

Rigido o elastico?

Considerazioni sul comportamento statico delle condotte interrate

Dr. Ing. Vincenzo D'Angelo
Libero Professionista
Pescara

■ 1. PREMESSA

Il comportamento statico delle condotte interrate è un argomento ricorrente più volte oggetto di articoli pubblicati su Gres EcoNews. È un aspetto di vitale importanza nella progettazione di un'opera fognaria e determinante per l'affidabilità dell'impianto nel tempo. Per tale motivo il Redattore di questa Rivista non trascurerà mai di riproporre l'argomento per sollecitare il Lettore alla dovuta attenzione per questo aspetto progettuale.

Come detto Gres EcoNews ha già affrontato il problema, cercando soprattutto di dare giustificazione dei metodi di verifica statica impiegati nella progettazione.

Ora l'attenzione viene spostata in cantiere, durante le operazioni di posa e nel periodo di esercizio. Gli spunti di riflessione proposti sono:

- 1) quale risposta offre il sistema tubo-terreno ad una imprevista situazione di maggior sollecitazione statica delle condotte?
- 2) Quali difficoltà comporta l'eventuale adeguamento ad una condizione di maggiore sicurezza?
- 3) Come viene influenzata la stabilità della condotta dalle operazioni di rinterro successive alla posa?
- 4) Quali ripercussioni hanno sulla condotta le variazioni improvvise del livello della falda?

Gli argomenti sono interessanti e verranno letti con l'atteggiamento pragmatico di chi deve condurre il cantiere e quindi particolarmente interessanti per la Direzione Lavori.

■ 2. TUBI RIGIDI E TUBI ELASTICI

Prima di fare delle considerazioni puntuali sugli argomenti sopra ci-

tati, è necessario richiamare alcuni principi posti alla base del dimensionamento statico delle condotte.

Innanzitutto fissiamo l'attenzione sulla classificazione delle condotte. È di uso normale per gli addetti al settore parlare di condotte rigide e condotte elastiche; facendo riferimento alle tubazioni normalmente presenti sul mercato e dedicate al settore delle fognature troviamo:

Famiglia dei tubi rigidi

Tubi in gres

Tubi in cls

Tubi in fibrocemento

Famiglia dei tubi elastici

Tubi in PVC

Tubi in PVC strutturato

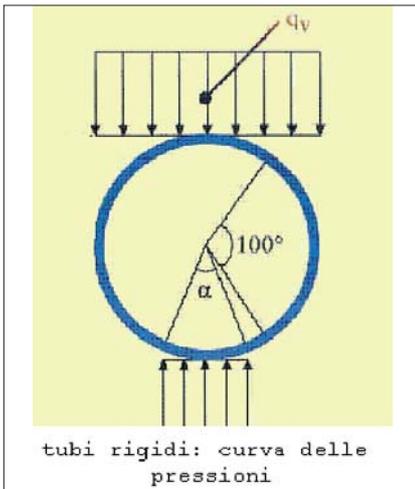
Tubi in PeAd

Tubi in PeAd Strutturato

Tubi in PrFv

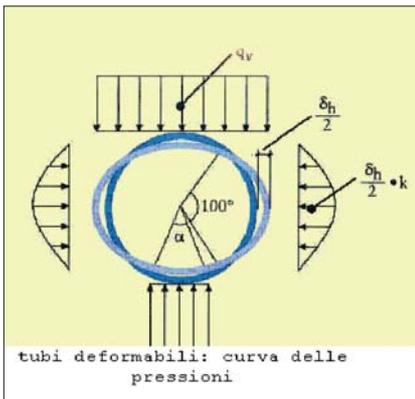
Questa distinzione impiegata normalmente in realtà è approssimata ed in termini strettamente "ingegneristici" impropria; basti pensare alla natura dei materiali con cui vengono costruite le condotte: ad esempio il gres, il calcestruzzo (armato e non) sono materiali che si comportano elasticamente in un campo di sollecitazioni molto più ampio di quello dei materiali resinosi, che classicamente hanno un comportamento elasto-plastico-viscoso con il primo campo (l'elastico) molto ristretto. Quindi, a rigor di definizione, qual è la condotta "elastica"?

Fissiamo ora l'attenzione più che sul materiale sul manufatto "condotta" e valutiamo il suo comportamento quando si trova sottoposto a **carichi limite**: i tubi non deformabili sono caratterizzati da una rottura di tipo "fragile", cioè sotto la sollecitazione esterna essi si rompono senza deformazioni apprezzabili. (fig. 1)



• fig. 1

Al contrario i tubi ad alta deformabilità hanno una rottura “duttile” cioè, se sollecitati da forze esterne, prima di rompersi subiscono grosse deformazioni geometriche (perlopiù diametrali). (fig.2)



• fig. 2

Pertanto, conseguentemente al comportamento descritto ed in relazione ai materiali costruttivi dei tubi, è più corretto parlare di condotte a bassissima deformabilità e di condotte fortemente deformabili. Una giustificazione numerica del comportamento delle condotte nei confronti della deformazione viene data da una relazione contenuta dalla norma UNI 7517/76 così formata

$$\frac{E_{suolo}}{E_{tubo}} \times \left[\frac{r}{s} \right]^3$$

dove

E_{suolo} = modulo di elasticità del terreno

E_{tubo} = modulo di elasticità del materiale del tubo

r = raggio medio della condotta

s = spessore della parete del tubo

La Uni 7517 stabilisce che, ai fini statici, si deve considerare un comportamento indeformabile della condotta quando $n < 1$; in tal caso le deformazioni sono assolutamente trascurabili in sede di calcolo, e la verifica deve essere eseguita allo stato limite della rottura.

Nella condizione di $n \gg 1$, caso dei tubi in resina, la condotta si deve considerare deformabile e tale aspetto diventa preponderante in sede di calcolo; si deve quindi procedere alla doppia verifica valutando prima lo stato limite di deformazione e poi lo stato limite di rottura.

Visto quanto sopra a questo punto è lecito usare la seguente distinzione

Tubi non deformabili		Tubi ad alta deformabilità
1	> n >	1

Questo comportamento dei tubi nei confronti delle deformazioni ha anche un risvolto pratico commerciale, tanto che sul mercato le condotte vengono solitamente proposte distinguendole in classi collegate alla resistenza meccanica. Ma occorre fare attenzione: i tubi non deformabili sono offerti in classi identificate dalla resistenza a rottura

(F_n); per i tubi deformabili, invece, le classi sono identificate dalla grandezza SN, corrispondente alla resistenza anulare che determina deformazioni assegnate sotto dei carichi di riferimento imposti a velocità costante.

L'ordine di grandezza dei valori di resistenza, per le varie tipologie di condotta, viene riportato nella tab. 1

3. I TUBI E LE SOLLECITAZIONI ESTERNE

Nel paragrafo precedente abbiamo fatto cenno alle resistenze meccaniche dei tubi per fognatura e soprattutto al loro comportamento sotto i carichi esterni. È evidente che, al di là del fatto che ci sia una rottura o una deformazione, il comportamento della condotta interrata dipende essenzialmente dall'entità del carico che essa deve sopportare.

Ma quanto vale la forza sollecitante la condotta una volta che questa è stata messa a dimora nella sua sezione di posa?

Ipotizziamo una condotta installata in una trincea stretta (fig. 3) e con una copertura $h_r = 1,70$ m l'ordine di grandezza delle forze agenti è quello riportato nella tab.2.

Il confronto tra i carichi sollecitanti e le resistenze delle condotte mostra chiaramente che mentre i tubi

Tabella 1 - Ordine di grandezza delle resistenze

Tipo di condotta	Classe di resistenza [kN/m ²]
Tubi in Gres ceramico	95 ÷ 240
Tubi in Calcestruzzo	100 ÷ 150 (*)
Condotte in PVC	2 ÷ 8
Tubi in PeAd	2 ÷ 8
Tubi in Vetroresina	2 ÷ 10

(*) Valore fortemente variabile in presenza di armature

a bassa deformabilità hanno l'ordine di grandezza della resistenza confrontabile con quello delle sollecitazioni, i tubi deformabili hanno una resistenza di un ordine inferiore; da questa situazione nasce l'inderogabile necessità di sorreggere la condotta "elastica" con un opportuno rinfiacco che supporti il tubo nell'azione di contrasto verso i carichi imposti.

È doveroso sottolineare che nel sistema tubo-terreno delle condotte deformabili la gran parte delle spinte derivanti del sovraccarico viene assorbita dal rinfiacco della condotta; tanto più esso è costruito con materiale modulo E_s elevato e con una densità D_r alta (vedi tab. 3) tanto minori sono le deformazioni subite dal tubo.

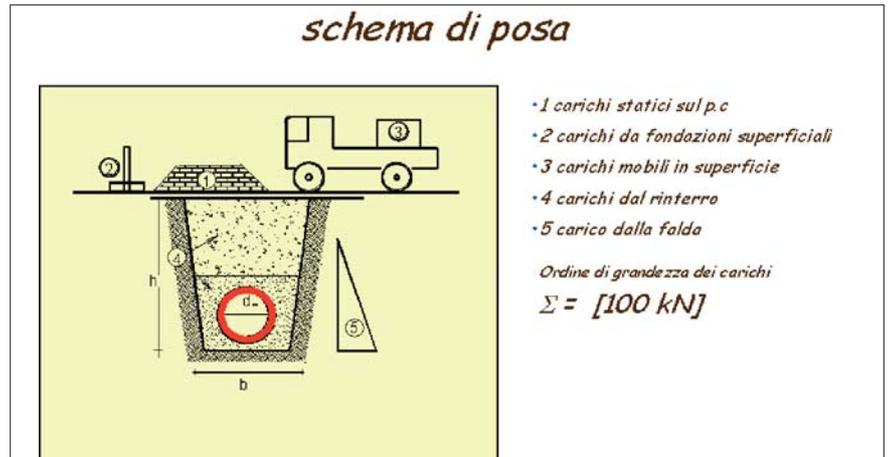
Mentre per le condotte deformabili il "cuore" del sistema reagente è costituito da tutto il terreno intorno al tubo, nel caso delle condotte indeformabili, ai fini della capacità di reazione, è determinante la condizione di appoggio del tubo; pertanto nel caso di impiego di questa tipologia di condotta è necessario assicurare una sella di appoggio continua sotto la generatrice inferiore del tubo; quanto maggiore è la superficie di appoggio della condotta tanto più elevata è la resistenza statica del sistema tubo-terreno; il contributo dato dalla condizione di appoggio viene espresso tramite un coefficiente di posa E_z (tab. 4).

In sintesi, per le condotte deformabili il sistema tubo-terreno reagente parte dal piano di appoggio del letto di posa e interessa tutta l'altezza del tubo fino a circa $20 \div 25$ cm sulla sua generatrice superiore (fig. 4); per le condotte "rigide", invece, il sistema tubo-terreno, nella maggioranza dei casi, può essere confinato tra il piano di appoggio del letto di posa e il diametro orizz-

Tabella 2 - Carichi esterni

Tipo di carico	Entità del carico (*)
Rinterro	36,00 [kNm ²]
Stradale	46,00 [kNm ²]
Acqua di falda	17,00 [kNm ²]

(*) Valore fortemente variabile in presenza di armature



• fig. 3

Tabella 3 - Valori del modulo di reazione e del suolo

Tipo di terreno	f	$D_r < 40\%$ %Pr(*) < 85%	$D_r = 40 \div 70\%$ %Pr = 85 ÷ 95%
non coesivi a grana fine	35	2,8	2,8 ÷ 6,9
debolmente legati	30	2,0	2,0 ÷ 3,5
legati misti a bassa plasticità	15 ÷ 20	1,4	1,4 ÷ 2,8
argille, limi molto plastici (**)	—	—	—

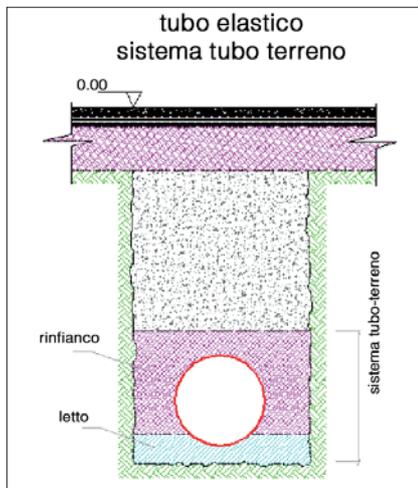
(*) Indice della misura la prova Proctor standard

(**) Non idonei all'impiego

Tabella 4 - Coefficiente di posa E_z di alcune sezioni di tubo

$E_z = 1.55$	$E_z = 1.9$	$E_z = 2.2$
 appoggio a 90°	 appoggio a 120°	 appoggio a 180°

zontale del tubo, la così detta “spalla” (fig. 5).



• fig. 4



• fig. 5

Ma quanto influisce in termini numerici la struttura del sistema tubo-terreno sulla stabilità della condotta?

Sottoponiamo a verifica statica due condotte, una per tipologia di tubo, posate in trincea stretta e nelle condizioni di carico della tab. 2, imponendo le stesse condizioni al contorno. Il procedimento di verifica impiegato è quello del codice di calcolo da ATV 127 che prevede:

Tubi non deformabili

$$\frac{\sum q_v \cdot \lambda_r}{F_n \cdot E_z} > \eta = 1.5$$

Tubi deformabili

$$\Delta_\Phi = c_v \cdot \frac{(\sum q_v + \sum q_h) \cdot \lambda_r}{S_n} \cdot 2r \leq 5\% \Phi$$

dove:

- q_v = carichi verticali
- F_n = classe di resistenza del tubo
- q_h = carichi orizzontali
- Δ_Φ = deformazione diametrale
- λ_r = coeff. di concentrazione sul tubo
- E_z = coeff. di posa
- S_n = rigidità del tubo
- c_v = coeff. di spinta
- η = coeff. di sicurezza

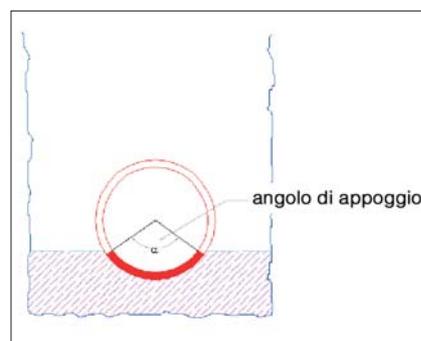
Osserviamo i risultati ottenuti:

Condotta “rigida”

Verificata con il procedimento citato la nostra condotta, supposta in gres ceramico classe **120 kN/m²**, raggiunge la sicurezza statica se viene installata su una sella di appoggio con sviluppo pari a 90°, misurata con il corrispondente angolo al centro (fig.6); il coefficiente di sicurezza è pari a **$\eta=1,83$** , maggiore del **23%** rispetto a quello limite ($\eta_{lim} = 1,5$).

Condotta “elastica”

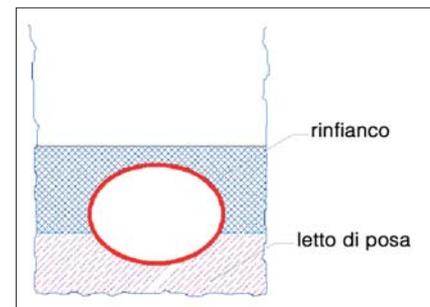
Osserviamo cosa accade alla condotta deformabile. Il procedimento di verifica è più impegnativo e richiede la determinazione di più fattori. Intanto dobbiamo decidere se eseguire una verifica *a breve* o *lungo termine*, vista la naturale



• fig. 6

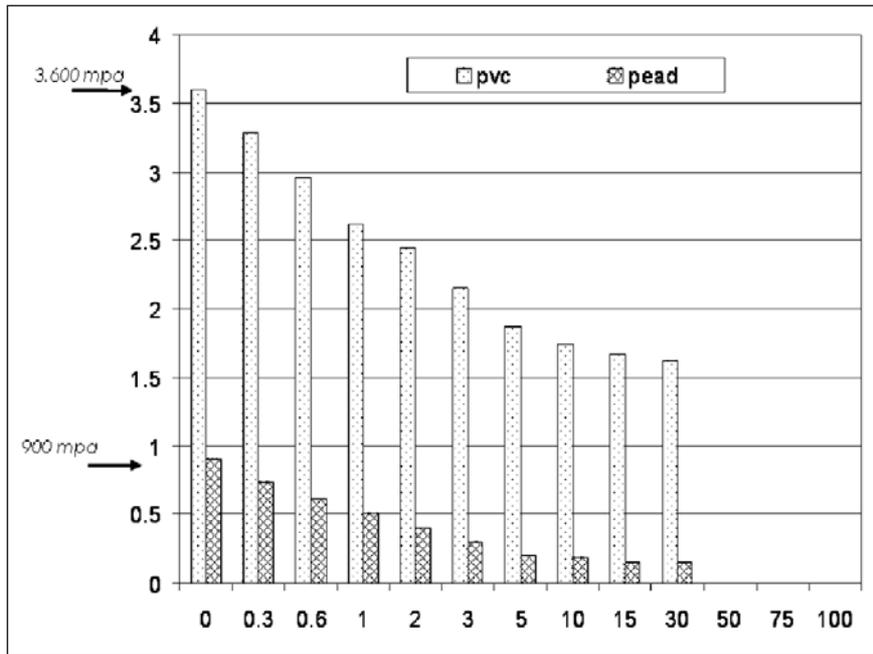
perdita di caratteristiche meccaniche che tutte le resine hanno con il passare del tempo. Considerato poi che il citato decadimento del modulo elastico E_t non è uguale per tutte le resine (graf. 1), dobbiamo scegliere con quale materiale lavorare (Pvc; PeHd; Ppd; PrFv).

Fissate queste condizioni iniziali, supponiamo di verificare a lungo termine una condotta di PeHd strutturata classe **SN 4 kN/m²**. Per ottenere delle deformazioni diametrali del **4,20%** dobbiamo progettare un letto di posa ed un rinfiamento costruito con un materiale di cava sciolto non plastico, avente un angolo di attrito interno $f = 33\div35^\circ$, con una densità relativa $D_r = 60\div65\%$; in questa condizione la deformazione diametrale ottenuta sarebbe inferiore del 20% rispetto a quella limite ($\Delta\Phi_{lim} = 5\%$ del diametro) (fig. 7).



• fig. 7

Il caso di verifica proposto ci dimostra come, anche in una situazione di posa normale come quella descritta, la progettazione e l'installazione di una condotta deformabile implichi il controllo di un **numero di fattori (otto)** notevolmente superiore rispetto a quelli coinvolti nella posa di una condotta non deformabile (**tre**). Sinteticamente quanto detto può essere rappresentato nello schema i Tab. 5



• graf. 1 - variazione di E_t nei tubi in resina.

Tabella 5 - Fattori influenzanti la stabilità

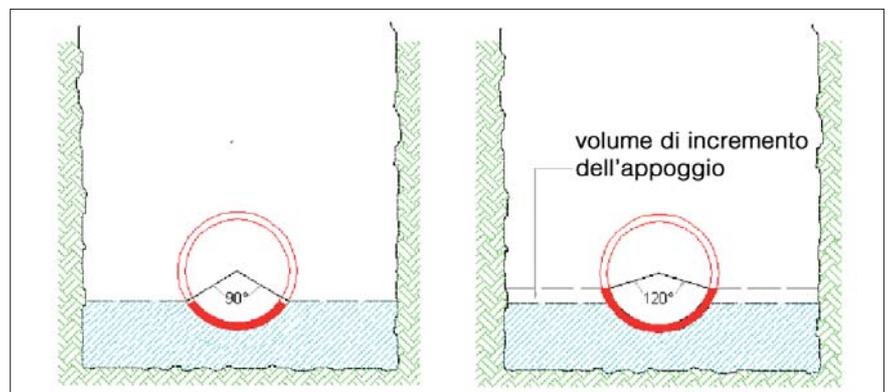
Tubi rigidi	Tubi elastici
Classe di resistenza (F_n)	Classe di rigidità anulare (SN)
Condizione di appoggio (90° ; 120° ; 180°)	Tipo di resina impiegata nel tubo
Tipo di terreno in situ	Tipo di posa in opera
	Costipazione del rinfianco (D_r)
	Natura dell'inerte del rinfianco
	Stabilità del rinfianco nel tempo
	Presenza di acqua di falda
	Tipo di terreno in situ

4. I TUBI "RIGIDI", I TUBI "ELASTICI" E IL CANTIERE

Le argomentazioni esposte rimarrebbero solo argomentazioni se non cercassimo un collegamento con la realtà del cantiere o dell'impianto in esercizio.

Abbiamo visto nel paragrafo precedente che per posare una condotta, nel rispetto delle prescrizioni progettuali, si deve in ultima analisi controllare una serie di fattori (vedi tab. 5): tre per le condotte non deformabili e otto per le condotte deformabili. Sulla scorta di questa drastica sintesi,

senza dimenticare i ragionamenti che hanno permesso di farla, riconsideriamo ora gli spunti di riflessione che avevamo posto all'inizio.



• fig. 8

- 1) quale risposta offre il sistema tubo-terreno ad una improvvisa situazione di maggior sollecitazione statica?
- 2) quali difficoltà comporta l'eventuale adeguamento ad una condizione di maggiore sicurezza?

Supponiamo di posare una condotta "rigida" e una "elastica" nelle condizioni già più volte menzionate; supponiamo inoltre, come accade molto spesso nella realtà di cantiere, di incontrare delle condizioni impreviste che richiedano alle condotte un maggiore capacità di resistenza statica (ad es. una condizione geologica diversa da quella progettuale). Valutiamo le possibilità di incremento delle prestazioni statiche offerte dalle due tipologie di condotta, sottoponendo ad analisi il sistema tubo-terreno, e vediamo come, agendo sui parametri della tabella 5, si possa ottenere lo scopo.

Condotta indeformabile

Nella condizione di progetto la condotta veniva prevista con un appoggio di 90° (misurato come sopra specificato); in questa condizione il contributo alla resistenza da parte del letto di appoggio espresso tramite il coeff. di posa è pari a $E_z = 1,55$; se aumentassimo l'angolo di appoggio a 120° E_z salirebbe a **1,90** con un incremento

di risposta statica misurato con l'incremento del coefficiente di sicurezza η di quasi il **25%**. Per porre in atto la modifica della sezione di posa occorrerebbe impiegare solo una maggiore quantità di inerte per conformare la sella di appoggio nella nuova geometria (circa il 15% in più) (fig. 8).

Condotta deformabile

La previsione progettuale assegnava ai parametri della *tabella 5* i seguenti valori.

Tubi elastici	
Classe di rigidità anulare (S_n)	4 kN
Resina impiegata nel tubo	PeHd
Tipo di posa in opera	trincea senza armatura dello scavo
Costipazione del rinfiacco (D_r)	65%
Inerte del rinfiacco	arido senza fase plastica $f=33^\circ$
Stabilità del rinfiacco nel tempo	costante
Presenza di acqua di falda	si
Tipo di terreno in situ	terreno compatto non plastico

Se per rispondere all'esigenza di aumentare la prestazione statica provassimo ad incrementare la classe di resistenza della condotta passando da $SN=4$ kN/m² a $SN=8$ kN/m², mantenendo fermi gli altri parametri, avremmo come risultato la diminuzione della deformazione $\Delta\phi$ dal **4,25%** al **3,75%**, diminuzione pari al 12% della deformazione iniziale. Volendo ottenere un risultato confrontabile con quanto ottenuto con la condotta non deformabile (25% di miglioramento) dovremmo comunque agire sulla costipazione dell'inerte del rinfiacco che dovrà aumentare la sua densità D_r . Nell'ipotesi di non voler cambiare la classe della condotta, dovremmo agire solo sulla densità D_r del rinfiacco che dovrà raggiungere circa lo **85%**; la cosa comporterebbe un utilizzo di materiale 2 volte superiore rispetto a quello usato per migliorare la risposta della condotta "rigida". Inoltre si

dovrebbe aggiungere l'onere per costipazione, operazione difficoltosa se eseguita in una trincea.

3) Come viene influenzata la stabilità della condotta dalle operazioni di rinterro successive alla posa?

Analizziamo un'altra situazione tipica che si presenta sempre nei cantieri di fognatura. Nella pratica costruttiva moderna gli scavi delle trincee vengono protetti da pannel-

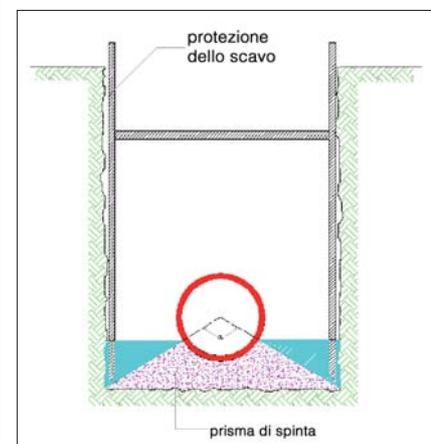
li di varia natura che servono ad evitare pericolosi franamenti delle pareti dello scavo; questo soprattutto per la incolumità degli addetti alla posa. La buona regola impone che i "blindo scavi" vengano infilati fino al fondo dello scavo e poi rimossi a lavorazione finita. Anche nel caso di impiego di palancole infisse per battitura o vibrazione, la rimozione della protezione avviene solo dopo che le operazioni di rinterro sono state ultimate. Questa pratica cantieristica interagisce con il rinfiacco e può causare delle ripercussioni sulla stabilità della condotta. Come in precedenza esaminiamo il sistema tubo-terreno nel caso di utilizzo delle due tipologie di tubazioni.

Condotta "rigida"

Abbiamo già detto che la schematizzazione di verifica per le condotte indeformabili richiede la continuità del piano di appoggio

conformato secondo un certo angolo. Se consideriamo il prisma di spinta che il tubo scarica sul letto di posa (fig.9) notiamo che normalmente, per le geometrie di posa usuali, esso non interagisce con i lembi dello scavo a contatto con i pannelli di protezione. Pertanto durante le operazioni di sfilaggio, la sella di appoggio del tubo non viene interessata e si può dire che la situazione statica della condotta rimane invariata, restando costante il coefficiente di sicurezza η . Anche nel caso di posa con un angolo di appoggio elevato, quando cioè esiste una zona di contatto del letto di posa con il sistema di protezione dello scavo, l'interazione è minima e il valore di η ottenuto con le verifiche passa **da 1,85 a 1,81**.

Nelle operazioni di rimozione delle protezioni, bisogna porre qualche attenzione al caso delle palancole infisse per vibrazione e che vengono sfilate con la stessa metodologia a rinterro eseguito. In questo caso si può creare un picco di carico durante l'estrazione dovuto al momentaneo annullamento dell'attrito del rinterro contro le pareti dello scavo che riduce temporaneamente l'effetto "silo" considerato nei calcoli di verifica statica. Una opportuna riduzione in fase di calcolo



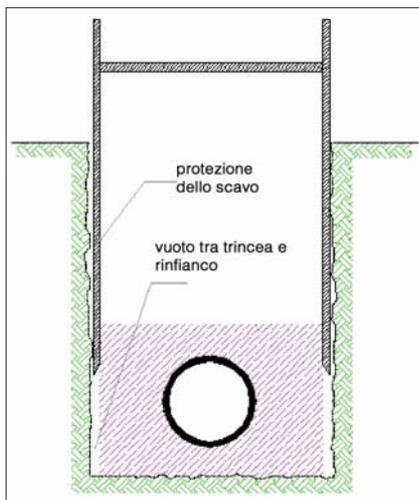
• fig. 9

dell'angolo di attrito tra il rinterro e le pareti dello scavo cautela abbondantemente da questo fenomeno.

Condotta "elastica"

Le operazioni di rimozione delle protezioni degli scavi non sono altrettanto "indolore" per il sistema tubo-terreno nel caso delle condotte molto deformabili. Come abbiamo rimarcato più volte, la stabilità della condotta è affidata quasi esclusivamente alla possibilità che le spinte ovalizzanti trovino un contrasto nel rinfianco e nel letto di posa. Questo contrasto si fonda esclusivamente sul modulo di reazione E_s del terreno che è funzione diretta della densità relativa D_r .

La rimozione delle palancole o dei sistemi di "blindo scavo", lascia uno spazio vuoto tra il rinfianco e la parete dello scavo (fig. 7). Questo vuoto, viene occupato dal rinfianco stesso che modificherà la sua densità D_r assumendo valori di D_r molto più bassi. La quantificazione numerica del fenomeno è apprezzabile sempre tramite il codice di calcolo usato in precedenza (ATV 127) che prevede anche il caso di estrazione delle protezioni dello scavo dopo l'esecuzione del rinterro. Per la sezione di posa più



• fig. 10

volte citata si passa dai valori di deformazione del 4,25% al valore di 6,17 con un aumento del 45%, superando il valore massimo ammissibile fissato $\Delta\phi_{amm} = 5\%$

4) Variazioni improvvise del livello della falda quali ripercussioni hanno sulla condotta?

Anche questo è un caso abbastanza frequente, riscontrato soprattutto durante l'esercizio dell'impianto fognario. Le trincee di posa delle condotte, spesso costituiscono delle vie preferenziali per la circolazione dell'acqua presente nel terreno o per quella che, a seguito degli eventi meteorici, si infiltra nel suolo. Questo fenomeno è causato principalmente dalla diversa permeabilità del rinfianco rispetto al terreno in situ. Tale situazione, difficilmente preventivata in fase progettuale, come influisce sulla stabilità delle condotte?

Ancora una volta esaminiamo nelle due condizioni di posa quali siano gli effetti sul sistema tubo-terreno.

Condotta indeformabile

Analizziamo numericamente la risposta statica del sistema, verificando la condotta in gres considerata in precedenza sia in assenza della falda sia in presenza di falda. I calcoli eseguiti secondo il codice succitato mostrano una variazione minima del coefficiente di sicurezza: da $\eta = 1,85$ a $\eta = 1,82$.

Quindi possiamo certamente dire che un fattore imprevisto come il riempimento della trincea di acqua non causa effetti sulla stabilità della condotta purché la presenza dell'acqua nella trincea non modifichi la sagoma dell'appoggio del tubo. A tal fine è sufficiente usare per la formazione del letto di appoggio un materiale grossolano come il ghiaietto a granulometria fine per

garantire la stabilità nel tempo della sella di appoggio della condotta.

Condotta deformabile

Sottoponiamo a verifica la sezione di studio, composta dal tubo in Pvc SN = 4 kN/m² rinfiancato con arido di cava dalle caratteristiche descritte nella relativa tabella. La presenza dell'acqua di falda crea una diminuzione della pressione efficace tra i grani dell'inerte di rinfianco che tenderanno a scorrere più facilmente reciprocamente; la reazione offerta dal rinfianco alle spinte derivanti dalla ovalizzazione si abbassa sensibilmente e, di fatto, si crea un effetto paragonabile alla diminuzione di attrito interno nel materiale di rinfianco. In termini numerici, se la deformazione della condotta posata senza falda (vedi sopra) era $\Delta\phi = 4,25\%$, con la presenza della falda subisce un incremento del 20% arrivando a $\Delta\phi = 5,90\%$ (> di $\Delta\phi_{lim}$).

Due strade per la stessa meta

In chiusura di quest'articolo è bene fare delle riflessioni. Quando progettiamo e costruiamo un collettore di fognatura noi destiniamo delle risorse economiche per l'ottenimento di un risultato: una cavità, un "buco nel terreno" per far passare i liquami ed allontanarli verso il recapito finale. Posta in questi termini l'opera fognaria sembrerebbe di banale realizzazione, ma la realtà delle reti delle nostre città ci mostra una situazione molto diversa: essa ci evidenzia condotte "invecchiate" prima del tempo debito, corrose, fortemente deformate, che hanno perso il requisito fondamentale dell'impermeabilità. Viene da pensare allora che la realizzazione di una fognatura sia un'opera da progettare ed eseguire con cura e con una attenta scelta dei materiali.

Il percorso lungo i paragrafi di questo articolo ha evidenziato sostanzialmente come, dal punto di vista statico, scegliere un tubo non deformabile comporti in fase di progettazione e di realizzazione il controllo di tre soli parametri mentre con le condotte deformabili i fattori da controllare sono ben otto. Abbiamo visto inoltre come le condotte “rigide” consentano di affrontare con più facilità e sicurezza situazioni che facilmente si possono presentare durante la costruzione o nell’esercizio della fognatura.

Ricordando che, materiali a parte, il prodotto finale deve essere lo stesso (una lunga cavità sotterranea stabile, di geometria certa, impermeabile, resistente alla corrosione) appare evidente come delle due strade per ottenere questo risultato quella della condotta “elastica” richieda più impegno e dia risultati più incerti nel tempo.

E allora una domanda:

delle due strade perché non scegliere la più semplice e sicura?

Una buona risposta?

Le condotte in gres ceramico!

■ RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- *Meccanica dei Terreni* di T.W. Lambe; R. Whitman.
- *Fondazioni* di J.E. Bowles
- *Plastics Pipes for Water Supply and Sewage Disposal* di L. Jenson - Borealis
- *Direttive per il calcolo storico di condotte di deflusso* codice ATV 127 1988
- *Fognature* di L. Da Deppo e C. Datei