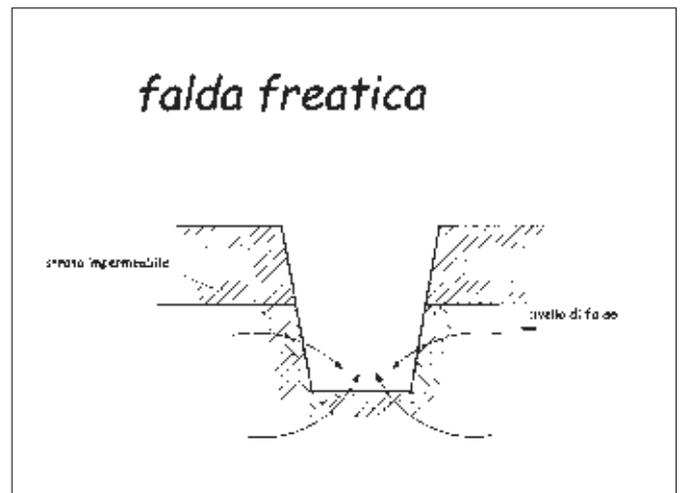
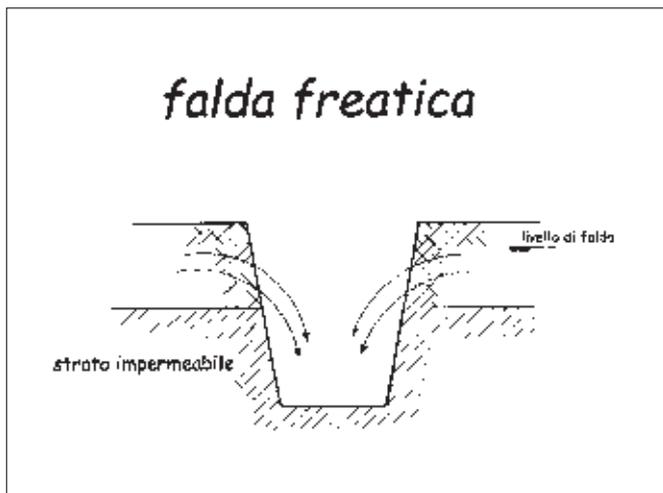
Specializzando il discorso all'ambito delle reti di drenaggio, è facile capire come il terreno (suolo + sottosuolo) sia la parte di ambiente naturale che riceve il maggior impatto nella costruzione delle reti di fognature.

Nel suolo e nel sottosuolo convivono in equilibrio la fase litologica, la fase pedologica, e la fase idrologica; al di là di altri fattori come ad esempio quello morfologico, la presenza della falda unita alla natura litologica rappresentano un aspetto importante da tenere in considerazione sia nella progettazione sia nella realizzazione di un sistema di canalizzazione nel sottosuolo.

La fase idrologica, come è noto, è costituita dall'acqua di origine meteorologica e di origine freatica; l'acqua di origine meteorologica attraverso la percolazione e la filtrazione va a costituire la falda freatica. All'osservazione, l'acqua di falda si presenta in diverse maniere, derivanti essenzialmente dalla morfologia del territorio circostante al punto di osservazione e dalla stratigrafia del sottosuolo. In dipendenza da questi fattori la falda può apparire stazionaria (senza nessun moto) o in movimento; in alcuni casi ed in particolari condizioni geomorfologiche, ad esempio piano campagna fortemente acclive e strato di terreno superficiale impermeabile, la falda può presentarsi in pressione e cioè con la linea dei carichi piezo-

Ing. Vincenzo D'Angelo:

libero professionista e consulente della Società del Gres. Esperto di reti idrauliche e di idrologia, svolge la sua attività prevalentemente nel campo delle reti di drenaggio urbane. Per la Società del Gres svolge soprattutto attività di promozione e supporto tecnico all'uso dei prodotti in gres e delle metodiche di progettazione ad essi collegate.



• In senso orario da sinistra: figura 1, 2, 4, 3

metrici non più coincidente con il pelo libero dell'acqua. Se la linea dei carichi piezometrici è addirittura a quota più alta del piano campagna, una volta rotto lo strato impermeabile, l'acqua di falda tenderà a risalire fino alla quota idrostatica. (figura 1 - 2 - 3).

Qual'è l'importanza della falda nel sottosuolo? Essenzialmente la falda nel terreno deve essere valutata come un elemento costitutivo del suolo, la cui modificazione può produrre variazioni di stabilità e di morfologia. Non a caso la geotecnica riserva una grande attenzione allo

studio delle condizioni non drenate del suolo. Infatti si possono facilmente immaginare cambiamenti provocati in termini di reazioni del terreno da un drenaggio non previsto dello stesso (ad es. cedimenti a lungo termine maggiori di quelli ipotizzati).

L'importanza del ruolo dell'acqua nel terreno viene ribadita se si pensa che essa costituisce la gran parte della risorsa idrica a disposizione dell'uomo. Il fenomeno dell'inquinamento delle falde superficiali è fin troppo noto. Minore considerazione viene invece data alla intera-

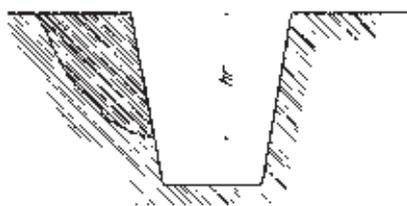
zione che le falde superficiali possono avere con gli acquiferi profondi; e gli acquiferi profondi sono quelli che alimentano le nostre riserve.



### 3. La falda e le condotte per fognatura

Sulla scorta di quanto detto al punto precedente, appare superfluo sottolineare che la falda debba essere

## stabilità delle pareti



$$hr = \frac{2s_u}{\gamma}$$

• Figura 5

considerata come un elemento dell'ambiente di particolare interesse e che debba essere tutelato.

Entrando nel dettaglio tecnico che più ci riguarda è bene precisare che la protezione da eventuali interazioni falda - fognatura deve essere reciproca: la fognatura non deve modificare la falda e la falda non deve influire sulla fognatura.

Le interazioni tra i due ambienti (fognatura e terreno con falda) si manifestano sia in fase di posa sia in fase di esercizio di impianto. Mentre le operazioni di cantiere hanno una durata limitata, l'assetto dell'opera finita permane nel tempo e quindi il contatto tra la rete installata e l'acqua di falda dura per tutta la vita dell'impianto. Per questo motivo è necessario che le influenze reciproche siano valutate in sede di progettazione.

Schematizzando si può dire che il binomio falda - fognatura nella fase progettuale:

- a) condiziona il dimensionamento dello scavo;
- b) agisce sulla statica delle condotte;
- c) modifica la progettazione del letto di posa e del rinfiacco;

- d) condiziona la scelta delle tubazioni;
- e) costringe ad adottare ulteriori sistemi di protezione dei due ambienti (interno alla condotta o di quello esterno).

Anche la fase di cantiere viene condizionata dalla presenza della falda; si ricordano infatti:

- le difficoltà dell'abbassamento del livello dell'acqua nello scavo;
  - le difficoltà di montaggio delle opere provvisorie (casseri e puntelli);
  - le difficoltà nel mantenimento della livelletta di posa;
  - la difficoltà a costipare gli inerti;
- In questa sede porremo maggiore attenzione alle problematiche progettuali, pensando a quelle operative del cantiere come un ulteriore input da tener comunque presente al momento della progettazione.

### 3.1 Il dimensionamento dello scavo

Nella progettazione dello scavo in presenza di acqua di falda occorre

valutare con molta attenzione:

1. la stabilità della parete dello scavo;
2. la stabilità del fondo della trincea.

Per procedere nella valutazione di quanto sopra è necessario conoscere:

- la natura geologica del terreno
- il reticolo di flusso idrogeologico
- i valori dei parametri geotecnici:
  - coesione non drenata  $C_u$
  - resistenza al taglio non drenata  $S_u$
  - l'angolo di attrito interno efficace  $\phi'$
  - il peso specifico efficace  $\gamma'$ .



#### 3.1.1 La stabilità della parete dello scavo

La valutazione della stabilità della parete dello scavo è necessaria ai fini della sicurezza durante i lavori e della interazione con l'assetto statico della condotta. Essa sarà strettamente legata alla natura del terreno. In presenza di terreno prevalentemente coesivo l'altezza del paramento di scavo è da mettersi in stretta relazione con la resistenza al taglio non drenata. (figura 5)

Di fatto in tali condizioni la stabilità della parete dello scavo sarà data dalla relazione

$$hr/h > 1.20 \quad \text{dove} \quad hr = 2 / S_u \times \gamma$$

$h$  = altezza del paramento

Nella relazione viene ritenuto ammissibile il coefficiente di sicurezza 1.20 in quanto introducendo la resistenza al taglio  $S_u$  al posto della semplice coesione non drenata  $C_u$  si opera in favore di sicurezza considerando anche il contributo di  $\phi'$ .

I termini della verifica cambiano radicalmente in condizioni di terreno non coesivo. In queste condizioni

l'unico parametro valido è l'angolo di attrito interno in termini efficaci  $\phi'$ , per cui la stabilità si avrà quando

$$\phi' / \alpha > 2$$

dove:  $\alpha$  = angolo della parete dello scavo

Data la maggiore incertezza del parametro geotecnico di verifica, in queste condizioni il coefficiente di sicurezza ammissibile è più elevato (figura 6).



### 3.1.2 La stabilità del fondo dello scavo

Anche in questi caso, la stabilità del fondo della trincea deve essere messa in relazione al tipo di terreno presente in sito; è da collegare anche al tipo di opere provvisorie eventualmente previste per sorreggere le pareti di scavo.

I fenomeni che possono preoccupare sono: la possibile plasticizzazione dei terreni costituenti il futuro piano di appoggio delle condotte (ad es. vedi per le argille) e la possibilità di sifonamento dovuta alla

presenza di un terreno a granulometria molto fine e a basso peso specifico (limo), uniti ad un carico piezometrico forte al livello del piano di scavo (figura 6).

La opportuna conoscenza, almeno qualitativa, delle grandezze del flusso idrologico, può aiutare a garantirsi dai problemi citati adottando opportuni provvedimenti (ad. es. impiegare palancole più profonde o scavi più stretti al fine di diminuire la velocità di risalita delle linee di flusso in relazione alla velocità di scavo e posa in opera).

La distribuzione del reticolo idrologico può essere di aiuto inoltre per la progettazione dell'impianto di aggettamento (well-point) (figura 7).



### 3.2 La statica delle condotte.

Il dimensionamento statico in presenza di falda, oltre a tener conto delle sollecitazioni presenti in assenza di acqua, deve considerare altri fattori. Per quanto riguarda le sollecitazioni presenti sia in assenza

di acqua sia in falda, esse sono valutabili sempre con le stesse teorie di calcolo; naturalmente è necessario introdurre le condizioni non drenate nei parametri geotecnici.

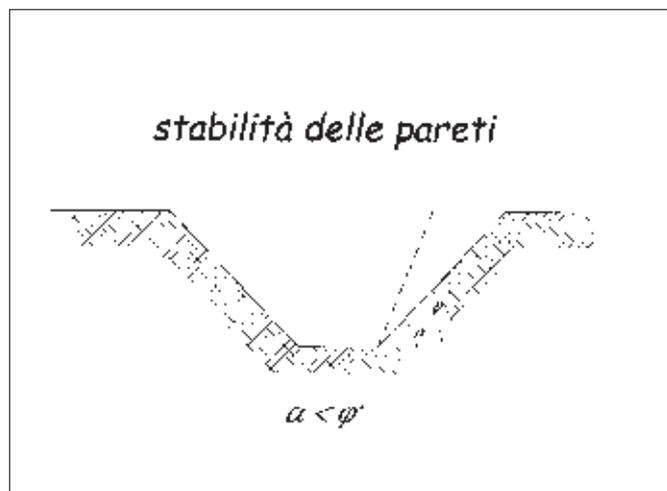
Una considerazione a parte meritano le verifiche specifiche, tipiche della posa sotto falda:

1. la spinta di galleggiamento
2. le pressioni radiali sul tubo
3. la riduzione della costipazione degli inerti



### 3.2.1 La spinta di galleggiamento

Salvo eccezioni, tutte le condotte impiegate in fognatura quando sono vuote galleggiano. Questo significa che il tubo posato in trincea immerso nella falda tende a sollevarsi esercitando una spinta sul materiale di rinterro. Nel caso di tubi a grande diametro, costruiti con materiali leggeri e posati con uno strato di ricopertura minimo si può avere anche il sollevamento di tutto il sistema tubo-terreno. Pertanto si rende necessaria una verifica in termini di



• Figure 6 e 7

stabilità globale prima e in termini di sollecitazione derivanti dalle reazioni alla spinta di galleggiamento poi. La seconda sollecitazione può essere inserita nella verifica generale di stabilità del tubo come forza agente sulla superficie in direzione verticale con segno negativo.

Per la verifica al galleggiamento si può procedere come di seguito:

$$(Pt + Pl + Pe) / Vt \times \gamma > 1.20$$

dove:

P: peso del tubo per unità di superficie

P<sub>l</sub>: peso del liquame trasportato per unità di superficie (valutare se sempre presente)

P<sub>e</sub>: peso del rinterro per unità di superficie

V<sub>t</sub>: volume del tubo

γ: peso specifico del rinterro

### 3.2.2 Le pressioni radiali sul tubo

Il battente di falda, che genera la pressione idrostatica, e il tipo di materiale costitutivo della parete del tubo possono dare luogo al fenome-

no di instabilità elastica di tipo euleriano. Nei casi in cui la generatrice superiore del tubo sia sommersa, diventa necessario procedere ad una verifica, soprattutto se si è in presenza di tubi in materiale plastico. La verifica può essere eseguita con la seguente relazione

$$P_{cr} = 2 \times E \times (s / \Phi)^3 / (1 - \mu^2)$$

dove:

P<sub>cr</sub>: pressione critica

E: modulo elastico del materiale

μ: modulo di Poisson

s: spessore della parete del tubo

Φ: diametro del tubo

Il fenomeno di instabilità può portare ad importanti deformazioni a lobi quali quella schematizzata in figura 8 e può compromettere la funzionalità dell'opera.

### 3.2.3 La riduzione della costipazione degli inerti

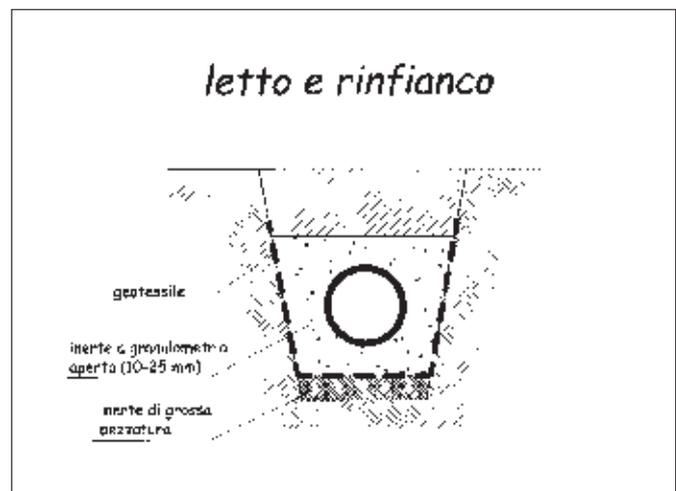
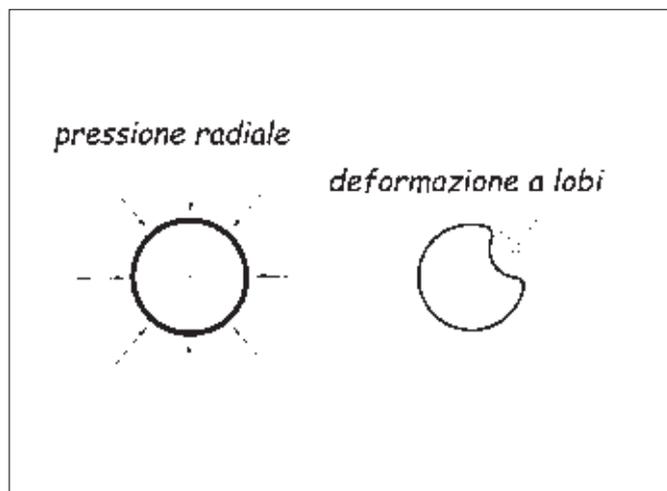
Come è noto, nella posa dei tubi flessibili è indispensabile, al fine

della stabilità dell'opera, procedere alla costipazione del rinfianco. In presenza di acqua di falda questa operazione diventa oltremodo onerosa, se non impossibile. In ogni caso si deve considerare la impossibilità di raggiungere gradi di costipamento alti (misurati come gradi % della costipazione ideale ottenuta con la prova Proctor), in quanto parte dell'energia spesa per addensare l'inerte viene scaricata sull'acqua. Tale considerazione deve essere presente nella scelta del tipo di condotta e della classe di rigidità relativa.

### 3.3 La progettazione del letto di posa

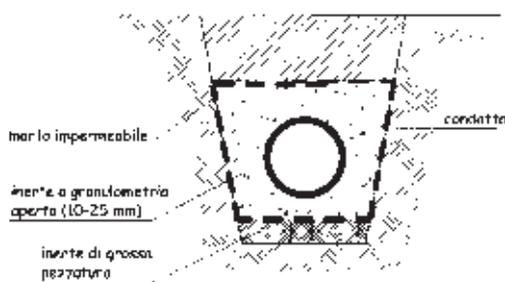
Il letto di posa delle condotte in trincea condiziona fortemente sia la geometria del profilo idraulico, sia la stabilità statica dell'opera. Per questo motivo anche nella progettazione del letto di posa e del rinfianco si devono prendere le dovute cautele, allorchando si è in presenza di acqua di falda.

I parametri che essenzialmente va-



• Figure 8 e 9

## sistema di protezione della falda



• Figura 10

rieranno all'interno della struttura posata sotto e intorno alla condotta sono:

- il peso dell'inerte (da  $\gamma$  a  $\gamma'$ )
- l'angolo di attrito interno da  $\phi$  a  $\phi'$
- le caratteristiche del terreno reagente (in situ)

Poiché al variare delle caratteristiche elencate variano i carichi che arrivano sui tubi (l'effetto silo è inferiore con angoli di attrito interno minori) e varia anche la capacità del piano di appoggio di rispondere alle sollecitazioni imposte, è opportuno scegliere un inerte da rinfianco:

- con peso specifico secco  $\gamma$  elevato (in modo da ridurre l'effetto del passaggio da  $\gamma$  a  $\gamma'$ );
- con granulometria aperta riducendo la percentuale di elementi di piccole dimensioni, scegliendo per quanto possibile un inerte monogranulare;
- che proviene da frantoio in modo da garantire spigoli vivi ai singoli elementi. Tale scelta favorisce l'auto-costipamento dell'inerte per un fenomeno di incastro dei grani.

Inoltre nel caso che le sponde e il fondo della trincea siano costituite da terreni argillosi - limosi a basso

limite di liquidità  $I_L$  occorre procedere alla bonifica del piano di appoggio al fine di evitare che i materiali riportati attorno al tubo (letto e rinfianco) si disperdano di fatto nel substrato di appoggio scarsamente reagente. A tal fine è utile l'utilizzo di geotessuti e di inerti di grandi dimensioni impiegati secondo lo schema riportato in figura 9.



### 3.4 La scelta delle tubazioni

Ferma l'importanza di difendere la falda dall'interazione con la condotta e con il liquame da essa trasportata, messe in atto le cautele progettuali per rendere sicuro e fattibile il lavoro, la vera protezione della falda inizia con la scelta di una condotta che:

- sia assolutamente inerte e non reagisca ad eventuali azioni aggressive operate dall'acqua nel terreno (vedi ad esempio l'azione corrosiva su condotte realizzate con materiali ferrosi);

- sia inerte all'azione di particolari terreni aggressivi (vedi ad es. l'azione di argille, torbe sempre su condotte ferrose);
- dia assoluta garanzia di tenuta idraulica mediante l'adozione di giunti di qualità certa (magari predisposti direttamente in stabilimento durante le fasi di costruzione del tubo);
- sia capace di seguire i piccoli movimenti che il terreno di posa può subire a seguito della oscillazione della falda, senza perdere la tenuta idraulica e senza avere problemi di stabilità;
- non dia particolari vincoli nella costruzione del letto di posa e del rinfianco. Questo consentirebbe, per quanto possibile, di ricostituire la tessitura naturale del terreno (ad esempio adoperando i materiali di risulta dallo scavo) evitando grosse modificazioni al reticolo idrologico.

Queste caratteristiche si devono poi coniugare con:

- l'opportunità di avere una condotta sufficientemente pesante per ridurre la tendenza al galleggiamento;
- la necessità di avere una condotta rigida per eliminare il pericolo della deformazione a lobi sopra descritta;
- l'importanza di avere una condotta rigida per eliminare la necessità di costipare il rinfianco.



### 3.5 Dispositivi per la protezione da infiltrazioni fortuite e casuali

Oltre all'attività di normale tutela della falda, che comunque bisogna porre in atto, esistono particolari

circostanze in cui la difesa della falda è un obbligo prescritto. È il caso della realizzazione di reti di fognatura che attraversano aree dove esiste un vincolo della protezione della falda (o dalle falde). Si citano ad esempio le zone che insistono direttamente in un bacino di alimentazione di sorgenti di acque ad uso umano. Una situazione di analoga cautela è da impiegarsi, ancora, allorché la condotta attraversa dei siti permeati da componenti chimici altamente tossici (vedi ad esempio aree industriali o discariche) che se drenati all'interno della condotta inquinerebbero il liquame compromettendo il processo di depurazione. In tali condizioni alle normali cautele adottate nella progettazione sopra descritte, devono essere affiancate da dispositivi atti ad impedire assolutamente che ci possa essere interscambio tra l'ambiente esterno e l'interno delle condotte.

In tali circostanze si possono adottare due sistemi di facile realizzazione e che per la loro flessibilità applicativa possono adeguarsi facilmente anche a tutte le condizioni di cantiere.

In relazione al tipo di protezione da ottenere:

- Protezione dalle infiltrazioni dalla falda verso la condotta. La condotta, il letto di posa e parte del rinfiante vengono avvolti da un telo in polietilene disteso sul fondo dello scavo precedentemente alle operazioni di posa. Dopo aver rinfiato il tubo, i lembi del telo vengono sovrapposti e saldati. Viene realizzata così una barriera flessibile, capace di seguire gli assestamenti del terreno. (fig. 10)

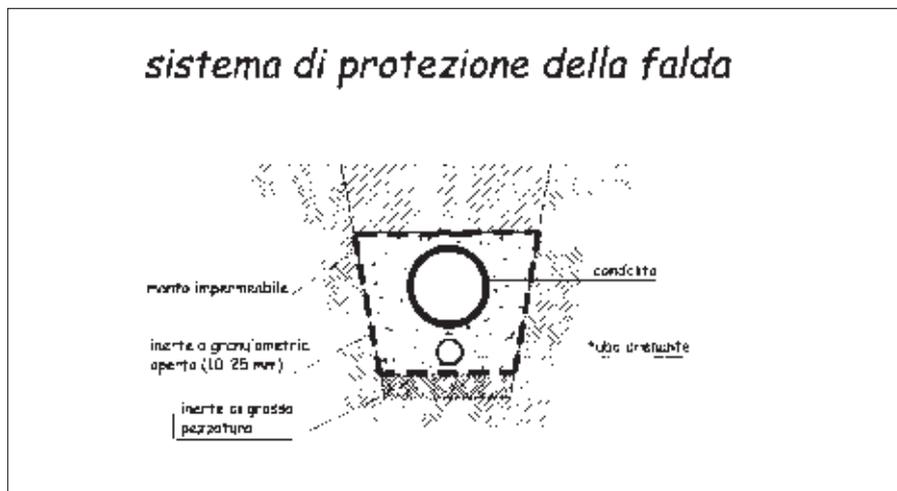
- Protezione dalle infiltrazioni dal tubo verso la falda. Lo schema costruttivo è lo stesso descritto in precedenza. Viene completato

con la posa di un tubo drenante, di modeste dimensioni e posto sotto la condotta che, in caso di perdite di liquami dalla condotta, recuperi gli stessi e li convogli verso le camerette di ispezione (fig. 11).

no essere facilmente vanificati da una scelta errata dei materiali per condotta; come già detto al punto 3, la prima vera protezione dell'ambiente in cui viene posato proviene dal tubo stesso che deve rimanere neutro nei confronti della falda e mantenere, nel tempo, gli obiettivi tecnico-progettuali e di durabilità dell'opera.

## // 4. Conclusioni

Le argomentazioni riportate ai punti precedenti hanno cercato di sottolineare come l'inserimento di una sotto-struttura come una rete fognaria possa creare una situazione di danno reciproco tra la falda presente nel terreno e l'impianto di deiezione costruito. Nasce quindi l'esigenza, che in alcuni casi diviene un obbligo, di tutelare l'acqua presente nel terreno e, in alcuni casi, il liquido trasportato dalla condotta. Questa esigenza diventa un impegno progettuale affrontabile con una buona conoscenza delle condizioni geotecniche e idrologiche e con l'uso di sistemi di protezione opportuni. Rimane infine da sottolineare che tutti gli sforzi progettuali posso-



• Figura 11