

1 Dimensionamento e verifica delle condotte

Il dimensionamento di una rete di drenaggio dipende dalle portate critiche valutate in corrispondenza di ogni singolo collettore calcolate come somma della massima portata nera e della massima portata meteorica. Le portate di origine meteorica (piogge di progetto) dipendono dalle caratteristiche geometriche della rete di smaltimento e dalle caratteristiche generali delle aree drenanti che costituiscono il sottobacino afferente a ciascun collettore mentre le portate nere dipendono dalla densità abitativa e dall'apporto procapite in fognatura.

Il dimensionamento della rete fognante è stato condotto utilizzando il modello cinematico modificato (Becciu, Paoletti 1997) ampiamente descritto nel seguito che ricordiamo avere numerosi riscontri sperimentali della sua efficacia.

2.1 Generalità

Il Metodo cinematico è basato su un modello concettuale lineare e stazionario secondo cui il bacino drenante viene schematizzato come un insieme di canali lineari che producono soltanto un ritardo dell'uscita rispetto all'ingresso e nessun effetto di laminazione o riduzione del colmo. Secondo tale metodo la pioggia critica cioè quella che produce la portata massima nella sezione terminale del bacino è la pioggia avente durata pari al tempo di corrivazione del bacino. L'idrogramma di piena ha forma di triangolo isoscele caratterizzato da un valore massimo della portata doppio di quello medio.

Pertanto la massima portata è esprimibile con la formula razionale:

$$Q_c = 2.78S\phi ad^{n_c}$$

in cui:

S indica la superficie totale drenante nella condotta;

ϕ indica il coefficiente di afflusso;

a indica il coefficiente pluviometrico orario;

n indica il coefficiente n esponente della linea segnalatrice di pioggia.

d_c indica la durata critica ;

Il coefficiente di afflusso tiene conto che non tutto l'afflusso pluviometrico viene trasformato in deflusso nella rete di fognatura. Sono cause della perdita gli invasi nelle depressioni della superficie del suolo, il velo idrico trattenuto dalla tensione superficiale, l'infiltrazione nel sottosuolo, l'evaporazione. Nelle aree urbanizzate l'infiltrazione risulta la causa principale di perdita.

La durata critica è espressa dalla relazione proposta da Becciu, Paoletti [1997] $d_c = T_e + T_r / 1.5$ in cui T_e indica il tempo di ingresso in rete e T_r tempo di corrivazione della rete. Il coefficiente correttivo 1.5 tiene conto del fatto che i reali tempi di concentrazione delle portate di piena son ben minori del tempo di corrivazione $T_e + T_r$. Il tempo di ruscellamento o di ingresso in rete viene assunto

pari a 5-15 minuti, in funzione del grado di urbanizzazione del centro abitato e della pendenza delle superfici. Il tempo T_r di percorrenza entro il tratto di canalizzazione lungo L percorso in condizioni di moto uniforme dalla portata Q_r con velocità v_r viene calcolato mediante la $T_r = L/v_r$ in cui L è la lunghezza del condotto e v_r la velocità a massimo riempimento (moto uniforme).

Per i tratti non di testa, al tempo di percorrenza del condotto di riferimento si deve sommare anche il valore massimo dei tempi di corrivazione dei percorsi canalizzati a monte.

Nota la durata critica è possibile calcolare la durata critica di pioggia mediante la a a cui viene sommata la portata nera di punta Q_{np} per la verifica della massima portata fluente nella sezione di calcolo.

Nota la durata critica è possibile calcolare la durata critica di pioggia mediante la $Q_c = 2.78S\phi ad^{n_c}$ a cui viene sommata la portata nera di punta Q_{np} per la verifica della massima portata fluente nella sezione di calcolo.

Nota la Q_t , attraverso le scale di deflusso dello speco in esame calcolate sotto l'ipotesi di flusso in moto uniforme, si risale, al valore del grado di riempimento ed alla velocità reale di scorrimento v .

Si pone a confronto il grado di riempimento relativo alla portata critica (somma della portata critica di pioggia e della portata nera di punta) con il grado di riempimento e velocità di progetto assunto dall'utente.

Se il grado di riempimento e la velocità risultano superiore ai valori imposti dall'utente occorrerà riverificare la sezione del condotto mentre nel caso contrario le dimensioni del condotto sono tali da rispettare sia il grado di riempimento che la velocità di scorrimento ;

Nel caso in cui, fatto salvo il grado di riempimento, il valore massimo della velocità ecceda il limite consentito per il tipo di materiale utilizzato per la costruzione dello speco si provvederà a ridurre la pendenza della canalizzazione, con l'inserimento di salti di fondo.

3 Dati di input

3.1 Acque nere

La portata nera è stimabile mediante due diverse metodologie:

la prima fa riferimento al calcolo in base alla densità abitativa ed all'apporto procapite in fognatura derivante dall'uso dell'acqua distribuita dall'acquedotto;

la seconda fa riferimento al concetto di unità di scarico.

3.1.1 Metodologia abitanti equivalenti

La portata nera media è stimata secondo la seguente relazione:

$$Q_n = \phi * D * N_{ab} / 86400$$

In cui:

φ indica il coefficiente di deflusso cioè l'apporto procapite in fognatura derivante dall'uso dell'acqua distribuita dall'acquedotto; da porsi usualmente pari a 0.8;

D la dotazione idrica espressa in l/d ab; in funzione della tipologia di centro abitato;

N il numero di abitanti equivalenti;

La portata nera di punta è data dalla relazione:

$$Q_n = (P_g * P_o * \varphi * D * N_{ab}) / 86400$$

in cui sono P_g e P_o il coefficiente di punta giornaliero e orario posti abitualmente pari a 1.5. Per il calcolo degli abitanti equivalenti si utilizza la tabella di conversione riportata nel seguito che permette in funzione della tipologia di utenza di determinare il numero di abitanti equivalenti. La tabella è conforme a quanto prescritto da D.Lgs 152/06.

Tipo di utenza	Abitanti equivalenti
Abitazioni	1 a.e. ogni persona
Alberghi, agriturismi, villaggi turistici	1 a.e. ogni persona + 1 a.e. ogni 3 addetti
Campeggi	1 a.e. ogni 2 persone + 1 a.e. ogni 3 addetti
Ristoranti	1 a.e. ogni 3 coperti + 1 a.e. ogni 3 addetti
Bar	1 a.e. ogni 10 clienti + 1 a.e. ogni 3 addetti
Cinema, teatri, sale convegni	1 a.e. ogni 10 posti + 1 a.e. ogni 3 addetti
Scuole	1 a.e. ogni 6 alunni
Uffici, negozi, attività commerciali	1 a.e. ogni 3 impiegati
Fabbriche, laboratori	1 a.e. ogni 2 lavoratori

3.1.2 Metodologia Unità di scarico

L'unità di scarico è definita dalla portata di 0.25 l/s. Il calcolo della portata scaricata fa generalmente riferimento al numero delle unità di scarico. Gli apparecchi sono classificati per gruppi, detti appunto gruppi di unità di scarico, ciascuno caratterizzato dalla stessa portata di scarico costante: con numerazione di classifica eguale o multipla dell'unità di scarico di 0.25 l/s. La successiva tabella indica il gruppo delle unità di scarico dei principali apparecchi a uso civile. Considerata una sezione di una colonna o di un collettore, la massima portata che può essere scaricata dagli apparecchi allacciati a monte dipende dal numero degli apparecchi che probabilmente sono in funzione contemporaneamente, con riferimento anche alla destinazione d'uso dell'edificio.

Detta Q_t la portata totale degli apparecchi allacciati a monte della sezione considerata, la portata

probabile Q_p è data dalla relazione sperimentale $Q_p = K_r \cdot \sqrt{Q_{in}}$ in cui K_r coefficiente tabulato nella tabella successiva. La Q_p è espressa in l/s.

Tipologia uso	Tipo di apparecchio idrosanitari	Portata di scarico Q in l/s - UNITA' DI SCARICO
civile	bacinella ad uso dentistico	0.25
civile	fontanella a zampillo	0.25
civile	lavabo	0.50
civile	bidet	0.50
civile	lavabo a canale (3 rubinetti)	0.50
civile	centrifuga ad uso domestico	0.50
civile	piatto doccia	0.50
civile	vasca da bagno	1.00
civile	lavapiedi	1.00
civile	lavabo a canale (10 rubinetti)	1.00
civile	orinatoio	1.00
civile	lavello da cucina doppio	1.00
civile	lavastoviglie	1.00
civile	lavatoio per lavanderia	1.00
civile	lavatrice fino a 6 kg	1.00
civile	pozzetto a pavimenti con uscita D = 63 mm	1.00
civile	vasca da bagno terapeutica	1.50
civile	lavatrice da 7 kg a 12 kg	1.50
civile	pozzetto a pavimenti con uscita D = 75 mm	1.50
civile	lavastoviglie per ristoranti	1.50
civile	lavatorio doppio per lavanderia	1.50
civile	W.C (vaschetta 6 - 7.5 litri)	2.00
civile	W.C (vaschetta 9 litri)	2.50
civile	vuotatoio	2.50
civile	lavatrice da 13 kg a 40 kg	2.50
civile	pozzetto a pavimento con uscita	2.50
industriale	piccola lavatrice	0.30
industriale	vuotatoio per acidi	0.40
industriale	bacinelli con tappo di chiusura	1.00
industriale	lavatrice di laboratorio	1.50

Tabella : valori della portata scaricata da apparecchi idrosanitari ad uso civile suddivisi per gruppo di unità di scarico

Destinazione uso	Coeff. K
abitazioni uffici	0.5
ospedali, scuole, ristoranti	0.7
bagni pubblici	1

Tabella : coefficiente K per destinazione d'uso

3.1.3 Dati di progetto

Si riassumono nel seguito i dati relativi al progetto.

Identificativo nodo/bacino	Abitanti equivalenti AE	Dotazione idrica D [l/ab d]
64	160	250
07	250	250
00	210	250
107		
94	20	250
32	160	250

Identificativo nodo/bacino	Coefficiente di afflusso in rete φ	Coefficiente di punta giornaliero φ_g	Coefficiente di punta orario P_o
64	0,8	1,5	2
07	0,8	1,5	2
00	0,8	1,5	2
107			
94	0,8	1,5	2
32	0,8	1,5	2

Identificativo nodo/bacino	Portata nera Media a_{nm}	Portata nera di punta a_{np}
64	0,3703704	1,1111111
07	0,5787037	1,7361111
00	0,4861111	1,4583333
107		
94	0,0462963	0,1388889
32	0,3703704	1,1111111

Tabella : quadro riepilogativo portate nere – metodologia "abitanti equivalenti"

Caratteristiche della rete fognaria da dimensionare

Nelle successive tabelle si riassumono le principali caratteristiche sia dei bacini afferenti la rete che dei condotti che costituiscono la rete fognante.

Identificativo nodo/bacino	portata nera [l/s]	Portata da altri ingressi [l/s]
64	5,4167	
07	1,7361	
00	1,4583	
107		
94	5,5556	
32	2,5694	

Identificativo ramo	Lunghezza [m]	Pendenza [%]	Scabrezza [$m^{1/3}s^{-1}$]	Grado di riempimento di progetto [%]
64 - 94	952	1,7	85	50
07 - 64	810	1,5	70	50
00 - 32	600	1,7	70	50
32 - 64	290	1,5	70	50
94 - 107	264	0,45	85	50

3.3.1 Tempo di ingresso in rete

Il tempo di ingresso in rete è valutato mediante i valori contenuti nella seguente tabella:

Tipi di bacini	Te [min]
Centro urbano intensivo con tetti collegati direttamente alle canalizzazioni e con frequenti caditoie stradali	5 - 7
Centri urbani semintensivi con pendenze modeste e caditoie stradali meno frequenti	7-10
Aree urbane di tipo estensivo con piccole pendenze e caditoie poco frequenti	10-15

Nella tabella successiva si riassumono i tempi di ingresso in rete adottati nel progetto.

Identificativo nodo/bacino	Tempo ingresso in rete [min]
64	
07	
00	
107	
94	
32	

3.3.2 Portata da altri ingressi

Si prevede di considerare i seguenti apporti esterni definiti come "portata da altri ingressi".

Identificativo nodo/bacino	Portata da altri ingressi [l/s]
64	
07	
00	
107	

94	
32	

4 Algoritmo di calcolo

Nel presente paragrafo si illustrano i diversi passi che costituiscono la base dell'algoritmo di calcolo teso al dimensionamento della rete fognante mediante il metodo cinematico:

1. valutazione dell'estensione del bacino drenante relativo alla condotta. Nel caso in cui il condotto non sia di testa si calcola l'area totale drenante costituita da tutti i bacini di monte che afferiscono al condotto di riferimento;
 2. calcolo del coefficiente di afflusso ϕ secondo la metodologia precedentemente indicata. Nel caso in cui il condotto non sia di testa il coefficiente di afflusso è quello globale desunto come media pesata sull'area di tutti i coefficienti di afflusso dei bacini drenanti posti a monte del condotto di riferimento
 3. calcolo della portata nera di punta come indicato in precedenza;
 4. assunzione del diametro di primo tentativo
 5. valutazione del tempo di ingresso in rete T_e mediante i valori riassunti nella tabella
 6. calcolo della velocità a massimo riempimento V_r mediante l'applicazione della formula di Chezy $V_r = \chi \sqrt{i}$ in cui R indica il raggio idraulico, i la pendenza del collettore e il coefficiente di resistenza valutato secondo la formula di Strickler $\chi \sqrt{v} = k_s R^{1/6}$ in cui k_s indica la scabrezza.
 7. calcolo del tempo di percorrenza T_r nel collettore come rapporto tra lunghezza L e velocità V_r - $T_r = L/V_r$
 8. calcolo della durata critica d_c come somma del tempo di ingresso in rete T_e e del maggiore dei tempi di percorrenza nella rete per raggiungere la sezione finale del collettore diviso per 1.5. $d_c = T_e + T_r/1.5$
 9. calcolo della portata critica Q_c mediante la formula $Q_c = S 2.78 \phi a d^{n_c}$ in cui:
 - S indica la superficie totale drenante nella condotta;
 - ϕ indica il coefficiente di afflusso globale;
 - a indica il coefficiente pluviometrico orario;
 - d_c indica la durata critica;
 - n_c indica il coefficiente n esponente della linea segnalatrice di pioggia.
 10. verifica che la portata critica Q_c a cui si deve sommare la Q nera di punta e la portata da altri ingressi defluisca nel condotto con il diametro ipotizzato di primo tentativo con un grado di riempimento minore o uguale a quello imposto dall'utente.
 11. nel caso tale verifica risulti negativa il modulo di calcolo prevede il cambiamento del diametro. L'algoritmo riprende dal precedente punto 5.
 12. verifica (opzionale) che la velocità corrispondente alla portata di progetto, calcolata considerando l'effettivo grado di riempimento, sia compresa tra 0.5 e 5 m/s.
- Si sottolinea che nel caso di dimensionamento di una rete nera la portata defluente nei condotti è la portata nera di punta e quindi l'algoritmo prevede le seguenti procedure di calcolo:

1. calcolo della portata nera di punta come indicato in precedenza;
2. assunzione del diametro di primo tentativo
3. verifica che la portata Q_{np} defluisca nel condotto con il diametro ipotizzato di primo tentativo con un grado di riempimento minore o uguale a quello imposto dall'utente.
4. nel caso tale verifica risulti negativa il modulo di calcolo prevede il cambiamento del diametro. L'algoritmo riprende dal precedente punto 2.
5. verifica (opzionale) che la velocità corrispondente alla portata $Q_c + Q_{np}$, calcolata considerando l'effettivo grado di riempimento, sia compresa tra 0.5 e 5 m/s.

5 Risultati

Nella successiva tabella si mostra il quadro riassuntivo dei principali calcoli di dimensionamento in base al metodo cinematico.

Dimensionamento rete fognaria - relazione di calcolo idraulico

Ramo	Pendenza	DN-De	durata critica	portata totale	grado riempimento	velocità corrispondente alla portata critica
	[%]	[mm]	[min]	[l/s]	[-]	[m/s]
64 - 94	1,7	160	21,32478	5,416666	0,3316583	1,033602
07 - 64	1,5	100	12,27832	1,736111	0,3768844	0,6418924
00 - 32	1,7	100	8,543311	1,458333	0,3366834	0,6445228
32 - 64	1,5	100	12,93925	2,569444	0,4723618	0,7150932
94 - 107	0,45	160	25,90436	5,555555	0,4924623	0,6363795

ELENCO DISTINTA BASE

Numero	Descrizione Prodotto	Codice
--------	----------------------	--------

Riferimenti bibliografici

- Da Deppo, Datei, (2009): Fognature. Edizioni Cortina, Padova
- Da Deppo, Datei, Fiorotto, Saladini (2003): Acquedotti. Edizioni Cortina, Padova
- Milano, (1996): Acquedotti. Hoepli, Milano
- Pavan, Frassine (2006): Tubazioni in polietilene per il trasporto di acqua. Springer, Milano
- Salvini, Soma (2007): Impianti idrici negli edifici. Hoepli, Milano
- CSDU (1997): Sistemi di Fognatura. Manuale di Progettazione. Hoepli, Milano
- Rimoldi (2010): Ingegneria Idraulica Urbana. Maggioli Editore.
- Becciu, Paoletti (2005), Esercitazioni di costruzioni idrauliche, Edizioni CEDAM, Milano
- Usai (2008): Manuale di idrologia per la progettazione. Hoepli, Milano
- Centro Informazione sul PVC (2005): le condotte in PVC.
- A. P. Moser Steven Folkman, Buried Pipe Design, Utah State University Logan, Utah
- Spangler (1948), Underground Conduits. An appraisal of modern research ASCE
- Lancellota (1997), Geotecnica. Zanichelli

Riferimenti Normativi

- UNI EN 1295-1: 1999 Progetto strutturale di tubazioni interrate sottoposte a differenti condizioni di carico – Requisiti generali
- ASTM D7380 – 08 Standard Test Method for Soil Compaction Determination at Shallow Depths Using 5 lb (2.3 kg) Dynamic Cone Penetrometer
- UNI EN 1329 : 2000 “Sistemi di tubazioni di materia plastica per scarichi (a bassa ed alta temperatura) all'interno dei fabbricati - Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U)”;
- UNI 7613 : 1976 “Tubi di polietilene ad alta densità per condotte di scarico interrate”;
- UNI 9032 “Tubi di resine termoindurenti rinforzate con fibre di vetro (PRFV)”.
- UNI EN 14364: 2009 Sistemi di tubazioni di materia plastica per fognature e scarichi con o senza pressione - Materie plastiche termoindurenti rinforzate con fibre di vetro (PRFV) a base di resina poliestere insatura (UP) - Specifiche per tubi, raccordi e giunzioni
- UNI EN1401: Tubi e raccordi di PVC rigido per condotte di scarico interrate (tipi, dimensioni e requisiti);
- PR EN13476 : Tubi strutturali in PVC rigido per condotte di scarico interrate
- UNI ISO/TR 7473: Tubi e raccordi di PVC rigido - Resistenza chimica nei confronti dei fluidi.
- ISO/DTR 7073: Raccomandazioni per la posa di condotte interrate di PVC (1983);
- ISO/TC 138/1062: Tubi in plastica non a pressione. Metodi di calcolo per tubi flessibili interrati.
- D.M. 22 gennaio 2008, n.° 37 "Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici", art. 5 c.3
- UNI EN 12056-1 “Sistemi di scarico funzionanti a gravità all'interno degli edifici - Requisiti generali e prestazioni”
- UNI EN 12056-3 “Sistemi di scarico funzionanti a gravità all'interno degli edifici - Sistemi per l'evacuazione delle acque meteoriche, progettazione e calcolo”
- UNI EN 612 “Canali di gronda e pluviali di lamiera metallica. Definizioni, classificazioni e requisiti”

- UNI EN 13476-1:2008 Sistemi di tubazioni di materia plastica per connessioni di scarico e collettori di fognatura interrati non in pressione - Sistemi di tubazioni a parete strutturata di policloruro di vinile non plastificato(PVC-U), polipropilene (PP) e polietilene (PE) - Parte1: Requisiti generali e caratteristiche prestazionali
- UNI EN 12666-1:2011 Sistemi di tubazioni di materia plastica per fognature e scarichi interrati non in pressione - Polietilene (PE) - Parte 1: Specifiche per i tubi, i raccordi e il sistema
- UNI EN 1519-1 Sistemi di tubazioni di materia plastica per scarichi all'interno di fabbricati – Polietilene (PE) – specificazioni per i tubi, i raccordi e il sistema
- UNI En 1453-1:2001 - Sistemi di tubazioni di materia plastica con tubi a parete strutturata per scarichi (a bassa e alta temperatura) all'interno dei fabbricati. Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U). Specifiche per i tubi, i raccordi ed il sistema.
- UNI 10972:2006 - Tubi di policloruro di vinile non plastificato (PVC-U) per ventilazione e trasporto interrato di acqua piovane
- UNI 10968:2005 “Sistemi di tubazioni di materia plastica per fognature e scarichi interrati non in pressione Sistemi di tubazioni a parete strutturata di policloruro di vinile non plastificato (PVC-U), polipropilene (PP) e polietilene (PE)”
- prEN 13476 “Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage – Structured wall piping systems of unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE)”
- I.I.P. (1984): Installazione delle fognature in PVC – Pubblicazione n.3, novembre
- ANSI AWWA C950-88 (1988) – AWWA Standard for fiberglass pressure pipes – American Water Works Association, Denver, Colorado
- Ministère de l'équipement, du logement e des transports (1992) – Ouvrages d'assainissement, Fascicule n. 70 – Gennaio
- Fiberglass Pipe Design AWWA MANUAL M45 American Water Works Association 1999