

BETTER WATER MANAGEMENT FO ADVANCING RESILIENT COMMUNITIES IN EUROPE



ACQUA, RESILIENZA, TERRITORIO

# SOLUTION MANUAL



# SOMMARIO

| 1 | INTRODUZIONE  | 4  |
|---|---|----|
|   | 1.1 Il progetto LIFE BEWARE   | 6  |
| 2 | ELEMENTI DI IDROLOGIA PER LA VALUTAZIONE DELLA COMPATIBILITÀ IDRAULICA            | 8  |
|   | 2.1 La portata di piena   | 8  |
|   | 2.2 Tempo di ritorno  | 9  |
|   | 2.3 Tempo di corrivazione   | 9  |
|   | 2.4 Precipitazione di progetto  | 10 |
|   | 2.5 La portata di progetto: metodo razionale                                      | 13 |
| 3 | IL DEFLUSSO IN AMBITO URBANO E IL PRINCIPIO DELL'INVARIANZA IDRAULICO-IDROLOGICA: |    |
|   | LEGGE REGIONE VENETO N° 1322/2006   | 14 |
|   | 3.1 I nuovi regolamenti edilizi dei Comuni di Santorso e Marano Vicentino         | 16 |
|   | 3.2 Calcolo portata e volumi di progetto  | 18 |
|   | 3.2.1 Metodo delle sole piogge  | 19 |
|   | 3.2.2 Metodo dell'invaso cinematico   | 20 |
|   | 3.3 Considerazioni conclusive   | 21 |
| 4 | METODI DI SCELTA DEI DRENAGGI URBANI SOSTENIBILI                                  | 23 |
| 5 | DESCRIZIONE E PROGETTAZIONE DEI SUDS  | 25 |
|   | 5.1 Serbatoi fuori terra  | 25 |
|   | 5.1.1 Dimensionamento   | 25 |
|   | 5.1.2 Materiali e installazione   | 26 |
|   | 5.1.3 Costi e manutenzione  | 27 |
|   | 5.2 Serbatoi interrati  | 28 |
|   | 5.2.1 Dimensionamento   | 28 |
|   | 5.2.2 Materiali e installazione   | 28 |
|   | 5.2.3 Costi e manutenzione  | 29 |
|   | 5.3 Pozzi disperdenti   | 30 |
|   | 5.3.1 Dimensionamento   | 30 |
|   | 5.3.2 Materiali e installazione   | 31 |
|   | 5.3.3 Costi e manutenzione  | 32 |



| 5.4 Pavimentazione drenante                     | <br>33 |
|---|--------|
| 5.4.1 Dimensionamento                           | <br>34 |
| 5.4.2 Materiali e installazione                 | <br>34 |
| 5.4.3 Costi e manutenzione                      | <br>35 |
| 5.5 Verde pensile                               | <br>36 |
| 5.5.1 Dimensionamento                           | <br>38 |
| 5.5.2 Materiali e installazione                 | <br>39 |
| 5.5.3 Costi e manutenzione                      | <br>41 |
| 5.6 Trincee drenanti                            | <br>42 |
| 5.6.1 Dimensionamento                           | <br>43 |
| 5.6.2 Materiali e installazione                 | <br>43 |
| 5.6.3 Costi e manutenzione                      | <br>44 |
| 5.7 Giardini pluviali                           | <br>45 |
| 5.7.1 Dimensionamento                           | <br>46 |
| 5.7.2 Materiali e installazione                 | <br>46 |
| 5.7.3 Costi e manutenzione                      | <br>47 |
| 5.8 Bacini di detenzione e invasi di ritenzione | <br>48 |
| 5.8.1 Dimensionamento                           | <br>49 |
| 5.8.2 Materiali e installazione                 | <br>49 |
| 5 8 3 Costi e manutenzione                      | 50     |



# **I INTRODUZIONE**

A livello globale il cambiamento climatico sta portando ad un aumento della temperatura e ad una variazione del regime pluviometrico. Questo implica un aumento della frequenza degli eventi meteorologici estremi e catastrofici. Le conseguenze di tali fenomeni sono esasperate da un incremento di consumo di suolo che amplifica gli effetti conseguenti all'aumento dell'intensità delle precipitazioni, sollecitando le reti di drenaggio e le reti idrografiche, sia in contesto urbano che agricolo, e mettendo a rischio la salute delle comunità, la produzione alimentare, e l'equilibrio di habitat ed ecosistemi.

Le conseguenze del cambiamento climatico sono particolarmente serie anche per il nostro Paese. Secondo uno studio dell'ISAC-CNR l'Italia si sta surriscaldando più velocemente della media globale. A prova di ciò, nel 2014 la temperatura raggiunta dal nostro Pianeta registrava un incremento dello 0.46°C rispetto al trentennio 1971-2000, mentre l'Italia superava abbondantemente tale valore, con un incremento pari all'1.45°C. In parallelo, l'intensificazione delle piogge e l'impermeabilizzazione dei suoli aggravano la già critica situazione idrogeologica del nostro territorio. Infatti, secondo un recente rapporto sul dissesto idrogeologico pubblicato dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) nel giugno 2018, il 91% dei comuni italiani (contro l'88% nel 2015) si trova in zona a rischio idrogeologico. I dati trovano concreto riscontro nella più alta frequenza con cui tali eventi si stanno manifestando negli ultimi decenni.

Alla luce di tali cambiamenti e delle loro drammatiche conseguenze, le autorità pubbliche e le comunità sono chiamate a rispondere a tale emergenza con azioni tempestive di pianificazione territoriale che considerino interventi di mitigazione sempre più sostenibili sotto l'aspetto ambientale. Pianificare gli interventi per la

mitigazione di tali mutamenti si inquadra anche come tema sociale. È infatti necessaria una strategia che combini soluzioni tecniche con azioni di sensibilizzazione. Tra le prime si inquadrano i sistemi di drenaggio urbano sostenibili, l'integrazione di normative edilizie mirate alla protezione ambientale, la realizzazione di interventi strutturali mirati, l'identificazione di specie e varietà agricole più adatte alle nuove condizioni climatiche, l'incremento dell'uso delle energie rinnovabili, la riqualificazione e il recupero di territori abbandonati, il potenziamento degli strumenti di monitoraggio e previsione meteo, etc. A queste si aggiungono, non ultime, iniziative educative e di sensibilizzazione, atte a creare una cultura ambientale e del rischio attraverso campagne di informazione e di educazione.

La classica impostazione di gestione dei deflussi mira alla realizzazione di opere idrauliche di grosse dimensioni con funzione di rapido allontanamento delle acque di deflusso prodotte dalle aree urbane e successiva laminazione di tale portate. Tuttavia questa gestione, oltre a essere onerosa e in taluni casi ambientalmente impattante, necessita di essere adeguata in funzione dell'area urbana servita. Un'alternativa incoraggiata dagli esperti in materia di gestione del deflusso urbano è quella di delocalizzare le opere di laminazione collocandole in forma diffusa e il più possibile in corrispondenza alle aree impermeabilizzate che generano il deflusso. Questa prospettiva è inoltre incoraggiata dalla politica comunitaria e nazionale, le cui direttive e indicazioni vengono a loro volta recepite dalle Regioni. Norme che definiscono i concetti in materia di invarianza idraulica e idrologica indirizzano ulteriormente gli esperti nel settore sia pubblico che privato nel realizzare forme di compensazione idraulica ogni qualvolta ci sia un cambio di destinazione d'uso del suolo. Queste nuove opere si basano sull'utilizzo dei cosiddetti sistemi di drenaggio



urbano sostenibile (SuDS, Suistanable urban Drainage Systems). Esperienze in alcuni stati europei dove le opere di tipo SuDS sono state realizzate in maniera diffusa all'interno dei centri abitati, hanno dimostrato una notevole riduzione dei deflussi convogliati alla rete idrografica principale, diminuendo sia il rischio di allagamenti localizzati sia di alluvioni diffuse. Inoltre, l'integrazione dei SuDS all'interno delle aree urbane muta la visione del deflusso urbano da problema a opportunità. Infatti, oltre a diminuire il rischio idrogeologico, i SuDS possono fornire una serie di altri benefici tra cui l'accumulo d'acqua riutilizzabile in periodi di carenza idrica, l'aumento del valore estetico del paesaggio e delle aree urbane in cui vengono inseriti, il miglioramento della qualità delle acque di dilavamento e la riduzione dell'effetto isola di calore tipico delle città più estese.

Obiettivo di tale manuale è quello di fornire a progettisti sia pubblici che privati, enti gestori e addetti ai lavori, nonché semplici cittadini, delle linee guida pratiche atte alla corretta scelta, o realizzazione e manutenzione dei SuDS. Il contenuto del manuale si basa sull'esperienza diretta del progetto pilota LIFE BEWARE, che ha permesso di realizzare diverse tipologie di sistemi di drenaggio urbano sostenibile in due comuni dell'alto vicentino (Santorso e Marano Vicentino). Questo progetto ha voluto andare oltre alla classica progettazione e realizzazione di interventi SuDS, promuovendo la partecipazione dei cittadini e sensibilizzandoli sulla tematica del rischio idrogeologico. In tale contesto si è mirato a responsabilizzare le comunità nei confronti della gestione dei deflussi urbani incoraggiandole a realizzare in prima persona piccoli interventi che potessero avere un riscontro positivo per la collettività (diminuzione del rischio di allagamenti, riduzione effetto isola di calore, etc.), e per i singoli proprietari delle abitazioni (accumulo di acqua

per irrigazione, aumento di valore dell'immobile, etc.). Il manuale mira a favorire la diffusione dei SuDS in particolare facilitando il lavoro dei progettisti che potranno trovarvi uno strumento di supporto sia in termini di scelta delle possibili soluzioni sia di un loro dimensionamento idraulico.

Il manuale inizia con una breve descrizione del progetto LIFE BEWARE, per poi presentare i concetti generali relativi alla stima dei deflussi e all'invarianza idraulica da conseguire mediante i SuDS secondo la normativa della Regione Veneto. Vengono infine presentate otto diverse tipologie di SuDS attraverso una loro descrizione generale, l'elenco delle metodologie più opportune per il loro corretto dimensionamento, una descrizione dei materiali e delle modalità di realizzazione, i costi da sostenere nel breve e lungo periodo per le operazioni di realizzazione e manutenzione.



# I.I IL PROGETTO LIFE BEWARE

Il progetto LIFE BEWARE (Better Water Managment for Advancing Resilient Communities in Europe) è un progetto che promuove l'adozione di interventi sostenibili (Natural Water Retention Measures) per la riduzione del rischio da allagamenti. Il progetto mira al miglioramento della sicurezza e della resilienza idraulica del territorio dell'Altovicentino attraverso un approccio partecipato che coinvolge attivamente tutte le principali parti interessate, incoraggiando i singoli cittadini a realizzare piccole azioni diffuse sul territorio a beneficio dell'intera collettività. Crediamo, infatti, che l'obiettivo del miglioramento della sicurezza e della resilienza idraulica del territorio non possa essere perseguito solamente attraverso la realizzazione di grandi opere strutturali realizzate su larga scala, ma richieda un'azione articolata ed incisiva anche a livello sociale su piccola scala (complesso abitativo o singola abitazione). Ispirato al principio secondo cui un'azione virtuosa praticata da ogni cittadino può produrre un beneficio collettivo anche superiore a quello ottenibile da una grande opera, il Progetto LIFE BEWARE ha attivato un processo partecipato per il coinvolgimento di tutti i principali portatori di interesse: cittadini, liberi professionisti, agricoltori, amministratori e uffici tecnici, studenti. Nell'ambito del progetto si sono realizzati sette interventi pilota per la riduzione del rischio di allagamento e per una gestione sostenibile dell'acqua di pioggia in aree urbane e agricole. L'efficacia di questi interventi è attualmente oggetto di ricerca attraverso una campagna di monitoraggio con apposita strumentazione.

Il progetto LIFE BEWARE è innovativo perché vuole fronteggiare il problema degli allagamenti in aree urbane e rurali attraverso una nuova prospettiva di tipo partecipativo. Il progetto promuove, infatti, l'adozione di soluzioni sostenibili per la mitigazione del rischio idraulico (Nature Based Solutions, NBS) in un contesto dove il rischio da allagamento e alluvione è importante, ma dove le tipologie di intervento proposte sono pressoché sconosciute e non utilizzate, nonostante gli effetti dei cambiamenti climatici e il consumo di suolo stiano ulteriormente aggravando il problema. In questo ambito, infatti, la mitigazione del rischio idraulico è totalmente delegata all'Autorità pubblica che mira, spesso, alla risoluzione del problema con la realizzazione di grandi opere di sistemazione idraulica. Ma in un contesto in cui, a livello nazionale, il suolo consumato raggiunge il 9,15 % del suolo utile, e con punte di oltre il 30% nelle aree metropolitane (Munafò, 20211), è essenziale la sensibilizzazione e responsabilizzazione di tutta la cittadinanza.

A questo scopo il progetto LIFE BEWARE sta mettendo in campo una serie di azioni concrete per le quali sono già ben documentati i risultati.



# I PARTNERS DEL PROGETTO LIFE BEWARE















# 2 ELEMENTI DI IDROLOGIA PER LA VALUTAZIONE DELLA COMPATIBILITÀ IDRAULICA

# 2.1 LA PORTATA DI PIENA

La portata di piena è la conseguenza di diversi processi idrologici che concorrono all'innalzamento dei livelli di portata nella rete idrografica a seguito del deflusso superficiale generato da eventi meteorici (afflussi).

Tuttavia il deflusso superficiale rappresenta solamente una parte della precipitazione totale. Infatti una certa quantità dell'afflusso viene intercettata dalla vegetazione, parte si infiltra nel terreno e parte si accumula in piccoli invasi o impluvi del terreno. La precipitazione rimanente (precipitazione efficace) è quella che effettivamente genera deflusso e scorrendo superficialmente andrà a contribuire alla formazione della portata di piena. Il sistema suolo vegetazione rappresenta un elemento chiave nella mitigazione dei fenomeni di piena, in quanto è in grado di intercettare la precipitazione meteorica attraverso processi di evaporazione, traspirazione fogliare, percolazione, ritenzione superficiale e deflusso ipodermico. Parte di questo volume può rag-

Misure di pioggia puntuali
e/o distributine

Modello di Stima della
Distributione della
Precipitazione

Precipitazione

Ilitologia: Pedologia: Uso
del Suelo: Climatologia:
Umidità al suelo

Modello di Trasformazione
Afflussi - Deflussi

Precipitazioni efficaci

Modello di Formazione
dell'onda di piena

giungere la rete idrografica principale, ma ciò avviene con tempi ritardati rispetto ai tempi che caratterizzano il deflusso superficiale.

Nello studio dei fenomeni di piena, le tipologie di processi sopraelencati hanno conseguenze diverse sulla risposta idrologica del bacino preso in esame. Il tempo di risposta del bacino o tempo di corrivazione o tempo di concentrazione è definito come l'intervallo di tempo che intercorre tra il momento di inizio del fenomeno meteorico e l'arrivo del colmo di piena al punto definito come sezione di chiusura del bacino. Infatti la superficie del bacino, la forma e le giaciture influenzano il tempo di corrivazione e quindi la formazione dell'onda di piena.

Il calcolo che porta alla definizione della portata alla sezione di chiusura deriva da una serie di processi a cascata che hanno come punto di partenza la pioggia meteorica (Figura 1). Al fine di determinare nella maniera più realistica l'evento di piena di progetto risulta di fondamentale importanza la valutazione della precipitazione associata a una determinata probabilità di accadimento assieme alla durata dell'evento relativamente al tempo di risposta del bacino in esame.

Figura 1: fattori che influiscono e contribuiscono alla formazione della portata di piena (fonte: Regione Veneto, 2009²).

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Regione Veneto. Valutazione di compatibilità idraulica - Linee guida. Edito nel 2009 dal Commissario Delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007 che hanno colpito parte del territorio della Regione del Veneto.



# 2.2 TEMPO DI RITORNO

Il tempo di ritorno  $(T_{\it R})$  di un qualunque fenomeno è definito come la durata media del periodo che intercorre tra due eventi di uguale intensità. Nel caso di eventi meteorici è espresso in anni e ed è definito dalla seguente formula:

$$T_{R} = \frac{1}{1-P}$$
 Eq. 1

dove P è la probabilità di non superamento dell'evento, associato a una variabile caratteristica (altezza di pioggia, portata, tirante) del fenomeno in analisi. Di conseguenza il rischio di accadimento ( $R_N$ ) associato a un determinato evento che si verifichi in n anni è espresso da:

$$R_N = 1 - \left(\frac{1}{1 - T_R}\right)^n$$
 Eq. 2

Il rischio di accadimento, assumendo  $T_{\rm R}=n$ , non varia significativamente e risulta essere pari al 63%.

Il tempo di ritorno identificato per un determinato progetto è di assoluta importanza in quanto definisce l'efficacia di un determinato intervento rispetto alla magnitudo del fenomeno meteorico. Il valore di riferimento previsto per i PAT/PATI dalla DGR 1322 del 10.05.2006 Allegato A per il dimensionamento delle opere atte a contrastare gli allagamenti è pari a 50 anni. Tale valore può assumere in rari casi un aumento se i beni da salvaguardare hanno una particolare valenza.

# 2.3 TEMPO DI CORRIVAZIONE

La durata dell'evento è un parametro che influenza il valore di portata al picco e il volume totale. Poiché tali valori non si verificano per la stessa durata dell'evento è necessario analizzare durate di precipitazione differenti in modo da prevederne i valori massimi.

La portata massima generata  $(Q_{max})$  da un bacino per un determinato tempo di ritorno è funzione della precipitazione  $(h_p)$  che insiste sull'area del bacino che a sua volta è legata al tempo di concentrazione. Di conseguenza si dovrà determinare la relazione  $Q_{max} = f(h_p(t))$ , la quale fa corrispondere a ciascuna precipitazione di durata t la portata da cui derivare la portata massima.

Per la determinazione del volume massimo si esegue lo stesso procedimento. In questo caso invece di derivare il massimo valore della funzione si calcola l'inviluppo della curva. Come evidenziato da diversi studi la durata di precipitazione che massimizza il volume defluito è notevolmente maggiore rispetto a quella che massimizza la portata al picco.

Risulta quindi evidente che il tempo di corrivazione, e di conseguenza la durata della precipitazione di progetto, è un parametro determinante per il dimensionamento delle opere. In sede di progetto si dovrà far riferimento a tempi di corrivazione differenti per il dimensionamento dei collettori e dei volumi di invaso. Di conseguenza, le elaborazioni per derivare tali dati presuppongono l'utilizzo di adeguati modelli matematici e uno studio idrologico che comprenda i processi in atto all'interno del bacino oggetto di studio. Tuttavia nei casi meno complessi, dove le modifiche del suolo sono di bassa entità, è possibile utilizzare approcci meno complessi (vedi capitolo 3).



# 2.4 PRECIPITAZIONE DI PROGETTO

Al fine di determinare le portate e i volumi di progetto è necessario il calcolo dei volumi di precipitazione attesi per un determinato tempo di ritorno di progetto. Il calcolo della portata di progetto viene quindi determinato attraverso una serie di calcoli per convertire la pioggia meteorica in deflusso e quindi portata alla sezione di chiusura. La precipitazione di partenza deve essere riferita a un determinato tempo di ritorno associato a una durata. Tramite regolarizzazione statistico probabilistiche dei massimi annuali di precipitazione registrati dalle stazioni meteorologiche è possibile derivare dalla relazione altezza di pioggia in funzione del tempo di ritorno e durata. Tali analisi portano alla definizione delle cosiddette curve di possibilità pluviometriche. I parametri di tali curve sono stati individuati all'interno dello studio ARPAV "Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve di possibilità pluviometrica di riferimento" tramite analisi regionalizzata dei dati di 27 stazione pluviometriche presenti sul territorio regionale. In tale report sono riportate le curve espresse con la formulazione italiana a due parametri  $h = a t^n$ , dove a e n sono i parametri della curva. Inoltre sono presenti i coefficienti a, b e c della formulazione più generale data dalla formula  $h = \frac{a}{(t+b)^c} t$ . ARPAV ha quindi calcolato i coefficienti per entrambe le espressioni per i caratteristici intervalli di tempo (5', 10', 15' 30', 45', 1h, 3h, 6h, 12h, 24h) suddividendo i comuni in zone omogenee.

Una volta calcolata l'altezza probabile per una determinata durata si procede al calcolo della pioggia che effettivamente contribuisce alla formazione dell'onda di piena, ovvero al netto delle perdite per intercettazione, infiltrazione e ritenzione superficiale. Questo valore di altezza di pioggia netta è chiamato pioggia efficace. Il calcolo della pioggia efficace può essere derivato tramite l'utilizzo del coefficiente di deflusso (c) oppure con Curve Number (CN).

Il coefficiente di deflusso è dato dal rapporto tra pioggia efficace e pioggia totale. Il coefficiente di deflusso c rappresenta quindi la percentuale di pioggia caduta che contribuisce al deflusso superficiale tenendo in considerazione la tipologia di suolo e soprassuolo. La F.A.O. ha effettuato una classificazione del suolo per derivare il coefficiente di deflusso. Il valore di c quindi cambia in funzione del suolo e sottosuolo e il valore finale di c riferito al bacino in esame è dato dalla media ponderata di c rispetto all'area relativa su cui esso insiste.

$$c = \sum \frac{c_i A_i}{A}$$
 Eq. 3

Per quanto riguarda il calcolo della pioggia efficace con il metodo del Curve Number (CN), si utilizza una relazione empirica assieme all'equazione di continuità. A differenza del coefficiente di deflusso in questo metodo vengono prese in considerazioni le perdite iniziale dovute a intercettamento e il contenuto idrico saturo del terreno tipico del suolo e della sua copertura. Di conseguenza il valore di  $P_e$  varia in funzione del tempo, visto che con l'aumentare del tempo le perdite per intercettazione e infiltrazione si riducono. Il valore della pioggia efficace  $P_e$  con il metodo del CN è dato dalla seguente formula:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$
 Eq. 4

dove P è il valore dell'altezza di pioggia di progetto calcolato tramite le LSPP per la zona di interesse,  $I_a$  sono le perdite iniziali e S è il contenuto idrico massimo del terreno saturo. Le variabili in Eq. 3 sono valori espressi in mm. Il valore delle perdite iniziale è solitamente attribuito nel range del 5 – 10 % rispetto al contenuto idrico massimo, ma può essere espresso anche direttamente da un valore (p.e. 5 mm è il valore suggerito nel caso di foresta densa di latifoglie).

S è parametrizzato attraverso il valore del CN secondo la seguente relazione:

$$S = 25.4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right)$$
 Eq. 5



I valori di *CN* variano da 0 a 100 dove il valore massimo rappresenta una superficie totalmente impermeabile. *CN* si determina tramite incrocio tra classi di permeabilità del terreno (suolo) con le categorie di uso del suolo (soprassuolo). Le classi di permeabilità del suolo sono quattro (A, B, C e D) e rappresentano le capacità

del suolo nel favorire i processi di infiltrazione. La classe A è quella in cui i terreni riescono a far infiltrare l'acqua in maniera molto rapida, mentre la classe D ha le peggiori caratteristiche idrologiche. Nella seguente tabella vengono riportati i valori di *CN* come combinazione tra suolo e soprassuolo.

| Valori Parametro CN (adimensionale)  | ← Tipo idrologico Suolo→ |    |    |    |  |  |  |  |  |
|--|--------------------------|----|----|----|--|--|--|--|--|
| ↓ Tipologia di Uso del Territorio  | A                        | В  | С  | 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 coltivazioni buone coltivazioni  | 68                       | 79 | 86 | 89 |  |  |  |  |  |
|  | 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 e 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%) Zone commerciali e industriali (area impermeabile 85%)  | 81                       | 88 | 91 | 93 |  |  |  |  |  |
|  | 89                       | 92 | 94 | 95 |  |  |  |  |  |
| Zone residenziali, lotti fino a 500 m² (area impermeabile 65%) Zone residenziali, lotti di 500 + 1000 m² (area impermeabile 38%) Zone residenziali, lotti di 1000 + 1500 m² (area impermeabile 30%) Zone residenziali, lotti di 1500 + 2000 m² (area impermeabile 25%) Zone residenziali, lotti di 2000 + 5000 m² (area impermeabile 20%) Zone residenziali, lotti di 5000 + 10000m² (area impermeabile 12%) | 77                       | 85 | 90 | 92 |  |  |  |  |  |
|  | 61                       | 75 | 83 | 87 |  |  |  |  |  |
|  | 57                       | 72 | 81 | 86 |  |  |  |  |  |
|  | 54                       | 70 | 80 | 85 |  |  |  |  |  |
|  | 51                       | 68 | 79 | 84 |  |  |  |  |  |
|  | 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 |  |  |  |  |  |

Tabella 1: valore del parametro CN II in funzione dell'uso del suolo e della litologia dell'area.



Il valore di *CN* riportato nella tabella rappresenta quello in cui le condizioni di umidità antecedenti l'evento in fase di studio sono medie *CN (II)*. Il *CN (I)* invece è quello in cui le condizioni precedenti l'evento sono relativamente secche, quindi il suolo avrà una buona capacità di assorbimento e infiltrazione. All'opposto

il *CN (III)* rappresenta condizioni pre-evento umide. L'indicatore delle condizioni d'umidità precedenti è denominato *AMC* (Antecedent Moisture Conditions). Il valore di *AMC* è quindi definito a seconda dell'altezza di pioggia caduta nei cinque giorni precedenti (vedi tabella seguente).

| Periodo vegetativo   | Riposo vegetativo  | АМС |
|--|--|-----|
| Altezza di precipitazione caduta nei cinque<br>giorni precedenti l'evento minore di 35mm   | Altezza di precipitazione caduta nei cinque<br>giorni precedenti l'evento minore di 13mm   | I   |
| Altezza di precipitazione caduta nei cinque<br>giorni precedenti l'evento tra 35 e 53mm    | Altezza di precipitazione caduta nei cinque<br>giorni precedenti l'evento tra 13 e 28mm    | II  |
| Altezza di precipitazione caduta nei cinque<br>giorni precedenti l'evento maggiore di 53mm | Altezza di precipitazione caduta nei cinque<br>giorni precedenti l'evento maggiore di 28mm | III |

Tabella 2: indicazione del valore di AMC (Antecedent Moisture Content) del terreno a seconda delle condizioni pre-evento.

Tuttavia, ai fini progettuali, si utilizza il valore più cautelativo, ovvero AMC (III). Per passare dai valori di CN (II) solitamente forniti dalle tabelle (vedi Tabella 1) a CN (III) si utilizza la seguente formula:

$$CN(III) = \frac{23 CN(II)}{10 + 0.13 CN(II)}$$
 Eq. 6



# 2.5 LA PORTATA DI PROGETTO: METODO RAZIONALE

Una volta calcolati i tempi di corrivazione e il valore della pioggia efficace è possibile calcolare la portata in funzione del tempo per la sezione di chiusura del bacino in esame. Tra le diverse metodologie, si riporta quella del metodo razionale. Tale sistema risulta affidabile su bacini di superficie ridotta (< 2-3 km²), ma è anche possibile applicarlo a fini progettuali a bacini di dimensioni più grandi (fino a 50 km²). Il metodo razionale assume tre ipotesi: la pioggia è di intensità costante sull'intera superficie del bacino, la durata critica della precipitazione è uguale al tempo di corrivazione del bacino e l'idrogramma di piena (Q = f(t)) è di forma triangolare isoscele con durata totale pari al doppio del tempo di corrivazione. In particolare viene utilizzato il tempo di pioggia uguale al tempo di corrivazione perché questa è la condizione in cui la portata di piena è massima. Infatti più si alza la durata della precipitazione, più l'intensità diminuisce. Al contrario se il tempo di precipitazione è minore del tempo di corrivazione, solo una parte della superficie del bacino in esame contribuirà alla produzione della portata al picco.

La formula finale per il calcolo della portata al picco  $(Q_7)$  è:

$$Q_T = \frac{P_e A}{3.6 t_p}$$
 Eq. 7

dove la superficie del bacino è espressa in km², il tempo di pioggia in ore, la pioggia efficace in mm. Il risultato della portata al picco è quindi espresso in m3/s. Al valore della portata al picco data dall' eq.7 deve essere eventualmente aggiunta la portata di base

# 建

# 3 IL DEFLUSSO IN AMBITO URBANO E IL PRINCIPIO DELL'INVARIANZA IDRAULICO-IDROLOGICA

# legge regione Veneto n° 1322/2006

Dato il progressivo aumento delle zone impermeabili provocato dall'espansione delle aree urbane e industriali, gli strumenti urbanistici e i regolamenti edilizi sono obbligati a recepire le disposizioni in materia di invarianza idraulica al fine di prevenire e al più mitigare i fenomeni di alluvione e dissesto idrogeologico causati dagli eventi meteorici più estremi. A livello nazionale la norma che regola la gestione dei deflussi idrologici e delle risorse idriche è il T.U. sull'ambiente (D.L. n° 152/2006). In particolare, la parte III del testo reca il titolo: "Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche". Visto che la normativa nazionale demanda alle regioni (art. 61) il compito di legiferare su tale argomento, la regione Veneto con delibera nº 2948/2009 ha emanato l'Allegato A al D.G.R. n. 1322/2006. Nell'allegato vengono indicate le modalità operative e le indicazioni tecniche per quanto concerne le nuove valutazioni di compatibilità idraulica per la redazione degli strumenti urbanistici in materia di invarianza idraulica--idrologica.

In particolare, il concetto di invarianza idraulica mira ad evitare l'aggravio delle condizioni del regime idraulico delle aree in cui si prevede un aumento della superficie impermeabilizzata, prevedendo in alcuni casi la realizzazione di idonee infrastrutture al fine di compensare l'alterazione al regime idrico provocata dal cambio d'uso del suolo. Le misure compensative hanno l'obiettivo ultimo di mantenere o al più migliorare la risposta idrologico-idraulica dei volumi di deflussi generati da interventi che vanno ad aumentare la superficie impermeabile del lotto.

L'allegato A della Delibera regionale fornisce una classificazione dimensionale degli interventi urbanistici in base al quale scegliere il tipo di indagine idraulica da attuare e le conseguenti tipologie di infrastrutture/ dispositivi da adottare. La classificazione si basa sulla superficie per cui è prevista la modifica dell'uso del suolo e ad ogni classe viene assegnato un criterio di dimensionamento da adottare, al fine di limitare la portata di deflusso generata dalla variazione d'uso del suolo.

| Classe | Riferimento | Classificazione intervento                   | Soglie dimensionali                | Criterio da<br>adottare      |   |
|--------|-------------|--|------------------------------------|------------------------------|---|
| 1      | Ordinanze   | Trascurabile impermeabilizzazione potenziale | S* < 200 mq                        | 0                            |   |
| 2      | Ordinanze   | Modesta impermeabilizzazione                 | 200 mq < S* < 1.000 mq             | 1                            |   |
| 3      |             | Modesta impermeabilizzazione potenziale      | 1.000 mq < S < 10.000 mq           | 1                            |   |
|        | D.G.R.      | D.G.R.                                       | Significativa impermeabilizzazione | 10.000 mq < S < 100.000 mq / | 2 |
| 4      | 1322/06     | potenziale                                   | S> 100.000 mq e Φ < 0,3            | 2                            |   |
| 5      |             | Marcata impermeabilizzazione potenziale      | S> 100.000 mq e Φ < 0,3            | 3                            |   |

Tabella 3: tipologia di criterio da adottare per il calcolo dell'invarianza idraulica secondo l'allegato A della delibera regionale in funzione delle dimensioni del progetto e del tasso di impermeabilizzazione della superficie.

Le classi in cui ricadono gli interventi descrivono gli accorgimenti che devono essere intrapresi per la realizzazione del progetto:

Classe 1: È sufficiente adottare buoni criteri costruttivi per ridurre le superfici impermeabili, come aumentare il tasso di infiltrazione nelle zone adibite a parcheggi, prevedere l'installazione di tetti verdi ecc.

Classe 2: È opportuno sovradimensionare la rete rispetto alle sole esigenze di trasporto della portata di picco realizzando volumi compensativi a cui affidare le funzioni di laminazione delle piene. In questi casi è opportuno che le luci di scarico non eccedano le dimensioni di un diametro di 200 mm.

Classe 3: Oltre al dimensionamento dei volumi compensativi a cui affidare la funzione di laminazione dei deflussi è necessario che le luci di scarico non eccedano le dimensioni di un diametro di 200 mm e che i tiranti idrici ammessi nella rete idrografica non eccedano il metro.

Classe 4: Andranno dimensionati i tiranti idrici ammessi nell'invaso e le luci di scarico in modo da garantire la conservazione della portata massima defluente dall'area in trasformazione ai valori precedenti l'impermeabilizzazione.

Classe 5: È richiesta la presentazione di uno studio di dettaglio di tipo idrologico – idraulico approfondito all'ente gestore della rete idrografica. Quest'ultimo può richiedere modifiche o porre limiti ai valori di volumi o di portata generati.



# 3.1 I NUOVI REGOLAMENTI EDILIZI DEI COMUNI DI SANTORSO E MARANO VICENTINO

Al fine di ridurre gli impatti sul consumo del suolo e le conseguenti alterazioni alla naturale circolazione delle acque, nell'ambito del progetto BEWARE, i Comuni di Santorso e Marano Vicentino hanno adottato delle nuove norme in materia edilizia. Di seguito si riporta l'estratto del regolamento.

Gli interventi di nuova costruzione, ampliamento, ristrutturazione ex art. 10 DPR 380/2001 e demolizione e ricostruzione, devono prevedere:

· un'estensione minima della superficie filtrante a verde pari al 25% della superficie impermeabile dell'intervento di nuova costruzione, ovvero un'estensione della superficie filtrante a verde almeno pari a quella esistente per gli interventi di ristrutturazione ex art.10 DPR 380/2001 e demolizione e ricostruzione. È considerata superficie filtrante, la superficie sistemata a verde, non costruita né fuori terra né in sottosuolo (i.e. una superficie a verde sovrapposta a una soletta non può essere considerata superficie filtrante). La suddetta superficie deve essere utilizzata in modo da non provocare l'inquinamento del sottosuolo secondo la normativa vigente (art. 39 del Piano Regionale di Tutela delle Acque, Allegato A3 alla deliberazione del Consiglio Regionale n. 107 del 5/11/2009 e ss.mm. e ii.).

il rispetto del principio dell'invarianza idraulica, ovvero le portate di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei recettori naturali o artificiali devono essere mantenute invariate; ciò si ottiene attraverso l'adozione di sistemi per la gestione sostenibile delle acque di pioggia (acronimo SUDS, dalla nota definizione inglese Sustainable Urban Drainage Systems) preferendo, laddove possibile, quelli a basso impatto paesaggistico quali avvallamenti e rimodellazioni morfologiche del terreno, giardini pluviali, trincee drenanti, considerando in modo prioritario quelle tipologie di intervento che prevedano l'inserimento di vegetazione e consentano un utilizzo multifunzionale dell'opera (creazione di aree verdi e di svago).

Il dimensionamento di tali strutture può essere effettuato con diverse modalità a seconda dell'estensione dell'intervento, in ottemperanza delle indicazioni regionali in materia e descritte nel documento "Valutazione di compatibilità idraulica - Linee guida" edito nel 2009 dal Commissario Delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007 che hanno colpito parte del territorio della Regione del Veneto.

Nella seguente tabella si riassumono i criteri di classificazione degli interventi e i criteri da adottare nel dimensionamento delle misure per il mantenimento dell'invarianza idraulica.

| Soglie dimensionali     | Criteri da adottare  |
|-------------------------|--|
| S ≤ 1000 m <sup>2</sup> | Modalità di dimensionamento semplificata<br>(descritta nel presente regolamento)         |
| S > 1000 m <sup>2</sup> | Predisposizione della verifica di compatibilità<br>idraulica come da normativa regionale |

Tabella 4. Criteri da adottare ai fini del dimensionamento delle misure per il mantenimento dell'invarianza idraulica. S: superficie di riferimento per la quale è prevista la modificazione di uso del suolo



# Modalità di dimensionamento semplificata

Nella modalità di dimensionamento semplificata, l'acqua meteorica raccolta dalle superfici impermeabili non può essere convogliata direttamente alla rete di drenaggio, ma deve essere immessa in sistemi di laminazione ovvero di gestione sostenibile delle acque di pioggia che ne permettano l'accumulo, il riuso e/o l'infiltrazione nel sottosuolo. Il dimensionamento dei sistemi per il mantenimento dell'invarianza idraulica nella modalità semplificata deve seguire i criteri di Tabella 5. La tipologia di sistemi A), che include misure che garantiscono l'infiltrazione dell'acqua meteorica, è da preferire rispetto alla tipologia B), che ne permette il solo accumulo, e va utilizzata in modo prioritario ad esclusione dei casi in cui:

- la qualità delle acque da gestire non sia compatibile con la tutela qualitativa delle falde; (cfr. art. 39 del Piano Regionale di Tutela delle Acque, Allegato A3 alla deliberazione del Consiglio Regionale n. 107 del 5/11/2009 e ss.mm. e ii.).
- il processo di infiltrazione possa causare problemi di stabilità dei versanti o del sottosuolo;
- il processo di infiltrazione possa interferire con le fondazioni o anche i piani interrati degli edifici esistenti;
- il sito non sia adatto all'infiltrazione delle acque pluviali nel suolo e negli strati superficiali del sottosuolo: aree caratterizzate da falda subaffiorante, terreni poco permeabili.

| Tipologia  | Esempi  | Criterio di dimensionamento   |
|--|---|---|
| A) Sistemi che garantiscono il processo di infiltrazione | Giardini pluviali, aree di bioritenzione, vasche di laminazione con fondo permeabile, trincee drenanti, pozzi perdenti.           | Superficie infiltrante pari ad almeno<br>il 10 % della superficie impermeabile<br>scolante                |
| B) Sistemi che garantiscono il solo<br>accumulo          | Vasche di laminazione in calce-<br>struzzo, serbatoi interrati o fuori<br>terra, bacini di laminazione con<br>fondo impermeabile. | Volume invasabile pari ad almeno<br>30 litri per ogni metro quadro di<br>superficie impermeabile scolante |

Tabella 5. Criteri per il dimensionamento in modalità semplificata dei sistemi per la salvaguardia dell'invarianza idraulica

Nella modalità di dimensionamento semplificata, il verde pensile o tetto verde, permette di applicare un coefficiente di riduzione K nel calcolo della superficie impermeabile scolante (solo per la superficie impermeabile coperta dal sistema a verde pensile). K è pari a 0.7 nel caso di verde pensile estensivo e pari a 0.5 nel caso di verde pensile intensivo (spessore del substrato di coltivazione maggiore di 20 cm). La superficie impermeabile scolante viene quindi calcolata come la somma della superficie impermeabile non coperta da verde pensile, più la superficie a verde pensile moltiplicata per il coefficiente K

La superficie coperta da pavimentazione permeabile, invece, non rientra nel calcolo della superficie imper-

meabile. Sono infatti considerate filtranti soluzioni alternative, come superfici in ghiaia o pavimentazioni permeabili, che non compromettano la permeabilità del terreno e, in ogni caso, che garantiscano una permeabilità di almeno 2500 mm/ora (da scheda tecnica fornita dal produttore della pavimentazione utilizzata).

Per gli interventi che prevedono la riduzione della superficie impermeabile esistente di almeno 50 mq e la sua sostituzione con superficie filtrante a verde o con soluzioni filtranti alternative che garantiscano una permeabilità di almeno 2500 mm/ora, si prevede un incentivo pari ad un aumento del 5% del volume o a una riduzione del 10% del costo di costruzione.



# 3.2 CALCOLO PORTATA E VOLUMI DI PROGETTO

Con la regolamentazione della Regione Veneto sopra riporta, si deve quindi provvedere all'invarianza idraulica e idrologica. Il concetto di invarianza idraulica ha come obiettivo quello di non far aumentare il picco della portata, mentre l'invarianza idrologica ha come riferimento quello di non far aumentare i volumi di piena. L'invarianza idrologica risulta più difficile da ottenere e solitamente richiede la progettazione di nuove infrastrutture. In particolare, si possono gestire i volumi derivanti da piogge tramite:

- Volumi idrici di detenzione: progetti che mirano all'immagazzinamento e al lento rilascio del volume accumulato.
- Volumi idrici di ritenzione: progetti che mirano a ridurre lo scorrimento superficiale favorendo il processo di infiltrazione e evapotraspirazione.

Le tipologie di progetti che possono essere implementate per raggiungere l'invarianza idraulica e idrologica possono essere riassunte e rappresentate dalla seguente figura.

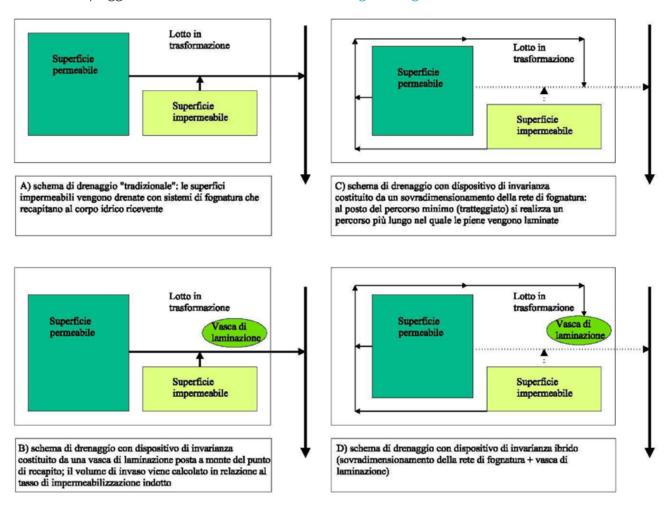


Figura 2: rappresentazione delle tipologie di interventi che si possono implementare per il mantenimento dell'invarianza idraulica (fonte: Regione Veneto, 2009²).

In particolare il volume d'acqua derivante da una zona in cui il grado di impermeabilizzazione è aumentato deve essere gestito da una determinata zona di invaso atta a laminare le piogge meteoriche. Schematizzando, si avrà quindi un'area da cui proviene il volume

d'acqua generato dalla precipitazione e una zona di laminazione con volume d'invaso (W) definito.  $Q_e$  (t) rappresenta la portata prodotta dal bacino e che entrerebbe temporaneamente nell'area di laminazione in progetto e  $Q_u$  (t) è la portata uscente dall'area d'invaso progettata per la laminazione del flusso.

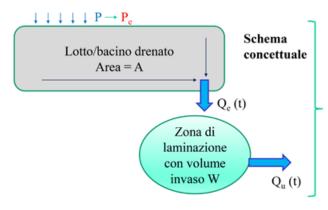


Figura 3: schema di funzionamento di una zona di laminazione dei deflussi.

Il rapporto  $\eta = \frac{Q_{u,max}}{Q_{e,max}}$  rappresenta il rapporto di laminazione: minore è il suo valore e maggiore sarà l'efficienza del sistema di laminazione.

In questo capitolo vengono esplicitati due procedure per il calcolo della portata entrante in un sistema di laminazione e la relativa portata uscente a partire dalla precipitazione meteorica. I risultati di tali elaborazioni saranno i successivi dati di input utilizzati in fase di dimensionamento delle opere.

# 3.2.1 Metodo delle sole piogge<sup>3</sup>



Il metodo delle sole piogge semplifica il fenomeno di afflusso - deflusso assumendo l'equazione dei serbatoi in luogo dell'equazione di continuità delle correnti unidimensionali. Il calcolo del volume d'invaso dell'opera si basa sulla sola curva di possibilità pluviometrica e sulla portata massima d'uscita, ipotizzata costante nel tempo. Il metodo fornisce un risultato cautelativo poiché stima in eccesso il volume entrante nell'invaso (trascura le perdite e i processi di laminazione che si verificano nell'area scolate).

Il volume entrante ( $W_e$ ) è determinato dal prodotto tra superficie del bacino sotteso (A) per la pioggia efficace di dato tempo di ritorno e durata. La risposta idrologica del sistema bacino può essere calcolata adottando un coefficiente di deflusso (c). Il volume entrante nell'invaso sarà quindi pari a:

$$W_a = P_a A = A c h(t) = A c a t_{cr}^n$$
 Eq. 8

dove a e n sono i coefficienti delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica e tcr rappresenta la durata critica dell'evento di pioggia di progetto. In questa applicazione è implicito il fatto che la pioggia duri di più del tempo di corrivazione del bacino.

Il volume in uscita dall'invaso (Wu) è quindi definito costante e calcolato come prodotto tra la portata uscente (Qu, solitamente uguale al coefficiente udometrico ammesso u) per la durata critica.

$$W_{u} = Q_{u} t_{cr}$$
 Eq. 9

L'altezza della lama d'acqua in uscita dalla vasca sarà data dal rapporto con l'area del bacino scolante:

$$W_{y}/A = Q_{y} t_{c}/A$$
 Eq. 10

E il volume invasato all'interno del serbatoio sarà quindi il bilancio tra volume entrante e uscente:

$$W = W_e - W_u$$
 Eq. 11

Ai fini della compatibilità idraulica, il metodo delle sole piogge individua il massimo volume ( $W_{max}$ ), come riportato nel grafico in Figura 4.

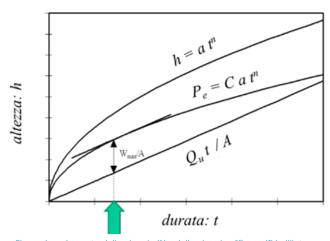


Figura 4: andamento della pioggia (ħ) e della pioggia efficace (P) all'interno del bacino e della portata alla sezione di chiusura in funzione del tempo. La freccia indica la dura critica che massimizza la differenza tra volume entrante e uscente.

<sup>3</sup> Sul sito di Beware, nella sezione materiale (https://www.lifebeware.eu/materiale/ ) c'è un tool online per l'applicazione semiautomatica del metodo

In termini matematici la condizione di massimo è data dalla seguente formula:

$$W_{max} = A c a t_{cr}^{n} - Q_{u} t_{cr}$$
 Eq. 12

dove

$$t_{cr} = \left(\frac{Q_u}{A \cdot c \cdot a \cdot n}\right) \frac{I}{n - I}$$
 Eq. 13

 $W_{max}$  è in definitiva il volume che deve invasare l'opera in progetto per garantire la compatibilità idraulica.

In termini matematici la condizione di massimo è data dalla seguente formula:

$$W_{max} = A c a t_{cr}^{n} - Q_{u} t_{cr}$$

dove

$$t_{cr} = \left(\frac{Q_{u,max}}{A \cdot c \cdot d \cdot n}\right) \frac{I}{n - I}$$
 Eq. 14

In base a tale valore di volume si andrà a dimensionare l'opera da realizzare.

# 3.2.2 Metodo dell'invaso cinematico

Il metodo dell'invaso cinematico prevede l'applicazione del metodo razionale per il calcolo della portata utilizzando, invece del tempo di corrivazione  $(t_c)$ , un tempo di pioggia  $(t_w)$  maggiore. Con questo assunto le condizioni di portata al picco saranno meno critiche, ma si massimizzeranno i volumi di deflusso che entreranno nell'invaso. Lo schema grafico di calcolo del volume di invaso (W) può essere rappresentato dalla Figura 5.

La soluzione matematica dell'invaso cinematico ai fini dell'individuazione della condizione di massimo del volume di invaso W sarà quindi data da un sistema di due equazioni:

$$\begin{cases} W = A \cdot C \cdot a \cdot t_w^n + \frac{t_c \cdot Q_u^2 \cdot t_w^{1-n}}{A \cdot C \cdot a} - Q_u \cdot t_w - Q_u \cdot t_c \\ t_w = t_c y \end{cases}$$
 Eq. 15

Dove y è funzione del rapporto di laminazione

$$\eta = \frac{Q_{u,max}}{Q_{e,max}}$$

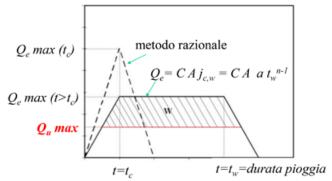


Figura 5: schema di calcolo della portata e del volume in ingresso in una zona di laminazione.

Per l'applicazione del metodo cinematico è quindi necessario conoscere il valore del tempo di corrivazione caratteristico dell'area indagata  $(t_c)$ . Una volta inseriti i parametri di input, il software permette di individuare in automatico il valore di y che massimizza W identificando quindi Wmax, ovvero il volume di invaso dell'opera in progetto.



# 3.3 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I volumi calcolati con il metodo delle sole piogge e con il metodo dell'invaso cinematico rappresentano i volumi minimi di invaso da realizzare al fine di garantire l'invarianza idraulica in termini di portata entrante al collettore principale. Per quanto riguarda le zone che ricadono nel criterio di progettazione 1, queste non necessitano della progettazione di un sistema di regolazione dello smaltimento delle acque. Tuttavia, è necessario che il condotto di deflusso sia protetto alla sezione di chiusura da una valvola di non ritorno di tipo a clapet per evitare ritorni di flussi dentro la zona di laminazione. Per gli interventi che ricadono nei criteri progettuali 2 e 3, i volumi calcolati devono convogliare il volume uscente ad un'opera di regolazione delle portate, per esempio una bocca tassata o una stazione di sollevamento.

Considerata la particolare condizione del territorio

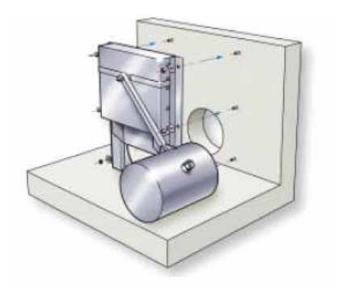


Figura 6: esempio di opera di regolazione delle portate tramite bocca tassata (fonte: Regione Veneto, 2009²).

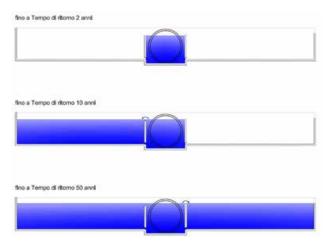


Figura 7: schema di funzionamento di un bacino di laminazione per diversi tempi di ritorno dell'evento meteorico (fonte: Regione Veneto, 2009²)..

della Regione Veneto, nel caso in cui il progetto ricada in area già urbanizzata, la portata massima in uscita del progetto non può generalmente essere superiore a 10 litri al secondo per ettaro (coefficiente udometrico ammesso, che può variare a seconda del contesto in cui si opera). In generale, il valore di portata uscente dalla zona oggetto di studio deve essere preventivamente discusso e concordato con gli uffici competenti degli enti gestori della rete idrografica. Questi potranno imporre condizioni di progetto più cautelative se l'area ricade in particolari condizioni di rischio idraulico o possibile sovraccarico della rete idrografica recettiva. Se inoltre si adottano vasche di laminazione, si consiglia di realizzare tre comparti separati, corrispondenti ciascuno ad 1/3 del volume necessario per far fronte a volumi di deflusso con un tempo di ritorno di 50 anni.

Inoltre l'ordinanza 1322/06 in materia di invarianza



idraulica oltre a definire i limiti della portata uscente da una zona di laminazione suggerisce:

- L'invarianza del punto di recapito: è infatti opportuno far defluire l'acqua generata nel medesimo collettore dello stato pre-sistemazione in modo da non aggravare altri corpi idrici.
- Mantenere le quote altimetriche: in passato la realizzazione di alcuni progetti ha portato al cambiamento della topografia dell'area con conseguente variazione del deflusso idrico. È quindi opportuno limitare il più possibile le variazioni altimetriche.
- Mantenere invariata la capacità di scolo delle aree limitrofe: un aspetto da considerare attentamente è la gestione dei deflussi che arrivano nell'area d'intervento. In alcuni casi gli interventi prevedono che la rete di scolo deve essere tombata. In tal caso la capacità di smaltimento potrà essere ridotta e potrebbe comportare l'impossibilità di scarico delle aree afferenti a tale sistema di smaltimento. È quindi opportuno in caso non sia possibile dimensionare in modo adeguato la rete tombata procedere alla realizzazione di una nuova rete di smaltimento dei deflussi. È comunque consigliato realizzare al confine delle aree di intervento dei fossi o piccole condotte in maniera da tenere idraulicamente separata il deflusso proveniente dalla nuova lottizzazione in progetto.

Infine, particolari condizioni al contorno potrebbero rendere impossibile il mantenimento dei criteri sopra elencati per il mantenimento dell'invarianza idraulica. In questo caso è necessario che il professionista responsabile della lottizzazione contatti gli enti responsabili che daranno disposizioni in merito all'attuazione del progetto.

Passando alla gestione delle acque dal punto di vista

qualitativo, queste in taluni casi non possono essere indirizzate direttamente alla rete idrografica principale. In linea generale, le acque di pioggia di non dilavamento possono essere fatte defluire direttamente alla rete idrografica esistente senza trattamento. Tuttavia, nei tessuti urbani densi, la rete di bonifica minore è ormai del tutto scomparsa. Il progettista deve quindi identificare la separazione del refluo in base alle qualità biochimiche. Il documento (Disciplina degli scarichi di acque bianche - Regolamento AATO Laguna di Venezia 29/04/2008 - Art.7 comma 5) a cui si rimanda specificamente definisce che il recapito delle acque bianche alla rete fognaria, o mista, deve essere previsto in caso di eccezionalità dell'evento e comunque questa operazione deve avere la durata minore possibile. È quindi essenziale indirizzare il deflusso superficiale qualitativamente idoneo a un qualsiasi corpo idrico superficiale. In altri casi sarà l'ufficio responsabile del sistema fognario a dare indicazioni progettuali precise in modo da non sovraccaricare il sistema (Art.11 comma 3 del regolamento). In fase di dimensionamento il limite tassativo imposto è pari al valore del coefficiente udometrico di 10 | s<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup> che in alcuni contesti urbani a forte copertura impermeabile è difficilmente realizzabile. Tuttavia, eccezioni possono essere date dall'ente gestore della rete idrografica che valuterà caso per caso fornendo indicazioni e limiti ammissibili.

Un'ultima indicazione riguarda le acque di prima pioggia: il regolamento definisce che per le acque di dilavamento cariche devono essere progettati sistemi di raccolta e laminazione prima di essere indirizzate alla rete di smaltimento. Tale volume deve essere almeno pari o superiore al volume della prima pioggia (art.11 comma 2).

# 4 METODI DI SCELTA DEI DRENAGGI URBANI SOSTENIBILI

Esistono diverse tipologie di dispositivi di drenaggio urbano sostenibili per il mantenimento dell'invarianza idraulica e idrologica. Tuttavia, ciascun sito ha delle caratteristiche uniche che influenzeranno la scelta del sistema di drenaggio più opportuno.

Al fine di individuare la soluzione più idonea all'area di interesse si deve tenere in considerazione delle:

- · Caratteristiche del suolo e uso del suolo
- · Caratteristiche qualitative e quantitative richieste
- · Caratteristiche estetiche ed ecologiche richieste

La maggior parte dei sistemi di drenaggio urbano sostenibili sono riportate nella seguente tabella a cui si fanno riferimento le caratteristiche d'intorno necessarie per la loro realizzazione e la loro efficacia

Per quanto riguarda le caratteristiche del suolo, queste possono restringere o precludere l'utilizzo di alcune infrastrutture di drenaggio. Le caratteristiche che influenzano la progettazione dei sistemi di drenaggio sono riportate in Tabella 6.

| Tipologia del sottosuolo                           | Caratteristiche sistema di drenaggio necessario   |
|--|---|
| Tipologia del sottosuolo                           | La funzione dei differenti dispositivi è molto dipendente dal sottosuolo<br>del terreno. Molti terreni permeabili possono accrescere alcuni dei pro-<br>cessi, ma possono impedirne altri (es. stagni e zone umide) impedendo la<br>ritenzione e la formazione di piscine d'acqua a meno che non si provveda<br>a rendere il terreno impermeabile con l'utilizzo di guaine impermeabili |
| Distanza minima richiesta della<br>falda acquifera | Dispositivi per l'infiltrazione dovranno posizionarsi ad una idonea altez-<br>za dalla falda affinchè il sistema possa operare con efficienza durante<br>precipitazioni eccezionali evitando il rischio di allagamento del sistema di<br>drenaggio dovuto alla saturazione della falda.   |
| Disponibilitá di spazi                             | Alcune tecniche richiedono la necessità di occupare più spazio di altre, sebbene questo non sia necessariamente un impedimento. In zone ad alta densità, ma anche in tutte le zone di sviluppo urgano dove siano presenti ampie zone aperte e campi gioco, si possono usare queste zone per la gestione di eventi estremi.  |

Tabella 6: caratteristiche dell'area che influenzano la progettazione di sistemi di drenaggio sostenibili (fonte: Regione Veneto, 2009²).

Le indicazioni (allegato A al DGR 1322) definiscono che in terreni ad elevate capacità di infiltrazione, (coefficiente di filtrazione maggiore di 10-3 m/s e frazione limosa inferiore al 5%), in cui la falda risulta sufficientemente profonda, è possibile realizzare sistemi di infiltrazione ricorrendo all'invarianza idraulica per il solo 50% dell'aumento di portata. I parametri assunti alla base del dimensionamento dovranno essere calcolati da prove sperimentali effettuate in campo. Se il progettista vuole aumentare tale capacità fino al 75%, si dovrà documentare la funzionalità del sistema a smaltire gli eccessi di portata provenienti da superfici impermeabili progettate, almeno per un tempo di ritorno di 100 anni in ambiente collinare e 200 anni in pianura.

La destinazione d'uso del suolo è un fattore importante per l'invarianza idraulica del sistema idrologico. Infatti in funzione di esso può essere necessario un trattamento delle acque raccolte prima di indirizzarle alla rete idrografica. Per le aree caratterizzate da media ed alta intensità può essere necessario trattare le acque di prima pioggia in funzione del recapito finale. Per quanto riguarda le strade si deve inoltre tenere in considerazione la quantità di traffico. Se questo è elevato viene richiesta una valutazione per definire i trattamenti richiesti.

Infine il sistema di drenaggio deve considerare la necessità di aumentare i valori estetici ed ecologici dell'area in cui è inserito. Tuttavia la futura manutenzione e gestione deve essere attentamente valutata. Questa deve essere inoltre già stabilita nei primi passi del processo di progettazione.

La Tabella 7 definisce alcuni parametri qualitativi dei sistemi di drenaggio più diffusi.

|        |                                     |               | PROC                        | ESSO      |            | G                | ESTION                    | ŧΕ                    |                                 |                                 | DESTIN | IAZIONI     | E D'USC     |                |             | SPA<br>DISPO | ZIO<br>NIBILE | TIP          |            |                                 | CHIO                    | INQU                       | JINAME              | NTO                          |        |                     |       |              |
|--------|-------------------------------------|---------------|-----------------------------|-----------|------------|------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------|-------------|-------------|----------------|-------------|--------------|---------------|--------------|------------|---------------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------|------------------------------|--------|---------------------|-------|--------------|
| Codice | DISPOSITIVO                         | Infiltrazione | Detenzione/<br>Attenuazione | Trasporto | Riutilizzo | Controllo locale | Controllo<br>nell'intorno | Contollo territoriale | Residenziale a<br>bassa densità | Residenziale ad<br>alta densità | Strade | commerciale | Industriale | di Riqualifica | Contaminata | Basso        | Alto          | Impermeabile | Permeabile | Riduzione picchi di<br>deflusso | Riduzione del<br>volume | Riduzione corpi<br>sospesi | Riduzione nutrienti | Riduzione metalli<br>pesanti | VALORE | VALORE<br>ECOLOGICO | соѕп  | MANUTENZIONE |
| D1     | Tetti verdi                         | •             | •                           |           | •          | •                |                           |                       | •                               | •                               |        | •           | •           | •              | •           | •            | •             | •            |            | MEDIO                           | MEDIO                   | ALTO                       |                     | MEDIO                        | BUONO  | BUONO               | ALTO  | ALTO         |
| D2     | Cisterne di<br>raccolta             |               | •                           |           | •          | •                |                           |                       | •                               | •                               |        | •           |             | •              | •           |              |               | •            |            | ALTO                            | ALTO                    | ALTO                       | BASSO               | MEDIO                        | BASSO  | ALTO                | ALTO  | ALTO         |
| D3     | Cisterne<br>domestiche              |               | •                           |           | •          | •                |                           |                       | •                               | •                               |        | •           |             | •              | •           |              |               | •            |            | BASSO                           | BASSO                   | BASSO                      | 84550               | BASSO                        | BASSO  | BASSO               | BASSO | BASSO        |
| D4     | Superfici<br>permeabili             | •             |                             |           | •          | •                |                           |                       | •                               | •                               |        | •           | •           | •              | •           | •            | •             | •            |            | BUONO                           | BUONO                   | ALTO                       | ALTO                | ALTO                         | BASSO  | MEDIO               | MEDIO | MEDIO        |
| D5     | Sistemi di<br>bioritenzione         | •             | •                           |           |            | •                | •                         |                       | •                               | •                               | •      | •           | •           |                | •           |              | •             | •            |            | MEDIO                           | MEDIO                   | ALTO                       | BASSO               | ALTO                         | MEDIO  | MEDIO               | MEDIO | ALTO         |
| D6     | Fasce di<br>infiltrazione           | •             |                             |           |            | •                | •                         |                       | •                               | •                               | •      | •           | •           |                | •           |              | •             |              |            | BASSO                           | BASSO                   | MEDIO                      | BASSO               | MEDIO                        | MEDIO  | MEDIO               | MEDIO | MEDIO        |
| D7     | Gallerie di<br>infiltrazione        | •             | •                           |           |            | •                | •                         |                       | •                               | •                               | •      | •           | •           |                | •           | •            | •             |              |            | MEDIO                           | ALTO                    | ALTO                       | MEDIO               | ALTO                         | BASSO  | BASSO               | BASSO | MEDIO        |
| D8     | Cisterne<br>Sotteranee              | •             | •                           |           | •          | •                | •                         |                       | •                               | •                               | •      | •           |             |                | •           | •            | •             |              |            | BUONO                           | BUONO                   | MEDIO                      | BASSO               | MEDIO                        | BASSO  | MEDIO               | MEDIO | BASSO        |
| D9     | Sistemi<br>modulari<br>geocellulari | •             | •                           |           |            | •                | •                         |                       | •                               | •                               |        | •           |             |                | •           |              | •             | •            |            | BUONO                           | BUONO                   | BASSO                      | nta                 | BASSO                        | BASSO  | BASSO               | BASSO | BASSO        |
| D10    | Bacini di<br>infiltrazione          | •             | •                           |           |            |                  | •                         |                       | •                               | •                               | •      | •           |             |                | •           |              | •             |              |            | мерю                            | BUONO                   | ALTO                       | MEDIO               | ALTO                         | BUONO  | BASSO               | BASSO | MEDIO        |
| D11    | Vassoi                              | •             | •                           | •         |            | •                | •                         |                       | •                               | •                               | •      | •           | •           |                | •           |              | •             | •            |            | MEDIO                           | MEDIO                   | ALTO                       | BASSO               | MEDIO                        | MEDIO  | MEDIO               | MEDIO | BASSO        |
| D12    | Bacini di<br>detenzione             | •             | •                           |           |            |                  | •                         | •                     | •                               | •                               | •      | •           | •           |                | •           |              | •             | •            |            | BUONO                           | BASSO                   | MEDIO                      | BASSO               | MEDIO                        | меою   | BASSO               | BASSO | BASSO        |
| D13    | Zone umide                          |               | •                           |           | •          |                  | •                         | •                     | •                               |                                 | •      | •           | •           |                | •           |              | •             | •            |            | BUONO                           | BUONO                   | ALTO                       | MEDIO               | ALTO                         | BUONO  | ALTO                | ALTO  | ALTO         |
| D14    | Stagni                              |               | •                           |           | •          |                  | •                         | •                     | •                               |                                 | •      | •           | •           |                | •           |              | •             | •            | •          | BUONO                           | BASSO                   | ALTO                       | MEDIO               | ALTO                         | BUONO  | MEDIO               | MEDIO | MEDIO        |

Tabella 7: valutazione di tipo qualitativo dei processi che sono favoriti dai principali sistemi di drenaggio urbano (fonte: Regione Veneto, 2009²).

# 5 DESCRIZIONE E PROGETTAZIONE DEI SUDS

In questo capitolo vengono descritti le diverse tipologie dei SuDS (Sustainable Urban Drainage Systems) con il relativo dimensionamento, descrizione dei materiali utilizzati costi e manutenzione necessaria per un corretto funzionamento. Vengono inoltre riportati pregi e limiti di ciascun sistema con relativi accorgimenti costruttivi. L'obiettivo ultimo di progettare sistemi SuDS è quello di ridurre l'impatto dello sviluppo urbano sul

ciclo idrologico attraverso soluzioni tecniche che consentono di mantenere o ripristinare le funzioni idrologiche e idrauliche originali del sito. Una progettazione ottimale di gestione sostenibile in-situ deve, quindi, ridurre al minimo i volumi di deflusso superficiale e conservare possibilmente i percorsi di flusso già naturalmente esistenti come richiesto dalla regolamentazione in materia di invarianza idraulica e idrologica.

# 5.1 SERBATOI FUORI TERRA

I serbatoi permettono di immagazzinare l'acqua meteorica che cade su coperture e superfici impermeabili (tipicamente quella raccolta dai tetti degli edifici) per poi essere riutilizzata per scopi non potabili come l'irrigazione, approvvigionamento idrico a scopo di antiincendio o nei sistemi di gestione idrica più virtuosi, il riempimento delle cassette dei WC e l'utilizzo in lavatrici.

In questo capitolo consideriamo i serbatoi fuori terra per l'immagazzinamento di acqua per uso irriguo (giardino, orto). I serbatoi sono solitamente localizzati all'esterno degli edifici in vicinanza delle condotte di deflusso da cui viene preso un determinato volume. L'effetto di mitigazione del deflusso è funzione diretta della dimensione del serbatoio, e visto che sono installate all'esterno le loro capacità sono vincolate dallo spazio disponibile. Solitamente non presentano un sistema di pompaggio dell'acqua e quindi devono essere posizionate a quota inferiore rispetto alla superficie che genera il deflusso.



# 5.1.1 Dimensionamento

Il dimensionamento di tali strutture risulta immediato attraverso l'applicazione dell'equazione di continuità. Noto l'idrogramma di ingresso (stima di afflusso-delusso della superficie considerata) e quello in uscita previsto, la variazione del volume invasato è pari a:

$$\Delta W = (Q_E - Q_U) \Delta t$$
 Eq. 16

Dove  $Q_{\scriptscriptstyle E}$  è la portata che entra e  $Q_{\scriptscriptstyle U}$  quello uscente nell'intervallo di tempo  $\Delta t$ . Parametro fondamentale per il dimensionamento di tali strutture è la durata di progetto della precipitazione, da cui dipende il volume potenziale di accumulo. In linea di massima è buona norma scegliere un valore di un'ora circa. In alternativa è possibile utilizzare il metodo delle sole piogge o il metodo cinematico, descritti nel capitolo 3.

In linea generale, il serbatoio dovrebbe comunque avere una capacità d'accumulo nel range 30 – 90 l/m² di superficie impermeabile gestita. Quando il volume invasabile è stato raggiunto entrerà in funzione il troppo pieno, comportando la perdita dell'effetto di laminazione. L'allaccio del troppo pieno alla struttura di smaltimento dei deflussi deve comunque seguire i valori prescritti dalla regolamentazione in termini di portata uscente. Nel caso in cui una cisterna non fosse sufficiente a determinare un consistente effetto di laminazione è possibile l'installazione di più cisterne in serie.

# 5.1.2 Materiali e installazione

Le forme delle cisterne superficiali sono fondamentalmente di tre tipi: cilindri, parallelepipedi e panettoni. Il materiale utilizzato è solitamente plastico non trasparente (anti raggi UV) oppure acciaio zincato. Le cisterne devono necessariamente essere trattate contro alghe e mucillagini per non compromettere la qualità dell'acqua raccolta nel tempo. Il volume accumulabile di una singola cisterna va dai 100 ai 15000 l.

Per quanto riguarda l'installazione, le cisterne più piccole possono essere posizionate direttamente in loco. Se il volume invasabile aumenta si dovrà progettare una struttura di fondazione dimensionata rispetto al peso a pieno carico. A seconda della provenienza (tetti o pavimentazioni o parcheggi), le acque devono essere trattate prima del loro utilizzo. La connessione tra cisterna e impianto di scolo deve essere effettuata in modo da non creare turbolenze nella vasca al fine di mantenere un flusso continuo e stabile. Deve inoltre essere predisposto un bypass che si attivi quando la vasca è completamente piena e anche un troppo pieno per sicurezza ulteriore. Il serbatoio deve avere una valvola di non ritorno nel bypass per evitare l'entrata di acque dalla fognatura. Infine, il serbatoio deve essere dotato di un'apertura per l'ispezione e pulizia e avere un rubinetto per permettere l'utilizzo dell'acqua raccolta e lo svuotamento del sistema.

È fondamentale la presenza di un sistema di trattamento delle acque per ridurre la componente grossolana presente. Nel caso in cui venisse installato in luogo chiuso è meglio predisporre un sistema di smaltimento dell'acqua in caso di eventuale fuoriuscita/perdite.

| Tipologia              | Volume accumulabile (I) |
|------------------------|-------------------------|
| Cilindrico orizzontale | 1000-15000              |
| Cilindrico verticale   | 200-10000               |
| Panettone              | 500-14300               |
| Parallelepipedo        | 300-2000                |

Tabella 8: descrizione schematica delle principali tipologie di serbatoi fuori terra per l'accumulo dell'acqua di deflusso.

# 5.1.3 Costi e manutenzione

Il report dei costi degli interventi realizzato nell'ambito del progetto BEWARE, e consultabile a questo link, ha analizzato 4 fonti di dati lo scopo di fornire delle indicazioni sul possibile range di costi che è necessario affrontare per la realizzazione delle diverse tipologie di intervento. I risultati ottenuti per i serbatoi sono riportati in Tabella 9.

L'analisi delle informazioni ricavate dalle diverse fonti ha portato a considerare costi diversi per serbatoi a capienza elevata, e serbatoi a capienza ridotta per installazione a vista in giardini. Per la stima dei serbatoi piccoli sono stati presi in considerazione i valori riportati dalle diverse fonti; in particolare l'analisi di mercato ha permesso di stimare i seguenti valori minimi e massimi di circa 0,6 €/l e 2,6€/l. Per quanto riguarda la stima dei costi sostenuti per la realizzazione dei serbatoi di grandi dimensioni l'intervallo di valori è coerente tra tutte le fonti ed è quello riportato in Tabella 9. Riassumendo, si considera di utilizzare un intervallo di prezzo compreso tra 0,11 e 0,70 € per ogni litro di capienza per i serbatoi a capienza elevata e valori tra i 100 e i 500 € (valore medio pari a 300 €) per serbatoi a capienza ridotta per installazione a vista in giardini privati.

|                            | Costo minimo | Costo massimo | Costo medio |
|----------------------------|--------------|---------------|-------------|
| Serbatoio X < 500L         | 0,6 €/I      | 2,6 €/I       | 1,6 €/I     |
| Serbatoio 1000 < X < 13000 | 0,12 €/mq    | 0,70 €/mq     | 0,43 €/mq   |

Tabella 9: riassunto dei costi di acquisto (esclusa l'installazione e opere accessorie) di una cisterna posizionata fuori terra per la raccolta delle acque di dilavamento.

A tali costi di acquisto della cisterna vanno aggiunti quelli della messa in posa e di eventuali spese derivanti da opere accessorie. Tali costi normalmente aumentano in funzione della dimensione della cisterna. La manutenzione risulta relativamente semplice, consistendo nella pulizia ordinaria e straordinaria del serbatoio. Con la prima si andrà a controllare e pulire il funzionamento del filtro in ingresso e quello della pompa, se installata. Quella straordinaria consiste nello svuotamento della vasca, rimozione dei detriti presenti nella vasca e revisione della girante della pompa, se installata.

# 5.2 SERBATOI INTERRATI

I serbatoi interrati hanno lo stesso sistema di funzionamento di quelli posti fuori terra. Come dice il nome stesso questi serbatoi sono posizionati sotto il piano campagna ad una profondità che abitualmente varia tra i 2 e i 6 metri. Lo spessore di ricoprimento è indicato generalmente nell'ordine di 2 m. Come nel sistema precedente, il volume accumulabile necessario per ridurre il deflusso superficiale è nel range di 30-90 l/m² rispetto la superficie scolante.

#### 5.2.1 Dimensionamento

Il dimensionamento delle cisterne sotterrane è esattamente analogo a quello delle cisterne fuori terra. Ciò che varia è il sistema di pompaggio che richiedono queste cisterne visto il loro posizionamento sotto il piano campagna. Esso è rappresentato, in via cautelativa, da due pompe che lavorano in parallelo, dotate di inverter. I terreni ottimali per l'installazione sono quelli argillosi per la facilità di scavo. Sono assolutamente controindicate il posizionamento in terreni non stabili: franosi, paludosi o che non consentano il drenaggio profondo. Inoltre la cisterna non deve essere posizionata in zone ad elevata pendenza o dove il deflusso superficiale è intenso. Come riportato nel capitolo precedente se le acque intercettate provengono da tetti sopraelevati non è necessario un loro trattamento. Se invece si prevede l'entrata di acque da dilavamento, occorre predisporre un sistema di trattamento almeno per il volume di acque di prima pioggia. Infine per avere sempre un margine di sicurezza occorre predisporre un pozzo di drenaggio che si attivi in caso di sovraccarico dell'impianto.

#### 5.2.2 Materiali e installazione

Le tipologie di cisterne sotterranee si dividono in due grosse categorie in base al materiale costruttivo utilizzato: plastica e calcestruzzo. Le prime si distinguono a loro volta in tre tipologie e risultano simili a quelle installate fuori terra. Quelle in calcestruzzo si dividono in prefabbricate (moduli costruiti e successivamente trasportati) oppure posate in opera. Nella seguente tabella vengono riportate le tipologie di cisterne più frequentemente utilizzate con associato un range di volume invasabile.

| Materiale                 | Tipologia e<br>forma                     | Volume<br>accumulabile (I) |  |  |  |  |  |
|---------------------------|--|----------------------------|--|--|--|--|--|
|                           | Panettone                                | 750 - 2,000                |  |  |  |  |  |
| Polietilene<br>(materiale | Cilindrica<br>orizzontale o<br>verticale | 2,000 - 3,000              |  |  |  |  |  |
| plastico)                 | Composta da<br>elementi mo-<br>dulari    | 10,000 - 35,000            |  |  |  |  |  |
|                           | Prefabbricata                            | 1,000 - 30,000             |  |  |  |  |  |
| Calcestruzzo              | Posata in opera<br>con armatura          | 8,000 - 50,000             |  |  |  |  |  |

Tabella 10: tipologie di cisterne interrate per l'accumulo dell'acqua piovana.

Il processo di interramento della vasca ricopre un aspetto fondamentale per il corretto funzionamento del sistema di recupero delle acque. È quindi necessario tenere in considerazione le caratteristiche del terreno su cui viene installata la vasca oltre alla destinazione d'uso della superficie che la ricopre (pedonabile o carrabile). Per lo scavo deve essere calcolata una distanza di 30 cm in più rispetto alle dimensioni della cisterna per il suo collocamento. In funzione della tipologia di terra si devono osservare diversi angoli di scavo. In linea generale per terre soffici l'angolo deve essere inferiore a 45°, mentre per quelle a media durezza minore di 60° e per scavi in roccia si può arrivare a valori di 80°.

Una volta effettuato lo scavo, il serbatoio deve essere posizionato perfettamente in piano e al di sopra di 15 - 20 cm di sabbia non riciclata. Va verificato infine la stabilità del terreno su cui poggia tenendo in considerazione il peso a pieno carico della cisterna. Il terreno deve essere sufficientemente solido, altrimenti si dovrà realizzare una fondazione (specialmente se la falda è superficiale). In caso di terreni argillosi è bene realizzare sul fondo della buca un adeguato sistema drenante in modo da favorire il deflusso in tempi rapidi. Se l'installazione è prevista in pendenza, è buona norma valutare la progettazione di muri di contenimento in calcestruzzo per aumentarne la stabilità. Una volta posizionata la cisterna il riempimento deve avvenire per strati successivi in modo da riempire in modo omogeneo tutti gli spazi. Durante il riempimento della buca è buona norma riempire anche la vasca per evitare che la terra generi compressioni eccessive, danneggiando la vasca. È consigliabile lasciarla piena per un paio di giorni, fino al completo assestamento della terra nel suo intorno. Una volta ultimato il riempimento la superficie potrà essere pedonabile o carrabile, ma avendo cura di non gravare sul coperchio d'ispezione. Per i sistemi che si compongono di una serie di cisterne, gli scavi devono avere un'interdistanza di almeno un metro. Se ciò non fosse possibile si deve realizzare un muro portante di almeno 20 cm.

#### 5.2.3 Costi e manutenzione

Le cisterne in polietilene hanno un costo per litro di volume invasato di 0.4 - 0.5 €, per cisterne comprese tra i 1200 e i 5000 l. sempre nello stesso range di dimensioni le cisterne in cemento prefabbricato hanno un costo di 0.31 - 0.71 €/l. Tali valori sono molto simili a quelli per le cisterne fuori terra, ma in questo caso si devono aggiungere i costi di interramento che sono all'incirca di 20 €/l. Infine per i sistemi di accumulo di acqua realizzati in calcestruzzo gettato in opera, i costi oscillano tra 0.34 - 0.92 €/l per cisterne tra 8000 - 30000 l.

A tali costi di realizzazione si devono prevedere delle operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria. I primi consistono nel controllo del corretto funzionamento delle pompe, del sistema di troppo pieno e nella valutazione della quantità di sedimento nella cisterna. Con la manutenzione straordinaria si andrà a revisionare le pompe, svuotare le vasche e raccogliere il materiale solido che si è accumulato nella cisterna.

A titolo di esempio una villetta unifamiliare che vuole dotarsi di un impianto di recupero delle acque pluviali deve investire una cifra di circa 4,000 - 5,000 €. Tuttavia, anche se tale spesa può sembrare onerosa i vantaggi economici e ecologici a lungo termini sono indiscussi.

# 5.3 POZZI DISPERDENTI

L'intervento consiste nella realizzazione di una buca che successivamente viene riempita di materiale inerte caratterizzato da un amplio volume di vuoti. Sono molto utili nel contesto urbano grazie alla ridotta dimensione e dove il terreno è poco permeabile. Necessitano di uno spazio molto contenuto per la loro realizzazione pari circa all'1% della superficie drenata. Il meccanismo di funzionamento consiste nel raccogliere e facilitare il processo di infiltrazione delle acque meteoriche. Tuttavia, le acque di dilavamento devono essere poco inquinate, altrimenti queste devono essere preventivamente trattate.



Figura 9: posa in opera del pozzo perdente realizzato nell'ambito del progetto LIFE BEWARE presso Corte Acquasaliente (per ulteriori immagini dell'intervento guarda il video al link https://youtu.be/Owlrip5QYLU).

### 5.3.1 Dimensionamento

I parametri di dimensionamento dei pozzi disperdenti sono la profondità e diametro. Il calcolo viene effettuato fissando il numero di opere che serve una determinata area drenata. La portata uscente ( $Q_{\it u}$ ) prodotta dall'infiltrazione può essere calcolata dalla seguente equazione.

$$Q_{u} = \frac{K}{2} \left( \frac{L+z}{L+z/2} \right) A_{f}$$
 Eq. 17

In cui K è la permeabilità in condizioni insature e quindi nell'eq. 16 viene dimezzata, z l'altezza dello strato

drenante del pozzo, L il dislivello fra il fondo del pozzo e il livello della falda e  $A_f$  la superficie orizzontale effettiva (quella di un anello di larghezza z/2). In via cautelativa non si tiene conto della capacità drenante del fondo del pozzo in quanto tende ad occludersi facilmente.

Oltre alla funzione di aumento del processo di infiltrazione i pozzi disperdenti possono accumulare acqua coprendo anche un ruolo, seppur basso, di laminazione dei deflussi in funzione della loro capacità d'invaso.

# 5.3.2 Materiali e installazione

I pozzi disperdenti attualmente sul mercato consistono in sistemi modulari impilabili formati da anelli fenestrati in calcestruzzo vibrocompresso. I diametri più diffusi in commercio sono variabili tra i 100 e 200 cm per un'altezza di 15 – 50 cm. La capacità totale di invaso varia tra i 300 e 9000 litri.

In Tabella 11 vengono riportati i volumi che possono drenare i pozzi disperdenti e le relative superfici scolanti che possono servire. L'altezza del pozzo rimane costante pari a circa 2 / 3 metri.

| Diametro (cm) | Volume invasabile (I) | Superficie scolante servite (m2) e permeabilità del terreno |             |             |
|---------------|-----------------------|---|-------------|-------------|
|               |                       | Bassa   | Media       | Alta        |
| 100           | 1576 - 2358           | 175 - 260   | 280 - 420   | 700 - 1045  |
| 125           | 2452 - 3678           | 315 - 475   | 510 - 760   | 1270 - 1900 |
| 150           | 3532 - 5298           | 390 - 590   | 630 - 940   | 1570 - 2350 |
| 200           | 6280 - 9420           | 690 - 1050  | 1100 - 1675 | 2740 - 4180 |

Tabella 11: calcolo della superficie scolante servita di un pozzo disperdente secondo il suo diametro e tipologia di terreno

Il posizionamento del pozzo è fondamentale per un suo buon funzionamento. A seconda della tipologia del terreno le pareti di scavo possono essere di diversa inclinazione (vedi capitolo precedente sull'installazione delle cisterne interrate). Sul fondo dello scavo viene posto uno strato di sabbia e pietrisco per uno spessore consigliato di 40 - 50 cm. Gli anelli che costituiscono il pozzo devono essere appoggiati uno sull'altro a secco senza sigillature. Il pozzo deve essere collegato alla rete di drenaggio ad uno quota di -0.5 m rispetto al piano terreno per evitare fenomeni di congelamento e rendere il pozzo carrabile. Attorno agli anelli di cemento viene posizionato del pietrisco per uno spessore in senso orizzontale di 0.8 - 1.0 m a granulometria crescente verso il centro. Tra il pietrisco e il terreno è consigliabile posare uno strato di "tessuto non tessuto" per evitare possibili occlusioni.

Inoltre, la falda deve essere ad una distanza minima di 2 m dal fondo del pozzo e non devono esserci falde per l'approvvigionamento di acqua potabile nelle vicinanze (è buona norma posizionarle ad almeno 50 m da fonti di acqua potabile). In caso di posizionamento in serie questi devono avere un'interdistanza di almeno 4 volte il diametro del pozzo per mantenere un'adeguata efficienza del sistema.

# 5.3.3 Costi e manutenzione

Il report dei costi degli interventi realizzato nell'ambito del progetto BEWARE, e consultabile a questo link, ha analizzato 4 fonti di dati lo scopo di fornire delle indicazioni sul possibile range di costi che è necessario affrontare per la realizzazione delle diverse tipologie di intervento. I risultati ottenuti per i pozzi perdenti mostrano che la fornitura e posa in opera di un pozzo perdente ha costi variabili tra i 1.000 e 2.000 €, a seconda della dimensione del pozzo e della profondità raggiunta. A questi costi è necessario aggiungere il

costo dell'analisi geotecnica, la progettazione, eventuali opere accessorie come canalette, tubazioni e pozzetti di raccolta, e il costo dell'eventuale smaltimento del materiale di risulta.

Se viene considerato nel costo anche un costo mediamente osservato per le voci accessorie necessarie al funzionamento della struttura, il range di costo per un singolo pozzo perdente va mediamente dai 2.000 ai 4.000 €, con un costo medio di 3.000€.

|                             | Costo minimo     | Costo massimo | Costo medio |
|-----------------------------|------------------|---------------|-------------|
| Spesa complessiva           | 0.77 <b>€</b> /l | 1.32 €/I      | 1,6 €/I     |
| Spesa senza costi accessori | 0.18 <b>€</b> /l | 0.78 €/I      | 0.48 €/I    |

Tabella 12: riassunto dei costi per la realizzazione di un pozzo disperdente.

Riguardo la manutenzione, i pozzi disperdenti richiedono semplicemente l'ispezione ogni 6 / 12 mesi ed eventualmente lo svuotamento della componente solida accumulatasi sul fondo.

# 5.4 POZZI DISPERDENTI

Le pavimentazioni drenanti sono superfici contenenti spazi vuoti che permettono una elevata capacità filtrante. Esse sono associate ad una superficie sottostante altamente drenante come sabbie grossolane o pietrisco con l'obiettivo di diminuire il deflusso superficiale e trattenere le sostanze inquinanti disciolte. Questo sistema ha una duplice funzione: la laminazione dei deflussi grazie al volume dei pori presente nello strato sotto la pavimentazione e l'aumento della capacità di infiltrazione. I lastricati inoltre riducono le velocità del deflusso superficiale riducendo la possibilità di fenomeni erosivi localizzati.

L'uso più comune è localizzato nei parcheggi e nei passaggi pedonali, soprattutto nelle aree in cui per necessità di spazio non è possibile installare nessun altro sistema di gestione dell'acqua piovana. È inoltre diffuso il posizionamento di pavimentazione drenante in piste ciclabili, strade bianche, percorsi in parchi e giardini. La pavimentazione drenante ha il vantaggio di ridurre la dimensione delle canalizzazioni dell'acqua pluviale perché il deflusso viene rapidamente intercettato.



Figura 10: Pavimentazione drenante realizzata nell'ambito degli interventi del progetto LIFE BEWARE (ulteriori approfondimenti al link: https://youtu.be/IARDtC1\_kQE).

# 5.4.1 Dimensionamento

Le capacità di infiltrazione delle pavimentazioni drenanti sono notevolmente superiori delle massime intensità di piogge osservate e quindi la scelta della tipologia non è un fattore limitante. In generale si può considerare un valore di infiltrazione attendibile per pavimentazioni nuove attorno a 2500 mm/h. Diversi studi comunque raccomandano di considerare in sede di progetto una velocità d'infiltrazione attraverso la superficie drenante ridotta del 10 % per tenere conto dell'effetto di intasamento su una vita del sistema di 20 anni senza manutenzione. Tali pavimentazioni possono quindi gestire precipitazioni di qualunque intensità. Ciò che fa la differenza è il tasso di infiltrazione del terreno e lo strato di sabbia e/o pietrisco sottostante. Per il calcolo del processo di laminazione bisogna calcolare la percentuale di vuoti di tale strato: la sabbia ha una porosità di 0.2 - 0.3 mentre la ghiaia fine di 0.3 - 0.4. Per quanto riguarda invece il processo di infiltrazione si deve fare riferimento a coefficienti di infiltrazioni ricavabili da valori in letteratura oppure da prove in campo.

Le pavimentazioni drenanti possono essere inoltre dimensionate non solo per gestire l'acqua di pioggia che cade direttamente sulla loro superficie, ma anche per gestire i deflussi superficiali prodotti da superfici adiacenti. In questo caso è opportuno dimensionare lo strato drenante della pavimentazione in funzione del volume d'acqua da gestire utilizzando i metodi descritti nel capitolo 3.

#### 5.4.2 Materiali e installazione

Riguardo i materiali, le pavimentazioni drenanti si possono dividere in due tipologie in base ai materiali di rivestimento:

- Pavimentazioni permeabili: sono superfici formati da elementi di per se impermeabili, ma contenenti spazi vuoti attraverso i quali il drenaggio è consentito. Questo solitamente avviene tra i giunti o i vuoti tra i blocchi.
- Pavimentazioni porose: sono superfici composte da elementi di fatto porosi che permetto il passaggio dell'acqua. Esempi sono le superfici rinforzate di erba o in ghiaia, il calcestruzzo e asfalto porosi.
- I principali materiali utilizzati per le pavimentazioni porose sono quindi:
- Pavimentazione permeabile modulare a blocchi: il materiale più diffuso di questo sistema è il cemento ma possono essere utilizzati anche mattoni in argilla vetrificata, pietra naturale ecc. Importante è la presenza di giunti allargati riempiti di ghiaietto per favorire il passaggio dell'acqua. Queste pavimentazioni sono ottime per aree carrabili, pedonabili e strade poco trafficate. Gli strati sottostanti dovrebbero essere composti in sequenza da due tipi di ghiaie e uno strato di sabbia.



- Asfalto e calcestruzzo poroso: l'asfalto poroso può essere utilizzato come una superficie indipendente o per fornire una base resistente alle superfici formate da blocchi di calcestruzzo permeabile dove il traffico paesante è intenso. Inoltre la porosità dell'asfalto riduce il rumore del traffico.
- Il calcestruzzo poroso è invece consigliato in quelle zone dove il traffico di autocarri pesanti è intenso.
- Prati rinforzati: il sistema consiste in prati appunto rinforzati tramite l'utilizzo di griglie in plastica o cemento riempite di materiale su cui possono crescere delle specie erbacee. Questa copertura è adatta a luoghi con traffico limitato, meglio se ad uso stagionale. In questo modo lo strato erbaceo ha il tempo di crescere. I prati rinforzati sono ottimi per parcheggi di strutture non frequentemente utilizzate (i.e. strutture sportive), passaggi carrai privati e scuole. È infine importante che la realizzazione non comporti un aumento della compattazione del terreno e che l'erba sia adatta al clima locale.
- Pavimentazione porosa a blocchi: la pavimentazione è costituita da blocchi (calcestruzzo, elementi naturali o di riciclo) caratterizzati da un elevato numero di pori che permette il deflusso delle acque. Tuttavia, tra le diverse pavimentazioni impermeabili queste sono quelle meno efficaci in quanto i pori possono occludersi nel corso del tempo riducendo la capacità d'infiltrazione. È opportuno quindi utilizzare tali pavimentazioni in zone dove la presenza di sedimento è limitata.

# 5.4.3 Costi e manutenzione

Il report dei costi degli interventi realizzato nell'ambito del progetto BEWARE, e consultabile a questo link, ha analizzato 4 fonti di dati lo scopo di fornire delle indicazioni sul possibile range di costi che è necessario affrontare per la realizzazione delle diverse tipologie di intervento. I risultati ottenuti mostrano che i costi di realizzazione delle pavimentazioni drenanti si aggirano mediamente tra i 20-40 €/mq per le soluzioni più economiche (grigliati inerbiti in materiale plastico o calcestruzzo), fino ai 100-150 €/mq per le soluzioni più performanti (compresa la posa in opera).

La manutenzione di pavimentazioni drenanti è praticamente assente. Eccezione sono le superfici a prato rinforzato per le quali può essere necessario lo sfalcio dell'erba durante stagione vegetativa.

# 5.5 VERDE PENSILE

Sono strutture vegetate multistrato realizzate sulle coperture piane o inclinate di edifici o altre infrastrutture (tettoie, garage, pensiline) che permettono di regimare l'acqua di pioggia che cade sopra le copertura e di migliorarne la qualità in uscita. Inoltre, aumentano la coibentazione della struttura, con conseguente risparmio energetico, e il valore estetico dell'abitazione. Queste strutture sono composte da una serie di strati con differenti funzioni: impermeabilizzazione, accumulo, drenaggio e substrato per lo sviluppo della vegetazione di tipo erbaceo. Secondo la normativa UNI 11235 viene definita copertura verde o verde pensile qualsiasi struttura che non sia a contatto con il terreno naturale. I vantaggi di una copertura verde sono molteplici come il trattamento

e fissazione delle polveri sottili presenti in atmosfera, riduzione dei picchi dei deflussi idrici, mitigazione degli estremi climatici degli edifici e riduzione dell'inquinamento acustico.

Il verde pensile trattiene e accumula l'acqua meteorica restituendola nell'atmosfera tramite evaporazione e traspirazione fogliare. In tale modo la struttura ha un effetto benefico sul fenomeno delle isole di calore tipiche dell'ambiente altamente urbanizzato. L'eccesso di acqua viene fatto defluire nella rete idrica attraverso gronde. il verde pensile può essere installato su qualsi-asi copertura come edifici urbani, fabbricati industriali o tettoie.



Figura 11: esempio di edifici dotati di verde pensile.

Il verde pensile viene distinto in due macrocategorie:

- Coperture a verde estensivo: sono installazioni spesso realizzate sulle coperture dei fabbricati industriali e commerciali, in sostituzione delle classiche coperture a ghiaino o composte da altro materiale. Questa copertura ha l'obiettivo di proteggere lo strato impermeabile, isolando i locali sottostanti. Il tipo di copertura vegetale richiede una manutenzione ridotta. L'approvvigionamento idrico e delle sostanze nutritive avviene in modo naturale senza interventi antropici. Per questa tipologia di copertura si andrà quindi a mettere a dimora specie erbacee a rapido accrescimento ma resistenti alle gelate e a periodi secchi. Il genere Sedum è molto diffuso perché ha una radicazione poco profonda ed è molto resiste a condizioni climatiche estreme. Data la copertura vegetazionale erbacea, lo spessore totale della stratificazione solitamente non supera mai i 15 cm e il substrato utilizzato è composto da elementi minerali.
- Coperture a verde intensivo: questa copertura è solitamente utilizzata per realizzare veri e propri giardini sulle coperture e sono solitamente fruibili e utilizzabili dagli utenti. A differenza della precedente tipologia, si possono utilizzare diverse specie e associazioni vegetali, da tappeti erbosi alla messa a dimora di piante arboree. Tuttavia questa tipologia esteticamente di maggior pregio richiede una manutenzione costante nel tempo. Lo spessore del substrato varia quindi a seconda della profondità di radicazione della specie, dai 15 cm fino a 150 cm.
   Per evitare fenomeni di stress idrico, in queste coperture viene predisposto un impianto di irrigazione per evitare la morte delle piante.



Figura 12: a sinistra, verde pensile di tipo estensivo a Sedum spp., a destra, verde pensile di tipo intensivo con coltivazione di ortaggi (fonte: Andri S., Sauli G., 2012³).

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Andri S., Sauli G. (2012). Verde Pensile: prestazioni di sistema e valore ecologico. ISPRA, Manuali e Linee Guida, 78.

#### 5.5.1 Dimensionamento

Una struttura di verde pensile è comunemente costituita da una serie di strati che a partire dalla struttura del tetto sono:

- Elemento strutturale portante
- Elemento di tenuta dell'acqua
- Elemento di protezione contro la radicazione
- Elemento di protezione meccanica
- Elemento di accumulo idrico
- Elemento drenante
- Elemento filtranrte
- Strato culturale
- Strato di vegetazione

Di conseguenza i criteri progettuali devono tenere in considerazione di diversi fattori:

- Gli obiettivi della copertura e le funzioni devono essere la fruibilità, miglioramento estetico e delle prestazioni energetiche dell'edificio e la compensazione ambientale.
- Il clima della zona su cui viene installato il verde pensile deve essere accuratamente analizzato.
   Fattori come l'entità della radiazione solare, regime pluviometrico, temperature e qualità dell'aria devono essere prese in considerazione in fase progettuale.
- Gli agenti che interagiscono con la struttura devono essere analizzati. Esempi sono gli agenti idrici, biologici, chimici, fisici cioè i carichi permanenti e variabili connesse alla tipologia costruttiva.
- Le esigenze del verde pensile che si vuole installare.
   In particolare, si deve considerare la capacità agronomica, drenante e di aerazione dello strato drenante, capacità di accumulo idrico, capacità di aerazione dello strato colturale, resistenza agli attacchi biologici.

In particolare la norma UNI 11235:2007 regolamenta lo spessore minimo dello strato culturale da utilizzare in fase di progetto per il verde pensile. Per i seguenti tipi vegetazionali viene definito una profondità minima di:

- Genere Sedum ed erbacee perenni a piccolo sviluppo, 8 cm
- Grandi erbacee perenni, 10 cm
- Tappeti erbosi e piccoli arbusti tappezzanti, 15 cm
- Arbusti di piccola taglia, 20 cm
- Arbusti di grande taglia e piccoli alberi, 30 cm
- Alberi di III grandezza, 50 cm
- Alberi di II grandezza, 80 cm
- Alberi di I grandezza, 100 cm

Dal punto di vista della mitigazione dei fenomeni pluviometrici, il verde pensile è in grado di riprodurre una varietà di processi idrologici associabili a quelli dei terreni naturali. Dato il limitato spessore della copertura, il verde pensile è molto efficace nella mitigazione di fenomeni di breve durata, ma non ha grandi effetti su fenomeni prolungati che vanno a saturare la capacità di accumulo del tetto prima che si verifichi il picco di pioggia. È stato comunque dimostrato che in zone dai climi temperati sono in grado di dimezzare i volumi annuali generati da dilavamento.

Tuttavia, il sistema di drenaggio deve essere molto efficiente, cioè deve adempiere alle funzioni di captazione e deflusso delle acque piovane senza incorrere in allagamenti e infiltrazioni. Per quantificare la riduzione del picco di deflusso nei fenomeni a forte intensità e durata ridotta viene utilizzato il coefficiente di deflusso (percentuale di acqua che esce dal sistema rispetto a quella ricevuta). Esso viene impiegato per il calcolo della massima quantità di acqua scaricata da una copertura al fine di dimensionare le tubature per il suo deflusso seguendo la procedura identificata nell'UNI EN 12056-3:2001. Nel caso in cui gli enti gestori della rete idrica definiscano un limite massimo di portata, il calcolo può essere effettuato tramite il metodo razionale. Andri S., Sauli G., 2012<sup>4</sup> riportano, per diverse tipologie di tetto verde, valori dei coefficienti di deflusso variabili da 0,15 e 0.50.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Andri S., Sauli G. (2012). Verde Pensile: prestazioni di sistema e valore ecologico. ISPRA, Manuali e Linee Guida, 78.

#### 5.5.2 Materiali e installazione

I materiali utilizzati per le due tipologie di coperture verdi sono praticamente le stesse. Ciò che varia è lo spessore del substrato. La serie di strati che compone un tetto verde è riportata nella seguente figura.

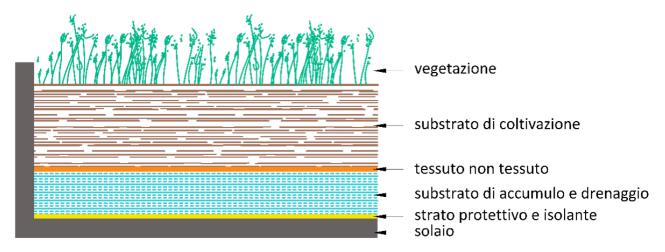


Figura 13: stratificazione tipica utilizzata per la realizzazione di un tetto verde.

L'elemento portante ovvero il piano di appoggio dell'intera copertura verde deve essere dimensionato in modo da poter sostenere il peso dei diversi strati che si andranno a posizionare. A questo deve essere aggiunto il peso dell'acqua trattenuta dal terreno. La legislazione vigente indica i materiali che possono essere utilizzati per la realizzazione di tali elementi. I carichi statici che possono risultare da una copertura estensiva è nell'ordine di 220 – 400 kg/m², mentre per quella intensiva può arrivare a 450 – 1500 kg/m².

Sopra all'elemento portante viene posizionato un elemento di tenuta che ha lo scopo di impermeabilizzare totalmente la superficie portante ed evitare infiltrazioni. L'elemento di protezione dalle radici può essere appoggiato sopra allo strato impermeabilizzante oppure essere integrato con il precedente. I prodotti comunemente impiegati sono le membrane bituminose, membrane sintetiche in leghe poliolefiniche o in materie plastiche. Per quanto riguarda la posa, il piano non deve presentare sporgenze o avvallamenti in modo da non compromettere la sua funzionalità.

Al di sopra viene posto uno strato antiradice (che può essere già incorporato nel precedente). La funzione è quella di limitare la propagazione delle radici nella direzione verticale. L'azione di questo strato è sia meccanica (antiradici), sia bio-chimica (contro l'azione di microrganismi).

Successivamente viene posizionato l'elemento di protezione meccanica. Questo deve resistere all'azione di carichi statici e dinamici proteggendo lo strato di tenuta e quello antiradice. I materiali utilizzati sono solitamente materiali geosisntetici (georeti, geotessili, geocompositi) o pannelli di polistirene. Questi materiali non possono in alcun modo costituire lo strato antiradice.

Dato che non esiste un sottosuolo verso cui l'acqua può defluire e presentando uno spessore ridotto del substrato vegetativo è necessario predisporre uno strato drenante e di accumulo idrico che viene attivato nel caso di volumi meteorici abbondanti. Inoltre lo strato drenante è necessario per evitare fenomeni di ristagni idrici e asfissia radicale con possibile morte delle piante. Nella quasi totalità dei casi l'elemento di accumulo idrico è integrato al sistema drenante così da fungere come accumulatore d'acqua per la vegetazione. I materiali utilizzati sono aggregati granulari (lapillo vulcanico, pomice, perlite, argilla espansa, ardesia espansa, laterizi macinati e perlite) o elementi prefabbricati (geostuoie e georeti). Il volume che riescono a trattenere questi materiali dipende dalla loro porosità.

Al di sopra di questo strato viene posizionato l'elemento filtrante che ha lo scopo di impedire la diffusione delle particelle solide nello strato drenante e di accumulo. Per un buon funzionamento questo strato deve presentare una permeabilità 10 volte maggiore dello strato colturale. Infatti una delle cause di fallimento delle coperture verdi è causato dall'intasamento dello strato drenante. Per questo motivo le caratteristiche dell'elemento drenante devono esser definite anche in base alla granulometria del terreno impiegato, in modo tale da formare, all'interno del terreno, un "filtro rovescio" in grado di evitare la migrazione delle particelle fini o l'intasamento del filtro. Questo strato può essere realizzato tramite aggregati naturali o con geosintetici (geotessili nontessuti o tessuti). Questo elemento può fare da supporto all'apparato radicale garantendo una maggiore stabilità del substrato vegetativo.

Infine, si posiziona lo strato culturale, fondamentale per la messa a dimora, radicamento e crescita dello strato vegetativo. Gli spessori minimi di tale strato sono riportati nella norma UNI 11235:2007. Gli spessori però devono essere ponderati ed eventualmente aumentati a seconda dell'esposizione, anemometria e pendenza dello strato portante. Lo strato culturale è rappresentato da un mix di sostanza minerale e organica che deve essere adeguato alla tipologia di specie messe a dimora. Una volta completato lo strato vegetativo si mettono a dimora le specie vegetali e si procede ad una innaffiatura per favorire il radicamento e la crescita.

#### 5.5.3 Costi e manutenzione

Il report dei costi degli interventi realizzato nell'ambito del progetto BEWARE, e consultabile a questo link, ha analizzato 4 fonti di dati lo scopo di fornire delle indicazioni sul possibile range di costi che è necessario affrontare per la realizzazione delle diverse tipologie di intervento. I risultati ottenuti mostrano che per la fornitura e posa in opera di un sistema a verde pensile si spendono mediamente dai 70 (sistemi estensivi economici) ai 300 €/m² (sistemi intensivi). In Tabella 13 vengono riportati gli intervalli di costo individuati per le due tipologie principali di tetto verde.

|                         | Costo minimo | Costo massimo | Costo medio |
|-------------------------|--------------|---------------|-------------|
| Verde pensile estensivo | 70 €/m²      | 140 €/m²      | 105 €/m²    |
| Verde pensile intensivo | 130 €/m²     | 300 €/m²      | 215 €/m²    |

Tabella 13: riassunto dei costi per la realizzazione di aree a verde pensile.

La manutenzione da effettuare al verde pensile riguarda lo strato vegetativo o altre parti della struttura, e in particolare il sistema di smaltimento delle acque meteoriche e dell'elemento di tenuta: questo consiste in un'ispezione dei terminali di scarico e se necessario si interviene con una pulizia di questi elementi; si tratta di un'operazione da effettuare ogni anno e prima della stagione invernale.

La manutenzione della vegetazione riguarda la necessità di intervenire con irrigazioni, concimazioni, eliminazione di infestanti, potature a scopi estetici e/o di contenimento, trattamenti fitosanitari, sfalcio di tappeti erbosi. Può essere necessaria anche una manutenzione straordinaria nel caso in cui si presentino danni irreparabili per l'intero sistema, come ad esempio l'insorgenza di malattie o eventi meteorologici particolarmente avversi. La manutenzione risulta essere praticamente assente per il verde pensile estensivo mentre ricopre un ruolo importante per quello intensivo a seconda delle specie messa a dimora e se è presente un impianto di irrigazione.

## 5.6 TRINCEE DRENANTI

Le trincee drenanti sono delle strutture molto simili a dei fossati di scolo, ma questi sono interamente riempiti da materiale inerte come pietre, sabbia o materiale poroso. Sul fondo può essere installato un tubo drenante per allontanare più velocemente l'acqua accumulata. Possono, inoltre, prevedere una copertura vegetale. Queste strutture fungono da "serbatoi" naturali e allo stesso tempo aumentano la capacità d'infiltrazione del terreno e la ricarica della falda. Inoltre, se viene data una determinata pendenza al fondo, possono indirizzare l'acqua raccolta verso la rete di drenaggio oppure ad una zona d'invaso. Le trincee riescono ad aumentare la qualità dell'acqua diminuendo la presenza di inquinanti, la componente sospesa e degradando la componente batterica. Queste strutture sono solitamente realizzate in ampie zone commerciali oppure in aree residenziali a medio-alta densità. Infatti, possono essere inserite in spazi chiusi e a basso

fabbisogno di superficie; di regola una superficie impermeabile che genera deflusso può essere gestita da una superficie di trincea filtrante pari al 10% in estensione. La manutenzione di tali strutture risulta minima, e se è presente copertura erbacea questa deve essere sfalciata una o due volte l'anno.

Tuttavia, tale dispositivo è inadatto a terreni caratterizzati da carsismo, a meno di eseguire accurate indagini geologiche e geotecniche, in terreni fortemente argillosi e compattati a causa della loro impermeabilità. Inoltre, c'è il rischio di blocco nei sistemi di connessione per la presenza di sedimento e se le acque derivano da parcheggi o zone altamente residenziali c'è il rischio di far infiltrare sostanze oleose (in tale caso è necessario predisporre un sistema di trattamento del deflusso pari al volume di prima pioggia).



Figura 14: in primo piano la trincea drenante realizzata nell'intervento di Via dei Prati (Santorso - maggiori informazioni e immagini al link https://youtu.be/o-b\_mHvysEM).

#### 5.6.1 Dimensionamento

Il volume di acqua che può gestire una trincea drenante dipende dalla porosità dei materiali utilizzati per la costruzione e dalla conformazione altimetrica della struttura. Infatti, l'acqua viene dispersa attraverso infiltrazione, accumulata tra la componente grossolana (pietrame) e nella sezione concava fuori superficie. La portata d'acqua infiltrata è ricavabile dall'equazione di Darcy nota la permeabilità del suolo. Per evitare l'esondazione dell'acqua accumulata, è opportuno prevedere l'inserimento di una condotta forata centrale

(diametro minimo DN 200). I fori della condotta sono del diametro minimo di 20 mm e almeno nel numero di 40 per metro lineare. La larghezza media delle trincee è di 60 cm con una profondità di 120 cm. I metodi descritti nel capitolo 3 possono essere utilizzati per il calcolo del volume d'acqua di progetto che andrà ripartito tra la frazione infiltrata e quella accumulata nello strato drenante e nella depressione superficiale. Ai fini della sicurezza, è possibile escludere dal calcolo la frazione d'acqua infiltrata.

#### 5.6.2 Materiali e installazione

Per la realizzazione di trincee filtranti si deve procedere con lo sbancamento del terreno in funzione della dimensione di progetto. Quindi, si posa uno strato di geotessuto sulle pareti e sul fondo per evitare l'intasamento della stessa da parte delle particelle fini. Si continua con il riempimento del fondo con ghiaia lavata e poi al posizionamento della tubatura centrale forata per il drenaggio, avvolta anch'essa da uno strato di geotessuto. Si riempe ancora di ghiaia lavata fino a metà della profondità dello scavo e si finisce di ricoprire fino al piano campagna con il suolo precedentemente sbancato (questo però è opportuna-

mente miscelato con sabbia e sostanza organica per aumentarne la porosità e la capacità di drenaggio). Tali dispositivi sono adatti per aree pianeggianti, mentre per le aree in pendenza la loro funzione di accumulo è limitata dalla topografia dell'area.

Le forme delle trincee drenanti e i materiali solitamente utilizzati per la loro costruzione sono riportati in Tabella 14, ma possono variare a seconda delle quantità d'acqua che devono gestire.

| Tipologia  | Sezione<br>scavo           | Base<br>minore [m] | Base<br>maggiore<br>[m] | Profondità<br>[m] | Altezza<br>ghiaia dal<br>fondo [m] | Altezza<br>strato di<br>suolo<br>permeabile<br>[m] |
|--|----------------------------|--------------------|-------------------------|-------------------|------------------------------------|--|
| Trincee filtranti con<br>suolo vegetato da<br>specie erbacee con<br>alto valore estetico | Trapezia                   | 0.8                | 2.0                     | 1.3               | 0.65                               | 0.65   |
| Trincee filtranti con<br>suolo vegetato da spe-<br>cie erbacee rustiche                  | Trapezia                   | 0.8                | 2.0                     | 1.3               | 0.65                               | 0.65   |
| Trincee filtranti senza<br>suolo ed essenze<br>vegetali                                  | Trapezia o<br>rettangolare | 0.8                | 2.0                     | 1.3               | 1.3                                | Suolo as-<br>sente                                 |

Tabella 14: tipologie di trincee filtranti per la gestione delle acque di dilavamento.

# 5.6.3 Costi e manutenzione

Da una ricerca bibliografica si sono constati i costi di realizzazione e di manutenzione riportati nella seguente tabella.

| Tipologia  | Costo di realizzazione<br>[€/m] | Costo di manutenzione<br>[€/m] |
|--|---------------------------------|--------------------------------|
| Trincee filtranti con suolo vegetato da specie erba-<br>cee con alto valore estetico | 117-119                         | 20-40                          |
| Trincee filtranti con suolo vegetato da specie erba-<br>cee rustiche                 | 81-93                           | 10-20                          |
| Trincee filtranti senza suolo ed essenze vegetali                                    | 44-53                           | 2-3                            |

Tabella 15: costo unitario per la realizzazione e manutenzione delle trincee filtranti.

# 5.7 GIARDINI PLUVIALI

I giardini pluviali (rain garden) sono strutture vegetate con piante ornamentali ad elevata permeabilità e dotate di depressione per l'accumulo dei deflussi dalle superfici impermeabili circostanti (strade, marciapiedi, parcheggi). Raccolgono il deflusso, ne facilitano l'accumulo e l'infiltrazione nel terreno, favoriscono la filtrazione dell'acqua per migliorarne la qualità attraverso il controllo delle particelle fini di sedimento trasportate dall'acqua e delle sostanze inquinanti. L'infiltrazione può essere aumentata addizionando materiale sabbioso nello strato colturale (fino al 50%), possibilmente ammendato con compost vegetale (20-30%), che assicura nel tempo il mantenimento della vegetazione senza ricorrere a fertilizzazioni e una buona struttura del terreno, garantendo elevata porosità e capacità di trattenuta idrica. Si distinguono due tipi principali: gli under-drained (sotto-drenati), dotati di tubi drenanti che scaricano direttamente sul sistema fognario e di guaine impermeabilizzanti che isolano il sistema dal

terreno sottosuperficiale (scelta consigliabile in presenza di falda superficiale o nel caso di carichi inquinanti elevati), e i self-contained (autosufficienti), che permettono l'infiltrazione dell'acqua nel sottosuolo e la ricarica della falda. La selezione delle piante va fatta scegliendo specie resistenti a condizione di stress idrico e a brevi periodi di sommersione. Inoltre, sarebbe preferibile utilizzare piante che fioriscono in tempi diversi per creare una lunga stagione floreale, mescolare le altezze, le forme e i vari texture per dare profondità e forma all'area verde creata.

I rain garden autosufficienti per avere una buona efficacia dovrebbero essere realizzati in zone con elevata permeabilità (almeno 13 mm/h). La topografia ideale è quella pianeggiante, mentre per le zone in pendenza i costi di realizzazione sono più importanti per la necessità di scavi maggiori



Figura 15. Il giardino realizzato nell'ambito del progetto LIFE BEWARE in Piazza della Libertà (Santorso - maggiori informazioni e immagini al link https://youtu.be/FFd24MyYfus).

#### 5.7.1 Dimensionamento

Il dimensionamento di queste strutture è generalmente condotto risolvendo l'equazione di continuità, mettendo a sistema il volume infiltrato, la legge d'efflusso che governa le opere preposte allo scarico dell'invaso (in caso di volumi d'acqua eccessivi) e la legge dell'invaso che dipende dalla topografia di progetto. In alternativa è possibile effettuare il calcolo del volume da gestire utilizzando i metodi descritti nel capitolo 3

(metodo delle sole piogge, metodo dell'invaso cinematico). Sulla base di questo valore sarà possibile dimensionare superficie, spessore e stratigrafia del giardino pluviale, garantendo che la somma della capacità di accumulo dei diversi strati che lo compongono (strato drenante sottosuperficiale, strato di coltivazione e strato allagabile superficiale) sia almeno pari a al volume idrico da gestire.

#### 5.7.2 Materiali e installazione

Per quanto riguarda la realizzazione se il suolo risulta abbastanza drenante si procede allo sbancamento del terreno, modellando l'area per definire il volume invasabile progettato. Nel caso in cui il terreno sottosuperficiale abbia una bassa capacità d'infiltrazione, o nel caso in cui si volesse aumentare il volume accumulabile dal sistema, è possibile prevedere uno strato drenante sottosuperficiale realizzato in pietrame o ciottoli. Come indicato sopra, invece, lo strato di coltivazione viene generalmente realizzato addizionando al terreno originale del materiale sabbioso (fino al 50%) e del compost vegetale (20-30%). Infine, la scelta della vegetazione deve prevedere specie (solitamente erbacee perenni e arbusti) adatte alle condizioni climatiche in cui vengono inserite e tolleranti a fenomeni di inondazione e a periodi più o meno prolungati di

siccità. Per limitare l'evaporazione e contrastare la crescita di infestanti, è consigliabile ricoprire l'area con uno strato pacciamante.

Un dimensionamento speditivo del giardino pluviale può essere ottenuto moltiplicando i coefficienti di Tabella 16 per il valore della superficie impermeabile gestita dal giardino. I coefficienti sono in funzione della tipologia di suolo e della profondità della parte superiore allagabile del giardino pluviale stesso.

Nella fase di progettazione di un giardino pluviale è sempre opportuno prevedere un dispositivo di troppo pieno che convoglia l'acqua non gestita alla rete di drenaggio.

|               | Profondità del rain garden |           |         |
|---------------|----------------------------|-----------|---------|
| TIPO DI SUOLO | 8-13 cm                    | 13 -18 cm | > 18 cm |
| Sabbioso      | 0,19                       | 0,15      | 0,08    |
| Franco        | 0,34                       | 0,25      | 0,16    |
| Argilloso     | 0,43                       | 0,32      | 0,20    |

Tabella 16: coefficiente di calcolo per il dimensionamento della superficie di un raingarden in funzione dell'area servita, della tipologia di suolo e della profondità del rain garden.

#### 5.7.3 Costi e manutenzione

Il report dei costi degli interventi realizzato nell'ambito del progetto BEWARE, e consultabile a questo link, ha analizzato 4 fonti di dati lo scopo di fornire delle indicazioni sul possibile range di costi che è necessario affrontare per la realizzazione delle diverse tipologie di intervento. I risultati ottenuti per i giardini pluviali mostrano un intervallo di costo che varia dai 38 €/mq ai 242 €/mq (Tabella 17).

|  | Costo minimo | Costo massimo | Costo medio |
|--|--------------|---------------|-------------|
| Giardino pluviale autocostruito<br>(solo materiale)  | 38 €/mq      | 120 €/mq      | 80 €/mq     |
| Giardino pluviale realizzato<br>da un professionista | 110 €/mq     | 242 €/mq      | 175 €/mq    |

Tabella 17: riassunto del costo unitario di realizzazione di un giardino pluviale (costo del materiale e costo ad intervento completo).

Gli interventi di manutenzione sono del tutto analoghi a quelli necessari al mantenimento di un'aiuola fiorita e consistono principalmente nel taglio e rimozione del secco e nell'eventuale sostituzione delle piante morte. Nel primo anno è possibile prevedere degli interventi di irrigazione durante la stagione estiva per favorire l'attecchimento delle piantine. È necessario infine prevedere l'ispezione periodica e la pulizia dei sistemi di convogliamento dell'acqua di deflusso, per evitare ostruzioni e malfunzionamenti.

# 5.8 BACINI DI DETENZIONE E INVASI DI RITENZIONE

Sono strutture per la gestione dei deflussi provenienti dalla rete idrografica o da una determinata superficie e vengono realizzati generalmente in prossimità a corsi d'acqua o altri corpi idrici allo scopo di immagazzinare l'acqua di deflusso per un periodo limitato di un tempo. I bacini di detenzione sono anche chiamati "stagni asciutti" perché per la maggior parte del tempo sono secchi. Nella sua forma base, un bacino di detenzione ha una grande capacità di gestire i deflussi pur avendo una limitata efficacia nella protezione della qualità dell'acqua. La topografia preferita per questi interventi è quella pianeggiante o in lieve pendenza in modo da mantenere contenuti i costi di realizzazione. Per quanto riguarda la qualità del terreno, i bacini di detenzione non hanno particolari esigenze, dato che la superficie può essere resa impermeabile da una guaina di rivestimento o da uno strato di argilla bentonitica. Al contrario se si vogliono favorire i processi di infiltrazione è possibile sostituire o mescolare il terreno di fondo del bacino con del materiale ad elevata porosità. Dato che vengono attivati in situazioni di criticità della rete idrica queste strutture risultano senza acqua per la maggior parte dell'anno. Tuttavia, parte del deflusso può essere convogliata e accumulata in essi nella stagione secca come fonte per sistemi di irrigazioni agricoli o di giardini urbani.

All'interno del bacino di detenzione può trovare posto un tappeto erboso oppure possono essere messe a dimora piante di tipo arbustivo o arboree tolleranti fenomeni di inondazione. Oltre ad aumentare il valore estetico della zona, la vegetazione ha anche la funzione di incrementare la qualità dell'acqua.

Nel caso si prevede di mantenere l'acqua all'interno del bacino per periodi prolungati di tempo, si parla di invaso di ritenzione. Questi sono dei veri e propri laghetti e possono essere progettati anche ai fini della creazione di ambienti umidi, habitat per diverse specie animali. In questi casi, è consigliata la presenza di vegetazione con funzione di fitodepurazione che può essere sistemata sulle sponde, anche creando dei gradoni, oppure fatta galleggiare utilizzando appositi elementi flottanti, mentre nel fondo la presenza di piante ossigenanti mantiene più in equilibrio il sistema.

In queste strutture, il volume in ingresso e in uscita deve essere monitorato attraverso la realizzazione di adeguate condotte e dispositivi che permettano di regolare il livello dell'acqua all'interno del bacino.





Figura 16: Il bacino di detenzione con stagno di bioritenzione (a sinistra – ulteriori informazioni al link https://youtu.be/hVwtT4dlSOI) e l'invaso di ritenzione (a destra – ulteriori informazioni al link https://youtu.be/TjrFs7pSojo) realizzati nell'ambito del progetto LIFE BEWARE.

#### 5.8.1 Dimensionamento

Il dimensionamento dei bacini di detenzione è condotto con l'applicazione dell'equazione di continuità, mettendo a sistema la legge d'efflusso (per le condotte di carico e scarico) e la legge dell'invaso che è funzione della topografia del bacino.

#### 5.8.2 Materiali e installazione

La costruzione di questi bacini consiste nella movimentazione del terreno per creare la topografia di progetto. La pendenza delle sponde deve essere in funzione della qualità del terreno e comunque bisogna porre attenzione a possibili fenomeni erosivi che si potrebbero instaurare nelle zone di ingresso e uscita. La messa a dimora di specie arbustive o arboree può limitare questi fenomeni così come il posizionamento di pietrame o gettate in calcestruzzo. A tale proposito la verifica della correttezza dei lavori di modellamento della superficie è fondamentale perché il volume di acqua invasabile progettato sia realmente accumulabile. Se si vuole procedere all'impermeabilizzazione

del bacino si può prevedere di stendere sul fondo uno strato di geomembrana solitamente del tipo HDPE dello spessore di 2 mm o uno strato di argilla bentonitica compattata. Nel caso in cui la topografia non permetta l'uscita o l'entrata del flusso per potenziale gravitativo, è necessario installare delle pompe. Queste devono essere posizionate preferibilmente a coppie in modo da averne sempre una funzionante in caso di malfunzionamento. Inoltre, i punti di ingresso e uscita del deflusso idrico dovrebbero essere realizzati agli estremi del bacino per garantire la massima capacità di volume infiltrato del bacino.

#### 5.8.3 Costi e manutenzione

I costi di tali strutture sono molto variabili a seconda della dimensione, della forma, del volume di terra mobilizzato, del materiale impiegato e della messa a dimora della vegetazione. I costi per unità di superficie variano tra i 20 e i 100 €/m³.

Per quanto riguarda i costi di manutenzione essi dipendono principalmente dalla componente vegetale messa a dimora nel bacino di detenzione e alla frequenza di attivazione del bacino stesso e dalle portate gestite. Infatti, per fenomeni molto intensi, il deflusso potrebbe trasportare grosse quantità di sedimento che dovranno essere rimossi o potrebbero danneggiare le sponde o il fondo del bacino attraverso fenomeni di erosione. In Tabella 18 vengono riportati dei valori indicativi di costo di manutenzione ordinaria e straordinaria dei bacini di detenzione.

| Tipologia di<br>manutenzione | Frequenza d'intervento  | Tipologia d'intervento  | Costo stimato  |
|------------------------------|---|---|--|
| Ordinaria                    | Mensile   | Sfalcio erba, manutenzione zone<br>verdi e potatura di alberi e arbusti   | 7 - 9 €/m² di<br>superficie a<br>copertura<br>vegetale |
| Straordinaria                | Dopo l'attivazione del bacino a<br>seguito di un evento straordinario | Rimozione del sedimonto<br>accumulato nel fenomeno di<br>piena, pulizia del fondo e<br>interventi per rispristinare zone<br>erose se presenti | 1 - 3 €/m³   |

Tabella 18: riassunto dei costi unitari di manutenzione dei bacini di detenzione.



## **CONTATTI**

www.lifebeware.eu info@lifebeware.eu

## ISCRIVITI ALLA NEWSLETTER

www.lifebeware.eu/newsletter



@lifebeware



@lifebeware

Brochure realizzata con il contributo del Programma LIFE, uno strumento finanziario dell'Unione Europea



Questo progetto è stato cofinanziato con il supporto dello strumento finanziario LIFE dell'Unione Europea. Questa pubblicazione riflette solo il punto di vista dell'autore e la Commissione europea non è responsabile per qualsiasi uso che possa essere fatto delle informazioni in esso contenute.











