

REGIONE LOMBARDIA

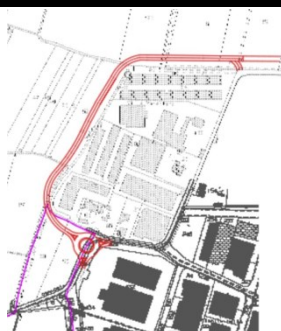
PROVINCIA DI BRESCIA

COMUNE DI MANERBIO



PROGETTO D'INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA

RELAZIONE



Elaborato

VIABILITA' ESTERNA AL COMPARTO AdT4

L.R. 12/2005 – L.R. 04/2016 – R.R. 7/2017 – R.R. 8/2019 – R.R. 3/2025

Committente



Lo. Gi. Man srl

Estensore



A. & P. sas

Informazioni documento

Operazione	Soggetto	Data
Redatto	A & P sas – Dr. Aletti Corrado	08.10.2025
Approvato	A & P sas – Dr. Aletti Corrado	10.10.2025
File	relazione invarianza.docx	
Commessa	2025.05.170	

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Ottobre 2025	1	1 di 28
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

INDICE

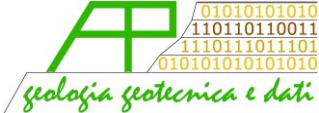
1. Introduzione	3
2. Inquadramento geografico	5
3. Inquadramento idrologico	7
4. Classificazione intervento	11
5. Inquadramento idrogeologico e piezometrico.....	13
5.1. Distanza da pozzi idropotabili	16
5.2. Calcolo del coefficiente di permeabilità	16
5.2.1. Interpretazione della Prova di permeabilità.....	18
6. Calcolo dei deflussi	20
6.1. Calcolo della dispersione	20
6.1.1. Descrizione del canale disperdente.....	20
7. Calcolo degli afflussi - metodo delle sole piogge.....	22
8. Dimensionamento dei bacini di laminazione	24
8.1. Calcolo del tempo di svuotamento	24
9. Verifica bacino	25
10. Dimensionamento impianto di raccolta acque.....	26
11. Manutenzione	27

1. INTRODUZIONE

La nuova Legge regionale sulla difesa del suolo, sulla prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e sulla gestione dei corsi d'acqua (l.r. n. 4 del 15 marzo 2016) ha come scopo principale l'attenuazione del livello di rischio idrogeologico al fine della tutela dei cittadini e delle attività economiche, attraverso iniziative capaci di mettere in sicurezza il territorio. La legge specifica e disciplina le attività di competenza di Regione Lombardia riguardanti la difesa del suolo, la gestione dei corsi d'acqua e del demanio idrico nel territorio regionale. Inoltre, stabilisce gli strumenti utili a realizzare tali attività per raggiungere gli obiettivi legati alla difesa del suolo, alla gestione del demanio idrico fluviale e al riassetto idraulico e idrogeologico. I principali temi che la legge affronta sono:

- gestione coordinata del reticolo idrico minore, di competenza comunale, e dei reticoli principale e consortile
- rispetto dell'invarianza idraulica, dell'invarianza idrogeologica e del drenaggio urbano sostenibile
- attività di polizia idraulica nel demanio idrico fluviale
- manutenzione continuata e diffusa del territorio, dei corsi d'acqua, delle opere di difesa del suolo, delle strutture e dei sistemi agroforestali di difesa del suolo
- ripristino delle condizioni di maggiore naturalità dei corsi d'acqua, recupero delle aree di pertinenza idraulica e riqualificazione fluviale
- riordino delle competenze sulla navigazione interna delle acque
- nuove competenze in tema di difesa del suolo per i Consorzi di bonifica e irrigazione.

Nel caso in studio, il tema d'interesse riguarda l'invarianza idraulica e idrologica che in sintesi consiste nella limitazione dei deflussi delle acque verso il reticolo idrico in caso di realizzazione di nuovi edifici civili e industriali, di parcheggi e strade e di interventi di riqualificazione. Nello specifico l'articolo di riferimento è il n.7 che introduce il concetto ed apporta modifiche al testo della legge regionale n.12/2005 (Legge per il Governo del Territorio). Al comma 5, l'articolo fa riferimento al Regolamento contenete i metodi e i criteri

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Ottobre 2025	1	3 di 28
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

per il rispetto dell'invarianza idraulica ed idrogeologica. Il Regolamento è stato pubblicato sul Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia il 28 novembre 2017 e quindi pienamente operativo dal 28 maggio 2018. Con la delibera della Giunta Regionale n.IX/128 del 21/05/2018 l'applicazione è stata prorogata di ulteriori 6 mesi per tutti gli interventi ad esclusione delle nuove costruzioni/opere. Questa tematica è infatti dibattuta da diversi anni, ed ha preso forza dopo la direttiva del Parlamento europeo del Consiglio 23 ottobre 2000, n. 2000/60/CE in materia di acque e dal decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 che ne rappresenta l'attuazione. La legge regionale 4/2016 disegna un ulteriore passo nella direzione della riduzione del rischio idraulico. Oltre alla legge sopracitata si è fatto riferimento alla legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26 (Disciplina dei servizi locali di interesse economico generale. Norme in materia di gestione dei rifiuti, di energia, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche), alla legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio), al PTUA 2016.

L'emanazione della D.G.R. X/1314 del 25/02/2019 recante "DISPOSIZIONI SULL'APPLICAZIONE DEI PRINCIPI DELL'INVARIANZA IDRAULICA ED IDROLOGICA. MODIFICHE AL REGOLAMENTO REGIONALE 23 NOVEMBRE 2017, N. 7 (REGOLAMENTO RECANTE CRITERI E METODI PER IL RISPETTO DEL PRINCIPIO DELL'INVARIANZA IDRAULICA ED IDROLOGICA AI SENSI DELL'ARTICOLO 58 BIS DELLA LEGGE REGIONALE 11 MARZO 2005, N. 12" ha proposto l'introduzione di importanti modifiche al Regolamento Regionale n.7, in particolare per quanto concerne la classificazione dei comuni e le eventuali riduzioni dei requisiti minimi nei casi di dispersione sul suolo o nel sottosuolo. La D.G.R. di cui sopra è stata recepita dal Regolamento Regionale 8 approvato dal Consiglio Regionale il 19.04.2019. Ulteriori modifiche sono state apportate dal Regolamento Regionale 03/2025.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Ottobre 2025	1	4 di 28
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La nuova viabilità è localizzata nel settore centro orientale del territorio comunale di Manerbio, lungo il margine N di Strada per Porzano, così come rappresentato in Figura 1. La viabilità insisterà sul Foglio 5 dell'NTC del Comune di Manerbio (BS). Per il dettaglio completo sulle specifiche del progetto si rimanda agli elaborati redatti dall'Arch. Enrico Salvalai.

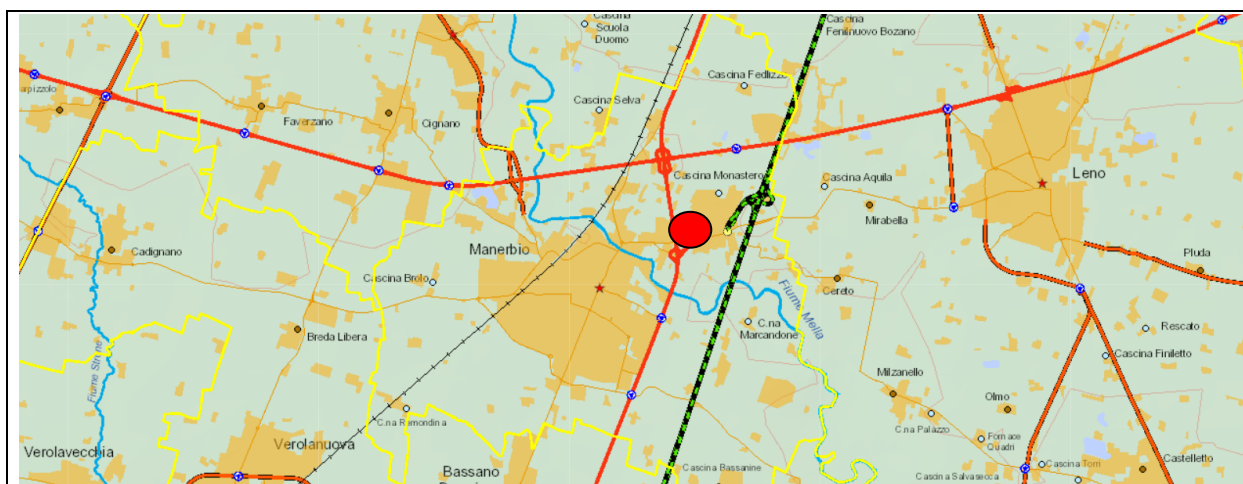


Figura 1 – Ubicazione dell'area in studio

Il progetto prevede la realizzazione di circa 500 m di viabilità e una rotonda di innesto a sud. La superficie impermeabile totale, al netto dei tratti di innesto sulla rotonda già esistenti è stata calcolata pari a 6300 m². In Figura 2 è indicata la distribuzione dell'indice di permeabilità dove il retino rosso indica le superfici impermeabili.

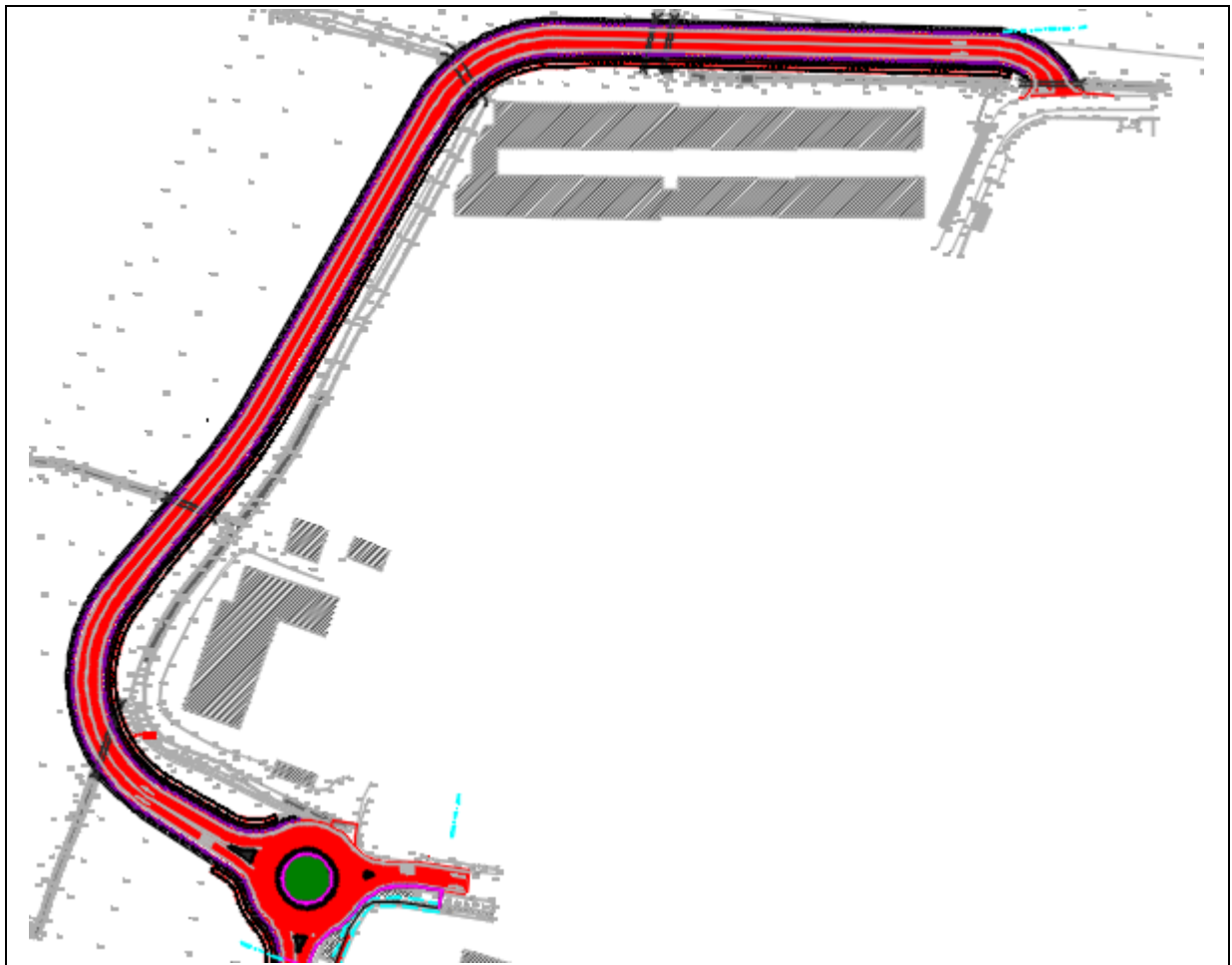


Figura 2 – Indice di permeabilità (rosso=impermeabili)

3. INQUADRAMENTO IDROLOGICO

Per qualsiasi valutazione di tipo idrologico è necessario eseguire una quantificazione degli apporti, ovvero delle precipitazioni ritenute significative. Infatti non tutte le precipitazioni concorrono nel calcolo, in quanto eventi prolungati e di modesta entità, come la maggior parte dei casi, non sviluppano quantitativi significativi da smaltire. Sono infatti le cosiddette "precipitazioni intense" che forniscono la principale sollecitazione idrometeorologica sul territorio; la loro previsione è un requisito essenziale per valutare il rischio idrologico dal punto di vista strettamente alluvionale. Per eseguire queste elaborazioni sono indispensabili serie storiche di osservazioni che attualmente sono condotte da diversi enti sul territorio. I dati raccolti devono poi essere elaborati statisticamente e probabilisticamente per potere individuare la distribuzione spaziale e temporale dei valori delle precipitazioni, e i probabili valori futuri di notevole intensità. I più importanti dati, normalmente raccolti nelle reti pluviometriche dei vari servizi idrologici nazionali, riguardano le precipitazioni giornaliere misurate ogni 24 ore e le registrazioni continue. Da queste registrazioni continue vengono ricavate le precipitazioni di notevole intensità di varia durata. Elaborando probabilisticamente i valori delle precipitazioni di notevole intensità si ricavano le relazioni che permettono di formulare previsioni sui valori particolarmente intensi, in funzione della durata e per un prefissato tempo di ritorno T_r . Va specificato che il tempo di ritorno T_r è l'intervallo massimo di tempo, in anni, che può trascorrere probabilisticamente affinché il valore di una precipitazione o di un'altra grandezza idrologica possa essere uguagliato o superato. Il tempo di ritorno è pertanto un indicatore di rischio e il suo valore è prefissato dal progettista. Le informazioni sulla pluviometria dell'area di interesse, sono riassunte nei parametri "a" ed "n" della curva segnalatrice di possibilità climatica, che relaziona le altezze di pioggia con le durate di pioggia per un dato tempo di ritorno, attraverso la nota formula:

$$h = a t^n$$

dove:

h è l'altezza di pioggia espressa in mm;

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Ottobre 2025	1	7 di 28
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

t é la durata dell'evento in ore;

a (mm/ora) ed n sono i parametri caratteristici della curva.

Per curva di possibilità climatica si intende quella curva che rappresenta l'insieme dei punti con la stessa probabilità di non essere superati. Per la determinazione della *curva segnalatrice di probabilità pluviometrica* relativa all'area d'interesse, si é eseguita un'elaborazione statistica dei dati pluviometrici della stazione più rappresentativa, attraverso i dati del servizio meteorologico di Arpa. Attraverso l'applicativo dell'Agenzia di protezione dell'Ambiente è possibile definire i diversi parametri idrologici necessari all'elaborazione per tutto il territorio lombardo. Per i dettagli teorici e statistici utilizzati nell'applicativo si rimanda alle note informative del sito idro.arpalombardia.it. L'analisi dei dati è stata effettuata mediante la *prima legge asintotica del massimo valore di Gumbel* con la quale, data una serie di valori sufficientemente grande della variabile idrologica considerata (x), si determina la probabilità di non superamento legata al tempo di ritorno:

$$P(x) = e^{-e^{-y}}$$

dove:

$P(x)$: probabilità di non superamento della variabile idrologica x ;

$y = \alpha(x - N)$: variabile ridotta associata alla variabile idrologica x ;

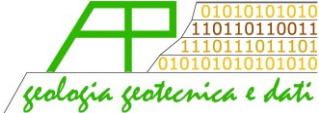
$\alpha = 1.283 / \sigma$: parametro della distribuzione stimato con il metodo dei momenti;

$N = x - 0.450\sigma$: parametro della distribuzione stimato con il metodo dei momenti;

$x = \sum_i x_i / n$: media delle osservazioni x_i , in numero pari a n ;

$\sigma = ((\sum_i x_i^2 / n - 1) - (\sum_i x_i / n(n - 1)))^{1/2}$: scarto quadratico medio del campo osservato.

Mediante la relazione $P_{(x)} = (Tr - 1)/Tr$ si lega il tempo di ritorno con la probabilità di non superamento. Tale legge é stata applicata per le piogge della durata di 10, 15, 20, 30, minuti e 1, 3, 6, 12 e 24 ore, ottenendo le rispettive altezze di pioggia massima con tempi di ritorno pari a 2, 5, 10, 20, 50, 100 e 200 anni, per la stazione pluviografica considerata. Nel campo bilogaritmico la curva segnalatrice di possibilità climatica ha una forma lineare, con coefficiente angolare pari ad "n" ed ordinata corrispondente ad un tempo unitario pari ad "a".

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Ottobre 2025	1	8 di 28
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

E' quindi possibile procedere al calcolo di tali curve, per i diversi tempi di ritorno, stimando i parametri "a" ed "n" tramite regressione lineare con il metodo dei minimi quadrati. I risultati delle interpolazioni e le curve segnalatrici di possibilità climatica per la stazione considerata e per i diversi tempi di ritorno sono di seguito riportati (Figura 3).



Parametri ricavati da: <http://idro.arpalombardia.it>

A1 - Coefficiente pluviometrico orario 27,65
N - Coefficiente di scala 0,2683
GEV - parametro alpha 0,275
GEV - parametro kappa -0,0489
GEV - parametro epsilon 0,827

Formulazione analitica

Calcolo della linea segnalatrice 1-24 ore

Località: *Manerbio (BS)*
Coordinate:

Linea segnalatrice

Tempo di ritorno (anni) 50

Evento pluviometrico

Durata dell'evento [ore]

Precipitazione cumulata [mm]

Bibliografia ARPA Lombardia:
<http://idro.arpalombardia.it/manual/lsp.pdf>
http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA_report.pdf

Tabella delle precipitazioni previste al variare delle durate e dei tempi di ritorno

Tr	2	5	10	20	50	100	200	50
wT	0,92870	1,25499	1,48119	1,70610	2,00924	2,24562	2,48931	2,00923678
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 50 anni
1	25,7	34,7	41,0	47,2	55,6	62,1	68,8	55,553968
2	30,9	41,8	49,3	56,8	66,9	74,8	82,9	66,9102422
3	34,5	46,6	55,0	63,3	74,6	83,4	92,4	74,5998384
4	37,2	50,3	59,4	68,4	80,6	90,1	99,8	80,5858795
5	39,5	53,4	63,1	72,6	85,6	95,6	106,0	85,5578586
6	41,5	56,1	66,2	76,3	89,8	100,4	111,3	89,8471353
7	43,3	58,5	69,0	79,5	93,6	104,7	116,0	93,6410033
8	44,9	60,6	71,5	82,4	97,1	108,5	120,2	97,0566501
9	46,3	62,6	73,8	85,1	100,2	112,0	124,1	100,172732
10	47,6	64,4	76,0	87,5	103,0	115,2	127,7	103,044841
11	48,9	66,0	77,9	89,8	105,7	118,2	131,0	105,713855
12	50,0	67,6	79,8	91,9	108,2	120,9	134,1	108,210794
13	51,1	69,1	81,5	93,9	110,6	123,6	137,0	110,559803
14	52,1	70,4	83,1	95,8	112,8	126,0	139,7	112,780082
15	53,1	71,8	84,7	97,6	114,9	128,4	142,3	114,887172
16	54,0	73,0	86,2	99,3	116,9	130,6	144,8	116,893845
17	54,9	74,2	87,6	100,9	118,8	132,8	147,2	118,81074
18	55,8	75,4	88,9	102,4	120,6	134,8	149,5	120,646817
19	56,6	76,5	90,2	103,9	122,4	136,8	151,7	122,409703
20	57,4	77,5	91,5	105,4	124,1	138,7	153,8	124,10595
21	58,1	78,5	92,7	106,8	125,7	140,5	155,8	125,741226
22	58,8	79,5	93,9	108,1	127,3	142,3	157,7	127,320478
23	59,6	80,5	95,0	109,4	128,8	144,0	159,6	128,848045
24	60,2	81,4	96,1	110,7	130,3	145,7	161,5	130,32776

Figura 3 - Calcolo della linea segnalatrice

La rappresentazione delle curve è riportata in Figura 4. Considerate le finalità dello studio, il contesto in cui è inserito l'insediamento, le condizioni al contorno e i disposti normativi l'evento meteorico di riferimento ha **tempo di ritorno di 50 anni**.

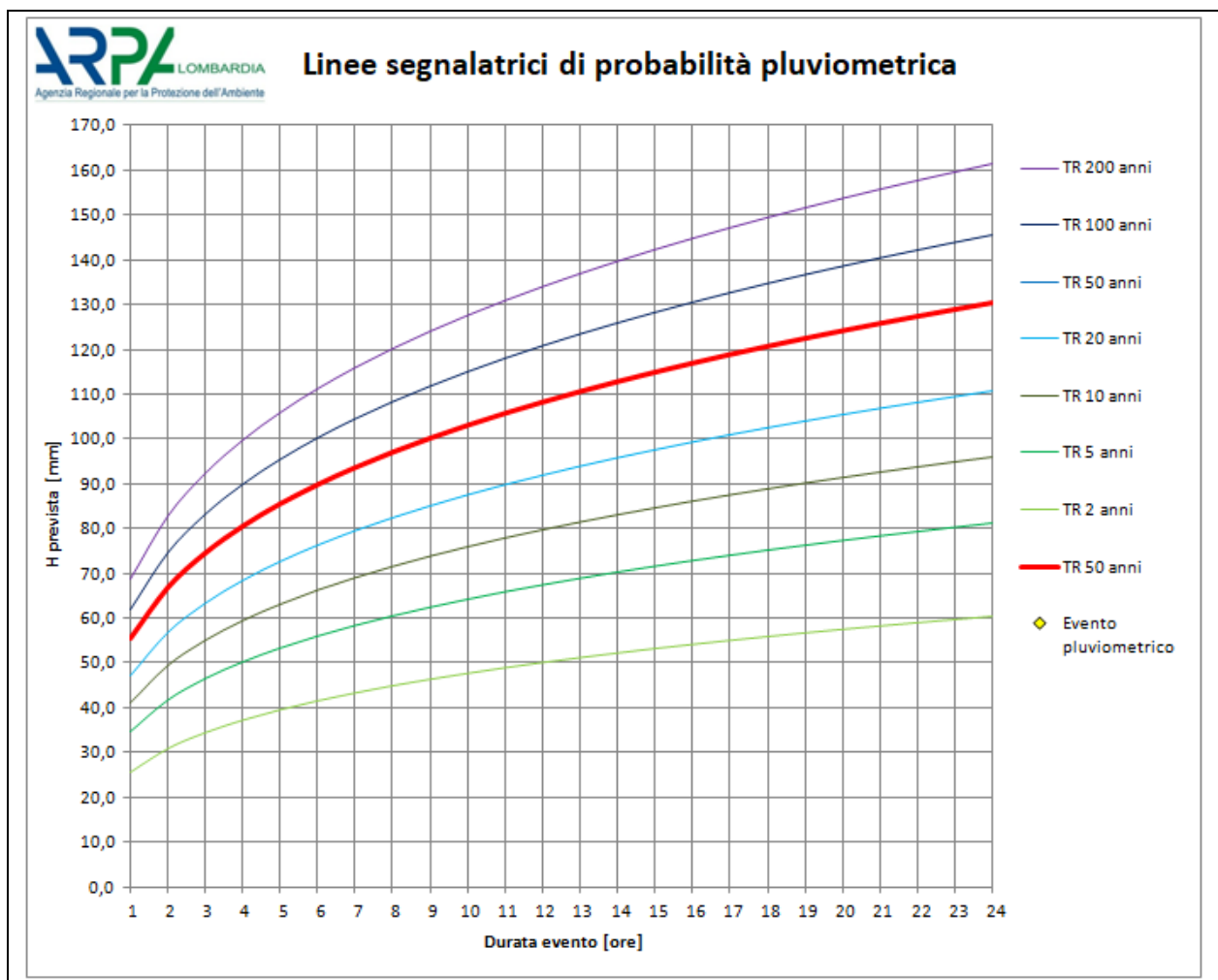


Figura 4 - Rappresentazione della linea segnalatrice

La pioggia di riferimento va poi riferita al bacino in studio, che in questo caso è molto contenuto e corrisponde al nuovo insediamento. Per ottenere i valori di piogge più brevi di un'ora si può ricorrere alle indicazioni riportate nell'allegato G della D.G. R. n.X/6829 che propongono la seguente espressione per il caso in studio:

$$h = 55.55 \times t^{0.5}$$

4. CLASSIFICAZIONE INTERVENTO

Il Regolamento Regionale indica le modalità di calcolo dei volumi da gestire per il rispetto dell'invarianza idraulica e idrologica attraverso i disposti dell'articolo 9. I parametri da valutare riguardano la superficie dell'intervento, il coefficiente di deflusso medio ponderale e l'ambito territoriale in cui si inserisce l'intervento. In riferimento a quest'ultimo aspetto il territorio regionale è stato suddiviso in tre macro aree in funzione del livello di criticità dei bacini dei corsi d'acqua recettori. Le aree sono le seguenti (Figura 5):

- Aree A - alta criticità idraulica
- Aree B - media criticità idraulica
- Aree C - bassa criticità idraulica

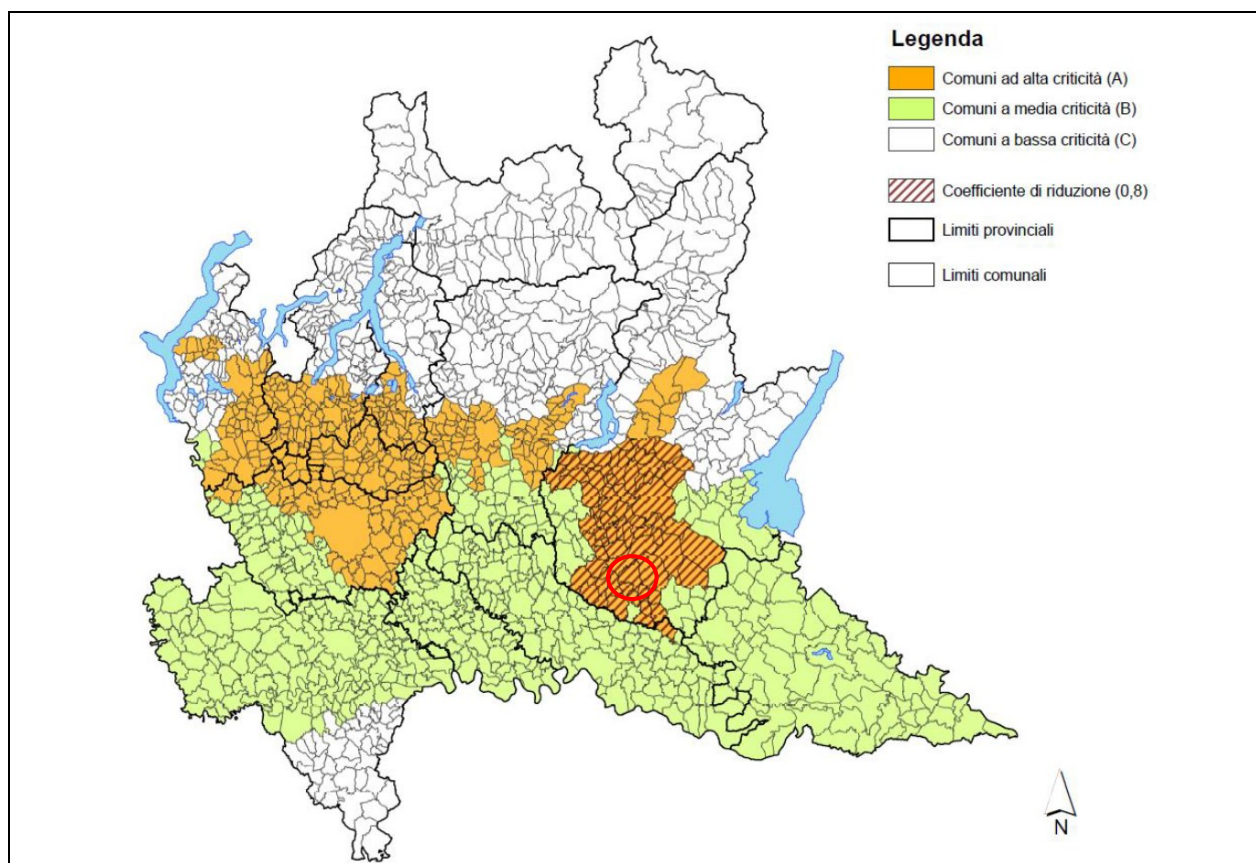


Figura 5 - Classificazione criticità idraulica

Il comune di Manerbio ricade nella classe A, ovvero ad alta criticità.

Per il comune di Manerbio è previsto un coefficiente riduttivo $P=0.8$. Altro parametro che

entra nella matrice di classificazione è la superficie di intervento, che risulta pari a 6300 m², ovvero la superficie complessiva con mutata permeabilità. Le aree verdi non collettate ed il bacino in terra non sono conteggiate ai fini dell'invarianza, come previsto dalla vigente normativa. Infine è stato calcolato il coefficiente di deflusso medio ponderale che rappresenta il risultato dei diversi apporti per tipologia di superficie (impermeabile, semipermeabile, permeabile) che nel caso in studio sono così suddivisi (Il Regolamento Regionale 8 esclude il permeabile dall'applicazione dell'invarianza):

6300 m² superficie impermeabile (x1)

Il coefficiente di deflusso medio ponderale risultante è pari a 1. Le modalità di calcolo da applicare per ogni intervento sono definite nella Tabella 1 dell'art. 9 (Figura 6).

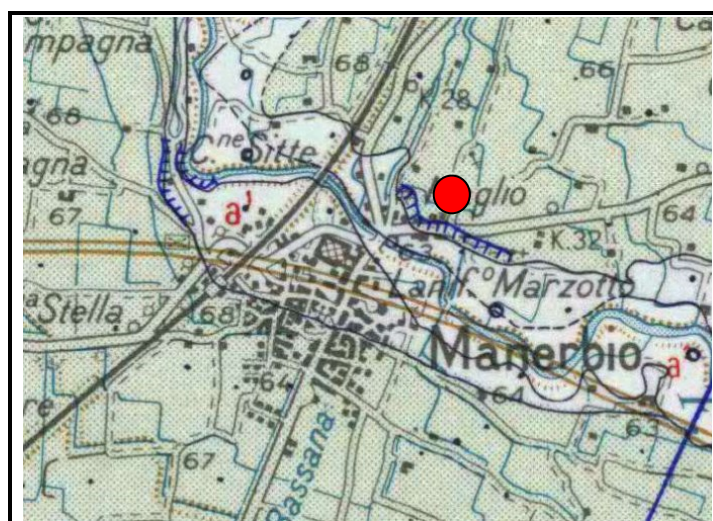
CLASSE DI INTERVENTO		SUPERFICIE INTERESSATA DALL'INTERVENTO	COEFF. DEFLUSSO MEDIO PONDERALE	MODALITA' DI CALCOLO	
				AMBITI TERRITORIALI (ARTICOLO 7)	
				AREA A - B	AREA C
0	Impermeabilizzazione potenziale qualsiasi	≤0.03 ha (≤ 300 mq)	qualsiasi	Requisiti minimi art.12 comma 1	
1	Impermeabilizzazione potenziale bassa	Da > 0.03 a ≤ 0.1 ha (da > 300 a ≤ 1000 mq)	≤ 0.4	Requisiti minimi art.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)	

Figura 6 – Tabella 1 - RR 08/2019

In generale il regolamento prescrive che nel caso di impermeabilizzazione potenziale media, in ambiti territoriali a criticità alta o media, deve essere adottato il metodo delle sole piogge, ferma restando la facoltà del professionista di adottare la procedura di calcolo dettagliata. Nel caso di impermeabilizzazione potenziale alta, in ambiti territoriali a criticità alta o media, deve essere adottata la procedura di calcolo dettagliata. Il caso in studio ricade nella classe 2 e quindi la procedura da adottare è quella del metodo delle sole piogge.

5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E PIEZOMETRICO

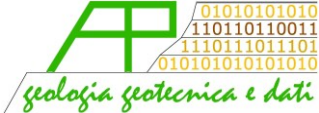
L'assetto geologico dell'area d'intervento è stato determinato durante il Quaternario continentale dagli intensi eventi deposizionali che hanno portato a colmamento il bacino Padano. In particolare, ci si riferisce al Pleistocene e all'Olocene, in cui la nota climatica dominante fu rappresentata da un ripetuto alternarsi di climi caldi e freddi, con una netta tendenza al progressivo raffreddamento, reso evidente con l'avvento delle glaciazioni. I depositi che caratterizzano l'abitato comunale di Manerbio sono legati alle dinamiche caratteristiche dell'ambiente fluvioglaciale e fluviale riferibili come età al Wurm e costituenti il **"livello fondamentale della pianura"** (f_g^w). La fase fluviale würmiana ha originato l'ultimo esteso colmamento della pianura nel Pleistocene. La successiva fase erosiva, iniziata nell'Olocene, è responsabile della zona ribassata delimitata da scarpate entro cui oggi scorre il fiume Mella, che attraversa il territorio comunale lungo il limite nord. La valle del Mella è caratterizzata da una porzione più esterna costituita dai terrazzi alluvionali antichi costituiti dalle alluvioni antiche (a^1) e una porzione più interna caratterizzata dalla piana alluvionale attuale del fiume, costituita dalle alluvioni recenti (a^2). L'area in esame si colloca al di sopra del livello fondamentale della pianura costituito dalle alluvioni fluvioglaciali e fluviali (f_g^w - cfr. Figura 7).



Legenda:

- f_g^w Alluvioni Fluvio-glaciali e fluviali
 a^1 Alluvioni antiche

Figura 7 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia foglio Brescia

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Ottobre 2025	1	13 di 28
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

La litologia superficiale risulta costituita da terreni essenzialmente sabbiosi e sabbioso ghiaiosi, talora associati a frazioni fini limose, alternati senza l'evidenza di un limite preciso proprio perché legati alle dinamiche deposizionali fluviali, che costituiscono generalmente depositi gradati in senso orizzontale con diminuzione della granulometria allontanandosi dalle zone ad elevata energia (Figura 8).



Figura 8 – Carta della litologia superficiale (blu = ghiaia con sabbia)

L'area si colloca in corrispondenza di una zona pianeggiante e la quota indicativa del sito è pari a circa 66.00 m.s.m., con cadente topografica verso SSW e gradiente nell'ordine dello 0.3 %. L'idrografia al contorno è rappresentata dal corso d'acqua principale, il Fiume Mella che scorre a circa 820 m a SSW ed a quote inferiori di oltre 10.00 metri, e da vasi e seriole secondarie appartenenti al RIM. Il corso d'acqua più prossimo, nonché quello che verrà interessato dal passaggio della nuova viabilità, è la Seriola Gazzadiga (e suoi rami secondari), che scorre lungo il margine W dell'area in esame. Il canale ha funzione mista, ovvero irrigua e di colo raccogliendo presumibilmente buona parte delle acque bianche dell'area industriale e sfociando a sud nel fiume Mella. La litostratimetria dell'area è stata desunta dagli studi effettuati nella zona, ed in particolare dai dati riportati nei Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque n.28. Sulla base dei dati acquisiti l'assetto stratigrafico si configura come rappresentato in Figura 9, conforme all'ambiente ed all'evoluzione deposizionale a cui è andata soggetta l'area, fortemente condizionata dalla dinamica fluvioglaciale e fluviale legata ad ambienti ad moderata energia, con significative variazioni d'alveo e buona competenza.

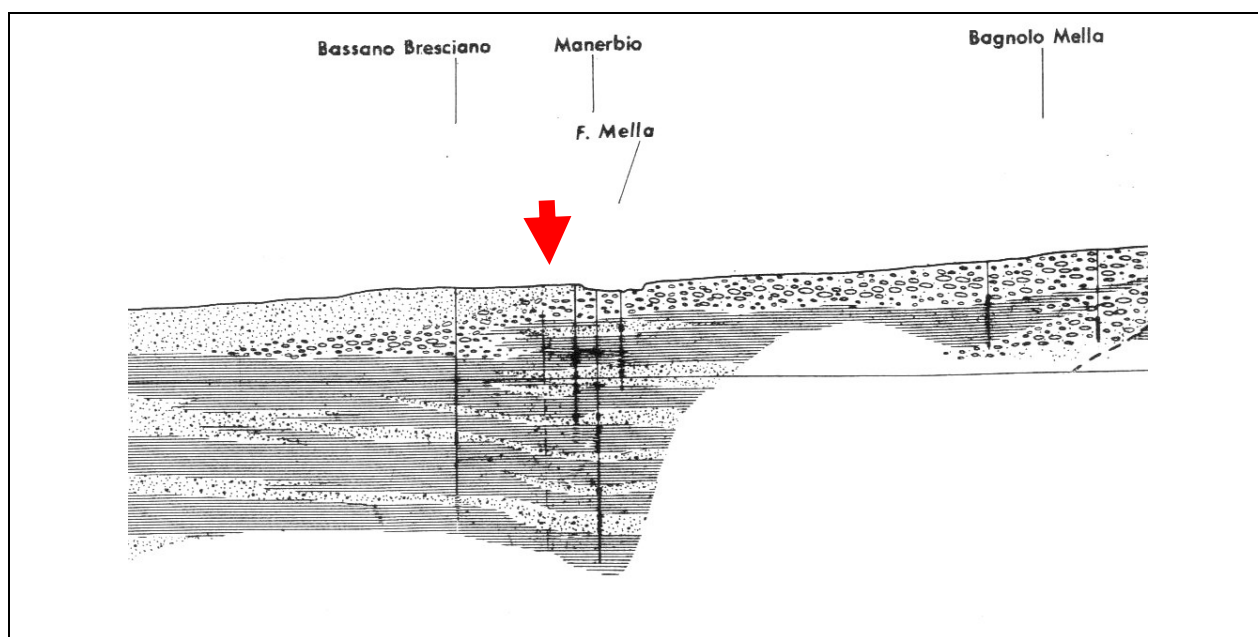


Figura 9 – Sezione S - N dell'area in studio

Per ricostruire la stratigrafia dei depositi, in sito è stata effettuata una prova penetrometrica statica con penetrometro da 20 tonnellate (CPT) ed una prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH) spinte sino ad una profondità massima di circa 7.00 m da p.c.. Al di sotto di un primo livello di copertura costituito da suolo dello spessore di circa 0.40 m, si rinvenivano depositi prevalentemente limoso sabbiosi e sabbiosi, con granulometria in aumento con la profondità. La falda è stata rilevata durante la campagna geognostica del Maggio 2025 a circa 6.40 m da p.c.. Questo dato è coerente con i contenuti della componente geologica del PGT del Comune di Manerbio dove per l'area in esame si evidenzia una soggiacenza variabile da circa 8 a 9 m, infatti il sito si colloca tra l'isopieza 56 e 58 (Figura 10).

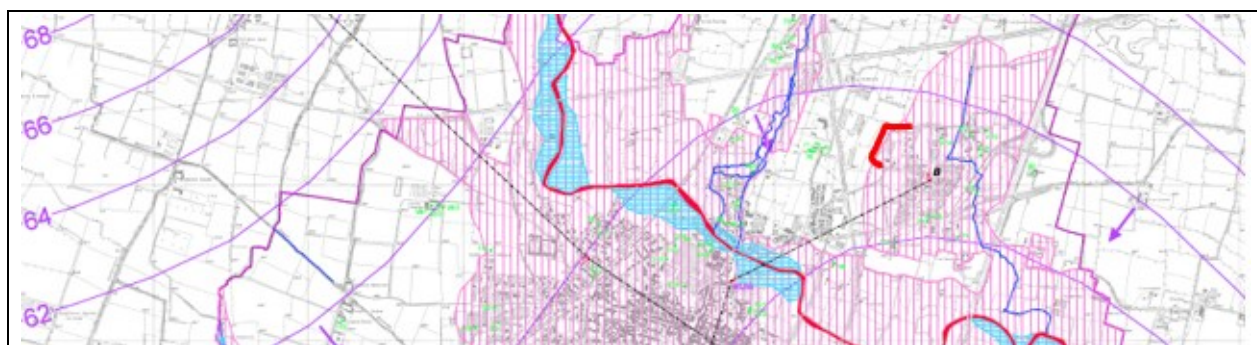


Figura 10 – Carta idrogeologica (da PGT)

5.1. Distanza da pozzi idropotabili

Nelle immediate vicinanze non sono presenti pozzi della rete acquedottistica come rappresentato in Figura 11. Il raggio della zona di rispetto del pozzo è pari a 200 metri come indicato nella normativa di riferimento: D.P.R. n° 236 del 24 maggio 1988, recepito dalla Regione Lombardia nella deliberazione di Giunta Regionale n° 6/15137 dell'1 agosto 1996 e richiamato dalle disposizioni contenute nel D.LGS. 152/99 e successive modifiche e integrazioni (D.LGS. 258/00). Nella zona di rispetto (200 metri con criterio geometrico) valgono le prescrizioni contenute nel comma 5 art. 5 del D.LGS. 258/00. L'area in studio è esterna alla fascia di rispetto dei pozzi idropotabili in quanto il più prossimo è posto ad oltre 290 ad E del sito in studio.

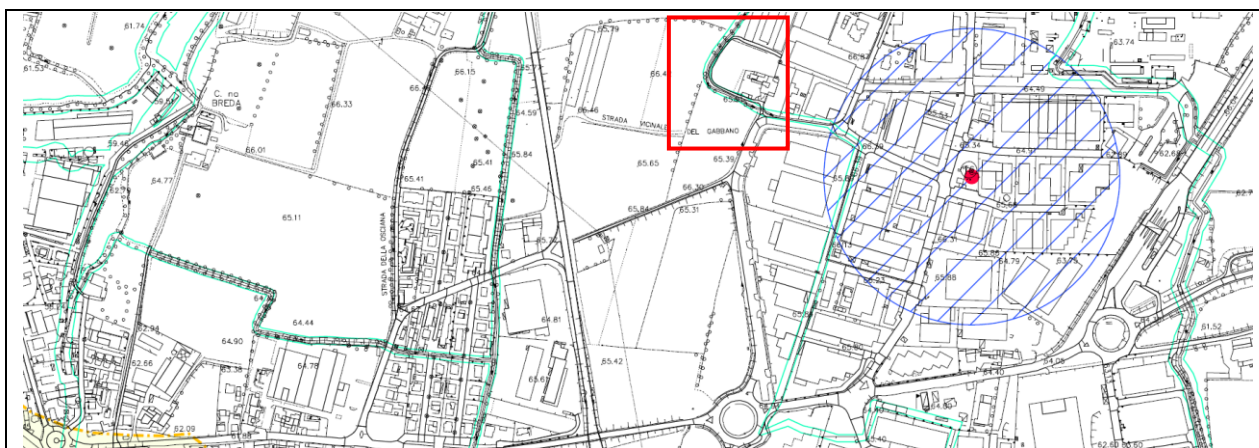


Figura 11 – Stralcio carta dei vincoli da PGT

5.2. Calcolo del coefficiente di permeabilità

In sito sono state effettuate n. 2 prove di permeabilità a carico variabile in foro. Le prove in foro/pozzetto consentono di determinare in modo molto semplice la permeabilità di un terreno superficiale al di sopra del livello della falda idrica. Operativamente si realizza uno scavo, lo si riempie d'acqua e si valuta la portata necessaria per mantenere un livello costante (prove a carico costante) o si valuta l'abbassamento dell'acqua all'interno dello scavo (prove a carico variabile). Il foro o pozzetto di prova può essere di forma quadrata o circolare e le

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Ottobre 2025	1	16 di 28
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

dimensioni possono essere scelte basandosi sugli strumenti di scavo disponibili. In linea di principio comunque le dimensioni devono aumentare all'aumentare delle dimensioni dei granuli del terreno. In particolare il lato del quadrato (nel caso di pozzetti a base quadrata) o il diametro del cerchio (per pozzetti circolari) deve essere superiore a 5/10 volte la dimensione della frazione granulometrica significativa. La profondità del pozzetto è a discrezione dell'operatore. Occorre comunque evitare di avvicinarsi eccessivamente alla superficie di falda perché, secondo le raccomandazioni AGI, deve risultare (Figura 12):

$$H \geq 7 \cdot h$$

Nella prova a carico variabile si porta il livello dell'acqua alla quota h_1 e poi si misura in quanto tempo l'acqua scende al livello h_2 . Nel caso in esame, considerata la natura prevalentemente ghiaiosa dei depositi, è stato realizzato un foro, mediante penetrometro, da 50 mm di diametro spinto ad una profondità massima di circa 2.70 metri da p.c.. Vista la profondità non è stato possibile realizzare un pozzetto con pareti libere, ma è stato inserito il tubo per ridurre gli eventuali errori dovuti al franamento delle pareti dello scavo nel corso della prova.

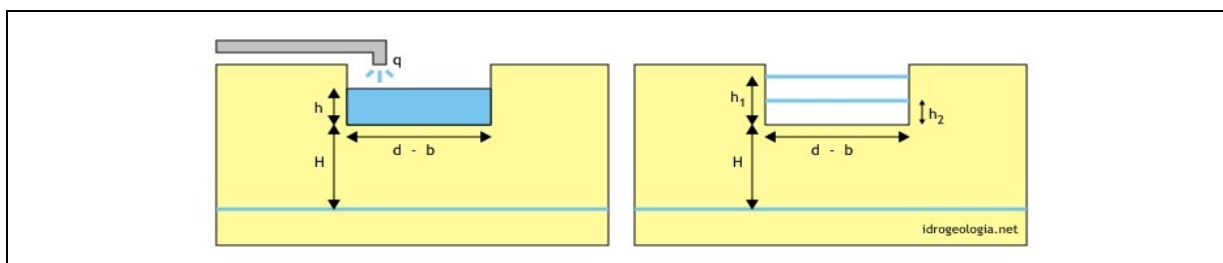


Figura 12 – Schema per prove di permeabilità a carico costante e variabile

Il tubo è stato poi riempito di acqua, avendo cura di effettuare la saturazione dei depositi sottostanti, e in seguito sono stati misurati i tempi di abbassamento del livello all'interno del tubo. La misura è stata eseguita con un sensore di pressione dotato di datalogger della HOBOWARE con precisione pari allo 0.1% su un range di lettura di 13 ft (circa 4.0 metri). La lettura di pressione è di tipo assoluto, comprensiva della pressione atmosferica. Vista la brevità del periodo di misura si ritiene influente la eventuale variazione della pressione atmosferica che comunque viene rilevata a fine ed inizio prova. Sono state eseguite n. 2 prove

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Ottobre 2025	1	17 di 28
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

prolungate per una durata di 105 secondi la prima e 118 secondi la seconda ovvero sino all'esaurimento del battente. Il grafico dell'abbassamento rilevato in campagna è riportato in Figura 13.

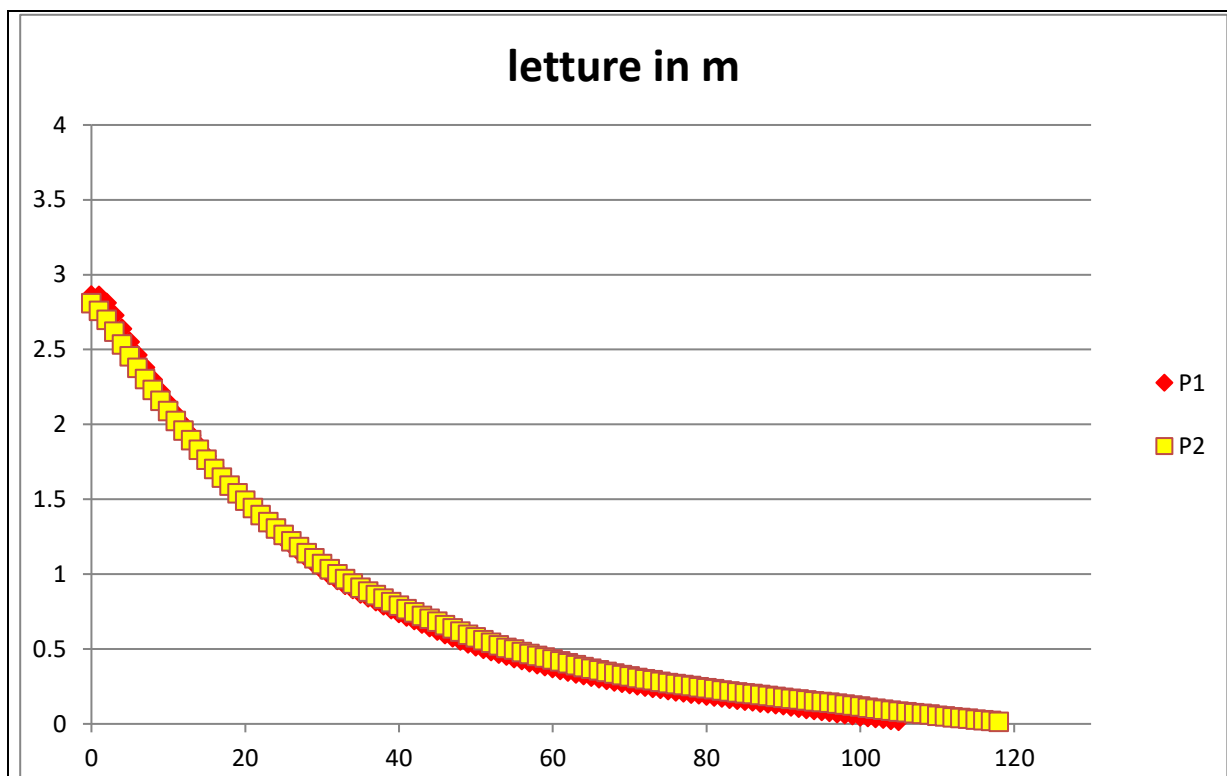


Figura 13 – Andamento abbassamenti

5.2.1. Interpretazione della Prova di permeabilità

La formula tipica riportata nelle raccomandazioni AGI per il calcolo della permeabilità k è la seguente:

$$k = \frac{d}{32} \cdot \frac{h_1 - h_2}{t_2 - t_1} \cdot \frac{1}{h_m}$$

dove:

h_m = altezza media dell'acqua nel pozzetto ($h_m > d/4$);

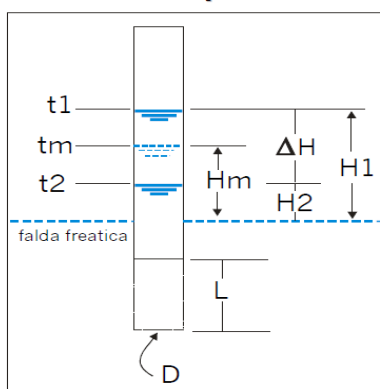
$h_1 - h_2$ = abbassamento;

$t_2 - t_1$ = intervallo di tempo;

d diametro pozzetto.

Tuttavia la formula e le modalità di prova sopra riportate prevedono la realizzazione di uno scavo con pareti permeabili. Nel caso in studio il foro è stato realizzato mediante penetrometro. È stata poi realizzata una tasca di dispersione nel tratto finale del foro di altezza pari a 300 mm riempita con ghiaietto. In questo caso pertanto la dispersione avviene sia lateralmente, nel tratto filtrante della tasca, che dal fondo del foro. Per questo motivo appare più opportuno utilizzare le classiche formule impiegate per le prove in foro di sondaggio (prova Lefranc) con lunghezza della tasca (L) pari a 300 mm:

Schema della prova Lefranc



Per le prove a carico costante la conducibilità idraulica è:

$$K = Q / CH$$

Q = portata a regime (cm³/sec)

H = carico idraulico a regime (cm)

C = coefficiente di forma (cm), in funzione della tasca inferiore di diametro D e lunghezza L

Per prove a carico idraulico variabile la conducibilità idraulica è:

$$K = AdH / C dt Hm$$

A = area di base della tasca filtrante

dH = H₁ - H₂ = differenza di carico idraulico

dt = t₂ - t₁ = intervallo di tempo corrispondente a dH

Hm = carico idraulico corrispondente al tempo medio (t₁ + t₂) / 2

C = coefficiente di forma

Nel caso di foro aperto inferiore:

$$C = 2.85 D$$

Il coefficiente di forma è stato calcolato mediante gli abachi di riferimento, ed è risultato pari a 0.75. La permeabilità calcolata con la formula sopra riportata restituisce il seguente valore:

$$Pk1 = 6.8 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$$

$$Pk2 = 5.6 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$$

Il valore di permeabilità medio Pk_{med} risulta pari a $6.2 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$.

6. CALCOLO DEI DEFLUSSI

Nel sito in progetto si prevede lo scarico delle acque meteoriche attraverso dispersione nel primo sottosuolo direttamente dai bacini di laminazione. Le opere di dispersione non intercetteranno la falda.

6.1. Calcolo della dispersione

La portata di infiltrazione può essere stimata in prima approssimazione attraverso la relazione di Darcy:

$$Q_{inf} = k J A$$

dove

k = coefficiente di permeabilità del substrato [mc/s]

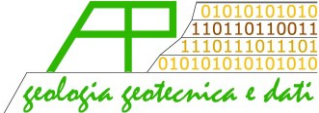
J = cadente piezometrica [m/m]

A = superficie netta infiltrante [mq]

Per i calcoli è stato utilizzato il valore di permeabilità misurato opportunamente ridotto al 30% fine di considerare eventuali difformità nel terreno. Il parametro assume pertanto il valore di 2.0×10^{-5} m/s. In sito è prevista la realizzazione di un canale di raccolta e laminazione con sezione trapezia e larghezza del fondo pari a 1.2 m con uno sviluppo di 546 m. La superficie infiltrante è stata considerata pari al fondo del canale, $546 \times 1.2 = 655 \text{ m}^2$. Il gradiente è uguale a 1. Nell'equazione sopra riportata l'incognita diventa pertanto la portata (Q), dal momento che tutte le altre variabili sono note. La capacità di dispersione risulta pari a 13 l/s.

6.1.1. Descrizione del canale disperdente

Il canale sarà posizionato lungo il lato est della nuova viabilità per una lunghezza di 502 m e sul lato sud-ovest in corrispondenza della rotonda per uno sviluppo di 44 m. La sezione tipo del canale è riportata in Figura 14. La profondità dovrà essere di almeno 0.50 m. Al fine di evitare che il canale veicoli tutte le acque nel punto altimetricamente più basso, dovrà essere realizzato per tratti orizzontali di lunghezza pari a 50 m, separati da setti in modo che l'acqua presente in un tratto non possa defluire nel contiguo posto a quote inferiori. Considerando lo

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Ottobre 2025	1	20 di 28
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

sviluppo del canale principale pari a circa 500 metri, indicativamente sarà suddiviso in 10 tratti con una differenza di quota del fondo di circa 10 cm ciascuno. Il tratto sud-ovest non richiede alcuna suddivisione.

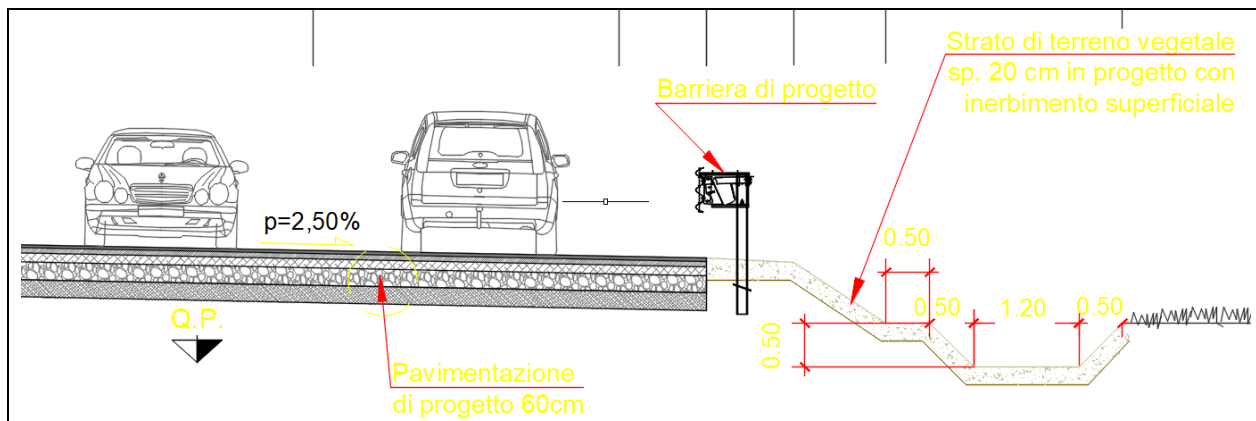


Figura 14 – Schema canale laminazione/dispersione

7.CALCOLO DEGLI AFFLUSSI - METODO DELLE SOLE PIOGGE

La progressiva impermeabilizzazione delle superfici incide sugli afflussi secondo due elementi fondamentali:

- riduzione della capacità filtrante del terreno con conseguente aumento della portata ai recapiti finali
- riduzione dei tempi di corrivazione

Il primo aspetto è ben rappresentato dall'immagine di Figura 15 dove si può notare che il passaggio ad ambienti via via più impermeabili comporta una riduzione importante dell'infiltrazione ed un incremento del ruscellamento, che convoglia le acque nel reticolo idrico. A livelli maggiori di impermeabilizzazione le dispersioni per infiltrazione diminuiscono ulteriormente sino a valori nell'ordine del 5%.

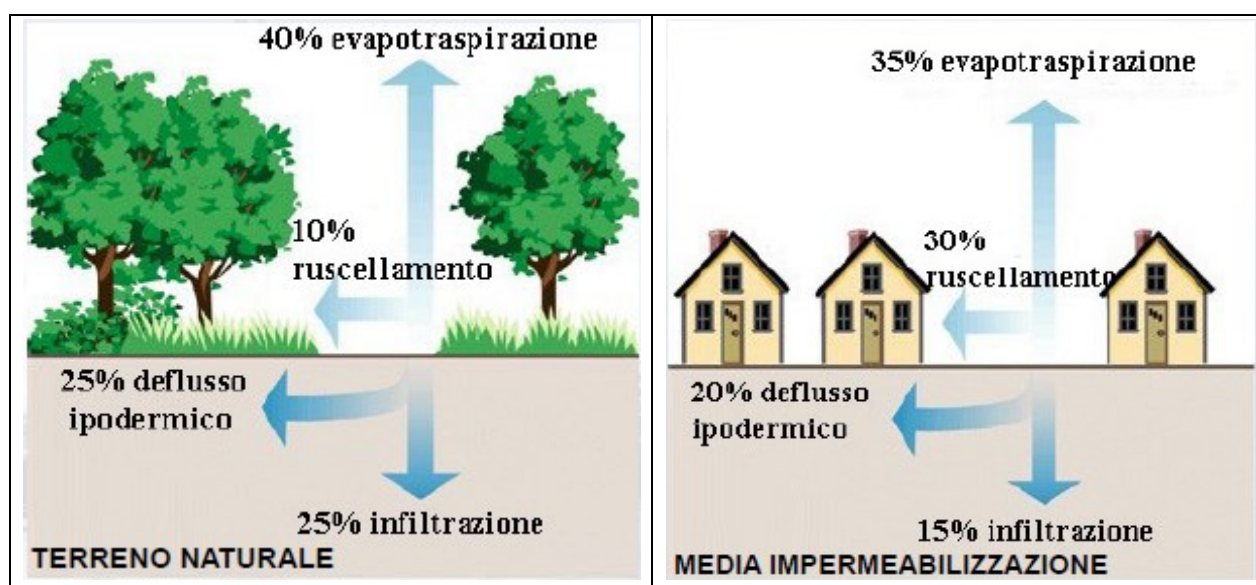


Figura 15 - Percentuali di recapito delle acque meteoriche

La riduzione del tempo di corrivazione determina invece una maggiore velocità delle acque di ruscellamento e quindi colmi di piena più rapidi ed importanti. Il metodo delle sole piogge fornisce una valutazione del volume d'invaso dell'opera di mitigazione sulla base della sola conoscenza della curva di possibilità pluviometrica e della portata massima, ipotizzata costante, che si vuole in uscita dall'opera stessa, nel caso specifico per infiltrazione e deflusso

in fognatura. Con questo metodo viene trascurata completamente, ad eccezione delle perdite idrologiche, la trasformazione afflussi-deflussi che si realizza nell'area scolante a monte dell'opera. Con questa ipotesi semplificativa il volume entrante nell'invaso (W_e) per effetto di una pioggia di durata (d) è pari a $W_e = A_{tot} \times \Phi_{mp} \times a \times d^n$

Il volume in uscita (W_u) dall'invaso sarà invece dato dall'Equazione $W_u = Q \times d$

Il volume invasato (W_d) sarà dato dall'Equazione $W = (W_e - W_u)_d$

Il volume da assegnare all'invaso è il valore massimo di W , che si ottiene per una precipitazione di durata critica (d). La determinazione di d e W può essere ottenuta anche per via grafica valutando la massima distanza che intercorre tra la curva di possibilità pluviometrica depurata dalle perdite idrologiche e quella in uscita dal bacino ipotizzata costante, come illustrato in Figura 16 (in ordinate sono indicati i litri in ascisse minuti).

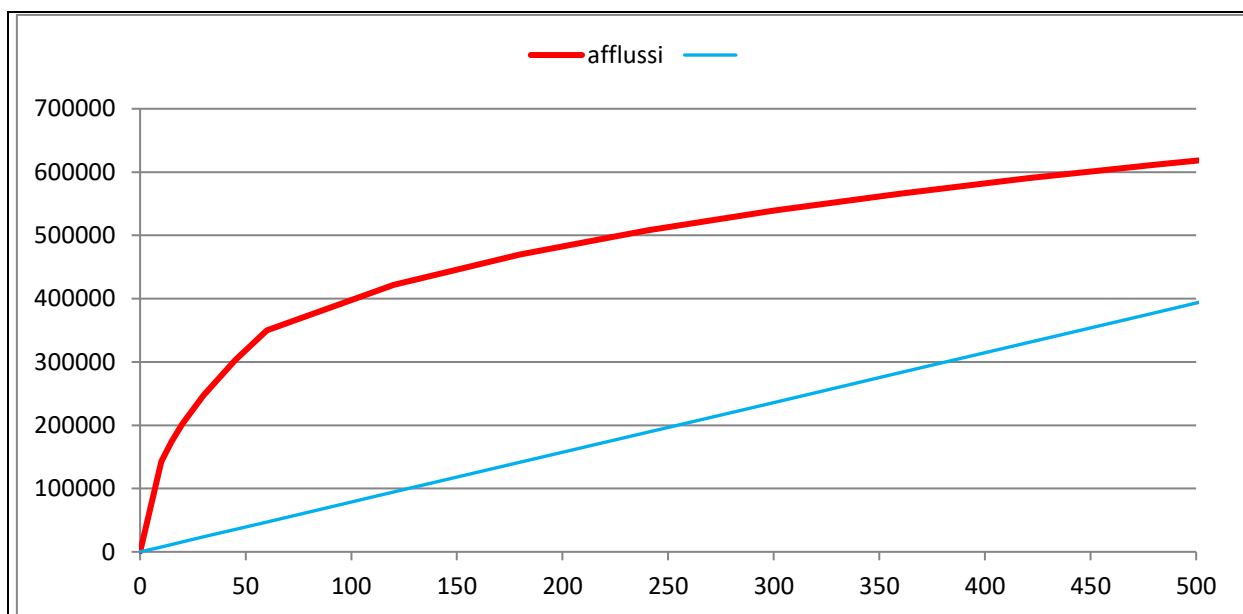


Figura 16 - Curve afflussi deflussi

Si può notare che il volume critico si ha per eventi di durata pari a circa 2.6 ore, dopo di che il sistema disperde/scarica un volume maggiore delle portate in ingresso. Il volume di laminazione necessario risulta pari a circa 330 m³ calcolato sulla base della formulazione proposta dal Regolamento Regionale n.8 per il metodo delle sole piogge:

$$w_0 = 10 \cdot \varphi \cdot a \cdot D_w^n - 3.6 \cdot u_{lim} \cdot D_w$$

8. DIMENSIONAMENTO DEI BACINI DI LAMINAZIONE

I volumi di laminazione saranno ricavati per la totalità all'interno del canale disperdente. I volumi sono stati quantificati come di seguito elencato, nell'ipotesi di raggiungere il totale riempimento del sistema:

- 544 m di canale con sezione utile pari a 0.85 m² e una lunghezza totale pari a 546 m per un volume totale di 464 m³.

Il volume totale, pari a 464 m³ risulta sufficiente a garantire i minimi richiesti dal Regolamento (330 m³). Lo schema planimetrico dell'impianto è riportato nelle tavole allegate.

8.1. Calcolo del tempo di svuotamento

Allo svuotamento del bacino di laminazione contribuirà esclusivamente la dispersione nel sottosuolo con una portata massima di 13 l/s. Il volume massimo di invaso (330 m³) potrà essere svuotato in circa 7 ore, quindi ampiamente entro i termini previsti dalla normativa (48 ore). Lo smaltimento delle acque avverrà per gravità.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Ottobre 2025	1	24 di 28
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

9. VERIFICA BACINO

L'art. 11 del Regolamento Regionale prevede la verifica dei franchi di sicurezza delle opere realizzate con un tempo di ritorno pari a 100 anni. Al fine di verificare la rispondenza alla normativa vigente è stata valutata la curva tra afflussi e deflussi (Figura 17) e le differenze positive (Figura 18). Si nota che il volume di laminazione necessario assomma a circa 390 m³, inferiore al volume massimo di invaso previsto (464 m³). **Il bacino è verificato ai fini del regolamento Regionale.**

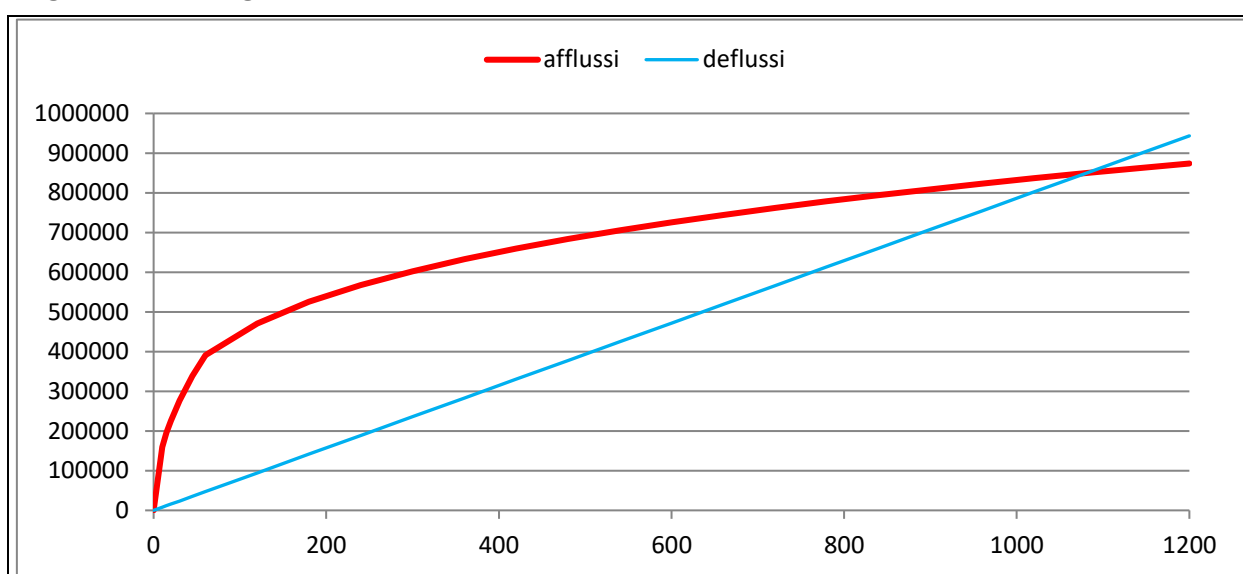


Figura 17 - Andamento afflussi-deflussi con Tr=100 anni

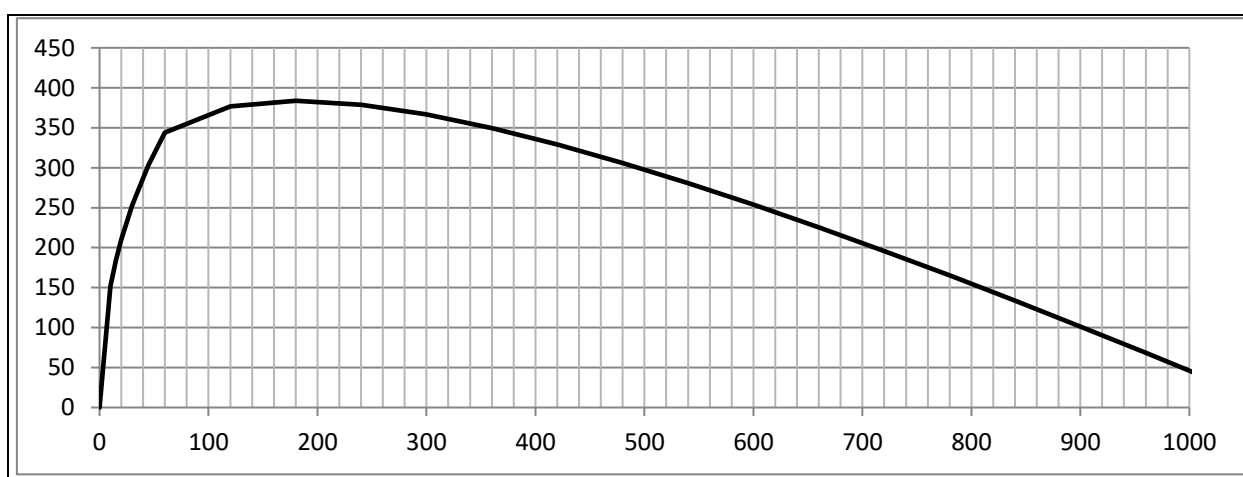


Figura 18 – Differenze positive con Tr=100 anni

10. DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI RACCOLTA ACQUE

Non è previsto un impianto di raccolta delle acque. Come indicato nella sezione di Figura 14 la strada avrà un pendenza costante del 2.5% in direzione del canale di laminazione. Deve essere evitato il ruscellamento concentrato che genererebbe incisioni lungo le sponde.

11. MANUTENZIONE

In riferimento all'art.13 del Regolamento Regionale, 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. Si ricorda che i costi di gestione e manutenzione, sia ordinaria che straordinaria, ricadono interamente ed esclusivamente sul proprietario dell'opera.

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 (per esempio terremoti, sversamenti abusivi, incidenti rilevanti) che interessino direttamente o indirettamente le strutture. Si possono inoltre distinguere, per alcune tipologie di soluzioni quali le aree di ritenzione vegetate e le fitodepurazioni, gli **interventi di supporto** necessari all'attecchimento delle essenze vegetate nelle primissime fasi della vita degli impianti, non più necessari quando gli invasi avranno raggiunto la fase in esercizio con il completo equilibrio delle componenti ecologiche presenti.

Per quanto riguarda gli interventi che prevedono la rimozione dei sedimenti occorrerà prevedere adeguate operazioni di pulizia *ad-hoc* in relazione alle caratteristiche fisico-chimiche del sedimento e alla sua potenzialità inquinante. Rispetto a quanto descritto, risulta evidente che a seconda del livello e complessità degli interventi di manutenzione gli stessi potranno essere svolti da personale con formazione adeguata. 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. Per

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Ottobre 2025	1	27 di 28
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

quanto concerne il progetto specifico le attività di verifica e controllo possono essere riassunte nei seguenti punti:

- Verifica del corretto afflusso delle acque
- Verifica dell'integrità degli elementi strutturali
- Pulizia scorrimento
- Piccola manutenzione edile

Di seguito è riportata la matrice del piano di manutenzione.

attività	cadenza	Esecutore	Osservazioni
Verifica corretto afflusso al bacino	Semestrale	Titolare	Verifica visiva
Verifica presenza erosioni concentrate	Semestrale	Titolare	Verifica visiva
Rimozione detriti grossolani dal canale	Semestrale o su segnalazione	Titolare	
Rimozione detriti fini dal canale.	Quinquennale o su segnalazione	Personale specializzato	
Sfalcio	Trimestrale o su segnalazione	Personale specializzato	
Sostituzione elementi ammalorati	Su segnalazione	Personale specializzato	

Dr. Geol. Corrado Aletti

Documento firmato digitalmente

Seniga 10.10.2025