

COMUNE di GRAGNANO TREBBIENSE (PC)

COMMITTENTE:

MOLINO DALLAGIOVANNA GRV S.r.l.

Località Pilastro, 2
29010 Gragnano Trebbiense (PC)
Tel. 0523787155



Sergio Dallagiovanna
07/08/2026 12:10:44 UTC+0

COLLABORAZIONE:

STUDIO DI INGEGNERIA Dott. Ing. A.PARMIGIANI

Viale Dante Alighieri, 47/D Tel e Fax 0321/496025
28100 Novara e-mail: achille.parmigiani@gmail.com

OGGETTO:

STUDIO AMPLIAMENTO ATTIVITA' PRODUTTIVA
MOLINO DALLAGIOVANNA GVR S.r.l.

TAVOLA N°

DT.01

CONTENUTO DELL'ELABORATO:

RELAZIONE IDRAULICA

SCALA

* Riservato all'amministrazione

REV.	DESCRIZIONE	REDATTO	DATA	VERIFICATO	DATA	APPROVATO	DATA
0	EMISSIONE	PARMIGIANI	Dicembre '25	PARMIGIANI	Dicembre '25	PARMIGIANI	Dicembre '25
1	MODIFICA LAY-OUT	PARMIGIANI	Aprile '26	PARMIGIANI	Aprile '26	PARMIGIANI	Aprile '26

Copia conforme dell'originale sottoscritto digitalmente da Dallagiovanna Sergio

Indice

1.PREMESSA.....	2
2.UBICAZIONE AREA DI INTERVENTO.....	3
2.1.Vincoli previsti dal PUG.....	4
3.CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, PEDOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE DELL'AREA.....	6
4.DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO.....	9
5.CALCOLO INVARIANZA IDRAULICA.....	11
5.1.Calcolo del volume minimo d'invaso.....	11
5.1.1.Determinazione delle grandezze necessarie al calcolo.....	12
5.1.2.Classificazione dell'intervento.....	12
5.1.3.Calcolo del volume minimo d'invaso.....	13
6.DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE DI INVARIANZA IDRAULICA.....	14
7.CALCOLO DEL PROCESSO DI INFILTRAZIONE DEL SISTEMA.....	15
8.CALCOLO DEL PROCESSO DI LAMINAZIONE E DEL VOLUME DI INVASO.....	17
8.1.Definizione del tempo di ritorno.....	18
8.2.Calcolo delle precipitazioni di progetto.....	18
8.3.Calcolo del massimo volume di invaso richiesto dal sistema.....	19
8.4.Verifica del tempo di svuotamento del sistema.....	24
9.VERIFICA DELL'IDONEITÀ DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE ADOTTATA.....	25
9.1.Verifica dell'idoneità ambientale del sistema d'infiltrazione.....	25
9.2.Verifica dell'invarianza idrologica: rispetto dei volumi di laminazione.....	25
10.PIANO DI MANUTENZIONE ORDINARIA E STRAORDINARIA.....	26

1. PREMESSA

La presente relazione analizza il rispetto dei principi di invarianza idraulica relativamente alla progettazione di alcuni interventi edilizi da realizzarsi per l'ampliamento dell'attività produttiva Molino Dallagiovanna Grv S.r.l., in Comune di Gragnano Trebbiense (Pc), circa 350 m a Nord del Santuario della Madonna del Pilastro.

Il concetto di invarianza idraulica è stato introdotto per la Regione Emilia Romagna dall'art. 9 delle Norme Tecniche di Attuazione del Piano stralcio per il rischio idrogeologico dell'Autorità dei Bacini Romagnoli nel seguente modo:

"Per trasformazione del territorio ad invarianza idraulica si intende la trasformazione di un'area che non provochi un aggravio della portata di piena del corpo idrico ricevente i deflussi superficiali originati dall'area stessa."

La progettazione degli interventi di trasformazione del territorio deve avvenire mantenendo inalterate le prestazioni complessive del bacino idrografico, obiettivo che di norma può essere raggiunto con la predisposizione di volumi di invaso in grado al tempo stesso di attuare i seguenti meccanismi di controllo naturale delle piene:

- l'infiltrazione e l'immagazzinamento delle piogge nel suolo (fenomeni rappresentati in via semplificativa dal coefficiente di deflusso);
- la laminazione, che consiste nel fatto che i deflussi devono riempire i volumi disponibili nel bacino prima di poter raggiungere la sezione di chiusura.

Il criterio dell'invarianza idraulica delle trasformazioni delle superfici che il piano di bacino adotta prevede la compensazione delle riduzioni sul primo meccanismo attraverso il potenziamento del secondo meccanismo.

Predisporre nelle aree in trasformazione volumi che devono essere riempiti prima che si verifichi deflusso dalle aree stesse fornisce un dispositivo che ha rilevanza a livello di bacino per la formazione delle piene del corpo idrico recettore, garantendone (nei limiti di incertezza del modello adottato per i calcoli dei volumi) l'effettiva invarianza del picco di piena.

Il presente elaborato descrive gli interventi previsti per il conseguimento dei principi di invarianza idraulica nel rispetto dei contenuti riportati nella Direttiva adottata dall'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli con Delibera n. 3/2 del 20.10.2003 e s.m.i., come modificata dalla Variante di coordinamento PGRA-PAI adotta con Delibera 2/2 del 07.11.2016 (di seguito "Direttiva regionale"), che rappresenta il riferimento normativo regionale attualmente vigente in materia, anche se il sito, a rigore, appartiene al bacino idrografico del Fiume Po. Si sono anche seguite le direttive contenute del Piano Urbanistico Regionale (P.U.G.) del Comune di Gragnano Trebbiense.

2. UBICAZIONE AREA DI INTERVENTO

L'area di intervento è situata circa 350 m a Nord del Santuario Madonna del Pilastro, nel settore settentrionale del territorio comunale di Gragnano Trebbiense (Pc), alle seguenti coordinate medie UTM-WGS84-32:

- Est: 545.225,1 m
- Nord: 4.987.068,2 m



Fig 1.1 – Ubicazione area d'intervento su stralcio satellitare alla scala 1:10.000.

2.1. Vincoli previsti dal PUG

Come si evince dallo stralcio della Tav. QC-AG4 di PUG "PSC – Sistema idrogeologico: Vincoli" riportato in fig. 2.1, l'area di intervento appartiene al "Settore B" che definisce "aree caratterizzate da ricarica indiretta della falda, generalmente comprese tra la zona A e la media pianura, idrogeologicamente identificabili come sistema debolmente compartimentato, in cui la falda freatica superficiale segue una falda seminconfinata in collegamento per drenanza verticale".

Non si rileva la presenza di altri vincoli gravanti sull'area di intervento. In particolare, l'area risulta esterna alle fasce di rispetto di captazioni idropotabili.

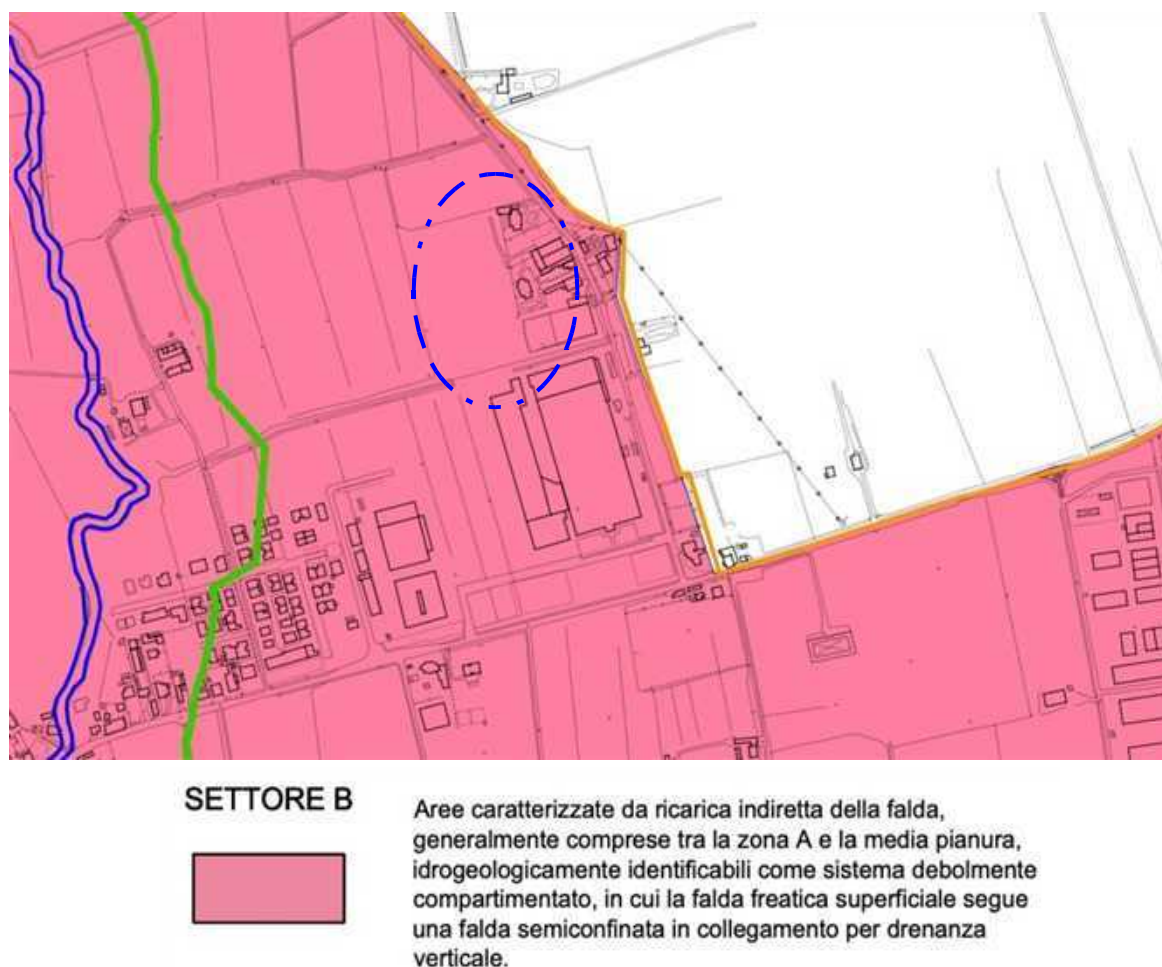


Fig. 2.1 – Ubicazione area d'intervento (ellisse blu tratteggiata) sulla tavola dei vincoli geologici di PUG.

L'area, inoltre, come si osserva dall'estratto della Tav. QC-AG8 di PUG "PSC – Sistema idrogeologico: Fattibilità delle trasformazioni" riportato in fig. 2.2, appartiene alle "Zone a fattibilità con modeste limitazioni all'insediamento residenziale e industriale".

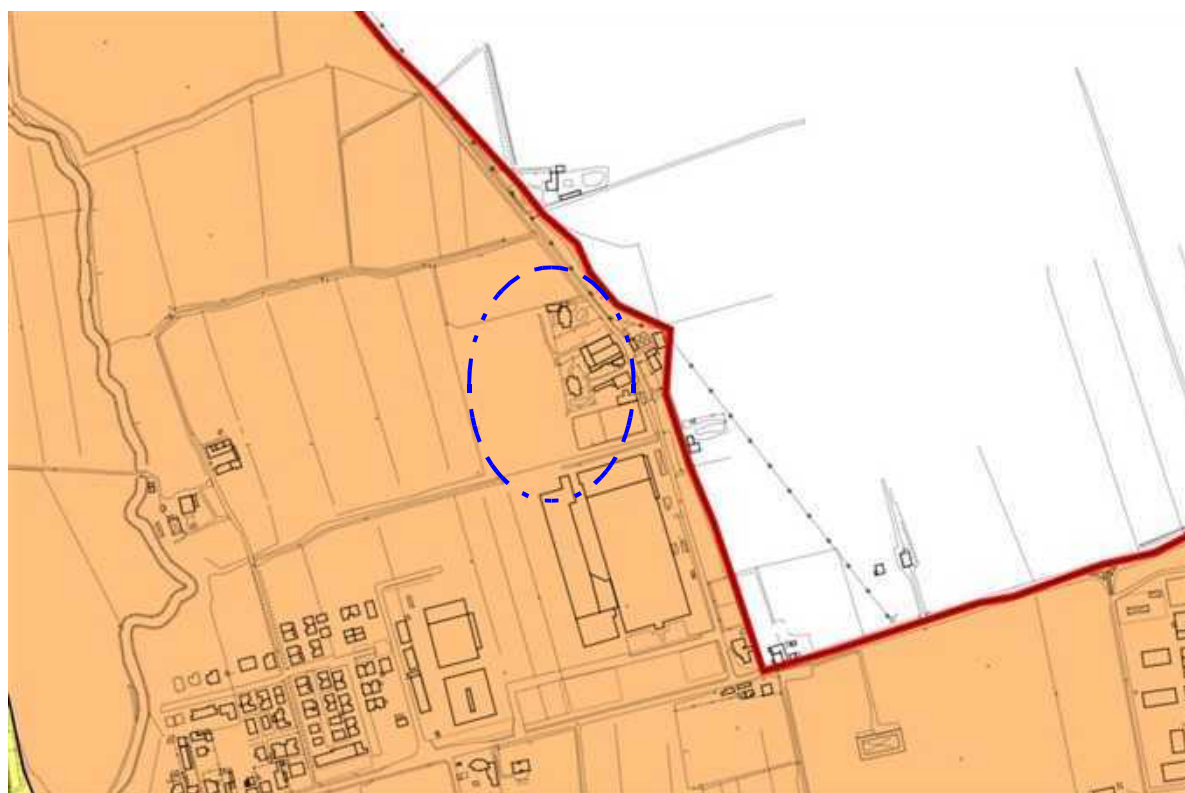
"In linea generale si tratta di zone che presentano problematiche sotto il profilo geotecnico e idraulico, ma facilmente risolvibili attraverso adeguati accorgimenti costruttivi da definire in sede di progettazione, sulla base di specifici approfondimenti per la mitigazione del rischio.

Tutti i nuovi interventi edilizi dovranno essere realizzati con modalità atte a consentire una corretta regimazione delle acque superficiali. In particolare i materiali impiegati per le pavimentazioni dovranno favorire l'infiltrazione nel terreno e comunque la ritenzione temporanea delle acque di precipitazione.

Tutti i nuovi interventi edilizi dovranno inoltre essere realizzati in modo da non alterare la funzionalità idraulica del contesto in cui s'inseriscono garantendo il mantenimento dell'efficienza della rete di convogliamento e di recapito delle acque superficiali.

E' vietato interrompere e/o impedire il deflusso superficiale dei fossi e dei canali nelle aree agricole, sia con opere definitive sia provvisorie, senza prevedere un nuovo e/o diverso recapito per le acque di scorrimento intercettate.

Per gli interventi edilizi che provochino l'impermeabilizzazione di grandi superfici di terreno, al fine di evitare un aumento eccessivo di carico idraulico nella rete di scolo superficiale e nella rete fognaria esistente si dovranno utilizzare degli appositi bacini di accumulo temporaneo per la raccolta delle acque intercettate dalle coperture degli edifici nel rispetto di quanto previsto dal DPR 18.02.1999 n. 238. I manufatti di raccolta, di recapito e di accumulo delle acque meteoriche dovranno essere compresi, unitariamente, nelle opere di urbanizzazione primaria."



Zone a fattibilità con modeste limitazioni all'insediamento residenziale e industriale

Fig. 2.2 – Ubicazione area d'intervento (ellisse blu tratteggiata) sulla carta della fattibilità geologica di PUG.

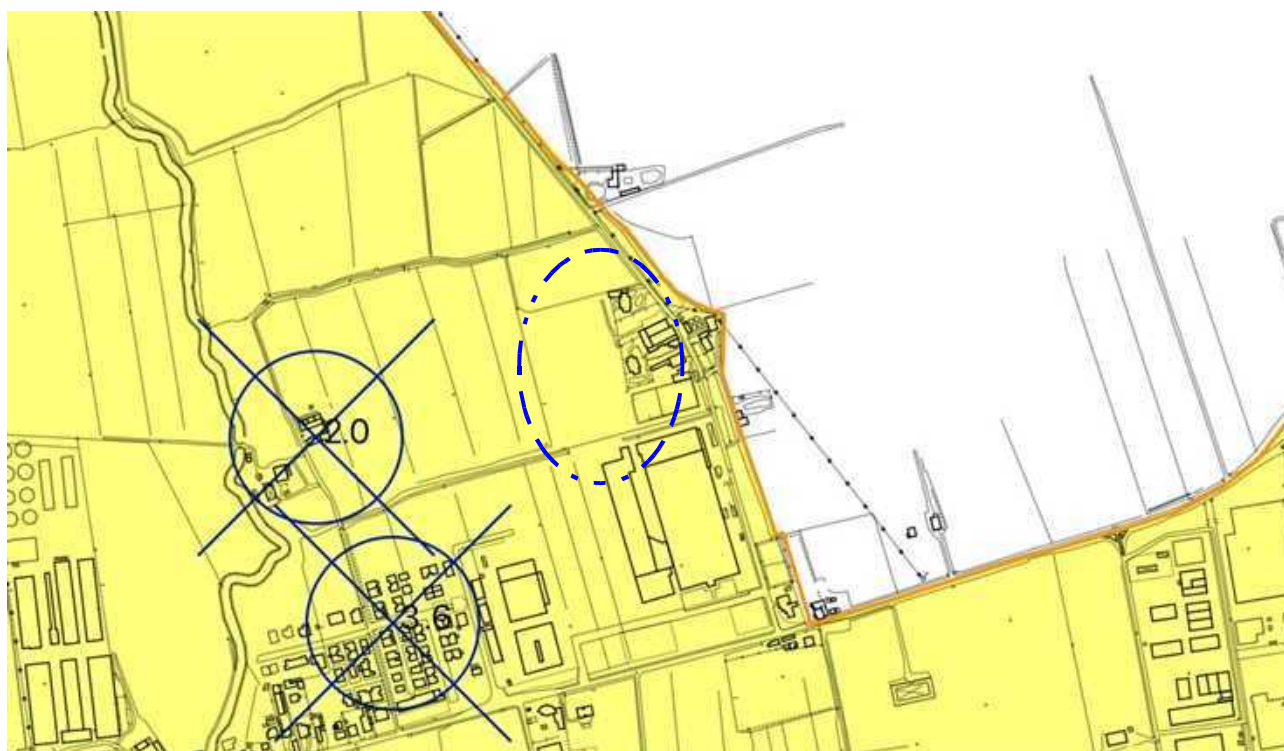
3. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, PEDOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE DELL'AREA

Per la descrizione delle caratteristiche geologiche, pedologiche e idrogeologiche dell'area d'intervento, si è fatto riferimento ai contenuti della Relazione geologica facente parte degli elaborati progettuali (Dott. Geol. Baldini Adriano, 2025), e della vigente componente geologica del Quadro Conoscitivo del Piano Urbanistico generale.

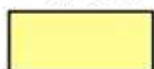
L'area d'intervento si colloca nella Pianura Padana, che da un punto di vista geologico rappresenta un grande bacino sedimentario pliocenico-quadernario, la cui evoluzione geologico-strutturale risulta connessa allo sviluppo della catena alpina prima e di quella appenninica nella fase successiva, costituendo l'avanfossa di entrambi i sistemi.

Nel dettaglio l'area ricade nella fascia di pianura pedemontana compresa tra il Fiume Trebbia a Est, e il Torrente Tidone a Ovest, formatasi dalla coalescenza dei sistemi di conoide alluvionale di questi corsi d'acqua. Si presenta sub-pianeggiante, ad una quota media di circa 70,5/71,5 m s.l.m..

In questo settore affiorano depositi afferenti al *Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore* (AES), e in particolare al *Subsintema di Ravenna*, qui rappresentato dall'*Unità di Modena* (AES8Aa). I depositi che formano questa unità, come si evince anche dell'estratto della carta litologica di PUG di seguito riportato, sono costituiti da alluvioni terrazzate rappresentate da ghiaie prevalenti con livelli e lenti di sabbie, ricoperte da una coltre limoso-argillosa discontinua e con fronte di alterazione rilevato dalle indagini realizzate in sito in circa 0,8-3 m. Bordano l'alveo di piena degli attuali corsi d'acqua e sono separati dalla parte più antica del Subsintema mediante una scarpata con altezza di circa 1-2 m, e dalle alluvioni attuali da un declivio di circa 0,5-3 m di altezza.



**Successione
stratigrafica
TIPO 1**



Successione stratigrafica costituita da ghiaie e sabbie prevalenti con intercalazioni di argille e/o limi, talora con spessori di oltre 5 metri.

Fondazioni dirette sono possibili per modeste condizioni di carico, in alternativa sono agevoli fondazioni indirette, essendo collocato lo strato di ghiaia a profondità contenute.

Il suolo rientra nella tipologia “Bellaria”, con suoli molto profondi, molto calcarei e moderatamente alcalini, a tessitura da media a moderatamente fine; è presente ghiaia non alterata a partire dalla profondità di circa due metri. Il substrato è infatti costituito da alluvioni a tessitura da media a grossolana.

Nelle vicinanze del sito d'intervento gli unici elementi idrografici presenti sono rappresentati dalla rete irrigua e di scolo delle acque. I principali corsi d'acqua, ovvero il Fiume Trebbia e il Torrente Loggia, sono posti rispettivamente a circa 2 km in direzione Est e circa 500 m in direzione Ovest. Il Fiume Trebbia costituisce il livello di base per il deflusso delle acque superficiali e sotterranee. L'area è esente da problematiche di tipo esondativo. L'area d'intervento appartiene al bacino idrografico del Fiume Po, il cui corso scorre circa 7 km più a Nord.

Da un punto di vista idrogeologico in corrispondenza dell'area di intervento si imposta un complesso idrogeologico a buona permeabilità, dove si imposta una falda freatica con valore di soggiacenza di circa 12-13 metri, con deflusso prevalente SSO-NNE (si veda fig. 3.1). Durante l'esecuzione delle indagini in sito a supporto della progettazione degli interventi, il sondaggio a carotaggio continuo attrezzato a piezometro realizzato delle profondità di trenta metri ha intercettato il tetto dell'acquifero alla profondità di 12,75 m dal p.c.; il suo grado di vulnerabilità è alto.

Le caratteristiche di permeabilità dei terreni sono state indagate mediante specifiche prove eseguite in sito, i cui risultati sono riportati nell'elaborato tecnico del 06.10.2025 a firma del dott. geol. Adriano Baldini, al quale si rimanda. Nel dettaglio sono state eseguite due prove infiltrometriche sul fondo scavo di una trincea esplorativa con profondità di 2,2 m dal p.c., nei terreni ghiaioso-sabbiosi sottostanti lo strato di copertura sabbioso-limoso, ubicata in corrispondenza della pianta del nuovo silos, circa un'ottantina di metri più a Sud del punto di ubicazione del bacino d'infiltrazione progettato per soddisfare i principi di invarianza. Le prove, eseguite con infiltrometro circolare con diametro di 30 cm, hanno misurato i seguenti valori del coefficiente di permeabilità (K):

- prova K1 → $K = 1,61 \times 10^{-4}$ m/s;
- prova K2 → $K = 9,56 \times 10^{-5}$ m/s;

con un valore medio di $1,28 \times 10^{-4}$ m/s.

Tale valore è compatibile con i valori indice riportati in letteratura (si veda ad es. la tabella seguente tratta da Castany, 1982) relativi alle litologie che formano il substrato naturale ghiaioso-sabbioso, a buona permeabilità.

$K_{(m/s)}$												
-------------	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Nei calcoli è stato adottato cautelativamente il valore di 9×10^{-6} m/s, inferiore a quello restituito dalle due prove.

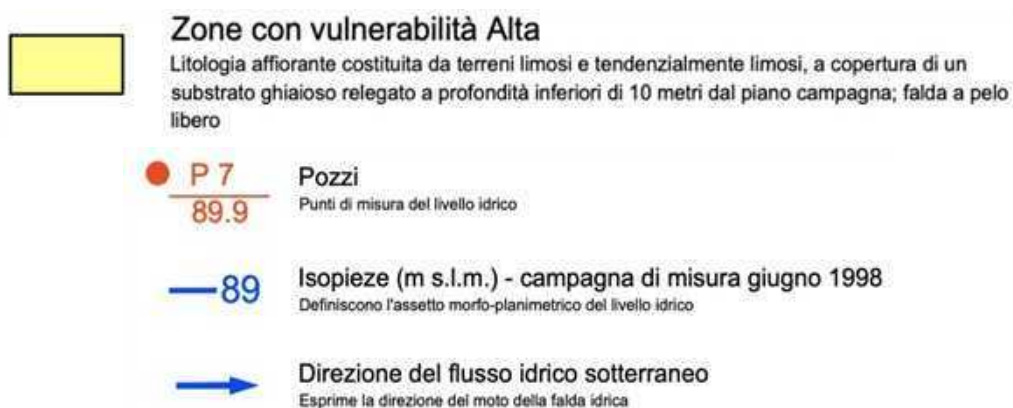
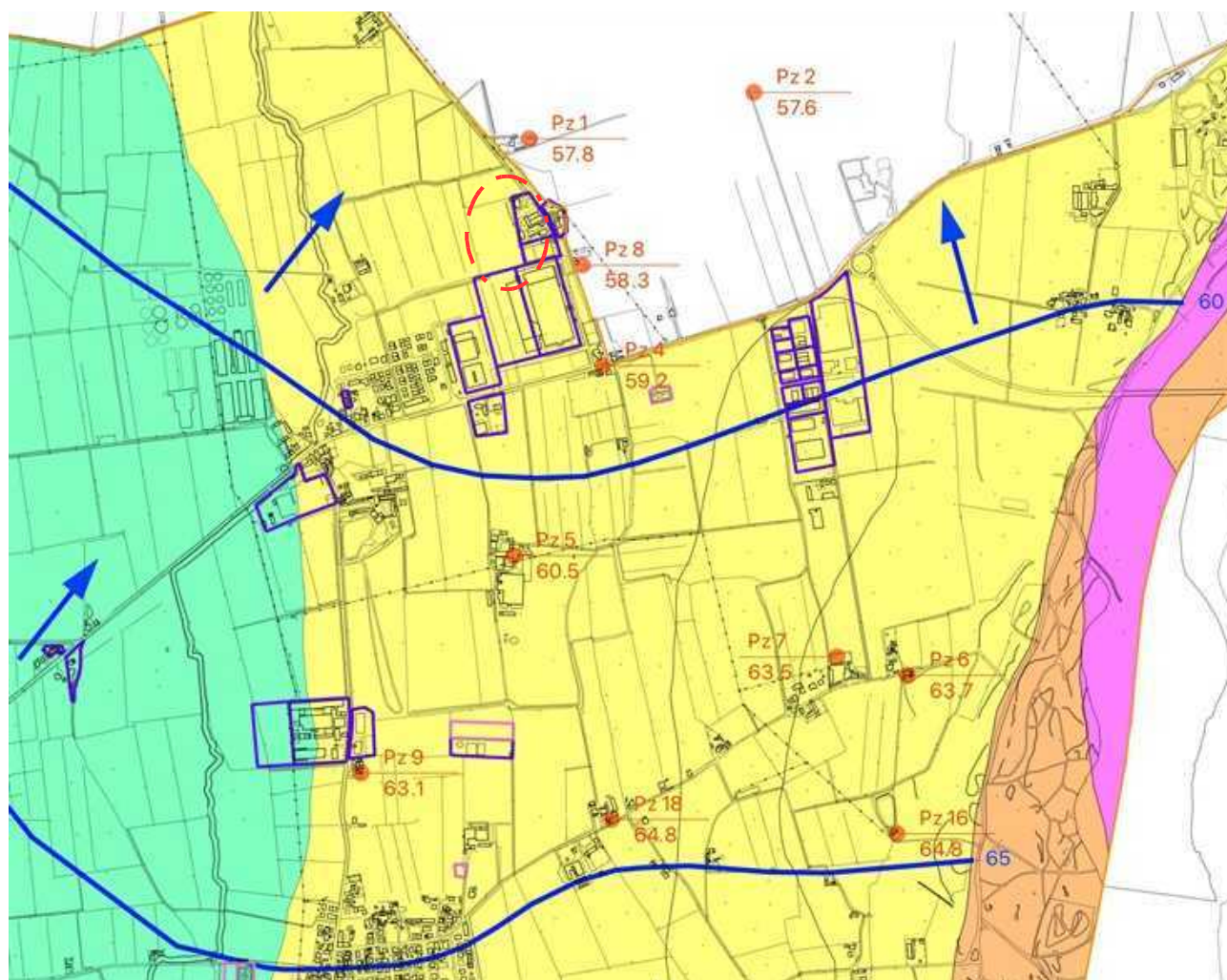


Fig. 3.1 – Ubicazione area d'intervento (ellisse rossa tratteggiata) sulla carta idrogeologica di PUG.

4. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO

Come si evince dall'esame degli elaborati progettuali ai quali si rimanda, gli interventi di ampliamento dell'attività produttiva esistente sono principalmente i seguenti:

- realizzazione di un nuovo magazzino spedizioni carichi pronti, denominato "Nettuno";
- realizzazione di un nuovo magazzino per lo stoccaggio dei materiali, denominato "Marte";
- realizzazione di un nuovo impianto silos per il grano e relativa bica di scarico, denominato "Cancro".

La superficie territoriale interessata dagli interventi in progetto (St) è pari a circa 19.340 mq.

Per quanto concerne la trasformazione d'uso del suolo che si avrà a seguito della realizzazione degli interventi è possibile effettuare le seguenti considerazioni.

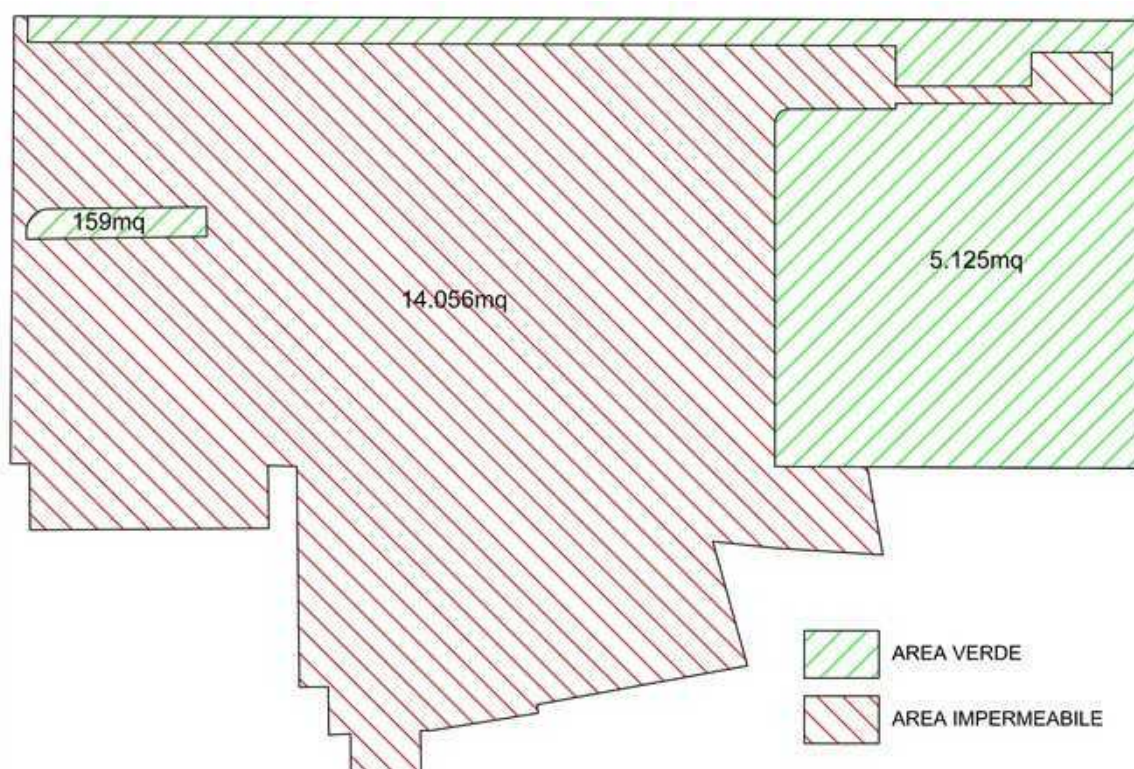
Allo stato attuale l'area è in gran parte costituita da un campo coltivato e in minima parte, le zone prospicienti l'insediamento dell'azienda agricola già esistente, da aree urbanizzate. Nel dettaglio si calcolano le seguenti superfici, come da schema seguente:

- aree verdi: 17.830 mq
- aree impermeabili: 1.510 mq



Nello stato di progetto si avrà un considerevole aumento delle superfici impermeabili (coperture dei nuovi edifici e aree asfaltate), e le aree a verde saranno limitate alla porzione settentrionale del lotto, dove è prevista la realizzazione di un bacino d'infiltrazione. Nel dettaglio si calcolano le seguenti superfici, come da schema seguente:

- aree verdi: 5.284 mq
 - aree impermeabili: 14.056 mq
-



5. CALCOLO INVARIANZA IDRAULICA

Il conseguimento degli obiettivi di invarianza idraulica, come già descritto in Premessa, si ottiene mediante la realizzazione di volumi d'invaso di opportuna consistenza, da calcolare in funzione della riduzione del grado di permeabilità del suolo rispetto alla situazione attuale. Concettualmente, questo equivale a potenziare la capacità di laminazione del bacino per compensare la perdita di capacità di infiltrazione.

5.1. Calcolo del volume minimo d'invaso

La determinazione del volume minimo d'invaso da realizzare espresso in metri cubi per ettaro (w), è dato dall'applicazione della seguente formula:

$$w = w^o \left(\frac{\varphi}{\varphi^o} \right)^{\left(\frac{1}{1-n} \right)} - 15 \cdot I - w^o \cdot P \quad [5.1]$$

dove:

- $w^o = 50$ mc/ha;
- φ è il coefficiente di deflusso dopo la trasformazione;
- φ^o è il coefficiente di deflusso prima della trasformazione;
- n è l'esponente delle curve di possibilità climatica di durata inferiore all'ora, stimato nell'ipotesi che le percentuali della pioggia oraria cadute nei 5', 15' e 30' siano rispettivamente il 30%, 60% e 75%, come risulta orientativamente da vari studi sperimentali (si veda ad es. CSDU, 1997), da assumere pari a 0,48;
- I è la quota di superficie dell'area che viene trasformata, espressa in frazione;
- P è la quota di superficie dell'area lasciata inalterata, anch'essa espressa in frazione in modo tale che $I + P$ sia pari al 100%.

Si sottolinea il fatto che anche le aree di progetto che non sono interessate direttamente dalla trasformazione, ma per le quali è prevista solamente una sistemazione e regolarizzazione, devono essere incluse nella quota di superficie dell'area trasformata (I). La quota di superficie da computare come inalterata (P) deve essere costituita solamente da quelle parti che non vengono significativamente modificate mediante regolarizzazione del terreno o altri interventi anche non impermeabilizzanti.

Il volume (w) così determinato, espresso come detto in metri cubi per ettaro, deve poi essere moltiplicato per l'area totale dell'intervento (St), a prescindere della quota P che viene lasciata inalterata.

La stima dei coefficienti di deflusso, prima e dopo la trasformazione, viene effettuata con le seguenti formule:

$$\varphi^o = 0,9 \text{ Imp}^o + 0,2 \text{ Per}^o \quad \text{per il coefficiente di deflusso prima della trasformazione;}$$

$$\varphi = 0,9 \text{ Imp} + 0,2 \text{ Per} \quad \text{per il coefficiente di deflusso dopo la trasformazione;}$$

dove Imp e Per sono rispettivamente le frazioni dell'area totale da ritenersi impermeabile e permeabile prima della trasformazione (se connotati dall'apice o) o dopo (se non c'è l'apice o).

Il calcolo del volume d'invaso può anche essere riferito, oltre che alla superficie territoriale d'interesse (St), anche alla superficie dell'intero bacino scolante (Sb) di cui l'area d'intervento fa parte. In questo caso il volume w ottenuto dalla formula [5.1] deve essere moltiplicato per la superficie Sb . Le due procedure di calcolo portano a risultati sostanzialmente equivalenti, e pertanto la scelta della superficie di riferimento (St o Sb) deve essere dettata essenzialmente da motivi di praticità. Nel caso specifico è stata adottata la superficie territoriale St .

5.1.1. Determinazione delle grandezze necessarie al calcolo

La superficie territoriale d'interesse è pari a

$$St = 19.340 \text{ mq}$$

interamente oggetto di trasformazione ($I = 1,0$ e $P = 0,0$).

Dagli schemi riportati al cap. 4 si calcolano le superfici permeabili e impermeabili riportate nelle tabelle seguenti.

STATO ATTUALE						
Superficie	Area [mq]	Tipologia	Area imp. [mq]	Area per. [mq]	Imp. [%]	Per. [%]
Campo coltivato	15.278	permeabile	1.510	17.830	8	92
Area verde	2.552	permeabile				
Area asfaltata/impermeabile	1.510	impermeabile				
Totale	19.340				0,08	0,92

da cui si calcola $\varphi^o = 0,9 \text{ Imp}^o + 0,2 \text{ Per}^o = 0,9 \cdot 0,08 + 0,2 \cdot 0,92 = 0,25$

STATO DI PROGETTO						
Superficie	Area [mq]	Tipologia	Area imp. [mq]	Area per. [mq]	Imp. [%]	Per. [%]
Area verde	5.284	permeabile	14.056	5.284	73	27
Area asfaltata/impermeabile	14.056	impermeabile				
Totale	19.340				0,73	0,27

da cui si calcola $\varphi = 0,9 \text{ Imp} + 0,2 \text{ Per} = 0,9 \cdot 0,73 + 0,2 \cdot 0,27 = 0,71$

5.1.2. Classificazione dell'intervento

Ai sensi della Direttiva regionale l'intervento in progetto appartiene alla classe con “*significativa impermeabilizzazione potenziale*”, come da tabella seguente.

Classe di intervento	Definizione
Trascurabile impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici di estensione inferiore a 0,1 ha
Modesta impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici comprese fra 0,1 e 1 ha
Significativa impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici comprese fra 1 e 10 ha oppure Interventi su superfici di estensione oltre 10 ha con $\text{Imp} < 0,3$
Marcata impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici superiori a 10 ha con $\text{Imp} > 0,3$

5.1.3. Calcolo del volume minimo d'invaso

Dall'applicazione della [5.1] si ottiene il seguente volume minimo d'invaso da realizzare espresso in metri cubi per ettaro:

$$w = 50 \left(\frac{0,71}{0,25} \right)^{\left(\frac{1}{(1-0,48)} \right)} - 15 \cdot 1,0 - 50 \cdot 0,0 = 357 \text{ mc/ha}$$

che, moltiplicato per la superficie territoriale d'interesse (St), restituisce un volume da garantire di:

$$w \cdot St = 357 \text{ mc/ha} \times 1,934 \text{ ha} = 690 \text{ mc}$$

Nella computazione dei volumi d'invaso è possibile considerare che il volume totale delle condotte fognarie preposte al collettamento e alla regimazione delle acque meteoriche sia efficace all'80% (si veda ad es. Paoletti 1996 e Pistocchi 2001). Questo significa che l'80% del volume totale della rete fognaria interna al lotto può essere considerato in diminuzione del valore di volume minimo d'invaso calcolato.

6. DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE DI INVARIANZA IDRAULICA

Gli interventi in progetto, come visto, comporteranno una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla sua condizione attuale, e pertanto, poiché la capacità di infiltrazione del suolo è ovviamente inferiore rispetto all'intensità delle piogge più intense, si avrà un inevitabile scarico delle acque pluviali.

In assenza di un idoneo ricettore (corso d'acqua o fognatura) nelle vicinanze e nel rispetto dei principi fissati dalla Direttiva regionale, la soluzione progettuale scelta per conseguire l'invarianza idraulica è quella di mettere in opera un bacino d'infiltrazione, come da ubicazione riportata nella tavole di progetto.

Questo sistema, prediligendo l'infiltrazione nel sottosuolo delle acque meteoriche, non prevede pertanto alcuno scarico in fognatura o nella rete di drenaggio naturale e/o urbana; al tempo stesso, grazie al volume accumulabile all'interno, è in grado di assolvere la capacità di invaso necessaria per per l'accumulo e la laminazione delle acque meteoriche.

Nel dettaglio il bacino avrà una profondità di almeno 2,2 m, e comunque tale da superare i terreni di copertura superficiale e impostarsi nei terreni a buona permeabilità calcolata nel dettaglio con le prove infiltrometriche eseguite in sito, con sponde in terra con pendenza di circa 35°. La superficie di fondo avrà un'estensione di circa 300 mq (ad es. 10 m x 30 m), da cui si calcola una capacità di laminazione per un volume complessivo di circa 960 mc. Il bacino nel suo complesso occuperà una superficie complessiva in pianta di circa 590 mq.

In assenza di scarico terminale in un ricettore, come nel caso specifico, non è necessario prevedere dispositivi di invarianza idraulica in quanto non vi è nessun aggravio delle condizioni di piena di un corpo idrico ricevente, ma l'idoneità del sistema deve essere verificata con adeguati calcoli idraulici.

7. CALCOLO DEL PROCESSO DI INFILTRAZIONE DEL SISTEMA

Nella progettazione delle opere di invarianza è necessario analizzare i processi di interscambio che intervengono durante i fenomeni piovosi tra la superficie del suolo e il sistema idrico sotterraneo.

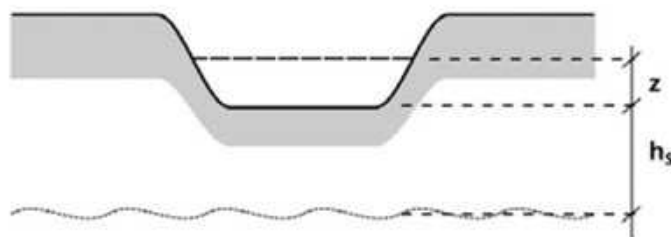
Con il termine infiltrazione si definisce quel fenomeno fisico-chimico che consiste nell'ingresso di acqua nel terreno a partire dalla superficie, rappresentato dalla quantità di acqua che nell'unità di tempo attraversa l'unità di superficie di infiltrazione ed espresso praticamente con le dimensioni di una velocità (coefficiente di permeabilità, indicato con K).

Per le finalità di progettazione, il calcolo della portata infiltrata si basa sul determinare il tasso di infiltrazione $v_{i,uns}$ (m/s), attraverso la formula di Darcy, considerando che la conducibilità idraulica del suolo nelle fasi di infiltrazione sia rappresentata da circa la metà della conducibilità in condizioni di saturazione.

Il tasso di infiltrazione, come da figura seguente, è quindi pari a:

$$v_{i,uns} = \frac{K_s}{2} I_{hy}$$

dove K_s è la conducibilità idraulica del suolo [m/s] e I_{hy} è il gradiente idraulico.



Con riferimento alla figura precedente, nel caso in cui la distanza della falda dal fondo dell'opera di infiltrazione h_s sia molto maggiore rispetto allo spessore dello strato saturo z , il gradiente idraulico assume un valore grosso modo unitario:

$$I_{hy} = \frac{h_s + z}{h_s + z/2} \sim 1 \text{ se } z \ll h_s$$

La portata infiltrata Q_{inf} [m³/s] è quindi data dall'equazione seguente:

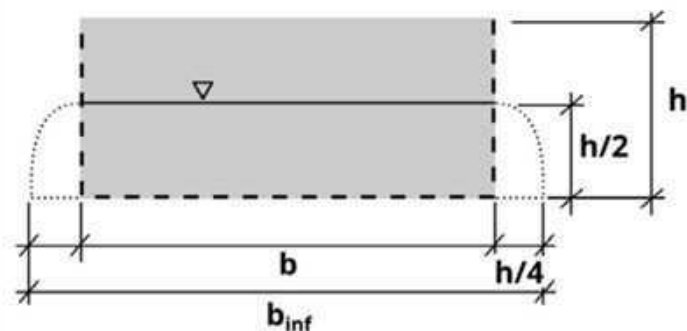
$$Q_{inf} = v_{i,uns} \cdot A_i = \frac{K_s}{2} A_i$$

dove A_i è l'area attraverso cui avviene il processo di infiltrazione, comprendendo sia quella basale che laterale all'opera di infiltrazione.

Con riferimento ad un elemento di infiltrazione di lunghezza unitaria e sezione rettangolare, come quello rappresentato nella figura seguente, si considera che metà dell'altezza dello stesso sia sufficientemente rappresentativa della fase di riempimento dell'elemento e che il fronte di infiltrazione dato dalla superficie laterale sia circa $\frac{1}{4}$ dell'altezza dell'elemento infiltrante. La larghezza della superficie effettivamente oggetto di infiltrazione (b_{inf}) è quindi pari a:

$$b_{inf} = b + \frac{h}{4} + \frac{h}{4}$$

dove b è la larghezza dell'elemento di filtrazione.



Lo schema generale può essere quindi applicato alle diverse tipologie di opere di infiltrazione con alcune specificità: ad esempio, nel caso di estese aree di laminazione come nel caso in esame, in genere si considera trascurabile l'altezza dell'opera di infiltrazione, oppure, nel caso di pozzi di infiltrazione, si omette dal calcolo la superficie basale dell'opera stessa poiché quest'ultima tenderà nel tempo a ridurre la propria capacità di infiltrazione a seguito dei fenomeni di occlusione. In ogni caso le semplificazioni adottate per necessità di dimensionamento devono sempre essere in favore di sicurezza.

Per il calcolo della portata d'infiltrazione del sistema è stato utilizzato il valore di permeabilità a saturazione di $9 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ (si veda cap. 3) e una superficie d'infiltrazione relativa al solo fondo del bacino, che come detto dovrà impostarsi nei terreni a elevata permeabilità sotto lo strato superficiale poco permeabile.

Il valore calcolato è il seguente:

$$Q_{inf} = v_{i,uns} A_i = K_{SAT} A_i = 9 \times 10^{-5} \text{ m/s} \cdot 300 \text{ m}^2 = 27 \text{ l/s}$$

8. CALCOLO DEL PROCESSO DI LAMINAZIONE E DEL VOLUME DI INVASO

La verifica del sistema è consistita nei seguenti passaggi:

- definizione dello ietogramma di progetto e della sua durata complessiva, a partire dalle curve di possibilità pluviometrica;
- calcolo dello ietogramma netto in funzione delle perdite idrologiche per accumuli iniziali e per infiltrazione, in relazione alle tipologie del suolo e della urbanizzazione in progetto;
- definizione del modello di trasformazione afflussi netti-deflussi, idoneo a rappresentare la formazione dell'idrogramma di piena in corrispondenza della sezione di ingresso nell'invaso di laminazione;
- definizione dell'idrogramma rappresentativo dei deflussi in uscita dall'invaso di laminazione;
- calcolo del volume di laminazione minimo necessario alla funzionalità del sistema, come differenza tra l'idrogramma in entrata e quello di uscita dall'invaso.

Il calcolo del volume minimo di invaso, infatti, è espresso matematicamente dalla seguente equazione differenziale di continuità:

$$(Q_e - Q_u) dt = dW$$

dove:

Q_e è la portata in entrata nel sistema;

Q_u è la portata in uscita dal sistema;

dt è l'intervallo di tempo considerato

dW è la variazione del volume invasato nell'intervallo dt .

Il calcolo avviene con una procedura di calcolo di tipo iterativo, finalizzata a ricercare l'evento meteorico più critico, cioè quello che richiede il massimo volume di invaso per consentire la verifica del sistema. Nel dettaglio la procedura consiste nel variare la durata dello ietogramma di progetto fino ad individuare il massimo volume di invaso richiesto dal sistema.

Nel caso specifico sono state adottate le seguenti assunzioni:

- è stato assunto, a partire dalle curve di possibilità pluviometrica, uno ietogramma di progetto uniforme (NRCS, 1986), di tipo rettangolare, dove cioè l'intensità di pioggia, calcolata con la formula seguente, si mantiene costante nel tempo:

$$i(t) = a t^{(n-1)}$$

- il calcolo dello ietogramma netto è stato ottenuto con il metodo percentuale, basato sul valore del coefficiente di deflusso medio ponderale (ϕ), con la seguente formula:

$$i_n(t) = \phi i(t)$$

- l'idrogramma di piena in entrata all'invaso di laminazione è stato calcolato mediante la procedura di trasformazione afflussi-deflussi prevista dal metodo della corrivazione, basata sull'applicazione della seguente formula razionale:

$$Q_e = A \cdot 2,78 \cdot \phi \cdot i(t; Tr)$$

dove

A è la superficie del bacino scolante (in ha);

ϕ è il coefficiente di deflusso del bacino;

i è l'intensità di pioggia dell'evento meteorico (in mm/h) per la durata (t) e per il tempo di ritorno (Tr) considerati.

- l'idrogramma in uscita è stato considerato di tipo rettangolare, con portata Q_u costante pari a quella d'infiltrazione del bacino calcolata al cap. 7.

8.1. Definizione del tempo di ritorno

Nella verifica del sistema, ai sensi del p.to 7.5 della Direttiva regionale, deve essere assunto, per i territori di pianura come quello di interesse, un tempo di ritorno di 200 anni.

8.2. Calcolo delle precipitazioni di progetto

Le opere di invarianza vengono progettate e dimensionate in modo tale da essere funzionanti per un determinato evento meteorico, inteso come una o più precipitazioni atmosferiche, temporalmente distanziate non più di 6 ore, di altezza complessiva di almeno 5 mm, che si verificano o che si susseguono a distanza di almeno 48 ore.

Il calcolo della precipitazione di progetto è stato eseguito attraverso la definizione della curva di possibilità pluviometrica (LSPP), espressa dalla formula:

$$h_{(d)} = a d^n$$

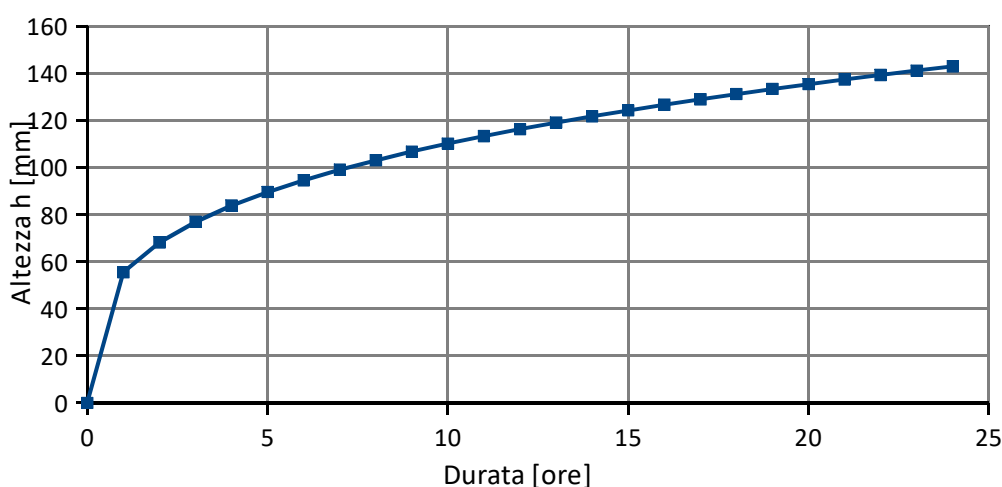
dove:

- h è l'altezza di pioggia;
- d è la durata dell'evento di pioggia;
- a ed n sono coefficienti idrologici calcolati sull'elaborazione statistica dei dati di misura delle precipitazioni intense.

I parametri a ed n vengono forniti dall'Autorità di Bacino del Fiume Po (rif. "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" delle Norme di Attuazione) per celle con lato di 2 km nelle quali è stato suddiviso l'intero bacino. I dati sono ricavati mediante interpolazione con il metodo di Kriging dei valori misurati alle stazioni pluviometriche presenti sul territorio relativi alle precipitazioni intense.

Nel caso specifico la stazione pluviometrica più vicina è quella di Sarmato, e la cella PAI di interesse è la DS107, per la quale vengono forniti i seguenti parametri relativi ai diversi tempi di ritorno (TR).

CELLA PAI DS107		
TR	a	n
20 anni	39,39	0,306
100 anni	50,59	0,300
200 anni	55,39	0,298
500 anni	61,71	0,297



Per il coefficiente n , nel caso di durate di pioggia inferiori all'ora è opportuno adottare il valore di 0,48, come suggerito dall'Allegato 1 della Direttiva regionale.

8.3. Calcolo del massimo volume di invaso richiesto dal sistema

Per il dimensionamento del volume di invaso necessario alla verifica del sistema si è fatto riferimento a due distinte verifiche.

La prima verifica ha riguardato un evento meteorico con durata pari a quella del tempo di corrivazione del bacino, cioè il tempo dall'inizio della precipitazione necessario affinché la pioggia caduta nel punto più lontano del bacino possa raggiungere la sezione di chiusura. Questa verifica è relativa ad eventi temporaleschi caratterizzati da intensità di pioggia molto elevate, capaci di dare origine a portate di deflusso molto alte (tipico acquazzone).

Per il suo calcolo è stata utilizzata la formula proposta dal Civil Engineering Department dell'Università del Maryland (1971), riferita a bacini urbani con superfici fino a qualche ettaro:

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

dove:

tc è il tempo di corrivazione, espresso in s;

L è la lunghezza della superficie scolante;

Ks è il coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler, in $m^{1/3}/s$, che per le tubazioni in PVC vale $80 m^{1/3}/s$;

a è il coefficiente della curva di possibilità climatica, qui espresso in $m \text{ ore}^{-n}$;

i è la pendenza media della superficie scolante, in questo caso rappresentata dalla pendenza delle tubazioni e stimata pari a 0,001.

Il calcolo del tempo di corrivazione, relativo al punto più lontano della superficie scolante rispetto al bacino di laminazione, è riportato nella tabella seguente.

	TR 200 anni
L	200 m
Ks	80 ($m^{1/3}/s$)
a	55,39 mm ore-n
n	0,48 ad
i	0,001 ad
tc	854 s
tc	14 min

Considerando anche il tempo di accesso alla rete è possibile stimare un tempo di corrivazione di circa 20 minuti.

La seconda verifica ha riguardato la ricerca della durata dell'evento meteorico più critica, con durata che può essere anche molto superiore a quella del tempo di corrivazione, relativa da un evento piovoso intenso e prolungato, che corrisponde all'evento in grado di richiedere il massimo volume di invaso per la verifica del sistema.

Entrambe le verifiche hanno riguardato il calcolo degli afflussi provenienti dalle nuove superfici impermeabili (14.056 mq) al bacino d'infiltrazione, mediante rete di raccolta e di smaltimento (pluviali, caditoie, griglie e condotte interrate), considerando cautelativamente un coefficiente di deflusso pari a 1,0. Sono state quindi tralasciate dal calcolo le sole aree verdi non collettate, dove l'infiltrazione avviene già naturalmente nel terreno, mentre è stata considerata come superficie totalmente in grado di generare deflussi la superficie del bacino (591 mq).

I calcoli sono stati eseguiti tramite implementazione con foglio di calcolo, i cui risultati sono riportati di seguito.

Verifica con evento meteorico di durata pari al tempo di corrivazione (evento critico per le portate)

- Durata evento:	20 minuti
- Intensità di pioggia:	98,07 mm/h
- Altezza di pioggia:	32,69 mm
- Portata in entrata:	0,383 mc/s (383 l/s)
- Volume di laminazione necessario:	427,46 mc

Verifica con evento meteorico di durata pari alla durata critica (evento critico per i volumi)

- Durata evento:	207 minuti (pari a 3,45 ore)
- Intensità di pioggia:	23,22 mm/h
- Altezza di pioggia:	80,11 mm
- Portata in entrata:	0,091 mc/s (91 l/s)
- Volume di laminazione necessario:	791,63 mc

La condizione di verifica più penalizzante per il calcolo del massimo volume di invaso è la seconda, che ha consentito di calcolare un volume massimo di invaso necessario al funzionamento del sistema in circa **792 mc**. Tale valore è inferiore a quello disponibile nel bacino di laminazione, con un fattore di sicurezza di circa 1,2 (battente massimo di circa 1,8 m nel bacino).

CALCOLO DEL VOLUME DI LAMINAZIONE – PROCEDURA DETTAGLIATA

Tr 200 anni Tempo di ritorno

Sito: Località Il Pilastro, Gragnano Trebbiense (Pc)

Coefficienti LSPP (PAI)

a	55,39	mm/h ⁿ
n	0,298	

DATI DI BASE

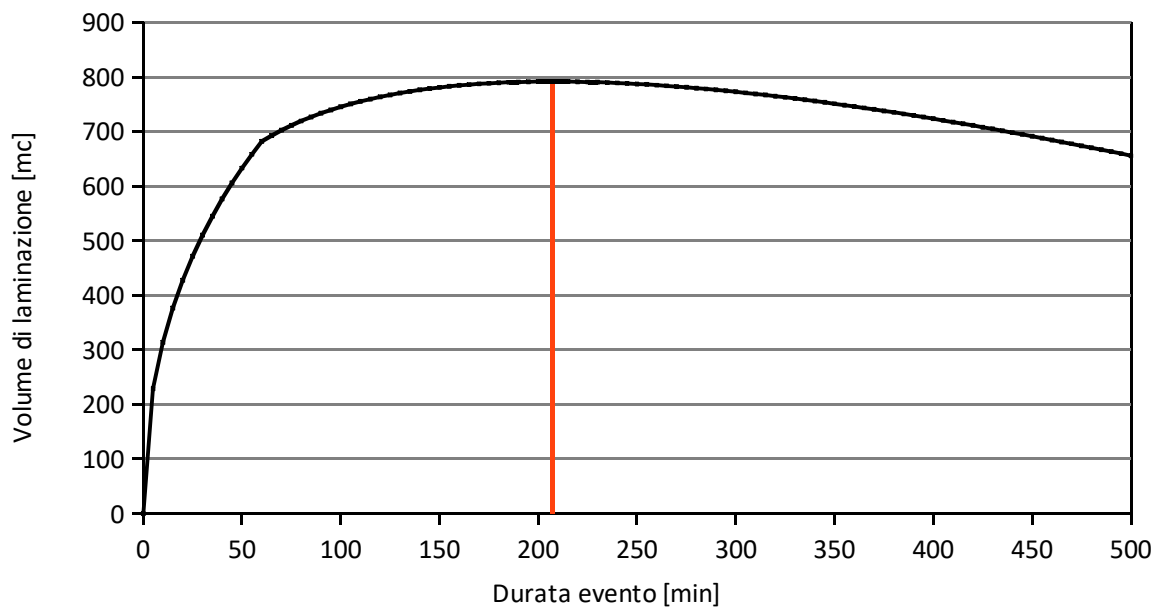
A	14.056	mq	Superficie interessata dall'intervento
ϕ	1,0		Coefficiente di deflusso medio
Qu	27,0	l/s	Portata in uscita
Qu	0,027	mc/s	Portata in uscita

DATI PROCEDURA DI CALCOLO

dt 5 min Passo temporale di calcolo

CALCOLO DELLA DURATA DELL'EVENTO METEORICO CORRISPONDENTE AL MASSIMO VOLUME DI LAMINAZIONE

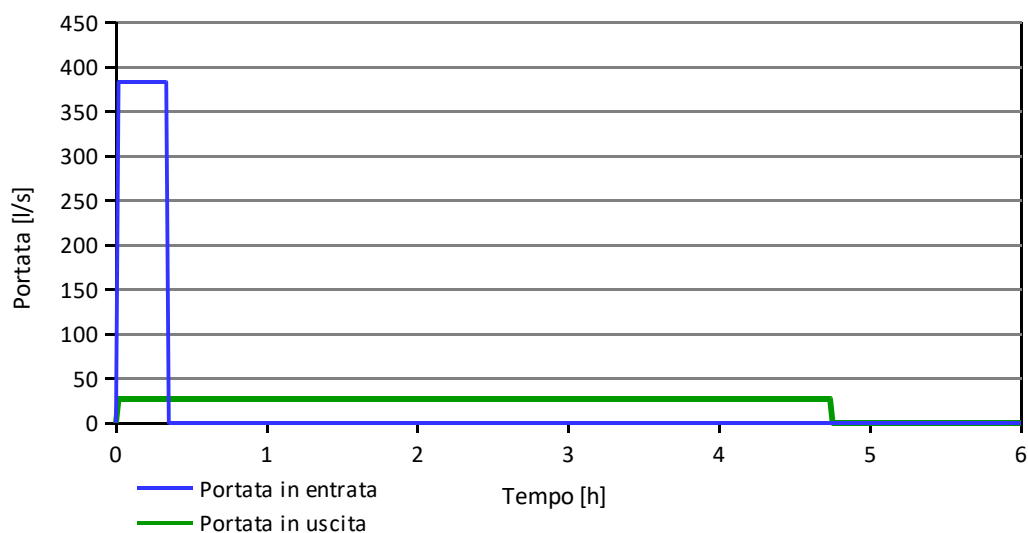
DURATA DELL'EVENTO METEORICO	207 min	3,45 h
MASSIMO VOLUME DI LAMINAZIONE	791,63 mc	



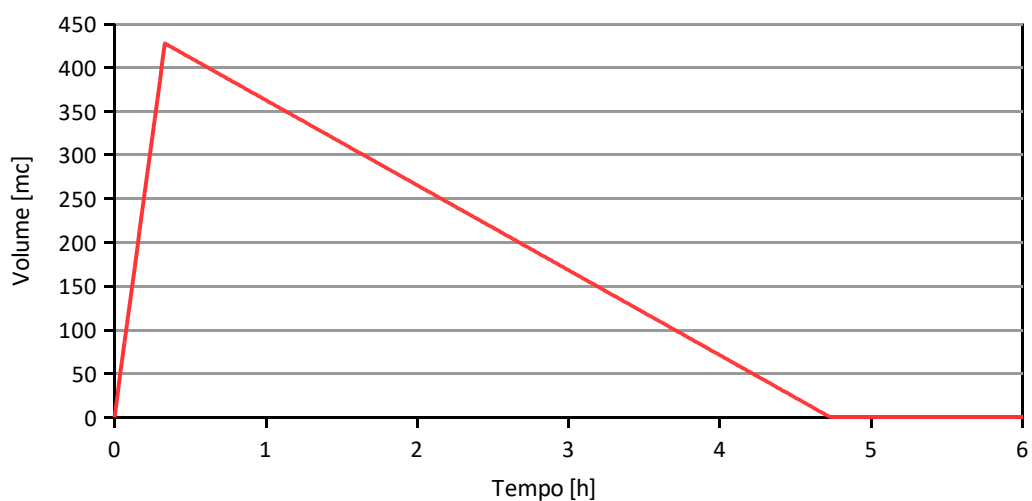
Verifica con evento meteorico di durata pari al tempo di corrivazione (evento critico per le portate)

DURATA PRECIPITAZIONE	TEMPO DI RITORNO DI 200 ANNI	
	t n	20 min 0,48
Intensità di pioggia	i	98,070 mm/h
Altezza di pioggia	h	32,690 mm
Portata in entrata	Qe	0,383 mc/s
Passo di calcolo	dt	1 min
Portata in uscita	Qu	27 l/s 0,027 mc/s
Volume di laminazione max calcolato	Vlam	427,46 mc

Idrogrammi di progetto per evento meteorico di 20 min con Tr 200 anni



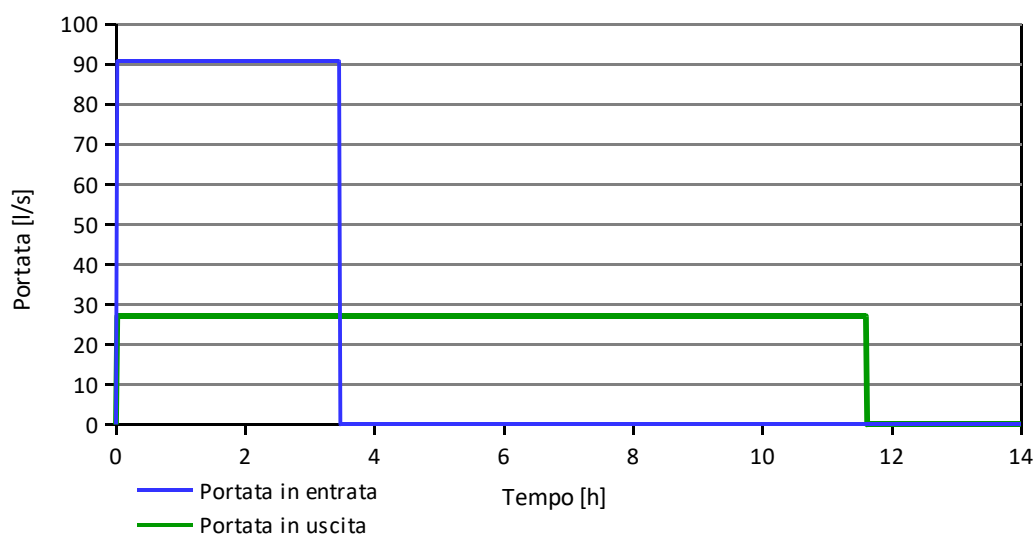
Volume nell'invaso di laminazione per un evento meteorico di 20 min con Tr 200 anni



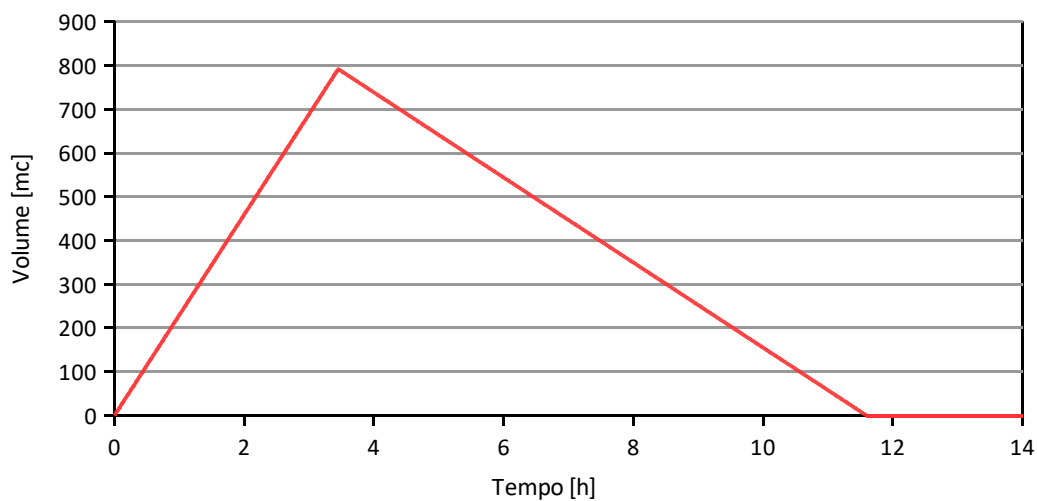
Verifica con evento meteorico di durata pari alla durata critica (evento critico per i volumi)

DURATA PRECIPITAZIONE	TEMPO DI RITORNO DI 200 ANNI	
	t	207 min
	n	0,298
Intensità di pioggia	i	23,221 mm/h
Altezza di pioggia	h	80,113 mm
Portata in entrata	Qe	0,091 mc/s
Passo di calcolo	dt	1 min
Portata in uscita	Qu	27 l/s 0,027 mc/s
Volume di laminazione max calcolato	Vlam	791,63 mc

Idrogrammi di progetto per evento meteorico di 207 min con Tr 200 anni



Volume nell'invaso di laminazione per un evento meteorico di 207 min con Tr 200 anni



8.4. Verifica del tempo di svuotamento del sistema

Nella verifica del sistema di regimazione e smaltimento delle acque meteoriche è opportuno che i volumi di invaso richiesti per il suo corretto funzionamento abbiano un tempo di svuotamento inferiore alle 48 ore, al fine di ripristinare la capacità d'invaso quanto prima possibile e poter quindi fronteggiare un successivo evento meteorico intenso ravvicinato.

Il tempo di svuotamento è dato dal rapporto tra il massimo volume di laminazione dell'invaso necessario calcolato W_{lam} per la portata uscente dall'invaso di laminazione $Q_{u,lim}$:

$$t_{SVUOTAMENTO} = \frac{W_{lam}}{Q_{u,lim}}$$

Nel caso specifico si ha il seguente risultato:

$$t_{SVUOTAMENTO} = \frac{792 \text{ mc}}{27,0 \text{ l/s}} = \frac{792 \text{ mc}}{0,027 \text{ mc/s}} = 8,1 \text{ h}$$

Tempo di svuotamento calcolato	<	Tempo di svuotamento massimo
8,1 h		48,0 h

e pertanto il sistema risulta **verificato**.

9. VERIFICA DELL'IDONEITÀ DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE ADOTTATA

9.1. Verifica dell'idoneità ambientale del sistema d'infiltrazione

Il progetto di invarianza deve valutare ogni possibilità di incentivare l'infiltrazione nel terreno delle acque meteoriche afferenti da superfici non suscettibili di inquinamento.

Tuttavia, l'idoneità ambientale del sistema di infiltrazione deve essere analizzata anche in base alle caratteristiche di vulnerabilità della falda superficiale, ed al suo valore di soggiacenza. Infatti, se la falda più superficiale è prossima o coincidente con il piano campagna, non è ammissibile dal punto di vista idraulico l'infiltrazione dell'afflusso meteorico.

Nel caso specifico, come descritto al cap. 2, la falda superficiale ha una soggiacenza, verificata mediante indagine in sito di tipo diretto, di 12,75 metri dal piano campagna. Poiché il bacino d'infiltrazione avrà una profondità di circa 2,2 m, il franco tra il suo fondo e il tetto della falda sarà di circa 10 m, valore che viene ritenuto adeguato a fonte dei processi di auto-depurazione che avvengono naturalmente nel terreno e della tipologia di attività che verrà svolta nel sito, che è la stessa che avviene già attualmente, che non è tale da ipotizzare la produzione di acque meteoriche di dilavamento in grado di comportare una contaminazione dell'acquifero superficiale.

Inoltre è possibile formulare le seguenti considerazioni:

- l'infiltrazione verrà eseguita in un'area esterna alle fasce di rispetto di eventuali opere di captazione ad uso potabile, per le quali viene richiesta una particolare azione di salvaguardia della risorsa idrica captata mediante il divieto di scarico delle acque meteoriche;
- il processo di infiltrazione proveniente dalla opere in progetto non comporterà un incremento del grado di instabilità del sito, con particolare riferimento alla presenza di versanti franosi o cavità sotterranee, in quanto il sito si presenta sub-pianeggiante e privo di problematiche di dissesto;
- il processo di infiltrazione non interferirà con la stabilità delle fondazioni o con i piani interrati degli edifici esistenti, in quanto il bacino d'infiltrazione verrà ubicato a distanza di sicurezza, come rappresentato nella planimetria di progetto.

9.2. Verifica dell'invarianza idrologica: rispetto dei volumi di laminazione

Nel caso in cui il progetto di gestione delle acque meteoriche non preveda una canalizzazione delle acque verso un corpo ricettore, ma sia prevista una dispersione dei deflussi nel terreno, non essendoci di fatto un aggravio delle condizioni di piena di un corpo idrico ricevente la Direttiva regionale non prevede che debbano essere rispettati i volumi di laminazione previsti dal regolamento e calcolati al par. 5.1.3 in 690 m³.

Infatti, dove le condizioni litologiche, geologiche e ambientali lo consentano, è possibile realizzare sistemi di infiltrazione facilitata in cui convogliare i deflussi in eccesso prodotti dall'impermeabilizzazione. Nel caso specifico è prevista la realizzazione di un bacino di infiltrazione che avrà anche la funzione di bacino di laminazione consentendo l'accumulo di circa 960 m³.

In questo caso, tuttavia, l'idoneità del sistema progettato deve essere documentata attraverso appositi elaborati progettuali e calcoli idraulici, e la funzionalità del sistema a smaltire gli eccessi di portata prodotti dalle superfici impermeabilizzate rispetto alle condizioni antecedenti la trasformazione deve essere verificata almeno per un tempo di ritorno di 30 anni nei territori di collina e montagna e di 200 anni nei territori di pianura.

La verifica idraulica del sistema progettato è stata verificata al cap. 8 dove è stata calcolata, per un evento meteorico con tempo di ritorno di 200 anni, la necessità di disporre di un volume di laminazione di almeno 792 m³, valore disponibile nel bacino d'infiltrazione che verrà realizzato con un fattore di sicurezza di circa 1,2.

In ogni caso il volume di laminazione disponibile risulta superiore al volume di laminazione calcolato da normativa (690 m³), anche senza considerare il volume totale delle condotte che potrebbe essere ritenuto efficace ai fini dell'invarianza per l'80%.

10. PIANO DI MANUTENZIONE ORDINARIA E STRAORDINARIA

La manutenzione delle opere è fondamentale per garantire il mantenimento in efficienza delle strutture e degli elementi realizzati per le funzioni di drenaggio delle acque meteoriche; serve ad assicurare alle strutture stesse un periodo di vita più lungo, permettendo di intervenire periodicamente nell'individuazione di eventuali malfunzionamenti che, se trascurati, ne potrebbero pregiudicare irrimediabilmente le funzioni.

Il piano di manutenzione si compone delle seguenti parti:

- descrizione delle strutture componenti il sistema di invarianza;
- definizione degli interventi di manutenzione da eseguire per garantire la funzionalità del sistema.

DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE COMPONENTI IL SISTEMA

Il sistema previsto per conseguire l'invarianza idrologica ed idraulica è formato dalle seguenti componenti:

- caditoie e rete di distribuzione delle acque meteoriche provenienti dalle coperture e della aree pavimentate, costituita da pluviali, tubazioni in PVC, chiusini, camerette di ispezione e griglie;
- bacino di laminazione con superficie alla base di circa 300 m², con profondità di almeno 2,2 m, formato da sponde in terra con pendenza di circa 35°, per un volume totale di laminazione di circa 960 m³.

DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI DI MANUTENZIONE

Gli interventi di manutenzione delle opere di regimazione delle acque meteoriche possono essere suddivisi in interventi ordinari, da svolgersi periodicamente seguendo un calendario prestabilito, ed in interventi straordinari, necessari al ripristino delle funzioni in caso di malfunzionamenti, guasti, o successivamente ad eventi meteorici significativi che possano aver compromesso la funzionalità del sistema.

Le opere progettate non richiedono particolari manutenzioni, se non quelle di seguito descritte.

Gli interventi di **manutenzione ordinaria**, da prevedere a seguito di semplice controllo visivo dello stato di efficienza degli elementi drenanti a seguito di ogni evento meteorico significativo che li vede coinvolti, o comunque ogni sei mesi sono:

- controllo e rimozione di eventuali accumuli di sedimenti o fanghi presenti sul fondo del bacino, derivanti dal trasporto solido delle acque meteoriche, che possano compromettere il grado di permeabilità dello strato basale;
- controllo dello stato dei canali di gronda, delle griglie e delle caditoie, ed eventuale rimozione dei detriti presenti, al fine di ripristinare le condizioni di deflusso della rete di drenaggio e di ridurre il trascinamento di materiale di varia natura in sospensione (a questo proposito si consiglia l'installazione nelle grondaie di filtri anti-intasamento).

Gli interventi di **manutenzione straordinaria**, da prevedere solo nel caso in cui si evidenziasse una riduzione nella capacità drenante del fondo del bacino indotta dalle sostanze solide trasportate dalle acque meteoriche e dallo sviluppo di biomasse adese alle particelle del terreno, consistono nel rinnovamento dello strato filtrante alla base del bacino per ripristinare le condizioni di permeabilità originarie.