

| | | |
|--|-------------|----------|
| 1 – PREMESSA..... | pag. | 2 |
| 2 – CALCOLO IDRAULICO..... | pag. | 2 |
| 3 – CALCOLO DELLA PORTATA DEGLI SCARICHI REFLUI URBANI..... | pag. | 2 |
| 4 – ANALISI DEL MOVIMENTO DELLE ACQUE METEORICHE..... | pag. | 3 |
| 5 – CALCOLO STATICO..... | pag. | 4 |
| 6 – VERIFICA IDRAULICA DELLA FOGNATURA NERA..... | pag. | 5 |
| 7 – VERIFICA STATICA DELLA FOGNATURA NERA..... | pag. | 7 |

1 – PREMESSA

Il dimensionamento della rete di raccolta degli scarichi reflui urbani (*c.d. fognatura nera*) è diretta conseguenza di una duplice verifica: una di natura idraulica ed una di natura statica.

Il calcolo idraulico deve dimostrare che le condotte sono in grado di smaltire le portate degli scarichi reflui urbani raccolti nel comparto urbanistico di progetto e più in generale nell'ambito territoriale a cui fa riferimento la fognatura nera.

Il calcolo statico deve dimostrare che le condotte sono in grado di sopportare le sollecitazioni meccaniche a cui sono sottoposte determinate dal terreno, dal traffico e dall'acqua di falda.

2 – CALCOLO IDRAULICO

Il calcolo idraulico di una fogna nera si articola in due fasi principali:

- determinazione della portata degli scarichi reflui urbani raccolti nell'ambito territoriale a cui fa riferimento la fognatura nera;
- analisi del movimento degli scarichi reflui urbani all'interno delle condotte.

Per il calcolo della portata delle acque nere esiste una vasta letteratura che affronta questo problema: nella presente relazione si fa esplicito riferimento al **Calcolo Idraulico** definito nel testo dell'ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI: "*INSTALLAZIONE DELLE FOGNATURE IN PVC*", Pubblicazione n. 3 – Novembre 1984.

Per l'analisi del movimento dell'acqua, in relazione alla scelta di utilizzare condotte circolari in PVC conformi alla norma UNI EN 1401-1 tipo SN4 - SDR 41 (ex UNI 7447 tipo 303/1), si fa riferimento alla formula di Prandtl-Colebrook che per altro trova sempre maggiore consensi in letteratura.

3 – CALCOLO DELLA PORTATA DEGLI SCARICHI REFLUI URBANI

Il calcolo della portata degli scarichi reflui urbani presenta meno difficoltà della determinazione delle portate pluviali che deve smaltire una rete di fognatura bianca.

I parametri base di cui bisogna tenere conto sono quattro:

- 1) P = popolazione insediabile nell'ambito territoriale a cui fa riferimento la fognatura nera di progetto;
- 2) d = dotazione idrica giornaliera per abitante (≈ 300 litri/abitante giorno);
- 3) α = coefficiente di riduzione ($\approx 0,80$);
- 4) K = coefficiente di contemporaneità (in genere varia da $1,3 \div 2$).

La determinazione della portata degli scarichi urbani è data dalla formula (1):

$$Q = \frac{P \cdot d \cdot \alpha}{86400} \cdot K \quad (1)$$

4 – ANALISI DEL MOVIMENTO DEGLI SCARICHI REFLUI URBANI

Per l'analisi del movimento dell'acqua nelle condotte circolari in PVC trova sempre maggiore consenso la formula di Prandt-Colebrook:

$$V = -2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot Di \cdot J} \cdot \log\left(\frac{K}{3,71 \cdot Di} + \frac{2,51}{2 \cdot g \cdot Di \cdot J}\right) \quad (2)$$

dove:

- V = velocità media della corrente (m / sec.);
- g = Accelerazione di gravità (9,81 m / sec.²);
- Di = Diametro interno del tubo (m);
- J = Pendenza della tubazione (valore assoluto);
- K = Scabrezza assoluta che per le tubazioni in PVC si assume pari a 0,25 mm (valore raccomandato da A.T.V.¹);
- ν = Viscosità cinematica che per le tubazioni in PVC si assume pari a $1,31 \cdot 10^{-6}$ m² / sec. (valore raccomandato da A.T.V.).

Poiché viene considerato in ogni caso un deflusso a sezione piena, è facile risalire alla portata massima applicando la formula:

$$Q = \pi \cdot \frac{Di^2}{4} \cdot V \quad (3)$$

Quanto sopra precisato si riferisce al flusso a sezione piena e cioè relativo alla massima capacità di portata.

Ciò tuttavia non deve avvenire mai in quanto l'assenza di un'adeguata aerazione della canalizzazione innesca dei fenomeni ondosi che possono provocare pericolosi fenomeni di battimento.

Più spesso la sezione di una condotta fognaria è occupata solo in parte dal fluido e pertanto le velocità e le portate variano al variare dell'altezza del fluido nel tubo secondo una specifica relazione abbondantemente riportata in letteratura sia in forma di grafico che di tabella numerica.

In ogni caso è opportuno che il grado di riempimento (h / \varnothing) non superi il valore di 0,5 per le tubazioni di piccolo diametro (≤ 400), mentre possono essere accettati valori dell'ordine di $0,7 \div 0,8$ per diametri maggiori (assicurando comunque un franco libero di almeno 20 cm).

La Circolare n. 11633 del Ministero dei LL.PP. (istruzioni per la progettazione delle fognature e degli impianti di trattamento delle acque di rifiuto) indica che per le acque nere la velocità relativa alla portata media non deve essere

¹ Associazione Tecnica delle Fognature

inferiore a 0,5 m/s, che viene considerata una velocità autosufficiente a garantire l'autopulizia della condotta. Ovviamente la velocità di autopulizia dovrà essere tanto più elevata quanto maggiore è la possibilità di adesione dei sedimenti al fondo ed alle pareti della condotta: da tale punto di vista il PVC offre ottime garanzie, anche per velocità inferiori.

Per quanto concerne l'abrasione delle pareti delle condotte causata dall'azione meccanica esercitata dal materiale solido trascinato in sospensione nei liquami la già citata Circolare n. 11633 indica per le portate nere di punta una velocità massima di 4 m/s da non oltrepassare.

5 – CALCOLO STATICO

L'unico parametro significativo da verificare nell'ambito del calcolo statico delle condotte interrate in PVC è la **deformazione diametrale**.

Dopo 20 anni di osservazioni e misure effettuate sulle condotte interrate in PVC si è potuto verificare che una deformazione diametrale iniziale (1 ÷ 3 mesi) non superiore al 5% ed una deformazione diametrale finale (2 anni) non superiore al 8% costituiscono una garanzia nei confronti dell'assenza di fenomeni di collasso della tubazione.

La resistenza meccanica dei tubi destinati alle fognature è determinata dai carichi esterni (Q) dati dalla somma di tre elementi:

- 1) carico del terreno (q_t);
- 2) carico del traffico o carichi mobili (q_m);
- 3) acqua di falda (q_f).

Carico del terreno (q_t)

Il carico del terreno è dato da:

$$(q_t) = C_{d1} \cdot \gamma \cdot B \quad (4)$$

dove:

- C_{d1} = $(1 - e^{-2 \cdot k \cdot \text{tg} \theta \cdot H/B}) / (2 \cdot k \cdot \text{tg} \theta)$ = coefficiente di carico per il riempimento in trincea;
- γ = peso specifico del terreno (kg/m^3);
- k = $\text{tg}^2 (\pi/4 - \emptyset/2)$ = rapporto tra pressione orizzontale e verticale nel materiale di riempimento;
- θ = angolo di attrito tra materiale di riempimento e pareti della trincea;
- \emptyset = angolo di attrito interno del materiale di riempimento;
- H = altezza del riempimento misurato a partire dalla generatrice superiore del tubo (m);
- B = larghezza della trincea, misurata in corrispondenza della generatrice superiore del tubo (m).

Carichi mobili (q_m)

Il carico mobile è dato da:

$$q_m = (3/2\pi) \cdot [P/(H+D_e/2)^2] \cdot \varphi \quad (5)$$

dove:

- P = carico concentrato (kg) rappresentato da una ruota o da una coppia di ruote (P = 6000 kg rispecchia la situazione in cui sono previsti solo passaggi di autovetture e autocarri leggeri);
- D_e = diametro esterno del tubo;
- H = altezza del riempimento misurato a partire dalla generatrice superiore del tubo (m);
- φ = coefficiente correttivo che tiene conto dell'effetto dinamico dei carichi indicati con P, si assume uguale a 1 + 0,3/H.

Carico per l'acqua di falda (q_f)

Il carico per acqua di falda è dato da:

$$q_f = \gamma_{acqua} (H - H_1 + D_e/2) \quad (6)$$

dove:

- γ_{acqua} = peso specifico dell'acqua di falda (kg/m³).
- H = altezza del riempimento misurata a partire dalla generatrice superiore del tubo (m);
- H₁ = altezza del riempimento misurata a partire dal livello della falda d'acqua (m);
- D_e = diametro esterno del tubo (m);

Verifica a flessione del tubo

Le flessioni Δ_x di un tubo flessibile interrato sottoposto ad un carico sono rette dalla formula di Spangler, che per le deformazioni iniziali (1 ÷ 3 mesi) assume la forma di cui all'equazione (7)

$$\Delta x = \frac{0,125 \cdot Q}{E \cdot \left(\frac{S}{D}\right)^3 + 0,0915 \cdot E_1} \quad (7)$$

mentre per determinare le deformazioni nel tempo (2 anni) si inserisce nella suddetta formula un coefficiente T che consente di tenere conto sia delle variazioni delle caratteristiche meccaniche del PVC, sia del comportamento del terreno nel tempo (8).

$$\Delta x = \frac{0,125 \cdot T \cdot Q}{\frac{E}{T} \cdot \left(\frac{s}{D_e}\right)^3 + 0,0915 \cdot E_1} \quad (8)$$

dove:

T = 2 (valore normalmente raccomandato in letteratura scientifica);

E = modulo di elasticità del PVC;

s = spessore del tubo (m);

D_e = diametro esterno del tubo (m);

E₁ = $\frac{9 \cdot 10^4}{\alpha'} \cdot (H + 4)$ (kg/m²)

H = altezza del riempimento misurata a partire dalla generatrice superiore del tubo (m);

a' = fattore dipendente dalla compattazione del rinfianco del tubo; generalmente assumendo un indice della prova di Proctor del terreno di riempimento pari al 90% ⇒ a' = 1,5

I valori di deformazione diametrale da non superare, raccomandati dalle norme ISO/DTR 7073 per tubazioni in PVC conformi alla norma UNI EN 1401-1 tipo SN4 - SDR 41 (ex UNI 7447 tipo 303/1), sono:

1) dopo 1 ÷ 3 mesi:

$$x_{1 \div 3} = (0,125 Q) / [E (s/D)^3 + 0,0915 E_1] < 8\% \text{ (valore max per tubi UNI EN 1401-1 tipo SN4 - SDR 41)}$$

2) dopo 2 anni:

$$x_2 = (0,125 T Q) / [E T (s/D)^3 + 0,0915 E_1] < 10\% \text{ (valore max per tubi UNI EN 1401-1 tipo SN4 - SDR 41)}$$

6 – VERIFICA IDRAULICA DELLA FOGNATURA NERA

Calcolo della popolazione insediabile nell'ambito territoriale di riferimento della fognatura nera che fa riferimento al ramo che si sviluppa tra i nodi 6 – 13 che va a confluire nel pozzetto 13.

| SUPERFICIE DELL'AMBITO TERRITORIALE DI RIFERIMENTO (mq) | |
|--|-----------|
| Superficie zona residenziale di espansione C1.c | 11.257 mq |
| Superficie zona residenziale di completamento B1.b | 4.768 mq |
| Utilizzazione fondiaria zona C1.c | 0,25 |
| Utilizzazione fondiaria zona B1.b | 0,60 |
| Superficie utile massima zona C1.c | 2.814 mq |
| Superficie utile massima zona B1.b | 2.860 mq |
| Superficie utile totale | 5.674 mq |
| Superficie utile media di ogni unità immobiliare | 130 mq |
| Numero di unità immobiliari in zona C1.c | n. 22 |
| Numero di unità immobiliari in zona B1.b | n. 22 |
| Numero di unità immobiliari complessive | n. 44 |
| Abitanti per ogni unità immobiliare | 6 ab. |
| Popolazione massima insediabile | 264 ab. |

Portata massima degli scarichi reflui urbani

$$Q = \frac{264 \cdot 300 \cdot 0,8}{86400} \cdot 2 = 0,73 \text{ l/sec.}$$

Verifica della fognatura nera esistente

L'ambito territoriale del Villaggio di San Francesco è attualmente servito da una fognatura in PVC Ø 315, già gestita dal C.A.D.F. S.p.A., che risulta ampiamente sufficiente a supportare la massima portata realizzabile.

| | | | |
|-------------------|---|--|--------------------------------|
| Q_p | = | PORTATA MASSIMA DI PROGETTO (l / sec.) | 0,73 |
| Q | = | PORTATA MASSIMA DI UNA TUBAZIONE IN PVC Ø 315 CON PENDENZA 2‰ (l / sec.) | 52,84 |
| V | = | VELOCITA' MASSIMA DI UNA TUBAZIONE IN PVC Ø 315 CON PENDENZA 2‰ (m / sec.) | 0,75 |
| Q_p / Q | = | RAPPORTO TRA LA PORTATA DI PROGETTO E LA PORTATA MASSIMA | 0,014 |
| h / \varnothing | = | GRADO DI RIEMPIMENTO | $0,08 \leq 0,50$ |
| V_p / V | = | RAPPORTO TRA LA VELOCITA' DI PROGETTO E LA VELOCITA' MASSIMA | 0,38 |
| V_p | = | VELOCITA' DI PROGETTO (m / sec.) | $0,29 < 0,50$ $0,29 < 4,00$ |

Calcolo della popolazione insediabile nell'ambito territoriale ristretto ai lotti 9, 10 e 11 che fa riferimento al ramo terminale della fognatura nera che si sviluppa tra i nodi 1 – 6 che va a confluire nel pozzetto del nodo 6.

| SUPERFICIE DELL'AMBITO TERRITORIALE DI RIFERIMENTO | |
|---|----------|
| (mq) | |
| Superficie zona residenziale di espansione C1.c | 1.518 mq |
| Utilizzazione fondiaria zona C1.c | 0,25 |
| Superficie utile max zona C1.c | 676 mq |
| Superficie utile media di ogni unità immobiliare | 130 mq |
| Numero di unità immobiliari in zona C1.c | n. 6 |
| Abitanti per ogni unità immobiliare | 6 ab. |
| Popolazione max insediabile | 36 ab. |

Portata massima degli scarichi reflui urbani

$$Q = \frac{36 \cdot 300 \cdot 0,8}{86400} \cdot 2 = 0,10 \text{ l/sec.}$$

Verifica della fognatura nera di progetto

L'ambito territoriale, ristretto ai lotti 9, 10 e 11 del P.U.E. "Darsena" sarà servito da una fognatura in PVC Ø 250, che risulta ampiamente sufficiente a sopportare la massima portata realizzabile.

| | | | |
|--------------------|---|--|-------------|
| Q _p | = | PORTATA MASSIMA DI PROGETTO (l / sec.) | 0,10 |
| Q | = | PORTATA MASSIMA DI UNA TUBAZIONE IN PVC Ø 250 CON PENDENZA 2‰ (l / sec.) | 28,65 |
| V | = | VELOCITA' MASSIMA DI UNA TUBAZIONE IN PVC Ø 250 CON PENDENZA 2‰ (m / sec.) | 0,64 |
| Q _p / Q | = | RAPPORTO TRA LA PORTATA DI PROGETTO E LA PORTATA MASSIMA | 0,004 |
| h / Ø | = | GRADO DI RIEMPIMENTO | 0,04 ≤ 0,50 |
| V _p / V | = | RAPPORTO TRA LA VELOCITA' DI PROGETTO E LA VELOCITA' MASSIMA | 0,25 |
| V _p | = | VELOCITA' DI PROGETTO (m / sec.) | 0,16 < 0,50 |
| | | | 0,16 < 4,00 |

Analisi delle velocità

In entrambi i rami della fognatura nera si registrano delle velocità del flusso dei liquami abbondantemente inferiori a 4,00 m/sec, per cui i flussi non presentano minimamente effetti dirompenti.

Per contro in entrambi i rami della fognatura nera si registrano delle velocità del flusso dei liquami inferiori a 0,50 m/sec, per cui i flussi possono essere soggetti a fenomeni di sedimentazione dei liquami.

Il ramo principale della fognatura nera, che va dal nodo 6 al nodo 13, presenta un diametro della condotta pari a 315 mm ed è attualmente in essere e già gestito dal C.A.D.F. S.p.A., per cui sul dimensionamento non è più possibile intervenire.

Il ramo secondario della fognatura nera, che va dal nodo 1 al nodo 6, presenta un diametro della condotta pari a 250 mm. Senza ombra di dubbio è un diametro di gran lunga sovradimensionato rispetto alla portata che si registra con conseguente velocità del flusso estremamente ridotta. Per contro non è possibile ricorrere a diametri inferiori in quanto per tubazioni di piccolo diametro, al fine di evitare pericolosi fenomeni di battimento, è bene assicurare sempre e comunque un franco libero dell'ordine di 20 cm: soprattutto in condotte fognarie principali caratterizzate da consistenti sviluppi lineari tra pozzetto d'ispezione e pozzetto d'ispezione ($\approx 15 \div 20$ m). Al fine di rendere sicure le operazioni di pulizia delle fognature è bene che le condotte principali non abbiano mai diametri inferiori a 250 mm, in quanto il moto ondoso innescato dai notevoli flussi di acqua utilizzati per la pulizia potrebbero danneggiare le condotte.

Da queste considerazioni possiamo giusto escludere gli allacciamenti, caratterizzati da modesti sviluppi lineari ($\approx 3 \div 5$ m).

In ogni caso sarà necessario prevedere da parte del C.A.D.F. S.p.A., che si farà carico della manutenzione delle condotte, adeguati programmi di lavaggio.

7 - VERIFICHE STATICHE DELLE CONDOTTE

Le verifiche statiche delle condotte in PVC sono state effettuate calcolando le deformazioni diametrali con la formula di SPRANGLER, secondo le indicazioni contenute nella pubblicazione **“Installazione delle fognature in PVC” – Pubblicazione n. 3 – Novembre 1984.**

Le verifiche sono state eseguite, per i vari diametri utilizzati, in corrispondenza dei nodi più sollecitati:

- 1) nodo 13 per la condotta \varnothing 315;
- 2) nodo 6 per la condotta \varnothing 250.