

“Canali per fognatura: indicazione per la scelta dei materiali”



Reti di drenaggio urbano – Indicazioni per la scelta dei materiali

I carichi e le sollecitazioni sulle condotte di fognatura e sui relativi materiali utilizzati possono modificarsi negli anni di esercizio, sono quindi necessari il calcolo e la valutazione di questi fattori nonché la previsione di adeguati margini di sicurezza nella progettazione. È abbastanza facile constatare a posteriori il verificarsi di cambiamenti nelle condizioni operative delle reti; il problema che si pone in fase progettuale, che risulta più complesso, è valutare cosa può accadere in una condotta di fognatura. Per questo motivo vengono riportate delle indicazioni relative alla valutazione dei materiali per condotta, focalizzandosi sul calcolo dei possibili rischi derivanti dalla corrosione da acido solforico sprigionato in fase gassosa dal refluo trasportato. Il monitoraggio completo della resistenza all'azione chimica, la verifica delle sollecitazioni statiche, la resistenza alla corrosione derivata da interventi di pulizia effettuati con getti ad alta pressione e l'economicità di tutto il sistema della rete costituiscono un passaggio indispensabile nella progettazione e nella decisione relativa ai materiali da utilizzare. La progettazione deve comprendere sia le valutazioni tecniche sia l'analisi dei costi benefici per le decisioni adottate.



Introduzione

Negli impianti di scarico la corrosione da acido solforico, sotto forma di gas biologico, è una tematica nota ormai da decenni. La continua riduzione dei consumi d'acqua potabile e la conseguente diminuzione dei deflussi, aggraveranno la situazione. I danni dati dalla corrosione sul manufatto aumentano anche i problemi ambientali che si manifestano con cattivi odori.

Per le nuove costruzioni sono disponi-

bili strumenti di progettazione per prevenire questi problemi.

Per il trasporto dei reflui d'uso domestico, commerciali o industriali, che funzionano a gravità, valgono le stesse condizioni idrauliche.

Per un funzionamento sicuro e che non favorisca depositi si devono rispettare le condizioni idrauliche di velocità e pendenza minima. Per la scelta dei materiali costituenti le tubazioni sono importanti le conoscenze e le esperienze relative ai processi di scorrimento e di trasporto solido, nonché le interazioni tra sostanze di scarico ed i materiali con cui sono fabbricati i condotti fognari. Per evitare ed eliminare la sedimentazione dei reflui scaricati vengono previsti moti regolari, secondo piani programmati e processi di manutenzione delle canalizzazioni tramite lavaggio con getti ad alta pressione.

Si deve operare partendo dal presupposto che i canali di scarico sono delle opere edili costruite per durare nel tempo. L'infrastruttura fognaria deve avere una lunga durata prevista già nella fase di progettazione con valutazioni tecniche ed economiche. Durante la vita utile deve poter essere “valutata” con grandezze misurabili sia in modo quantitativo che qualitativo. Questo garantisce la cura e la tutela di questi beni pubblici.

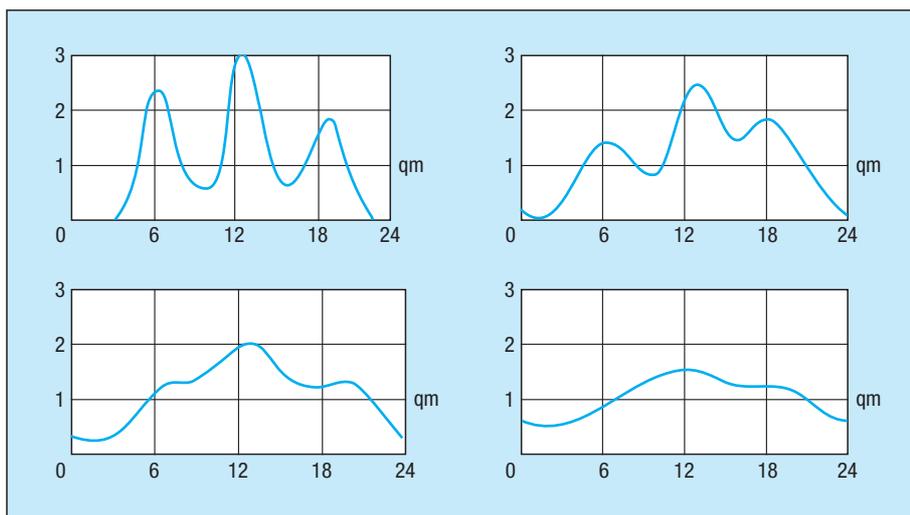
La valutazione del possibile attacco corrosivo, per effetto della netta riduzione delle quantità di acque di scarico da convogliare in fognatura, acquista sempre maggior significato. Lo strumento che consente di pianificare ed esprimere questo concetto è il calcolo del valore Z di Pomeroy.



Reflui scaricati

Quantità, volume e natura delle acque di scarico

In Germania, negli ultimi anni, l'utilizzo di acqua in ambito domestico e nelle piccole industrie si è stabilizzato su 128-130 litri per abitante al giorno.



• **Figura 1:** volume delle acque di scarico in diverse aree di raccolta [3]

Si deve notare che si tratta di un valore medio parametrato sull'utilizzo complessivo di acqua dolce in Germania. Le cifre riportate dai gestori di impianti di smaltimento delle acque di scarico e dagli enti di approvvigionamento dicono che il valore indicato di 128 litri pro capite al giorno non corrisponde al carico idraulico effettivo. Realisticamente si ipotizza invece valori di consumo da 60 a 90 litri pro capite al giorno [1, 16]. Solo il settore rurale viene escluso da questa valutazione dove il consumo medio è sempre minore. Interessanti sono anche le rappresentazioni delle oscillazioni di consumo nel corso della giornata in base all'area di scarico [2]. I grafici in Figura 1 mostrano chiaramente che nelle aree rurali, e scarsamente abitate, i picchi e gli intervalli di tempi dei fabbisogni si alternano a consumi molto ridotti con notevoli oscillazioni degli scarichi di acque reflue.

// Quantità e volume di acqua piovana

Il calcolo dei canali di scarico delle acque miste, relative allo smaltimento dell'acqua piovana, si basa sulla piovosità, sulla orografia del territorio e su criteri di costruzione. Le esperienze dimostrano

che per due terzi dell'anno la condotta per il trasporto di acqua miste funge solo al trasporto delle acque di scarico. Di conseguenza i canali per acque miste, per la maggior parte del tempo, sono manufatti che allontanano acque di scarico.

// Smaltimento acque di scarico

Con la pubblicazione del foglio di lavoro ATV A 110 del 1988 [3] "Direttive per il dimensionamento idraulico di fognature canalizzazioni per acque di sca-

rico", per la prima volta sono stati fissati dei limiti per garantire un esercizio privo di depositi. Le grandezze nominali di riferimento indicate sono "la velocità critica e la pendenza" partendo da una rugosità $K_0 = 1.0$ mm ed una concentrazione in volume di sostanze solide sedimentabili $C_T = 0.05$ ‰. In Tabella 1 è riportato un estratto del foglio ATV A 110, Tabella 12.

Questi valori devono essere aumentati di circa il 10 % in caso di riempimento parziale $h/D=0.1-0.3$. In ambito di dimensionamento, rispettando queste velocità è possibile contribuire ad evitare depositi dannosi per il deflusso e l'esercizio della rete di canalizzazione. La rappresentazione di queste velocità evidenzia solo un aspetto rilevante per il dimensionamento dei canali di scarico. In caso di depositi e relativo smaltimento si deve tuttavia tener conto anche dei carichi dovuti alla pulizia con getti ad alta pressione.

// Principi per la scelta dei materiali

I principali requisiti per una tubazione di scarico possono essere riassunti in: impermeabilità, resistenza meccanica, regolarità dal punto di vista idraulico, sicurezza contro la corrosione, deflusso regolare in tutte le condizioni di esercizio, resistenza ai cicli di manutenzione, lunga du-

| Diametri tubazione in gres | V_{gr} Velocità m/s | l_{crit} Pendenza ‰ |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| DN 200 | 0,50 | 2,04 |
| DN 250 | 0,52 | 1,63 |
| DN 300 | 0,56 | 1,51 |
| DN 400 | 0,67 | 1,45 |
| DN 500 | 0,76 | 1,40 |
| DN 600 | 0,84 | 1,37 |
| DN 800 | 0,98 | 1,31 |
| DN 1000 | 1,12 | 1,26 |

• **Tabella 1:** estratto foglio di lavoro A 110, tabella 12

rata. Questi aspetti devono essere tenuti in considerazione e studiati in sede di progettazione. Si devono conoscere i principali carichi statici e dinamici a cui la tubazione sarà soggetta, valutando la resistenza meccanica necessaria. Si dovrà inoltre considerare l'aggressione chimica e biologica prevedendo, per quanto possibile, gli effetti per l'intera durata di esercizio stimata per il canale di scarico. Solo valutando e considerando tutti i requisiti intrinseci del tipo di scarico e del tipo di reflu è possibile risolvere i problemi legati alla realizzazione dell'opera di fognatura.

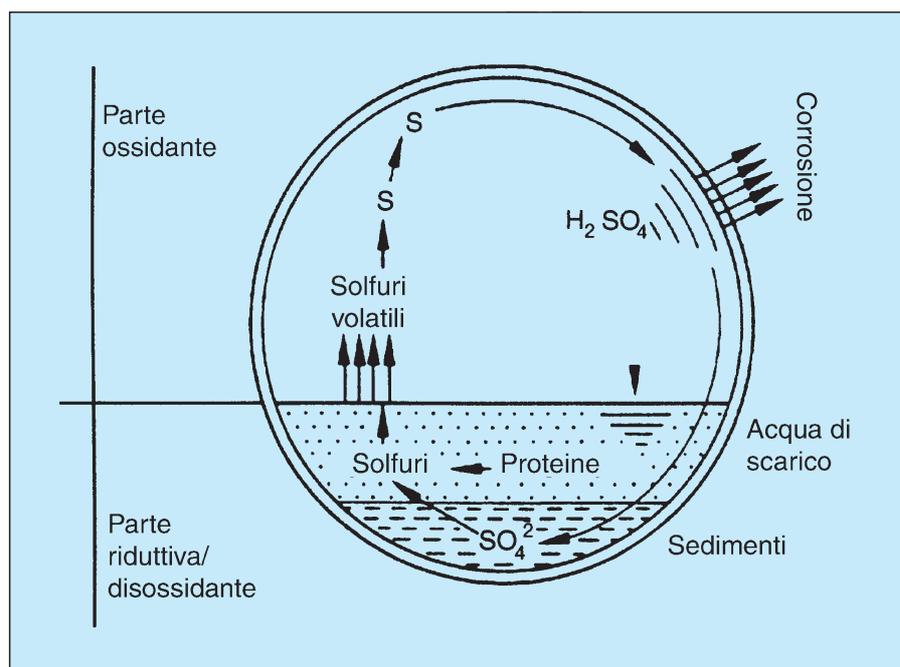
// Sollecitazioni esterne sui materiali da condotta

Le sollecitazioni esterne relative alle tensioni che possono arrecare danni alla condotta possono essere suddivise nel seguente modo [4, 5]:

- **Carichi meccanici:** carichi dati da terreno, traffico, spinta statica, temperatura, assestamenti, deflussi; *danni derivanti:* fessurazioni, deformazioni, bassa ermeticità, abrasioni.
- **Carichi chimici:** acidi, soluzioni alcaline, sostanze aggressive contenute nelle acque di scarico; *danni derivanti:* decomposizione, deformazione, corrosione nell'area di scarico.
- **Carichi biologici:** sostanze organiche contenute nelle acque di scarico; *danni derivanti:* corrosione da acido solforico biochimico alla sommità del tubo (**Fig. 2**).

La decisione relativa al materiale da utilizzare deve comprendere, in base alle diverse sollecitazioni, le seguenti verifiche:

- dimensionamento idraulico in base ai sedimenti;
- verifica statica per la resistenza dei tubi;
- verifica chimica sull'interazione acque di scarico / terreno / acque sotterranee / materiale tubo;
- verifica di manutenzione per la resistenza alla pulizia della tubazione con getti ad alta pressione;



• **Figura 2:** struttura di base in caso di corrosione da acido solforico biologico [4]

- verifica biologica per la corrosione da acido solforico.

Verifiche:

Le verifiche costituiscono un elemento fondamentale della progettazione. In caso di modifiche, successive al conferimento dell'incarico, è necessario ripetere le suddette analisi.

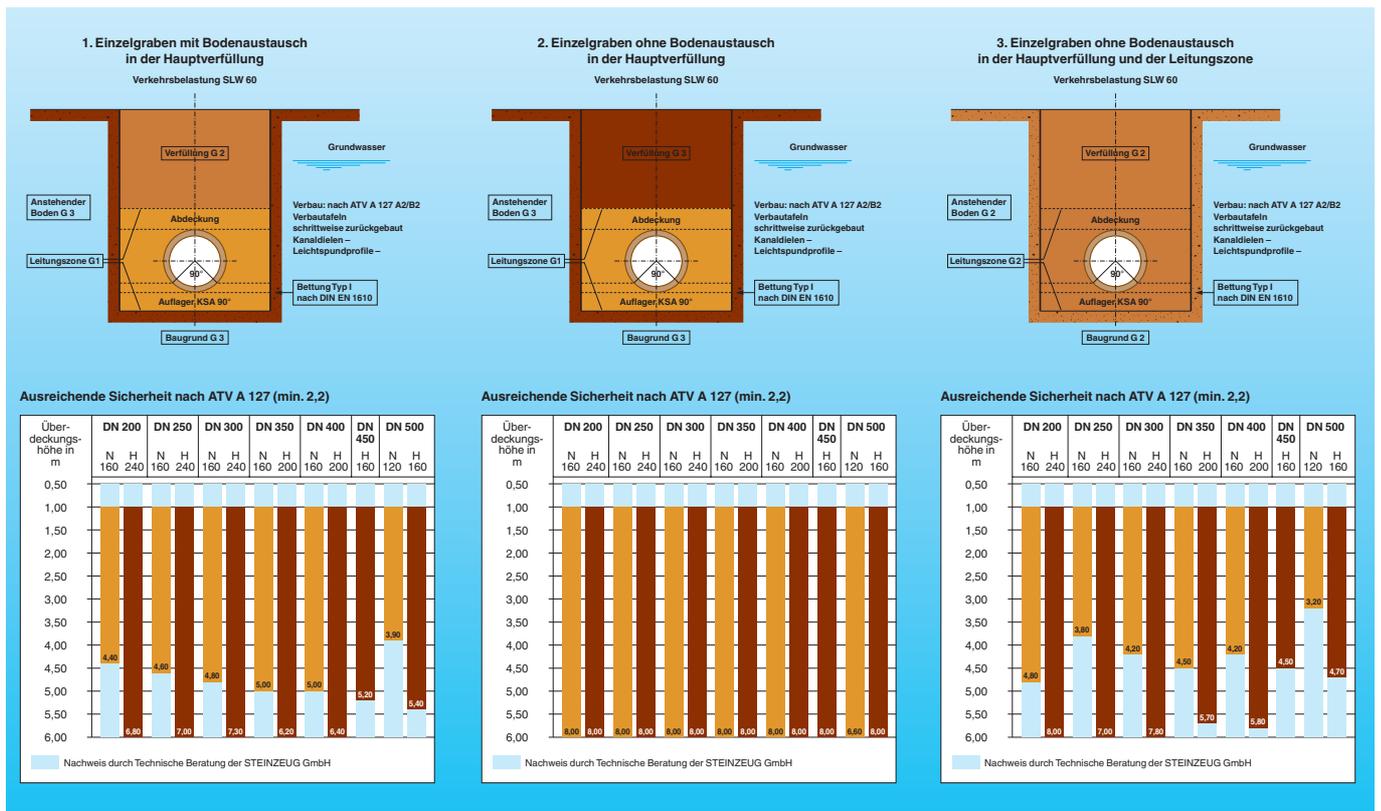
// Verifica idraulica per uno scarico senza ostruzioni da sedimenti

Per l'analisi idraulica si deve far riferimento al foglio di lavoro ATV A 110 nel quale sono riportate le velocità minime di scorrimento relative ai diametri nominali. La quantità di acqua di scarico deve essere calcolata in base all'economizzatore d'acqua, apparecchi domestici a basso consumo, che tengono conto dell'alto livello di dotazione idrica degli elementi sanitari. Lo scarico a pendenza libera necessita di acqua per il trasporto delle sostanze contenute nelle acque. I

depositi organici provocano cattivi odori e conseguenti lamentele dei vicini. Effetti maleodoranti non si hanno solo in caso di scarichi di acque reflue ad alto contenuto organico; anche le cosiddette "acque normali di scarico domestiche" creano problemi nel caso gli elementi di deflusso siano insufficienti.

// Verifica statica

La verifica statica delle tubazioni di scarico viene eseguita in conformità al foglio di lavoro ATV A 127 "Direttive per i calcoli statici di tubazioni di scarico" [6]. Questa direttiva fornisce una procedura di calcolo unificata per i tubi più utilizzati. La norma tecnica europea per l'installazione dei tubi è la norma DIN EN 1610 [7], dove si richiede, senza eccezioni, la verifica statica prima dell'inizio dei lavori. In fase di progettazione preliminare, come prima informazione sul sistema tubo-terreno (**Figura 3**), è possibile eseguire un calcolo statico di base [8] mentre la verifica per i singoli



• **Figura 3: Statica di base per informazioni iniziali sulla capacità del sistema tubo/terreno**

tratti viene eseguita in fase progettazione tecnica esecutiva. Per rispettare le condizioni complementari necessarie per l'installazione dei tubi, stabilite dal progettista, si possono anche definire dei valori limite. L'effetto delle due prescrizioni ATV A 127 e DIN EN 1610 viene rafforzato dalla rielaborazione del foglio di lavoro ATV A 139 attualmente esistente solo come bozza [9].

Verifica di resistenza chimica

Per la prova di idoneità di tubi per lo scarico di acque contenenti sostanze chimiche ed aggressive si deve far riferimento alle norme specifiche per le tubazioni, agli elenchi sulla resistenza dei materiali che devono riguardare anche per le guarnizioni del sistema di giunzione. Sulla base delle norme tecniche,

queste prove devono essere ripetibili e verificabili. La norma DIN EN 476 [10] offre, a questo proposito, un valido supporto per la stesura di una lista di controllo relativa alla determinazione dell'idoneità dei singoli materiali e prodotti. Con l'aiuto di valutazioni è possibile tener conto di ulteriori effetti legati all'utilizzo [11] (**Fig. 4**).

Prova di resistenza all'azione di lavaggio con getti ad alta pressione

Per la manutenzione delle condotte la prova d'idoneità dei materiali per tubazioni viene eseguita determinando la resistenza in funzione della pulizia con getti ad alta pressione. Questo sistema

| Materiale | Idraulica (10) | Resistenza (20) | Statica (15) | Posa (10) | Tenuta (20) | Conduzione (15) | Ambiente (10) | Somma valori ottenuti |
|---------------------|----------------|-----------------|--------------|-----------|-------------|-----------------|---------------|-----------------------|
| Calcestruzzo | | | | | | | | |
| Cemento armato | | | | | | | | |
| Cemento fibroso | | | | | | | | |
| Calcestruzzo polim. | | | | | | | | |
| PVC | | | | | | | | |
| PE | | | | | | | | |
| Polipropilene | | | | | | | | |
| Vetroresina | | | | | | | | |
| Ghisa | | | | | | | | |
| Gres | | | | | | | | |

• **Figura 4: esempio di una matrice di valutazione per materiali per tubi**

di pulizia e quello attualmente più utilizzato in Europa sia per le normali manutenzioni sia per interventi di emergenza in caso di otturazione delle condotte. Il progetto normativo attualmente in corso di elaborazione è trattato dal CEN TC 165 / WG 1 / TG 5 e prevede che i materiali per tubazioni siano verificati al lavaggio fatto con getti ad alta pressione in movimento (pulizia per manutenzione) e fermi (eliminazione di depositi ed otturazioni) [12]. Numerosi risultati di prova sono stati pubblicati da H.R. Steiner, Zürich [da 13 a 15].

// Verifica per la corrosione da acido solforico biochimico

La prova di idoneità per identificare i pericoli che i materiali da condotta possano subire da attacchi biologici, viene effettuata tramite la valutazione degli effetti dovuti alla corrosione da acido solforico biochimico.

Molto spesso questo aspetto viene osservato solo durante l'esercizio o tramite l'individuazione dei danni arrecati alla rete di canalizzazione. Inoltre lo scarico può modificarsi nel tempo per cui occorre anche considerare questo aspetto. La rete di canali esistente deve dunque essere adeguata a questa situazione [da 16 a 18].

Si devono quindi individuare sistemi per la valutazione di questo potenziale pericolo. I punti critici possono essere riassunti in:

- collettore acque di scarico;
- canali per acque miste;
- imbocchi di tubazioni in pressione di singole stazioni di pompaggio e impianti fognari in pressione nella rete a pelo libero;
- canali aventi quota di deflusso, dell'acqua reflua, decisamente ridotta;
- acque di scarico con tempi lunghi di giacenza nella rete di canalizzazione;

- canali con scarichi di ridotta sezione;
- canali per acque reflue con poca pendenza;
- canali per acque reflue con scarichi provenienti da attività industriali e commerciali e impianti di depurazione domestici posti in rete di corto circuito.

Il modulo ATV M 168 [19] descrive le diverse forme di corrosione e fornisce indicazioni per la progettazione, la costruzione e l'esercizio di fognature e raccomanda, in base all'esperienza acquisita, la scelta di adeguati materiali.

La corrosione da acido solforico biochimico si sviluppa maggiormente su manufatti costituiti con conglomerati cementizi o con rivestimenti interni a base di cemento e/o leganti idraulici. La Fig. 5 mostra a titolo esemplificativo gli effetti della corrosione da acido solforico biologico in un pozzetto. Un importante presupposto per la corrosione gassosa da acido solforico è lo sviluppo di solfuro che contribuisce in modo decisivo all'inquinamento organico delle acque di scarico. Lo sviluppo di solfuro è favorito dalla temperatura delle acque di scarico, dalle condizioni di scarico e dalla



• Figura 5: corrosione da acido solforico biochimico in un pozzetto

presenza di depositi nella rete di fognatura. Fattori importanti sono anche i lunghi tempi di trasporto delle sostanze solide nelle acque di scarico ed i processi biologici e biochimici da ciò derivanti.

Per valutare il potenziale di pericolosità delle acque di scarico dovuto alla corrosione da acido solforico biochimico si consiglia l'impiego della cosiddetta "Formula Z" di Pomeroy [19, 20]. Detta formula serve per la valutazione delle acque di scarico con carico organico continuo e mette in relazione le condizioni idrauliche e biologiche complementari con una grandezza adimensionale (Valore Z) di valutazione:

$$Z = \frac{3 \cdot \text{BSB}_5}{I^{1/2} Q^{1/3}} \cdot \frac{U}{b}$$

dove:

BSB_5 = definito come il fabbisogno standard di ossigeno biochimico per 5 giorni a 20°C (BSB_5) moltiplicato per il fattore temperatura 1.07 [T-20], in mg/l; Inquinamento organico: 60 g BSB_5 /Pro capite al giorno; consumo d'acqua: l/Pro capite al giorno

I = pendenza della tubazione in ‰

Q = portata in l/s

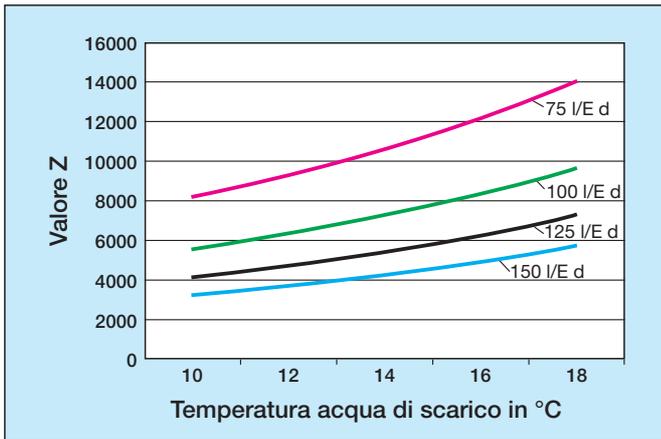
U/b = rapporto tra l'area di canalizzazione e la larghezza dello specchio del flusso

Per determinati valori Z si prevedono i seguenti rapporti:

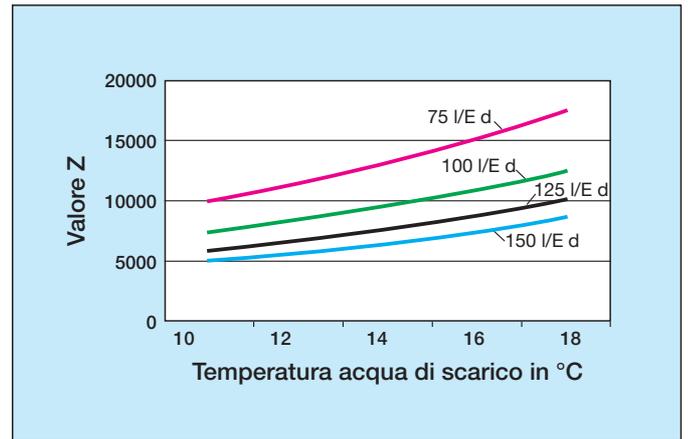
$Z > 5.000$: solfuro praticamente assente o presente in concentrazioni molto ridotte.

$Z \sim 7.500$: può verificarsi una concentrazione massima di pochi centesimi di mg/l di solfuro disciolto.

Il calcestruzzo e le opere in muratura possono essere debolmente attaccate. Una corrosione significa-



• **Figura 6:** Valori Z di un canale fognario DN 250 in relazione alla temperatura delle acque



• **Figura 7:** Valori Z di un canale fognario DN 500 in relazione alla temperatura delle acque

tiva può essere rilevata talvolta nelle vicinanze di punti con forte turbolenza.

Z ~ 10.000: la concentrazione di solfuro è tale che può aumentare l'odore. Il calcestruzzo e le opere in muratura possono subire danni ragguardevoli soprattutto nei punti di maggior turbolenza.

Z ~ 15.000: Odore forte a tempi alterni. Rapido attacco alle parti in calcestruzzo nei punti di maggior turbolenza e forte attacco anche in altri punti. In caso di un tubo in calcestruzzo con pareti di 25 mm di spessore si può prevedere la distruzione in 25 anni.

Z ~ 25.000: Nella maggior parte dei casi è presente solfuro disciolto. I tubi in calcestruzzo di dimensioni inferiori vengono distrutti nell'arco di 5-10 anni.

L'esempio di calcolo seguente, mostra come si ripercuote la possibile corrosione dovuta ad acido solforico data dallo scarico di acque reflue in canali esistenti. Le condizioni ipotizzate sono:

- DN: 250 o 500
- Rugosità (scabrezza) di parete: 1,5 mm

- Livello di pendenza: 5 ‰
 - Abitanti: 5.000
 - Consumo d'acqua: variabile da 75 a 150 l/pro capite al giorno
- Relativamente al Valore Z, il risultato è

rappresentato dalle **figure 6 e 7** e può essere riassunto come segue:

- Valori Z crescenti in caso di pendenza in diminuzione e temperatura in aumento

Riempimento totale

| | | |
|---------------------------------|--------------------|---|
| Diametro D [mm]: | Portata Q [l/s]: | Velocità di scorr. v [m/s]: |
| 250 | 42,6 | 0,87 |
| Pendenza J [0/00]: | Scabrezza kb [mm]: | Viscosità cinematica NUE [m ² /s]: |
| 5 | 1,50 | 1,31 x10E-6 |
| Superficie A [m ²): | Perimetro lu [m]: | Raggio idraulico Rh [m]: |
| 0,0491 | 0,7854 | 0,0625 |
| N° di Reynold Re: | | Lambda: |
| 166031 | | 0.0326 |

Riempimento parziale

| | | |
|----------------------------------|--------------------|--|
| H di riempim. Ht [mm]: | Portata Qt [l/s]: | Velocità di scorr. vt [m/s]: |
| 111 | 17,5 | 0,83 |
| Superficie At [m ²): | Perimetro lut [m]: | Raggio idraulico Rht [m]: |
| 0,0211 | 0,3646 | 0,0579 |
| Specchio d'acqua Bt [mm]: | | Tensione tang. sulla parete Tau [N/m ²): |
| 248 | | 2,84 |

• **Figura 8:** STGA 110 rappresentazione riempimento totale e parziale

Valore Z

| Dati (imputati) | | |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Portata Qt [l/s]: | N° abitanti: | Fattore per picco orario: |
| 17,4 | 5000 | 8 |
| Consumo d'acqua [l/(E*d)]: | Trasporto solido [g/(E*d)]: | Temperatura T [°]: |
| 100 | 60 | 12 |
| Diametro D [mm]: | Pendenza J [0/00]: | H di riempimento Ht [mm]: |
| 250 | 5 | 111 |
| lut [m]: | Bt [mm]: | |
| 0,3646 | 248 | |

| Risultati: | | |
|--------------|--------------|-----------|
| BSB5 [mg/l]: | EBSB [mg/l]: | Valore Z: |
| 600 | 349.2 | 8406 |

Maggiore è l'attacco degli agenti chimici più aumenta l'odore

• **Figura 9: STGA 110 – rappresentazione di un valore Z**

- Valori Z crescenti in caso di ridotto consumo di acqua alle stesse condizioni
- La riduzione del consumo di acqua corrisponde come effetto ad un aumento di temperatura delle acque di scarico
- La determinazione di valori Z superiori a 7.500 dovrebbe quindi richiedere un calcolo preciso della formazione di acido solforico e della corrosione da acido solforico biochimico.

Il software a disposizione [22] (**Fig. 8 e 9**) permette di controllare in modo rapido e semplice gli scarichi di acque reflue relativamente al danneggiamento, derivato dalla corrosione da acido solforico biochimico, dei materiali costituenti le tubazioni. L'interazione del calcolo secondo Pomeroy con il calcolo idraulico secondo ATV A 110 fornisce uno strumento adeguato per testare, come valido metodo di prova, gli scarichi privi di deposito.



Verifica economica

Le valutazioni sopra indicate si basano tutte su criteri tecnici. Queste devono essere completate da considerazioni a carattere economico in base a quanto definito dalla "Direttive per l'esecuzione di calcoli di comparazione dei costi" esistente dal 1986 ed emesse da LAWA [23]. Con questo metodo gli aspetti tecnici e finanziari possono essere inglobati in un solo criterio. La decisione progettuale risulta quindi obiettiva e realizzabile.

Le principali considerazioni per l'elaborazione dei parametri relativi alla costruzione di condotte sono: i costi per l'esecuzione e la durata di utilizzo delle singole parti dell'impianto.

La durata dipende principalmente dalle proprietà dei materiali dei tubi utilizzati per costruire la rete.

Le strutture soggette a lunghi periodi d'esercizio in condizioni precarie, come le reti fognarie, devono indurre all'im-

piego di materiali idonei sicuri e di lunga affidabilità.

La valutazione economica è facilitata da un software che copre l'intero campo delle problematiche tecniche sulle acque di scarico [24] ma in ogni caso l'esperienza progettuale ed esecutiva condotta in Germania dimostra come la scelta di impiegare tubazioni in gres ceramico verniciato rappresenti la soluzione più sicura ed economica se valutata in funzione della durata e dei costi di manutenzione necessari.



Bibliografia

- [1] Jahresbericht der Wasserwirtschaft
- [2] ATV-Arbeitsblatt A 110 „Richtlinien für die hydraulische Dimensionierung und den Leistungsnachweis von Abwasserkanälen und -leitungen“ (1988-08)
- [3] ATV-Handbuch: Planung der Kanalisation (4. Auflage)
- [4] D. Stein: Instandhaltung von Kanalisationen (3. Auflage)
- [5] Petzow, G.; Schubert, H.: Materialeigenschaften im Spiegel des Kanalrohreinsetzes. Korrespondenz Abwasser (1992) Nr. 5
- [6] ATV-Arbeitsblatt A 127 „Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und -leitungen“ (1988-12)
- [7] DIN EN 1610 „Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen“ (1997-10)
- [8] ATV-Arbeitsblatt A 139 „Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen“ (Entwurf 2000)
- [9] Steinzeug Abwassersysteme GmbH: Statiktabellen zur Anwendung von Steinzeugrohren

- [10] DIN EN 476 „Allgemeine Anforderungen an Bauteile für Abwasserkanäle und -leitungen für Schwerkraftentwässerungssysteme“ (1997-08)
- [11] Steinzeug Abwassersysteme GmbH: Bewertungsmatrix für Rohrwerkstoffe
- [12] K.-H. Flick, J. Zanders: CEN-Steinzeugrohre [TC 165 WG 2] setzt erneut Maßstäbe in Europa, Steinzeug Information 1999, Fachverband Steinzeugindustrie e.V.
- [13] Steiner, H. R.: Verhalten von Abwasserkanälen bei der Reinigung mit Hochdruckspülung. Korrespondenz Abwasser (1992) Nr. 2
- [14] H. R. Steiner: Hochdruckspülung und Stand der Arbeiten in der CEN TC 165. IRO Band 20, Essen: Vulkan Verlag
- [15] H. R. Steiner, H. Kiefer: Der Glatt-Stollen. Eine Langzeitinvestition für den Abwassertransport, Steinzeug Information 1999, Fachverband Steinzeugindustrie e.V.
- [16] C.-H. Rolfs: Säureschutz für Abwasserkanäle – heute! – und morgen? Anforderungen an die Abwasserentsorgung aus ganzheitlicher Sicht, IRO Band 20, Essen: Vulkan Verlag
- [17] L. Barenthien: Der Abwassertransport aus der Sicht von Planung und Betrieb, IRO Band 20, Essen: Vulkan Verlag
- [18] U. Rosentreter: Bautechnische Lösungsansätze für nachhaltiges Instandsetzen von Abwasseranlagen aus Beton, IRO Band 20, Essen: Vulkan Verlag
- [19] ATV-Merkblatt M 168 „Korrosion von Abwasseranlagen – Abwasserableitung“ (1998-07)
- [20] R. Pomeroy: Das Problem von Schwefelwasserstoff in Abwasserkanälen. Feugrès-Publikation Nr. 6
- [21] R. Bielecki, H. Schremmer: Biogene Schwefelsäure-Korrosion in teilgefüllten Abwasserkanälen. Heft 94/ 1987, Mitteilungen des Leichtweiß-Instituts für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig
- [22] Steinzeug Abwassersysteme GmbH, Köln: Programm zur hydraulischen Berechnung teilgefüllter Leitungen und zur Abschätzung des Gefährdungspotentials durch biogene Schwefelsäure-Korrosion, Stand 2000
- [23] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): Leitlinien zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen (Ausgabe 1998)
- [24] KORE – Das Prüfprogramm für Abwassermaßnahmen. Ingenieurgesellschaft IPDWG, Hamburg, Dresden 1999