



COMUNE DI FONTANIVA  
Piazza Umberto I n°1, 35014, Fontaniva (PD)



CONSORZIO DI BONIFICA BRENTA  
Riva IV Novembre 15 - Cittadella (PD)

# PIANO COMUNALE DELLE ACQUE

(CON PROGRAMMAZIONE DEGLI INTERVENTI)

DI

# FONTANIVA



| REVISIONE                                               | DATA             | MOTIVO             | SCALA                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------|------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 01                                                      | 06/2016          | Prima Emissione    | U.M.                                                                                                                                                                                                             |
| 02                                                      | 09/2016          | Seconda Emissione  | COD. ELAB. <b>A2.DOC</b>                                                                                                                                                                                         |
| TITOLO ELABORATO<br><b>Modello di calcolo idraulico</b> |                  |                    | CODICE ELABORATO<br><b>A2</b>                                                                                                                                                                                    |
| ESEGUITO                                                | VERIFICA TECNICA | VERIFICA SICUREZZA | APPROVATO                                                                                                                                                                                                        |
| F.T.                                                    | G.R./G.Z.        | G.R./G.Z.          | G.Z.                                                                                                                                                                                                             |
|                                                         |                  |                    | IL PROGETTISTA<br>Giuliano Zen ingegnere<br>sede legale: 31037 Loria TV - via Cantoni di Sotto 35/a<br>email: giuliano.zen@edoval.it<br>C.F. ZNEGLN59L21C111V - P.I. 01886560265<br>Ordine TV - Postazione A1070 |
|                                                         |                  |                    | SUPERVISIONE<br>UTC - Comune Fontaniva<br>Piazza Umberto I n°1, 35014, Fontaniva (PD)<br>Consorzio Bonifica Brenta<br>Riva IV Novembre 15 - Cittadella (PD)                                                      |
|                                                         |                  |                    | Riproduzione vietata - Legge n° 633 del<br>22/04/1941 e successivi aggiornamenti                                                                                                                                 |

## **1 - Analisi idraulica**

L'analisi idraulica è stata eseguita da una parte tenendo conto della conoscenza diretta dei fenomeni idraulici che causano le criticità e con calcoli di massima per la verifica dei parametri idraulici, dall'altra parte utilizzando un modello numerico evoluto limitatamente ad alcune zone e sottobacini di Fontaniva. In quest'ultimo caso, tenuto conto delle caratteristiche peculiari della rete di drenaggio di Fontaniva e delle condizioni idrografiche al contorno si è reso necessario applicare il modello idraulico **SWMM**.

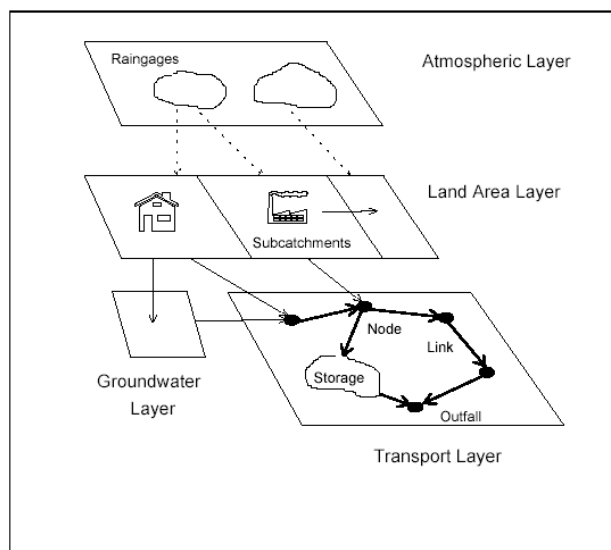
Gli ingressi di precipitazione sono stati ragguagliati come precisato ai paragrafi successivi; i tempi di ritorno considerati sono quelli di 2, 10, 50 e 100 anni mentre le durate di precipitazione considerate sono 1,2 ore; 3,2 ore; 12 ore e 24 ore. Ricordiamo che i valori di quota utilizzati negli elaborati del PCA di Fontaniva sono riferiti sul datum ITALGEO90, fuso ovest.

### **1.1 - Il modello idraulico SWMM**

Il software utilizzato per il lavoro è EPA Storm Water Management Model (**SWMM**), prodotto e sviluppato dal Water Supply and Water Resources Division dell'Environmental Protection Agency (US-EPA).

#### **1.1.1 – Descrizione di SWMM**

SWMM è in grado di simulare il movimento della precipitazione meteorica e degli inquinanti da essa trasportati dalla superficie del bacino alla rete dei canali e condotte che costituiscono il sistema di drenaggio urbano e agricolo. Tale programma è stato concepito per modellare in termini qualitativi e quantitativi tutti i processi che si innescano nel ciclo idrologico. La risoluzione e l'integrazione numerica delle equazioni di De Saint Venant permette analisi idrologiche complete di reti di canali o condotte sollecitate da fenomeni meteorici o da ingressi di natura diversa. La figura seguente schematizza il bacino idrografico di drenaggio, e i suoi differenti componenti fisici, come vari compartimenti:



Nella componente **ATMOSFERA** di **SWMM** vengono definiti i valori di pioggia che la simulazione utilizza per le precipitazioni sul bacino. E' possibile lanciare simulazioni di eventi critici di pioggia che vanno a sollecitare il bacino di studio di diverso tipo: a) **evento singolo** ovvero simulazioni della durata di poche ore; b) **in continuo**, ovvero simulazioni della durata di diversi giorni o mesi.

Nella componente **TERRITORIO** di **SWMM** l'area di interesse può essere suddivisa in diversi sottobacini, ciascuno caratterizzato in maniera differente; riceve afflussi dal comparto **ATMOSFERA**, come pioggia, o sottoforma di deflusso superficiale proveniente da altre porzioni di territorio.

La componente **GROUNDWATER** di **SWMM** riceve infiltrazione dal **TERRITORIO** e trasferisce gli efflussi al **TRASPORTO**.

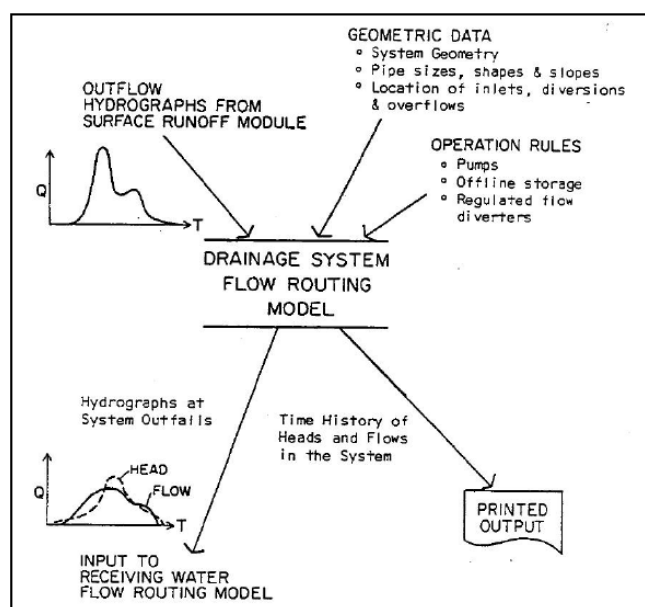
La componente **TRASPORTO** di **SWMM** contiene la rete dei canali, condotte, manufatti (la descrizione topologica della rete si basa sulla suddivisione rami e nodi). In questo comparto si procede al calcolo della propagazione in rete, scegliendo tra diversi moduli: **moto uniforme**, **onda cinematica** e **moto vario**, basato sulla risoluzione completa delle equazioni di De Saint Venant. In quest'ultima opzione vengono modellati anche i fenomeni di rigurgito, moti a pelo libero e in pressione, inversione del flusso nei rami.

SWMM è inoltre suddiviso in due moduli: uno di **SERVIZIO** ed un altro **COMPUTAZIONALE**. Il modulo di SERVIZIO contiene una serie di blocchi che consentono di elaborare i risultati ottenuti; si possono compiere operazioni statistiche (blocco **Statistics**), gestire i dati meteorologici (blocchi **Temperature** e **Rain**), gestire i risultati (blocco **Graph** per grafici e stampe), sistemare i valori calcolati al fine di aggregare i dati utilizzabili così dai blocchi in cascata (blocco **Combine**).

Appartiene al modulo SERVIZIO anche il blocco **Executive** che manipola i file di interfaccia tra i vari blocchi e il blocco, o la sequenza di blocchi, da eseguire.

Il modulo COMPUTAZIONALE contiene: 1) un blocco per la modellazione del deflusso superficiale (blocco **Runoff**), 2) uno per il calcolo della propagazione in rete con la schematizzazione dell'onda cinematica (**Transport**), 3) uno per il calcolo dinamico basato sulla risoluzione completa delle equazioni di De Saint Venant all'interno della rete (**Extran**), 4) infine uno che descrive i processi all'interno di un impianto di trattamento reflui (**Storage/Treatment**).

Il blocco **Extran** consente infatti di modellare la propagazione dei deflussi all'interno della rete (vengono modellati anche i fenomeni di rigurgito, le inversioni del flusso nei rami, i moti a pelo libero e in pressione). **Extran** utilizza una descrizione topologica della rete basata su una geometria rami-nodi. I rami sono sostanzialmente i condotti della rete fognaria (i canali nel caso di sezioni aperte) e consentono di propagare le portate da un nodo all'altro. I nodi rappresentano i pozzetti presenti nel sistema fognario (o i punti di intersezione dei rami, come nel caso dei canali); nei nodi vengono localizzate le portate in ingresso (provenienti dal **Runoff** ed espressi come idrogrammi di piena generati a partire dal modello afflussi-deflussi) e le portate uscenti dalla rete. La figura seguente dà una rappresentazione funzionale del blocco Extran.



**SWMM** è in grado di rappresentare i vari processi idrologici: 1) precipitazioni; 2) evaporazione; 3) accumulo/scioglimento neve; 4) infiltrazione di pioggia negli strati insaturi del terreno; 5) percolazione di acqua infiltrata negli strati dell'acqua freatica; 6) interflow fra acqua freatica e la rete di fognatura. La variabilità spaziale di questi processi è realizzata dividendo la zona di studio in sottobacini

(**subcatchment**) ognuno dei quali a sua volta é diviso in area permeabile e in area impermeabile. Il deflusso superficiale può essere diretto fra i **subcatchments** o **nei punti di entrata di una rete di fognatura**.

### 1.1.1.01 – Le precipitazioni

Le precipitazioni in SWMM vengono definite attraverso l'attribuzione dei **Rain Gages** i quali forniscono i dati di pioggia sui bacini. Questi possono essere inseriti manualmente oppure possono essere caricati da un file di testo esterno. Le principali proprietà di input dei **Rain Gages** comprendono informazioni relative all'intensità o al volume della pioggia e l'intervallo di registrazione dei dati (ogni ora, 30 minuti, 15 minuti, ecc.).

Per la determinazione dei carichi idraulici prodotti dai bacini idrografici é necessario determinare le curve di possibilità pluviometrica; si adotta a riferimento la curva di possibilità pluviometrica a tre parametri che meglio ricostruisce sia le precipitazioni intense e brevi che elevate e di grande durata. Seguendo le indicazioni del Consorzio di Bonifica la curva rappresentativa utilizzata nel presente PCA deriva dalle elaborazioni statistiche del "Commissario Delegato emergenza eventi eccezionali del 26/09/2007" raccolte nello studioo "Analisi Regionalizzata delle Precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento". si adotta la curva di possibilità pluviometrica (tempo di ritorno a 50 anni) della zona "sud-occidentale" entro cui e stato inserito il comune di Fontaniva:

$$h=39,5t/(14,5+t)^{0,817}.$$

Per i vari tempi di ritorno considerati si hanno poi le seguenti curve:

**Tr=2; a=39,338; b=0,180; c=0,842,**  
**Tr=10; a=62,353; b=0,215; c=0,834,**  
**Tr=50; a=83,560; b=0,242; c=0,817,**  
**Tr=100; a=93,062; b=0,253; c=0,808.**

Le funzioni precedenti presuppongono [**t**] in *ore* e [**h**] in *mm*.

Poiché le analisi idrauliche sono effettuate spesso in rapporto all'intero bacino comunale si é deciso di correggere la piovosità inserita nel modello (ipotizzata distribuita costantemente nell'ambito dell'intervallo di calcolo) utilizzando un coefficiente di riduzione delle altezze di pioggia. Sono state considerate piogge di **1,2; 3,2; 12 e 24** ore. Utilizzando i dati NERC (1975) abbiamo i seguenti coefficienti di riduzione (**Tp** = tempo di pioggia):

$$Tp=1,2 \rightarrow \text{coeff.riduz.}=\mathbf{0,79};$$

**T<sub>p</sub>=3,2** → coeff.riduz.=**0,87**;

**T<sub>p</sub>=12** → coeff.riduz.= **0,91**;

**T<sub>p</sub>=24** → coeff.riduz.= **0,94**.

La riduzione, in via semplificativa, é stata considerata uguale per tutti i corrispondenti tempi di ritorno considerati. Sono stati considerati i seguenti ingressi di pioggia (Tr=tempo di ritorno, Tp=durata della pioggia, Dt=durata degli intervalli di pioggia):

#### PRECIPITAZIONE 1

Tr=2; Tp=1,2 ore; Dt=0,2 ore; seguono tempo (*ore*) e precipitazione corrispondente (*mm*):

|      |            |            |            |            |      |
|------|------------|------------|------------|------------|------|
| 0:00 | 0, 0       |            |            |            |      |
| 12   | 4.74, 0:24 | 4.74, 0:36 | 4.74, 0:48 | 4.74, 1:00 | 4.74 |
| 1:12 | 4.74.      |            |            |            |      |

#### PRECIPITAZIONE 2

Tr=2 anni; Tp 3.2 ore; Dt=0.4 ore; seguono dati:

|      |             |             |             |             |       |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|
| 0:0  | 0           |             |             |             |       |
| 0:24 | 4.911, 0:48 | 4.911, 1:12 | 4.911, 1:36 | 4.911, 2:00 | 4.911 |
| 2:24 | 4.911, 2:48 | 4.911, 3:12 | 4.911.      |             |       |

#### PRECIPITAZIONE 3

Tr=2; Tp 12 ore; Dt 0,6 ore; seguono dati:

|       |              |             |             |              |        |       |
|-------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------|-------|
| 0:00  | 0            |             |             |              |        |       |
| 0:36  | 2.617, 1:12  | 2.617, 1:48 | 2.617, 2:24 | 2.617, 3:00  | 2.617, | 3:36  |
|       | 2.617        |             |             |              |        |       |
| 4:12  | 2.617, 4:48  | 2.617, 5:24 | 2.617, 6:00 | 2.617, 6:36  | 2.617, | 7:12  |
|       | 2.617        |             |             |              |        |       |
| 7:48  | 2.617, 8:24  | 2.617, 9:00 | 2.617, 9:36 | 2.617, 10:12 | 2.617, | 10:48 |
|       | 2.617        |             |             |              |        |       |
| 11:24 | 2.617, 12:00 | 2.617.      |             |              |        |       |

#### PRECIPITAZIONE 4

Tr=2; Tp=24 ore; Dt=0,8 ore; seguono dati:

|       |              |              |              |              |        |       |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|-------|
| 0:00  | 0            |              |              |              |        |       |
| 0:48  | 2.024, 1:36  | 2.024, 2:24  | 2.024, 3:12  | 2.024, 4:00  | 2.024, | 4:48  |
|       | 2.024        |              |              |              |        |       |
| 5:36  | 2.024, 6:24  | 2.024, 7:12  | 2.024, 8:00  | 2.024, 8:48  | 2.024, | 9:36  |
|       | 2.024        |              |              |              |        |       |
| 10:24 | 2.024, 11:12 | 2.024, 12:00 | 2.024, 12:48 | 2.024, 13:36 | 2.024, | 14:24 |
|       | 2.024        |              |              |              |        |       |
| 15:12 | 2.024, 16:00 | 2.024, 16:48 | 2.024, 17:36 | 2.024, 18:24 | 2.024, | 19:12 |
|       | 2.024        |              |              |              |        |       |

20:00 2.024, 20:48 2.024, 21:36 2.024, 22:24 2.024, 23:12 2.024, 24:00  
2.024.

#### PRECIPITAZIONE 5

Tr=10, Tp=1,2 ore; Dt=0,2 ore; seguono dati:

0:00 0  
0:12 7.376, 0:24 7.376, 0:36 7.376, 0:48 7.376, 1:00 7.376, 1:12  
7.376.

#### PRECIPITAZIONE 6

Tr=10 anni; Tp=3,2 ore; Dt=0,4 ore; seguono dati:

0:00 0  
0:24 7.792, 0:48 7.792, 1:12 7.792, 1:36 7.792, 2:00 7.792, 2:24  
7.792  
2:48 7.792, 3:12 7.792.

#### PRECIPITAZIONE 7

Tr=10 anni; Tp=12 ore; Dt=0,6 ore; seguono dati:

0:00 0  
0:36 4.223, 1:12 4.223, 1:48 4.223, 2:24 4.223, 3:00 4.223, 3:36  
4.223  
4:12 4.223, 4:48 4.223, 5:24 4.223, 6:00 4.223, 6:36 4.223, 7:12  
4.223  
7:48 4.223, 8:24 4.223, 9:00 4.223, 9:36 4.223, 10:12 4.223, 10:48  
4.223  
11:24 4.223, 12:00 4.223.

#### PRECIPITAZIONE 8

Tr=10 anni; Tp=24 ore; Dt=0,8 ore; seguono dati:

0:00 0  
0:48 3.286, 1:36 3.286, 2:24 3.286, 3:12 3.286, 4:00 3.286, 4:48  
3.286  
5:36 3.286, 6:24 3.286, 7:12 3.286, 8:00 3.286, 8:48 3.286, 9:36  
3.286  
10:24 3.286, 11:12 3.286, 12:00 3.286, 12:48 3.286, 13:36 3.286, 14:24  
3.286  
15:12 3.286, 16:00 3.286, 16:48 3.286, 17:36 3.286, 18:24 3.286, 19:12  
3.286  
20:00 3.286, 20:48 3.286, 21:36 3.286, 22:24 3.286, 23:12 3.286, 24:00  
3.286.

#### PRECIPITAZIONE 9

Tr=50 anni; Tp=1,2 ore; Dt=0,2 ore; seguono dati:

0:00 0

0:12 9.791, 0:24 9.791, 0:36 9.791, 0:48 9.791, 1:00 9.791, 1:12 9.791.

#### PRECIPITAZIONE 10

Tr=50 anni; Tp=3,2 ore; Dt=0,4 ore; seguono dati:

0:00 0

0:24 10.591, 0:48 10.591, 1:12 10.591, 1:36 10.591, 2:00 10.591, 2:24 10.591

2:48 10.591, 3:12 10.591.

#### PRECIPITAZIONE 11

Tr=50 anni; Tp=12 ore; Dt=0,6 ore; seguono dati:

0:00 0

0:36 5.894, 1:12 5.894, 1:48 5.894, 2:24 5.894, 3:00 5.894, 3:36 5.894

4:12 5.894, 4:48 5.894, 5:24 5.894, 6:00 5.894, 6:36 5.894, 7:12 5.894

7:48 5.894, 8:24 5.894, 9:00 5.894, 9:36 5.894, 10:12 5.894, 10:48 5.894

11:24 5.894, 12:00 5.894.

#### PRECIPITAZIONE 12

Tr=50 anni; Tp=24 ore; Dt=0,8 ore; seguono dati:

0:00 0

0:48 4.645, 1:36 4.645, 2:24 4.645, 3:12 4.645, 4:00 4.645, 4:48 4.645

5:36 4.645, 6:24 4.645, 7:12 4.645, 8:00 4.645, 8:48 4.645, 9:36 4.645

10:24 4.645, 11:12 4.645, 12:00 4.645, 12:48 4.645, 13:36 4.645, 14:24 4.645

15:12 4.645, 16:00 4.645, 16:48 4.645, 17:36 4.645, 18:24 4.645, 19:12 4.645

20:00 4.645, 20:48 4.645, 21:36 4.645, 22:24 4.645, 23:12 4.645, 24:00 4.645.

#### PRECIPITAZIONE 13

Tr=100 anni; Tp=1,2 ore; Dt =0,2 ore; seguono dati:

0:00 0

0:12 10.872, 0:24 10.872, 0:36 10.872, 0:48 10.872, 1:00 10.872, 1:12 10.872.

#### PRECIPITAZIONE 14

Tr=100 anni; Tp=3,2 ore; Dt=0,4 ore; seguono dati:

0:00 0

0:24 11.898, 0:48 11.898, 1:12 11.898, 1:36 11.898, 2:00 11.898, 2:24 11.898  
2:48 11.898, 3:12 11.898.

#### PRECIPITAZIONE 15

Tr=100 anni; Tp=12 ore; Dt=0,6 ore; seguono dati:

0:00 0  
0:36 6.710, 1:12 6.710, 1:48 6.710, 2:24 6.710, 3:00 6.710, 3:36 6.710  
4:12 6.710, 4:48 6.710, 5:24 6.710, 6:00 6.710, 6:36 6.710, 7:12 6.710  
7:48 6.710, 8:24 6.710, 9:00 6.710, 9:36 6.710, 10:12 6.710, 10:48 6.710  
11:24 6.710, 12:00 6.710.

#### PRECIPITAZIONE 16

Tr=100 anni; Tp=24 ore; Dt=0,8 ore; seguono dati:

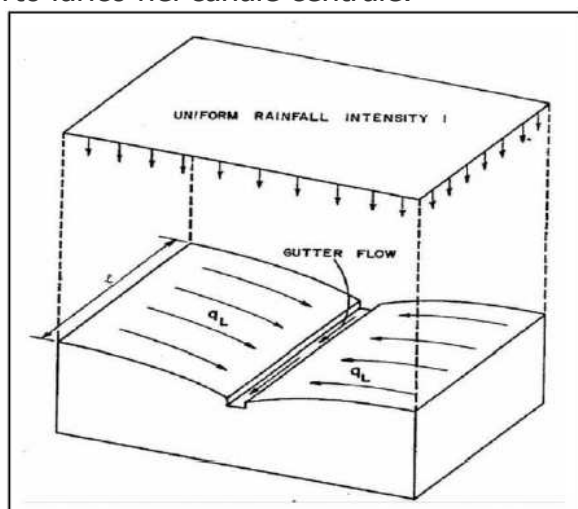
0:00 0  
0:48 5.322, 1:36 5.322, 2:24 5.322, 3:12 5.322, 4:00 5.322, 4:48 5.322  
5:36 5.322, 6:24 5.322, 7:12 5.322, 8:00 5.322, 8:48 5.322, 9:36 5.322  
10:24 5.322, 11:12 5.322, 12:00 5.322, 12:48 5.322, 13:36 5.322, 14:24 5.322  
15:12 5.322, 16:00 5.322, 16:48 5.322, 17:36 5.322, 18:24 5.322, 19:12 5.322  
20:00 5.322, 20:48 5.322, 21:36 5.322, 22:24 5.322, 23:12 5.322, 24:00 5.322.

### **1.1.1.02 – Caratteristiche dei sottobacini**

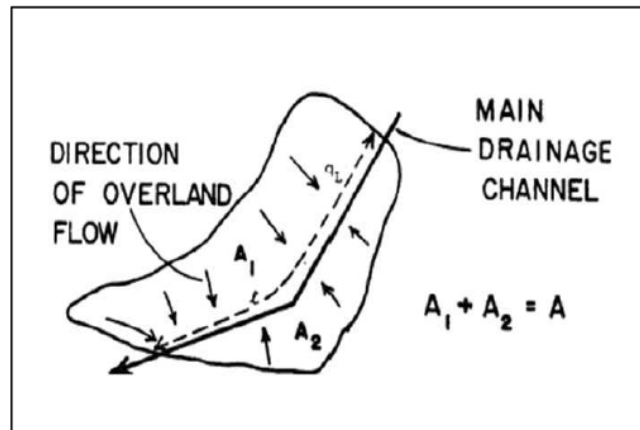
Per quanto riguarda i vari sottobacini è necessario immettere i valori delle rispettive aree, le pendenze medie, "width" o larghezza equivalente del bacino, la percentuale delle aree impermeabili, l'altezza delle depressioni superficiali nelle aree permeabili ed impermeabili, il coefficiente di Manning per le superfici permeabili ed impermeabili, ed infine i dati per il calcolo dell'infiltrazione. Le definizioni dei singoli parametri utilizzati sono di seguito riportate:

**Aree** : viene immesso il valore dell'area del sottobacino, espresso in ettari;  
**Pendenze medie** : si tratta della pendenza media del singolo sottobacino;  
**Width** o larghezza equivalente del bacino.

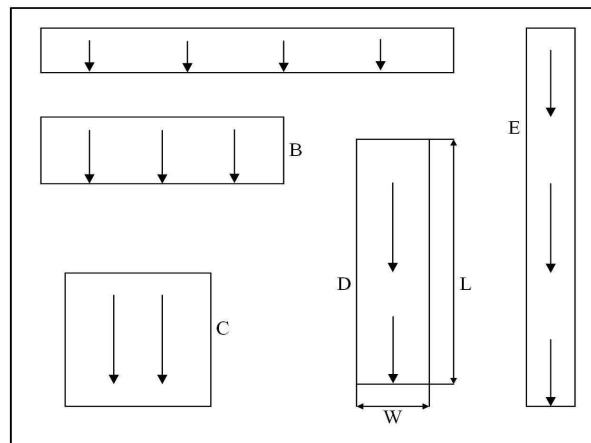
Se lo scorrimento superficiale è idealizzato come un deflusso lungo una superficie piana inclinata, nel caso più semplice di forma rettangolare, allora il **width** del bacino di drenaggio è identificabile fisicamente con la larghezza della superficie su cui avviene lo scorrimento superficiale. Supponendo di avere un bacino semplice di forma rettangolare e percorso da un canale di scolo di lunghezza **L** che lo divida in due aree simmetriche, come nel caso della figura seguente; il calcolo del "width" porterebbe a trovare il valore di **W=2L**. Inoltre moltiplicando il valore del width per il valore di **q<sub>L</sub>**, deflusso laterale per unità di larghezza, si ottiene velocemente il valore totale dell'apporto idrico nel canale centrale.



Dal momento che i bacini reali spesso non hanno una semplice forma rettangolare e nemmeno presentano notevoli proprietà di simmetria/uniformità, per ottenere una buona stima del valore di **width** è necessario adottare una procedura per sopperire alle forme generiche che usualmente assumono i sottobacini. Il valore del **width**, infatti, **può influire sulla forma dell'idrogramma** (una volta fissate le pendenze del bacino e la rugosità del terreno il calcolo viene influenzato unicamente dal valore **W**). Nella realtà, e in special modo in zone rurali, è più facile imbattersi in bacini dalla forma irregolare ed in cui il canale di scolo abbia un andamento non lineare e non centrato rispetto all'area. In questi casi generici si utilizza la seguente relazione **W=(2-Sk)L** dove **W** = width o fattore di forma del bacino, **Sk= skew factor** o fattore di obliquità e **L** = lunghezza del canale di drenaggio. Il valore **Sk**, compreso fra 0 e 1 si calcola con la relazione **Sk=(A2-A1)/Atot** essendo **A1**=porzione di area su di un lato del canale; **A2**=porzione di area dall'altro lato del canale e **Atot**=area totale. La figura seguente illustra le modalità di calcolo di **Sk** utilizzate nel presente lavoro.



Da osservare che il valore di **W** e della **pendenza** del bacino **rimane lo stesso sia per le aree impermeabili che per quelle permeabili**.



**Percentuale aree impermeabili:** rapporto tra le superfici impermeabili, quali strade ed aree urbane, e l'area totale del sottobacino.

**Altezza delle depressioni superficiali:** altezza d'acqua considerata come perdita (ristagno delle acque e intercettazione da parte delle asperità del terreno e delle superfici).

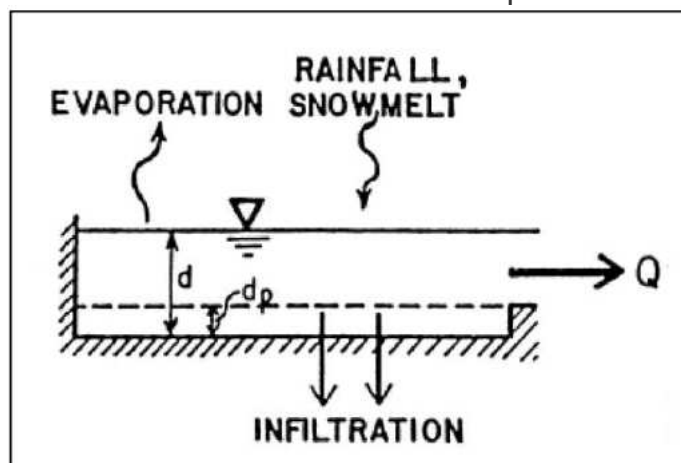
Con superfici permeabili l'acqua immagazzinata è soggetta ad infiltrazione ed evaporazione (quindi viene continuamente e rapidamente rimpiazzata); con superfici impermeabili questa è esauribile solo per evaporazione (quindi rimpiazzata più lentamente).

Nell'immissione dell'**altezza delle depressioni superficiali** risulta quindi necessario utilizzare due valori distinti, uno per le aree permeabili ed uno per quelle impermeabili.

Inoltre per le superfici impermeabili viene indicata una percentuale di area nella quale non si hanno depressioni, e quindi non si ha immagazzinamento di acqua; in tale maniera **si ottiene che una parte delle superfici impermeabili risponde immediatamente alla sollecitazione dovuta alle piogge generando un deflusso superficiale in tempi minori.**

### 1.1.1.03 – Deflusso superficiale

Il deflusso superficiale è la parte di precipitazione che scorre sulla superficie del terreno e si raccoglie successivamente nella rete di scolo; l'infiltrazione, la intercettazione e l'accumulo nelle depressioni superficiali sono delle perdite nelle simulazioni **a evento singolo**. Dalle perdite si ottiene la **pioggia netta**, ossia quella quota di precipitazione che contribuisce al deflusso superficiale. La figura successiva evidenzia come è considerato da SWMM il deflusso superficiale.



Ogni superficie di **sottobacino** è trattata come un serbatoio non-lineare. Gli ingressi derivano dalle precipitazioni, dalle piogge e/o scioglimento delle nevi, le uscite sono diverse e sono rappresentate dall'evaporazione, dall'infiltrazione e dal deflusso superficiale. Il volume di questo serbatoio è rappresentato dalla massima capacità di immagazzinamento delle depressioni, ossia quel volume d'acqua intercettata da avvallamenti, sconnessioni delle superfici e ristagni.

Il deflusso superficiale per unità di area (**Q**) si innesca ogniqualvolta l'altezza d'acqua nel serbatoio supera il valore delle depressioni **dp**, ed in questo caso il flusso che fuoriesce è dato dalla equazione:

$$Q = W(1,49/n)((d-dp)^{(5/3)})(S^{(1/2)})$$

dove **Q**=deflusso superficiale; **W**=larghezza o **width** del sottobacino; **n**=coefficiente di scabrezza di Manning; **d**=altezza d'acqua; **dp**=altezza delle depressioni superficiali; **S**=pendenza del sottobacino.

Ovviamente l'altezza dell'acqua dei sottobacini è continuamente aggiornata risolvendo numericamente il bilancio d'acqua presente sul sottobacino. I sottobacini sono sempre divisi in due porzioni: 1) **impermeabili** (tipo aree urbane, zone industriali e strade) e 2) **permeabili** (es. aree destinate a coltivazioni); infatti il deflusso superficiale può infiltrarsi attraverso la porzione superficiale delle aree permeabili.

#### 1.1.1.04 – Infiltrazione

Con l'infiltrazione le acque meteoriche cadute su aree permeabili penetrano attraverso la superficie del terreno per giungere negli strati inferiori del suolo. SWMM offre 3 possibilità di calcolo per l'infiltrazione: **a)** con le equazioni di **Horton**; **b)** con il metodo di **Green-Ampt** e **c)** con il metodo **Curve Number**.

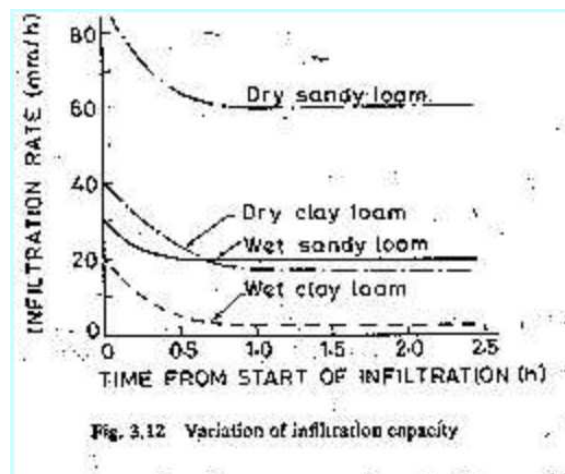
##### 1.1.1.04.1 – Modello di Horton

Secondo Horton l'infiltrazione nel caso di una precipitazione sufficientemente prolungata diminuisce esponenzialmente da un tasso iniziale massimo ad un tasso minimo. Vale la legge:

$$f = f_c + (f_0 - f_c)(e^{-kt})$$

essendo **f** la capacità di infiltrazione al tempo **t**; **f<sub>0</sub>** il valore massimo iniziale di **f**; **f<sub>c</sub>** il valore costante finale di **f** (a suolo saturo), **k** una costante dipendente dal tipo di suolo; **t** la durata della pioggia.

Le tabelle successive riassumono alcuni valori caratteristici per i parametri di Horton.



| Soil Type                                      | $f_o$ (in/hr) |
|------------------------------------------------|---------------|
| Dry sandy soils with little to no vegetation   | 5             |
| Dry loam soils with little to no vegetation    | 3             |
| Dry clay soils with little to no vegetation    | 1             |
| Dry sandy soils with dense vegetation          | 10            |
| Dry loam soils with dense vegetation           | 6             |
| Dry clay soils with dense vegetation           | 2             |
| Moist sandy soils with little to no vegetation | 1.7           |
| Moist loam soils with little to no vegetation  | 1             |
| Moist clay soils with little to no vegetation  | 0.3           |
| Moist sandy soils with dense vegetation        | 3.3           |
| Moist loam soils with dense vegetation         | 2             |
| Moist clay soils with dense vegetation         | 0.7           |

| Soil Type                     | $f_c$ mm/hr (in/hr)  | k (1/min) |
|-------------------------------|----------------------|-----------|
| Clay loam, silty clay loams   | 0–1.3 (0–0.05)       | 0.069     |
| Sandy clay loam               | 1.3–3.8 (0.05–0.15)  | 0.069     |
| Silt loam, loam               | 3.8–7.6 (0.15–0.30)  | 0.069     |
| Sand, loamy sand, sandy loams | 7.6–11.4 (0.30–0.45) | 0.069     |

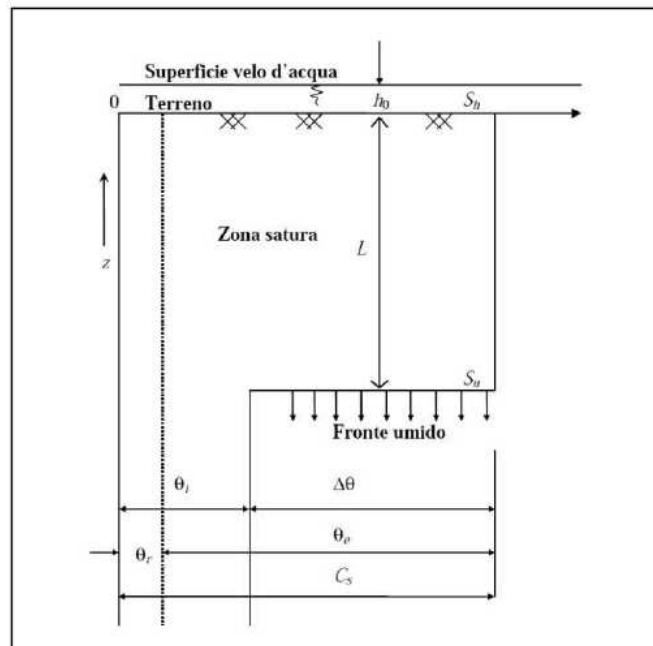
**Table 3-1. Observed and published Horton equation parameter values for sandy soils**

|                                   | $f_o$<br>mm/hr (in/hr) |                       | $f_c$<br>mm/hr (in/hr) |                       | k (1/min) |        |
|-----------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------|--------|
|                                   | mean                   | range                 | mean                   | range                 | mean      | Range  |
| Observed noncompacted-sandy soils | 990<br>(39)            | 110–3710<br>(4.2–146) | 380<br>(15)            | 10–640<br>(0.4–25)    | 9.6       | 1.0–33 |
| Observed compacted-sandy soils    | 380<br>(15)            | 3–2200<br>(0.1–86)    | 46<br>(1.8)            | 3–240<br>(0.1–9.5)    | 11        | 1.8–37 |
| Published values                  |                        | 43–250<br>(1.7–10)    |                        | 7.6–11<br>(0.30–0.45) |           | 0.069  |

| Classi del suolo   | Porosità      | Conduttività<br>idraulica a<br>saturazione (cm/h) | Potenziale di suzione (cm)<br>(valori estremi osservati) |
|--------------------|---------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                    | $n$           | $K_s$                                             | $\Psi$                                                   |
| sabbioso           | 0.374 – 0.5   | 21.00                                             | 0.97 – 25.36                                             |
| franco sabbioso    | 0.351 – 0.555 | 2.59                                              | 2.67 – 45.47                                             |
| franco             | 0.375 – 0.551 | 0.68                                              | 1.33 – 59.38                                             |
| franco limoso      | 0.420 – 0.582 | 1.32                                              | 2.92 – 95.39                                             |
| franco argilloso   | 0.409 – 0.519 | 0.23                                              | 4.79 – 91.10                                             |
| argilloso sabbioso | 0.370 – 0.490 | 0.12                                              | 4.08 – 140.2                                             |
| argilloso limoso   | 0.425 – 0.533 | 0.09                                              | 6.13 – 139.4                                             |
| argilloso          | 0.427 – 0.523 | 0.06                                              | 6.39 – 156.5                                             |

#### 1.1.1.04.2 – Metodo di Green-Ampt

Lo schema concettuale é rappresentato dalla figura seguente:



Il modello suppone che il processo di infiltrazione inizi quando uno strato d'acqua di altezza **h0** si sia accumulato sulla superficie del suolo. Il suolo è caratterizzato da una umidità iniziale che è supposta omogenea con **θi**. Il modello ipotizza che il fronte umido sia rappresentato da una superficie orizzontale **Su** che all'istante iniziale del processo di infiltrazione coincide con **Sh**. Successivamente **Su** avanza nel sottosuolo muovendosi lungo la verticale e mantenendo giacitura invariata, poiché si suppone che l'infiltrazione avvenga per traiettorie liquide verticali e con vettore velocità d'infiltrazione in variante nello spazio.

Al passaggio del fronte umido, l'umidità assume il valore della capacità di immagazzinamento idrico del suolo **Cs**. Con il simbolo **θr** viene indicata l'umidità residua del suolo che permane dopo un prolungato drenaggio per gravità.

| Classe di suolo    | Porosità | Porosità efficace | Conduttività idraulica satura | Potenziale di suzione al fronte di bagnatura | Potenziale di suzione al fronte di bagnatura |
|--------------------|----------|-------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                    | $\eta$   | $\theta_e$        | <b>K</b>                      | <b>Ψ - medio</b>                             | <b>Ψ - dev.std.</b>                          |
|                    |          |                   | <b>cm h<sup>-1</sup></b>      | <b>cm</b>                                    | <b>cm</b>                                    |
| sabbioso           | 0.437    | 0.417             | 11.78                         | 4.95                                         | 0.97-25.36                                   |
| franco sabbioso    | 0.453    | 0.412             | 1.09                          | 11.01                                        | 2.67-15.47                                   |
| franco             | 0.463    | 0.434             | 0.34                          | 8.89                                         | 1.33-59.38                                   |
| franco limoso      | 0.501    | 0.486             | 0.65                          | 16.68                                        | 2.92-95.39                                   |
| franco argilloso   | 0.464    | 0.309             | 0.10                          | 20.88                                        | 4.79-91.10                                   |
| argilloso sabbioso | 0.430    | 0.321             | 0.06                          | 23.90                                        | 4.08-140.2                                   |
| argilloso limoso   | 0.479    | 0.423             | 0.05                          | 29.22                                        | 6.13-139.4                                   |
| argilloso          | 0.475    | 0.385             | 0.03                          | 31.63                                        | 6.39-156.5                                   |

#### 1.1.1.04.3 – Metodo Curve Number

Il metodo SCS (Soil Conservation Service) del Curve Number è una procedura che consente una stima della pioggia netta a partire dalla conoscenza della pioggia totale e dagli usi del suolo. Questo modello presume che la capacità di infiltrazione totale di un terreno può essere trovata tramite un valore tabulato (denominato **Curve Number**) associato alla **tipologia d'uso**; durante un evento di pioggia tale capacità diminuisce in funzione della pioggia cumulata e della capacità rimanente. Il metodo si basa sull'ipotesi che sia sempre valida la seguente relazione di proporzionalità:

$$V/P_n = W/S$$

essendo **V**=volume di deflusso, **P<sub>n</sub>**=precipitazione netta, **W**=invaso del suolo (volume idrico immagazzinato), **S**=valore massimo immagazzinabile nel terreno in condizioni di saturazione dopo l'inizio della precipitazione.

La precipitazione netta **P<sub>n</sub>** si ottiene sottraendo alla precipitazione totale le perdite iniziali dovute all'immagazzinamento superficiale, imputabile all'intercettazione operata dalla copertura vegetale, dalle asperità del terreno e dalla infiltrazione prima della formazione del deflusso: **P<sub>n</sub>=P-I<sub>a</sub>** essendo **P<sub>n</sub>**=precipitazione netta, **P**=precipitazione totale e **I<sub>a</sub>**=perdite iniziali.

La precipitazione netta **P<sub>n</sub>**, inoltre, si ripartisce completamente tra il volume di deflusso superficiale e l'invaso del suolo e può essere così espressa: **P<sub>n</sub>=V+W**. Dalle relazioni precedenti si ottiene **V=(P<sup>2</sup>)/(P<sub>n</sub>+S)**.

Il termine di accumulo **I<sub>a</sub>**, che rappresenta il volume di pioggia perduto, risulta di difficile calcolo, per ovviare a questo si usa solitamente esprimerlo in una relazione che lo correla alla capacità di infiltrazione a saturazione **S**. Normalmente si pone **I<sub>a</sub>=0,2S** e quindi **P<sub>n</sub>=P-0,2S** da cui sostituendo

$$V=((P-0,2S)^2)/(P+0,8S).$$

L'applicazione dell'ultima formula presuppone la conoscenza, oltre che della precipitazione totale **P**, della stima del massimo invasore del suolo **S**, il cui valore può assumere valori compresi tra 0 (superficie completamente impermeabile) ed infinito (superficie su cui non si ha formazione del deflusso superficiale). La determinazione di **S** viene effettuata per mezzo della relazione:

$$S=254(100/CN-1)$$

essendo **S** il valore massimo immagazzinabile nel terreno espresso in [mm] mentre **CN** è un parametro denominato **Curve Number**. Il parametro **CN** è un numero il

cui valore è compreso tra 0 (suolo completamente permeabile) e 100 (superfici totalmente impermeabile). Il **CN** rappresenta l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso e viene stimato in relazione alle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale presenti nel bacino. La determinazione di tale parametro presuppone la conoscenza del gruppo idrologico di ciascun suolo appartenente al bacino in esame.

Tutti i suoli sono riconducibili a quattro categorie idrologiche in base al tasso di infiltrazione ottenuto per il suolo privo di copertura dopo una imbibizione prolungata.

Abbiamo quindi:

**Gruppo A:** basso potenziale di deflusso, alto tasso di infiltrazione quando completamente umidi; suoli sono costituiti da sabbie, ghiaie, sabbie limose e limi sabbiosi; tali terreni hanno una trasmissività maggiore di 0,76 cm/h;

**Gruppo B:** moderato tasso di infiltrazione quando completamente bagnati, terreni da poco profondi a profondi, poco o molto drenati, con tessitura da fine a grossolana; generalmente sono inclusi in questo gruppo i limi e i limi siltosi; tali suoli hanno una trasmissività compresa tra 0,38 e 0,76 cm/h;

**Gruppo C:** basso tasso di infiltrazione quando completamente bagnati; suoli con uno strato che limita il movimento verso il basso dell'acqua e suoli con una tessitura da moderatamente fine a fine; sono normalmente incluse in questo gruppo le argille sabbiose e limose; questi suoli hanno una trasmissività che va da 0,13 a 0,38 cm/h;

**Gruppo D:** elevato potenziale di deflusso; tasso di infiltrazione molto basso e consistono in argille con elevato potere di ritenzione idrica, terreni con una quota della falda freatica prossima a quella della superficie del terreno, suoli con uno strato argilloso vicino alla superficie e suoli poco profondi che poggiano su uno strato impermeabile; sono inclusi in questo gruppo argille limose, argille siltoso-limose, argille siltose, argille ed argille sabbiose; questi suoli hanno una trasmissività molto bassa che va da 0 a 0,13 cm/h. Alcuni suoli vengono classificati in questo gruppo a causa di eventuali problemi di drenaggio, ma qualora tali problemi dovessero sparire questi suoli cambierebbero gruppo.

| <i><b>Tipo idrologico di suolo</b></i> | <i><b>Descrizione</b></i>                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A</b>                               | Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.                                                                                               |
| <b>B</b>                               | Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.             |
| <b>C</b>                               | Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e coloidi, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione. |
| <b>D</b>                               | Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.                       |

Una volta attribuito il gruppo idrologico si procede alla individuazione di aree omogenee per **destinazione d'uso e sistemazione**; a ciascuna di queste superfici viene in seguito attribuito il corrispettivo e più appropriato valore di **CN**, dedotto dai valori riportati in tabelle. Il valore di **CN** dell'intero bacino si ottiene come media pesata, con peso la superficie, dei valori stimati per le singole aree omogenee:

**CN<sub>tot</sub> = SOMMA((A<sub>i</sub>CN<sub>i</sub>)/A<sub>tot</sub>)** dove:

**CN<sub>tot</sub>** = **CN** dell'intero bacino; **SOMMA** = sommatoria; **CN<sub>i</sub>** = **CN** della i-esima zona omogenea; **A<sub>i</sub>** = area della i-esima zona omogenea; **A<sub>tot</sub>** = area totale del bacino.

Il metodo considera anche le condizioni di umidità iniziali del terreno antecedenti all'inizio dell'evento (**AMC**, Antecedent Moisture Conditions), ed i valori di **CN** riportati nella tabella seguente si riferiscono alla condizione **AMC(II)**, ovvero una condizione di umidità media.

Per condizioni antecedenti l'evento molto umide, **AMC(III)** o molto asciutte, **AMC(I)**, si possono derivare i relativi valori di **CN** usando rispettivamente:

$$\mathbf{CN(III)=(23CN(II))/(10+0,13CN(II))}$$

e

$$\mathbf{CN(I)=(4,2CN(II))/(10-0,058CN(II)).}$$

Si considera un terreno in condizioni

A1) **AMC(I)** quando questo si presenta secco pur senza raggiungere il punto di appassimento e in cui le colture o la vegetazione sono ben sviluppate;

A2) una condizione **AMC(III)** con terreno saturo a causa di precipitazioni superiori a 50 mm di pioggia nei cinque giorni precedenti l'evento considerato (per la

stagione fredda si considerano precipitazioni superiori a 25 mm di pioggia nei cinque giorni precedenti l'evento).

| Uso del suolo             | Drenaggio            | Condizioni | Gruppo del terreno |    |    |    |
|---------------------------|----------------------|------------|--------------------|----|----|----|
|                           |                      |            | A                  | B  | C  | D  |
| Residenziale              |                      |            |                    |    |    |    |
| Zone urbane e commerciali | Area imperme.: 85%   |            | 89                 | 92 | 94 | 95 |
| Zone industriali          | Area imperme.: 72%   |            | 81                 | 88 | 91 | 93 |
| Casa a schiera            | Area imperme.: 65%   |            | 77                 | 85 | 90 | 92 |
| Ville                     | Area imperme.: 25%   |            | 54                 | 70 | 80 | 85 |
| Parcheggi                 |                      |            | 98                 | 98 | 98 | 98 |
| Parchi                    | Copertura verde: 75% |            | 39                 | 61 | 74 | 80 |
| Strade                    |                      |            |                    |    |    |    |
| Pavimentate               | Cunette e fognatura  |            | 98                 | 98 | 98 | 98 |
| Sterrate                  |                      |            | 72                 | 82 | 87 | 89 |
| Agricolo                  |                      |            |                    |    |    |    |
| Maggese                   |                      |            | 77                 | 86 | 91 | 94 |
| Seminativo                | Solchi a ritto chino | cattive    | 65                 | 76 | 84 | 88 |
|                           |                      | buone      | 63                 | 75 | 83 | 87 |

Di seguito si riporta una tabella contenente i valori del parametro CN nelle diverse condizioni di uso del suolo e gruppi idrologici, nelle condizioni di umidità AMC(II):

| Valori del parametro CN (adimensionale)                                       | ← Tipo idrologico Suolo<br>→ |    |    |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----|----|----|
| ↓ Tipologia di Uso del Territorio                                             | A                            | B  | C  | D  |
| Coltivazioni, in presenza di pratiche di conservazione del suolo              | 62                           | 71 | 78 | 81 |
| Coltivazioni, in assenza di pratiche di conservazione del suolo               | 72                           | 81 | 88 | 91 |
| Terreno da pascolo: cattive condizioni                                        | 68                           | 79 | 86 | 89 |
| buone condizioni                                                              | 39                           | 61 | 74 | 80 |
| Boschi, in presenza di copertura rada e senza sottobosco                      | 45                           | 66 | 77 | 83 |
| Boschi e foreste, in presenza di copertura fitta e con sottobosco             | 25                           | 55 | 70 | 77 |
| Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area                      | 39                           | 61 | 74 | 80 |
| Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area          | 49                           | 69 | 79 | 84 |
| Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area                      | 68                           | 79 | 86 | 89 |
| Zone industriali (area impermeabile 72%)                                      | 81                           | 88 | 91 | 93 |
| Zone commerciali e industriali (area impermeabile 85%)                        | 89                           | 92 | 94 | 95 |
| Zone residenziali, lotti fino a 500 m <sup>2</sup> (area impermeabile 65%)    | 77                           | 85 | 90 | 92 |
| Zone residenziali, lotti di 500÷1000 m <sup>2</sup> (area impermeabile 38%)   | 61                           | 75 | 83 | 87 |
| Zone residenziali, lotti di 1000÷1500 m <sup>2</sup> (area impermeabile 30%)  | 57                           | 72 | 81 | 86 |
| Zone residenziali, lotti di 1500÷2000 m <sup>2</sup> (area impermeabile 25%)  | 54                           | 70 | 80 | 85 |
| Zone residenziali, lotti di 2000÷5000 m <sup>2</sup> (area impermeabile 20%)  | 51                           | 68 | 79 | 84 |
| Zone residenziali, lotti di 5000÷10000 m <sup>2</sup> (area impermeabile 12%) | 46                           | 65 | 77 | 82 |
| Parcheggi, tetti, autostrade, ....                                            | 98                           | 98 | 98 | 98 |
| Strade pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio                           | 98                           | 98 | 98 | 98 |
| Strade con letto in ghiaia                                                    | 76                           | 85 | 89 | 91 |
| Strade battute in terra                                                       | 72                           | 82 | 87 | 89 |

Per la determinazione della pioggia efficace nel presente PCA di Fontaniva è stato utilizzato il metodo del **Curve Number**.

#### 1.1.1.05 – Routine idraulica

SWMM utilizza una descrizione del tipo “**rami-nodi**” del sistema di scolo delle acque. La rete di drenaggio è idealizzata come una serie di rami, ciascuno associabile ad una forma geometrica, collegati tra loro in corrispondenza dei nodi. Le proprietà costanti associate ai rami sono il tipo di sezione, la lunghezza, la pendenza e la scabrezza; quelle determinate ad ogni passo di calcolo sono invece la portata, la velocità, l'area bagnata del flusso, il raggio idraulico e la larghezza del pelo libero; le ultime tre sono in funzione del livello idrico istantaneo.

La variabile indipendente fondamentale nei rami è la portata **Q** (si assume costante in ogni ramo durante un passo di calcolo). Velocità ed area bagnata del

flusso, o livello, sono invece grandezze variabili nello stesso ramo. **Gli afflussi e deflussi avvengono in corrispondenza dei nodi del sistema.** La variazione di volume nel nodo durante un dato passo di calcolo costituisce la base per i calcoli seguenti di portata e carico idraulico.

### 1.1.1.06 – Equazioni del modello

Le equazioni che il programma gestisce sono le classiche equazioni differenziali alle derivate parziali del primo ordine di De Saint Venant (equazione di continuità in moto vario in assenza di afflussi e deflussi laterali ed equazione del momento della quantità di moto).

La formula adottata per descrivere la perdita di carico (cadente piezometrica **Sf**) é quella definita dall'equazione di Manning:

$$Sf = (kxQx_{MOD}(V)) / (gxAxR^{(4/3)})$$

essendo **k** un parametro dato da **gn<sup>2</sup>**; **n** il coefficiente di scabrezza di Manning; **g** costante gravitazionale, **Q** la portata, **V** la velocità media, **R** il raggio idraulico. **V** compare in valore assoluto (**MOD(V)**=modulo assoluto di **V**) e quindi **Sf** é una grandezza direzionale e assicura che le forze di attrito si oppongano sempre al moto.

Le equazioni discretizzate vengono risolte sequenzialmente per determinare la portata in ogni ramo e il carico idraulico in ogni nodo ad ogni passo di calcolo.

L'integrazione numerica è effettuata mediante il **metodo di Eulero modificato (MEM)**. MEM fornisce una soluzione esplicita in cui l'equazione del moto è applicata alla portata in ogni ramo e l'equazione di continuità al carico idraulico in ogni nodo. In quanto metodo esplicito è in generale meno stabile e richiede passi di calcolo molto brevi. Il programma è numericamente stabile quando sono soddisfatte le seguenti disuguaglianze:

a) **sui RAMI**  $DT \leq L / ((gD)^{0,5})$  essendo **DT** il passo di calcolo, **L** la lunghezza della condotta, **g** l'accelerazione di gravità e **D** la profondità massima della condotta. Il programma SWMM effettua all'inizio un controllo per verificare che tutti i condotti soddisfino tale condizione;

b) **sui NODI**  $DT \leq (C' \times As \times DH_{max}) / Q$  essendo **C'** una costante adimensionale pari approssimativamente a 0,1; **As** l'area della superficie libera corrispondente del nodo; **DH<sub>max</sub>** il massimo sovralzo della superficie dell'acqua durante il passo di calcolo **Dt**; **Q** l'afflusso netto al nodo.

Dalle due disuguaglianze sopra citate deriva che il passo di calcolo **massimo** ammissibile, **Dt** , è determinato dal **condotto più piccolo e corto con elevati afflussi**.

L'esperienza dice che in genere un passo di calcolo di 5-10 secondi è sufficientemente piccolo da produrre idrogrammi in uscita esenti da oscillazioni irregolari e soddisfa la continuità della massa in assenza di condizioni di allagamento.

Se si rendono necessari passi di calcolo minori si possono **eliminare** o aggregare i tubi e i canali più brevi. Grazie alle elevate prestazioni di calcolo offerte dalle CPU, è possibile compiere nell'arco di minuti delle simulazioni di molte ore per reti complesse adottando **passi di calcolo dell'ordine del secondo**.

Quando un elemento della rete di drenaggio, a causa delle proprie caratteristiche geometriche o di portata, è **soggetto a generare instabilità numerica** può essere sostituito **automaticamente** dal modello da un condotto fittizio, idraulicamente equivalente a quello originario. Ciò significa che le perdite di carico nell'elemento originario e nel suo condotto equivalente sono le stesse.

#### **1.1.1.07 – Sovraccarico e allagamento**

Un caso particolare è il funzionamento in **pressione** e/o eventuali situazioni di **allagamento**. Il **sovraccarico** avviene quando **tutti** i condotti che convergono in un nodo sono pieni, oppure quando la superficie dell'acqua nel nodo si trova tra la sommità del più alto condotto entrante nel nodo e la superficie del terreno. L'**allagamento** è un caso particolare di sovraccarico che si verifica quando la piezometrica interseca la superficie del terreno e l'acqua fuoriesce dal nodo disperdendosi nel sistema superficiale sovrastante.

Durante il sovraccarico non è più possibile determinare il carico idraulico poiché la superficie libera del nodo in pressione è troppo piccola per poter comparire a denominatore.

Sfruttando l'equazione di continuità al nodo (la somma di tutti gli afflussi e i deflussi del nodo provenienti dal deflusso superficiale o ad esso destinati, di tutti i condotti, pompe ed organi speciali, è pari a zero) **SWMM** adotta una procedura iterativa nella quale le correzioni del carico ad ogni nodo sono determinate sulla base delle relative variazioni di portata in ogni ramo collegato rispetto a una variazione di carico **dQ/dH**. Il termine **dQ/dH** viene discretizzato in modo diverso a seconda che si considerino condotti o nodi.

### 1.1.1.08 – Sovraccarico di piu' nodi adiacenti

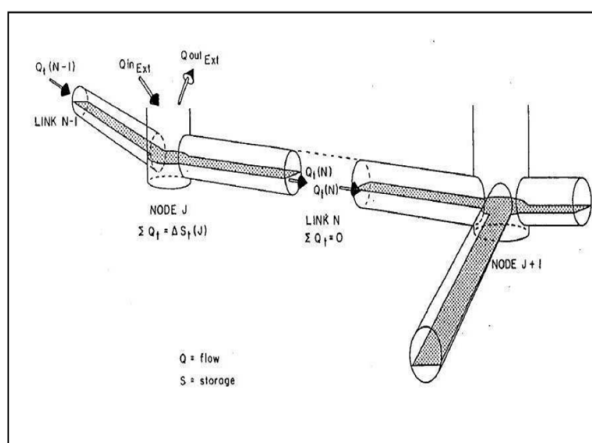
La trattazione presentata ai paragrafi precedenti soddisfa la continuità al singolo nodo, ma può introdurre un piccolo errore di continuità quando vari nodi adiacenti vanno in pressione. I piccoli errori combinandosi tra loro attenuano l'idrogramma nella zona in pressione. Fisicamente gli afflussi ad ogni nodo in pressione devono eguagliare i deflussi nell'arco temporale di un passo di calcolo, dal momento che non esiste variazione di accumulo durante il sovraccarico. Per rimediare a questa attenuazione artificiale i calcoli a passo intero di portata e carico nelle aree in pressione sono ripetuti in un ciclo di iterazioni. Le iterazioni per un particolare passo di calcolo continuano fino a che non si verifichi una delle seguenti condizioni:

1) la differenza tra afflussi e deflussi in un nodo in pressione è minore di una certa tolleranza, calcolata, ad ogni passo di calcolo, come una frazione della portata media attraverso la zona in pressione (il valore della frazione è scelto dall'utente del programma);

2) il numero di iterazioni supera un numero massimo fissato dall'utente.

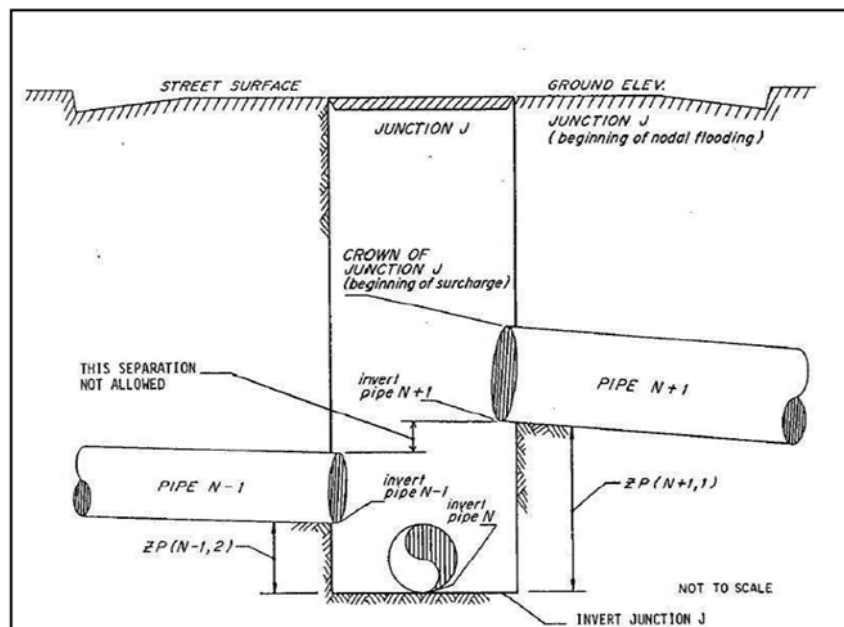
### 1.1.1.09 – Gli elementi della rete

Una rete di drenaggio deve essere schematizzata come un insieme di **L** lati e **N** nodi, ciascuno con le proprie caratteristiche.



**NODI.** I nodi rappresentano i punti dove il sistema di trasporto interseca i vari rami. Fisicamente rappresentano la confluenza dei canali superficiali o, nei sistemi di fognature, i pozzetti. Alcuni nodi ricoprono un ruolo importante: rappresentano infatti il luogo di **immissione dei deflussi superficiali**; tutto il deflusso del sottobacino di calcolo viene schematizzato in modo tale da convergere in un unico punto,

rappresentato dal nodo di inizio del canale di scolo. I principali parametri di input per un nodo sono la **quota di fondo/scorrimento** (invert junction/invert pipe) , la **quota del terreno (ground elev.)** e gli eventuali **afflussi in ingresso**.



**RAMI.** I rami sono canali o condotte che permettono il transito dell'acqua da un nodo all'altro. Ogni singolo canale deve essere suddiviso in più rami e nei corrispettivi nodi. Ogni ramo è schematizzato come un condotto con caratteristiche costanti di forma, pendenza, scabrezza, ecc. e pertanto ogni variazione di pendenza del canale, confluenza di più collettori, salti di fondo, variazioni di profondità o di sezione **devono essere rappresentati con rami differenti**.

La forma del canale va scelta utilizzando un menu grazie al quale è possibile selezionare una serie di sezioni di formati standard, tutte opportunamente configurabili nelle dimensioni a seconda delle esigenze di rappresentazione. Come si può osservare dalla figura precedente in uno stesso nodo possono convergere più rami, ognuno ad una altezza differente rispetto il fondo.

E' importante l'altezza massima raggiungibile dal nodo; questa, nel caso di canali e nodi aperti, rappresenta la quota **oltre la quale si ha una fuoriuscita dell'acqua** e viene calcolata tenendo conto delle altezze dei canali convergenti nel nodo, in particolar modo viene fissata al valore minimo del tirante, addizionato dell'eventuale salto di fondo del canale.

In allegato da **C/1** a **C/4** sono riassunti i principali parametri di caratterizzazione dei **nodi** in **SWMM-PCA**. In allegato da **D/1** a **D/8** sono riassunti i principali parametri di caratterizzazione dei **tratti** in **SWMM-PCA**.

### 1.1.1.10 – Altri elementi di SWMM

#### CONDOTTI EQUIVALENTI

Quando un tratto della rete é soggetto a generare instabilità numerica é sostituito in SWMM da un condotto fittizio, idraulicamente equivalente a quello originario (le perdite di carico nell'elemento originario e nel suo condotto equivalente sono le stesse).

#### OUTFALL NODES

Sono i **nodi terminali** della rete. Con SWMM é possibile definire diversi tipi di condizioni: ad esempio fissare il livello che l'acqua deve avere nell'**outfall** (es. con battente legato all'andamento della marea) oppure definire delle serie temporali dei livelli.

#### POMPE

Con SWMM é possibile implementare le pompe. Il funzionamento di queste deve essere definito da una specifica relazione tra la portata sollevata ed una condizione dei nodi ai quali é collegata. E' possibile, ad esempio definire delle curve del tipo "Portata sollevata-Differenza del livello dei due nodi ai quali é collegata la pompa", oppure "Portata sollevata-Livello dell'acqua del nodo di monte".

#### SCARICATORI (WEIR)

SWMM permette la schematizzazione di organi regolatori, come ad esempio gli scaricatori (laterale, frontale, trapezoidale, ecc.). Lo scaricatore laterale viene schematizzato come un collegamento, ad esempio, tra un nodo ed un outfall. I parametri di input per questo dispositivo sono l'altezza della soglia (**h**), la lunghezza del manufatto (**L**) ed un coefficiente d'efflusso (**C<sub>w</sub>**). La portata che fuoriesce viene calcolata mediante la seguente formula

$$Q = C_w \times L \times h^{(5/2)}.$$

#### ORIFICES

Attraverso gli **orifices** è possibile schematizzare manufatti quali paratoie o diaframmi. Sono rappresentati come un collegamento tra due nodi. Possono essere di sezioni circolare o rettangolare e situati alla base del nodo d'ingresso o ad una determinata quota rispetto alla base. E' possibile dotarli di una valvola di ritegno. Le portate che transitano attraverso quest'organo sono definite dalla seguente espressione

$$Q = CxAx(2xgxh)^{0,5}$$

dove **C** rappresenta un coefficiente d'efflusso, **A** la sezione del manufatto, **h** la differenza di quota del pelo libero tra nodo d'ingresso e d'uscita, **g** l'accelerazione di gravità.

#### 1.1.1.11 – Altri parametri di SWMM

##### Valori ricorrenti per canali a cielo aperto.

Scabrezza collettori di bonifica: coefficiente di Manning pari a  $0,025 \text{ m}^{(-1/3)}\text{s}$ . Altro valore ricorrente  $0,033 \text{ s/m}^{(1/3)}$ . La scabrezza degli alvei può essere espressa attraverso il coefficiente di Gauckler-Strickler (trattasi più propriamente di una misura di "liscezza" delle sponde e del fondo) adottando valori compresi tra 20 e  $35 \text{ m}^{(1/3)}/\text{s}$ . Il valore utilizzato va mutuato dall'esperienza, dalla letteratura e dai rilievi effettuati in loco.

##### Coefficienti di perdita sbocco/imbocco.

Coefficienti di perdita concentrata all'imbocco e allo sbocco: 0,2.

Coefficiente di perdita carico imbocco tombinamenti: 0,5

Coefficiente di perdita di carico sbocco tombinamenti: 1,0

##### Valori ricorrenti per condotte interrate.

Scabrezza tubazioni:  $0,016 \text{ s/m}^{(1/3)}$ .

Scabrezza botti:  $0,002 \text{ m}^{(-1/3)}\text{s}$ .

##### Invaso di detenzione.

Lama d'acqua di detenzione superficiale su suolo **impermeabile** (mm): 2.5-3;

lama d'acqua di detenzione superficiale aree **permeabili** (mm): 15.

Lama d'acqua di detenzione superficiale su suolo **permeabile** (mm): 5.1.

Scabrezza secondo Manning su suolo **impermeabile** ( $\text{m}^{(-0.33)} \text{ s}$ ): 0.011.

| Surface                   | n     |
|---------------------------|-------|
| Smooth asphalt            | 0.011 |
| Smooth concrete           | 0.012 |
| Ordinary concrete lining  | 0.013 |
| Good wood                 | 0.014 |
| Brick with cement mortar  | 0.014 |
| Vitrified clay            | 0.015 |
| Cast iron                 | 0.015 |
| Corrugated metal pipes    | 0.024 |
| Cement rubble surface     | 0.024 |
| Fallow soils (no residue) | 0.05  |
| Cultivated soils          |       |
| Residue cover < 20%       | 0.06  |
| Residue cover > 20%       | 0.17  |
| Range (natural)           | 0.13  |
| Grass                     |       |
| Short, prairie            | 0.15  |
| Dense                     | 0.24  |
| Bermuda grass             | 0.41  |
| Woods                     |       |
| Light underbrush          | 0.40  |
| Dense underbrush          | 0.80  |

Valori tipici infiltrazione di Horton.

Massima infiltrazione Horton: 100 mm/h;  
minima infiltrazione Horton: 15 mm/h.

Costante di decadimento di Horton.

Generalmente 4.

Stato del suolo iniziale utilizzato in SWMM-PCA.

Parzialmente saturo.

Metodo di calcolo utilizzato in SWMM-PCA.

In SWMM-PCA é stato utilizzato il metodo **Dynamic Wave** (definizione dei parametri idraulici della rete a moto vario per tener conto sia degli effetti di laminazione che delle condizioni dinamiche di monte e valle in ogni nodo della rete).

### 1.1.2 – Ietogramma Chicago

Nello ietogramma di progetto denominato "Chicago"[Kiefer e Chu, 1957] l'intensità di pioggia non é costante nel tempo. Lo ietogramma presenta un picco in una posizione da stabilire a priori e si ricava dalla CSPP per fissato tempo di ritorno

**Tr** imponendo la durata della pioggia **tp** e la posizione del picco **ta**. Se ad esempio la posizione del picco é a metà avremo quindi  $r=0,5$  con  $ta=tpxr$ .

Lo ietogramma "Chicago" restituisce per una durata qualsiasi dell'evento (purché inferiore a **tp**) un massimo dell'intensità di pioggia uguale a quella fornita dalla CSPP. Se indichiamo con  $h(t)=at/(b+t)^2$  la CSPP e con  $i(t)=a/(b+t)^c$  la curva intensità-tempo, con  $rxtp=ta$  l'intervallo che intercorre tra l'inizio dell'evento e il picco dell'intensità (quindi con **r** compreso fra 0 e 1) e con **ts** l'intervallo di tempo che intercorre tra il picco dell'intensità l'inizio dell'evento e la fine dell'evento (ovvero  $ta+ts=tp$ ) si possono introdurre le due variabili temporali:

$$Aa) t1=(rxtp-t)/r$$

e

$$Ab) t2=(t-rxtp)/(1-r).$$

Con queste nuove variabili abbiamo due ietogrammi:

$$B1) \text{ se } t \text{ é compreso fra } 0 \text{ e } rxtp \text{ vale } i1(t)=a/(b+t1)^c;$$

$$B2) \text{ se } t \text{ é compreso fra } rxtp \text{ e } tp \text{ vale } i2(t)=a/(b+t2)^c.$$

Lo ietogramma di progetto totale é dato dalla somma di **i1(t)** e di **i2(t)**. Se  $r=0,5$  lo ietogramma risulta simmetrico rispetto all'istante di picco.

Da quanto esposto deriva che:

Ca) lo ietogramma "Chicago" rappresenta una pioggia critica per tutte le durate in quanto **a tutte le durate corrisponde la stessa probabilità cumulata**. Nelle varie sezioni di una opera idraulica é quindi possibile utilizzarlo prescindendo dalla durata critica associata ad ogni sezione (con altri idrogrammi di progetto gli stessi andrebbero modificati in funzione della durata critica del bacino associato alla sezione). Una pioggia che é critica per una durata **tx** non é necessariamente critica per tutte le altre durate, ma l'altezza complessiva dello ietogramma "Chicago" é superiore a quella di ciascuno degli eventi reali che risultano critici per le diverse durate. Considerando la pioggia in termine di quantità lo ietogramma Chicago risulta quindi più gravoso di ciascuno degli eventi che costituiscono il caso critico (ciò implica inoltre che allo ietogramma Chicago corrisponde un **Tr** maggiore di quello nominale della CSPP dalla quale é stato ricavato);

Cb) poiché interessano gli ietogrammi in forma discreta (suddividere la durata complessiva **tp** in tempi finiti **dt**) occorrerà calcolare l'intensità media di ciascun intervallo **dt** che in forma approssimata andrà considerata come semisomma dei due

valori discreti calcolati all'estremità dell'intervallo. In **SWMM-PCA**, modello idraulico con finalità di "indirizzo", si é preferito ipotizzare andamenti delle piogge omogenee per durata ed intervallo. Non é stata quindi utilizzata la metodologia di individuazione della pioggia "più pericolosa" che caratterizza lo ietogramma tipo "Chicago".

## 1.2 – Gruppi idrologici di suolo

Come precisato nei paragrafi precedenti nel metodo **Curve Number** si classificano i suoli dal punto di vista della "possibilità di infiltrazione" nei gruppi **A**, **B**, **C** e **D**; in dettaglio le caratteristiche salienti dei vari gruppi sono:

### Gruppo A

- *scorrimento superficiale* potenzialmente **basso** o **nullo**;
- *tasso di infiltrazione* **alto** anche se bagnati;
- costituiti da **sabbie** e/o **ghiaie** di notevole spessore;
- *allontanamento nel sottosuolo* da **elevatissimo** a **buono**.
- *conducibilità idraulica* del terreno **notevole**.

### Gruppo B

- *scorrimento superficiale* potenzialmente **buono** o **basso**;
- *tasso di infiltrazione* **medio-alto** anche quando bagnati;
- costituiti da suoli con tessitura **medio-grossolana**;
- *allontanamento nel sottosuolo* da **buono** a **moderatamente buono**;
- *conducibilità idraulica* del terreno **media**.

### Gruppo C

- *scorrimento superficiale* potenzialmente **elevato** o **buono**;
- *tasso di infiltrazione* **medio-basso** quando bagnati;
- costituiti da suoli con tessitura da **moderatamente fine** a **fine**;
- *allontanamento nel sottosuolo* da **moderatamente buono** a **scarso**;
- *conducibilità idraulica* del terreno **bassa**.

### Gruppo D

- *scorrimento superficiale* potenzialmente **elevatissimo** o **elevato**;
- *tasso di infiltrazione* **bassissimo** quando bagnati;
- costituiti da suoli **argillosi** ad **elevato rigonfiamento**, suolo **poco profondi con substrato impermeabile**;
- *allontanamento nel sottosuolo* da **scarso** a **nullo**;
- *conducibilità idraulica* del terreno **bassissima**.

Nell'applicazione del metodo SCS-CN alla determinazione della pioggia efficace i valori **CN** stimati sono correlabili a quelli presenti nella tabella seguente, valida per diverse combinazioni di suolo e di copertura:

| TIPO DI COPERTURA                                                                                                                    |                           |                       | CLASSE DI SUOLO |    |    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------|----|----|----|
| USO DEL SUOLO                                                                                                                        | TRATTAMENTO/PRATICA       | CONDIZIONE IDROLOGICA | A               | B  | C  | D  |
| Terreno agricolo tenuto a riposo                                                                                                     | A solchi dritti           |                       | 77              | 86 | 91 | 94 |
| Colture a solchi                                                                                                                     | A solchi dritti           | cattiva               | 72              | 81 | 88 | 91 |
| Colture a solchi                                                                                                                     | A solchi dritti           | buona                 | 67              | 78 | 85 | 89 |
| Colture a solchi                                                                                                                     | A reggi poggio            | cattiva               | 70              | 79 | 84 | 88 |
| Colture a solchi                                                                                                                     | A reggi poggio            | buona                 | 65              | 75 | 82 | 86 |
| Colture a solchi                                                                                                                     | A reggi poggio e terrazze | cattiva               | 66              | 74 | 80 | 82 |
| Colture a solchi                                                                                                                     | A reggi poggio e terrazze | buona                 | 62              | 71 | 78 | 81 |
| Grani piccoli                                                                                                                        | A solchi dritti           | cattiva               | 65              | 76 | 84 | 88 |
| Grani piccoli                                                                                                                        | A solchi dritti           | buona                 | 63              | 75 | 83 | 87 |
| Grani piccoli                                                                                                                        | A reggi poggio            | cattiva               | 63              | 74 | 82 | 85 |
| Grani piccoli                                                                                                                        | A reggi poggio            | buona                 | 61              | 73 | 81 | 84 |
| Grani piccoli                                                                                                                        | A reggi poggio e terrazze | cattiva               | 61              | 72 | 79 | 82 |
| Grani piccoli                                                                                                                        | A reggi poggio e terrazze | buona                 | 59              | 70 | 78 | 81 |
| Legumi, seminati folti, prati in rotazione                                                                                           | A solchi dritti           | cattiva               | 66              | 77 | 85 | 89 |
| Legumi, seminati folti, prati in rotazione                                                                                           | A solchi dritti           | buona                 | 58              | 72 | 81 | 85 |
| Legumi, seminati folti, prati in rotazione                                                                                           | A reggi poggio            | cattiva               | 64              | 75 | 83 | 85 |
| Legumi, seminati folti, prati in rotazione                                                                                           | A reggi poggio            | buona                 | 55              | 69 | 78 | 83 |
| Legumi, seminati folti, prati in rotazione                                                                                           | A reggi poggio e terrazze | cattiva               | 63              | 73 | 80 | 83 |
| Legumi, seminati folti, prati in rotazione                                                                                           | A reggi poggio e terrazze | buona                 | 51              | 67 | 76 | 80 |
| Pascoli                                                                                                                              |                           | cattiva               | 68              | 79 | 86 | 89 |
| Pascoli                                                                                                                              |                           | discreta              | 49              | 69 | 79 | 84 |
| Pascoli                                                                                                                              |                           | buona                 | 39              | 61 | 74 | 80 |
| Pascoli                                                                                                                              | A reggi poggio            | cattiva               | 47              | 67 | 81 | 88 |
| Pascoli                                                                                                                              | A reggi poggio            | discreta              | 25              | 59 | 75 | 83 |
| Pascoli                                                                                                                              | A reggi poggio            | buona                 | 6               | 35 | 70 | 79 |
| Prati                                                                                                                                |                           | buona                 | 30              | 58 | 71 | 78 |
| Boschi                                                                                                                               |                           | cattiva               | 45              | 66 | 77 | 83 |
| Boschi                                                                                                                               |                           | discreta              | 36              | 60 | 73 | 79 |
| Boschi                                                                                                                               |                           | buona                 | 25              | 55 | 70 | 77 |
| Aziende agricole                                                                                                                     |                           |                       | 59              | 74 | 82 | 86 |
| Aree urbanizzate, impermeabile >80%                                                                                                  |                           |                       | 89              | 92 | 94 | 95 |
| Aree residenziali, 500 mq, impermeabile 65%                                                                                          |                           |                       | 77              | 85 | 90 | 92 |
| Aree residenziali, 1000 mq, impermeabile 38%                                                                                         |                           |                       | 61              | 75 | 83 | 87 |
| Aree residenziali, 1300 mq, impermeabile 30%                                                                                         |                           |                       | 57              | 72 | 81 | 86 |
| Aree residenziali, 2000 mq, impermeabile 25%                                                                                         |                           |                       | 54              | 70 | 80 | 85 |
| Aree residenziali, 4000 mq, impermeabile 20%                                                                                         |                           |                       | 51              | 68 | 79 | 84 |
| Parcheggi asfaltati, tetti, viali accesso                                                                                            |                           |                       | 98              | 98 | 98 | 98 |
| Strade asfaltate con rete fognaria                                                                                                   |                           |                       | 98              | 98 | 98 | 98 |
| Strade in ghiaia                                                                                                                     |                           |                       | 76              | 85 | 89 | 91 |
| Strade sterrate                                                                                                                      |                           |                       | 72              | 82 | 87 | 89 |
| Ferrovie                                                                                                                             |                           |                       | 72              | 82 | 87 | 89 |
| Aree commerciali, impermeabili 85%                                                                                                   |                           |                       | 89              | 92 | 94 | 95 |
| Aree industriali, impermeabili 72%                                                                                                   |                           |                       | 81              | 88 | 91 | 93 |
| Spazi aperti, prati, parchi, campi da golf, cimiteri, aree verdi urbane... in buone condizioni con copertura erbosa di almeno il 75% |                           |                       | 39              | 61 | 74 | 80 |
| Spazi aperti, prati, parchi, campi da golf, cimiteri, aree verdi urbane... in discrete condizioni con copertura erbosa fra 50 e 75%  |                           |                       | 49              | 69 | 79 | 84 |
| Superfici d'acqua                                                                                                                    |                           |                       | 99              | 99 | 99 | 99 |