



COMUNE DI PONTE SAN PIETRO

PROVINCIA DI BERGAMO

NUOVA INTERSEZIONE SP 342 - VIA SAN CLEMENTE - VIALE ITALIA - VIA SANT'ANNA

DENOMINAZIONE PROGETTO

PROGETTO DEFINITIVO

DENOMINAZIONE ELABORATO

RELAZIONE DI INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA

ELABORATO

DOCUMENTO 03

COMMITTENTE

Comune di Ponte San Pietro

DATA

GIUGNO 2023

STESURA

Dr. Geol. Andrea Gritti

IL RESPONSABILE
DEL PROCEDIMENTO

VISTO E APPROVATO

Ing. Massimo Percudani



Ing. Massimo Percudani

Via Martiri di Cefalonia, 8

San Donato M.se (MI)

Tel. 02.8376589 - Fax 02.51879057

Hattusas s.r.l.

consulenze e servizi nel vasto campo della geologia e dell'ambiente – rilevazioni gas radon e inquinamento indoor



sede legale: Via Roma, 37 – 24060 – Bianzano (BG)
sede operativa: Via Vespucci, 47 – 24050 – Grassobbio (BG)
tel. 035 4425112
E-mail: info@hattusas.it
PEC: info@pec.hattusas.it
WEB: www.hattusas.it

Committente

Amministrazione Comunale di PONTE S. PIETRO



COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (Provincia di Bergamo)

NUOVA ROTATORIA IN CORRISPONDENZA DELL'INTERSEZIONE SP342 – VIA S. CLEMENTE – VIALE ITALIA

Progetto di invarianza idraulica ed idrologica (r.r. 7/2017 – 8/2019) Relazione Tecnica

Grassobbio (BG), 19 giugno 2023






Dr. Geol. Andrea Gritti
Iscrizione Ordine dei Geologi della Lombardia n. 1461

Dr. Geol. Fabio Plebani
Iscrizione Ordine dei Geologi della Lombardia n. 884

Documento di controllo e di sintesi

Lavoro:	\\hazannu\archivio_1_HATTUSAS\HA_1_2023_05_30_040_PO NTE-S-P_Amm-Com_PAES_IDRO_RELAZIONI\HA_1_2023_05_30_040_PONTE-SAN-PIETRO_Amm-Com_nuova-rotatoria_INV.docx
Stato:	DOCUMENTO FINALE
Responsabile di progetto:	Studio Ingegneria Percudani
Responsabile interno	Fabio Plebani
Titolo:	NUOVA ROTATORIA IN CORRISPONDENZA DELL'INTERSEZIONE SP342 – VIA S. CLEMENTE – VIALE ITALIA
Autore/i e coordinatori documento:	Fabio Plebani
Cliente:	Comune di Ponte San Pietro (Bg)
Contatto clienti:	Dott. Ing. Percudani
Data di emissione:	19/06/2023
No. di copie:	1 PDF
Numero pagine:	38 + allegati
Ultima stampa:	
Ultimo salvataggio:	
Trasmissione:	Email:
Ulteriori informazioni:	

Relazione di sintesi	
Parole chiave	Dispersione, acque meteoriche, superfici impermeabilizzate, laminazione
Riassunto	

Garanzia di qualità					
Autore	Revisione tecnica	Edito	Versione documento	Approvato per emissione	
				Date	Firma
Fabio Plebani	Andrea Gritti		WC00	21/06/2023	AG

INDICE

1	PREMESSA.....	4
2	UBICAZIONE DELL'AREA DI STUDIO	5
3	SINTESI DEGLI ELEMENTI DI PROGETTO E OBIETTIVI DI VERIFICA E VALUTAZIONE	6
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	9
5	CARATTERI IDROGEOLOGICI DI RIFERIMENTO.....	9
5.1	Prova di permeabilità a carico variabile	10
6	DETERMINAZIONE DEL GRADO DI CRITICITÀ IDRAULICA.....	13
7	PROCEDURE DI VALUTAZIONE AI SENSI DEL R.R. 7/2017 (R.R. 8/2019)	14
8	INDIVIDUAZIONE E QUANTIFICAZIONE DELLA SUPERFICIE D'INTERVENTO	15
9	COEFFICIENTE DI DEFLUSSO MEDIO PONDERALE DELLE SUPERFICI TRASFORMATE.....	15
10	INDIVIDUAZIONE DELLA MODALITÀ DI CALCOLO	16
11	CALCOLO DELLE PRECIPITAZIONI DI PROGETTO	17
12	QUANTIFICAZIONE DELLE ACQUE DI PIOGGIA DA CONFERIRE NEL SISTEMA DI INFILTRAZIONE ("VALUTAZIONE DEI VOLUMI DI INVASO")	21
12.1	Metodo del requisito minimo.....	22
12.2	Metodo delle sole piogge.....	23
12.2.1	Determinazione del tempo di corrivazione	23
12.2.2	Calcolo della portata complessiva di pioggia.....	24
13	DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI LAMINAZIONE.....	26
14	OPERE PER LA REALIZZAZIONE DEL SISTEMA DI LAMINAZIONE	27
14.1	Sistema di laminazione e di dispersione: considerazioni generali.....	30
14.1.1	Caratteristiche delle "aree verdi di infiltrazione"	32
15	CALCOLO DEL TEMPO DI SVUOTAMENTO DELL'INVASO	35
16	PIANO DI MANUTENZIONE	36
17	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI.....	37

1 PREMESSA

Su incarico del Dott. Ing. Massimo Percudani e per conto dell'Amministrazione Comunale di Ponte S. Pietro (Bg) è stata redatta la presente relazione che accompagna il **progetto per la dispersione o la laminazione delle acque meteoriche** raccolte dalle nuove superfici impermeabilizzate s.l. per la costruzione di una nuova rotatoria tra la SP 342, Via San Clemente, Viale Italia e Via Sant'Anna, in Comune di Ponte S. Pietro (Bg).



1. Ubicazione dell'area (Siter@ Provincia di Bergamo)

L'obiettivo del presente documento è:

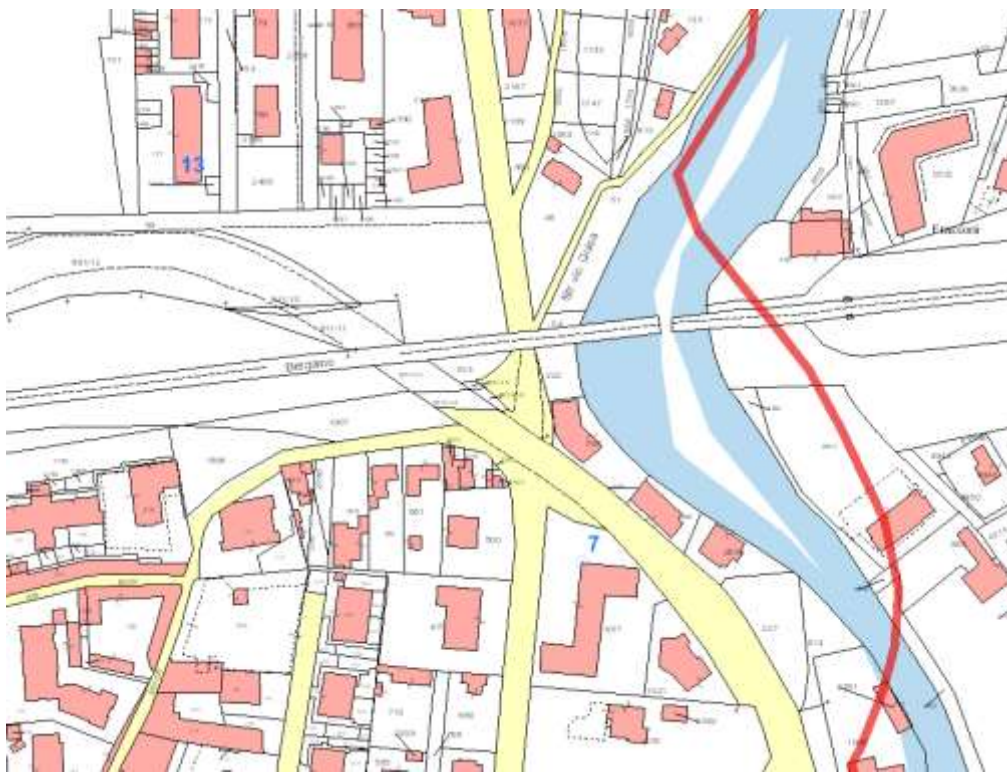
- la valutazione delle precipitazioni attese sull'area con dato tempo di ritorno;
- la definizione, secondo il livello di approfondimento e le informazioni

disponibili, della capacità di infiltrazione del sottosuolo;

- la proposta di opere per l'infiltrazione e/o la laminazione delle acque meteoriche.

2 UBICAZIONE DELL'AREA DI STUDIO

L'area oggetto dell'intervento è situata in territorio comunale di Ponte San Pietro (Bg), circa alla quota di 226 m s.l.m., in un contesto ormai pressoché interamente urbanizzato, con destinazioni d'uso prevalentemente residenziali.



2. stralcio mappa catastale (Siter@ Provincia di Bergamo)

Le opere interesseranno aree comprese nella mappa catastale (Comune catastale G856) come indicato sommariamente nello stralcio cartografico allegato (s.e.o. – per una più precisa e puntuale determinazione dei mappali

interessati si rimanda alle tavole progettuali e alle verifiche dell'Ufficio Tecnico comunale).

Le coordinate geografiche dell'intervento, nel sistema di riferimento WGS84 UTM32N sono le seguenti: E 546.179, N 5.060.913 metri.

3 SINTESI DEGLI ELEMENTI DI PROGETTO E OBIETTIVI DI VERIFICA E VALUTAZIONE

Il Progetto prevede la costruzione di una rotatoria in sostituzione dell'attuale incrocio presente tra la SP 342 Briantea, Via San Clemente, Viale Italia e Via Sant'Anna, in territorio comunale di Ponte San Pietro (BG): l'Amministrazione Comunale ha espresso la volontà di procedere alla riorganizzazione di questa intersezione allo scopo di risolvere i frequenti episodi di traffico intenso che si verificano, soprattutto nelle ore di punta, in corrispondenza dell'incrocio attualmente regolato mediante un sistema semaforico.

In ragione della tipologia progettuale si prevede la rimozione dei semafori e la riorganizzazione dell'assetto stradale, mentre non è previsto alcun tipo di intervento sulla struttura del ponte ferroviario che attraversa l'area.

Ai fini della determinazione della quantità di acque meteoriche da disperdere nel sottosuolo, lo studio di progettazione del Dott. Ing. Massimo Percudani ha comunicato i seguenti dati:

- superfici "impermeabili" (strada) 3.755 mq c.def. = 1
- superfici "semipermeabili" (isole spartitraffico, pista ciclopedonale) 1.095 mq c.def. = 0,41

Le superfici a verde non collettato sono state quantificate, sulla base dei disegni di progetto, pari a circa 2.500 mq.

E' da segnalare che parte delle aree impermeabilizzate (strade) sono già presenti e le nuove realizzazioni comporteranno una aumento più contenuto delle impermeabilizzazioni: cautelativamente, tuttavia, in assenza di indicazioni più precise in tal senso da parte dello studio di progettazione, si considerano "impermeabili" tutte le aree asfaltate.

In corrispondenza delle isole spartitraffico e delle piste ciclopedonali si prevede invece l'impiego di calcestruzzo drenante: le ottime caratteristiche di drenabilità del materiale lo rendono particolarmente indicato per la realizzazione di interventi proprio nelle zone a tutela ambientale, per le quali è richiesta la restituzione delle acque piovane al terreno. La sua struttura aperta consente il passaggio agli strati e alle falde sottostanti fino al 90% delle acque pluviali, anche in caso di eventi di notevoli intensità: **cautelativamente si è adottato il valore del coefficiente di deflusso (0,41) riportato nella scheda tecnica di un "massetto ecologico stradale" (rif. "Ecodrain") di tipologia analoga a quella che potrà essere utilizzata nel caso in esame.**

L'elevata percentuale di vuoti interconnessi permette un alto grado di permeabilità, garantendo comunque elevati valori di resistenza ai carichi. La capacità drenante effettiva dipende dalla progettazione, dalle modalità di messa in opera e dalle richieste di portanza/resistenza dell'opera, e può essere valutata in misura di 500-1000 litri/mq/minuto.

Il calcestruzzo drenante è caratterizzato da un aspetto rugoso, che consente la sostanziale limitazione della scivolabilità, che comunque, non limita la circolazione pedonale, inoltre la matrice aperta consente il continuo ricircolo d'aria, con la conseguente assenza di ristagni d'acqua.



3. Ubicazione delle superfici trasformate da valutare per la proposta di laminazione e dispersione.

Come previsto dal r.r. 7/20217 e s.m.i., art. 3 comma 7bis, lettera d), il regolamento non si applica alle *“strutture di contenimento di acqua o altri liquidi realizzati a cielo libero, quali piscine, bacini, vasche di raccolta reflui, specchi d’acqua, fontane, ad esclusione delle opere realizzate ai fini del presente regolamento”*.

Per **le aree distinte a seconda delle caratteristiche proprie** è stato determinato il coefficiente di deflusso medio ponderale considerando la sola superficie scolante impermeabile ed eventuale semi permeabile per la quantificazione del volume dell'invaso di laminazione, ricorrendo, per una migliore definizione della procedura e un aggancio alle normative comunque vigenti in materia di invarianza, al "metodo dei requisiti minimi" (v. Convegno Varese 8.3.2018, Convegno Sondrio 13.4.2018) e successivamente al c.d. "metodo delle sole piogge":

- coefficiente di deflusso medio ponderale $\varphi = 0,57$

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Come illustrato sulla cartografia geologica ufficiale (CARG, Foglio 097 "Vimercate") è posta in corrispondenza dei **depositi quaternari ghiaiosi di origine alluvionale e fluvioglaciale appartenenti al Supersintema di Lenna (LE)**. La carta geologica di PGT, realizzata a maggior dettaglio, conferma quanto indicato nella carta geologica CARG per il sottosuolo di progetto, segnalando la presenza di **depositi fluvioglaciali caratterizzati da ghiaie e sabbie stratificate**.

5 CARATTERI IDROGEOLOGICI DI RIFERIMENTO

Al fine di definire le caratteristiche locali di permeabilità dei terreni sono state eseguite, considerando l'omogeneità del sottosuolo, tre prove di permeabilità a carico variabile in pozzetto superficiale, i cui risultati hanno consentito di calcolare (v. "Raccomandazioni A.G.I.") mediamente per i terreni in questione un discreto valore di permeabilità, almeno nei livelli litologici più superficiali.

5.1 Prova di permeabilità a carico variabile

Nei materiali sciolti, permeabili per porosità, nei quali è verificata la legge di Darcy, la permeabilità si esprime attraverso il coefficiente di permeabilità K , che ha le dimensioni di cm/sec o m/sec.

Il coefficiente di permeabilità di un terreno viene sempre determinato con difficoltà e presenta spesso un notevole grado di incertezza; i valori sperimentali, salvo nei casi in cui il terreno è omogeneo ed isotropo, sono infatti affetti da errori che possono anche essere di un intero ordine di grandezza. La scelta del metodo di prova va effettuata in funzione del tipo di terreno e della precisione desiderata.

Le prove in sito eseguite in pozzetti (cilindrici o quadrati) o in fori di sondaggio (o di prova penetrometrica) forniscono una valutazione della permeabilità dei terreni superficiali al di sopra del livello di falda.

Si dividono in:

- prove a carico costante, effettuate riempiendo d'acqua il foro e misurando la portata necessaria per mantenere costante il livello;
- prove a carico variabile, effettuate misurando la velocità di abbassamento in funzione del tempo.

Le prove a carico variabile con abbassamento del livello dell'acqua si eseguono riempiendo d'acqua il pozzetto per un'altezza nota e misurando la velocità di abbassamento del livello. Le prove di abbassamento possono essere eseguite anche nel terreno al di sopra del livello di falda; in questo caso il terreno deve essere preventivamente saturato.

I risultati forniti dalle prove di permeabilità a carico variabile hanno consentito di calcolare mediamente per i terreni in questione un valore medio di permeabilità:

$$K_{\text{medio}} = 1,78 \cdot 10^{-5} \text{ m/sec}$$

sostanzialmente confermando gli assunti della Carta Idrogeologica comunale (Granata, 2016) e del Documento semplificato dello Studio comunale di Gestione del Rischio Idraulico (Iarabek, 2021).

Prova di permeabilità in pozzetto superficiale eseguita a carico variabile (A.G.I. 1977)

$$K = \frac{h_1 - h_2}{t_2 - t_1} \cdot 1 + \frac{(2h_m/b)}{27} \cdot (h_m/b) + 3$$



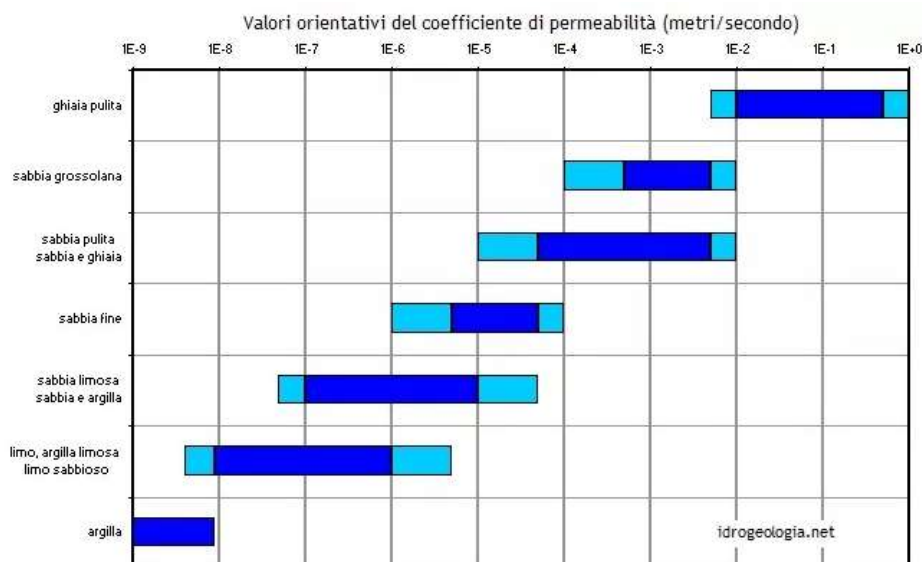
	Prova n° 1	Prova n° 2	Prova n° 3	Media
h1 (altezza iniziale del livello dell'acqua: cm)	25	21	22	
h2 (altezza finale del livello dell'acqua: cm)	12	11	12	
t2 - t1 (tempo trascorso per il raggiungimento di h2: min.)	12	11	13	
hm (altezza media tra h1 e h2: cm)	18,5	16	17	
b (lato della base del pozzetto: cm)	30	30	30	
K (coefficiente di permeabilità: cm/sec)	0,00205	0,00180	0,00149	0,00178
K (coefficiente di permeabilità: m/sec)	2,05E-05	1,80E-05	1,49E-05	1,78E-05

4 – Risultati delle prove di permeabilità in pozzetto

Dai risultati delle prove in sito si può osservare come i terreni in questione possiedano orientativamente un coefficiente di permeabilità paragonabile a quello di "sabbia pulita e miscele di sabbia e ghiaia", per cui il drenaggio dei terreni può essere correttamente definito come "buono".

Dalle osservazioni in sito relative alle caratteristiche e alla litologia superficiale dei terreni, si ritiene che i risultati delle prove di permeabilità in sito possano essere ragionevolmente estesi all'intero comparto interessato.

Per quanto riguarda invece la possibile presenza della falda nel sottosuolo di progetto, dalla carta idrogeologica comunale (Granata, 2016) si evince, estrapolando le informazioni dalle isopieze, che la stessa potrebbe essere posta a circa 207 m s.l.m., che corrisponde ad una profondità di circa 19 m da p.c. (v. Carta Idrogeologica, CG/PGT).



5. Valori orientativi del coefficiente di permeabilità in rapporto alla litologia

k (m/s)	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
GRADO DI PERMEABILITÀ	alto			medio		basso		molto basso		impermeabile		
DRENAGGIO	buono					povero			praticamente impermeabile			
TIPO DI TERRENO	ghiaia pulita		sabbia pulita e miscele di sabbia e ghiaia pulita			sabbia fine, limi organici e inorganici, miscele di sabbia, limo e argilla, depositi di argilla stratificati			terreni impermeabili argille omogenee sotto la zona alterata dagli agenti atmosferici			
						terreni impermeabili modificati dagli effetti della vegetazione e del tempo						

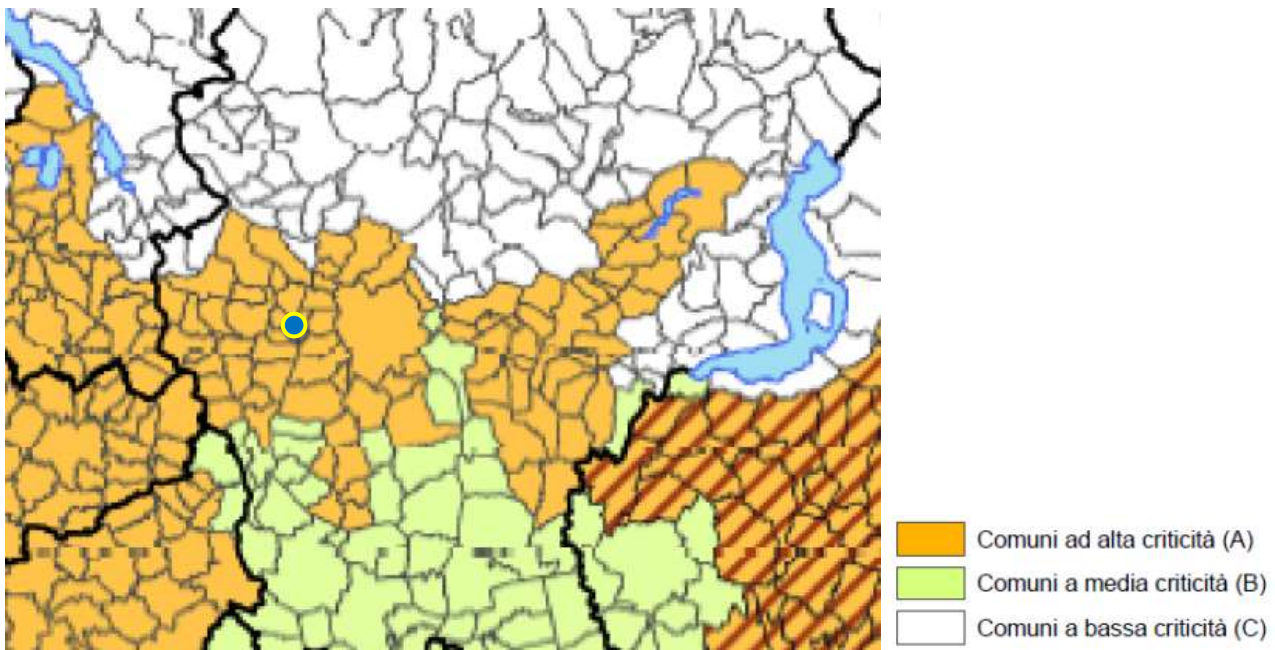
6. Condizioni di drenaggio dei terreni in funzione della permeabilità (Colombo, 1978)

6 DETERMINAZIONE DEL GRADO DI CRITICITÀ IDRAULICA

Il Comune di Ponte S. Pietro, secondo l'All. B del "Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017 n. 7", è riferito ad area "A" ad "alta criticità idraulica".

In funzione della classificazione il regolamento limita gli scarichi nel corpo ricettore mediante l'adozione d'interventi atti a contenere l'entità delle portate scaricate entro valori compatibili con la capacità idraulica del recettore stesso e comunque entro i seguenti valori massimi ammissibili (u):

- per le aree A - 10 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile;
- per le aree B - 20 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile;
- per le aree C - 20 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile.



7. Ambiti a diversa criticità idraulica (r.r. 7/2017)

7 PROCEDURE DI VALUTAZIONE AI SENSI DEL R.R. 7/2017 (R.R. 8/2019)

Le opere che interesseranno i terreni – in un contesto prevalentemente urbanizzato ed intensamente edificato - consisteranno, come accennato, nella costruzione di una nuova rotatoria, con superfici ed ingombri nei limiti concessi dalle norme urbanistiche comunali.

In generale le superfici impermeabilizzate verranno raccolte e collettate da una rete che conferisce le acque meteoriche in un sistema di raccolta e di conferimento o dispersione secondo quanto previsto dalle norme in materia di invarianza idraulica e idrologica, se necessario con portata limitata e controllata pari a 10 l/s/ha, come prescritto all'art. 8 del r.r. 7/2017 e s.m.i. per i Comuni in area A di alta criticità idraulica.

Nel caso specifico, richiamando le indicazioni del regolamento regionale vigente, si ritiene di poter fare riferimento al caso di cui all'art. 3 comma 3 riferito

alla "realizzazione di nuove rotatorie di diametro esterno superiore ai 50 metri " che, a differenza degli "interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria della rete ciclopeditale, stradale e autostradale" e degli "interventi di ammodernamento, definito ai sensi dell'articolo 2 del regolamento regionale 24 aprile 2006, n. 7 (Norme tecniche per la costruzione delle strade)", sono soggetti all'applicazione del regolamento regionale per l'invarianza idraulica.

8 INDIVIDUAZIONE E QUANTIFICAZIONE DELLA SUPERFICIE D'INTERVENTO

Con riferimento alla tavola cartografica di progetto e alle informazioni fornite dal progettista, la verifica è stata condotta considerando le **nuove superfici "impermeabili", pari a:**

superfici "impermeabili"	3.755 mq
superfici "semipermeabili"	1.095 mq

Le acque meteoriche sulle aree a verde (valutato pari a circa 2.500 mq) non verranno collettate e si disperderanno naturalmente, come nelle attuali condizioni.

9 COEFFICIENTE DI DEFLUSSO MEDIO PONDERALE DELLE SUPERFICI TRASFORMATE

Il coefficiente di deflusso medio ponderale " ϕ " riferito alle sole aree impermeabili e semipermeabili è stato calcolato pari a:

$$\varphi = 0,87$$

10 INDIVIDUAZIONE DELLA MODALITÀ DI CALCOLO

Le verifiche idrauliche ed idrologiche sono condotte attraverso diversi approcci progettuali a seconda della superficie dell'intervento, considerando l'intero lotto d'intervento:

- 1) superficie $\leq 0,03$ ha (≤ 300 mq)
- 2) superficie $> 0,03$ ha e $\leq 0,1$ ha (da > 300 mq a ≤ 1.000 mq)
- 3) superficie $> 0,1$ ha e ≤ 1 ha (da > 1.000 mq a ≤ 10.000 mq)**
- 4) superficie > 1 ha e ≤ 10 ha (da > 10.000 mq a ≤ 100.000 mq)
- 5) superficie > 10 ha (> 100.000 mq).

Nel caso specifico il riferimento è al punto 3), relativo a superfici comprese tra 1.000 e 10.000 mq.

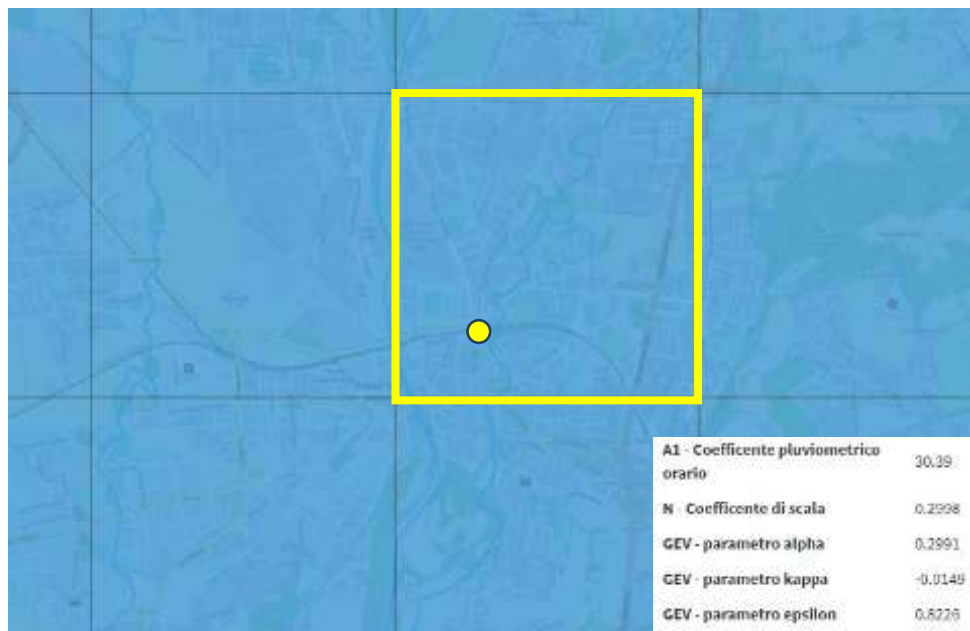
CLASSE DI INTERVENTO		SUPERFICIE INTERESSATA DALL'INTERVENTO	COEFFICIENTE DEFUSSO MEDIO PONDERALE	MODALITÀ DI CALCOLO	
				AMBITI TERRITORIALI (articolo 7)	
				Area A, B	Area C
0	Impermeabilizzazione potenziale qualsiasi	≤ 0,03 ha (≤ 300 mq)	qualsiasi	Requisiti minimi articolo 12 comma 1	
1	Impermeabilizzazione potenziale bassa	da > 0,03 a ≤ 0,1 ha (da > 300 mq a ≤ 1.000 mq)	≤ 0,4	Requisiti minimi articolo 12 comma 2	
2	Impermeabilizzazione potenziale media	da > 0,03 a ≤ 0,1 ha (da > 300 a ≤ 1.000 mq)	> 0,4	Metodo delle sole piogge (vedi articolo 11 e allegato G)	Requisiti minimi articolo 12 comma 2
		da > 0,1 a ≤ 1 ha (da > 1.000 a ≤ 10.000 mq)	qualsiasi		
		da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq)	≤ 0,4		
3	Impermeabilizzazione potenziale alta	da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq)	> 0,4	Procedura dettagliata (vedi articolo 11 e allegato G)	
		> 10 ha (> 100.000 mq)	qualsiasi		

8. Tabella delle modalità di calcolo (da r.r. 8/2019)

Applicando i dati descritti nei precedenti capitoli alla tabella, come prevede il r.r. 7/2017 e s.m.i., per superfici comprese tra 1.000 e 10.000 m², con coefficiente di deflusso ponderale $> 0,4$ è richiesta l'applicazione del **metodo "delle sole piogge"** ai sensi dell'art. 11, allegato G, del citato regolamento regionale n. 7/2017 s.m.i.

11 CALCOLO DELLE PRECIPITAZIONI DI PROGETTO

L'analisi pluviometrica è stata estrapolata dallo studio a scala regionale di ARPA Lombardia denominato "STRADA" (Strategie di Adattamento ai cambiamenti climatici per la gestione dei rischi naturali nel territorio transfrontaliero) e pubblicato nel 2013.



9 - Regionalizzazione e parametri climatici LSPP (SIDRO, ARPA Lombardia)

Il calcolo delle precipitazioni viene eseguito tramite la "Linea segnalatrice di Possibilità Pluviometrica" (LSPP) assumendo una relazione tra durata e altezza

di pioggia all'interno del bacino considerato, per un determinato tempo di ritorno, elaborata attraverso la formula:

$$h_d(T) = a * d^n$$

nella quale a [mm] rappresenta l'altezza di pioggia di durata oraria mediamente attesa, con prefissato tempo di ritorno T , ed n (coefficiente di scala).

I dati di partenza impiegati all'interno del progetto STRADA sono le osservazioni delle piogge massime orarie (da 1 a 24 ore) misurate da una moltitudine di pluviometri sparsi su tutto il territorio regionale. Per il caso di durate di pioggia inferiori alle 24 h, la curva viene espressa nel formato che segue:

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

nella quale il termine generico a della formula sopra descritta è espresso dal prodotto di a_1 e w_T :

- a_1 (coefficiente pluviometrico orario) è un parametro di intensità, caratteristico del sito, che in maniera indipendente dal tempo di ritorno assunto dà indicazione della sua piovosità oraria;
- w_T è un fattore di moltiplicazione del coefficiente pluviometrico orario, dipendente dal tempo di ritorno assunto (T , espresso in anni) attraverso la relazione che segue:

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

nella quale α , k e ε sono i parametri della distribuzione probabilistica G.E.V. (Generalized Extreme Value) che descrive la distribuzione statistica degli eventi di pioggia più intensi rilevabili nel sito.

I parametri delle curve pluviometriche caratteristiche del Comune di Ponte S. Pietro per la cella di riferimento, sono dedotti dal portale di Arpa Lombardia ("SIDRO" - <https://idro.arpalombardia.it/it/map/sidro/>):

A1 – Coefficiente pluviometrico orario	30,39
N – Coefficiente di scala	0,2998
GEV – Parametro alpha	0,2991
GEV – Parametro kappa	-0,0149
GEV – Parametro epsilon	0,8226

Parametri della curva pluviometrica

La procedura tiene conto delle indicazioni riportate nel nuovo Regolamento Regionale in attuazione dell'art. 7 della l.r. 4/2016 relativo alle metodologie per il calcolo delle misure di invarianza idraulica e idrologica a supporto della progettazione e del dimensionamento di opere di laminazione, ma utile anche nel caso specifico per la quantificazione delle portate delle acque meteoriche da laminare nel recettore.

In tale Regolamento si afferma, a proposito della gestione del rischio idraulico, che "è necessario che le misure di attenuazione del rischio siano commisurate ad alti tempi di ritorno", al fine di realizzare adeguate "misure strutturali locali di contenimento e controllo delle acque meteoriche interne alle singole aree scolanti": si è dunque deciso di adottare, nel caso in esame, un tempo di ritorno pari a 50 anni per piogge brevi-intense valutate su 1h, ritenuto sufficientemente cautelativo.

Nella metodologia descritta nel Regolamento citato, "i parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica per la determinazione delle precipitazioni di progetto da assumere sono quelli riportati da ARPA Lombardia per tutte le località del territorio regionale"; poiché, tuttavia, tali parametri "si riferiscono generalmente a durate di pioggia maggiori dell'ora, per le durate inferiori all'ora

si possono utilizzare, in carenza di dati specifici, tutti i parametri indicati da ARPA tranne il parametro n per il quale si indica il valore $n = 0,5$, in aderenza agli standard suggeriti dalla letteratura tecnica idrologica”.

Applicando dunque i parametri sopra riassunti nella formula

$$h = a_1 \cdot w_T \cdot D^n$$

e utilizzando una durata critica pari a 60 minuti, dove $w_{T(50)} = 2,02426$, $a = 30,39$ ed $n = 0,2998$ l'intensità di pioggia considerata nelle successive elaborazioni è pari a

61,52 mm.

Per completezza d'informazione, si riportano anche i valori dell'intensità di pioggia con T50 per durate inferiori all'ora, derivanti dall'applicazione della “formula di Bell” suggerita da CAP Holding (“Linee guida per la redazione degli studi comunali di gestione del rischio idraulico”):

$$h_{d,T} = h_{60,T} (0,54 \cdot d^{0,25} - 0,5)$$

dove:

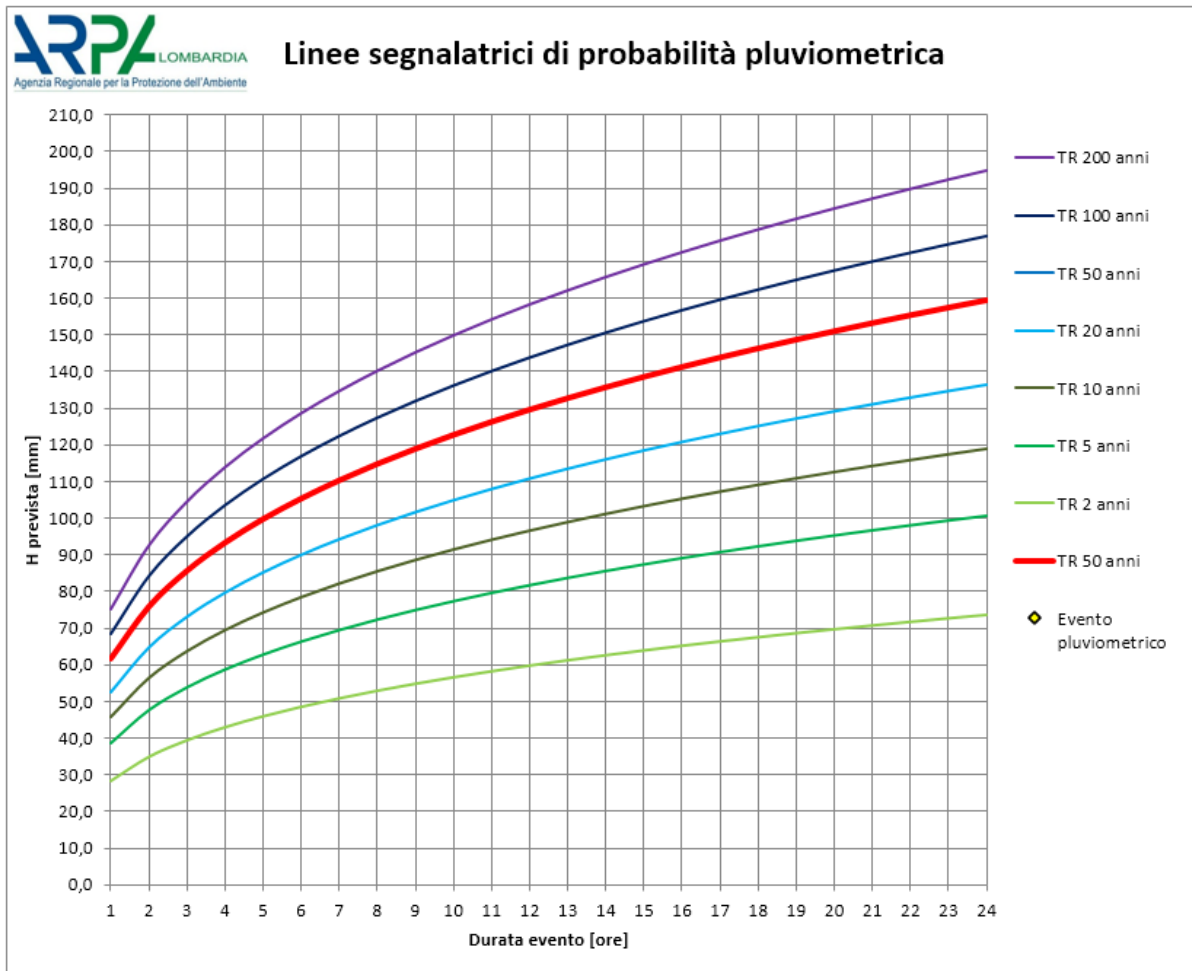
d (min) durata dell'evento di pioggia

$h_{d,T}$ (mm) altezza di pioggia associata all'evento di durata d

$h_{60,T}$ (mm) altezza di pioggia associata alla pioggia di durata 1h e tempo di ritorno T

da cui **$H(t)_{50} T15' = 34,62$ mm e $H(t)_{50} T30' = 46,99$ mm.**

Si riportano infine le relative linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per i vari tempi di ritorno, dove è stata evidenziata in rosso la linea segnalatrice per il tempo di ritorno di 50 anni.



10. LSPP ARPA Lombardia

12 QUANTIFICAZIONE DELLE ACQUE DI PIOGGIA DA CONFERIRE NEL SISTEMA DI INFILTRAZIONE ("VALUTAZIONE DEI VOLUMI DI INVASO")

Per la quantificazione dei volumi da smaltire, è stata considerata una superficie di raccolta delle acque di pioggia pari alle **superfici di progetto impermeabili**, come sopra descritte e come comunicato – sotto la propria responsabilità – dal progettista, da conferire al sistema di laminazione e/o infiltrazione:

nuove superfici stradali "impermeabili"	4.850 mq
nuove superfici "semipermeabili"	1.095 mq

12.1 Metodo del requisito minimo

La normativa di riferimento (r.r. 7/2017, r.r. 8/2019, art. 12, comma 2) propone preliminarmente l'applicazione del metodo "dei requisiti minimi", dal quale dedurre in prima istanza il relativo volume di laminazione, con la seguente precisazione (v. art. 12, comma 1 e 2):

"(...), il requisito minimo da soddisfare consiste nella realizzazione di uno o più invasi di laminazione, comunque configurati, dimensionati adottando i seguenti valori parametrici del volume minimo dell'invaso, o del complesso degli invasi, di laminazione:

- a) per le aree A ad alta criticità idraulica di cui all'articolo 7: 800 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento;*
- b) per le aree B a media criticità idraulica di cui all'articolo 7: 500 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento;*
- c) per le aree C a bassa criticità idraulica di cui all'articolo 7: 400 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento." (comma 2).*

Nel caso in esame, applicando il criterio dei requisiti minimi per la determinazione del volume minimo d'invaso attraverso la formula

$$W_0 = W_{ssl} * \frac{Atot(mq)}{10000} (mc)$$

si ha:

$$W_{0min} = 336,82 \text{ mc}$$

12.2 Metodo delle sole piogge

Per la determinazione dei volumi di invaso da disperdere nel sottosuolo si è fatto inoltre riferimento, come previsto dallo stesso r.r. 7/2017 s.m.i., al cosiddetto “metodo delle sole piogge”.

La determinazione della portata di progetto di origine meteorica viene calcolata sulla base delle indicazioni di superfici indicati nelle tavole di progetto e valutata tramite l’ausilio delle linee di possibilità pluviometrica i cui parametri locali, come più sopra descritto, vengono forniti da Arpa Lombardia.

12.2.1 Determinazione del tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione si definisce come il tempo necessario alla particella d’acqua di percorrere l’intero bacino fino alla sezione di chiusura dove viene eseguito il calcolo della portata seguendo il percorso idraulicamente più lungo.

Nei sistemi di drenaggio urbano il tempo di corrivazione T_c viene generalmente definito come la somma di due contributi: il tempo di ingresso in rete T_i e il tempo di percorrenza della rete T_r :

$$T_c = T_i + T_r$$

Il tempo di ingresso in rete è il tempo che la particella d’acqua piovuta in un generico punto impiega per entrare nel sistema di drenaggio mentre il tempo di rete indica l’intervallo di tempo che la particella ormai entrata in rete impiega per raggiungere la sezione di chiusura, sulla base della velocità che la particella si suppone avere all’interno dell’impluvio.

Per il progetto in questione, viste le superfici, si ipotizza un tempo di ingresso in rete pari a 2 minuti. Per quando riguarda invece il tempo di rete, si suppone che la velocità con cui la particella d'acqua si muova all'interno delle condotte sia attorno agli 0,5 m/s. Ipotizzando che la lunghezza massima, e dunque più sfavorevole, della condotta di conferimento nel sistema di raccolta e laminazione sia di circa 50 m, risulta pari a 100s.

Il tempo di corrivazione risulta così pari a $120s + 100s = 220s$, ovvero circa 4 minuti.

12.2.2 Calcolo della portata complessiva di pioggia

La determinazione della portata di pioggia di progetto viene effettuata tramite l'applicazione della formula razionale, utilizzata nella progettazione di collettori fognari o canali, che permette di calcolare la massima portata che una data pioggia determinerà, per un dato bacino idrologico, in una sezione idraulica di controllo:

$$Q = \varphi i A / 360$$

dove:

φ : è il coefficiente di afflusso, usato per tenere conto della natura della superficie considerata;

i (mm/h): è l'intensità media oraria, data dal rapporto di h , altezza d'acqua caduta, su T , durata della pioggia;

A (ha): è la superficie interessata dalla pioggia.

Il metodo razionale nella sua estrema semplicità è universalmente affermato nella stima della massima portata dovuta ad un evento di pioggia.

Utilizzando una durata critica pari a 60 minuti (molto maggiore del tempo di corrivazione e dunque cautelativo), per cui, considerando un'intensità di pioggia

pari a 61,52 mm e per un tempo di ritorno di 50 anni, risulta una **portata di pioggia di progetto** pari a:

$$Q(T_{50}) = 0,072 \text{ m}^3/\text{s} = 72 \text{ l/s}$$

e conseguentemente il **volume della pioggia critica oraria** pari a:

$$Q(T_{50}) = 258,62 \text{ m}^3$$

Tale valore di portata risulta essere il contributo globale dovuto ad una precipitazione di breve durata ed elevata intensità che si abbatte sulle superfici impermeabilizzate dell'edificio in esame.

Nel caso in esame, applicando il **metodo delle sole piogge** per la **determinazione del volume minimo d'invaso** attraverso la formula

$$W_0 = 10 \cdot S \cdot \varphi \cdot a \cdot D_w^n - 3.6 \cdot Q_{u,\text{lim}} \cdot D_w$$

si ha:

$$W_{050} = 364,48 \text{ mc}$$

In generale, è possibile esprimere la portata specifica per unità di area come coefficiente udometrico U , che si ottiene dividendo la portata (l/s) per la superficie scolante (ha), per cui nel caso in esame, il valore di portata di progetto per ettaro risulta:

$$U_{50} = 148 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$$

$$U_{100} = 164 \text{ l/s} * \text{ha}$$

13 DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI LAMINAZIONE

In conclusione, richiamando l'allegato foglio di calcolo con l'esplicitazione delle formule e delle procedure, applicando il **metodo delle sole piogge** per la determinazione del volume minimo d'invaso si ha:

$$W_0 = 364,48 \text{ mc}$$

Mentre applicando il **criterio dei requisiti minimi** per la determinazione del volume minimo d'invaso si ha:

$$W_{0\min} = 336,82 \text{ mc}$$

Secondo quanto previsto dal regolamento all'art. 12, comma 3, i volumi calcolati con il metodo dei requisiti minimi "sono da adottare anche nel caso di interventi classificati ad impermeabilizzazione potenziale media o alta e ricadenti negli ambiti territoriali ad alta e media criticità, qualora il volume risultante dai calcoli" di cui al metodo delle sole piogge "fosse minore".

Pertanto, nel rispetto delle indicazioni del regolamento regionale, nella predisposizione del progetto di invarianza idraulica per il caso specifico si dovrebbe **in prima istanza** considerare un **volume di laminazione pari a**:

$$W = 364,48 \text{ mc}$$

corrispondente al valore determinato con il "metodo delle sole piogge", più cautelativo rispetto al "metodo dei requisiti minimi".

Il r.r. 7/2017 e s.m.i., all'art. 4, comma 3), prevede, tra l'altro, che "lo smaltimento dei volumi invasati" possa avvenire "mediante infiltrazione nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo, compatibilmente con le caratteristiche pedologiche del suolo e idrogeologiche del sottosuolo che, in funzione dell'importanza dell'intervento, possono essere verificate con indagini geologiche ed idrogeologiche sito specifiche, con le normative ambientali e sanitarie e con le pertinenti indicazioni contenute nella componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio (PGT) comunale"; in questo caso, verificate le condizioni sopra elencate, il "volume" calcolato con il metodo dei requisiti minimi, secondo quanto previsto all'art. 11, comma 2, lett. 3, punto 3, **può essere "ridotto del 30%, purché i calcoli di dimensionamento delle strutture di infiltrazione siano basati su prove di permeabilità"** e "non siano previsti scarichi verso ricettori.

Ricordando che la norma vigente richiede che il sistema di laminazione debba essere svuotato entro il **limite di 48 h** in modo da ripristinarne la capacità di invaso il prima possibile, dal foglio di calcolo allegato, considerata la bassa permeabilità del sottosuolo, dove $t_{inf} = 48h$, appare plausibile **l'applicabilità della soluzione mediante la sola infiltrazione nel terreno**, adottando idonei sistemi di infiltrazione, pertanto in questo caso le portate da destinare ad infiltrazione nel sottosuolo corrispondono a:

$$W_{50} = 364,48 \text{ mc} - 30\% = 255,13 \text{ mc}$$

$$W_{100} = 423,01 \text{ mc} - 30\% = 296,11 \text{ mc}$$

14 OPERE PER LA REALIZZAZIONE DEL SISTEMA DI LAMINAZIONE

Il concetto di invarianza idraulica presuppone la realizzazione, nelle aree che subiranno una perdita di permeabilità in seguito alle trasformazioni in progetto,

di interventi il cui scopo è quello di mantenere invariata la portata superficiale defluente verso l'esterno.

Il regolamento regionale, all'art. 5, suggerisce che "lo smaltimento dei volumi invasati deve avvenire secondo il seguente ordine decrescente di priorità: a) mediante il riuso dei volumi stoccati, in funzione dei vincoli di qualità e delle effettive possibilità, quali innaffiamento di giardini, acque grigie e lavaggio di pavimentazioni e auto; b) mediante infiltrazione nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo, compatibilmente con le caratteristiche pedologiche del suolo e idrogeologiche del sottosuolo *che, in funzione dell'importanza dell'intervento, possono essere verificate con indagini geologiche ed idrogeologiche sito specifiche*, con le normative ambientali e sanitarie e con le pertinenti indicazioni contenute nella componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio (PGT) comunale; c) scarico in corpo idrico superficiale naturale o artificiale, con i limiti di portata di cui all'articolo 8; d) scarico in fognatura, con i limiti di portata di cui all'articolo 8"¹.

Questo risultato si può ottenere agevolando l'infiltrazione nel terreno dei volumi idrici in eccesso, rispetto alle condizioni pre-trasformazione, o laminando le portate. In quest'ultimo caso si opera praticamente realizzando vasche di accumulo temporaneo, la cui funzione è quella di trattenere l'acqua che defluisce in superficie durante gli eventi meteorici, per rilasciarla quindi gradualmente con una portata prestabilita, non superiore a quella caratteristica dell'area prima della trasformazione.

Le tipologie d'intervento per ottenere l'invarianza idraulica sono principalmente quattro:

- vasche di laminazione impermeabili;

¹ per le aree A "ad alta criticità idraulica": 10 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento; per le aree B "a media criticità idraulica": 20 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento; per le aree C "a bassa criticità idraulica": 20 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento

- aree verdi ribassate;
- trincee drenanti;
- pozzi filtranti.

Nel caso in oggetto, sulla base degli esiti delle indagini e richiamando le considerazioni e le conclusioni precedentemente descritte, in funzione degli obiettivi e dei confronti con il progettista, si è deciso di condividere – verificandone il dimensionamento sulla base del volume di laminazione calcolato - la soluzione consistente nel modellamento o -qualora la condizioni topografiche e morfologiche lo consentano – il semplice utilizzo nelle condizioni tal quali delle aree verdi ribassate rispetto alle nuove superfici di circolazione veicolare, ciclabile e pedonale, al netto delle prescrizioni legate al trattamento delle acque di prima pioggia, non oggetto della presente trattazione.

La soluzione di utilizzare le aree verdi ribassate, esistenti o di nuova realizzazione, come desumibile dal foglio di calcolo allegato, consente anche un sufficiente e cautelativo tempo di svuotamento degli stessi, considerando il sottosuolo caratterizzato dal medesimo grado di permeabilità, in considerazione delle condizioni geologiche e idrogeologiche che non dovrebbero variare significativamente nell'ambito tutto sommato ristretto.

Una soluzione alternativa, anch'essa valida e anch'essa descritte, in termini di volumi e superfici, nell'allegato foglio di calcolo, è quella relativa alla realizzazione di trincee disperdenti, tuttavia più impegnativa in termini di opere e di economie.

Si esclude in prima istanza, per l'elevato numero dei singoli punti di immissione, il ricorso ai pozzi disperdenti.

14.1 Sistema di laminazione e di dispersione: considerazioni generali

Sulla base delle verifiche e della quantificazione del volume di laminazione sopra descritte, viene proposta la realizzazione di un sistema di laminazione/dispersione composto da una serie **aree verdi ribassate** (i c.d. **“bacini di infiltrazione e bioritenzione” e/o “aree di detenzione – parchi inondabili”**): si tratta di aree verdi di diversa dimensione, superficie e forma, in cui le pareti e il fondo non sono impermeabilizzati; l’acqua superficiale, durante l’evento meteorico, viene convogliata nelle aree depresse, dalle quali s’infiltra nel terreno.

Il dimensionamento delle aree verdi d’infiltrazione viene eseguito nella pratica attraverso la stima del volume minimo, tenendo in considerazione oltre alla portata in entrata anche quella in uscita per infiltrazione; consiste nella determinazione del volume minimo che esse devono possedere per essere in grado di smaltire il più rapidamente possibile le acque meteoriche (entro le 48h dall’evento meteorico critico) e consentire dunque l’infiltrazione in profondità delle acque defluenti in superficie e permettere l’invaso dell’afflusso in eccesso fino all’esaurimento dell’evento piovoso.

Nel caso in esame, si propone in prima istanza, sulla base delle indicazioni progettuali fornite dallo studio Ing. Percudani, l’utilizzo ai fini della dispersione delle acque meteoriche, al netto della prima pioggia soggetta a specifica normativa, delle aree verdi già presenti in loco, eventualmente – qualora necessario – da riadattare e modellare.

Il foglio elettronico allegato alla relazione presenta, nella sezione dedicata, il sommario dimensionamento delle aree verdi che potrebbero essere interessate dal progetto di invarianza, a loro volta rappresentate, con la relativa



11. Ubicazione e superfici sommarie delle aree verdi d'infiltrazione

Le profondità e le superfici del sistema di dispersione dovranno comunque essere verificate previa valutazione delle reali condizioni topografiche, morfologiche e delle litologie degli strati entro cui viene prevista la dispersione delle acque meteoriche.

Da quanto descritto, dunque, il sistema di raccolta delle acque conferirà prioritariamente le acque raccolte dalle superfici trasformate, tramite idonei sistemi di raccolta e distribuzione come definiti dallo studio di progettazione Ing. Percudani, in aree verdi destinate all'infiltrazione ciascuna con **volume minimo comunque tale da assicurare – considerando le reti di adduzione e collegamento - un volume complessivo calcolato come da tabella e foglio elettronico allegato**, ubicate comunque dove stabilito dal progettista architettonico e dalla direzione lavori, in funzione delle caratteristiche delle coperture, della rete dei pozzetti di raccolta delle acque e dei terreni verificati nel corso dei lavori.

14.1.1 Caratteristiche delle "aree verdi di infiltrazione" ²

I **bacini di infiltrazione** sono aree modellate in modo tale da creare dei piccoli invasi profondi tra 0,3 e 0,6 m adeguatamente modellati con pendenze inferiori a 30° e salti di quota minori di 45 cm che hanno la funzione di accumulare momentaneamente e smaltire tramite infiltrazione i deflussi prodotti da una superficie impermeabile. La topografia ottimale per questo tipo di opera è quella pianeggiante. La presenza di pendii o lievi pendenze fanno sì che vi siano richiesti maggiori oneri finanziari per effettuare opportuni livellamenti e

² La descrizione delle tipologie di opere e sistemi di infiltrazione e le modalità costruttive sono tratte da "Linee guida per la progettazione dei sistemi urbani di drenaggio sostenibile nel territorio comunale". Comune di Milano - Direzione Transizione Ambientale - Area Risorse Idriche e Igiene Ambientale: ad esse si rimanda per qualsiasi ulteriore approfondimento.

adattamenti del terreno. Questi piccoli bacini possono anche prevedere una permanenza di acqua al loro interno nel lungo periodo purché venga gestito il problema della proliferazione di insetti e zanzare. Nel caso tali opere prevedano l'infiltrazione delle acque meteoriche derivanti dalle superfici stradali, parcheggi o spazi pubblici in generale, dovrà essere predisposto a monte un sistema di trattamento e/o un sistema di intercettazione e separazione delle acque di prima pioggia al fine di garantire la qualità delle acque infiltrate. Il modellamento del terreno ed il rispetto delle pendenze sono di fondamentale importanza per una buona riuscita dell'opera.

Le **"aree di detenzione"** o **"parchi inondabili"** sono aree che, in caso di piogge intense, hanno la funzione di invasare temporaneamente le acque meteoriche e rilasciarle successivamente all'evento pluviometrico in modo da alleggerire la rete di drenaggio urbano. Possono essere localizzate all'interno dei grandi parchi urbani in zone morfologicamente depresse oppure in contesti urbanizzati come piazze o campi sportivi, svolgendo una funzione di invaso temporaneo. I parchi pubblici e le aree verdi "residue" possono essere progettati come spazi multifunzionali, in relazione alle dimensioni, tipologie e localizzazione possono avere delle zone con funzione di laminazione delle acque piovane, fruibili solo parzialmente in caso di eventi estremi, accessibile durante i periodi più siccitosi. È così possibile contribuire a risolvere le criticità di drenaggio di aree anche molto estese con l'obiettivo di: favorire l'infiltrazione in falda; ridurre i picchi di piena nei corpi ricettori; incrementare la biodiversità. Un parco con zone inondabili può essere realizzato in aree verdi esistenti in occasione di interventi di ristrutturazione, in relazione alla presenza di vegetazione arborea, caratteristiche ambientali del terreno, impianti in sottosuolo, etc.. L'intervento potrà consistere nella modellazione del terreno e l'inserimento di un sistema di collettamento, superficiale o con condotte interrato, delle acque di run-off all'interno dell'area allagabile. Le acque provenienti da piazze e/o percorsi ciclo-

pedonali possono essere gestite all'interno di grandi parchi con zone allagabili, previa verifica della mancanza di pericolo di contaminazione o inquinamento del sito. In generale, in funzione del grado di inquinamento, può essere necessario un sistema di separazione/trattamento delle acque di prima pioggia.

DISPOSITIVO		Cisterne	Pozzi d'infiltrazione	Trincee filtranti	Sistemi geocellulari	Bacini di infiltrazione	Superfici permeabili	Verde Pensile estensivo	Verde Pensile intensivo	Vasche di detenzione Big pipe
Controllo dei deflussi	Infiltrazione		•	•	•	•	•			
	Laminazione/Detenzione	•			•	•		•	•	•
	Riutilizzo	•								
Capacità depurativa	Riduzione dei corpi sospesi	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Riduzione nutrienti			•		•	•	•	•	
	Riduzione metalli pesanti			•		•	•	•	•	
Servizi ecosistemici	Valore estetico	•				•	•	•	•	
	Valore ecologico					•		•	•	
	Riduzione isole di calore					•	•	•	•	
Costi	Costi di realizzazione	€	€€	€€	€€€	€	€€	€€	€€€	€€€
	Frequenza di manutenzione (S/F) Costi di manutenzione	S/€	S/€	F/€€	S/€	S/€	S/€€	S/€	F/€€€	S/€

12. Caratteristiche delle diverse tipologie di Sistemi Urbani di Drenaggio Sostenibile (da Comune di Milano, "Linee guida per la progettazione dei sistemi urbani di drenaggio sostenibile nel territorio comunale")

15 CALCOLO DEL TEMPO DI SVUOTAMENTO DELL'INVASO

Una volta accumulata l'acqua all'interno dell'invaso o delle opere di laminazione, si dovrà assicurare che entro 48 ore dalla fine dell'evento le stesse dovranno essere vuote e pronte per raccogliere nuovamente le portate pluviali (v. r.r. 7/2017 s.m.i., art. 11, comma 2, lettera f), punti 2 e 3).

Nel caso in esame, il tempo di svuotamento del sistema di laminazione e dispersione è stato calcolato inferiore al limite delle 48h concesso dal regolamento.

Qualora infatti si ritenesse di realizzare un sistema di raccolta e di laminazione che consenta anche l'infiltrazione delle acque nel sottosuolo, il calcolo del tempo di svuotamento dell'invaso è descritto nell'all. G del regolamento regionale, che fa esplicito riferimento ai cosiddetti "modelli di Horton", nei quali l'infiltrazione $f(t)$ è definita come la portata per unità di superficie che all'istante t si infiltra nel sottosuolo ed è misurata in mm/h in analogia all'intensità di pioggia.

Nel caso specifico, come precedentemente descritto, avendo come indicazione i dati ricavati dalla prova di permeabilità in sito, caldamente raccomandata dal regolamento regionale, considerando che all'assetto litologico di riferimento viene attribuito un grado di permeabilità medio, almeno nei primi metri nel sottosuolo, si possono ragionevolmente attribuire i terreni in sito alla tipologia A) "con scarsa potenzialità di deflusso".

A partire dal grado di permeabilità stimato, il valore dell'infiltrazione $f(t)$ in corrispondenza dei terreni di copertura è stato dunque considerato mediamente $> 25,4$ mm/h, con conseguenti tempi di svuotamento (senza connessione a ricettore) del sistema di infiltrazione, **inferiore** al limite delle 48 h.

In ogni caso, il sistema di raccolta e di laminazione/dispersione, realizzato seguendo le indicazioni descritte, le dimensioni e la profondità, valutato e

verificato in corso d'opera, dovrà essere monitorato continuativamente e mantenuto in piena e totale efficienza per poter rispettare il limite di svuotamento indicato.

16 PIANO DI MANUTENZIONE

La manutenzione 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.

Devono essere naturalmente garantiti adeguati accessi per l'ispezione e la pulizia.

A seconda delle tipologie di elementi di drenaggio si presentano ovviamente livelli differenti di complessità nella manutenzione. La prima e più semplice distinzione riguarda sicuramente gli interventi ordinari, da svolgersi periodicamente seguendo un calendario prestabilito, dagli interventi straordinari, necessari al ripristino delle funzioni in caso di malfunzionamento, guasto o successivamente ad eventi meteorici o di altra natura che interessino direttamente o indirettamente le strutture.

In genere, gli interventi di manutenzione per un bacino di infiltrazione possono consistere in controlli e manutenzione regolari. Tali controlli sono a carico di manodopera non specializzata, quindi realizzabili in contemporanea a quelli regolarmente previsti per la manutenzione di spazi pubblici o strade, quindi con un minimo aggravio di costi. La manutenzione ordinaria prevede il taglio dell'erba con frequenza mensile durante la stagione in cui è necessaria, per un totale di circa 5 tagli all'anno, la potatura delle specie arboree, arbustive,

sostituzione delle piante morte e rimozione delle infestanti, rimozione delle foglie. Periodicamente è necessaria la rimozione di rifiuti e detriti, del fango secco, dei sedimenti trasportati dal deflusso e il dissodamento del terreno. Bisognerà inoltre prevedere il contenimento di specie e animali invasivi.

Con la medesima cadenza temporale o comunque dopo ogni significativo evento meteorico, verificare che le tubazioni o comunque le opere di adduzione, non siano intasati da materiale grossolano ed eventualmente, se è il caso, rimuoverlo sollecitamente; controllare inoltre la tenuta di tubazioni, raccordi e guarnizioni, su tutta la rete di raccolta.

Rispetto a quanto descritto, risulta evidente che a seconda del livello e complessità degli interventi di manutenzione gli stessi potranno essere svolti da operai generici (rimozione detriti), da tecnici esperti o comunque formati a svolgere mansioni specifiche. Tutto ciò dovrà essere realizzato seguendo un programma di manutenzione periodico strutturato secondo un piano nel quale siano individuate le diverse attività da svolgere e i relativi soggetti incaricati.

17 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

Su incarico dello Studio Ing. Massimo Percudani è stata redatta la presente relazione, relativa al progetto di raccolta e laminazione delle acque bianche meteoriche nell'ambito di un più generale progetto di realizzazione di una nuova rotatoria tra la SP 342, Via San Clemente, Viale Italia e Via Sant'Anna, in Comune di Ponte S. Pietro (Bg).

Per maggiori dettagli si rimanda ai documenti progettuali predisposti dallo studio tecnico del Dott. Ing. Massimo Percudani di S. Donato Milanese (Mi).

La presente relazione non effettua alcuna considerazione sulla qualità ambientale e/o sulle caratteristiche chimiche dei terreni interessati dal progetto,

né alcuna valutazione o verifica ufficiale e definitiva sulla vincolistica ambientale, paesaggistica e/o idraulica che potrebbe interessare l'area di progetto, specifica competenza del Comune.

Analisi di tipo ambientale sulle matrici suolo e substrato, ai sensi del T.U. 152/2006 e successive modificazioni, nonché i processi di trattamento delle acque di prima pioggia esulano dal presente elaborato.

Dall'esame della documentazione tecnica di riferimento e dai risultati delle prove (determinazione del grado di permeabilità, osservazioni in sito e nel ristretto contesto territoriale), **non è stata riscontrata la presenza di falda acquifera nel primo sottosuolo o comunque potenzialmente interferente con l'impianto di laminazione e dispersione.**

E' naturalmente raccomandabile ed indispensabile che a seguito dei lavori sia costante l'opera di manutenzione e controllo delle aree e dei manufatti, intervenendo prontamente qualora si riscontrassero, in occasione di criticità non facilmente prevedibili, fenomeni anche solo limitati di erosione superficiale, di ruscellamento, di infiltrazione incontrollata delle acque superficiali e di scorrimento sottosuperficiale, provvedendo alla manutenzione e alla buona conservazione del sistema di raccolta/laminazione/dispersione, affinché non vi siano intasamenti o occlusioni che possano pregiudicare il corretto funzionamento del sistema.

Grassobbio (Bg), 19 giugno 2023

Dr. Geol. Andrea Gritti

Iscrizione Ordine dei Geologi della Lombardia n. 1461



Dr. Geol. Fabio Plebani

Iscrizione Ordine dei Geologi della Lombardia n. 884



DATI PROGETTO

NUOVA ROTATORIA
SP 342 - VIA S. CLEMENTE - VIA ITALIA

COMUNE
LIVELLO DI CRITICITA' DEL COMUNE

PONTE SAN PIETRO
A

SUPERFICIE SCOLANTE IMPERMEABILE

4850,00 mq

0,485 ha

SUPERFICIE TOTALE LOTTO

7350,00 mq

PARAMETRI LSPP (da sito ARPA LOMBARDIA)

<https://idro.arpalombardia.it>

a_1	30,39
n	0,2998
α	0,2991
k	-0,0149
ϵ	0,8226

CALCOLO COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Tipi di superficie	Coefficiente di deflusso φ
<i>Elementi analitici</i>	
tetti metallici	0,95
tetti a tegole	0,90
tetti piani con rivestimento in calcestruzzo	0,7÷0,8
tetti piani ricoperti di terra	0,3÷0,4
pavimentazioni asfaltate	0,85÷0,90
pavimentazioni in pietra	0,80÷0,85
massicciata in strade ordinarie	0,40÷0,80
strade in terra	0,4÷0,6
zone con ghiaia non compressa	0,15÷0,25
giardini	0÷0,25
boschi	0,1÷0,3
<i>Elementi globali</i>	
parti centrali di città completamente edificate	0,70÷0,90
quartieri con pochi spazi liberi	0,50÷0,70
quartieri con fabbricati radi	0,25÷0,50
tratti scoperti	0,10÷0,30
giardini e cimiteri	0,05÷0,25
terreni coltivati	0,2÷0,6

r.r. 8/2019 art. 11 comma 2 lettera d)

tetti, pavimentazioni continue di strade,
vialetti, parcheggi 1

tetti verdi, giardini pensili e aree verdi
sovrapposti a solette comunque costituite,
aree destinate all'infiltrazione delle acque,
pavimentazioni discontinue drenanti o
sempermeabili di strade, vialetti,
parcheggi 0,7

sotto-aree permeabili di qualsiasi tipo,
comprese le aree verdi munite di sistemi
di raccolta e collettamento delle acque e
escludendo dal computo le superfici
incolte e quelle di uso agricolo 0,3

	C	Area (mq)	C*A
superfici totalmente impermeabili: coperture, marciapiedi, parcheggi, vialetti, ...	1	3755,00	3755,00
superfici semipermeabili: pavimentazione drenante tipo ecodrain	0,41	1095,00	448,95
superfici permeabili drenanti raccolte: aree verdi	0,3	0,0	0,00
aree verdi non collettate, piscine ...	0	2500,00	0,00

mq 4850,00 4203,95

	ha	0,485
coefficiente deflusso medio ponderale	C (φ)	0,57
coeff. defl. medio ponderale sup. imperme. progetto	C (φ)	0,87

CLASSE DI INTERVENTO

Impermeabilizzazione potenziale media

**METODO DELLE SOLE PIOGGE****DETERMINAZIONE QUANTILE REGOLARIZZATO Wt**

Tempo di ritorno T (20-50-100-200)	20	1,052631579 0,051293294 1,04524981 -20,0738255	50	1,020408163 0,020202707 1,059862186 -20,0738255
	100	1,01010101 0,010050336 1,070945843 -20,0738255	200	1,005025126 0,005012542 1,082104332 -20,0738255

Wt (20)	1,73094
Wt (50)	2,02426
Wt (100)	2,24675
Wt (200)	2,47075

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\langle 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\rangle$$

DETERMINAZIONE PARAMETRO "a" DELLA LSPP

a (T20)	52,60 mm/h ⁻ⁿ
a (T50)	61,52 mm/h⁻ⁿ
a (T100)	68,28 mm/h⁻ⁿ
a (T200)	75,09 mm/h ⁻ⁿ

DETERMINAZIONE PRECIPITAZIONE ORARIA (>1h)

H(t)_20	52,60 mm
H(t)_50	61,52 mm
H(t)_100	68,28 mm
H(t)_200	75,09 mm

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

DETERMINAZIONE PRECIPITAZIONE 15'

15

H(t) 50	34,62 mm
H(t) 100	38,42 mm

$$h_{d,T} = h_{60,T} (0,54 \cdot d^{0,25} - 0,5)$$

DETERMINAZIONE PRECIPITAZIONE 30'

30

H(t) 50	46,99 mm
H(t) 100	52,15 mm

$$h_{d,T} = h_{60,T} (0,54 \cdot d^{0,25} - 0,5)$$

DETERMINAZIONE DEL VOLUME DELLA PIOGGIA CRITICA (φ sup. imp.) ORARIA

Q50 258,62 mc
Q100 287,04 mc

$$Q = \phi \cdot H(t) \cdot A_{\text{tot}} (\text{mq}) \quad (\text{mc})$$

DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI PIOGGIA DI PROGETTO (ϕ sup. imp.) ORARIA

Q50 0,072 mc/sec
 72 l/sec
Q100 0,080 mc/sec
 80 l/sec

$$Q = \frac{\phi \cdot H(t) \cdot A_{\text{tot}} (\text{ha})}{360} \quad (\text{mc/s})$$

DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE UDOMETRICO

U50 148 l/s * ha
U100 164 l/s * ha

CALCOLO PORTATA LIMITE ALLO SCARICO

Q_{u.lim} 10lit/sec

4,20 l/s

portata limite allo scarico da r.r. 8/2019

u_{lim}

C

20 l/s/ha

B

20 l/s/ha

(inserire nella formula il valore corrispondente all'area: A - B - C)

A

10 l/s/ha

CALCOLO DELLA DURATA CRITICA PER L'INVASO DI LAMINAZIONE

D_w50 10,32 ore

D_w100 11,98 ore

$$D_w = \left(\frac{Q_{u,\text{lim}}}{2.78 \cdot S \cdot \phi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

CALCOLO VOLUME DI LAMINAZIONE

W_O 50 364,48 mc

W_O 100 423,01 mc

$$W_0 = 10 \cdot S \cdot \phi \cdot a \cdot D_w^n - 3.6 \cdot Q_{u,\text{lim}} \cdot D_w$$

CALCOLO VOLUME SPECIFICO DI INVASO

w_O 50 867 mc/ha_{imp}

w_O 100 1006 mc/ha_{imp}

$$w_0 = \frac{W_0}{A_{\text{trasf}} (\text{ha}) \cdot \phi} \quad (\text{mc/ha})$$

CALCOLO VOLUME METODO DEL REQUISITO MINIMO

W_O_MIN 336,32 mc

$$W_0 = W_{\text{SSL}} \cdot \frac{A_{\text{tot}} (\text{mq})}{10000} \quad (\text{mc})$$

livello di criticità: requisito minimo

W_{ssl}

C

400 mc/ha

B

500 mc/ha

(inserire nella formula il valore corrispondente all'area: A - A' - B - C)

A

800 mc/ha

(Comuni con P=0,80)

A'

640 mc/ha

si prenda il volume maggiore tra W₀ e W₀_MIN

W_{50}	364,48	mc
----------	--------	----

W_{100}	423,01	mc
-----------	--------	----

TEMPO DI SVUOTAMENTO CON connessione a ricettore
(solo vasca o sistema di laminazione senza infiltrazione)

< 48h: verificato; > 48h non verificato

$$t = \frac{W_m (W_0) \cdot 1000}{Q_{u,lim} \cdot 3600} \quad (h)$$

$t_{10lit/sec}$ 24,08 h

W_{50}

VERIFICATO

$t_{10lit/sec}$ 27,95 h

W_{100}

VERIFICATO

DIMENSIONAMENTO DEL TUBO DI CONTROLLO DEL FLUSSO

(scarico "a gravità" del sistema di accumulo e di laminazione)

h 1 m

tirante utile (oppure, nel caso di vasca di laminazione dotata di pompa di sollevamento, tirante utile nel pozzetto con scarico di fondo tarato)

A sez tubo 0,00158182 mq

$$\frac{Q}{0,6 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot h}}$$

Diametro = $2 \cdot \sqrt{(A_{sez.tubo}/\pi)}$ =

4,49

cm

N.B. qualora si utilizzasse una pompa per consentire lo svuotamento dei volumi di laminazione, la pompa stessa dovrà essere equipaggiata con una valvola di strozzamento regolata sul valore di

$Q_{u,lim_10lit/sec}$

4,20

l/sec

POTENZIALITA' DI DISPERSIONE DI UN POZZO DISPERDENTE

superficie di raccolta

4203,95

mq

- Classe A Scarca potenzialità di deflusso: comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
- Classe B Potenzialità di deflusso moderatamente bassa: comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
- Classe C Potenzialità di deflusso moderatamente alta: comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D; il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
- Classe D Potenzialità di deflusso molto alta: comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Classe suolo	f_0 [mm/ora]	f_c [mm/ora]	k [ore ⁻¹]
A	250	25.4	2
B	200	12.7	2
C	125	6.3	2
D	76	2.5	2

k_s (m/s) - da studio geologico/documentazione progetto**1,78E-05** m/s

fc - v. tabella o da misura in : mm/ora

64,08 mm/ora**Volume da laminare e disperdere
(Metodo delle sole piogge)****364,48****mc**

Diametro interno pozzo

Di

2 m

Altezza del pozzo

Hi

3 m

Larghezza corona esterna drenante

L

0,5 m

Volume assorbito da un pozzo

1,21

mc

Volume accumulato da un pozzo

12,95

mc

Volume totale per pozzo**14,16****mc****Volume da smaltire (- 30% art. 11 c. 2 lett. e) - r.r. 8/19)****255,13****mc****CALCOLO POZZI PERDENTI****18,0****num****ARROTONDAMENTO NUMERO POZZI PERDENTI****18****num****AREA DELLA SEZIONE DEL POZZO** $\pi d^2/4$ **3,14****mq****SUPERFICIE DRENANTE DEL POZZO** $\pi(0,5d+0,5h)^2 - \pi d^2/4$ **16,49****mq***d = diametro del pozzo; h = altezza della colonna d'acqua nel pozzo**n.b. a favore della sicurezza si toglie l'area della base***TEMPO DI SVUOTAMENTO SENZA connessione a ricettore**

$$t_{inf} = \frac{W_m (W_0) \cdot 1000}{Q_{inf} \cdot 3600} \quad (h)$$

Volume da smaltire per singolo pozzo**14,16**

mc

superficie disperdente (*) simulazione sup. minima

15,66

mq (*)

riduzione progressiva capacità dispersione in %

5 Q_{inf} **0,279 l/s** **t_{inf}** **14 h****0,6 gg****VERIFICATO****RAGGIO INFLUENZA DEL SINGOLO POZZO****3,83 m**

$$R = 3,828 \left(\sqrt{1 + \frac{H}{r_0}} - 1 \right)$$

POTENZIALITA' DI DISPERSIONE DI UNA TRINCEA DRENANTE**Dimensionamento per metro lineare**

Lunghezza

L

130 m

Larghezza b 1,5 m
 Altezza tirante di max riempimento H 2,5 m

Area totale della trincea A tot 3,75 mq

Tubo drenante
 D_{interno} 0,427 m
 D_{esterno} 0,500 m

A_{tubo interna} mq 0,14 A_{tubo esterna} mq 0,20

valore indice efficace dei vuoti 0,4

Determinazione della portata di pioggia T50

Qp15'	0,040 mc/sec 40,42 l/sec	Qp60'	0,072 mc/sec 71,84 l/sec
Qp30'	0,055 mc/sec 54,87 l/sec		

Superficie netta di infiltrazione

Coeff. Permeabilità

Af 852,5 mq K 1,78E-05 m/s

Calcolo della portata infiltrata (capacità di infiltrazione)

Qf 0,01517 mc/sec
15,17 l/s $Qf = K \cdot J \cdot Af$

Volume di laminazione da requisito minimo ridotto del 30%

W₇₀ 255,13 mc

CAPACITA' DI IMMAGAZZINAMENTO DELLA TRINCEA

W_{trincea} 206,16 mc

$$W_{pt} [mc] = [A_t \cdot n + A_c \cdot (1 - n)] \cdot L$$

Verifica della trincea ΔW

ΔT - 15'	900	-183,44 mc	$(Qp - Qf) \cdot \Delta t - W_{pt} = \Delta W < 0$
ΔT - 30'	1800	-134,71 mc	
ΔT - 60'	3600	-2,18 mc	

Zona d'influenza della trincea drenante

R 3,11 m

$$\frac{R}{r_0} = 3,828 \left(\sqrt{1 + \frac{H}{r_0}} - 1 \right)$$

TEMPO DI SVUOTAMENTO SENZA connessione a ricettore

k_s (m/s) - da studio geologico/documentazione progetto 1,78E-05 m/s

fc - v. tabella o da misura in : mm/ora 64,08 mm/ora

Superficie netta di infiltrazione della trincea A_f 852,5 mq

riduzione progressiva capacità A_{fr} 10 % 767,25 mq
0,1

Q_{fr} 0,01366 mc/sec
13,66 l/s

VERIFICATO

t_{inf} 5,19 h

0,2 gg

POTENZIALITA' DI DISPERSIONE DI AREE VERDI RIBASSATE

Volume complessivo da laminare e disperdere V_{50} 364,48 mc
(Metodo delle sole piogge) V_{100} 423,01 mc

Volume complessivo da smaltire (- 30% art. 11 c. 2 lett. e) - r.r. 8/19)

V_{50} 255,13 mc
 V_{100} 296,11 mc

k_s (m/s) - da studio geologico/documentazione progetto 1,78E-05 m/s

f_c - v. tabella o da misura in : mm/ora 64,08 mm/ora

AREA A1 superficie 150 mq
 H_{media} area ribassata 0,5 mq
 V_{50} 75 mc

verifica Q_{fr} 0,00267 mc/sec
2,67 l/s

VERIFICATO

t_{inf} 7,80 h

0,3 gg

AREA A2 superficie 60 mq
 H_{media} area ribassata 0,4 mq
 V_{50} 24 mc

verifica Q_{fr} 0,00107 mc/sec
1,07 l/s

VERIFICATO

t_{inf} 6,24 h

0,3 gg

AREA A3 superficie 40 mq
 H_{media} area ribassata 0,4 mq
 V_{50} 16 mc

verifica Q_{fr} 0,00071 mc/sec
0,71 l/s

VERIFICATO

t_{inf} 6,24 h

0,3 gg

AREA A4 superficie 80 mq
 H_{media} area ribassata 0,4 mq
 V_{50} 32 mc

verifica Q_{fr} **0,00142** mc/sec
1,42 l/s

VERIFICATO

t_{inf}

6,24 h

0,3 gg

AREA A5 superficie 45 mq
 H_{media} area ribassata 0,3 mq
 V_{50} **13,5** mc

verifica Q_{fr} **0,00080** mc/sec
0,80 l/s

VERIFICATO

t_{inf}

4,68 h

0,2 gg

AREA A6 superficie 130 mq
 H_{media} area ribassata 0,5 mq
 V_{50} **65** mc

verifica Q_{fr} **0,00231** mc/sec
2,31 l/s

VERIFICATO

t_{inf}

7,80 h

0,3 gg

AREA A7 superficie 120 mq
 H_{media} area ribassata 0,5 mq
 V_{50} **60** mc

verifica Q_{fr} **0,00214** mc/sec
2,14 l/s

VERIFICATO

t_{inf}

7,80 h

0,3 gg

TOTALE VOLUME DI LAMINAZIONE DA AREE VERDI RIBASSATE in mc

285,5