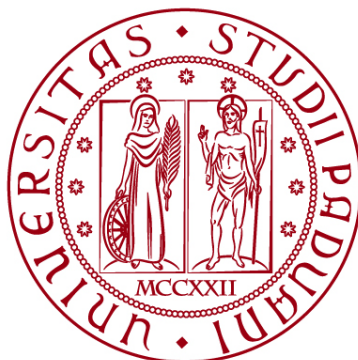


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Civile



TESI DI LAUREA

**ACCUMULO DI ACQUE METEORICHE: DIMENSIONAMENTO
PRELIMINARE DI UN BACINO DRENANTE AL DI SOTTO DEL
CAMPO SPORTIVO DI SANTA MARIA DI CITTADELLA**

Relatore: Teatini Pietro

Laureando: Bettin Edoardo

Matricola N° 1167324

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

INDICE

INTRODUZIONE	1
CAPITOLO 1	3
1.1 I SISTEMI DI DRENAGGIO URBANO.....	3
1.2 IL CICLO DELL'ACQUA.....	4
1.3 IL CONSUMO DEL SUOLO.....	6
1.4 INVARIANZA IDRAULICA.....	8
1.5 IL PROBLEMA DELLA SICCAITÀ'.....	9
CAPITOLO 2	13
2.1 AREA DI STUDIO.....	13
2.2 ANALISI PIOGGIA.....	14
2.2.1 CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA.....	14
2.2.2 FATTORI CHE INFLUENZANO LA FORMULA.....	15
2.3 PLUVIOMETRIA DELLA ZONA DI STUDIO.....	16
2.4 VASCA DI LAMINAZIONE.....	16
2.5 CASO STUDIO SANTA MARIA.....	18
2.5.1 COSTO DI REALIZZAZIONE.....	19
2.6 ANALISI DEL TERRENO.....	19
CAPITOLO 3	21
3.1 SOFTWARE DI CALCOLO SWMM.....	21
3.2 CASO STUDIO SANTA MARIA: PREMESSE GENERALI.....	21
3.2.1 SUDDIVISIONE IN SUBCATCHMENTS.....	21
3.2.2 EVENTO ATMOSFERICO.....	23
3.3 LA RETE NELLO STATO PRE-OPERA.....	24
3.4 LA RETE CON LA NUOVA OPERA.....	24
3.4.1 COLLETTORI E NODI.....	25
3.4.2 STORAGE UNITS.....	25
CAPITOLO 4	27
4.1 RISULTATI PRE-OPERA.....	27
4.2 RISULTATI NUOVA OPERA.....	29

CAPITOLO 5	33
5.1 CONCLUSIONI FINALI	33
APPENDICE 1	35
APPENDICE 2	38
APPENDICE 3	40
SITOGRAFIA	42

INTRODUZIONE

MOTIVO DELLO STUDIO

Quello appena trascorso è stato uno degli inverni più secchi mai registrati nel Nord Italia.

Gli effetti di questa siccità sono molto evidenti. La secca del fiume Po, e degli altri principali fiumi del nord Italia, ha raggiunto livelli che normalmente si vedono solo in piena estate.

Il livello del Brenta, fiume che attraversa il comune prossimo al sito di interesse di questa tesi di laurea, si è abbassato di oltre un metro rispetto allo stesso periodo dello scorso anno. Situazione simile per laghi ed invasi che si sono ridotti notevolmente.

Contrariamente a quanto si può pensare, in Italia la media delle precipitazioni di pioggia e neve è rimasta pressoché stabile negli ultimi cento anni. Quello che è cambiato maggiormente è la distribuzione delle precipitazioni in un arco di tempo sempre più limitato. Questo inevitabilmente causa allagamenti o problemi di siccità.

Anche il territorio dell'Alta Padovana negli ultimi anni è stato soggetto a queste anomale condizioni meteorologiche.

Risulterebbe pertanto opportuno trovare una soluzione per prepararsi a futuri periodi di siccità.

Un possibile approccio è quello di sviluppare un sistema distribuito che raccolga l'acqua piovana, la immagazzini in piccoli bacini di accumulo e la renda poi disponibile nei periodi siccitosi.

Nel presente studio si analizza la possibilità di la realizzazione di un bacino di laminazione/accumulo interrato al di sotto del campo sportivo di Santa Maria di Cittadella, società calcistica di appartenenza dello scrivente.

Tale soluzione garantisce una duplice funzione:

- facilitare il drenaggio dell'area a monte del campo da calcio, fortemente urbanizzata, prevenendo possibili allagamenti;
- accumulare le acque piovane rendendole disponibili per l'irrigazione.

Va ricordato inoltre come il posizionamento di tale vasca al di sotto del campo da calcio migliorerà il drenaggio dell'acqua che si deposita sul manto erboso nei periodi di eccessiva piovosità.

Il vantaggio risulta evidente considerando anche i costi per il reperimento dell'acqua necessaria all'irrigazione degli impianti sportivi e di tutte le zone verdi adiacenti.

Nel suo complesso lo studio ha quindi lo scopo di migliorare la gestione delle acque piovane nella frazione di Santa Maria di Cittadella.

Il presente lavoro è così suddiviso nei seguenti capitoli.

Capitolo 1:

- introduzione ai sistemi di drenaggio urbano, specificandone composizione e funzionamento;
- analisi degli effetti dell'urbanizzazione sulle reti di drenaggio. Breve descrizione del ciclo dell'acqua e della scarsità idrica che ha colpito il nostro territorio.

Capitolo 2:

- individuazione dell'area oggetto di studio;
- rilevamento della rete di drenaggio urbana dell'area;
- analisi storica delle precipitazioni in tale zona;
- valutazione e classificazione del terreno nel quale si prevede sia realizzata l'opera, sulla base dei risultati delle prove granulometriche su campioni prelevati dal sito.

Capitolo 3:

- breve descrizione della struttura e delle funzionalità del software di calcolo SWMM adottato per la realizzazione del modello idraulico della rete di drenaggio;
- analisi della zona di studio in relazione a sottobacini e i collettori individuati dopo una accurata ispezione in luogo.

Capitolo 4:

- analisi e commenti dei risultati delle simulazioni del modello a fronte di tempi di ritorno pari a 2, 5 e 10 anni.

Capitolo 5:

- considerazioni finali.

CAPITOLO 1

1.1. I SISTEMI DI DRENAGGIO URBANO

I sistemi di drenaggio urbano per le acque meteoriche sono l'insieme delle opere idrauliche capaci di raccogliere, convogliare e allontanare dalle zone urbanizzate le acque bianche, per poi reinserirle nell'ambiente dopo gli eventuali trattamenti di depurazione.

La rete di drenaggio è composta da due parti principali, ovvero da un sistema di collettori che rappresenta la parte principale del sistema e da un insieme di opere speciali, composto da manufatti ricorrenti e particolari, che ne costituiscono una parte importante a completamento del sistema (Figura 1).

Le dimensioni dei collettori vengono dettate dalla portata che circola al loro interno che, a sua volta, viene definita dalla quantità di precipitazione e dalle caratteristiche delle superfici scolanti proprie della zona di interesse.

In fase di progettazione la scelta del tracciato si basa su alcuni criteri fondamentali che garantiscono un funzionamento ottimale del sistema, tra cui:

- è consigliabile una progettazione della rete senza stazioni di sollevamento (se possibile), ovvero si preferisce progettare il tracciato in modo da sfruttare al massimo la forza di gravità;
- è preferibile seguire il percorso stradale per determinare il tracciato planimetrico delle condotte. In caso di guasto o manutenzione, il suolo pubblico permette una maggiore semplicità dell'intervento.

La presenza di elementi come strade, parcheggi, tetti e marciapiedi comporta inevitabilmente un'impermeabilizzazione del suolo e, di conseguenza, un aumento del deflusso superficiale e una riduzione dell'infiltrazione e dell'evapotraspirazione. Ciò può provocare delle problematiche di sottodimensionamento della rete fognaria, poiché la portata d'acqua da allontanare potrà essere maggiore rispetto a quella per la quale è stata dimensionata. È pertanto importante progettare una rete di drenaggio urbano in maniera appropriata, tenendo conto delle future modifiche del territorio a seguito di una possibile espansione del territorio antropizzato.

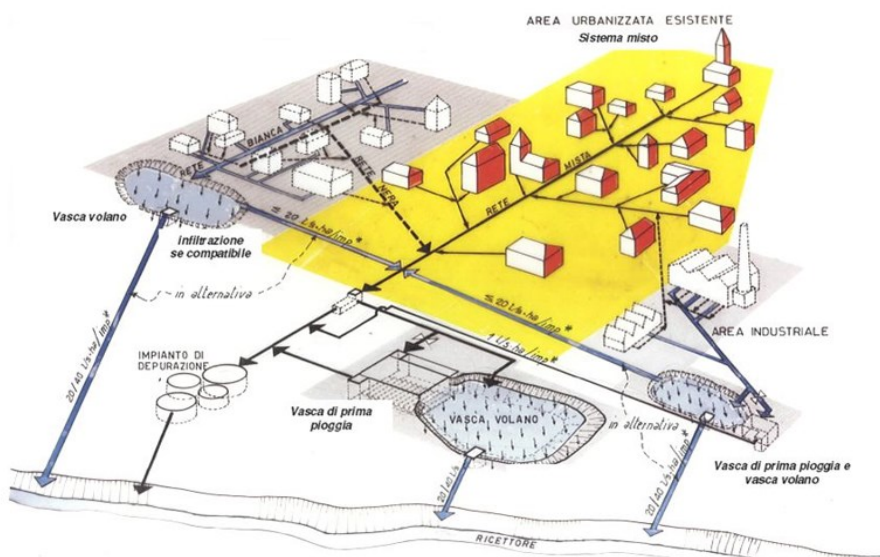


Figura 1: Schematizzazione di una rete di drenaggio urbana.

1.2. IL CICLO DELL'ACQUA

L'acqua è da sempre la risorsa più preziosa per la vita umana e per tutti gli ecosistemi naturali presenti sulla Terra. Il nostro pianeta è ricoperto per circa il 70% da acqua e la maggior parte di questa non è utilizzabile direttamente, in quanto necessita di particolari trattamenti che sono diversificati a seconda dell'utilizzo cui l'acqua è destinata.

Il volume di acqua presente sulla Terra è stimato in circa 1.360.000.000 km³. Di questi solo il 3% è acqua dolce e meno dell'1% è facilmente accessibile in laghi, fiumi o bacini (Figura 2).

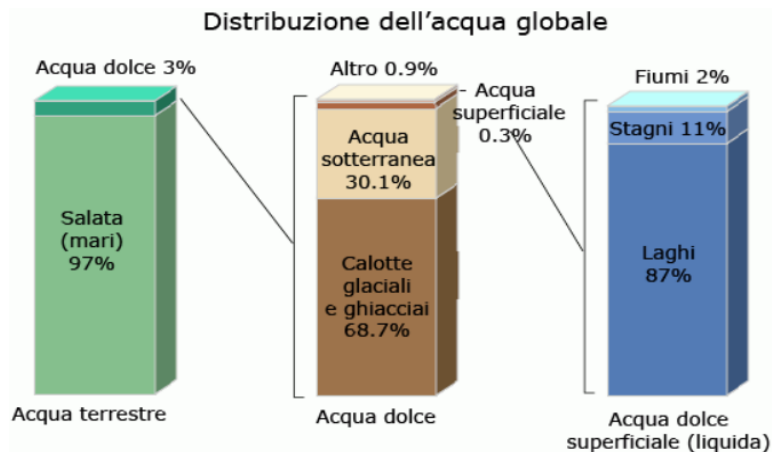


Figura 3: Distribuzione dell'acqua sul globo (USGS science for changing world, 2012).

A seconda della loro provenienza, le acque naturali si classificano in:

- acque meteoriche (pioggia, neve, grandine);
- acque sotterranee (falde profonde o freatiche);
- acque superficiali (mari, fiumi, laghi, sorgenti).

Inoltre, l'acqua è una risorsa che si rinnova secondo quel meccanismo che si definisce "ciclo dell'acqua" o "ciclo idrologico" (Figura 3).



Figura 4: Schema del ciclo dell'acqua (The Water Cycle, Italian – USGS, 2017).

Si tratta di un complesso insieme di fenomeni nel quale hanno primaria importanza la vegetazione e la sua diversità, il naturale scorrere di corsi d'acqua e la presenza di suolo naturale non compromesso dall'uomo.

L'uso dell'acqua per l'irrigazione è quello dominante, difatti sull'intero globo è pari a circa 2700 km³ per anno contro i 500 km³ utilizzato per i processi industriali ed i 200 km³ per gli usi domestici e civili (*Figura 4*).

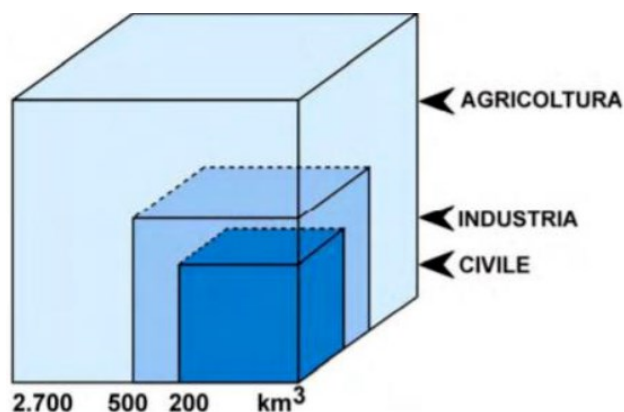


Figura 5: Utilizzo medio annuo dell'acqua nel globo (Forneris G., Pascale M., Zaccara P., 2008).

Per effetto dell'irraggiamento solare, l'acqua presente negli oceani e negli altri corpi idrici superficiale evapora. Contemporaneamente, sulle superfici emerse, sempre per l'azione del sole, si ha il fenomeno dell'evapotraspirazione, ovvero quel processo in cui l'acqua traspirata dagli esseri viventi, principalmente dalle piante ed evaporata dal sole, apporta vapore all'aria. Una piccola quantità d'acqua nell'atmosfera proviene dalla sublimazione, cioè il passaggio diretto dallo stato solido (ghiaccio, neve, brina) allo stato gassoso, senza passare per lo stato liquido, saltando completamente la fase di fusione. Le correnti d'aria ascensionali sollevano il vapore in alto nell'atmosfera sino agli strati più freddi, nei quali si ha la condensazione in goccioline microscopiche che vanno, poi, a formare le nuvole.

Le particelle d'acqua che formano le nubi condensano e si uniscono tra di loro per formare delle gocce più grandi e pesanti a sufficienza da cadere dal cielo sotto forma di precipitazione (pioggia, neve, grandine o semplicemente nebbia), alimentando i bacini superficiali, gli oceani e, in parte, infiltrandosi nel terreno così da alimentare gli acquiferi.

Tutta l'acqua che scorre in superficie e nel sottosuolo tenderà ad arrivare nei mari e negli oceani, da cui poi evaporerà e formerà, nuovamente, le nuvole per ricominciare il medesimo ciclo idrologico.

In realtà, l'attività dell'uomo altera non solo l'ambiente, ma anche i processi idrologici. Difatti, l'urbanizzazione ha provocato delle alterazioni al ciclo dell'acqua e generando squilibri sugli ecosistemi, soprattutto per quanto riguarda i fenomeni di evaporazione e traspirazione. Infatti, con la crescente impermeabilizzazione dei suoli attraverso la realizzazione di infrastrutture ed elementi strutturali come strade, parcheggi, tetti, cortili, marciapiedi e altro ancora, si riduce la possibilità dell'acqua di filtrare nel terreno ed alimentare le falde, contribuendo all'incremento dello scorrimento superficiale e quindi, delle portate nei fiumi.

Nella *Figura 5* è illustrato un confronto tra un terreno naturale permeabile (immagine a sinistra) con scarso scorrimento superficiale, buona infiltrazione in falda e forte evapotraspirazione, e una situazione caratterizzata da una superficie impermeabilizzata (immagine a destra): in questo caso ha

luogo un elevato deflusso superficiale, una scarsa o quasi nulla alimentazione della falda e una limitata evapotraspirazione.

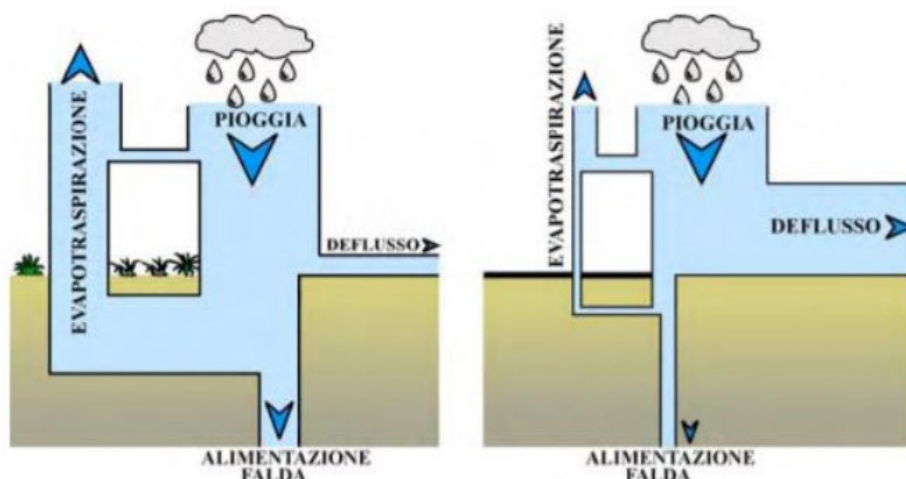


Figura 6: Confronto tra un suolo naturale permeabile (a sinistra) ed uno impermeabile (a destra) (Forneris G., Pascale M., Perosino G.C., Zaccara P., 2008).

1.3. IL CONSUMO DI SUOLO

L'impermeabilizzazione del suolo si verifica in genere quando parte del terreno viene coperta da materiali artificiali impermeabili, oltre che per fenomeni più o meno naturali quali la possibile compattazione degli strati del suolo.

Come rilevato dall'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (Ispra), a livello nazionale, dal dopoguerra ai giorni nostri, il suolo "consumato" a seguito della sottrazione di aree naturali e agricole per usi residenziali, produttivi o infrastrutturali è cresciuto di quasi il 160%.

La percentuale di suolo consumato è il 7% dell'intero territorio nazionale, pari a circa 21'000 km². La distribuzione del fenomeno non è omogenea in tutto il paese, ma è molto differenziata a livello di Regioni, Province e Comuni. Le stime a livello regionale riscontrano i valori più elevati in Lombardia e in Veneto, con oltre il 10%, e tra il 7 e il 10% in Emilia-Romagna, Lazio, Piemonte, Sicilia, Liguria, Campania, Puglia.

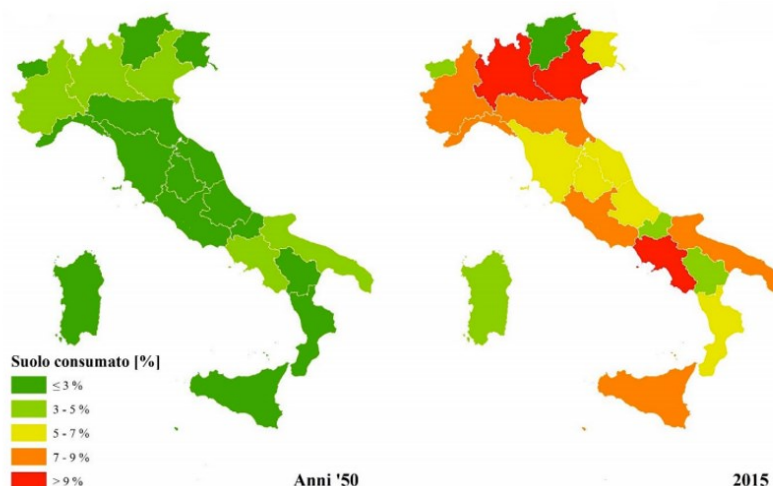


Figura 7: Stima del suolo consumato a livello regionale dagli anni '50 e al 2015 (ISPRA).

L'inserimento di elementi come strade, parcheggi, tetti e marciapiedi comporta inevitabilmente l'impermeabilizzazione del suolo e di conseguenza un aumento del deflusso superficiale, un abbassamento dell'infiltrazione, dell'evapotraspirazione e dell'alimentazione delle falde.

Se un suolo permeabile viene sostituito con uno impermeabile si ha una variazione sia temporale che spaziale nello spostamento dei volumi di pioggia, poiché l'acqua in superficie ruscella più velocemente.

La *figura 7* riassume graficamente gli impatti dell'urbanizzazione su un bacino idrografico.

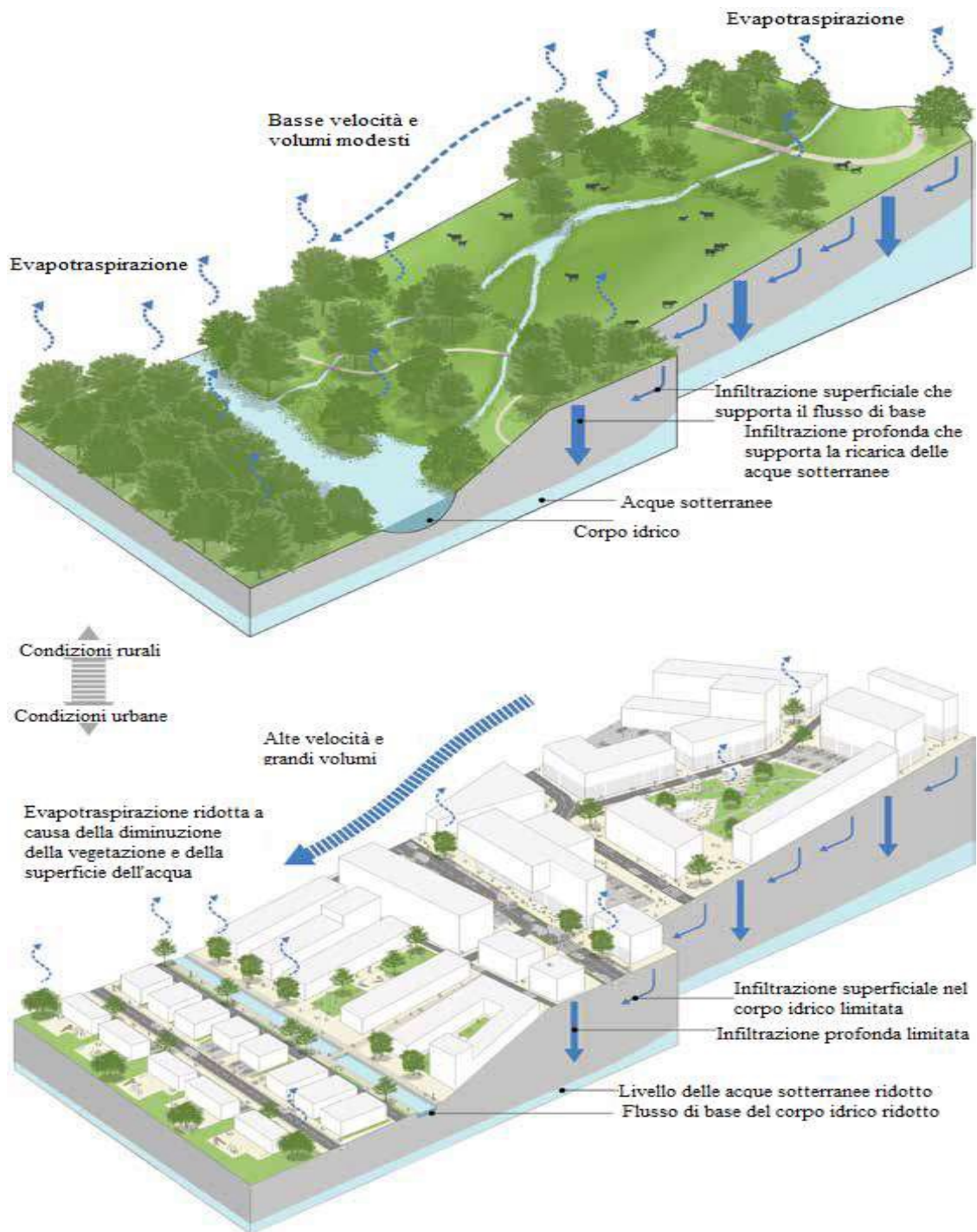


Figura 9: Confronto tra un bacino con superficie naturale drenante e una superficie urbanizzata.

Le piogge intense, in concomitanza con le problematiche legate all'impermeabilità del suolo dovuto all'urbanizzazione, generano importanti problemi nel sistema di drenaggio, poiché il quantitativo d'acqua che la rete è in grado di smaltire spesso risulta essere minore rispetto a quello che arriva in fognatura. Ai problemi sopracitati vanno aggiunte le complicazioni dovute alla mancanza di manutenzione periodica delle fognature che peggiorano ulteriormente la situazione.

La copertura del suolo con materiali impermeabili, dunque, ne compromette significativamente le sue funzionalità ecologiche, economiche e sociali.

1.4. INVARIANZA IDRAULICA

Come abbiamo precedentemente detto, se la superficie naturale viene urbanizzata, in tutto o in parte, la superficie del terreno viene impermeabilizzata. Riducendo la superficie permeabile si riduce la quantità d'acqua che viene assorbita dal terreno, i volumi di invaso e il tempo di corrivazione, inteso come il tempo che impiega l'acqua di precipitazione a raggiungere il recapito finale. Tutto questo genera un aumento delle portate defluenti ed un anticipo del picco di piena (*Figura 8*).

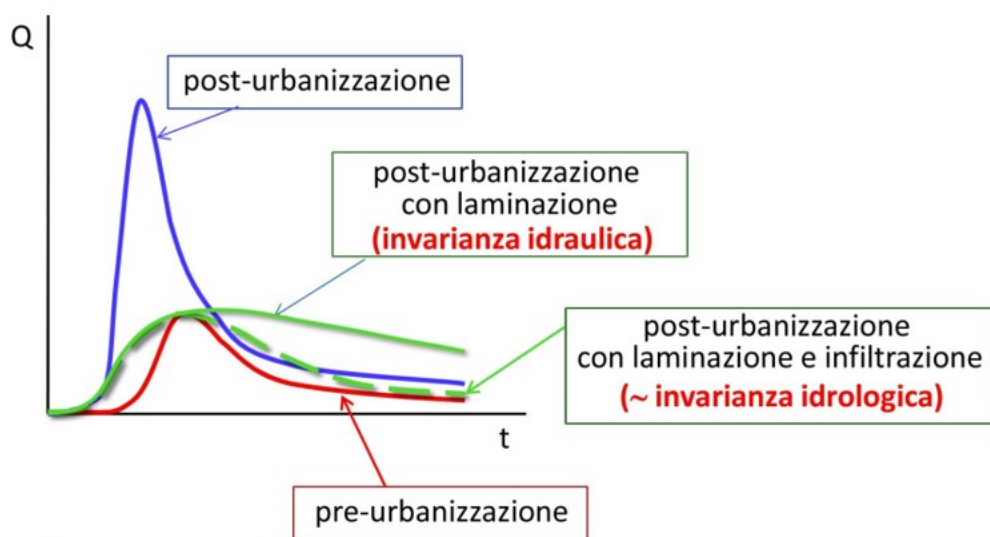


Figura 10: Effetti dell'urbanizzazione sulle portate da allontanate attraverso un sistema di drenaggio.

Come conseguenza le opere di drenaggio esistenti potrebbero risultare sottodimensionate per far defluire l'intera la portata convogliata in esse.

Al fine di ridurre tali effetti è stato introdotto, dai vari enti normatori, il concetto di invarianza idraulica e idrologica. Con il termine d'invarianza idraulica s'intende il mantenimento, da parte dalle nuove aree urbanizzate, delle portate massime scaricate nei corpi idrici ricettori rispetto a quelle preesistenti all'urbanizzazione. Con il termine d'invarianza idrologica s'intende invece il fatto che non solo le portate, ma anche i volumi di deflusso meteorico non debbano essere maggiori di quelli preesistenti.

In linea del tutto generale la verifica d'invarianza idraulica prevede che la nuova portata generata dalla modifica urbanistica sia minore o uguale a quella preesistente o inferiore ai valori massimi ammessi da norma o accettati dall'ente gestore il corpo idrico ricettore.

Al fine di mantenere l'invarianza, gli interventi possibili sono in genere i seguenti (Figura 9):

- Realizzazione di opere di stoccaggio delle acque meteoriche per successivo riuso; in questo caso si ha un beneficio anche per il sistema acquedottistico;
- Realizzazione di opere o aree di infiltrazione (trincee di infiltrazione, bacini d'infiltrazione, caditoie filtranti, ecc.) che vadano a compensare l'impermeabilizzazione realizzata con gli interventi urbanistici;
- Realizzazione di invasi naturali o artificiali che vadano a laminare la portata e che siano dotati di sistemi di controllo della portata scaricata;
- Realizzazione di pavimentazioni permeabili;
- Altre opere meno frequenti (tetti verdi, ecc.).

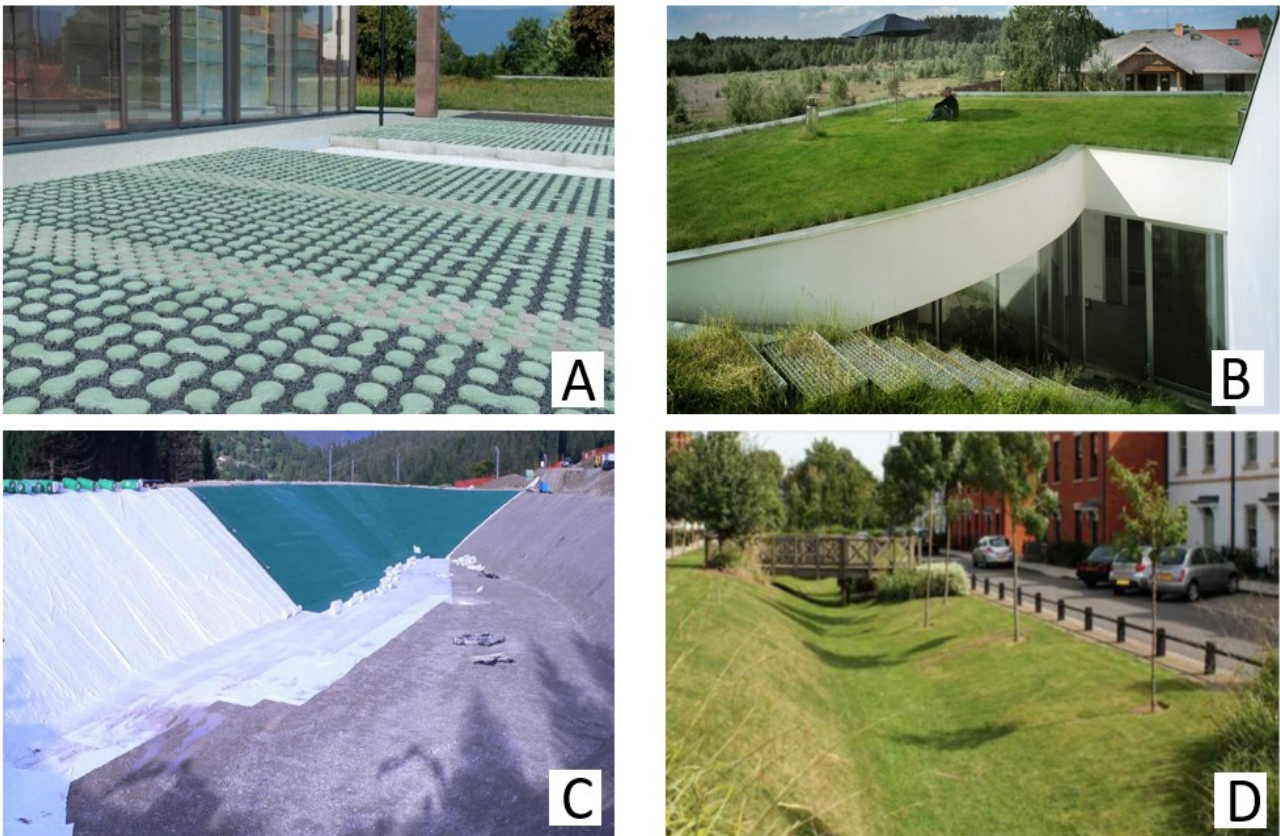


Figura 11: Possibili soluzioni quali pavimenti permeabili (A), tetti verdi (B), bacini artificiali (C) e trincee drenanti (D).

1.5. IL PROBLEMA DELLA SICCAITA'

La siccità è il decremento dell'acqua disponibile in un particolare periodo e per una particolare zona. È un fenomeno sporadico che può colpire anche aree non aride. Si distinguono tre tipi di siccità:

- la siccità meteorologica, quantificata in base ai millimetri di pioggia caduti rispetto alla media del periodo;

- la siccità agricola, quando le piogge non sono sufficienti a rendere umido il terreno e a fornire l'acqua per la crescita delle piante;
- la siccità idrologica, quando l'assenza di pioggia prolungata causa una scarsità di acqua nelle riserve superficiali come fiumi e laghi, e pian piano intacca anche le riserve idriche sotterranee.

La siccità che ha colpito gran parte dell'Italia centro-settentrionale nell'inverno e primavera appena trascorsi ha assunto connotati quasi eccezionali se confrontati con episodi simili nel passato. Secondo le informazioni del sito Icona clima, l'inverno del 2022 in Italia è stato il sesto più siccitoso degli ultimi 63 anni.

Particolare la situazione che riguarda il fiume Po e i suoi affluenti: il principale corso d'acqua italiano per lunghezza e portata ha raggiunto i livelli idrometrici più bassi degli ultimi trent'anni. Un dato drammatico, perché se fin dal 2003 si segnalava che la siccità colpiva la ricchezza idrica del Po nel periodo estivo, questa è la prima volta che la sofferenza di acqua è risultata così evidente già ad inizio primavera.

Anche situazione del Brenta, uno dei principali fiumi che attraversa il Veneto ed è prossimo al sito di studio oggetto della presente tesi di laurea, ha raggiunto livelli allarmanti che non si vedevano da diversi anni (*Figura 10*).



Figura 12: Posizione fiume Brenta e stazione di rilevamento di Curtarolo (PD).

Come rilevato dall'ARPAV e raffigurato nella *Figura 11*, il livello del fiume si è abbassato progressivamente fino a raggiungere un livello di -0.68 m. Il livello è riferito allo zero idrometrico della stazione, che per Limena (Comune di Curtarolo) è pari a 14,187 m s.l.m. Si comprende che la situazione è critica dal fatto che il valore minimo raggiunto a fine marzo 2022 è significativamente inferiore al minimo registrato durante l'intero 2021 pari a -0.33 m.

Giorno	GEN	FEB	MAR
1	0.22	0.37	-0.52
2	0.20	0.33	-0.53
3	0.20	0.27	-0.55
4	0.20	0.21	-0.57
5	0.19	0.15	-0.58
6	0.27	0.11	-0.59
7	0.58	0.06	-0.60
8	0.50	-0.09	-0.60
9	0.46	-0.17	-0.61
10	0.43	-0.19	-0.63
11	0.44	-0.24	-0.65
12	0.44	-0.24	-0.66
13	0.42	-0.27	-0.66
14	0.32	-0.27	-0.66
15	0.17	-0.26	-0.66
16	0.16	0.02	-0.66
17	0.38	-0.07	-0.66
18	0.47	-0.15	-0.67
19	0.47	-0.17	-0.67
20	0.49	-0.19	-0.67
21	0.51	-0.19	-0.66
22	0.52	-0.17	-0.67
23	0.51	-0.12	-0.67
24	0.50	-0.29	-0.68
25	0.50	-0.44	-0.68
26	0.53	-0.46	-0.68
27	0.55	-0.48	-0.67
28	0.55	-0.51	-0.67
29	0.55		-0.67
30	0.56		-0.66
31	0.48		-0.62

Figura 13: Dati storici forniti dall'ARPAV del livello idrico del fiume Brenta nel primo trimestre 2022 rilevati nella stazione di Curtarolo (PD).

Le cause di questo fenomeno sono molteplici. La carenza di precipitazioni risulta indubbiamente la causa predominante, aggravata dal verificarsi di altri fattori.

Un primo riguarda il mutamento del regime delle precipitazioni. Negli ultimi anni non è stata rilevata una significativa tendenza negativa della quantità annuale di pioggia, bensì un'alternanza di periodi di piogge brevi ma intense, a sempre più lunghi periodi in cui le piogge sono scarse o assenti.

Altro elemento da sottolineare è la scarsità di precipitazioni nevose sulle Alpi durante il periodo invernale. Questo comporta un insufficiente apporto d'acqua per i fiumi in conseguenza dello scioglimento in quota.

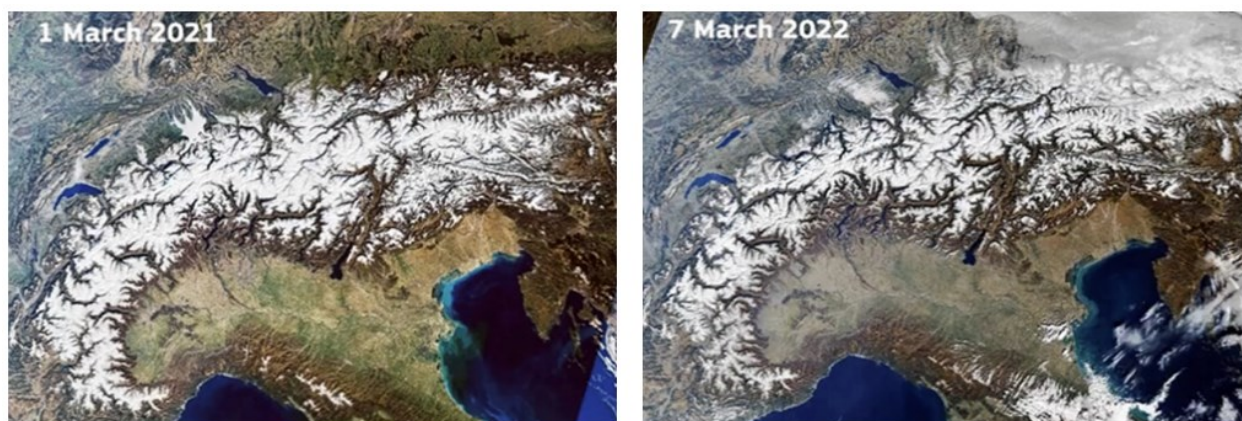


Figura 14: Confronto tra marzo 2021 e marzo 2022 sulla presenza di neve nelle Alpi (rilevato dal satellite Sentinel 3, programma Copernicus).

In *figura 12* è riportato un confronto dell'accumulo di neve sulle Alpi tra marzo 2021 e marzo 2022. Le due immagini provengono dal satellite Sentinel 3 del programma Copernicus dell'Unione Europea. Si evidenzia l'assenza di neve e la presenza di vaste aree non innevate specialmente sul Nord-Est.

Infine, a peggiorare la situazione ha contribuito un'estate 2021 molto calda e un inverno/autunno con temperature sopra la media che hanno favorito il processo di evapotraspirazione. Le temperature sono risultate infatti $1,6^{\circ}\text{C}$ superiori alla media climatica del trentennio 1981-2010. Come è possibile osservare dalla *Figura 13*, le anomalie più elevate si sono registrate sulle Alpi con picchi anche oltre 4°C oltre le medie di riferimento. Questo mix di carenza di precipitazioni e alte temperature ha fatto dell'inverno 2021/22 uno dei più secchi e caldi di sempre su molte località delle Alpi e del Nord-Italia.

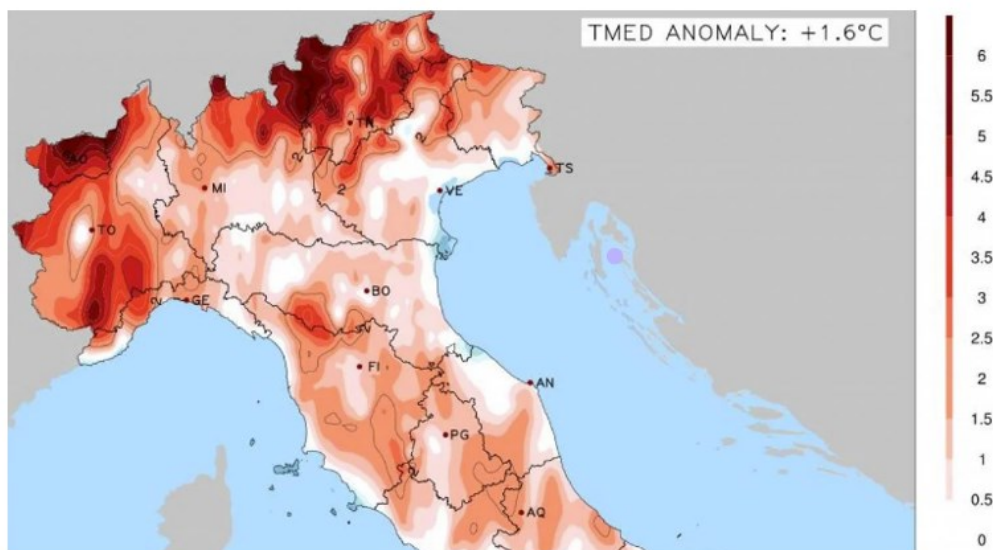


Figura 16: Anomalie di temperatura registrate nell'inverno 2021-2022 (fonte dati rete Meteonetwork).

CAPITOLO 2

2.1. AREA DI STUDIO

L'area di riferimento è il territorio di Santa Maria, frazione del comune di Cittadella, che si trova nell'Alta Padovana (Figura 14).



Figura 17: Posizione geografica dell'area di studio.

La zona di studio presa in considerazione per questa tesi ha una superficie di circa 7 ettari e viene evidenziata in Figura 15.



Figura 18: Il territorio di Santa Maria di Cittadella e l'area di studio compresa all'interno del perimetro bianco.

Comprende buona parte della frazione di Santa Maria, in particolare il centro del paese e il territorio a monte della chiesa e del campo sportivo, fortemente urbanizzato a causa della presenza di strade, parcheggi e abitazioni.

La rete di drenaggio è posta al di sotto delle strade che attraversano la zona, in particolare Via dei Grimani (a sinistra) e Via Case Bianche e Via 11 Settembre (a destra). È presente nel territorio anche un piccolo corso d'acqua che va a immettersi successivamente nel fiume Tergola (*Figura 16*).

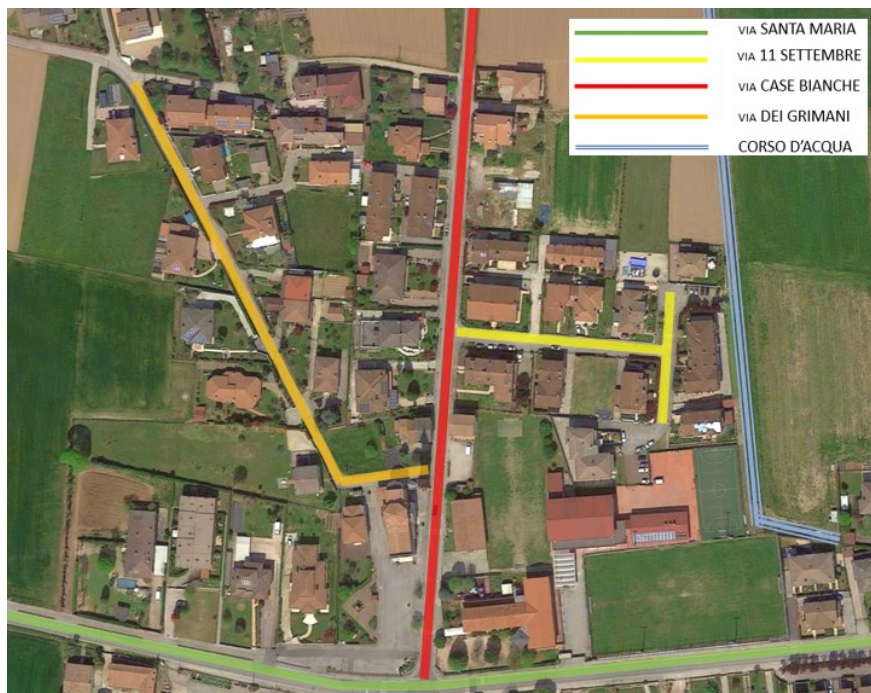


Figura 19: Indicazione delle vie presenti nel territorio di interesse.

2.2. ANALISI PIOGGIA

Il corretto dimensionamento della rete di drenaggio urbano richiede di conoscere la quantità e la frequenza di pioggia caduta nella nostra zona di studio.

2.2.1. CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA

È utile andare a introdurre alcune terminologie essenziali per una corretta analisi pluviometrica.

Con altezza massima di precipitazione h si intende lo spessore della lama d'acqua che coprirebbe una superficie orizzontale, qualora tutta l'acqua fosse trattenuta così da formare uno spessore uniforme. Con durata della precipitazione τ si intende la durata del fenomeno. Con tempo di ritorno Tr associato ad una precipitazione con una certa altezza si definisce il tempo, solitamente espresso in anni, che intercorre mediamente tra due osservazioni aventi precipitazione massima annua maggiore di tale altezza.

Ci si chiede se è possibile trovare una relazione tra l'altezza di precipitazione h di un certo evento meteorico e la sua durata τ per un determinato tempo di ritorno Tr .

Si osserva che:

$$h = h(Tr, \tau, sito) \quad [2.1]$$

Esistono diverse formule per descrivere questa relazione. Solitamente viene utilizzata la formula a due parametri di Massari:

$$h = at^n \quad [2.2]$$

dove a ed n sono due coefficienti, il primo funzione del tempo di ritorno, il secondo che dipende esclusivamente dalla stazione di rilevamento.

Per quantificare i valori di questi due parametri ci si affida all'analisi statistica delle registrazioni pluviometriche che si hanno per una certa stazione di misura e alla conseguente elaborazione delle curve di possibilità pluviometrica. Per la determinazione di tali curve, caratteristiche di una determinata stazione di rilevamento pluviometrica, è necessario fare riferimento a serie storiche di dati di piogge massime annuali, registrate in un periodo non inferiore a 30-40 anni. Per far ciò è possibile consultare gli Annali Idrologici. Si tratta di una serie di volumi pubblicati dall'ufficio Territoriale del Servizio idrografico italiano, in cui vengono raccolti i dati di precipitazioni, deflussi e temperature. Nella Tabella III presente nella prima parte degli annali idrografici sono riportati i dati di interesse.

Nella progettazione di alcune opere idrauliche, quali le reti di drenaggio, i canali o le dighe, il problema idraulico fondamentale consiste nel calcolare la portata massima di piena che deve essere smaltita dall'opera stessa. Tale valore può essere ottenuto dalle curve di possibilità pluviometrica di quella determinata zona. Risultano dunque essenziali tali curve poiché hanno lo scopo di fornirci dati significativi per il corretto dimensionamento di una nuova opera, oltre che per una verifica di una opera esistente.

Le costruzioni idrauliche vengono dimensionate per diversi ordini di grandezza dei tempi di ritorno, a seconda delle conseguenze di una eventuale insufficienza. Per esempio, per le fognature si usa un Tr che varia tra i 5 e i 20 anni; per le tombinature delle strade provinciali un Tr che varia tra i 20 e i 100 anni; per le tombinature di autostrade un Tr che varia tra 100 e i 500 anni.

2.2.1. FATTORI CHE INFLUENZANO LA FORMULA

Sulla base delle osservazioni a disposizione si è evidenziato come il valore dell'intensità media di precipitazione ragguagliata si riduce all'aumentare dell'area di studio.

Se il bacino ha un'area inferiore ai 1300 ha Puppini ha sviluppato delle relazioni per passare dai parametri della curva di una stazione di misura a quelli dell'intero bacino. Si devono utilizzare i valori di a' e n' secondo le seguenti relazioni:

$$a' = a \left[1 - 0.052 \frac{s}{100} + 0.002 \left(\frac{s}{100} \right)^2 \right] \quad [2.3]$$

$$n' = n + 0.000252 \quad [2.4]$$

Una seconda importante osservazione riguarda il tempo di precipitazione: se la durata è inferiore a 1 ora, bisogna modificare il valore di n ponendolo pari a:

$$n' = n \frac{4}{3} \quad [2.5]$$

2.3. PLUVIOMETRIA DELLA ZONA DI STUDIO

Come prima operazione è necessario dunque individuare una stazione pluviometrica prossima all'area di studio. Dal sito dell'ARPAV si deduce che è presente una stazione di rilevamento proprio nel comune di Cittadella, individuata con la numerazione 110 nella *Figura 17*.

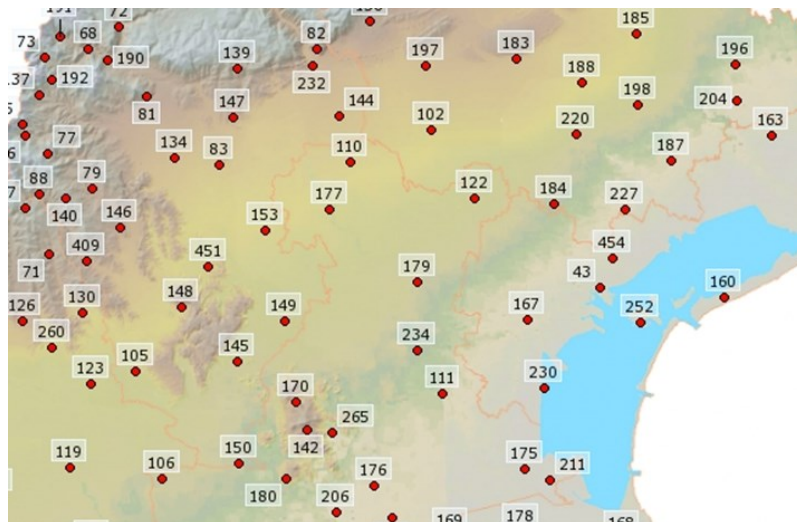


Figura 20: Stazioni di rilevamento pluviometrico presenti nel Nord-Est.

Le curve di possibilità pluviometrica fornite da ARPAV per la stazione di Cittadella sono riportate in *Figura 18*. Poiché l'area di studio ha una superficie inferiore ai 13000 ha e le durate delle precipitazioni critiche sono inferiori all'ora, vengono modificati i parametri a e n per mezzo delle formule 2.3, 2.4, 2.5.

I parametri utilizzati nello studio risultano essere:

2 anni	$a' = 43,456$	$n' = 0,565$	[2.6]
5 anni	$a' = 54,965$	$n' = 0,570$	[2.7]
10 anni	$a' = 62,523$	$n' = 0,571$	[2.8]

2.4. VASCA DI LAMINAZIONE

Come accennato capitolo 1.4, esistono diverse soluzioni per garantire l'invarianza idraulica in aree caratterizzate da una forte espansione urbana. Una tra queste può essere quella di inserire all'interno della rete di drenaggio una vasca di laminazione che possa trattenere le acque piovane.

In particolare, con questa tesi si propone l'utilizzo di particolari elementi posti al di sotto del terreno che permettono l'immagazzinamento e il riutilizzo delle acque meteoriche. A tal fine, valutando le varie aziende che propongono questo tipo di intervento, si è deciso di utilizzare la soluzione DRENING proposta dalla ditta GEOPLAST S.p.a.¹

Il bacino artificiale sotterraneo che si viene a creare è costituito da elementi in poliuretano che collegati tra di loro permettono un accumulo di acque fino a 310 l/m² (*Figura 18*).

¹ Catalogo del sistema Drening presente in appendice (1).

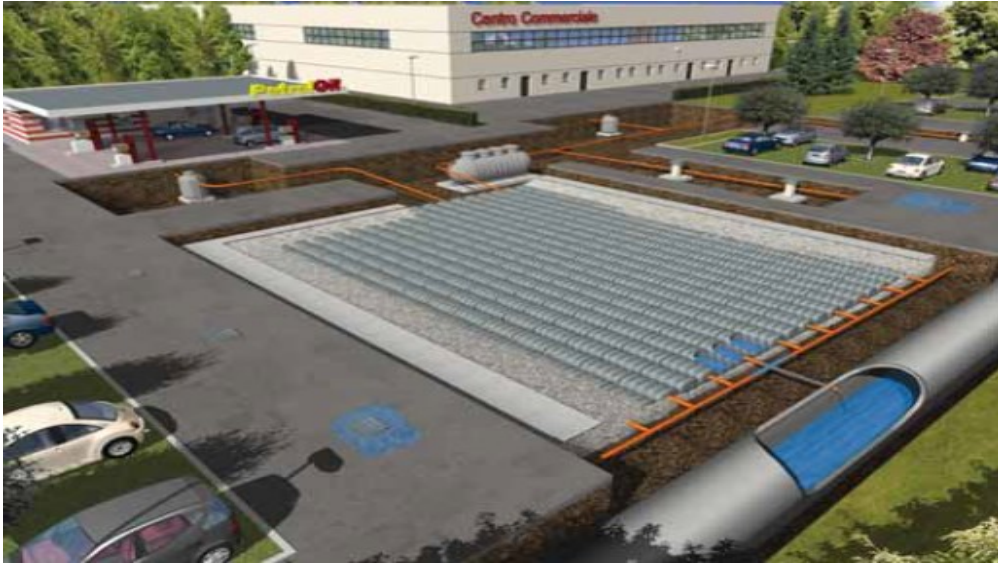


Figura 18: Esempio di bacino interrato realizzato grazie alla soluzione DRENING.

Le caratteristiche tecniche di ogni elemento sono le seguenti:

- Dimensioni: 120x80x40 cm (Figura 19);
- Peso: 11 kg;
- Materiale: Pead (polietilene ad alta densità);
- Capacità di invaso: 310 litri/ m²;
- Sovraccarico statico massimo: 250 kg/m².

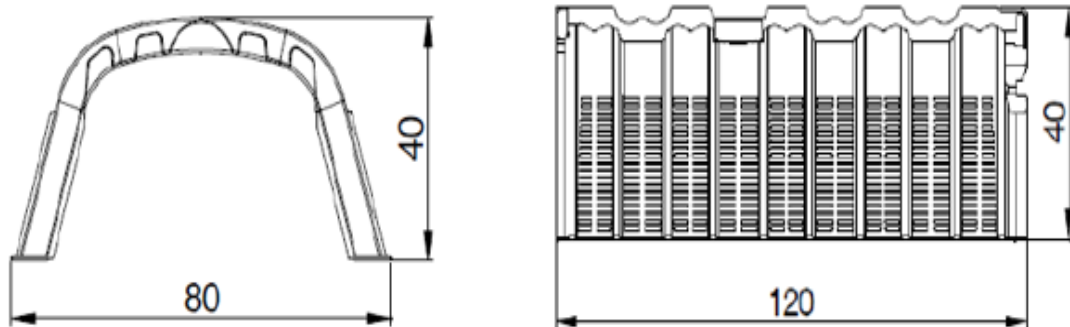


Figura 19: Dimensioni e geometria di un elemento.

I vantaggi dell'utilizzo di questo sistema sono diversi:

- riduzione della portata delle acque meteoriche da versare nelle reti fognarie e nei corsi d'acqua;
- creazione di un bacino interrato al fine di risparmiare spazio nel piano campagna;
- intervento nel territorio meno invasivo;
- elevata capacità di accumulo rispetto ai sistemi tradizionali;
- posa in opera facile e veloce (Figura 20).



Figura 20: Esempio di sistema di accumulo interrato.

2.5. CASO STUDIO SANTA MARIA

Nello specifico del caso in esame, il sistema andrà posto al di sotto del campo sportivo. Questo permetterà oltre all'accumulo delle acque scolanti dalla rete fognaria della zona, anche di immagazzinare l'apporto meteorico drenato dal terreno soprastante.

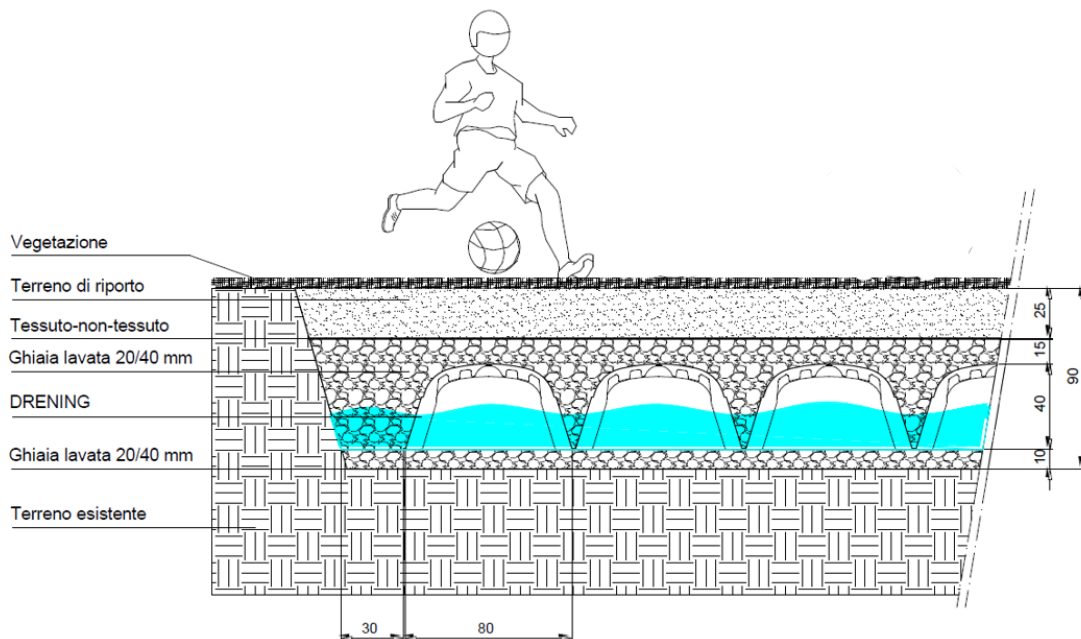


Figura 21: Stratigrafia terreno con posizionamento di sistema DRENING.

Infatti, come è possibile vedere dalla *Figura 21*, al di sopra degli elementi di accumulo si prevede di posizionare del materiale drenante per permettere un veloce passaggio della pioggia che arriva sulla superficie del terreno di gioco.

Per la vasca di accumulo si è deciso di andare a creare un bacino con area 2700 m^2 , composto da 2800 elementi posizionati in 56 file da 50 elementi ciascuna. La somma di tutti questi elementi, fornirà un possibile accumulo di 1080 m^3 di acqua. Il sistema è collegato a un recapito finale, che risulta essere il piccolo corso d'acqua che limita a est la frazione di Santa Maria. Questa soluzione permetterà alla rete di drenaggio urbano di scaricare la portata in eccesso rispetto a quella immagazzinabile nella vasca.

2.5.1. COSTO DEL SISTEMA

È possibile stimare un costo del sistema di accumulo “Drening” con l’ausilio del catalogo fornito dalla ditta GEOPLAST S.p.a. Il costo fa riferimento esclusivamente ai prodotti utilizzati per la realizzazione del sistema interrato, tralasciando i costi di scavo, dei materiali drenanti posti superiormente e della manodopera. Nello specifico, i calcoli presenti in *Figura 22* sono riferiti a un numero di 2800 elementi e di 56 tappi di chiusura per ogni fila.

PREZZI UNITARI SISTEMA DRENING	Elemento Drening	42,20 €/pz
	Tappo Drening	8,20 €/pz

COSTO INTERVENTO	Elemento Drening	118.160,00 €
	Tappo Drening	459,20 €
	Costo Totale	118.619,20 €

Figura22: Catalogo prezzi unitari del sistema Drening (sopra), costo intervento totale (sotto).

2.6. ANALISI DEL TERRENO

Per una corretta valutazione del terreno in cui predisporre il sistema di raccolta acque interrato, è necessario conoscere il tipo di materiale che compone il suolo. A tal fine, sono stati prelevati dal campo sportivo alcuni campioni di terreno a diverse profondità, per essere analizzati attraverso prove in laboratorio.

I campioni sono stati sottoposti ad una caratterizzazione granulometrica mediante setacci le cui maglie hanno diametri che vanno dai 2 mm fino ai 0.074 mm. Le particelle di terreno aventi diametro inferiore sono state caratterizzate attraverso un aerometro. Dalla legge di Stokes si è riscontrato che particelle di uguale dimensione immerse in un liquido, cadono tutte con la medesima velocità costante nel tempo. Attraverso questa prova, si inserisce il campione in un idrometro che permette di rilevare al trascorrere di prefissati intervalli di tempo le percentuali di terreno passate. Considerando che la sospensione non è omogenea, e quindi la densità non è costante in ogni punto, è possibile determinare la percentuale delle particelle con varie dimensioni in base al tempo con cui queste cadono a fondo.

Le prove hanno fornito come risultato un suolo prevalentemente limoso con presenza di sabbia medio-fine². Come è possibile notare dalle curve granulometriche presenti in *Figura 23* e *Figura 24*, in entrambi i campioni prelevati il 60% risulta essere limo.

Ciò identifica un terreno che drena l’acqua con una certa difficoltà. Infatti, il manto erboso, a seguito di una forte precipitazione, risulta completamente saturo e inzuppato.

Questo problema può essere evitato grazie alla disposizione del sistema di accumulo. Com’è possibile notare dalla *Figura 21*, il posizionamento di uno strato di materiale grossolano al di sopra degli elementi di stoccaggio garantirà un migliore drenaggio della precipitazione. Tale risultato garantisce benefici sia prestazionali che economici, poiché il terreno sarà soggetto a minori interventi di manutenzione.

² Risultati delle prove granulometriche presenti in appendice (2).

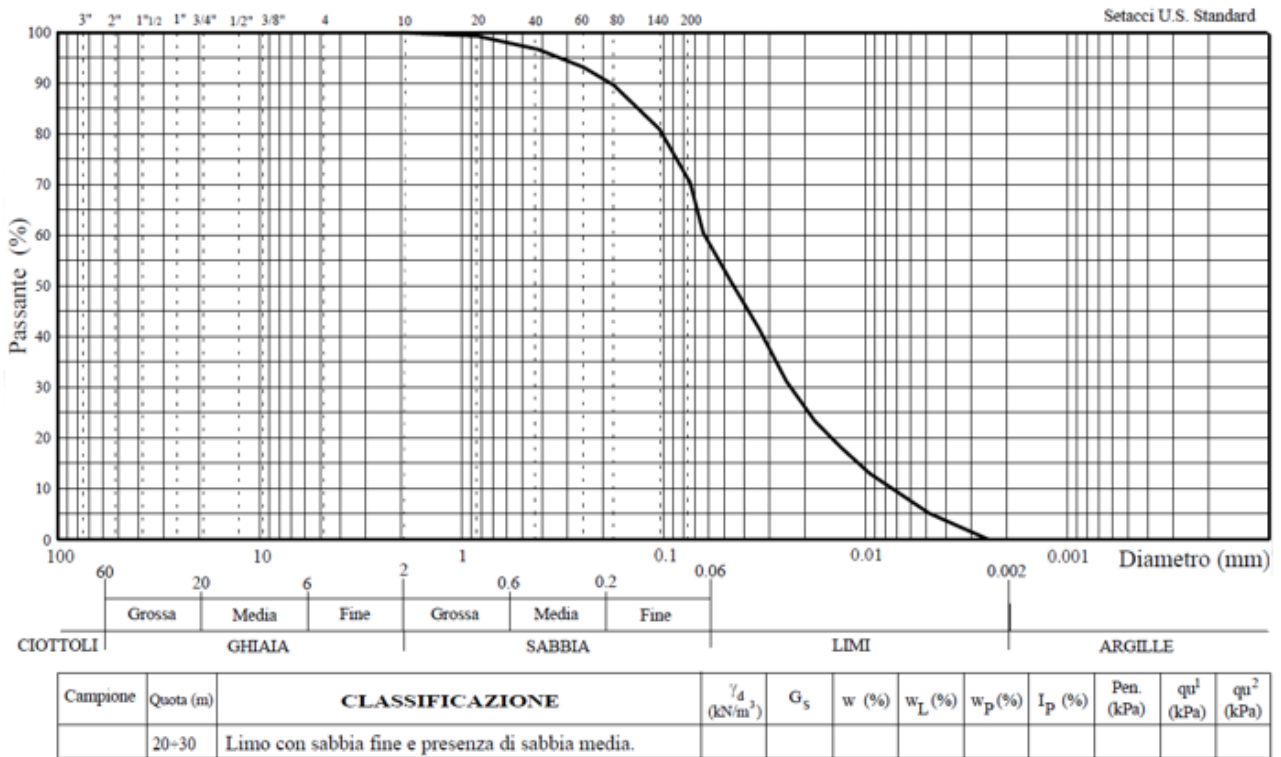


Figura 23: Curva granulometrica del provino prelevato a 20-30 cm di profondità.

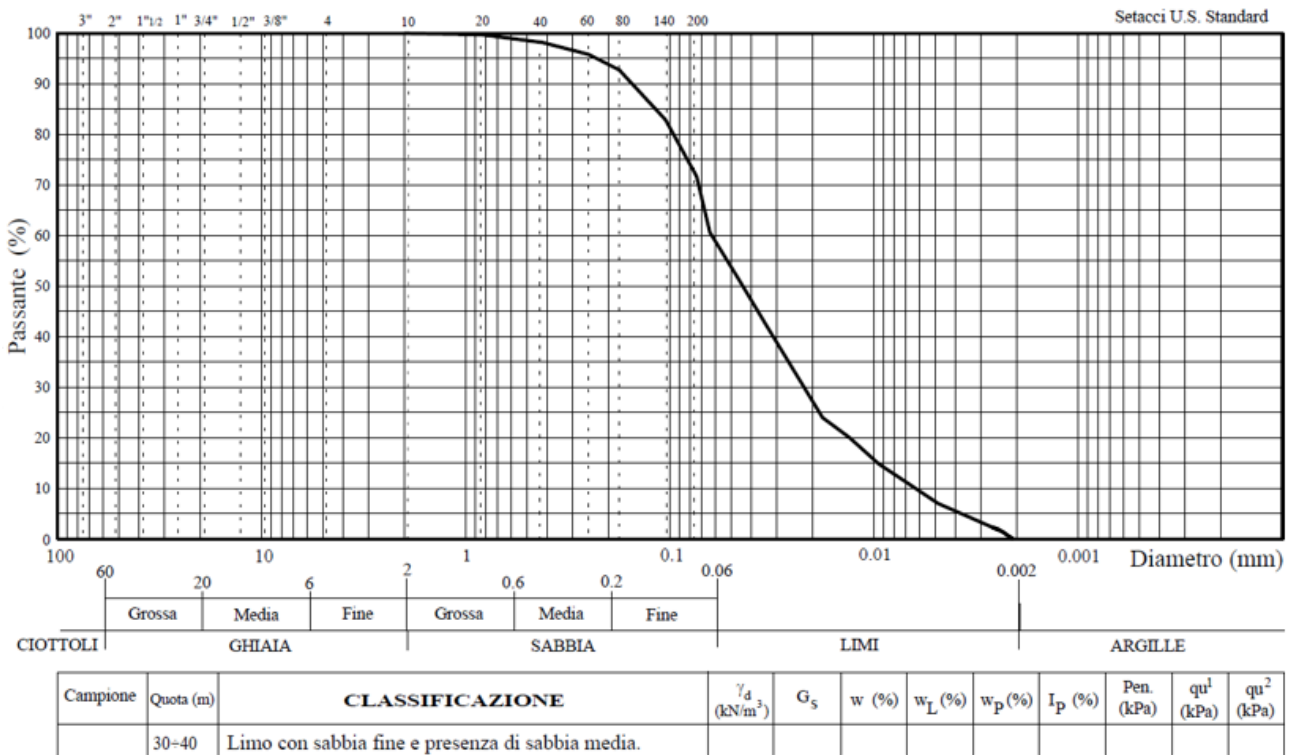


Figura 24: Curva granulometrica del provino prelevato a 30-40 cm di profondità.

CAPITOLO 3

3.1. SOFTWARE DI CALCOLO SWMM

Per simulare il comportamento della rete di drenaggio delle acque meteoriche del caso studio di questa tesi è stato utilizzato il software di calcolo EPA SWMM 5.1 (Storm Water Management Model), prodotto e sviluppato dal Water Supply and Water Resources Division dell'Environmental Protection Agency (US-EPA).

SWMM è un modello fisicamente basato di gestione delle acque meteoriche, capace di simulare il fenomeno dinamico afflussi-deflussi per eventi singoli o a lungo termine. Il programma opera trasformando in deflusso le precipitazioni che si riversano su un insieme di aree omogenee con una determinata caratteristica di permeabilità, chiamate subcatchments. Il deflusso in parte viene trasportato tramite un sistema di canali, tubi, dispositivi di stoccaggio, sistemi di trattamento, pompe e regolatori, in parte filtra nel terreno.

SWMM memorizza le variazioni temporali delle caratteristiche del deflusso prodotto in ogni area e i cambiamenti subiti dalle portate che circolano all'interno di tubi e canali. Il software è ampiamente utilizzato in tutto il mondo per la pianificazione, analisi e progettazione del deflusso delle acque meteoriche su reti fognarie miste o separate, consentendo di trattare numerosi processi idrologici.

3.2. CASO STUDIO SANTA MARIA: PREMESSE GENERALI

3.2.1. SUDDIVISIONE IN SUBCATCHMENTS

Come primo passo è stato necessario suddividere la zona di studio in determinati sottobacini. I sottobacini devono essere individuati con particolare criterio poiché ad ogni area verrà assegnato un determinato coefficiente di deflusso ϕ .

Questo coefficiente identifica il rapporto tra il volume defluito attraverso una determinata sezione in un definito intervallo di tempo e il volume totale piovuto sul bacino. Infatti, non tutta la precipitazione viene scaricata nelle condotte della rete di drenaggio, ma una parte si infiltra nel terreno.

Questo coefficiente stabilisce la percentuale di terreno impermeabilizzato: più alto è questo valore, maggiore sarà la quantità di acqua che arriverà alla condotta. Come valori di ϕ si usa un intervallo contenuto tra 0.2 e 0.9. Il primo identifica un'area interamente a prato (per esempio il sottobacino S25 di *Figura 25*), il secondo invece un'area totalmente urbanizzata (per esempio il sottobacino S31 di *Figura 25*). L'area di studio è stata suddivisa in 72 sottobacini, ai quali corrisponde una determinata area e un determinato coefficiente ϕ . Nella *Figura 25* è rappresentata la suddivisione del territorio nelle varie sotto aree, mentre nella *Tabella 1* sono indicati i diversi coefficienti di deflusso utilizzati per ogni sottobacino.



Figura 25: Suddivisione in sottobacini della zona di studio.

Bacino	Area (ha)	Coeff. deflusso	Bacino	Area (ha)	Coeff. deflusso
S1	0,04	0,90	S37	0,11	0,45
S2	0,10	0,25	S38	0,16	0,20
S3	0,06	0,30	S39	0,17	0,65
S4	0,03	0,90	S40	0,15	0,65
S5	0,02	0,90	S41	0,04	0,70
S6	0,06	0,30	S42	0,05	0,75
S7	0,03	0,90	S43	0,12	0,70
S8	0,05	0,30	S44	0,08	0,80
S9	0,01	0,90	S45	0,12	0,60
S10	0,05	0,30	S46	0,08	0,70
S11	0,07	0,85	S47	0,04	0,80
S12	0,06	0,55	S48	0,06	0,60
S13	0,03	0,90	S49	0,04	0,90
S14	0,11	0,30	S50	0,12	0,75
S15	0,09	0,35	S51	0,08	0,70
S16	0,05	0,90	S52	0,10	0,40
S17	0,03	0,90	S53	0,15	0,90
S18	0,12	0,25	S54	0,04	0,75
S19	0,14	0,70	S55	0,12	0,90
S20	0,07	0,25	S56	0,08	0,75
S21	0,07	0,70	S57	0,04	0,70
S22	0,04	0,25	S58	0,05	0,70
S23	0,11	0,70	S59	0,08	0,15
S24	0,08	0,90	S60	0,07	0,70
S25	0,08	0,25	S61	0,07	0,70
S26	0,18	0,40	S62	0,08	0,60
S27	0,07	0,20	S63	0,11	0,65
S28	0,13	0,85	S64	0,12	0,50
S29	0,06	0,35	S65	0,08	0,45
S30	0,09	0,25	S66	0,06	0,45
S31	0,12	0,90	S67	0,26	0,20
S32	0,09	0,90	S68	0,10	0,70
S33	0,06	0,90	S69	0,20	0,20
S34	0,05	0,30	S70	0,09	0,90
S35	0,06	0,50	S71	0,08	0,90
S36	0,15	0,20	S72	0,43	0,2/0,9

Tabella 1: Elenco delle dimensioni e dei diversi coefficienti di deflusso usati per ogni area.

3.2.2. EVENTO ATMOSFERICO

È necessario andare a creare all'interno del programma un evento che rappresenti una possibile precipitazione che interessi l'area di studio.

L'evento atmosferico con cui verificare/dimensionare una rete di drenaggio in SWMM è assegnato attraverso l'inserimento di un Rain Gain, un elemento che ipotizza la presenza di una stazione di rilevamento. Tramite questo, è possibile assegnare una Time Series, ossia un evento pluviometrico caratterizzato da una certa durata e intensità.

Per quanto riguarda la durata della precipitazione, innumerevoli osservazioni e studi hanno dimostrato che le condizioni peggiori durante un fenomeno si verificano quando la durata dell'evento meteorologico coincide con il tempo di corrivazione del bacino. Il tempo di corrivazione, indicato con il simbolo τ_c , rappresenta il tempo necessario affinché l'acqua raggiunga il recapito terminale dal punto più distante del bacino.

Per calcolare τ_c , è stato utilizzato il metodo cinematico a sforzo tangenziale al fondo fissato (2 Pa). L'applicazione del metodo ha fornito un valore di 1419 secondi, pari a 24 minuti³.

Per il calcolo dell'intensità si fa riferimento invece all'utilizzo della formula 2.2 riscontrata nel capitolo 2.2.1.

In particolare, da quest'ultima è possibile ricondurci al valore dell'intensità j tramite la seguente formula:

$$j = \frac{h}{\tau} \quad [3.1]$$

dove h è il valore dell'altezza di precipitazione e τ è la durata dell'evento espressa in ore.

Considerando i tre diversi tempi di ritorno Tr e i relativi valori di h , determinati grazie all'utilizzo delle curve di possibilità pluviometrica trattate nel capitolo 2.3, riscontriamo i seguenti valori di intensità j :

$$Tr = 2 \text{ anni} \quad j = 54.416 \quad [3.2]$$

$$Tr = 5 \text{ anni} \quad j = 68.246 \quad [3.3]$$

$$Tr = 10 \text{ anni} \quad j = 75.900 \quad [3.4]$$

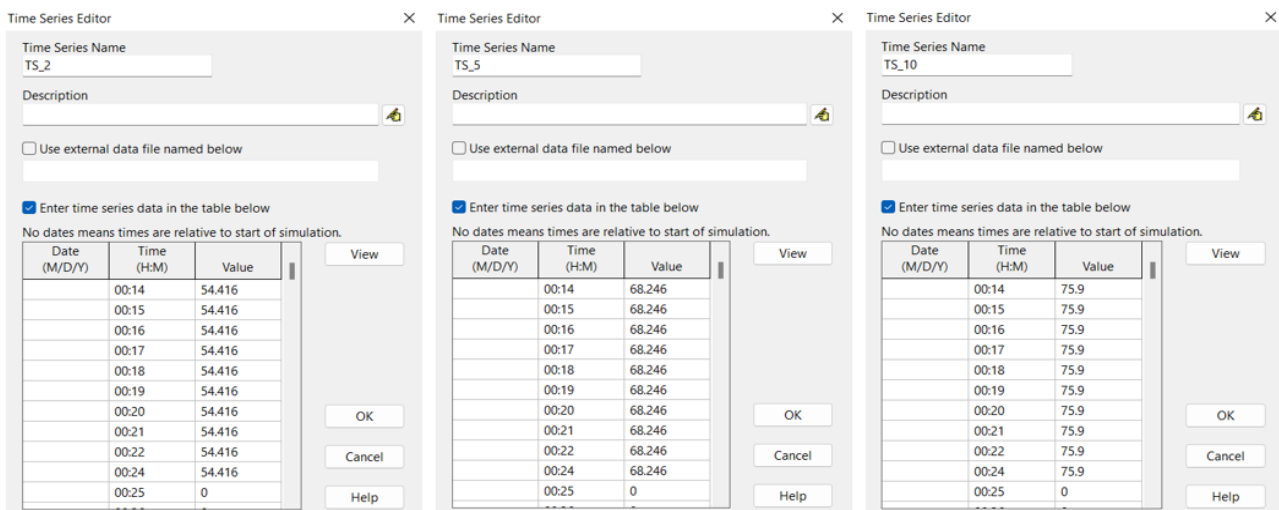


Figura 26: Time Series utilizzate con Tr di 2, 5 e 10 anni.

³ I risultati e i calcoli completi sono visualizzabili in appendice (3).

3.3. LA RETE NELLE STATO PRE-OPERA

Si decide di fare una prima analisi della rete fognaria presente, per vedere le possibili conseguenze a seguito di un intenso evento atmosferico.

Si procede al posizionamento delle condotte e dei corrispettivi pozzetti, che nel software vengono assimilati a dei nodi.

Dopo una ispezione effettuata in loco, è stato riscontrato che le condotte fognarie sono poste al di sotto della strada, precisamente su Via dei Grimani, Via Case Bianche e Via 11 Settembre. Tutte scaricano in una condotta principale posta al di sotto di Via Santa Maria. Per un corretto dimensionamento della rete attuale, è stato eseguito un sopralluogo su uno degli pozzetti posto in prossimità del recapito finale, riscontrando un diametro della condotta pari a 80 cm.

Sul programma SWMM, si è deciso di posizionare i nodi a una distanza massima di 50 m, al fine di mantenere una veritiera rappresentazione della rete fognaria presente territorio. In totale sono stati posizionati 32 nodi e 31 condotte (*Figura 27*). Ad ogni nodo (e di conseguenza alla condotta cui è collegato) sono assegnati diversi sottobacini: in questo modo si indica in quale condotta viene scaricata la precipitazione che ricade in una determinata area.



Figura 27: Disposizione e numerazione delle condotte della rete presente attualmente nell'area di studio.

3.4. LA RETE CON LA NUOVA OPERA

La progettazione dell'intervento per inserire un bacino artificiale al di sotto del campo sportivo è accompagnata da una modifica della rete di drenaggio. Le acque meteoriche non saranno più fatte defluire in Via Santa Maria ma in un piccolo corso d'acqua che passa a pochi metri dal campo da calcio.

3.4.1. COLLETTORI E NODI

Si decide di mantenere la stessa suddivisione in subcatchments effettuata nel capitolo 3.2.1 e raffigurata nella *Figura 25*. Si assegna un coefficiente di deflusso pari a 0.9 al campo da calcio (S72), assumendo che la maggior parte dell'acqua ricaduta in tale area venga confluita alla vasca di stoccaggio, posta al di sotto di esso.

Per quanto riguarda il sistema di tubature, si decide di posizionare 33 condotte, disponendole come rappresentato nella *Figura 28*. Anche in questo caso i nodi sono posti a una distanza massima di 50 m. Vengono dunque predisposti 34 nodi.



Figura 28: Disposizione e numerazione delle condotte per la realizzazione della nuova opera.

3.4.2. STORAGE UNITS

Il software permette di creare una vasca di accumulo tramite l'oggetto "storage units", identificandola come un nodo. Per questo caso studio si decide di inserire due vasche che assumono funzioni diverse, una prima per raccogliere le acque di prima pioggia, la seconda come vasca di accumulo.

Con il termine "acque di prima pioggia" vengono identificate le quantità di acqua piovana precipitata nei primi 15 minuti dell'evento meteorico, identificate con un valore di riferimento che solitamente è pari ai primi 5 mm di pioggia. Queste acque devono essere separate dalle "acque di seconda pioggia" poiché contengono un'elevata concentrazione di elementi inquinanti dilavati dall'atmosfera e dalla superficie scolante (ad esempio, idrocarburi, residui oleosi, particelle di materiali di consumo provenienti dagli autoveicoli circolanti). Le acque immagazzinate nella vasca di prima pioggia dovranno essere mandate a trattamento.

Il dimensionamento della vasca di prima pioggia viene effettuato considerando la superficie totale che defluisce al recapito finale, pari a 6.69 ettari.

$$V = 6.49 \text{ ha} \cdot 5 \text{ mm} = 324.5 \text{ m}^3 \quad [3.5]$$

Si decide dunque di creare una vasca con volume di 350 m³.

Il secondo sistema di stoccaggio è quello che andrà a creare il bacino artificiale per l'accumulo delle acque piovane. Come già detto nel capitolo 2.5, si decide di creare un bacino con area di 2700 m², composto da 2800 elementi posizionati in 56 file da 50 elementi ciascuna. Questo sistema di stoccaggio fornisce una possibilità di accumulo di 1080 m³ di acqua, utilizzabile per l'irrigazione del campo stesso e di tutte le zone verdi presenti nelle aree limitrofe.

Tramite SWMM la vasca viene inserita e collegata in linea all'ultima condotta della rete di drenaggio. Nella sezione storage units è possibile modificare le caratteristiche e il posizionamento della vasca di stoccaggio nel territorio (*Figura 29*).

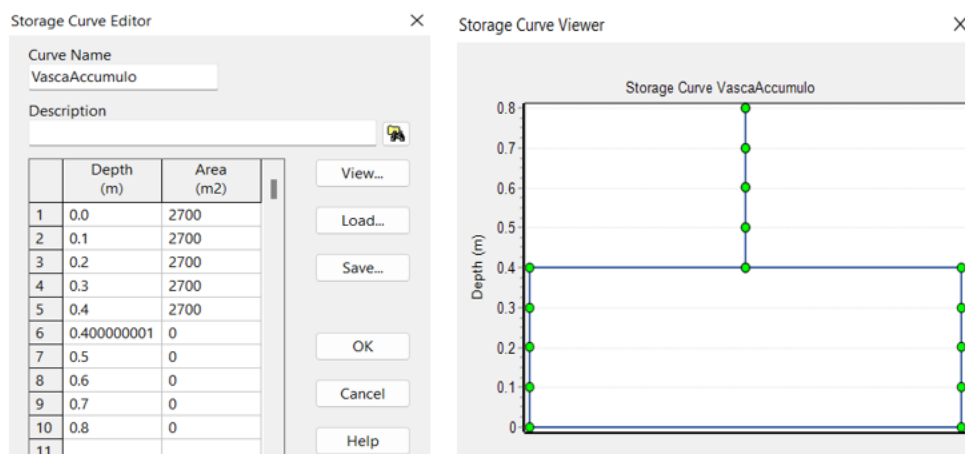


Figura 29: Tabella con l'andamento dell'area in relazione all'altezza della vasca.

CAPITOLO 4

4.1. RISULTATI PRE-OPERA

Come è stato accennato nel capitolo 3.3, è importante osservare la risposta dell'attuale rete di drenaggio a seguito di un evento pluviometrico critico. Tale verifica viene condotta in relazione a due parametri fondamentali, ovvero il grado di riempimento delle condotte e la velocità di deflusso.

Il grado di riempimento deve essere compreso tra 0.5 e 0.8. Non si deve eccedere il valore massimo per non rischiare che il sistema funzioni in pressione. Si deve comunque rispettare una certa percentuale di riempimento per evitare che ci sia deposizione del materiale più grossolano sul fondo delle condotte e per ottimizzare i costi dell'opera. In relazione alla velocità dell'acqua all'interno delle condotte, deve essere compresa tra 1 m/s e 3.5 m/s. Questo perché una velocità troppo bassa non permetterebbe il trascinarsi del trasporto solido mentre una velocità elevata aumenterebbe l'abrasione delle condotte, riducendone la vita operativa.

La *Figura 30* mostra il comportamento della rete fognaria per una precipitazione con tempo di ritorno di 2 e 5 anni.



Figura 30: Grado di riempimento delle condotte (in percentuale) e runoff superficiale (in cm) a seguito di un evento con $Tr=2$ anni (a sinistra) e $Tr=5$ anni (a destra), rispettivamente dopo 14 e 9 minuti di precipitazione.

Con $Tr=2$ anni si osserva che il sistema fognario va in crisi (grado di riempimento > 0.8) dopo 14 minuti da inizio precipitazione. Nel secondo caso invece, dopo soli 9 minuti.

Ancora più critica appare la situazione nel caso di un evento meteorico con $Tr=10$ anni. In *Figura 31* si osservano due situazioni allarmanti. Come prima cosa si nota che il sistema va in crisi (grado di riempimento > 0.8) dopo appena 6 minuti da inizio precipitazione. Inoltre, si evidenzia come dopo 23 minuti buona parte delle condotte poste in centro ed a est risultano in pressione. Questo risulta essere un grave malfunzionamento che implica che la rete non riesca più a far defluire l'acqua piovana verso il recapito finale, creando un forte rischio di allagamento della zona. Va ricordato che lungo Via 11 Settembre e Via Case Bianche sono presenti diverse palazzine residenziali, e un possibile allagamento dell'area creerebbe notevoli problematiche ai residenti.



Figura 31: Grado di riempimento delle condotte (in percentuale) e runoff superficiale (in cm) a seguito di un evento con $Tr=10$ anni dopo 7 minuti (a sinistra) e 23 minuti (a destra) di precipitazione.

In Figura 32 vengono riportati infine i profili altimetrici ed il grado di riempimento a 23 minuti da inizio precipitazione delle condotte poste su via 11 Settembre e via Case Bianche. Come è possibile osservare, su via 11 Settembre tutte le condotte risultano in pressione a seguito del loro completo riempimento. Su via Case Bianche invece, solo il primo e l'ultimo tratto hanno un valore ottimale del grado di riempimento mentre tutti gli altri risultano anch'essi in pressione.

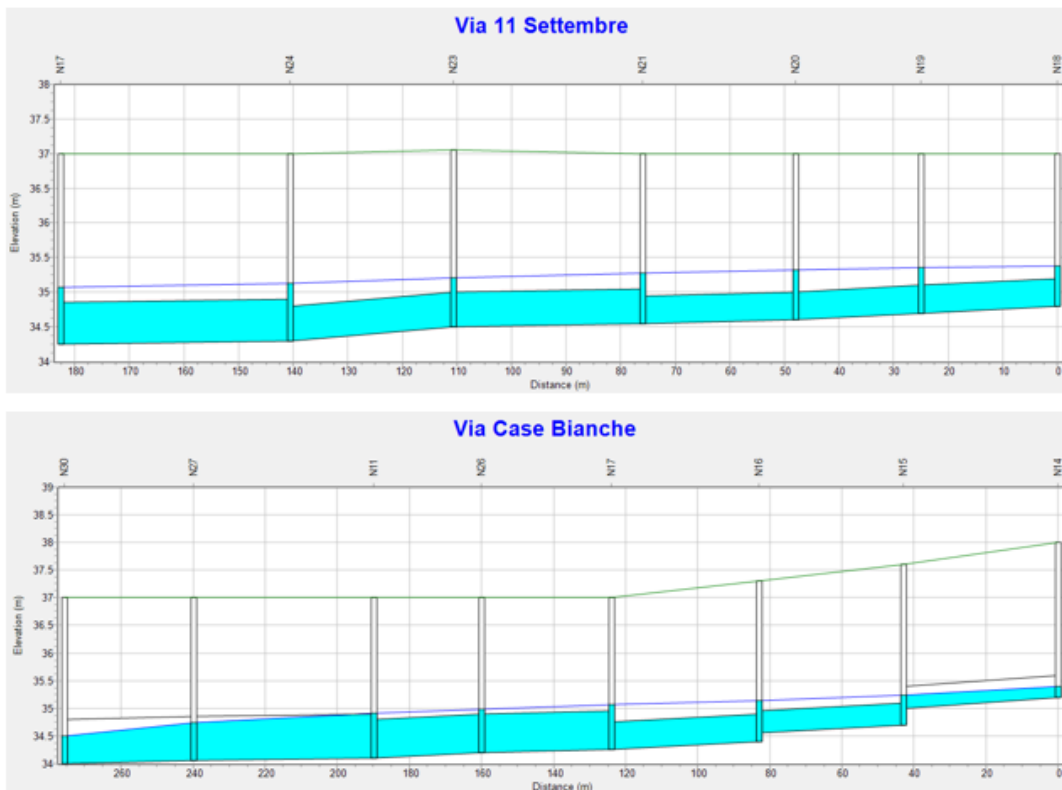


Figura 32: Profilo altimetrico e profilo liquido delle condotte poste su Via 11 Settembre (sopra) e su Via Case Bianche (sotto) dopo 23 minuti dall'inizio della precipitazione ($Tr=10$ anni).

4.2. RISULTATI NUOVA OPERA

Si analizza ora il comportamento della rete modificata per l'inserimento della vasca di stoccaggio e per migliorarne il funzionamento anche con eventi caratterizzati da $Tr=10$ anni.

Ciò ha richiesto la revisione del diametro di alcune condotte, al fine di rispettare i vincoli necessari per il corretto funzionamento. In particolare, si decide assegnare all'ultima condotta un diametro di 120 cm, a fronte degli 80 cm che avevamo riscontrato nel sopralluogo effettuato in loco. La dimensioni (lunghezza e diametro) della nuova rete sono riportate in *Tabella 2*.

Nella *Figura 33* sono riportati i valori del massimo grado di riempimento delle condotte e dei vari subcatchments a seguito di precipitazioni con tempo di ritorno di 2, 5 e 10 anni. Si osserva che in tutti i casi sono rispettate le condizioni ottimali, garantendo un corretto drenaggio all'interno della rete fognaria.

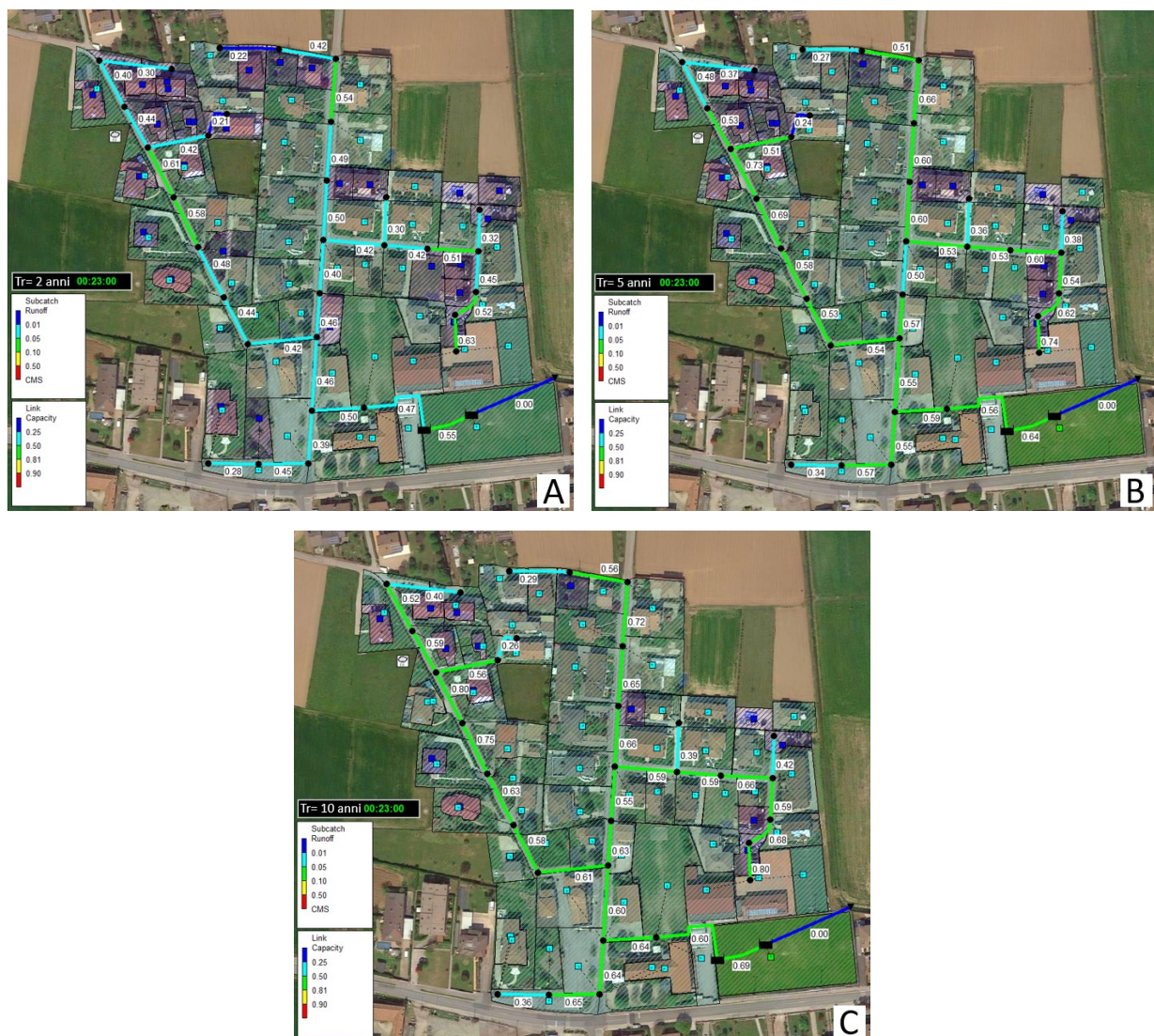


Figura 33: Grado di riempimento delle condotte e runoff superficiale a seguito di una precipitazione con $Tr=2$ anni (A), con $Tr=5$ anni (B) e con $Tr=10$ anni (C) dopo 23 minuti dall'inizio della precipitazione.

Condotta	Lunghezza (m)	Diametro (m)
C1	50	0,3
C2	36	0,3
C3	32	0,4
C4	25	0,3
C5	42	0,4
C6	38	0,4
C7	38	0,4
C8	38	0,5
C9	36	0,5
C10	46	0,6
C11	41	0,3
C12	40	0,3
C13	43	0,3
C14	40	0,4
C15	41	0,6
C16	25	0,3
C17	23	0,4

Condotta	Lunghezza (m)	Diametro (m)
C18	28	0,5
C19	28	0,3
C20	35	0,5
C21	30	0,6
C22	30	0,3
C23	42	0,8
C24	36	1,0
C25	30	1,0
C26	50	1,2
C27	35	0,3
C28	34	0,4
C29	36	0,6
C30	50	1,2
C31	40	1,2
C32	5	1,0
C33	25	0,8

Tabella 2: Lunghezze e diametri delle condotte usate per la nuova rete di drenaggio.

Soffermandoci nel caso di una precipitazione con $Tr=10$ anni, si osserva in *Figura 34* come nessuna condotta passante lungo via Case Bianche e su via dei Grimani vada in pressione.

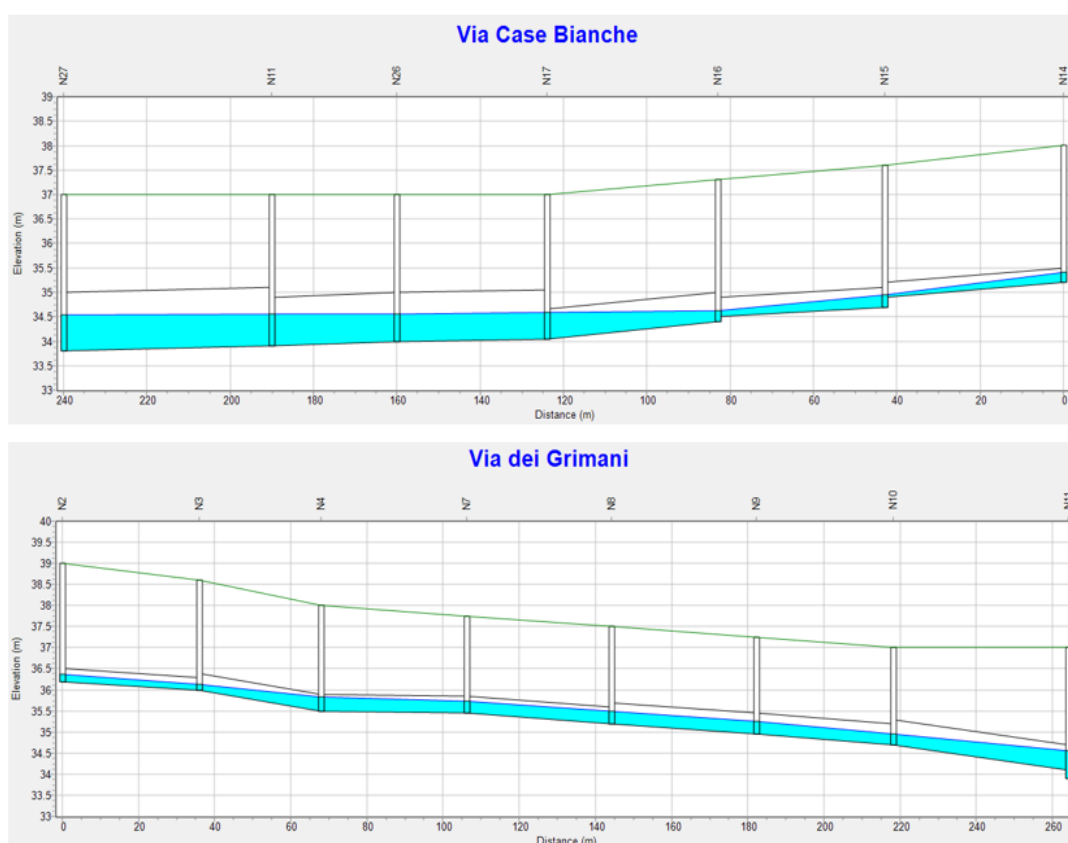


Figura 34: Profilo altimetrico e profilo liquido delle condotte poste lungo Via Case Bianche (sopra) e Via dei Grimani (sotto) dopo 23 minuti dall'inizio della precipitazione ($Tr=10$ anni).

Per completezza viene riportato anche un dato riguardante la velocità raggiunta all'interno delle tubazioni.

In *Figura 35* si riporta l'andamento nel tempo della velocità all'interno di alcune condotte su Via Case Bianche e Via dei Grimani. In entrambi i grafici viene rispettato il range ottimale.

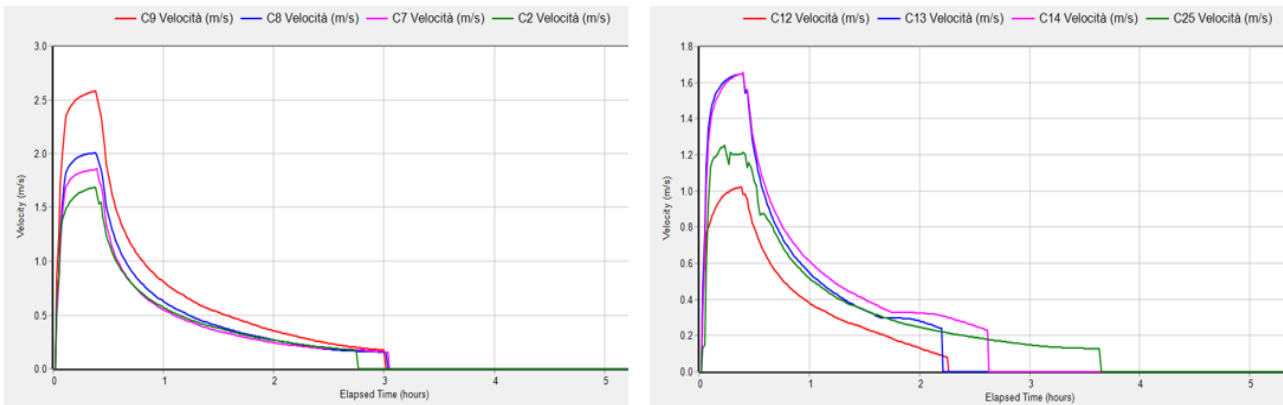


Figura 35: Andamento temporale della velocità di deflusso in alcune condotte lungo Via dei Grimani (a sinistra) e su Via Case Bianche (a destra).

In relazione alla vasca di accumulo, sono valutate il grado di riempimento e il tempo necessario per il riempimento. La *Figura 36* mostra che, per un evento con tempo di ritorno di 5 anni, si raggiunge il volume massimo accumulabile in 37 minuti. Con $Tr=10$ anni, la vasca viene riempita in 29 minuti.



Figura 36: Grado di riempimento del sistema di accumulo per precipitazioni con $Tr=2$ anni, $Tr=5$ anni, $Tr=10$ anni.

In entrambi i casi, il quantitativo in eccesso viene scaricato nel torrente a est del campo da calcio che funge da recapito terminale (*Figura 37*).

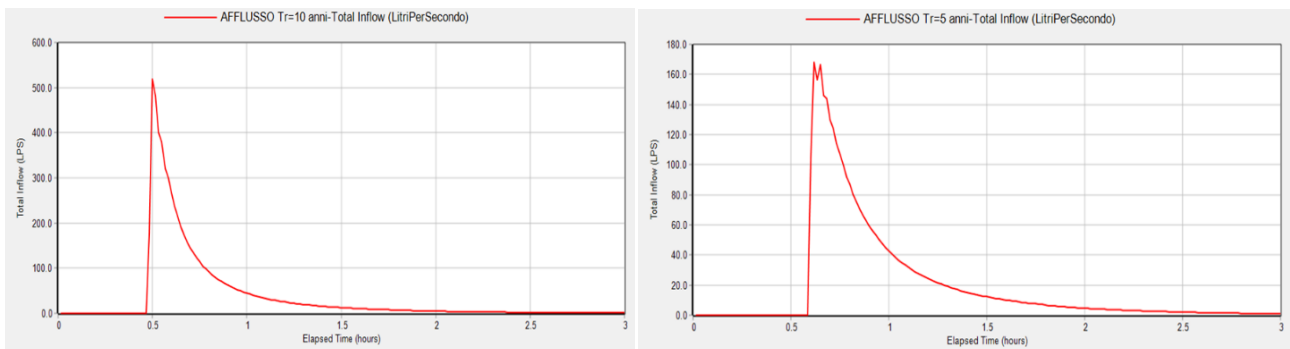


Figura 37: Andamento del deflusso nel recapito finale per un evento con $Tr=5$ anni (a sinistra) e $Tr=10$ anni (a destra).

Una situazione diversa si presenta nel caso di una precipitazione con tempo di ritorno di 2 anni. Come raffigurato dal diagramma volume-durata di *Figura 38* la vasca di stoccaggio non viene riempita completamente, con l'accumulo che si ferma a poco più di 900 m³ di acqua.

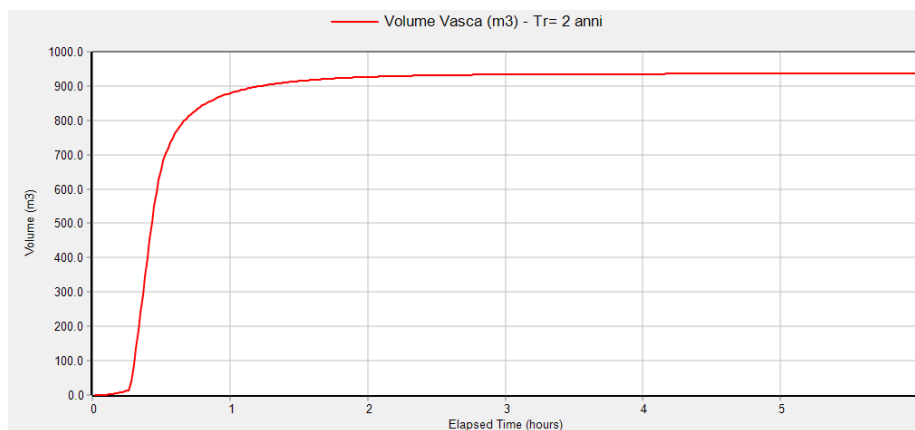


Figura 38: Andamento Volume-Durata per evento con $Tr=2$ anni.

Come già accennato in precedenza, a seguito del posizionamento del sistema di stoccaggio e del materiale drenante sopra di esso, il campo sportivo avrà un notevole miglioramento nel drenaggio delle acque meteoriche.

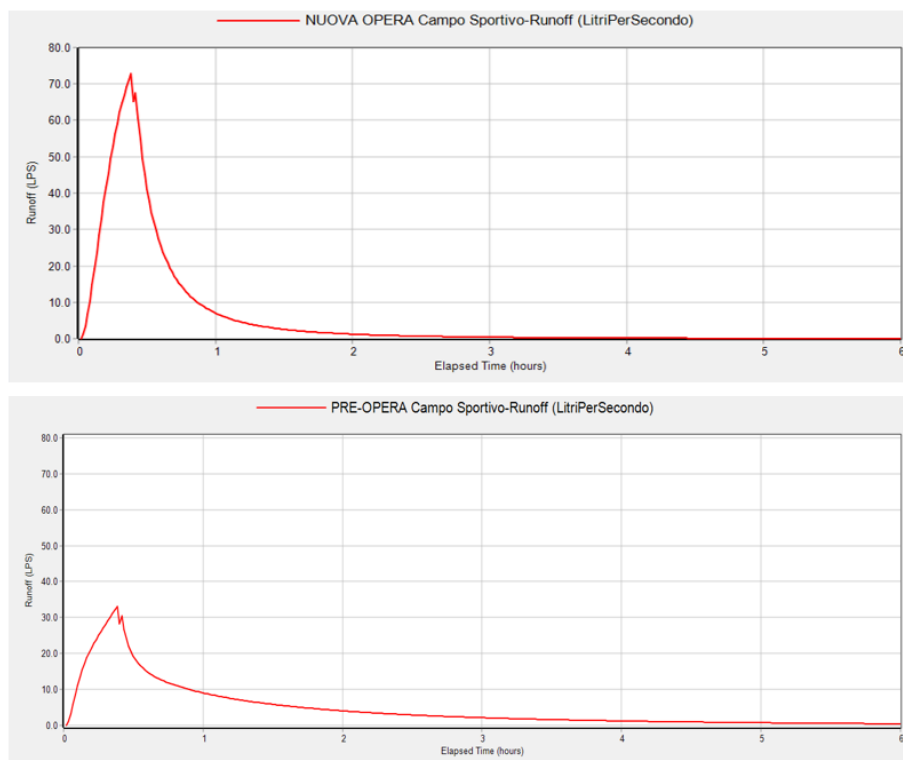


Figura 39: Confronto del drenaggio del campo sportivo prima e dopo la realizzazione dell'opera.

Come si può notare dal confronto presentato in *Figura 39*, il campo da calcio a seguito delle modifiche per il corretto posizionamento del sistema di accumulo interrato, presenta una capacità di drenaggio migliore rispetto alla situazione pre-opera. Infatti, non solo riesce a far immagazzinare nella vasca più del doppio della pioggia che nella situazione ante-operam andava persa, ma anche la tempistica è quanto mai rapida. Il terreno del campo, dunque, risulterà meno saturo d'acqua, si rovinerà meno e richiederà di conseguenza meno interventi di manutenzione.

CAPITOLO 5

5.1. CONCLUSIONI

Con il seguente studio si è sviluppata una progettazione preliminare per migliorare la rete di drenaggio delle acque meteoriche della frazione di Santa Maria di Cittadella. L'analisi modellistica condotta con il simulatore SWMM ha previsto la revisione dei diametri di alcune condotte e la realizzazione di una vasca di stoccaggio posta al di sotto del campo sportivo. Ciò da un lato permetterebbe di migliorare il funzionamento della rete attuale, evitando problemi di allagamento in caso di intense precipitazioni, dall'altra garantirebbe un sostanzioso accumulo di acqua utile per l'irrigazione della struttura sportiva.

Questa soluzione risulta inoltre paesaggisticamente meno invasiva. Va ricordato che per avere un sistema di accumulo con lo stesso volume (circa 1000 m³), bisognerebbe posizionare una vasca esterna con un diametro di 12 m e un'altezza di 10 m.

Naturalmente i costi sono significativi. Rispetto alla stima riportata nel capitolo 2.5.1, bisogna aggiungere le spese per lo scavo, la modifica del sistema di fognatura, dei materiali drenanti e della manodopera. Alla luce degli eventi siccitosi sempre più frequenti, l'opera garantirebbe il recupero di ingenti volumi d'acqua potabile.

APPENDICE 1

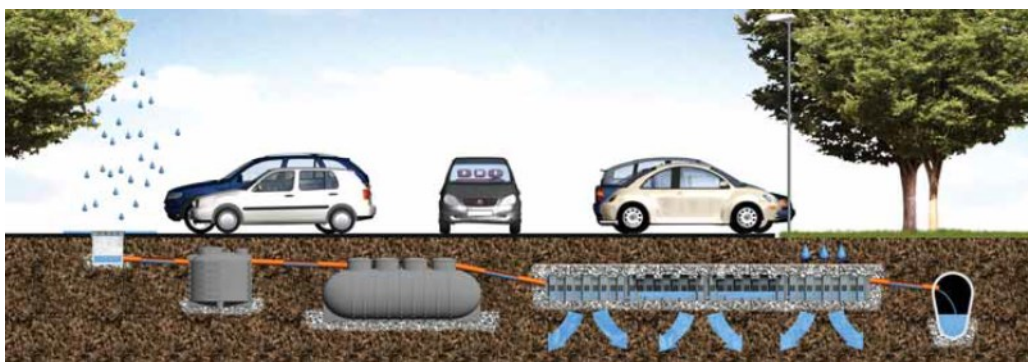
DRENING®

La continua impermeabilizzazione del territorio, dovuta alla realizzazione di nuovi insediamenti civili e industriali, ha posto l'attenzione sulle problematiche inerenti allo smaltimento delle acque meteoriche. Le gravi conseguenze idrauliche sono dovute all'insufficienza delle reti di fognatura già esistenti, ai corsi d'acqua ricettori, alla necessità di trattare la frazione più inquinata delle acque meteoriche, di ridurre i volumi idrici versati nei corsi d'acqua attraverso gli scaricatori di piena. A questo, inoltre, va aggiunta la necessità di regolarizzare il deflusso delle acque piovane in occasione di eventi meteorici straordinari.

DRENING® SISTEMA DI RACCOLTA E DI ACCUMULO DELLE ACQUE METEORICHE

DRENING® è la soluzione che risolve i problemi drenaggio di acque piovane in caso di:

- 1. eventi meteorici straordinari
- 2. terreni poco permeabili
- 3. presenza di falde acquifere alte
- 4. erosione del suolo dovuta a fenomeni di ruscellamento
- 5. zone verdi quali campi da calcio, campi da golf, ecc.
- 6. formazione di trincee drenanti, per la chiusura di fossati a ridosso delle strade
- 7. salvaguardia della vegetazione
- 8. insufficienza o mancanza di reti fognarie



I VANTAGGI DI USARE DRENING®

- Riduce la portata d'acqua meteorica da versare nelle reti fognarie e nei corsi d'acqua
- In caso di inondazioni, DRENING® è un sistema efficace per regolare il deflusso delle acque piovane nelle reti primarie
- DRENING® è l'unico sistema che consente di realizzare un vero e proprio bacino di dispersione sotterraneo in modo facile ed economico
- Interventi nel territorio meno invasivi, in quanto lo sbancamento di terreno richiesto per l'installazione è minore rispetto ai sistemi tradizionali.
- La sua elevata resistenza meccanica consente di utilizzare lo spazio sovrastante per strade, parcheggi, zone verdi, ecc.
- Elevata capacità di accumulo (fino a 310 l/m²) rispetto ai sistemi tradizionali.
- Le camere di accumulo e dispersione possono essere ispezionate e pulite grazie a dei fori di accesso predisposti su ogni elemento
- Posa in opera facile e veloce grazie al suo sistema di aggancio a doppia sovrapposizione
- Il peso e le dimensioni ridotte permettono una facile movimentazione in cantiere da una sola persona
- Superficie di dispersione superiore a qualsiasi altro sistema drenante



DRENING® APPLICAZIONI

DRENING®: servizi primari

Drenaggio di acque reflue di un qualsiasi edificio civile o industriale, ed acque provenienti da impianti sanitari o qualsiasi tipo d'acqua compromessa nella sua purezza.



DRENING®: centro commerciale e parcheggio

I bacini drenanti possono essere realizzati al di sotto di strade, parcheggi, aree verdi a profondità variabili da 1 a 3,5 m permettendo l'accumulo e il drenaggio delle acque meteoriche.



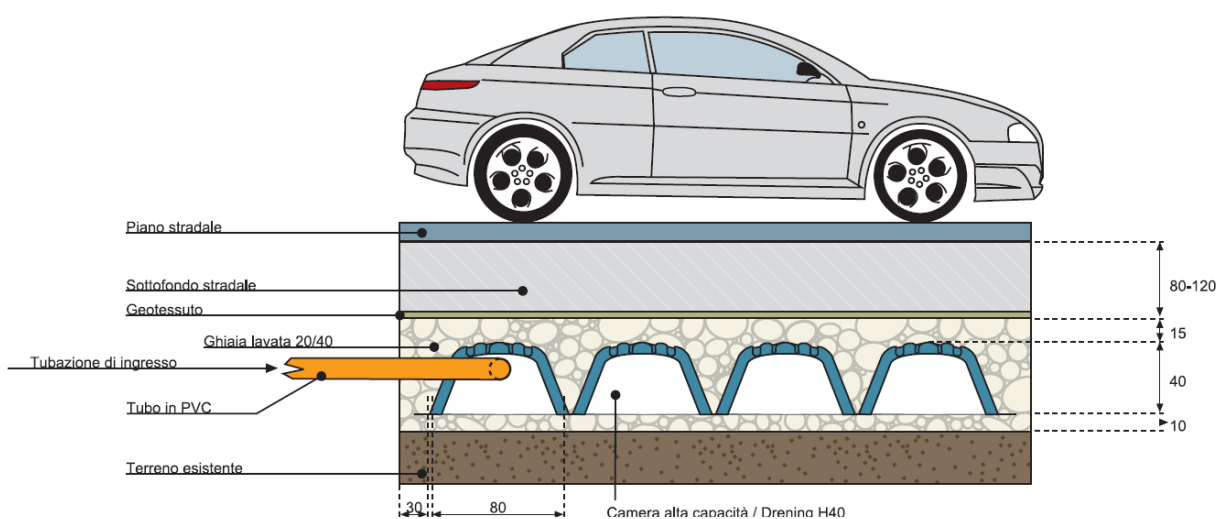
DRENING®: riutilizzo acque meteoriche

DRENING per sistemi di raccolta, conservazione e riutilizzo di acque meteoriche.



DRENING® MODALITÀ DI POSA IN OPERA

1. Realizzazione di un sottofondo di 8-10 cm di ghiaia lavata 20/40.
2. Posizionamento delle camere di dispersione DRENING® tipo GEOPLAST con le seguenti caratteristiche tecniche:
 - a. Dimensioni 120 x 80 x h40 cm
 - b. Capacità di accumulo pari a 310 l/m²
 - c. Resistenza a compressione con uno spessore complessivo sopra il DRENING® da 40 a 250 cm, pari a 150 ton/m²
 - d. Superficie di infiltrazione laterale di 2.800 cm² per ogni singolo elemento
3. Chiusura delle file con appositi tappi e inserimento delle tubazioni di raccolta acque con diametro max 200 mm.
4. Rinfianco di 30 cm e copertura con un minimo di 15 cm di ghiaia lavata diametro 20/40 mm e compattata con vibratore.
5. Posa di uno strato di geotessuto classe 6 su tutta la superficie di contatto tra la ghiaia e il terreno nativo
6. Realizzazione dell'impianto di distribuzione con inserimento di collettori di raccolta, torri di ventilazione e ispezione con tubi in conformità al pr EN 13476-1 tipo A1 dei diametri indicati in fase di progetto.
7. Riporto di terreno compattato.
8. Posa strato geotessuto e terreno di riporto prima di una eventuale realizzazione del sottofondo stradale.



In prima analisi dovrà essere valutata:

- Superficie del terreno impermeabilizzata
- Portata che può eventualmente essere portata nella rete fognaria nell'unità di tempo
- Portata che può essere filtrata dal terreno nel periodo di massima intensità di pioggia
- La frequenza delle piogge con indicazione dell'apporto d'acqua
- Da tenere ben presente che in zone in cui la permeabilità(K) è inferiore al valore 10^{-6} è consigliato il raccordo dell'impianto ad una rete fognaria, e nel qual caso non sia possibile, il sovradimensionamento dello stesso.

TIPO DI TERRENO	Permeabilità $V_i = (m/s)$
Argilla	10^{-9}
Marna	$10^{-8} / 10^{-7}$
Limo	10^{-6}
Sabbia fine	10^{-5}
Sabbia grossa	10^{-4}
Rocce fessurate	10^{-3}

APPENDICE 2

ICEA		DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE - I C E A DEPARTMENT OF CIVIL, ENVIRONMENTAL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING		UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA		
Cantiere	Santa Maria di Cittadella	Data	23/02/2022	Secca	<input type="checkbox"/>	
Sondaggio	1	Campione	1	Profondità m.	20 - 30	
					Umida	<input checked="" type="checkbox"/>
ANALISI GRANULOMETRICA					Peso lordo	g. 229,2
					Peso tara	g. 84,3
					Peso netto	g. 144,9
Vaglio n.	D Vaglio	Peso netto (g)	% Trattenuto	% Passante		
4"	101,6		0,00	100,00		
3"	76,2		0,00	100,00		
2"	50,8		0,00	100,00		
1" 1/2	38,1		0,00	100,00		
1"	25,4		0,00	100,00		
3/4"	19,1		0,00	100,00		
1/2"	12,7		0,00	100,00		
3/8"	9,52		0,00	100,00		
4	4,76		0,00	100,00		
10	2		0,00	100,00		
20	0,84	1,0	0,69	99,31		
40	0,42	3,8	2,62	96,69		
60	0,25	5,1	3,52	93,17		
80	0,177	5,1	3,52	89,65		
140	0,105	12,6	8,70	80,95		
200	0,074	15,3	10,56	70,39		

ICEA		DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE - I C E A DEPARTMENT OF CIVIL, ENVIRONMENTAL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING		UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA		
Cantiere	Santa Maria di Cittadella	Data	23/02/2022	Secca	<input type="checkbox"/>	
Sondaggio	1	Campione	1	Profondità m.	30 - 40	
					Umida	<input checked="" type="checkbox"/>
ANALISI GRANULOMETRICA					Peso lordo	g. 237,3
					Peso tara	g. 84,3
					Peso netto	g. 153,0
Vaglio n.	D Vaglio	Peso netto (g)	% Trattenuto	% Passante		
4"	101,6		0,00	100,00		
3"	76,2		0,00	100,00		
2"	50,8		0,00	100,00		
1" 1/2	38,1		0,00	100,00		
1"	25,4		0,00	100,00		
3/4"	19,1		0,00	100,00		
1/2"	12,7		0,00	100,00		
3/8"	9,52		0,00	100,00		
4	4,76		0,00	100,00		
10	2		0,00	100,00		
20	0,84	0,4	0,26	99,74		
40	0,42	2,4	1,57	98,17		
60	0,25	3,6	2,35	95,82		
80	0,177	4,7	3,07	92,75		
140	0,105	15,1	9,87	82,88		
200	0,074	17,1	11,18	71,70		

Cantiere		Santa Maria di Cittadella		Data		23/02/2022			
Sondaggio		1		Campione		1		Profondità m.	
		20 - 30							
ANALISI CON AEROMETRO								Peso lordo g	93
								Peso tara g	50
								Peso netto g	43
Data	T°	Ora	dt (")	R	Hr	d(mm)	X%	Aerometro n.	
03/03/2022	20	8:30	10	24,0	11,44	0,10803	62,40		1
	20		20	23,0	11,68	0,07718	59,80	Cilindro n.	5
	20		30	22,0	11,92	0,06366	57,20	Dispersivo cc	20
	20		60	19,5	12,52	0,04614	50,70	T.di agitaz. (')	10
	20		120	16,0	13,36	0,03370	41,60	Gs	2,7
	20		240	12,0	14,32	0,02467	31,20	k	3,6936
	20		480	9,0	15,04	0,01788	23,40		
	20		900	7,0	15,52	0,01326	18,20	< 200	70,39
	20		1800	5,0	16,00	0,00952	13,00		
	20		3600	3,5	16,36	0,00681	9,10	m	
	20		7200	2,0	16,72	0,00487	5,20		
	20		14400	1,0	16,96	0,00347	2,60	x	0,101
	20		28800	0,0	17,20	0,00247	0,00		
			86400						
			172800						
			259200						
			345600						

Cantiere		Santa Maria di Cittadella		Data		23/02/2022			
Sondaggio		1		Campione		1		Profondità m.	
		30 - 40							
ANALISI CON AEROMETRO								Peso lordo g	93,6
								Peso tara g	50
								Peso netto g	43,6
Data	T°	Ora	dt (")	R	Hr	d(mm)	X%	Aerometro n.	
03/03/2022	21	8:19	10	24,0	11,44	0,10803	63,21		2
	21		20	23,5	11,56	0,07679	61,90	Cilindro n.	5
	21		30	22,0	11,92	0,06366	57,98	Dispersivo cc	20
	21		60	19,5	12,52	0,04614	51,45	T.di agitaz. (')	10
	21		120	16,0	13,36	0,03370	42,31	Gs	2,7
	21		240	12,5	14,20	0,02457	33,17	k	3,6427
	21		480	9,0	15,04	0,01788	24,03		
	21		900	7,5	15,40	0,01321	20,11	< 200	71,70
	21		1800	5,5	15,88	0,00949	14,89		
	21		3600	4,0	16,24	0,00678	10,97	m	
	21		7200	2,5	16,60	0,00485	7,05		
	21		14400	1,5	16,84	0,00345	4,44	x	0,101
	21		28800	0,5	17,08	0,00246	1,83		
			86400						
			172800						
			259200						
			345600						

APPENDICE 3

REDIMENSIONAMENTO CON METODO CINEMATICO

CONDOTTA C1															rc (sec) = 979	
CONDOTTA	L (m)	S (ha)	ϕ m	$\phi^* S$	r^* (Pa)	t' (min)	t' (sec)	a'								
	50	0,11	0,573	0,063	2	15	900	62,495425208448								
v (m/s)	rc (sec)	rc (ore)	h (mm)	u (l/(s*ha))	Q (l/s)	Q (m ³ /s)	D (m)	y/D	Rh/D	Rh (m)	i	i (%)	Fattore di portata	A/D ²	A' (m ²)	v new (m/s)
1	950	0,263888889	22,35	134,8849929	14,8373492	0,14837349	0,4	0,8	0,3042	0,12168	0,00167549	1,675489796	0,055641332	0,189	0,03024	0,490653083
0,490653083	1001,904995	0,278306943	23,282	133,2588815	14,65847697	0,14658477	0,4	0,36	0,1978	0,07912	0,002576764	2,576764388	0,0443265	0,1535	0,02456	0,596843525
0,596843525	983,7740512	0,27327057	22,956	133,8148996	14,71963896	1,472E-02	0,4	0,28	0,1614	0,06456	0,003157893	3,157893407	0,040207819	0,1449	0,023184	0,634905062
0,634905062	978,7519316	0,271875537	22,86556666	133,9711407	14,7368255	0,14736825	0,4	0,25	0,1466	0,05864	0,003476698	3,476698472	0,038364763	0,1449	0,023184	0,635646372
0,635646372	978,6600888	0,271850025	22,86391022	133,9740071	14,73714079	0,14737141										

CONDOTTA C2															rc (sec) = 1077	
CONDOTTA	L (m)	S (ha)	ϕ m	$\phi^* S$	r^* (Pa)	t' (min)	t' (sec)	a'								
	68	0,31	0,458	0,142	2	16,31666667	979,0000002	62,48892636243								
v (m/s)	rc (sec)	rc (ore)	h (mm)	u (l/(s*ha))	Q (l/s)	Q (m ³ /s)	D (m)	y/D	Rh/D	Rh (m)	i	i (%)	Fattore di portata	A/D ²	A' (m ²)	v new (m/s)
1	1047	0,290833333	24,08442991	105,4392878	32,68617921	0,032686179	0,4	0,8	0,3042	0,12168	0,00167549	1,675489796	0,122575975	0,3229	0,051664	0,63266838
0,63266838	1086,481269	0,301800352	24,7825907	104,5531774	32,41148499	0,032411485	0,4	0,48	0,2435	0,0974	0,002093158	2,093158094	0,08745178	0,3032	0,048512	0,66112735
0,66112735	1080,779231	0,300216453	24,68212167	104,6786886	32,45039347	0,032450393	0,4	0,43	0,2258	0,09032	0,002257236	2,257236474	0,104843988	0,2934	0,046944	0,69125753
0,69125753	1077,371442	0,299269845	24,62201929	104,7540885	32,47376744	0,032473767	0,4	0,41	0,2182	0,08728	0,002335857	2,335856993	0,103138698	0,2934	0,046944	0,691755441
0,691755441	1077,306636	0,299250177	24,62077004	104,7556583	32,47425406	0,032474254										

CONDOTTA C3															rc (sec) = 987	
CONDOTTA	L (m)	S (ha)	ϕ m	$\phi^* S$	r^* (Pa)	t' (min)	t' (sec)	a'								
	60	0,19	0,613	0,1165	2	15	900	62,492822550043								
v (m/s)	rc (sec)	rc (ore)	h (mm)	u (l/(s*ha))	Q (l/s)	Q (m ³ /s)	D (m)	y/D	Rh/D	Rh (m)	i	i (%)	Fattore di portata	A/D ²	A' (m ²)	v new (m/s)
1	960	0,266666667	22,52565893	143,9509584	27,3506821	0,027350682	0,4	0,8	0,3042	0,12168	0,00167549	1,675489796	0,102567403	0,2934	0,046944	0,582623996
0,582623996	1002,982441	0,278606234	23,30038416	142,5205608	27,07890856	0,027078907	0,4	0,45	0,2331	0,09324	0,002186547	2,186546529	0,088892241	0,2642	0,042172	0,640587305
0,640587305	993,684079	0,276017791	23,13086662	142,8241929	27,13659664	0,027136597	0,4	0,39	0,2102	0,08408	0,002424757	2,424757355	0,084592786	0,2546	0,040736	0,666157616
0,666157616	990,0687744	0,275019104	23,06844345	142,942278	27,15903282	0,027159033	0,4	0,37	0,202	0,0808	0,002523188	2,523188099	0,082994933	0,245	0,0392	0,69283247
0,69283247	986,601022	0,274055839	23,060424	143,0566748	27,1807662	0,027180768	0,4	0,36	0,1978	0,07912	0,002576764	2,576764388	0,082193309	0,245	0,0392	0,693386944
0,693386944	986,5317706	0,274036603	23,00479573	143,0589643	27,18120322	0,027181203										

CONDOTTA C4															rc (sec) = 1142	
CONDOTTA	L (m)	S (ha)	ϕ m	$\phi^* S$	r^* (Pa)	t' (min)	t' (sec)	a'								
	50	0,86	0,479	0,412	2	17,95	1077	62,471059692052								
v (m/s)	rc (sec)	rc (ore)	h (mm)	u (l/(s*ha))	Q (l/s)	Q (m ³ /s)	D (m)	y/D	Rh/D	Rh (m)	i	i (%)	Fattore di portata	A/D ²	A' (m ²)	v new (m/s)
1	1127	0,313055556	25,48581965	106,4070433	93,23005723	0,093230057	0,5	0,8	0,3042	0,1521	0,001340392	1,340391837	0,215588433	0,5018	0,12545	0,743165064
0,743165064	1144,279804	0,317855501	25,78866473	106,0315988	92,90717494	0,092907175	0,5	0,63	0,2442	0,1421	0,001434719	1,4347192	0,207659207	0,492	0,123	0,753342886
0,753342886	1143,195103	0,317554195	25,76809166	106,0549611	92,92726656	0,092927267	0,5	0,61	0,2799	0,13995	0,00145676	1,45676026	0,206126824	0,4822	0,12055	0,770860776
0,770860776	1141,862556	0,317184043	25,74490066	106,0836989	92,95198103	0,092951981	0,5	0,59	0,2753	0,13765	0,001481101	1,481101332	0,20480386	0,4822	0,12055	0,77106579
0,77106579	1141,84531	0,317179253	25,74460048	106,0840711	92,95230111	0,092952301										

CONDOTTA C5															rc (sec) = 1206	
CONDOTTA	L (m)	S (ha)	ϕ m	$\phi^* S$	r^* (Pa)	t' (min)	t' (sec)	a'								
	50	1,15	0,493	0,567	2	19,03333333	1141,999998	62,4522226668385								
v (m/s)	rc (sec)	rc (ore)	h (mm)	u (l/(s*ha))	Q (l/s)	Q (m ³ /s)	D (m)	y/D	Rh/D	Rh (m)	i	i (%)	Fattore di portata	A/D ²	A' (m ²)	v new (m/s)
1	1191,999998	0,331111111	26,60932075	110,141528	126,6627572	0,126662757	0,5	0,8	0,3042	0,1521	0,001340392	1,340391837	0,292899973	0,6489	0,162225	0,780724449
0,780724449	1206,038159	0,33500106	26,85088453	109,8479013	126,3208865	0,126320865	0,5	0,77	0,3031	0,15155	0,001345256	1,34525634	0,291589987	0,6489	0,162225	0,778702953
0,778702953	1206,209335	0,335058148	26,85382658	109,8443469	126,3209989	0,126320999										

CONDOTTA C6															rc (sec) = 1206	
CONDOTTA	L (m)	S (ha)	ϕ m	$\phi^* S$	r^* (Pa)	t' (min)	t' (sec)	a'								
	50	1,44	0,484	0,697	2	20,01	1200,6	62,4522226668385								
v (m/s)	rc (sec)	rc (ore)	h (mm)	u (l/(s*ha))	Q (l/s)	Q (m ³ /s)	D (m)	y/D	Rh/D	Rh (m)	i	i (%)	Fattore di portata	A/D ²	A' (m ²)	v new (m/s)
1	1250,6	0,347388889	27,60945413	106,9379992	153,9907189	0,153990719	0,6	0,8	0,3042	0,18252	0,001116993	1,116993197	0,239885879	0,5499	0,197964	0,777872335
0,777872335	1264,8779	0,351394972	27,8524831	106,6615703	153,5926612	0,153592661	0,6	0,68	0,2933	0,17598	0,001158504	1,158504366	0,234940036	0,5404	0,194544	0,789590089
0,789590089	1263,931151	0,351091986	27,8363876	106,6797811	153,6188848	0,153618888	0,6	0,65	0,2881	0,17286	0,001179415	1,179414546	0,232887817	0,5308	0,191088	0,803916664
0,803916664	1262,795478	0,350776522	27,81707662	106,7016479	153,650373	0,153650373										

CONDOTTA C7															rc (sec) = 1321	
CONDOTTA	L (m)	S (ha)	ϕ m	$\phi^* S$	r^* (Pa)	t' (min)	t' (sec)	a'								
	46	1,6	0,46	0,737	2	21,05	1263	62,447032831488								
v (m/s)	rc (sec)	rc (ore)	h (mm)	u (l/(s*ha))	Q (l/s)	Q (m ³ /s)	D (m)	y/D	Rh/D	Rh (m)	i	i (%)	Fattore di portata	A/D ²	A' (m ²)	v new (m/s)
1	1309	0,363611111	28,5972113	100,5747973	160,9196757	0,160919676	0,6	0,8	0,3042	0,18252	0,001116993	1,116993197	0,25067977	0,5687	0,204732	0,786001581
0,786001581	1321,524055	0,367090015	28,80820729	100,3566808	160,5706892	0,160570689	0,6	0,69	0,2948	0,17688	0,00115261	1,15260967	0,246241101	0,5594	0,201384	0,797335882
0,797335882	1320,692123	0,366858923	28,7942057	100,3710907	160,5937451	0,160593745	0,6	0,67	0,2917	0,17502	0,001164859	1,164858664	0,244978163	0,5594	0,201384	0,797450369
0,797450369	1320,683841	0,366856622	28,79406629	100,3712342	160,5939747	0,160593975										

CONDOTTA C8															rc (sec) = 1117	
CONDOTTA	L (m)	S (ha)	ϕ m	$\phi^* S$	r^* (Pa)	t' (min)	t' (sec)	a'								
	66	0,41	0,419	0,172	2	17,06666667	1024,0000002	62,4941235859246								
v (m/s)	rc (sec)	rc (ore)	h (mm)	u (l/(s*ha))	Q (l/s)	Q (m ³ /s)	D (m)	y/D	Rh/D	Rh (m)	i	i (%)	Fattore di portata	A/D ²	A' (m ²)	v new (m/s)
1	1090,000002	0,302777778	24,84323847	95,57471884	39,18563472	0,039185635	0,4	0,8	0,3042	0,12168	0,00167549	1,675489796	0,146949491	0,3727	0,059632	0,657124274
0,657124274	1124,437625	0,312343785	25,4470732	94,89929949	38,90871279	0,038908713	0,4	0,52	0,2562	0,10248	0,001989399	1,989398891	0,13305378	0,3527	0,056432	0,6894796
0,6894796	1119,724372	0,311034548	25,36464242	94,99022862	38,94599373	0,038945994	0,4	0,47	0,2401	0,09604	0,002127299	2,122798817	0,129753913	0,3428	0,054848	0,710071356
0,710071356	1116,948407	0,310263446	25,31608321	95,04400336	38,96804138	0,038968041	0,4	0,46	0,2366	0,09464	0,002154201	2,154201166	0,12887763	0,3428	0,054848	0,710473333
0,710473333	1116,895818	0,310248838	25,31516302	95,04502368	38,96845971	0,03896846										

CONDOTTA C9															rc (sec) = 1117	
CONDOTTA	L (m)	S (ha)	ϕ m	$\phi^* S$	r^* (Pa)	t' (min)	t' (sec)	a'								
	66	0,41	0,419	0,172	2	17,06666667	1024,0000002	62,485677314416								
v (m/s)	rc (sec)	rc (ore)	h (mm)	u (l/(s*ha))	Q (l/s)	Q (m ³ /s)	D (m)	y/D	Rh/D	Rh (m)	i	i (%)	Fattore di portata	A/D ²	A' (m ²)	v new (m/s)
1	1090,000002	0,302777778														

SITOGRAFIA

<https://thevision.com/habitat/siccita-nord-italia/>

<https://www.today.it/ambiente/italia-siccita-po.html>

https://www.arpa.veneto.it/bollettini/meteo60gg/Staz_110.htm

<https://www.acquerisorgive.it/chi-siamo-2/inquadramento-geografico/>

https://www.arpa.veneto.it/bollettini/storico/precmax/0110_pmax.htm

<https://www.valigiablu.it/consumo-suolo/>

<https://www.3bmeteo.com/giornale-meteo/meteo---inverno-2021-2022--tra-siccit-agrave--e-temperature-sopra-la-media-575596>

https://www.arpa.veneto.it/bollettini/meteo60gg/Staz_302.htm

https://www.arpa.veneto.it/bollettini/storico/2021/0302_2021_LIVIDRO.htm

https://www.arpa.veneto.it/bollettini/storico/Mappa_2022_LIVIDRO.htm?t=RG

