

Paolo Montin



COLLANA RISPARMIO IDRICO

# Acque meteoriche di dilavamento

Scheda sul sito >

Principi di progettazione  
e dimensionamento degli impianti  
di trattamento



Fondamenti di idrologia e idraulica  
Inquinamento delle acque meteoriche  
Dimensionamento dei sistemi di trattamento  
Normativa vigente

Paolo Montin

ACQUE METEORICHE DI DILAVAMENTO

Principi di progettazione e dimensionamento degli impianti di trattamento

ISBN 978-88-579-0156-5

© 2012 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

[www.darioflaccovio.it](http://www.darioflaccovio.it) [info@darioflaccovio.it](mailto:info@darioflaccovio.it)

Prima edizione: settembre 2012

Montin, Paolo <1971->

Acque meteoriche di dilavamento : principi di progettazione e dimensionamento degli impianti di trattamento / Paolo Montin. - Palermo : D. Flaccovio, 2012.

ISBN 978-88-579-0156-5

1. Acque meteoriche – Trattamento.

627 CDD-22

SBN Pal0247026

*CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"*

Stampa: Tipografia Priulla, Palermo, settembre 2012

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

# INDICE

## *Premessa*

### **1. Fondamenti di idrologia**

1.1. Il ciclo idrologico.....	»	11
1.2. Caratteristiche e misurazione delle precipitazioni.....	»	13
1.2.1. Caratteristiche di una precipitazione.....	»	14
1.2.2. Le stazioni pluviometriche ed i dati idrologici.....	»	16
1.2.3. Interpolazione dei dati pluviometrici con tecniche pesate.....	»	20
1.2.4. Il regime delle precipitazioni in Italia.....	»	21
1.2.5. Effetti dello sviluppo urbano.....	»	25
1.3. Elaborazione statistico-probabilistica delle piogge.....	»	26
1.3.1. Tempo di ritorno.....	»	27
1.3.2. Probabilità di un evento.....	»	28
1.3.3. La distribuzione di probabilità di Gumbel.....	»	31
1.3.4. Le curve di possibilità pluviometrica.....	»	37

### **2. Fondamenti di idraulica**

2.1. Generalità.....	»	45
2.2. Calcolo del tempo di corrivazione di un bacino.....	»	46
2.3. Calcolo del coefficiente di deflusso di un bacino.....	»	49
2.4. Portata delle tubazioni.....	»	51
2.5. Calcolo della portata di piena del bacino.....	»	58

### **3. L'inquinamento delle acque meteoriche**

3.1. Le cause di inquinamento delle acque piovane.....	»	65
3.2. Le sostanze contaminanti delle acque piovane.....	»	67
3.2.1. Sedimenti.....	»	68
3.2.2. Sostanze nutrienti.....	»	68
3.2.3. Agenti patogeni.....	»	69

3.2.4.	Materia organica.....	»	69
3.2.5.	Sostanze tossiche.....	»	70
3.2.6.	Sali.....	»	71
3.3.	Gli inquinanti tossici dell'acqua: composti inorganici.....	»	71
3.3.1.	Metalli pesanti.....	»	71
3.3.2.	Cianuri liberi.....	»	73
3.3.3.	Fluoruri.....	»	73
3.3.4.	Nitriti.....	»	73
3.3.5.	Solfuri e solfati.....	»	74
3.4.	Gli inquinanti tossici dell'acqua: composti organici.....	»	74
3.4.1.	Generalità.....	»	74
3.4.2.	Gli idrocarburi.....	»	77
3.4.3.	Composti di derivazione alifatica.....	»	82
3.4.4.	Composti di derivazione aromatica.....	»	83
3.4.5.	Fitosanitari.....	»	86
3.4.6.	Oli e grassi vegetali ed animali.....	»	88
3.4.7.	Tensioattivi.....	»	88

#### **4. La normativa sulle acque meteoriche di dilavamento**

4.1.	Il quadro normativo nazionale.....	»	91
4.2.	Le acque meteoriche di dilavamento come reflui industriali.....	»	93
4.2.1.	Le acque di prima e seconda pioggia.....	»	93
4.2.2.	Attività che generano reflui industriali dalle acque meteoriche.....	»	96
4.3.	La disciplina degli scarichi.....	»	99
4.3.1.	Autorizzazione agli scarichi.....	»	104
4.3.2.	Scarichi sul suolo.....	»	107
4.3.3.	Il regime sanzionatorio.....	»	108
4.4.	I metodi di campionamento.....	»	111

#### **5. I sistemi di trattamento delle acque meteoeriche**

5.1.	Generalità.....	»	117
5.2.	Interventi contro l'inquinamento delle acque meteoriche.....	»	118
5.3.	Il trattamento fisico.....	»	119
5.3.1.	La sedimentazione.....	»	120
5.3.2.	La disoleazione.....	»	126
5.3.3.	Gli impianti di separazione e la norma EN 858-1.....	»	133
5.4.	Il trattamento chimico-fisico.....	»	135
5.4.1.	Le fasi del trattamento chimico-fisico.....	»	137
5.4.2.	Le sostanze coagulanti-flocculanti.....	»	139
5.5.	Elementi di progettazione.....	»	142
5.5.1.	Verifiche di carattere tecnico-normativo.....	»	143
5.5.2.	Verifiche idraulico-strutturali.....	»	148

5.5.3. Pozzetti scolmatori e pozzetti di campionamento .....	» 151
5.5.4. Il dimensionamento del trattamento delle acque di prima pioggia...	» 153
5.5.5. Caso applicativo .....	» 156
5.5.6. Le cautele da adottare nella progettazione .....	» 160
5.5.7. La relazione tecnica per l'autorizzazione allo scarico.....	» 161
Bibliografia .....	» 164

## Premessa

La risorsa idrica è un bene prezioso che necessita di appropriate attenzioni per garantirne la salvaguardia nel tempo. Pochi microgrammi di determinate sostanze disciolte per litro d'acqua possono renderla inutilizzabile a fini potabili o impongono l'uso di processi di trattamento e depurazione molto costosi per mezzo dei quali sia possibile un utilizzo privo di rischi per l'uomo.

La protezione dei corpi idrici superficiali e sotterranei è un dovere civico e morale che non può conoscere disparità di applicazione e su cui ogni cittadino è chiamato a porre tutte le necessarie attenzioni. L'inquinamento delle acque o del sottosuolo da parte di sostanze chimiche, dilavate dalle superfici durante gli eventi meteorici, è certamente un rischio da tenere in debita considerazione nell'ambito della gestione delle attività produttive e non, al fine di preservare la pregiata risorsa per le generazioni future.

Il presente volume si propone di sviluppare il tema del trattamento delle acque meteoriche di dilavamento, argomento sempre più attuale in campo ambientale, dati anche i risvolti di carattere legale; il rispetto dei limiti allo scarico è, infatti, stabilito a livello normativo con un grado di attenzione che, talvolta, può richiedere interventi impiantistici, strutturali ed economici non trascurabili.

La corretta progettazione di un impianto è quindi una materia particolarmente delicata, che richiede ottime conoscenze normative e competenze di idrologia, idraulica e comportamento delle sostanze potenzialmente inquinanti.

Il testo, suddiviso in cinque capitoli, è sviluppato seguendo il filo logico che governa la progettazione e precisamente prevede:

- l'analisi delle caratteristiche idrologiche di un'area e studio dei parametri pluviometrici (capitolo 1);
- la definizione delle caratteristiche idrauliche dei bacini scolanti (capitolo 2);
- la descrizione delle principali sostanze inquinanti (capitolo 3);
- la disamina della normativa applicabile (capitolo 4);
- la definizione delle tipologie di trattamento e dimensionamento impiantistico (capitolo 5).

*Paolo Montin*

# 1. Fondamenti di idrologia

## 1.1. Il ciclo idrologico

Per comprendere appieno il problema dell'inquinamento delle acque meteoriche di dilavamento superficiale è indispensabile introdurre il ciclo dell'acqua, noto anche come *ciclo idrologico*. Il ciclo dell'acqua è semplicemente il movimento costante di acqua tra la terra e l'atmosfera che può avvenire sia allo stato solido, liquido o gassoso.

La quantità totale di acqua sulla Terra è stimata in  $1,41 \cdot 10^9 \text{ km}^3$ , di cui il 97,4% risiede negli oceani e nei mari, mentre il restante 2,6% è costituito da acqua dolce presente sulle terre emerse (per la maggior parte sotto forma di ghiaccio) e nelle falde sotterranee. Solo una frazione d'acqua dello 0,015%, pari a circa  $1,9 \cdot 10^5 \text{ km}^3$ , cioè quella presente nei fiumi, nei laghi, nell'atmosfera come vapore acqueo e nelle forme viventi, è disponibile direttamente o indirettamente all'uomo.

I componenti principali del ciclo dell'acqua sono *precipitazione*, *infiltrazione*, *evapo-traspirazione* (evaporazione e traspirazione, processo con cui le piante rilasciano in atmosfera l'acqua che hanno assorbito), *scorrimento superficiale* e *flusso sotterraneo*. In quanto parte di questo ciclo, quando l'acqua precipita al suolo può prendere direzioni diverse come illustrato in figura 1.1.

A causa di vari fattori, primo fra tutti il calore irradiato dal Sole, l'acqua evapora dal suolo, dai laghi, dai mari, dagli oceani, dai fiumi e dagli organismi viventi; quando l'aria si raffredda, il vapore acqueo in essa contenuto si condensa in minutissime goccioline che formano le nubi dalle quali poi hanno origine la pioggia, la grandine e la neve. La condensazione si verifica quando l'umidità assoluta (peso di vapore contenuto nell'unità di volume di aria) è superiore a quella compatibile con la temperatura del miscuglio aria-vapore (temperatura di rugiada). I soli oceani contribuiscono a circa l'86% dell'evaporazione globale riducendo così la loro temperatura; infatti, in assenza di evaporazione l'effetto serra porterebbe la temperatura superficiale della Terra a 67 °C.

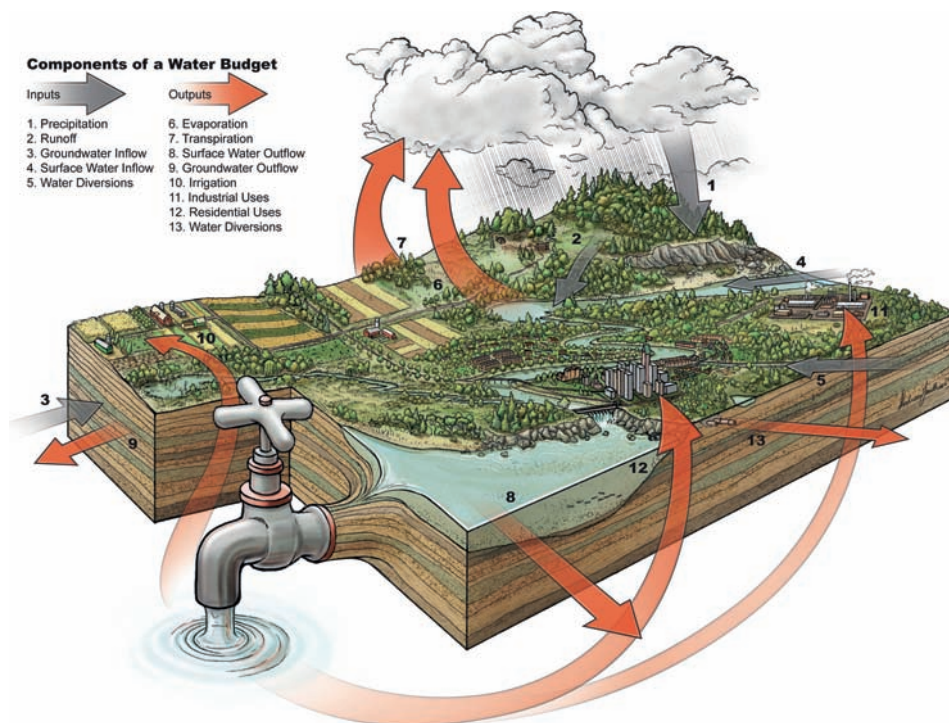


Figura 1.1. Il ciclo dell'acqua (fonte: Conservation Ontario-Canada)

A volte il vapore viene a trovarsi in condizioni di sovrasaturazione (cioè, pur avendo raggiunto e superato la temperatura di rugiada si mantiene allo stato di vapore in condizioni di estrema instabilità) anche se una qualsiasi causa perturbativa può determinarne l'immediata condensazione.

Il raffreddamento delle masse d'aria può avvenire per varie cause:

- per via diretta, dando così origine principalmente a rugiade e brine;
- per irraggiamento, cioè per perdita di calore trasmesso all'ambiente circostante senza contatto;
- per trasferimento in zone di minor pressione atmosferica, a causa di moti ascensionali, dove queste subiscono un'espansione adiabatica aumentando in volume senza un sensibile scambio di calore con l'ambiente;
- per mescolamento con masse d'aria più fredde;
- per trasferimento in ambiente più freddo.

In maniera molto semplice si può stimare che circa un terzo dell'acqua che giunge sulla superficie terrestre sotto forma di precipitazioni liquide o solide venga restituita per scorrimento direttamente agli oceani; un terzo s'infiltri nel sottosuolo o rimanendo negli strati superficiali o riaffiorando nei corsi d'acqua,



oppure scendendo a livelli più profondi in modo da alimentare le risorse idriche idropotabili; un terzo, infine, ritorni in atmosfera allo stato gassoso per fenomeni di evapo-traspirazione.

Tali percentuali sono però soggette a innumerevoli variabili tra cui la posizione geografica, il regime pluviometrico, il tipo di suolo, l'intensità degli eventi atmosferici, il grado di saturazione del terreno, etc.

Ad esempio, in una tipica zona rurale, con copertura costituita da terreno naturale a modesta pendenza, la percentuale dell'acqua meteorica che riesce ad infiltrare nel terreno può raggiungere il 50%, quella che evapora il 40% e quella che ruscella superficialmente solo il 10%; in una zona con vegetazione scarsa o caratterizzata da superfici scoscese i valori indicati possono modificarsi rispettivamente in 20%, 30% e 50%.

L'urbanizzazione può drammaticamente modificare il rapporto tra acqua che riesce ad infiltrarsi nel sottosuolo e acqua che scorre in superficie, aumentando il deflusso fino al 90% e riducendo l'infiltrazione a valori prossimi allo zero. Questo fatto, oltre a comportare uno scompensamento di carattere idraulico e un depauperamento locale delle falde sotterranee, può provocare alterazioni di carattere fisico e chimico dei corpi idrici ricettori a causa delle sostanze dilavabili sulle superfici urbanizzate.

## 1.2. Caratteristiche e misurazione delle precipitazioni

La distribuzione nel tempo e nello spazio delle precipitazioni è assai variabile: durante uno stesso evento meteorico, l'entità e la durata delle piogge può variare anche a distanza di pochi chilometri. In linea generale, la piovosità cresce con l'altitudine e decresce con la distanza dalle coste marine; i fattori che però concorrono a generare una precipitazione sono molto numerosi: la temperatura dell'aria, l'umidità e la pressione atmosferica, la radiazione solare, il vento ed i processi fisici che intercorrono tra questi.

La branca delle scienze che studia i fenomeni fisici che avvengono nell'atmosfera terrestre, responsabili del tempo atmosferico, si chiama *meteorologia*.

Essa si basa sulla modellazione matematica di osservazioni e misurazioni dirette e indirette dei parametri fisici dell'atmosfera, raccolti mediante l'utilizzo di sonde, razzi, palloni, stazioni meteorologiche e, in maniera preponderante, di satelliti meteorologici, equipaggiati con strumentazioni sempre più sofisticate. Il risultato finale di tale modellazione è una previsione a breve scadenza dei vari fenomeni atmosferici (temperatura, umidità, velocità dei fronti, vento e precipitazioni) che possono verificarsi in un dato territorio, con una precisione che, grazie all'utilizzo di sistemi di calcolo sempre più performanti, può essere molto elevata.

### 1.2.1. Caratteristiche di una precipitazione

Una precipitazione può essere definita in base a tre caratteristiche fondamentali:

- altezza di precipitazione;
- durata di precipitazione;
- intensità di precipitazione.

L'altezza di precipitazione,  $h$ , è lo spessore dello strato d'acqua che rimarrebbe al suolo se non vi fosse scorrimento, infiltrazione ed evaporazione.

L'unità di misura adottata convenzionalmente per le misure idrologiche è il millimetro, mm, che permette la quantificazione di un evento meteorologico a prescindere dalla superficie su cui esso viene misurato.

La corrispondenza tra il millimetro e le principali unità di misura di volume su superficie è la seguente:

$$1,0 \text{ mm} = 1,0 \text{ litro} / \text{m}^2 = 10 \text{ m}^3/\text{ha} = 1.000 \text{ m}^3/\text{km}^2$$

#### ESEMPIO 1.1

Si voglia calcolare la quantità d'acqua,  $q$ , caduta su una superficie di 2,5 ha, a seguito di un evento piovoso di 23 mm:

$$q = 23 \text{ l/m}^2 \cdot 25.000 \text{ m}^2 = 570.000 \text{ l}$$

La *durata di precipitazione*,  $\tau$ , è il tempo che intercorre fra l'inizio e la fine di un singolo evento meteorico. Esso è indicato in minuti per le precipitazioni inferiori ad 1 ora, in ore per quelli di durata superiore.

L'*intensità di precipitazione*,  $j$ , è il rapporto tra una determinata altezza di precipitazione,  $h$ , ed il tempo,  $\tau$ , in cui essa si verifica, la cui espressione avviene mediante la relazione:

$$j = h/\tau \quad (1.1)$$

L'intensità di un evento di pioggia viene misurata in base ai millimetri caduti in un determinato intervallo di tempo, generalmente corrispondente ad un'ora. La tabella 1.1 riporta la classificazione degli eventi meteorici a seconda del valore dell'intensità di precipitazione  $j$ .

**Tabella 1.1. Classificazione degli eventi piovosi**

Intensità di precipitazione (mm/h)	Classificazione evento
< 2	Pioggia debole
2-6	Pioggia moderata
6-10	Pioggia forte
10-30	Rovescio temporalesco
> 30	Nubifragio

Gli effetti che un episodio piovoso può apportare dipendono non solo dall'intensità del fenomeno ma anche dalla sua durata: una pioggia debole ma perdurante può, infatti, lasciare al suolo lo stesso quantitativo di acqua di uno scroscio di pioggia breve ma intenso.

### ESEMPIO 1.2

Nelle figure 1.2 e 1.3 sono rappresentati i valori numerici delle piogge cadute nel Veneto orientale nei giorni 26-27-28/09/2007 che hanno provocato vasti allagamenti e causato gravissimi danni a strutture pubbliche e private. La figura 1.2 riporta i valori delle precipitazioni, espresse in mm, cadute in 24 ore il giorno 26/09/2007, data di inizio dell'emergenza.

La figura 1.3 schematizza la quantificazione numerica dei livelli massimi di pioggia caduta nell'arco di un'ora nei giorni 26-27-28/09/2007; essendo il riferimento temporale non più relativo alle 24 ore ma ad 1 ora se ne deduce l'intensità di pioggia oraria  $j$ .

Si prenda in considerazione la zona intorno a Mestre-Venezia, quella più colpita durante tali eventi meteorologici: dalla figura 1.2 si nota che il 26/09/2007 sono

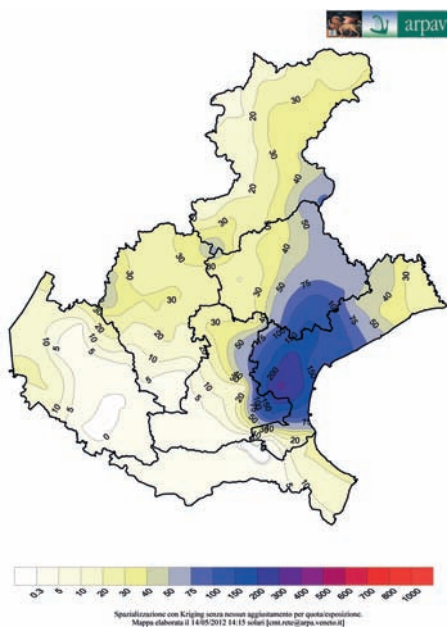


Figura 1.2. Interpolazione della quantità di pioggia (in mm) caduta in 24 ore il giorno 26/09/2007 (fonte: ARPA Veneto Centro Meteorologico di Teolo)

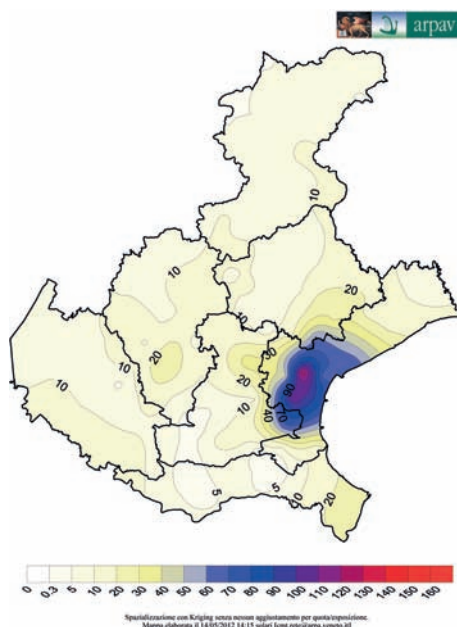


Figura 1.3. Andamento delle intensità di pioggia orarie massime (in mm) occorse nei giorni 26-27-28/09/2007 (fonte: ARPA Veneto Centro Meteorologico di Teolo)

caduti oltre 350 mm di pioggia in 24 ore, valore pari ad oltre un terzo delle precipitazioni medie annue della zona; dalla figura 1.3, invece, si nota che il massimo di pioggia caduto in un'ora è stato di 125 mm, valore anch'esso eccezionale. Se facessimo la media oraria delle piogge cadute il 26/09/2007, risulterebbe un'intensità  $j$  pari a:

$$j = 350 \text{ mm} / 24 \text{ ore} = 14,58 \text{ mm/h}$$

valore che, preso singolarmente, corrisponde ad un rovescio di piccola entità. In realtà, la distribuzione delle piogge durante il 26/09/2007 e le giornate successive è stata di ben altra natura, con precipitazioni continue che hanno raggiunto picchi di intensità pari a 125 mm/h, più del 13% delle piogge che cadono in un anno.

Nell'ambito del trattamento delle acque meteoriche, l'intensità delle piogge ha un ruolo importantissimo nel dimensionamento degli impianti, in quanto essa governa il deflusso idrico che deriva da una superficie scolante; tale asserzione risulta ancora più rilevante nel caso in cui sia necessario depurare tutte le acque piovane, ad esempio quando sulle aree esterne di un'attività produttiva sono presenti rifiuti o materiali che possono lisciviare sostanze pericolose per tutta la durata dell'evento stesso.

La valutazione statistica delle precipitazioni che possono verificarsi nella zona in cui ci si trova ad intervenire costituisce la fase primaria per il corretto dimensionamento di un impianto di trattamento e per la progettazione della rete di raccolta delle acque meteoriche; una rete o un impianto non idonei a trattare un determinato flusso idrico con un certo margine di sicurezza comportano il rischio che le acque di dilavamento non siano efficacemente trattate prima del trasferimento nel ricettore finale, causando problemi di carattere ambientale e normativo.

### *1.2.2. Le stazioni pluviometriche ed i dati idrologici*

Nella progettazione e nella verifica di opere idrauliche, siano esse connesse alla difesa idrogeologica del territorio o finalizzate alla tutela ambientale dei corpi recettori degli scarichi, ci si trova a dover affrontare, oltre ai problemi di carattere tecnico e costruttivo, anche quelli inerenti al grado della potenziale sollecitazione apportata dal vettore idrico, ovvero dalla massima quantità d'acqua affluente ad una definita sezione che viene a formarsi nel bacino idrografico interessato dalle precipitazioni.

L'analisi può avere peculiarità differenti a seconda dei dati che si hanno a disposizione, rappresentati essenzialmente da due tipologie di valori:

- dati idrografici, ovvero misure di portata o altezze idrometriche nei corpi idrici;
- dati idrologici, ossia misure di precipitazione.

Il primo tipo di dati è piuttosto raro da riscontrare, in quanto riguarda solo quelle sezioni idrografiche di particolare interesse storico o idrometrico che hanno a disposizione osservazioni perpetuate negli anni. Essi, in ogni caso, hanno solamente valore puntuale, essendo applicabili al luogo in cui sono stati rilevati, con difficile o impraticabile riproducibilità ad altre sezioni. Il secondo tipo di dati è più frequente, sia in termini di copertura del territorio, sia come numero di informazioni, in quanto è legato alla relativa semplicità di rilevamento del dato stesso, raccolto mediante pluviometri e pluviografi, distribuiti su tutto il territorio nazionale.

I pluviometri sono gli strumenti più semplici: si tratta di dispositivi che raccolgono la pioggia in un recipiente, periodicamente svuotato, con annotazione manuale del dato relativo alle precipitazioni. Risulta quindi necessaria la presenza sistematica di un operatore che misuri l'altezza totale di precipitazione (in mm), la quale viene raffrontata con il periodo intercorso tra due svuotamenti successivi. Le misure effettuate da un pluviometro sono pertanto una media del periodo considerato, senza alcuna informazione relativa alla reale durata e all'intensità delle piogge.

Oggi giorno sono sempre più diffusi i pluviometri registratori, detti pluviografi, dotati di un dispositivo meccanico che permette di registrare costantemente l'altezza di precipitazione, rapportandola al tempo. La maggior parte dei pluviografi è dotata di una struttura a bascula (figura 1.4), sulla quale è fatto confluire l'apporto meteorico; quando viene totalizzata una precipitazione pari alla sensibilità dello strumento, la bascula cambia posizione e produce un impulso. La succes-



**Figura 1.4**  
Esempio di struttura a bascula  
da posizionare all'interno  
di un pluviometro

sione di tali impulsi può essere trascritta su carta mediante un pennino o trasmessa in remoto a un centro meteorologico (figura 1.5).

I pluviografi più evoluti sono completamente automatici e non necessitano dell'intervento dell'operatore se non per questioni manutentive. Essi rendono possibile l'acquisizione dell'altezza di pioggia anche su intervalli temporali molto brevi, da un minuto a un'ora, permettendo di compiere precise elaborazioni di carattere statistico impossibili da ottenere in passato.

In Italia si è cominciato a raccogliere i dati di tipo statistico riguardanti le precipitazioni nel 1917, quando fu istituito il *Servizio idrografico e mareografico italiano* dell'allora Ministero dei lavori pubblici.

L'intero territorio nazionale era suddiviso in 14 compartimenti (Ufficio idrografico del Po-Parma, Ufficio idrografico del Magistrato alle Acque-Venezia e le Sezioni di Genova, Bologna, Pisa, Roma, Pescara, Napoli, Bari, Catanzaro, Palermo, Cagliari, Trento e Bolzano), ognuno competente nell'ambito di uno o più bacini imbriferi.

I dati rilevati ed elaborati nelle stazioni di misura erano pubblicati negli *Annali idrologici*, costituiti da due parti: una dove erano riportati i caratteri climatici e i valori delle precipitazioni (pluviometria e nivometria) e una in cui erano elencate le misure di portata in alcune sezioni idrometriche, i bilanci tra afflussi e deflussi relativi a singoli bacini e le misure delle portate solide.

A partire dal 1998, con il trasferimento delle competenze amministrative dallo Stato alle Regioni, la raccolta dei dati pluviometrici è stata affidata ai Centri Meteorologici delle varie Agenzie Regionali Protezione Ambiente (ARPA), che spesso forniscono valori già elaborati dal punto di vista statistico. Tali dati, ovviamente tanto più precisi quanto maggiormente dettagliate sono le misure di partenza, sono organizzati secondo le stazioni di rilevamento distribuite sul territorio di competenza e, solitamente, sono proposti secondo le seguenti suddivisioni:



Figura 1.5. Esempio di pluviografo ad impulsi (fonte: [www.meteopisa.it](http://www.meteopisa.it))

- scrosci (precipitazioni di durata inferiore all'ora, generalmente di 15, 30, 45 minuti);
- piogge di 1, 3, 6, 12, 24 ore consecutive;
- piogge di 1, 2, 3, 4, 5 giorni consecutivi;
- neve.

Attualmente la rete di raccolta dei dati idrometeorologici conta più di 5.000 stazioni di misura, distribuite su tutto il territorio nazionale.



Figura 1.6  
Esempio di stazione pluviometrica  
(fonte: Istockphoto)

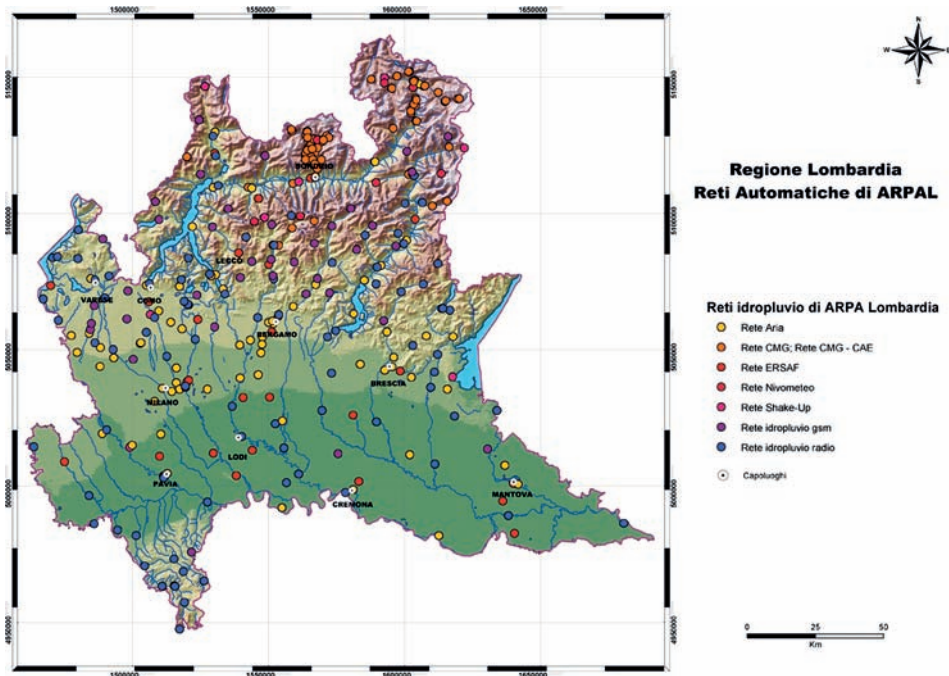


Figura 1.7. Esempio di una rete pluviometrica (fonte: Regione Lombardia-ARPA Lombardia)

### 1.2.3. Interpolazione dei dati pluviometrici con tecniche pesate

Nella maggior parte dei casi la zona di cui si vuole ottenere il dato meteorologico non si trova nelle immediate vicinanze di una stazione pluviometrica ma a una distanza più o meno significativa. Non tutti gli Enti che gestiscono le reti pluviografiche in Italia sono in grado di fornire dati già interpolati per le coordinate del punto o della zona oggetto di studio; si può allora decidere di adottare un criterio cautelativo, utilizzando i dati maggiormente penalizzanti oppure si può procedere autonomamente all'interpolazione mediante metodi che impiegano tecniche pesate.

Le tecniche pesate consistono nell'attribuire ad un punto di cui non è noto il valore quello ottenuto pesando i dati noti dei punti adiacenti in base a determinate funzioni. Si tratta di tecniche non esatte, che si applicano nei casi in cui la grandezza misurata è molto variabile a livello locale o quando i valori misurati sono poco affidabili o soggetti ad errori.

Tra le tecniche pesate usate si evidenziano i cosiddetti *operatori a media mobile*, definiti in tal modo in quanto l'operazione di interpolazione viene effettuata su tutti i punti del dominio, sia di valore noto che di valore sconosciuto, su cui l'operatore si sposta ricalcolando tutti i valori in base al peso dei valori dei punti dell'intorno scelto.

Uno degli interpolatori a media mobile più usato è costituito dal metodo IDW (*Inverse Distance Weighting*), che può utilizzare funzioni più o meno complesse a seconda dei dati a disposizione (metodo Shepard normale o Shepard modificato, metodo metrico Lukaszyk-Karmowski, etc.).

Nel caso dell'interpolazione dei dati idrologici, in virtù del fatto che i valori da prendere in considerazione sono quelli relativi alle precipitazioni attribuibili alle stazioni pluviometriche e alla loro distanza dal punto di interesse, si può utilizzare una formula del tipo:

$$P_x = \frac{\sum_i \frac{x_i}{d_i}}{\sum_i \frac{1}{d_i}} \quad (1.2)$$

dove

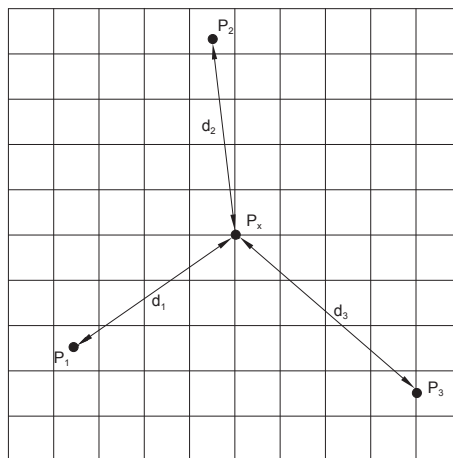
$P_x$  = il valore interpolato all'interno del dominio scelto

$X_i$  = il valore  $i$ -esimo da interpolare

$d_i$  = la distanza dal punto  $i$ -esimo.

Il valore di  $P_x$  è definito dal rapporto tra la sommatoria dei quozienti, ottenuti dividendo il valore noto di ciascun punto per la relativa distanza, e la sommatoria dell'inverso delle distanze.





**Figura 1.8**  
 Esempio di una tecnica idw. Il valore al punto  $P_x$ , interno al dominio di punti noti, sarà calcolato pensando i valori dei punti adiacenti  $P_1$ - $P_2$ - $P_3$  in base alla distanza da  $P_x$

### ESEMPIO 1.3

Calcolare l'altezza di pioggia di un punto  $P_x$  ubicato alle seguenti distanze da tre stazioni pluviometriche:

Stazione pluviometrica	Distanza (km)	$h$ (mm)
$P_1$	$d_1 = 60$	$x_1 = 20$
$P_2$	$d_2 = 50$	$x_2 = 33$
$P_3$	$d_3 = 70$	$x_3 = 28$

Applicando la formula di *Inverse Distance Weighting* (1.2) si ottiene:

$$P_x = \frac{\sum_i \frac{x_i}{d_i}}{\sum_i \frac{1}{d_i}} = \frac{\frac{20}{60} + \frac{33}{50} + \frac{28}{70}}{\frac{1}{60} + \frac{1}{50} + \frac{1}{70}} = 27,34 \text{ mm}$$

#### 1.2.4. Il regime delle precipitazioni in Italia

L'Italia si colloca in una fascia climatica delimitata a nord dall'area centro europea, di natura prettamente continentale, e a sud dall'area mediterranea, contraddistinta da un rapporto tra le superfici emerse ed i bacini idrografici fortemente a favore dei secondi. Il clima italiano presenta quindi proprie peculiarità, dovute essenzialmente all'azione mitigatrice delle acque mediterranee, all'effetto orografico della catena alpina e alla continentalità dell'area centro-europea.

La tabella 1.2 riporta le caratteristiche dei regimi pluviometrici riscontrabili nella penisola italiana.

**Tabella 1.2. Regimi pluviometrici della penisola italiana**

Regime	Massimo di precipitazione	Minimo di precipitazione	Zone interessate
Continentale	Estate	Inverno	Vallate alpine tra Valtellina e Alto Adige
Sublitoraneo (peninsulare) sottotipo prealpino	Autunno-Primavera (quasi uguali)	Inverno-Estate (quasi uguali)	Alpi occidentali e Trentino
Sublitoraneo (peninsulare) sottotipo appenninico	Autunno (principale) Primavera (secondario)	Estate (principale) Inverno (secondario)	Italia settentrionale e centrale
Marittimo (insulare)	Inverno	Estate	Italia meridionale ed isole maggiori

Anche in Italia si sta verificando un cambiamento climatico in linea con quanto, negli ultimi decenni, sta accadendo su scala continentale europea: crescita dei valori termici, lieve diminuzione delle precipitazioni ed estremizzazione dei fenomeni atmosferici, con lunghi periodi siccitosi alternati ad eventi meteorici violenti. L'analisi dei dati climatici degli ultimi sessant'anni (periodo 1951-2010), effettuata dallo *European Climate Assessment & Dataset Project*, finanziato dalla Comunità Europea a partire dal 1998, evidenzia i risultati di seguito esposti.

#### TEMPERATURE

L'andamento delle temperature medie giornaliere registrate nel periodo 1951-2010 (figura 1.9) mostra un incremento medio di circa 0,46 °C per decennio,



Figura 1.9. Andamento delle temperature medie giornaliere nel periodo 1951-2010 (fonte: European Climate Assessment & Dataset Project)

corrispondente a circa 2,8 °C negli ultimi 60 anni, con piccole differenze solo nelle zone costiere.

L'analisi dei dati ha permesso di individuare la presenza di un punto di discontinuità all'inizio degli anni Novanta, con un aumento di temperatura del periodo 1990-2010 pari a 1,5 °C contro i 1,3 °C registrati nel quarantennio precedente (1951-1990).

La crescita più significativa dei valori di temperatura si colloca quindi negli ultimi 20 anni circa, mentre nel precedente periodo l'andamento appare mediamente più stazionario.

Non è questa la sede per disquisire se la causa di tale aumento termico sia da attribuire solamente all'immissione di gas serra in atmosfera da parte dell'uomo oppure alle fasi climatiche legate ai cosiddetti "moti millenari" della Terra (precessione degli equinozi, spostamento della linea degli absidi, nutazioni, variazione dell'eccentricità dell'orbita, mutamento dell'inclinazione dell'asse terrestre), eventi che si ripetono con ciclicità di molte migliaia di anni cui il nostro pianeta è sottoposto. Tali moti anche in passato hanno fatto alternare periodi molto freddi (glaciazioni) con periodi di clima molto più temperato, fenomeni identificati per mezzo di studi isotopici o palinologici.

Basti pensare che durante l'ultima glaciazione del Quaternario (denominata *Würmiana*, collocata temporalmente tra 11.0000 e 12.000 anni fa) poderose lingue di ghiaccio giungevano dalle Alpi fino alla Pianura Padana e il Mare Adriatico arrivava fino alla latitudine di Ancona a causa della presenza di enormi quantità di acqua allo stato solido; al contrario, nel Pliocene (periodo geologico compreso tra 5 e 2,5 milioni di anni fa circa) il livello del mare era di circa 25 m più alto rispetto a quello attuale a causa del clima più caldo e della ridotta copertura glaciale.

Come si può notare, quindi, non sono solamente i gas serra, emessi in atmosfera dall'inizio dell'era industriale, la causa del riscaldamento globale.

Comunque sia, gli effetti evidenti dell'incremento delle temperature medie, ascrivibili o meno a fenomeni antropici, sono riscontrabili, tra gli altri, nel progressivo ritiro delle calotte glaciali e dei ghiacciai montani, nell'aumento delle tempeste tropicali, nell'incremento di fenomeni di erosione costiera, nell'alternanza di periodi piovosi e siccitosi, nel progressivo anticipo delle fasi fenologiche delle colture agrarie (vale a dire le fasi di sviluppo delle piante, come ad esempio la fioritura, la maturazione del frutto, etc.).

#### PRECIPITAZIONI

Per quanto riguarda le precipitazioni, in Italia si registra, sempre nel periodo 1951-2010, un generale decremento dei valori di piovosità, con una diminuzione media di 30-40 mm per decennio nella maggior parte della penisola (si veda la figura 1.10). Questo andamento si allinea maggiormente con le tendenze riscontrabili nell'area mediterranea piuttosto che in quelle dell'Europa centro-settentrionale, dove invece si assiste ad un progressivo aumento delle precipitazioni medie annue.

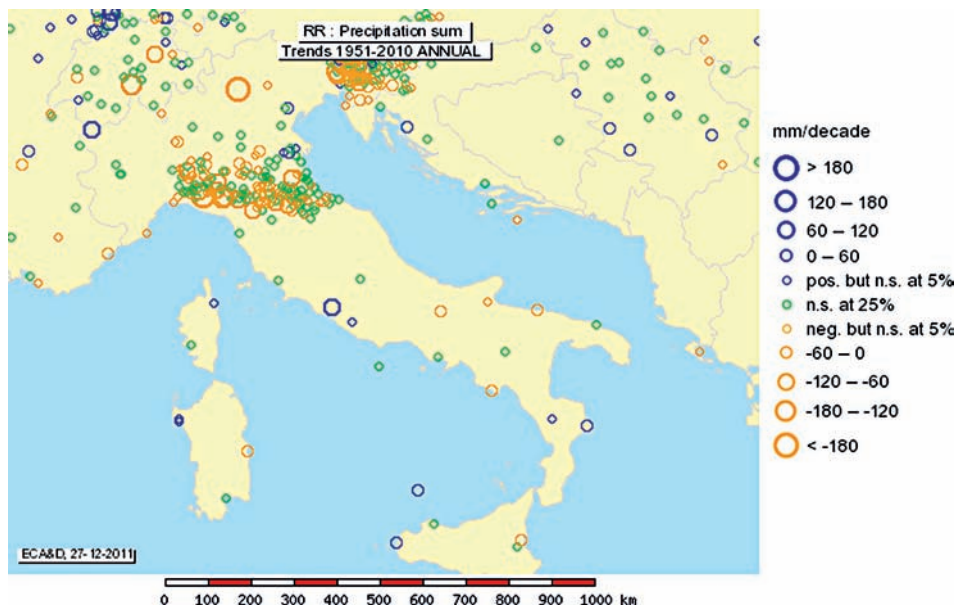


Figura 1.10. Andamento delle precipitazioni medie annue nel periodo 1951-2010 (fonte: European Climate Assessment & Dataset Project)

Analogamente alle temperature, anche per le precipitazioni si assiste ad una variazione del trend all’inizio degli anni Novanta, con una netta diminuzione del gradiente di precipitazione annua negli ultimi vent’anni.

La figura 1.11 riporta l’esempio della regione Emilia Romagna, che ha participa-

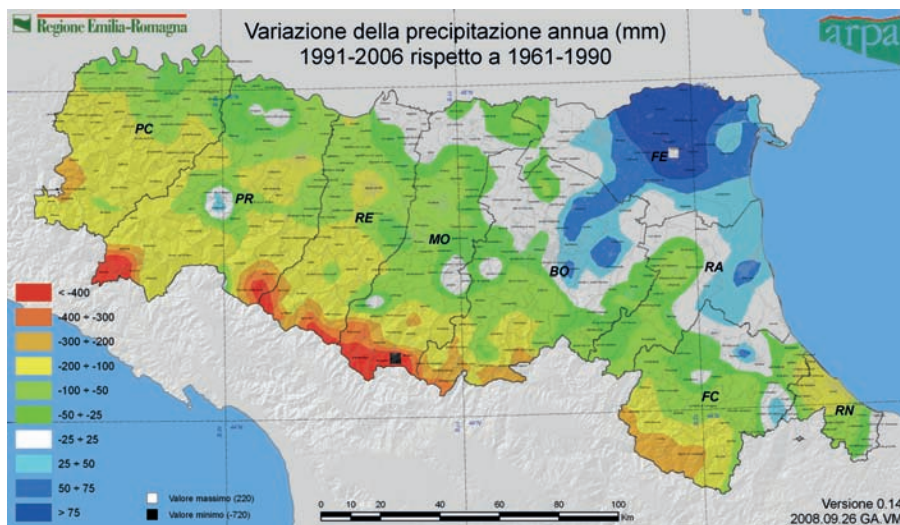


Figura 1.11. Andamento delle variazioni della precipitazione annua (mm) tra il periodo 1991-2006 e il periodo 1961-1990 (fonte: ARPA Emilia Romagna)

## 2. Fondamenti di idraulica

### 2.1. Generalità

L'impermeabilizzazione di un'area urbana o produttiva, causata dalle coperture degli edifici, dalle pavimentazioni stradali e dai piazzali, modifica fortemente la risposta di un bacino alle precipitazioni: la ridotta infiltrazione rende il deflusso delle acque meteoriche sempre più veloce, in quanto esse non trovano sostanzialmente nessuna resistenza allo scorrimento.

Nello studio per il dimensionamento dei sistemi di trattamento delle acque meteoriche di dilavamento risulta di fondamentale importanza definire il più precisamente possibile la portata massima di acqua da sottoporre a depurazione prima del recapito al collettore finale, sia esso rappresentato dalla fognatura, da un corso d'acqua superficiale o dal suolo-sottosuolo; la conoscenza di questo parametro, detto anche *portata di piena*, è imprescindibile al fine di garantire il rispetto, in ogni occasione, dei limiti imposti dalla normativa vigente.

Oltre alla quantità di pioggia che può afferire su un bacino scolante, gli elementi che intervengono nel calcolo delle portate per le quali è necessario il trattamento sono molteplici e sono costituiti da:

- dimensioni del bacino;
- eventuale presenza di spartiacque;
- tipologia di copertura e scabrezza della superficie di deflusso;
- pendenza delle superfici scolanti;
- inclinazione dei collettori;
- materiali costituenti le condotte e le superfici scolanti.

Essi contribuiscono, dal punto di vista quantitativo, alla portata di piena mediante due fattori:

- tempo impiegato dall'acqua a percorrere la massima distanza all'interno del bacino (*tempo di corrivazione*,  $\tau_c$ );
- percentuale di acqua che riesce a defluire rispetto a quella caduta (coefficiente di deflusso,  $\phi$ ).

## 2.2. Calcolo del tempo di corrivazione di un bacino

Le portate che possono defluire attraverso la sezione di un collettore (ad esempio una tubazione in calcestruzzo o PVC) che raccoglie le acque meteoriche all'interno di una rete idrica dipendono:

- dalle caratteristiche del bacino, le cui acque afferiscono alla tubazione stessa;
- dalle caratteristiche dell'evento meteorico che lo interessa.

Il bacino partecipa alla formazione del deflusso in relazione alla durata  $\tau$  dell'evento piovoso: per una precipitazione di altezza  $h$  e di intensità media  $j = h/\tau$ , estesa a tutto il bacino, si raggiunge la portata massima ad una certa sezione, detta *sezione di chiusura*<sup>1</sup>, quando, cioè, giungono insieme i contributi del deflusso provenienti da tutte le parti che formano il bacino stesso. L'intervallo di tempo necessario alla particella di pioggia, che cade nel punto idraulicamente più lontano, per raggiungere la sezione di chiusura, a partire dal quale si registra la portata massima dall'inizio dell'evento di pioggia, è definito *tempo o ritardo di corrivazione*,  $\tau_c$ , ed è assunto come elemento caratteristico del bacino.

Esistono in letteratura molte formule per la determinazione del tempo di corrivazione che variano, a seconda delle dimensioni di un bacino, da pochi ettari a qualche km<sup>2</sup>, tutte con struttura empirica e derivanti dall'interpretazione di osservazioni sperimentali; fra queste si citano, tra le tante, le formule di *Turazza, Ventura, Pasini, Giandotti, Tournon, Puglisi e Zanframundo, Pezzoli, Kirpich*. Per piccoli bacini fino a qualche ettaro di superficie il tempo di corrivazione  $\tau_c$  è dato dalla somma di due termini:

$$\tau_c = \tau_a + \tau_r$$

dove

$\tau_a$  rappresenta il tempo di accesso, ovvero il tempo che la particella d'acqua impiega per raggiungere il sistema di scolo delle acque

$\tau_r$  rappresenta il tempo di rete, vale a dire quello impiegato dalla particella per raggiungere, dal punto di ingresso alla rete, la sezione di chiusura. Esso è il rapporto tra la distanza percorsa e la velocità impiegata per percorrerla.

Il tempo di accesso, di incerta determinazione, dipende dalla pendenza dell'area, dalla tipologia di pavimentazione, dalla presenza di ostacoli al deflusso. Esso generalmente è variabile tra i 5 ed i 15 minuti, con valori più bassi per le aree di minore estensione, più attrezzate e di maggiore pendenza, ed i valori più alti nei casi opposti. Il tempo di rete è dato dalla somma dei tempi di percorrenza di ogni singolo tratto del collettore seguendo il percorso più lungo, ottenuto come rapporto tra

<sup>1</sup> La *sezione di chiusura* è il punto di intersezione tra la parte finale del bacino ed il collettore che ne raccoglie le acque. Nei piccoli bacini essa può essere fatta coincidere con il punto di scarico delle acque al recapito finale (fognatura o corso d'acqua).

la lunghezza percorsa,  $L$ , e la velocità effettiva,  $v$ , determinata iterativamente in funzione della portata e del grado di riempimento della tubazione. Come si può notare, quindi, il calcolo può essere complesso e presentare comunque un grado di incertezza elevato quando i dati di partenza non sono precisi.

Per bacini scolanti fino a qualche ettaro, più frequenti nella casistica delle superfici per le quali è necessario dimensionare un sistema di trattamento delle acque meteoriche, la formula del tempo di corrivazione, corrispondente al tempo di rete, maggiormente utilizzata è quella suggerita nel 1971 dal Civil Engineering Department dell'Università del Maryland, espressa mediante:

$$\tau_c = 26,3 \cdot \frac{(L/K_s)^{0,6}}{j^{0,4} \cdot i^{0,3}} \quad (2.1)$$

in cui

$\tau_c$  = tempo di corrivazione (s)

$L$  = lunghezza della superficie scolante (m)

$K_s$  = coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler ( $m^{1/3}/s$ )

$j$  = intensità della precipitazione rapportata al tempo di corrivazione (m/ora)

$i$  = pendenza media della superficie scolante (adimensionale).

Nella formula (2.1) compare il coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler che rappresenta una misura della resistenza al deflusso dell'acqua, in moto laminare, opposta dalla superficie di un collettore idrico. Nella tabella 2.1 sono riportati i coefficienti  $K_s$  tipici dei materiali più utilizzati per il collettamento delle acque meteoriche; si noti che tanto maggiore è il valore di  $K_s$ , quanto minore sarà la resistenza opposta al deflusso.

**Tabella 2.1. Coefficienti di Gauckler-Strickler per alcuni tipi di materiali**

	<b>Materiale</b>	<b><math>K_s</math> (<math>m^{1/3}/s</math>)</b>
Condotte chiuse	Calcestruzzo	62÷95
	Materiali plastici	70÷95
	Acciaio zincato corrugato	40÷67
Canali	Rivestiti di conglomerati bituminosi	57÷75
	Rivestiti di calcestruzzo	57÷77
	In terra	20÷60

Quando non è nota l'intensità di pioggia  $j$  relativa al tempo di corrivazione, l'espressione (2.1) può essere calcolata sostituendo nella stessa i parametri  $a$  ed  $n$ ; combinando infatti l'intensità di pioggia  $j$  della formula (1.1) con l'espressione della curva di possibilità pluviometrica (1.19) si ottiene che:

$$j = \frac{h(\tau_c)}{\tau_c} = \frac{a \cdot \tau_c^n}{\tau_c} = a \cdot \tau_c^{n-1}. \quad (2.2)$$

Ricordando che  $\tau$  (ore) =  $\tau$  (secondi)/3.600, l'espressione (2.1) diventa:

$$\tau_c = \left[ 26,3 \frac{(L/K_s)^{0,6}}{3600^{(1-n)0,4} \cdot a^{0,4} \cdot i^{0,3}} \right]^{1/(0,6+0,4n)} \quad (2.3)$$

con i parametri espressi mediante le seguenti dimensioni:

- $\tau_c$  in s
- $L$  in m
- $K_s$  in  $m^{1/3}/s$
- $a$  in  $m \cdot \text{ore}^{-n}$
- $n$  adimensionale
- $i$  adimensionale.

In presenza di bacini serviti da una rete le cui tubazioni siano suddivise in più tratte, la formula (2.3) si applica a ciascuna porzione (che concorre a formare l'asta che raccoglie le acque dal punto idraulicamente più lontano) sommando i relativi contributi.

### ESEMPIO 2.1

Si voglia calcolare il tempo di corrivazione di una superficie scolante le cui acque siano raccolte da una condotta costituita da un ramo A in calcestruzzo di lunghezza  $L = 320$  m e da un ramo B in PVC di lunghezza  $L = 110$  m, entrambi con lo stesso diametro e la medesima inclinazione  $i = 0,001$  (figura 2.1).

La curva di possibilità pluviometrica della zona per scrosci d'acqua inferiori all'ora e per un tempo di ritorno di 20 anni è  $h = 49,2 \cdot \tau^{0,20}$ .

Il coefficiente  $K_s$  del calcestruzzo è pari a  $70 m^{1/3}/s$ .

Il coefficiente  $K_s$  del PVC è pari a  $80 m^{1/3}/s$ .

Dalla curva di possibilità pluviometrica si ricava che:

$$a = 0,0492 m/\text{ore}^n$$

$$n = 0,20$$

Applicando la formula (2.3) si ottiene:

$$\begin{aligned} \tau_c &= \left( 26,3 \cdot \frac{(320/70)^{0,6}}{3600^{(1-0,20)-0,4} \cdot 0,0492^{0,4} \cdot 0,001^{0,3}} \right)^{1/(0,6+0,4-0,20)} + \\ &+ \left( 26,3 \cdot \frac{(110/80)^{0,6}}{3600^{(1-0,20)-0,4} \cdot 0,0492^{0,4} \cdot 0,001^{0,3}} \right)^{1/(0,6+0,4-0,20)} = \\ &= 1230 \text{ s} + 426 \text{ s} = 1656 \text{ s} \end{aligned}$$



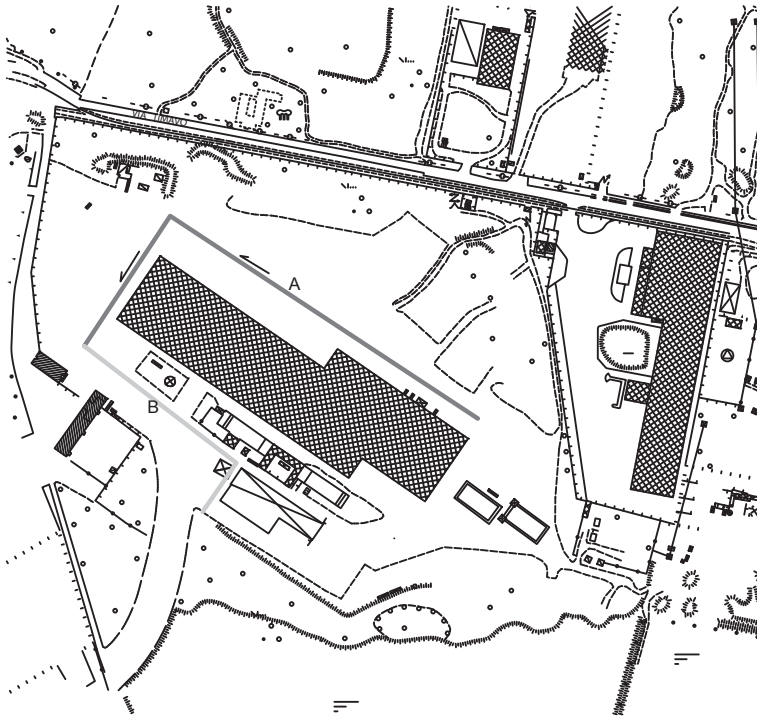


Figura 2.1. Schema condotte

corrispondenti a 0,46 ore o 27,6 minuti, approssimabili a 30 minuti se si vuole tener conto del tempo di accesso alla rete idrica.

Nel caso in cui i calcoli mostrassero un tempo di corrivazione maggiore all'ora (in realtà piuttosto raro per bacini di piccole dimensioni) con l'utilizzo dei parametri  $a$  ed  $n$  della curva di possibilità pluviometrica relativi agli scrosci, bisognerà adoperare i parametri relativi alle piogge orarie per avere dei risultati più precisi.

Analogo utilizzo si può fare anche quando non si hanno a disposizione i dati idrologici degli scrosci inferiori all'ora.

### 2.3. Calcolo del coefficiente di deflusso di un bacino

Un altro parametro che concorre, in un bacino, a formare la portata di piena è rappresentato dal *coefficiente di deflusso*,  $\phi$ , ovvero il rapporto tra il volume d'acqua defluito alla sezione di chiusura di un bacino e gli afflussi per precipitazioni.

Le acque meteoriche, infatti, non raggiungono mai interamente la sezione di chiusura del bacino ad esse sotteso perché una parte viene dispersa o trattenuta per evaporazione, per infiltrazione nel terreno, per adsorbimento da parte delle superfici porose, per ristagno, etc., in una percentuale dipendente da numerosi fattori, quali, ad esempio, la natura del terreno, la tipologia delle superfici scolanti ed il tipo di copertura.

Ogni tipo di superficie (zona a verde, copertura dei tetti, zona pavimentata, zona semi-drenante, etc.) è quindi caratterizzata da uno specifico coefficiente di deflusso che rappresenta la quota percentuale di precipitazione che contribuisce alla portata di piena di un determinato bacino.

È evidente come la superficie di un bacino possa essere costituita da più porzioni caratterizzate da coefficienti di deflusso diversi: in tal caso viene attribuito all'intero bacino un coefficiente di deflusso desunto dalla media pesata dei coefficienti delle singole aree coinvolte, che è tanto più rispondente alla realtà quanto più la suddivisione è precisa.

La formula di calcolo del coefficiente di deflusso medio,  $\varphi_{med}$ , di una superficie scolante è data dalla relazione:

$$\varphi_{med} = \sum_i \frac{S_i \varphi_i}{S_{tot}} \quad (2.4)$$

dove

$S_i$  i-esima porzione di superficie

$\varphi_i$  coefficiente di deflusso della i-esima porzione di superficie.

Il valore di  $\varphi$  può variare teoricamente da 0 (quando l'acqua viene completamente trattenuta dal suolo) a 1 (quando l'acqua defluisce totalmente dalla superficie scolante); il valore di deflusso  $\varphi = 1$  è puramente teorico e viene generalmente utilizzato quando si vuole adottare il massimo criterio cautelativo nei calcoli.

Nella tabella 2.2 sono riportati i valori del coefficiente di deflusso per le principali tipologie di superfici.

**Tabella 2.2. Coefficienti di deflusso delle principali tipologie di superfici**

Tipologia superficie	$\varphi$
Verde su suolo profondo, prati, orti, superfici agricole	0,10-0,15
Terreno incolto, sterrato non compattato	0,20-0,30
Superfici in ghiaia sciolta – parcheggi drenanti	0,30-0,50
Pavimentazioni in macadam	0,35-0,50
Superfici sterrate compatte	0,50-0,60
Coperture tetti	0,85-1,00
Pavimentazioni in asfalto o cls	0,85-1,00

**ESEMPIO 2.2**

Si voglia calcolare il coefficiente di deflusso medio di un'area formata da 3.500 m<sup>2</sup> di superficie asfaltata, 600 m<sup>2</sup> di superficie adibita a verde e 2.600 m<sup>2</sup> di sterato compattato.

Dalla tabella 2.2 si ricava, adottando i seguenti coefficienti di deflusso per le relative superfici:

Pavimentazione asfaltata  $\varphi = 0,85$

Superficie a verde  $\varphi = 0,15$

Superficie sterrata  $\varphi = 0,60$

Utilizzando la formula (2.4) si ottiene:

$$\varphi_{\text{med}} = \frac{0,85 \cdot 3.500 + 0,15 \cdot 600 + 0,60 \cdot 2.600}{6.700} = 0,69$$

**2.4. Portata delle tubazioni**

La capacità di smaltimento di una rete idrica dipende dalla portata delle tubazioni delle singole tratte e da quella relativa alla sezione di chiusura.

La portata massima,  $Q_{\text{max}}$ , di tubazioni circolari, che costituiscono il caso più frequente, dipende:

- dalla sezione di scorrimento, detta *sezione idraulica* o *sezione bagnata*;
- dalla velocità di deflusso dell'acqua all'interno della condotta.

La portata massima  $Q_{\text{max}}$  si può esprimere mediante la formula di Gauckler-Strickler:

$$Q_{\text{max}} = v_{\text{max}} \cdot A = K_s \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot R_H^{\frac{2}{3}} \cdot A \quad (2.5)$$

dove

$v_{\text{max}}$  = velocità massima di deflusso (m/s)

$K_s$  = coefficiente di resistenza di Gauckler-Strickler (m<sup>1/3</sup>/s)

$i$  = pendenza (adimensionale)

$R_H$  = raggio idraulico (m)

$A$  = sezione idraulica o area bagnata (m<sup>2</sup>).

Si ponga attenzione, fin d'ora, sul fatto che la portata massima di un collettore circolare non corrisponde a quella relativa al grado di riempimento massimo della condotta (si veda l'esempio 2.4).

Quando il riempimento è parziale, i parametri idraulici della tubazione si calcolano mediante le seguenti formule (con riferimento alla figura 2.2):

$$\text{Perimetro bagnato } P = \left[ \pi - \cos^{-1} \left( 2 \frac{y}{D} - 1 \right) \right] D \quad (2.6)$$

$$\text{Area bagnata } A = \frac{D^2}{4} \left[ \frac{\pi}{2} - \sin^{-1} \left( 1 - 2 \frac{y}{D} \right) - 2 \left( 1 - 2 \frac{y}{D} \right) \sqrt{\frac{y}{D} \left( 1 - \frac{y}{D} \right)} \right] \quad (2.7)$$

$$\text{Raggio idraulico } R_H = \frac{A}{P} \quad (2.8)$$

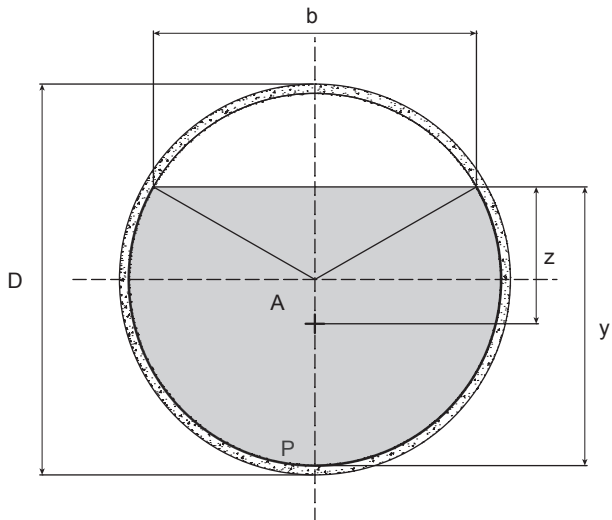
$$\text{Larghezza specchio liquido } b = \left[ 2 \sqrt{\frac{y}{D} \left( 1 - \frac{y}{D} \right)} \right] D \quad (2.9)$$

$$\text{Profondità del baricentro } z = \left[ \frac{y}{D} - \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{b^3}{6AD} \right) \right] D \quad (2.10)$$

dove

$D$  = diametro della condotta

$y/D$  = grado di riempimento della condotta.



**Figura 2.2**  
Schema rappresentativo delle  
grandezze di una condotta

### ESEMPIO 2.3

Si calcolino i parametri idraulici di una tubazione avente le seguenti caratteristiche:

$$\begin{aligned}
 D &= 0,25 \text{ m} \\
 K_s &= 80 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1} \text{ (tubazione in gres)} \\
 i &= 0,001 \\
 y/D &= 0,95
 \end{aligned}$$

La tabella di seguito riportata riassume i risultati ottenuti applicando le formule da (2.5) a (2.10)

Perimetro bagnato (2.6)	Area bagnata (2.7)	Raggio idraulico (2.8)	Largh. specchio liquido (2.9)	Prof. baricentro (2.10)	Portata (2.5)	Velocità ( $Q/A$ )
$P$ (m)	$A$ (m <sup>2</sup> )	$R_H$ (m)	$b$ (m)	$z$ (m)	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$V$ (m/s)
0,673	0,048	0,072	0,109	0,115	0,02101	0,436

I parametri idraulici precedentemente citati, resi adimensionali per mezzo della normalizzazione con il diametro  $D$  della condotta, possono essere applicati a tubazioni di qualsiasi diametro.

Nello specifico, la forma adimensionale si ottiene assumendo:

$$\text{Perimetro bagnato } \frac{P}{D} = \left[ \pi - \cos^{-1} \left( 2 \frac{y}{D} - 1 \right) \right] \quad (2.11)$$

$$\text{Area bagnata } \frac{A}{D^2} = \frac{1}{4} \left[ \frac{\pi}{2} - \sin^{-1} \left( 1 - 2 \frac{y}{D} \right) - 2 \left( 1 - 2 \frac{y}{D} \right) \sqrt{\frac{y}{D} \left( 1 - \frac{y}{D} \right)} \right] \quad (2.12)$$

$$\text{Raggio idraulico } \frac{R_H}{D} = \frac{A}{DP} \quad (2.13)$$

$$\text{Larghezza specchio liquido } \frac{b}{D} = \left[ 2 \sqrt{\frac{y}{D} \left( 1 - \frac{y}{D} \right)} \right] \quad (2.14)$$

$$\text{Profondità del baricentro } \frac{z}{D} = \left[ \frac{y}{D} - \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{b^3}{6AD} \right) \right] \quad (2.15)$$

Si definiscono inoltre:

$$\text{Fattore di portata } \frac{R_H^3 \cdot A}{D^{8/3}} \quad (2.16)$$

$$\text{Rapporto di velocità } \frac{v}{v_0} = \frac{Q/A}{Q_0/A_0} = \frac{K_S i^{\frac{1}{2}} \cdot R_H^{\frac{2}{3}} \cdot A/A}{K_S \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot (D/4)^{\frac{2}{3}} \cdot A_0/A_0} = \left( 4 \cdot \frac{R_H}{D} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.17)$$

$$\text{Rapporto di portata } \frac{Q}{Q_0} = \frac{v \cdot A}{v_0 \cdot A_0} = \left( 4 \cdot \frac{R_H}{D} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{A}{\pi \cdot D^2 / 4} \quad (2.18)$$

con  $Q_0$  corrispondente alla portata al massimo grado di riempimento della tubazione, pari a:

$$Q_0 = K_S \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot \left( \frac{D}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot A_0 \quad (2.19)$$

dove  $A_0 = \pi \cdot \frac{D^2}{4}$  è la sezione della tubazione.

Nella tabella 2.3 si riportano, in forma adimensionale, i parametri idraulici per condotte circolari, in funzione del grado di riempimento  $y/D$ . Per poter procedere al calcolo della portata di una tubazione di diametro  $D$ , in funzione dell'inclinazione  $i$  e del grado di riempimento  $y/D$ , non si farà altro che applicare le seguenti formule:

$$\text{Velocità } v = \frac{v}{v_0} \cdot v_0 = \frac{v}{v_0} \cdot K_S \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot \left( \frac{D}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.20)$$

$$\text{Portata } Q = \frac{Q}{Q_0} \cdot Q_0 = \frac{Q}{Q_0} \cdot K_S \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot \left( \frac{D}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.21)$$

**Tabella 2.3. Parametri idraulici per una condotta circolare parzialmente riempita in funzione del grado di riempimento e resi adimensionali**

Grado di riempimento	Area	Perimetro bagnato	Raggio idraulico	Larghezza specchio liquido	Profondità del baricentro	Fattore di portata	Rapporto di velocità	Rapporto di portata
$y/D$	$A/D^2$	$P/D$	$R_H/D$	$b/D$	$zD$	$AR_H^{2/3}/D^{8/3}$	$v/v_0$	$Q/Q_0$
0,01	0,0013	0,2003	0,0066	0,1990	0,0040	0,0000	0,0890	0,0002
0,02	0,0037	0,2838	0,0132	0,2800	0,0080	0,0002	0,1408	0,0007
0,03	0,0069	0,3482	0,0197	0,3412	0,0120	0,0005	0,1839	0,0016
0,04	0,0105	0,4027	0,0262	0,3919	0,0161	0,0009	0,2221	0,003
0,05	0,0147	0,4510	0,0326	0,4359	0,0201	0,0015	0,2569	0,0048
0,06	0,0192	0,4949	0,0389	0,4750	0,0241	0,0022	0,2892	0,0071
0,07	0,0242	0,5355	0,0451	0,5103	0,0282	0,0031	0,3194	0,0098
0,08	0,0294	0,5735	0,0513	0,5426	0,0322	0,0041	0,3480	0,013

Grado di riempimento	Area	Perimetro bagnato	Raggio idraulico	Larghezza specchio liquido	Profondità del baricentro	Fattore di portata	Rapporto di velocità	Rapporto di portata
$y/D$	$A/D^2$	$P/D$	$R_H/D$	$b/D$	$zD$	$AR_H^{2/3}/D^{8/3}$	$v/v_0$	$Q/Q_0$
0,09	0,0350	0,6094	0,0575	0,5724	0,0363	0,0052	0,3752	0,0167
0,10	0,0409	0,6435	0,0635	0,6000	0,0404	0,0065	0,4012	0,0209
0,11	0,0470	0,6761	0,0695	0,6258	0,0444	0,0079	0,4260	0,0255
0,12	0,0534	0,7075	0,0755	0,6499	0,0485	0,0095	0,4500	0,0306
0,13	0,0600	0,7377	0,0813	0,6726	0,0526	0,0113	0,4730	0,0361
0,14	0,0668	0,7670	0,0871	0,6940	0,0567	0,0131	0,4953	0,0421
0,15	0,0739	0,7954	0,0929	0,7141	0,0608	0,0152	0,5168	0,0486
0,16	0,0811	0,8230	0,0986	0,7332	0,0650	0,0173	0,5376	0,0555
0,17	0,0885	0,8500	0,1042	0,7513	0,0691	0,0196	0,5578	0,0629
0,18	0,0961	0,8763	0,1097	0,7684	0,0732	0,0220	0,5775	0,0707
0,19	0,1039	0,9021	0,1152	0,7846	0,0774	0,0246	0,5965	0,0789
0,20	0,1118	0,9273	0,1206	0,8000	0,0816	0,0273	0,6151	0,0876
0,21	0,1199	0,9521	0,1259	0,8146	0,0857	0,0301	0,6331	0,0966
0,22	0,1281	0,9764	0,1312	0,8285	0,0899	0,0331	0,6507	0,1061
0,23	0,1365	1,0004	0,1364	0,8417	0,0941	0,0362	0,6678	0,116
0,24	0,1449	1,0239	0,1416	0,8542	0,0983	0,0394	0,6844	0,1263
0,25	0,1535	1,0472	0,1466	0,8660	0,1025	0,0427	0,7007	0,137
0,26	0,1623	1,0701	0,1516	0,8773	0,1067	0,0461	0,7165	0,148
0,27	0,1711	1,0928	0,1566	0,8879	0,1110	0,0497	0,7320	0,1595
0,28	0,1800	1,1152	0,1614	0,8980	0,1152	0,0534	0,7471	0,1712
0,29	0,1890	1,1374	0,1662	0,9075	0,1195	0,0572	0,7618	0,1834
0,30	0,1982	1,1593	0,1709	0,9165	0,1237	0,0610	0,7761	0,1958
0,31	0,2074	1,1810	0,1756	0,9250	0,1280	0,0650	0,7902	0,2086
0,32	0,2167	1,2025	0,1802	0,9330	0,1323	0,0691	0,8038	0,2218
0,33	0,2260	1,2239	0,1847	0,9404	0,1366	0,0733	0,8172	0,2352
0,34	0,2355	1,2451	0,1891	0,9474	0,1410	0,0776	0,8302	0,2489
0,35	0,2450	1,2661	0,1935	0,9539	0,1453	0,0820	0,8430	0,2629
0,36	0,2546	1,2870	0,1978	0,9600	0,1496	0,0864	0,8554	0,2772
0,37	0,2642	1,3078	0,2020	0,9656	0,1540	0,0910	0,8675	0,2918
0,38	0,2739	1,3284	0,2062	0,9708	0,1584	0,0956	0,8794	0,3066
0,39	0,2836	1,3490	0,2102	0,9755	0,1628	0,1003	0,8909	0,3217
0,40	0,2934	1,3694	0,2142	0,9798	0,1672	0,1050	0,9022	0,337
0,41	0,3032	1,3898	0,2182	0,9837	0,1716	0,1099	0,9132	0,3525
0,42	0,3130	1,4101	0,2220	0,9871	0,1760	0,1148	0,9239	0,3682
0,43	0,3229	1,4303	0,2258	0,9902	0,1805	0,1197	0,9343	0,3842
0,44	0,3328	1,4505	0,2295	0,9928	0,1850	0,1248	0,9445	0,4003
0,45	0,3428	1,4706	0,2331	0,9950	0,1895	0,1298	0,9544	0,4165
0,46	0,3527	1,4907	0,2366	0,9968	0,1940	0,1349	0,9640	0,433
0,47	0,3627	1,5108	0,2401	0,9982	0,1985	0,1401	0,9734	0,4495
0,48	0,3727	1,5308	0,2435	0,9992	0,2031	0,1453	0,9825	0,4662
0,49	0,3827	1,5508	0,2468	0,9998	0,2076	0,1506	0,9914	0,4831
0,50	0,3927	1,5708	0,2500	1,0000	0,2122	0,1558	1,0000	0,5
0,51	0,4027	1,5908	0,2531	0,9998	0,2168	0,1611	1,0084	0,517

## 5. I sistemi di trattamento delle acque meteoeriche

### 5.1. Generalità

Nel capitolo precedente si è visto che nei casi previsti dalla normativa stabilita a livello regionale dai vari Piani di Tutela delle Acque (PTA) le acque meteoriche di dilavamento, almeno per la frazione di prima pioggia, sono considerabili reflui industriali; in tali casi, pertanto, esse vanno sottoposte ad adeguato trattamento prima dello scarico, il quale deve essere autorizzato dagli enti competenti.

Si è anche visto che i limiti di concentrazione da rispettare allo scarico sono quelli relativi alle sostanze elencate nelle tabelle dell'Allegato 5, Parte III del D.Lgs. 152/06 (Tabella 3 per le emissioni in acque superficiali e in fognatura e Tabella 4 per gli scarichi sul suolo) laddove non siano regolamentati localmente in maniera più restrittiva.

La legislazione a livello nazionale non stabilisce quali debbano essere i sistemi di trattamento delle acque di dilavamento, delegando in questo le Regioni, le quali, sempre nei PTA, fanno riferimento in maniera più o meno dettagliata a sistemi di disoleazione e sedimentazione accelerata, lasciando la scelta del metodo alla peculiarità di ogni caso.

La verifica di quale sia il sistema di trattamento più adatto alla situazione sito-specifica è demandata totalmente al titolare dello scarico e quindi, di rimando, al proprietario dell'area che viene dilavata e che lo origina: egli, pertanto, diventa l'unico responsabile in caso di inadempienza o irregolarità nel rispetto dei sopradetti limiti.

Il corretto dimensionamento di un impianto di trattamento delle acque meteoriche riveste pertanto un'importanza non trascurabile per un'attività produttiva, sia sotto l'aspetto economico (in quanto l'adeguamento di una rete di raccolta preesistente o una nuova installazione possono comportare investimenti non marginali), sia sotto il profilo legale (a causa delle conseguenze civili o penali in caso di mancato rispetto dei parametri di legge).

La progettazione richiede un approccio metodologico multidisciplinare in cui risulta necessaria la conoscenza della normativa applicabile oltre che la padronanza di nozioni di idrologia, idraulica e chimica dei contaminanti.



Per un adeguato dimensionamento di un impianto sono necessarie informazioni sull'intensità e la durata dei fenomeni piovosi attesi per la zona dove esso sarà installato, sulle caratteristiche della superficie scolante (estensione, pendenza, scabrosità), sulle caratteristiche della rete drenante (diametro delle condotte, lunghezza e pendenza), sulla tipologia di materiali presenti sulle superfici scolanti e delle sostanze inquinanti potenzialmente dilavabili.

Solo dopo aver opportunamente valutato tutti questi dati potrà essere calcolato con un certo margine di sicurezza il volume e la portata massima di acqua da trattare e, di conseguenza, il sistema di trattamento più appropriato allo stato dei luoghi.

## 5.2. Interventi contro l'inquinamento delle acque meteoriche

Nell'ambito di un'attività produttiva o di un qualsiasi altro esercizio nel quale possa essere adulterata la qualità delle acque meteoriche dilavanti le superfici esterne, il rispetto dei limiti normativi allo scarico può essere attuato mediante l'adozione di svariati provvedimenti e soluzioni classificabili essenzialmente in due categorie:

- interventi non strutturali;
- interventi strutturali.

Gli *interventi non strutturali* comprendono tutte le azioni non invasive di controllo dell'inquinamento, le quali non richiedono il successivo trattamento delle acque meteoriche per mezzo di impianti di depurazione.

La migliore soluzione non strutturale è la riduzione fino al potenziale annullamento delle fonti di contaminazione presenti sulle superfici esterne. Il contenimento e la protezione delle sostanze inquinanti dal dilavamento, infatti, diminuiscono notevolmente il rischio di superamento dei limiti di legge allo scarico, costituendo efficaci espedienti affinché le acque meteoriche non ricadano nel novero dei reflui industriali.

Tale risultato può essere ad esempio raggiunto attraverso:

- stoccaggio di tutti i materiali che possono lisciviare sostanze contaminanti (materie prime, prodotti finiti, rifiuti, parti meccaniche, pezzi di ricambio, etc.) all'interno di strutture coperte;
- copertura dei materiali contro il dilavamento, ad esempio mediante teloni;
- confinamento delle attività che possono arrecare sporcizia (travasi di oli, rifornimento mezzi, etc.) in zone non dilavabili;
- pulizia sistematica dei piazzali (ad esempio mediante spazzatrice);
- aspirazione periodica del materiale di deposito all'interno di pozzetti, caditoie e tubazioni di raccolta delle acque;
- rimozione immediata di eventuali fuoriuscite di oli, perdite di idrocarburi, sversamenti accidentali mediante apposite sostanze adsorbenti;
- divieto o limitazione del transito dei mezzi in determinate aree.

Tali accorgimenti, purtroppo, non sempre sono fattibili in quanto molte attività produttive necessitano di spazio per la propria logistica, la quale, ovviamente, non sempre può essere condotta solo all'interno di strutture coperte o protette contro il dilavamento meteorico.

Gli *interventi strutturali* comprendono tutte le soluzioni tecniche e tecnologiche di controllo dell'inquinamento delle acque da attuare prima dello scarico nel corpo ricettore. Essi possono essere effettuati mediante:

- realizzazione di bacini chiusi di raccolta delle acque (ad esempio attraverso la creazione di aree endoreiche che convogliano le acque in vasche a tenuta stagna) con successivo smaltimento dei reflui raccolti come rifiuto;
- installazione di impianti di trattamento e depurazione (di tipo biologico, fisico, chimico-fisico o fitodepurativo);
- frazionamento della rete delle acque meteoriche in modo da circoscrivere il trattamento solo a quelle effettivamente provenienti da superfici potenzialmente inquinanti.

Tutti questi interventi possono essere utilizzati singolarmente o in maniera congiunta; il principio alla base di ogni scelta rimane comunque quello di pianificare la corretta adozione onde evitare che sostanze idroinquinanti raggiungano i corpi ricettori in concentrazioni superiori a quelle imposte dalla normativa applicabile.

In questo capitolo ci si concentrerà sulla disamina dei sistemi di trattamento delle acque meteoriche di dilavamento comunemente utilizzati nelle attività produttive, ovvero:

- i *sistemi di trattamento fisici*;
- i *sistemi di trattamento chimico-fisici*.

Sono stati volutamente tralasciati dall'analisi i metodi di depurazione dei reflui mediante impianti biologici e vassoi fitodepurativi, scarsamente utilizzati in ambito di trattamento delle acque meteoriche, non applicabili nella maggioranza delle attività produttive a causa del cospicuo spazio da essi richiesto.

### 5.3. Il trattamento fisico

Il trattamento fisico di un refluo consiste nella separazione degli elementi contaminanti in esso presenti mediante barriere fisiche che ne permettano la rimozione meccanica senza l'intervento di reazioni chimiche.

In ambito di acque meteoriche il trattamento fisico è realizzato tramite due processi fondamentali attuati sempre congiuntamente:

- il processo di sedimentazione;
- il processo di disoleazione.

### 5.3.1. La sedimentazione

La *sedimentazione*, o *dissabbiatura*, è il processo di rimozione per separazione gravitazionale delle particelle in sospensione nel refluo.

In un impianto di depurazione delle acque meteoriche essa costituisce la prima fase del trattamento fisico (inserita a monte del processo di disoleazione per garantirne una maggiore efficacia) e provvede a rimuovere dal refluo le particelle che potrebbero intasare le maglie della parte filtrante (figura 5.1).

La sedimentazione dei solidi sospesi in un fluido dipende da vari fattori tra cui:

- grado di turbolenza del fluido;
- forma, dimensione e densità delle particelle;
- viscosità e densità del fluido.

In assenza di turbolenza, la grandezza fisica che quantifica la resistenza al libero movimento di una particella, dovuto alla forza di gravità ed alla spinta idrostatica, è detta *forza di attrito viscoso*, formulata mediante la *legge di Stokes*.

Nella sua formulazione più semplice, relativa a una particella sferica immersa in acqua, tale legge è espressa come:

$$F_s = -6 \cdot \pi \cdot \eta_w \cdot r \cdot v \quad (5.1)$$

dove

$\eta_w$  è il coefficiente di viscosità dinamica del fluido (acqua)

$r$  è il raggio della sfera

$v$  è la velocità della sfera rispetto al fluido.

La legge di Stokes si basa sul fatto che quanto più il liquido è viscoso, tanto più bassa è la velocità di un corpo lasciato libero nella sua massa; la forza di attrito viscoso ha segno negativo in quanto possiede verso opposto a quello del movimento a causa della gravità.

Un corpo immerso in un fluido è però sottoposto principalmente alla forza di gravità e alla *spinta idrostatica* (o di *Archimede*) che, sempre nel caso della sfera, sono enunciabili mediante le seguenti relazioni:

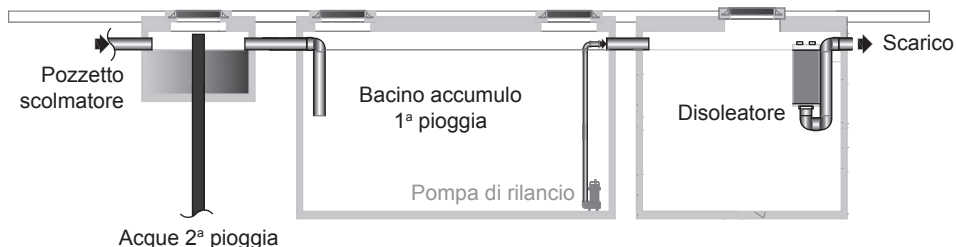


Figura 5.1. Esempio di vasca di sedimentazione delle prime piogge con pompa di rilancio al disoleatore

$$\text{spinta idrostatica} \quad F_A = -\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_w \cdot g \quad (5.2)$$

$$\text{forza di gravità} \quad F_G = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_0 \cdot g \quad (5.3)$$

dove

$\rho_w$  è la densità del fluido (acqua)

$\rho_0$  è la densità del corpo

$r$  è il raggio della sfera

$g$  è l'accelerazione di gravità ( $9,81 \text{ m/s}^2 = 981 \text{ cm/s}^2$ ).

Anche la spinta idrostatica ha segno negativo in quanto si oppone alla forza di gravità (figura 5.2).

Una sfera immersa in un fluido raggiunge la condizione di equilibrio arrivando a una velocità costante che si verifica quando la resistenza opposta dalla viscosità del liquido è esattamente bilanciata dalla forza di gravità e dalla spinta idrostatica, vale a dire:

$$F_S + F_A + F_G = 0 \quad (5.4)$$

Sostituendo nella formula (5.4) le relative espressioni (5.1), (5.2), (5.3) si ottiene:

$$-6 \cdot \pi \cdot \eta_w \cdot r \cdot v - \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_w \cdot g + \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_0 \cdot g = 0$$

da cui, esplicitando rispetto alla velocità,  $v$ , consegue che:

$$v = \frac{(\rho_0 - \rho_w)}{18 \cdot \eta_w} \cdot g \cdot d^2 \quad (5.5)$$

dove  $d = 2r$  è il diametro della particella.

La formula (5.5) indica che, al momento dell'equilibrio tra le forze e in totale assenza di turbolenza, il moto di una particella è lineare e raggiunge una velocità costante proporzionale alla differenza di densità solido-acqua e al quadrato del diametro della particella e inversamente proporzionale al coefficiente di attrito viscoso dell'acqua.

La figura 5.3 riporta la classificazione granulometrica dei sedimenti in funzione della dimensione delle particelle; il diametro dei sedimenti,  $d$ , che normalmente vengono trasportati nelle condotte

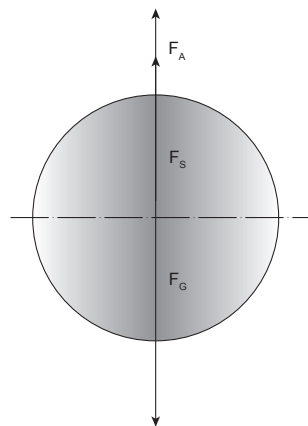


Figura 5.2. Forze cui una particella è sottoposta in acqua

idriche delle superfici produttive può variare dalle sabbie grossolane ( $d = 2,0 \text{ mm}$ ) alle argille ( $d < 2 \text{ }\mu\text{m}$ ).

La gravità esercita la sua influenza prevalente sulle particelle fino a quando queste possiedono un diametro di circa  $10\text{-}20 \text{ }\mu\text{m}$ , al di sotto del quale livello la decantazione è fortemente ostacolata dalle forze di natura elettrostatica.

Il coefficiente di viscosità dinamica dell'acqua,  $\eta_w$ , è una grandezza fisica derivata espressa in:

- Poise (simbolo  $P$ ) nel sistema centimetro-grammo-secondo C.G.S.;
- $\text{Pa} \cdot \text{s}$  (Pascal per secondo) nel Sistema Internazionale S.I,

con le seguenti equivalenze:

$$1,0 \text{ P} = 1,0 \text{ g/cm} \cdot \text{s} = 0,1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

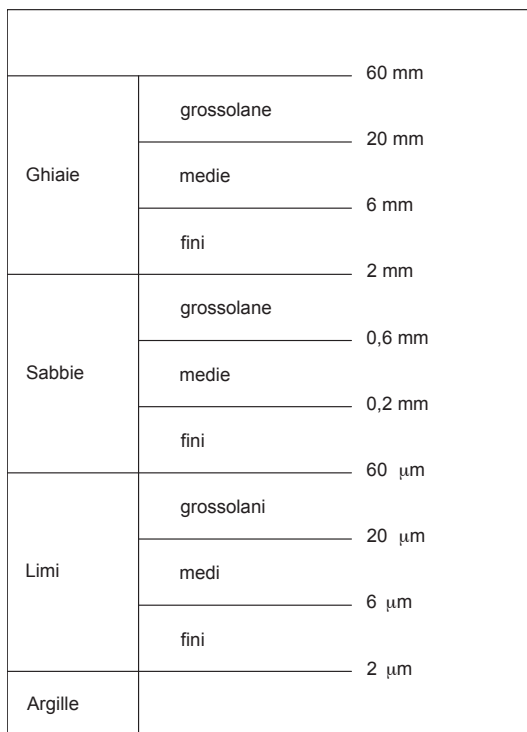
Il valore di viscosità dell'acqua è generalmente espresso in centiPoise (simbolo  $cP$ ) con l'equivalenza:

$$1,0 \text{ cP} = 10^{-2} \text{ P} = 10^{-2} \text{ g/cm} \cdot \text{s} = 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

La tabella 5.1 riporta i valori quantitativi dei principali parametri che intervengono nel processo di decantazione dei sedimenti in acqua.

**Tabella 5.1. Valori dei parametri per il calcolo della velocità di sedimentazio**

Parametro	Valore
Diametro sedimenti, $d$	Da $2,0 \text{ mm}$ (sabbie grossolane) a $2 \text{ }\mu\text{m}$ (argille)
Densità sedimenti, $\rho_0$	$2,5\text{-}2,7 \text{ g/cm}^3$
Coefficiente viscosità dinamica acqua, $\eta_w$	$1,792 \text{ cP}$ a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ $1,002 \text{ cP}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ $0,890 \text{ cP}$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$



**Figura 5.3. Classificazione granulometrica dei sedimenti**

**ESEMPIO 5.1**

Si voglia calcolare la velocità di sedimentazione di una particella di sabbia fine ( $d = 0,8 \text{ mm}$ ,  $\rho_0 = 2,7 \text{ g/cm}^3$ ) e di un limo ( $d = 60,0 \text{ }\mu\text{m}$ ,  $\rho_0 = 2,7 \text{ g/cm}^3$ ) all'interno di un sedimentatore alla temperatura di  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  in assenza di movimento dell'acqua.

Applicando la formula (5.5) si ottiene:

$$\text{Sabbia fine } v = \frac{(2,7 - 1,0)}{18 \cdot 0,01792} \cdot 981 \cdot (0,08)^2 = 33,1 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$\text{Limo } v = \frac{(2,7 - 1,0)}{18 \cdot 0,01792} \cdot 981 \cdot (60 \cdot 10^{-4})^2 = 0,186 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

La velocità di deposizione della sabbia risulta essere, nel caso riportato, circa 177 volte superiore a quella del limo.

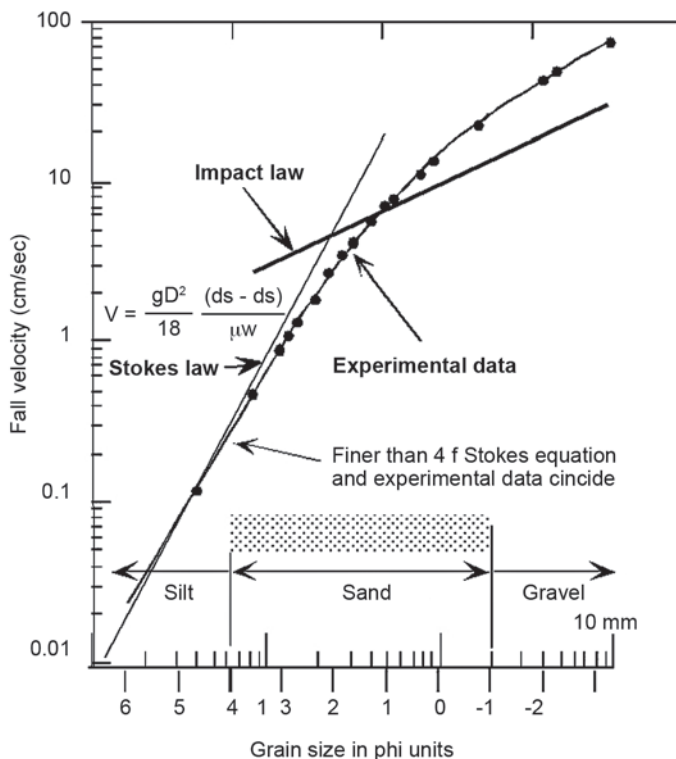
La fase di sedimentazione di un impianto di trattamento delle acque meteoriche contribuisce a rimuovere un'importante frazione degli inquinanti provenienti dal deflusso di pioggia che possono decantare autonomamente o venire inglobati nel particolato.

Il principale fattore che governa l'efficienza di allontanamento delle particelle sospese è il *tempo di decantazione*, il quale, come si desume dalla formula (5.5) e come si è visto nell'esempio 5.1, è inversamente proporzionale al quadrato del loro diametro: materiali con granulometria sabbiosa si depositano in breve tempo mentre particelle fini, come i limi e le argille, possono richiedere tempi di decantazione molto più lunghi, influenzati dal movimento dell'acqua all'interno del sedimentatore e dalle forze di natura elettrostatica (figura 5.4).

Anche un eventuale utilizzo di griglie o di altri tipi di barriere non apporta grossi vantaggi in quanto, se troppo fitte, possono creare scompensi di carattere idraulico, rallentando eccessivamente il deflusso, mentre se a maglia più larga servono semplicemente a trattenere i sedimenti più grossolani, dimostrandosi inefficaci per quelli più fini.

Prima di progettare un sedimentatore è perciò importante valutare le caratteristiche delle particelle potenzialmente presenti sulle superfici scolanti che saranno poi trasportate in sospensione durante il dilavamento meteorico, al fine di poter determinare il necessario tempo di ritenzione.

In attività dove è maggiore la probabilità di avere particolato sulle superfici scolanti (ad esempio in impianti di recupero rifiuti), può essere necessario aumentare il volume deputato alla sedimentazione in modo da abbassare la



velocità del refluo e favorire la decantazione delle particelle sospese; in attività che non generano polveri oppure sulle cui superfici esterne i sedimenti sono in limitata quantità, il volume da approntare per la sedimentazione può essere inferiore.

Le vasche di sedimentazione non sono sottoposte a normativa specifica, a parte, ovviamente, alle Norme Tecniche per le Costruzioni, e non necessitano di particolari prescrizioni costruttive; nella maggioranza dei casi esse sono costituite da prefabbricati in calcestruzzo che ne garantiscono modularità e facilità di installazione (figure 5.5, 5.6).

Per rendere possibile la periodica rimozione dei sedimenti accumulati, le vasche sono dotate di accesso dall'alto mediante passo d'uomo.

Non esiste una regola ben definita per il dimensionamento delle vasche di sedimentazione; il principio base da utilizzare nella progettazione è che maggiori sono il volume e il tempo a disposizione per la decantazione, maggiori saranno il rallentamento del refluo e, di conseguenza, l'efficacia di sedimentazione delle particelle sospese.

In un'attività produttiva il numero o la dimensione delle vasche di sedimentazione sono vincolati, il più delle volte, dallo spazio a disposizione, soprattutto nei

**Figura 5.5**  
Esempio di vasca di sedimentazione prefabbricata in costruzione (fonte: KMC S.r.l.)



**Figura 5.6**  
Esempio di vasche di sedimentazione prefabbricate dotate di passo d'uomo e posizionate in parallelo dopo uno scolmatore (in primo piano) (fonte: Musilli S.p.A.)



casi di adeguamento degli impianti; le vasche di sedimentazione, infatti, come quelle di disoleazione, sono abitualmente costruite sotto il piano di campagna per intercettare la rete di raccolta delle acque meteoriche dove però sono anche ubicati tutti gli altri sottoservizi.

Quando bisogna provvedere al trattamento fisico delle sole acque di prima pioggia (caso B del paragrafo 5.5.1), un buon compromesso è quello di avvalersi, come vasca di decantazione, del volume necessario all'accumulo delle stesse (come rappresentato alla figura 5.1); in questo modo si può sfruttare almeno un tempo di detenzione di 48 ore, ovvero il periodo che può intercorrere, ai sensi della definizione di prima pioggia (paragrafo 4.2.1), tra due eventi meteorici affinché si formino nuovamente acque di prima pioggia.

Quando, invece, si sceglie di mettere in atto il trattamento fisico con scarico



Il volume totale di pioggia afferente in 1 ora sulla superficie scolante è dato da:

$$V_{TOT} = S \cdot \varphi \cdot h = 8.000 \text{ m}^2 \cdot 0,9 \cdot 0,04655 \text{ m} = 335,2 \text{ m}^3$$

di cui la frazione di prima pioggia è pari a:

$$V_{1^a p} = 8.000 \text{ m}^2 \cdot 0,005 \text{ m} = 40,0 \text{ m}^3$$

dal cui calcolo è stato volutamente omissso, cautelativamente, il coefficiente  $\varphi$  assunto pertanto pari a 1.

La capacità di trattamento minima dell'impianto chimico-fisico (e di disoleazione) delle prime piogge dovrà essere:

$$40.000 \text{ l} / 48 \text{ ore} (= 2.880 \text{ min}) = 13,9 \text{ l/min}$$

Tale valore costituisce anche la portata allo scarico nel corpo ricettore.

La capacità di trattamento minima  $NS$  dell'impianto fisico delle acque di seconda pioggia, dopo il *by-pass* al pozzetto scolmatore, dovrà essere in grado di gestire la portata  $Q_{2^a p}$  delle acque di seconda pioggia pari a:

$$Q_{2^a p} = (V_{TOT} - V_{1^a p}) / (\tau_{(1 \text{ ora})} - \tau_{(1^a p)}) = (335,2 \text{ m}^3 - 40,0 \text{ m}^3) / (3600 \text{ s} - 207 \text{ s}) = 87,0 \text{ l/s}$$

da cui:

$$NS = 100 \text{ l/s}$$

(valore approssimato al numero superiore secondo la serie prevista dalla norma EN 858-1 riportata alla tabella 5.6).

Il volume da predisporre per la sedimentazione delle acque di seconda pioggia risulta essere compreso tra 100 e 300 volte  $NS$  (paragrafo 5.3.1):

$$V_{sed} = 10,0 - 30,0 \text{ m}^3$$

In virtù del minor carico di sedimenti attesi nelle acque di seconda pioggia può essere già sufficiente assumere, come volume per la sedimentazione, il valore più basso.

Il diametro della condotta da adottare nella parte terminale della rete di raccolta, prima del pozzetto scolmatore, dovrà essere in grado di far defluire la portata massima calcolata con il metodo cinematico ( $0,174 \text{ m}^3/\text{s}$ ), mentre la tubazione delle acque di seconda pioggia la portata di  $100 \text{ l/s}$ .

Utilizzando le formule di calcolo dei parametri idraulici riportate al paragrafo 2.4 e considerando che:

$$i = 0,005 \quad \text{pendenza media}$$

$$K_s = 70 \text{ m}^{1/3}/\text{s} \quad \text{coefficiente di Gauckler-Strickler}$$

per tubazioni in calcestruzzo di 0,3-0,4-0,5 m risulta:

Parametri idraulici tubazione $D = 0,3$ m										
Grado di riemp.	Area	Perim. bagn.	Raggio idraul.	Largh. specc. liq.	Prof del baric.	Fatt. di port.	Rapp. di vel.	Rapp. di port.	Vel. (m/s)	Portata (m <sup>3</sup> /s)
$y/D$	$A/D^2$	$P/D$	$R_H/D$	$b/D$	$z/D$	$AR_H^{2/3}/D^{8/3}$	$v/v_0$	$Q/Q_0$	$v$	$Q$
0,95	0,7707	2,6906	0,2865	0,4359	0,4590	0,3349	1,0950	1,0745	0,96	0,06686

Parametri idraulici tubazione $D = 0,4$ m										
Grado di riemp.	Area	Perim. bagn.	Raggio idraul.	Largh. specc. liq.	Prof del baric.	Fatt. di port.	Rapp. di vel.	Rapp. di port.	Vel. (m/s)	Portata (m <sup>3</sup> /s)
$y/D$	$A/D^2$	$P/D$	$R_H/D$	$b/D$	$z/D$	$AR_H^{2/3}/D^{8/3}$	$v/v_0$	$Q/Q_0$	$v$	$Q$
0,95	0,7707	2,6906	0,2865	0,4359	0,4590	0,3349	1,0950	1,0745	1,17	0,14399

Parametri idraulici tubazione $D = 0,5$ m										
Grado di riemp.	Area	Perim. bagn.	Raggio idraul.	Largh. specc. liq.	Prof del baric.	Fatt. di port.	Rapp. di vel.	Rapp. di port.	Vel. (m/s)	Portata (m <sup>3</sup> /s)
$y/D$	$A/D^2$	$P/D$	$R_H/D$	$b/D$	$z/D$	$AR_H^{2/3}/D^{8/3}$	$v/v_0$	$Q/Q_0$	$v$	$Q$
0,95	0,7707	2,6906	0,2865	0,4359	0,4590	0,3349	1,0950	1,0745	1,35	0,26107

Il diametro minimo della tubazione da adottare nella parte finale della rete prima del pozzetto scolmatore è quindi  $D = 0,5$  m; il diametro minimo della tubazione di scarico delle seconde piogge può essere  $D = 0,4$  m.

Lo scarico va autorizzato dall'ente competente sul corpo idrico superficiale (Provincia); dovrà essere valutato se, sotto il profilo normativo locale, è richiesta la sola autorizzazione allo scarico delle acque di prima pioggia o di tutto l'evento meteorico.

In ogni caso gli scarichi delle acque di prima e seconda pioggia dovranno essere tenuti separati e ciascuno dovrà essere dotato di pozzetto di campionamento.

### 5.5.6. Le cautele da adottare nella progettazione

Come in ogni progetto di ingegneria anche il dimensionamento di un impianto di trattamento dei reflui meteorici deve essere effettuato adottando appositi accorgimenti in grado di poter supplire a eventuali criticità (sovraccarichi, malfunzionamenti, anomalie, etc.) durante il suo funzionamento.

Contrariamente a quanto imposto per le strutture, per la progettazione degli impianti di depurazione non esistono fattori di sicurezza o coefficienti correttivi

da utilizzare nelle formule di calcolo: questi devono essere scelti, pertanto, in maniera autonoma dal progettista.

Come per ogni progetto impiantistico, deve essere tenuto in considerazione che un sistema di trattamento delle acque sottodimensionato può essere potenzialmente molto rischioso sia per l'ambiente, sia per il titolare dello scarico a causa delle conseguenze giuridiche ambientali di un eventuale superamento; d'altro canto un sovradimensionamento può risultare molto costoso e apportare scarsi vantaggi reali. Gli accorgimenti di cui ci si può avvalere nella progettazione di un impianto di trattamento delle acque e che possono fornire un ragionevole margine di sicurezza sono i seguenti:

- utilizzare dati pluviometrici con tempi di ritorno maggiori possibili (in idraulica il  $T_r$  generalmente richiesto dalle varie normative è di 50 anni); massimizzare i coefficienti di deflusso (ad esempio  $\varphi = 1$  anziché  $\varphi = 0,9$  per le superfici impermeabili, oppure considerare le aree semipermeabili alla stregua di quelle permeabili);
- aumentare le dimensioni nominali dell'impianto (ad esempio approssimando per eccesso la *nominal size*  $NS$  di un impianto di separazione secondo la serie richiesta dalla norma 858-1);
- sovradimensionare le tubazioni afferenti all'impianto in modo da costituire una sorta di polmone durante i picchi di deflusso prima del trattamento.

#### 5.5.7. La relazione tecnica per l'autorizzazione allo scarico

L'art. 125 della Parte III del TUA (descritto al paragrafo 4.3.1) stabilisce che ai fini del rilascio dell'autorizzazione allo scarico dei reflui industriali e di quelli classificabili come industriali (particolari reflui meteorici) debba essere predisposta apposita domanda all'ente competente del corpo ricettore di norma rappresentato da:

- Provincia, per gli scarichi in corso d'acqua superficiale (previa autorizzazione idraulica del consorzio di bonifica) o suolo;
- Ente gestore della rete fognaria, per scarichi in pubblica fognatura.

Sempre nel sopra citato articolo viene richiesto che la domanda debba riportare le seguenti informazioni:

- indicazione delle caratteristiche quali-quantitative dello scarico;
- calcolo volume di acqua annuo da scaricare;
- descrizione della tipologia di ricettore;
- indicazione del punto previsto per i campionamenti;
- descrizione del sistema di scarico;
- operazioni funzionalmente connesse allo scarico;
- descrizione dell'eventuale sistema di misura delle portate allo scarico;

- indicazione delle apparecchiature utilizzate nel processo produttivo;
- descrizione dei sistemi di depurazione utilizzati per conseguire il rispetto dei limiti di emissione.

Ogni Provincia o Ente gestore possiede le proprie direttive per la redazione della domanda che deve essere corredata da una relazione tecnica in grado di descrivere compiutamente le attività che generano lo scarico e le sostanze contaminanti potenzialmente presenti.

Nel caso delle acque meteoriche è opportuno che tale relazione contenga le seguenti informazioni:

- descrizione sommaria dei cicli produttivi dell'azienda con l'indicazione di tutte le lavorazioni e in particolare di quelle da cui si generano gli scarichi;
- indicazione delle caratteristiche qualitative di ciascun scarico;
- elenco dei prodotti normalmente usati nelle lavorazioni e loro quantità annualmente utilizzate;
- descrizione costruttiva e funzionale dell'eventuale impianto di pretrattamento o di depurazione, completa dei calcoli di processo e idraulici necessari a giustificare il dimensionamento nonché piante e sezioni in scala adeguata e schemi di processo;
- quantità, caratteristiche chimico-fisiche e modalità di smaltimento degli eventuali fanghi di risulta;
- descrizione dei manufatti di scarico con precisazione delle dimensioni, dei materiali, delle modalità costruttive e di posa e dell'ubicazione e caratteristiche del pozzetto di ispezione;
- descrizione del corpo idrico ricettore con particolare attenzione alla connessione con corpi idrici superficiali;
- planimetria dell'insediamento con suddivisione dell'area in base alla destinazione d'uso, in scala adeguata (non inferiore a 1:500) riportante:
  - i percorsi delle reti di fognatura interna, separatamente per le acque reflue domestiche, per le acque reflue industriali, bianche e assimilabili, per gli scarichi di processo e per quelli domestici;
  - le eventuali camere di ispezione, i manufatti speciali e gli eventuali impianti di pretrattamento o depurazione;
  - il pozzetto di ispezione finale e il/i collettore/i di scarico in corpo idrico superficiale, nella fognatura o nel suolo;
  - suddivisione delle aree con indicazione dei mq di superficie di:
    - tetti;
    - verde;
    - depositi (materie prime, rifiuti, sottoprodotti, semilavorati, prodotti finiti) non protetti dall'azione degli agenti atmosferici;
    - depositi protetti dall'azione degli agenti atmosferici (materie prime, rifiuti, sottoprodotti, semilavorati, prodotti finiti quali ad esempio depo-

- siti, prodotti finiti dotati di imballaggio/protezione, cassoni coperti di rifiuti);
- lavorazioni esterne, zone di carico-scarico e impianti tecnologici (es. impianti di filtrazione, depurazione);
  - parcheggi scoperti impermeabilizzati;
  - parcheggi drenanti;
  - aree di transito (in cui non avviene nessuna attività);
  - strade private.
- altre eventuali informazioni utili alla più completa definizione delle caratteristiche qualitative o quantitative delle acque di scarico, compresi certificati di analisi chimico fisiche precedentemente eseguite.

Nel caso di scarichi di sostanze di cui alla tabella 3/A dell'allegato 5 alla parte terza del D.Lgs. 152/06 derivanti dai cicli produttivi indicati nella medesima tabella nella relazione tecnica deve essere altresì indicato:

- la capacità di produzione del singolo stabilimento industriale che comporta la produzione, la trasformazione o l'utilizzazione delle sostanze di cui alla medesima tabella, ovvero la presenza di tali sostanze nello scarico. La capacità di produzione può essere calcolata con riferimento alla massima capacità oraria moltiplicata per il numero massimo di ore lavorative giornaliere e per il numero massimo di giorni lavorativi;
- il fabbisogno orario di acque per ogni specifico processo produttivo.

In alcuni casi, in cui vigono normative specifiche locali, può essere richiesto di presentare un piano di gestione delle emergenze o di intervento in caso di episodi disfunzionali e non disciplinati dall'autorizzazione allo scarico.

## Bibliografia

2000/60/CE, *Direttiva 2000/60/EC del Parlamento Europeo e del Consiglio, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque*, Gazzetta ufficiale n. L327 pp. 0001-0073, 22/12/2000.

A.G.I., *Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche*, Roma, 1977.

Amrhein C., Strong J.E., Mosher P.A., *Effect of deicing salts on metal and organic matter mobilization in roadside soils*, Environ. Sci. Technol. 26, 1992.

Andreoli L., Cabrini R., Mariani L., *Caratteri dell'ambiente e del Territorio*, in *Pianura*, Provincia di Cremona, monografia N. 2 1997.

API 421, *Management of Water Discharges: Design and Operation of Oil-Water Separators*, Edition: 1<sup>st</sup>, American Petroleum Institute 1990.

Artina S., Maglionico M., *Esperienze sperimentali per lo studio e il controllo delle acque di prima pioggia nella città di Bologna*, Atti della Giornata di Studio: *Acque di Prima Pioggia: Esperienze sul territorio e normativa*, Genova 2003.

Artina S., Maglionico M., Marinelli A., *Le misure di qualità nel bacino urbano Fossolo, Modelli quali quantitativi del drenaggio urbano*, CSDU, Milano 1997.

Ball J.E., Jenks R., Ausborg D., *An assessment of availability of pollutant constituents on road surfaces*, The Science of the Total Environment, 209, Elsevier, Amsterdam 1998.

Bannermann R.T., Owens D.W., Dodds R.B., *Sources of pollutants in Wisconsin storm water*, Wat. Sci Tech. 28 (3-5), IWA Publishing; London 1993.

Barco O.J., Ciaponi C., Papiri S., *Pollution in storm water runoff. Two cases: an urban catchment and a highway toll gate area*, Proceedings of 5<sup>th</sup> Int. Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management, Lyon, 6-10 June 2004.

Beretta G., *Idrogeologia per il disinquinamento delle acque sotterranee*, Pitagora Editrice, Bologna 1992.

Berndtsson R., Hogland W., Larson M., *Field measurements and mathematical modelling of pollution buildup and pipe-deposit washout in combined sewers*, Proceedings of 5<sup>th</sup> International Conference on Urban Storm Drainage, Osaka 1990.

Brath A. e Maione U., *La sistemazione dei corsi d'acqua naturali*, Edizioni Bios, Cosenza 1996.

Bujon G., Herremans L., *Modèle de prévision des débits et des flux polluants en réseaux d'assainissement par temps de pluie: calage et validation*, La Houille Blanche, Société Hydrotechnique de France (SHF), Paris 1990.

Calabrò P., Freni G., La Loggia G., Viviani G., *Esperienze e studi sulla qualità delle acque di pioggia, Atti della Giornata di Studio: Acque di Prima Pioggia: Esperienze sul territorio e normativa*, Genova 2003.

Castiglioni G.B., *Geomorfologia*, Ed. UTET, Milano 1986.

Cestari F., *Prove geotecniche in sito*, Ed. Geo-graph, Segrate 1990.

Chiesa G., *Geoidrologia applicata*, ANIPA, Milano, 1985.

Ciaponi C., Mutti M., Papiri S., *Storm Water Quality in the Cascina Scala (Pavia) Experimental Catchment*, New Trends in Water and Environmental Engineering, June 24-28, Capri 2002.

Colombo P., Colleselli F. *Elementi di Geotecnica*, Zanichelli Ed., Bologna, 1996.

Daub J., Forster J., Herrmann R., Robien A., Striebel T., *Chemodynamics of trace pollutants during snowmelt on roof and street surfaces*, Wat. Sci. Tech. 30, IWA Publishing, London 1994.

De Filippi J.A., Shih C.S., *Characteristics of separated storm and combined sewer flows*, J. of Water Pollution Control Federation, 43, 1971.

De Fraja E., Frangipane, Pastorelli G., *Impianti di depurazione di piccole dimensioni*, C.I.P.A. editore, Milano 1993.

De Martino G.A., *Costruzione degli impianti per il trattamento delle acque di rifiuto*. Corso di specializzazione in "Ingegneria Sanitaria" Università degli Studi di Napoli, 1968

Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n. 152, *Norme in materia ambientale*, Gazzetta Ufficiale n. 88, Supplemento Ordinario n.96, 14 aprile 2006.

Deletic A.B., Mahsimovic C.T., *Evaluation of water quality factors in storm runoff from paved areas*, J. of Environmental Engineering, 124(9), 869-879, 1998.

Driscoll E.D., Shelly P.E., Strecker E.W, *Pollutant Loadings and Impacts from Stormwater Runoff*, Volume III: Analytical Investigation and Research Report, FHWA-RD-88-008, Federal Highway Administration, Research, Development and Technology, McLean VA, 1990.

Dzombak D.A., Morel F.M.M., *Surface Complexation Modeling. Hydrous ferric oxide*, Wiley-Interscience, New York 1990.

Ellis J.B., *Pollutional Aspects of Urban Runoff*, in *Urban Runoff Pollution*, Torno H.C., Marsalek J., Desbordes M. (Eds.), NATO ASI Series G: Vol. 10 Springer, Berlin, 1-38, 1985.

Ellis J.B., Revitt D.M., *Incidence of heavy metals in street surface sediments: solubility and grainsize studies*, Water Air Soil Pollution, 17, 87-100, 1982.

Farcomeni C., *Sistemi di disoleazione per grandi infrastrutture. Intervento alla Giornata di Studio: Acque di prima pioggia: insediamenti produttivi e infrastrutture*, Genova, Palazzo San Giorgio, 26 novembre 2004.

Gieré R., Stille P., *Energy, Waste and the Environment: A Geochemical Perspective*, American Geological Society, London 2004.

Glenn D.W. and Sansalone J.J., *Accretion and partitioning of heavy metals associated with urban traffic activities in roadway snow – Part II*, ASCE J. of Environmental Engineering, Vol. 128, N. 2, Feb. 2002.

- Gnocco I. et al., *Caratterizzazione delle acque di dilavamento piazzali di due tipologie di insediamenti produttivi*, Intervento alla Giornata di Studio: *Acque di prima pioggia: insediamenti produttivi e infrastrutture*, Genova, Palazzo San Giorgio, 26 novembre 2004.
- Gomez-Caminero A., Howe P., Hughes M., Kenyon E., Lewis D.R., Moore M., Ng J., Aitio A., Becking G., *Environmental Health Criteria 224: Arsenic and Arsenic compounds*, World Health Organization, Ginevra 2001.
- Grillo N.G., Signoretti D., *Acque di prima pioggia da insediamenti produttivi*, Serie Ambiente e Territorio, Maggioli Editore, Rimini 2004.
- Hamilton R.S., Harrison R.M., *Highway Pollution*, Elsevier Science Publishing Company Inc., New York 1991.
- Ideambiente, *Inquinamento, mobilità urbana, contenimento delle emissioni e salute dei cittadini*, APAT, OMS, Regioni, 2005.
- Irish L.B. Jr., Barrett M.E., Malina J.F. Jr., Charbeneau R.J., *Use of regression models for analyzing highway storm-water loads*, J. of Environmental Engineering, 124(10), 987-993, 1998.
- Kehew A.E., *Applied chemical hydrogeology*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2001.
- Leani A., *Appunti di climatologia cremonese in Contributo allo studio delle acque della provincia di Cremona*, Provincia di Cremona 1996.
- Legret M., Pagotto C., *Evaluation of pollutant loadings in the runoff waters from a major rural highway*, The Science of the total Environment, 235, 143-150, 1999.
- Lindholm O., Balmér P., *Pollution in storm runoff and combined sewer overflows*, Proceedings of the 1<sup>st</sup> Int. Conference on Urban Storm Drainage, Southampton, Great Britain, 575-585, 1978.
- Lygren E., Gjessing E., Berglund L., *Pollution transport from a highway*, The Science of the Total Environment, 33, 147-159, 1984.
- Maione U., Moisello U., *Elementi di statistica per l'idrologia*, La goliardica pavese, Pavia 1993.
- Masotti L., Verlicchi P., *Depurazione delle acque di piccola comunità. Tecniche naturali e tecniche impiantistiche*, Hoepli Milano 2005.
- Massachusetts Department of Environmental Protection, *Hydrology Handbook For Conservation Commissioners*, Division of Watershed Management – Wetlands and Waterways Program, Boston, marzo 2002.
- McBride M.B., *Environmental Chemistry of Soils*, Oxford University Press, Oxford 1994.
- Milano V., Pagliara S., Dellacasa F., *Urban stormwater quantity and quality in the experimental urban catchment of Picchianti*, New Trends in Water and Environmental Engineering, Giugno 24-28, Capri 2002.
- Moisello U., *Idrologia tecnica*, La goliardica pavese, Pavia 1998.
- Muriano F., *Le autorizzazioni agli scarichi idrici. Linee guida per il rilascio*, I Libri di ambiente & sicurezza, Il Sole 24 ore, 2004.
- Muschack W., *Pollution of street run-off by traffic and local conditions*, The Science of the Total Environment, 93, 419-431, 1990.



- Novotny V., Chester G., *Handbook of nonpoint pollution: sources and management*, Van Nostrand Reinhold Co., New York 1981.
- O'Connor D. J., *Models of sorptive toxic substances in freshwater systems. II: Lakes and Reservoirs*, J. Envir. Engrg., ASCE 1988.
- Oliveri E., Viviani G. e La Loggia G., *Comportamento e efficienza delle vasche di prima pioggia*, Atti della II Conferenza Nazionale sul Drenaggio Urbano, Palermo, 10-12 maggio 2000, CSDU, Milano, 279-290, 2000.
- Piga M., Passoni G., *Analisi Statistica delle piogge intense di breve e brevissima durata nell'area metropolitana di Milano*, Edizioni Città Studi, Torino 1990.
- Price F., Younge D., *enhancing contaminant removal in storm water detention basin by coagulation*, Transportation Research Record. 1483, TRB, National Research Council, Washington D.C., 105-111, 1995.
- Reinertsen T.R., *Quality of stormwater runoff from streets*, Proceedings of the First International Conference on Urban Storm Drainage, Southampton, Great Britain, pp. 107-115, 1982.
- Riganti V., Lombardi A., Conio O., Bonfiglioli O., *Applicazione della tecnica ICP-MS all'analisi di metalli pesanti in campioni di acque piovane*, Rivista di Merceologia, CLUEB, 36 (IV), pp. 201-216, 1997.
- Romano L., Munafò M., *Carta nazionale dell'impermeabilizzazione dei suoli*, Atti della IX Conferenza Nazionale, ASITA 2005.
- Rosso R. e Kottegoda N., *Statistics, probability and reliability for civil and environmental engineers*, McGraw-Hill Companies, New York 1997.
- Saget A., Chebbo G., Bertrand-Krajewski J., *The first flush in sewer system*. Proceedings of 4<sup>th</sup> Int. Conf. Sewer Solids-Characteristics, Movement, Effects and Control, 58-65, Dundee, UK, 1995.
- Sansalone J.J., Buchberger S.G., *Partitioning and first flush of metals in urban roadway storm water*, J. of Environmental Engineering, Vol. 123, N. 2, 134-143, 1997.
- Sansalone J.J., Calomino F., Singh V., Zheng T., *In situ storm water eco-treatment and recharge through Infiltration: quality and quantity attenuation*, Proceedings of 2<sup>nd</sup> Int. Conference New Trends in Water and Environmental Engineering for Safety and Life: Eco-compatible Solutions for Aquatic Environments, Capri, 24-28 June 2002.
- Sansalone J.J., Glenn D.W., *Accretion and partitioning of pollutants associated with urban traffic activities in roadway snow – Part I*, ASCE J. of Environmental Engineering, Vol. 128, N. 2, 2002.
- Sansalone J.J., Koran J., Buchberger S.G., Smithson J., *Physical characteristics of highway solids transported during rainfall*, J. of Environmental Engineering, Vol. 124, N. 5, 427-440, 1998.
- Sansalone J.J., Koran J.M., Smithson J.A., Buchberger S.G., *Particle characteristics of urban roadway solids transported during rain events*, J. of Environmental Engineering, 124(5), 427-440, 1998.
- Sartor J.D., Boyd G.B., Agardy F.J., *Water pollution aspects of street surface contaminants*, J. Water Pollution Control Federation, Vol. 46, N. 3, pp. 458-467, 1974.
- Sartor J.D., Boyd G.B., Agardy F.J., *Water pollution aspects of street surface contaminants*, J. of Water Pollution Control Federation, Vol. 46, 1974.

Schumann A.H., *Flood Risk Assessment and Management: How to Specify Hydrological Loads, Their Consequences and Uncertainties*, Springer, New York, 2010.

Schwertmann U., Taylor R.M., *Iron oxides*, in Dixon J.B. and Weed S.B., eds., *Minerals in Soil Environments*, 2<sup>nd</sup> Ed, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, 1989.

Sgorbati G. et al., *Aree industriali dimesse: la situazione nelle aree metropolitane italiane*, Qualità dell'ambiente Urbano, II Rapporto, APAT 2005.

Siegel R.F., *Environmental Geochemistry of potentially toxic metals*, Springer, Berlin 2002.

Stumm W., Morgan J.J., *Aquatic chemistry: Chemical equilibria and rates in natural waters*, 3<sup>rd</sup> edition, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1996.

Teng Z., Smithson J., Ping Z., Sansalone J.J., *Geospatial Distribution of Heavy Metals in Transportation Land Use Soils*, J. of Transportation Research Board, N. 1797, 11-22., 2002.

Thomann R., Mueller J., *Principles of surface water quality modeling and control*, Harper & Row, Publishers, Inc., New York, 1-644, 1987.

Tong S., *Roadside dusts and soils contamination in Cincinnati, Ohio, USA*, J. of Environmental Management, 14(1), 107-113, 1990.

U.S. EPA, *Handbook of Urban Runoff Pollution, Prevention and Control Planning*, 1993.

U.S. EPA, *Standard methods for examination of water and wastewater*, 1993.

UNI EN 858-2, *Impianti di separazione per liquidi leggeri. Scelta delle dimensioni nominali, installazione, esercizio e manutenzione*, 2004.

UNICHIM, *Metodi di campionamento di acque di scarico*, Manuale n. 92, 1977

UNICHIM, *Scarichi idrici dei Punti Vendita carburanti*, Manuale n. 198, 2004.

United States Department of Agriculture (USDA), *Urban Hydrology for Small Watersheds TR-55*, Conservation Engineering Division, 1986.

Vaze J., Chiew F.H.S., *Experimental study of pollutant accumulation on an urban road surface*, Urban Water, 4, 379-389, 2002.

Wanielista M.P., Yousef Y.A., McLellon W.M., *Nonpoint sources effects on water quality*, Journal of Water Pollution Control Federation, Vol. 49, 1977.

Weber Jr. W.J., Digiano F.A., *Process dynamics in environmental systems*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1-943, 1996.

White P.A., Rasmussen J.B., Blaise C., *Genotoxicity of snow in the Montreal metropolitan area*, Water, Air, and Soil Pollution, 83, 315-334, 1995.

Wolthers M., *Geochemistry and environmental mineralogy of the iron-sulphur-arsenic system*, Ph.D. thesis, Utrecht University, 2003.

Xanthopoulos C., Hahn H.H., *Pollutants attached to particles from drainage areas*, The Science of the total Environment, Vol. 93, 441-448, 1990.