

Proponente:



Comune di Locate Varesino
Via Parini, 1
22070 LOCATE VARESINO (CO)

Relazione idrogeologica ed idraulica ai sensi del R.R. 8/2019 a supporto di progetto di realizzazione nuova strada di collegamento fra zona industriale di Via Resegone-Via Monviso e la zona industriale di Via Monte San Michele a Tradate (VA)

Comune di Locate Varesino (CO)

REV02 - agosto 2021

Dott. Geol. Luca Arieni
Ord. Geol. Reg. Lombardia n. 1169

Dott. Geol. Marco Canavesi
Ord. Geol. Reg. Lombardia n. 1547



abmgeo srl - Società di Professionisti

Sede Legale: Via E. Filiberto, 2 - 20149 Milano (MI)
Sede Operativa: Via Europa, 33 - 21040, Morazzone (VA) - Tel-Fax +39.332.462004 - info@abmgeo.it
PEC: abmgeostp@legalmail.it - C.F./P.IVA 10991660969 - www.abmgeo.it

INDICE

1	INTRODUZIONE	1
1.1	PREMESSA GENERALE E SCOPO DEL LAVORO	1
1.2	IL CONCETTO DI INVARIANZA IDRAULICA E LA NORMATIVA REGIONALE IN MATERIA	2
1.3	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO ED ELEMENTI DI PROGETTO	5
2.1	FATTIBILITA' GEOLOGICA	6
3	CLASSIFICAZIONE DELL'INTERVENTO AI FINI DELL'INVARIANZA IDRAULICA	8
4	INDAGINI E STUDI ESEGUITI	10
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO	11
5.1	ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	11
5.2	ELEMENTI IDROGEOLOGICI	13
5.3	VALUTAZIONE DELLA PERMEABILITA' DEI TERRENI	14
5.4	Prova di permeabilità in pozzetto superficiale a carico variabile	16
5.4.1	Prova di permeabilità S1	19
5.4.2	Prova di permeabilità S2	21
6	INQUADRAMENTO IDROLOGICO, IDRAULICO ED INVARIANZA IDRAULICA	23
6.1	DETERMINAZIONE DELLE LINEE SEGNALETRICI DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA (LSPP)	23
6.2	DEFINIZIONE DELLA SUPERFICIE SCOLANTE IMPERMEABILE E DEI CRITERI D'INVARIANZA PER LO SMALTIMENTO DELLE ACQUE CHIARE	26

7	ALLESTIMENTO DEL MODELLO IDROLOGICO-IDRAULICO	29
7.1	ASSETTO DELLA RETE	30
7.2	CONFIGURAZIONE DELLA RETE DI PROGETTO	32
7.3	RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA	34
8	CONSIDERAZIONI GENERALI	38

TAVOLE:

- Tav. 1: *Corografia di inquadramento alla scala 1:5.000 (base topografica stralcio delle sezioni A5d2-A5e2 della Carta Tecnica Regionale);*
- Tav. 2: *Planimetria di progetto alla scala 1:200 (fornita dalla Committenza);*
- Tav. 3: *Carta di inquadramento geologico alla scala 1:5.000 (base topografica dalle sezioni A5d2-A5e2 della Carta Tecnica Regionale);*
- Tav. 4: *Delimitazione dei bacini e schema idraulico delle superfici di intervento alla scala 1:500;*
- Tav. 5: *Modello idraulico delle superfici di intervento alla scala 1:500;*

APPENDICI:

- Appendice 1: Descrizione del codice di calcolo MIKE URBAN Collection System*
- Appendice 2: Report tabellare modellazione idraulica*

1 INTRODUZIONE

1.1 PREMESSA GENERALE E SCOPO DEL LAVORO

La presente relazione, redatta su incarico dell'Amministrazione Comunale di Locate Varesino (CO), ha per oggetto la progettazione relativa alla gestione delle acque meteoriche e la compatibilità dell'intervento in materia di invarianza idraulica ai sensi dell'art. 7 della L.R. 4/2016 e s.m.i. (recenti disposizioni del R.R. 8//2019 di cui alla D.g.r. N° XI / 1516 del 15/04/2019) di un'area sita in Comune di Locate Varesino (Provincia di Como) in via Leonardo Da Vinci, ove è prevista la realizzazione di un nuovo tratto di una nuova strada di collegamento tra la zona industriale di Via Resegone – Via Monviso e la zona industriale di Via Monte San Michele a Tradate. L'intervento prevede la gestione delle acque meteoriche ricadenti sul sedime della carreggiata, dei parcheggi e del tratto di pista ciclopedonale annessa per un tratto di circa 150 m lineari, secondo le indicazioni fornite dalla committenza.

In relazione alle modalità di attuazione del progetto ed alle caratteristiche delle opere che si prevedono, è stata organizzata un'apposita serie di rilievi geologici e di indagini geognostiche ed idrogeologiche finalizzate alla ricostruzione del locale assetto litologico-stratigrafico e alla definizione delle caratteristiche tecniche dei materiali *in situ* onde procedere ad una valutazione delle interazioni fra terreno e opere. La presente relazione sarà così articolata:

- ✓ cenni sugli elementi di progetto relativamente alla gestione delle acque chiare;
- ✓ inquadramento geologico ed idrogeologico di un intorno significativo rispetto alla zona di studio;
- ✓ risultati delle indagini e valutazione speditiva delle caratteristiche tecniche e di permeabilità dei terreni;
- ✓ conclusioni e proposte.

1.2 IL CONCETTO DI INVARIANZA IDRAULICA E LA NORMATIVA REGIONALE IN MATERIA

L'invarianza idraulica può essere intesa come "il principio in base al quale le portate di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelle preesistenti all'urbanizzazione".

La Legge Regionale 15 marzo 2016, n. 4, inerente la "revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d'acqua" (BURL n. 11, suppl. del 18 Marzo 2016) all'art. 7) comma 1 recita:

"al fine di prevenire e di mitigare i fenomeni di esondazione e di dissesto idrogeologico provocati dall'incremento dell'impermeabilizzazione dei suoli e, conseguentemente, di contribuire ad assicurare elevati livelli di salvaguardia idraulica e ambientale, gli strumenti urbanistici e i regolamenti edilizi comunali recepiscono il principio di invarianza idraulica e idrologica per le trasformazioni di uso del suolo".

Tale legge introduce delle modifiche alla legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio), prescrivendo che i principi di invarianza idraulica si applichino, fra l'altro, "a tutti gli interventi che comportano una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla sua condizione preesistente all'urbanizzazione".

Dopo l'articolo 58 della L.R. 12/2005 la legge inserisce quindi il seguente Art. 58 bis. "[omissis]

3. Al fine di non aggravare le condizioni di criticità idraulica dei corpi idrici recettori delle acque meteoriche urbane, nel PGT:

a) il documento di piano stabilisce che le trasformazioni dell'uso del suolo comportanti variazioni di permeabilità superficiale debbano rispettare il principio dell'invarianza idraulica e idrologica, anche mediante l'applicazione dei principi e dei metodi del drenaggio urbano sostenibile. Tali principi vanno rispettati anche

per le aree già urbanizzate oggetto di interventi edilizi, così come stabiliti nel regolamento di cui al comma 5;

b) il piano dei servizi individua e definisce le infrastrutture pubbliche necessarie per soddisfare il principio dell'invarianza idraulica e idrologica sia per la parte già urbanizzata del territorio, sia per gli ambiti di nuova trasformazione, secondo quanto stabilito dal regolamento di cui al comma 5.

4. Il regolamento edilizio comunale disciplina le modalità per il conseguimento dell'invarianza idraulica e idrologica secondo i criteri e i metodi stabiliti con il regolamento regionale di cui al comma 5. Il regolamento edilizio recepisce i criteri e i metodi di cui al primo periodo entro sei mesi dalla pubblicazione del regolamento regionale di cui al comma 5 nel Bollettino ufficiale della Regione Lombardia. Decorso inutilmente il termine di cui al secondo periodo, i comuni sono comunque tenuti a dare applicazione alle disposizioni del regolamento regionale.

5. Entro centottanta giorni dalla data di entrata in vigore della legge regionale recante (Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d'acqua), la Giunta regionale, sentite le rappresentanze degli enti locali e di altri soggetti competenti con professionalità tecnica in materia, approva un regolamento contenente criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica e idrologica. Il regolamento acquista efficacia alla data di recepimento dello stesso nel regolamento edilizio comunale di cui al comma 4, o, al più tardi, decorso il termine di sei mesi di cui al medesimo comma 4."

La L.R. 4/2016 è di fatto da considerarsi una legge d'indirizzo, il cui regolamento attuativo è stato approvato con 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 (Legge per il governo del territorio)".

Con D.G.R N° XI/1516 del 15/04/2019 è stato approvato il nuovo Regolamento Regionale "Disposizioni sull'applicazione dei principi dell'invarianza

idraulica ed idrologica. Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7”.

1.3 RIFERIMENTI NORMATIVI

- “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;
- D.G.R. 28.05.2008 n. VIII/7374 Aggiornamento dei “Criteri e indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della L.R. 11/03/2005, n. 12”, in particolare l’Allegato 5 - “Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell’aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio”.
- D.G.R. n.2616/2011: *“Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT”*;
- Regione Lombardia Legge Regionale 15 marzo 2016, n. 4, *“Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d’acqua”* (BURL n. 11, suppl. del 18 Marzo 2016);
- 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 (Legge per il governo del territorio)”*;
- D.G.R. n° XI/1516 del 15/04/2019 - *“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 (Legge per il governo del territorio)”*.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO ED ELEMENTI DI PROGETTO

La zona in oggetto è individuabile sulla corografia generale di **Tavola 1** (scala 1:10.000) stralciata dalle sezioni A5d2-A5e2 della Carta Tecnica Regionale. In particolare, l'area d'intervento si inserisce in un contesto territoriale industriale nella zona nord-occidentale del territorio comunale di Locate Varesino, al confine con il Comune di Tradate (VA). Più in dettaglio l'intervento in progetto interessa una porzione di bosco dove verrà realizzato una nuova strada di collegamento fra la zona industriale di Via Resegone-Via Monviso e la zona industriale di Via Monte San Michele a Tradate.

Lo studio prevede la raccolta, la gestione e lo smaltimento delle acque meteoriche ricadenti sulle nuove superfici pavimentate costituite dal nuovo tratto stradale, dai nuovi parcheggi e dal nuovo tratto di pista ciclopedonale (vedi ortofoto in figura 1).



Figura 1: Sovrapposizione strada in progetto su ortofoto (Geoportale Regione Lombardia)

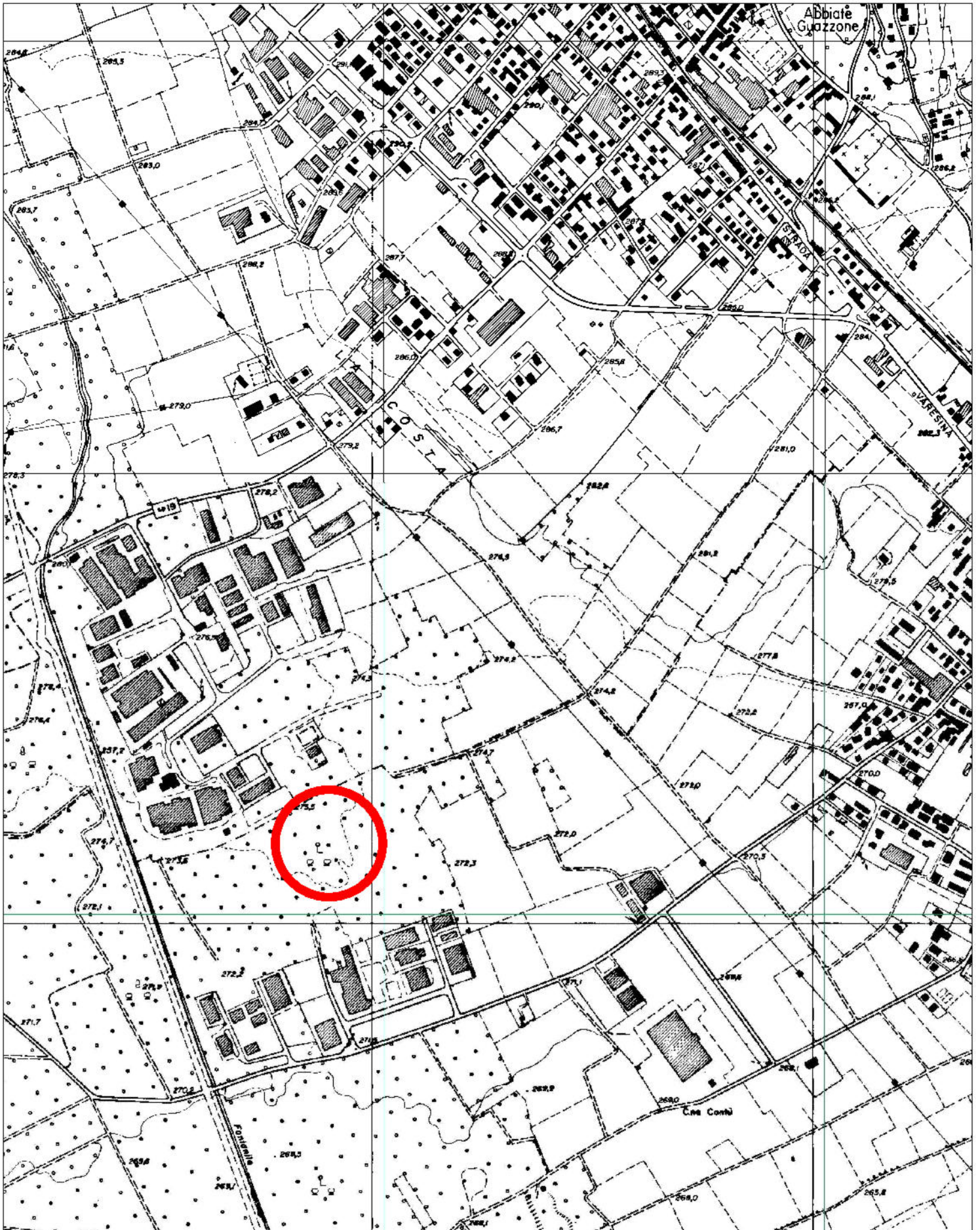
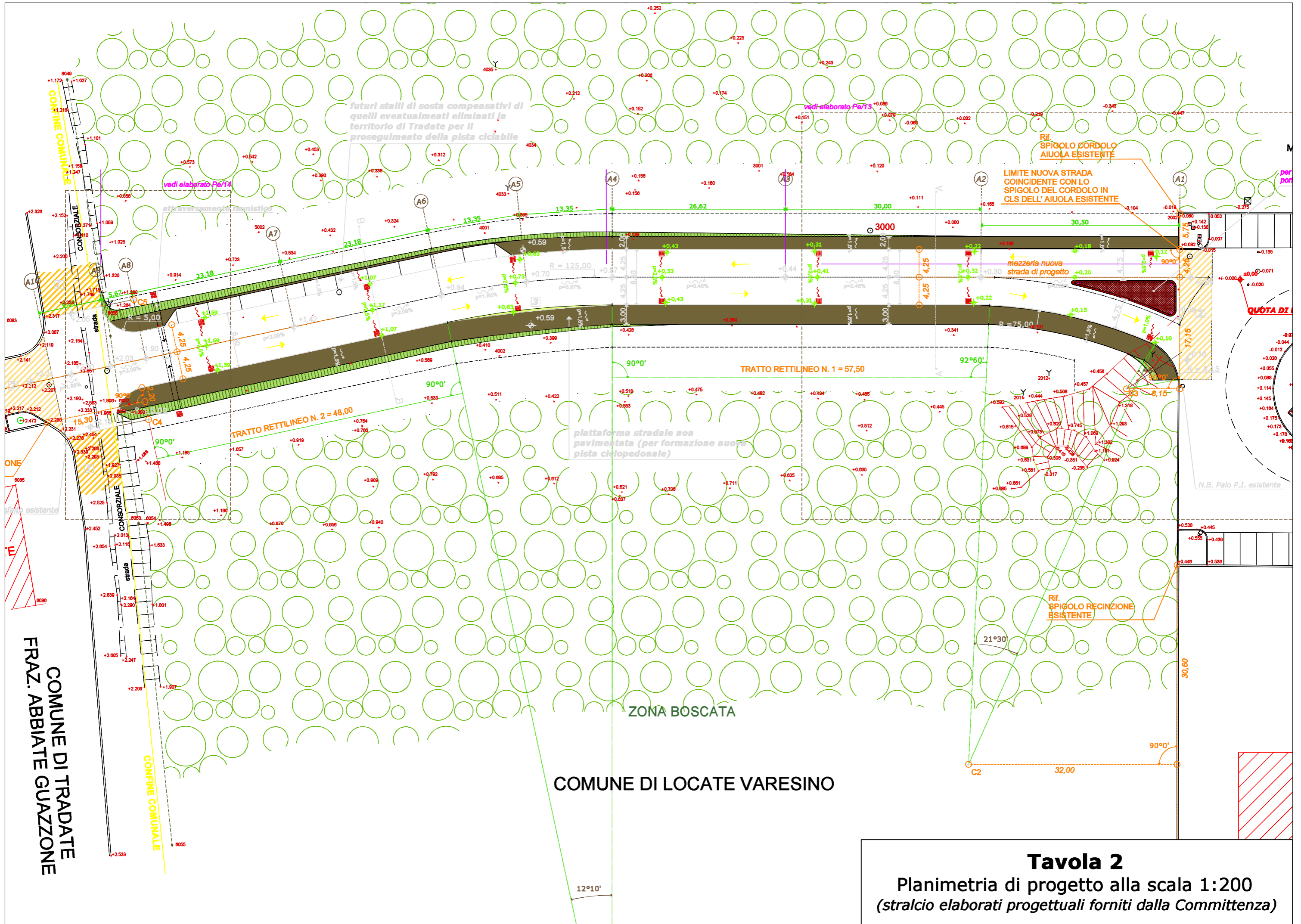


TAVOLA 1

Corografia di inquadramento alla scala 1:5.000

(base topografica stralcio sezioni A5e2-A5e3 della Carta Tecnica Regionale)



futures stalls di sosta compensativi di quelli eventualmente eliminati in territorio di Tradate per il proseguimento della pista ciclabile

vedi elaborato P6/73

Rif. SPIGOLO CORDOLO AIUOLA ESISTENTE

LIMITE NUOVA STRADA COINCIDENTE CON LO SPIGOLO DEL CORDOLO IN CLS DELL'AIUOLA ESISTENTE

mezzeria nuova strada di progetto

piattaforma stradale non pavimentata (per formazione nuova pista ciclopedonale)

Rif. SPIGOLO RECINZIONE ESISTENTE

COMUNE DI TRADATE
FRAZ. ABBIAIE GUAZZONE

COMUNE DI LOCATE VARESINO

ZONA BOSCATÀ

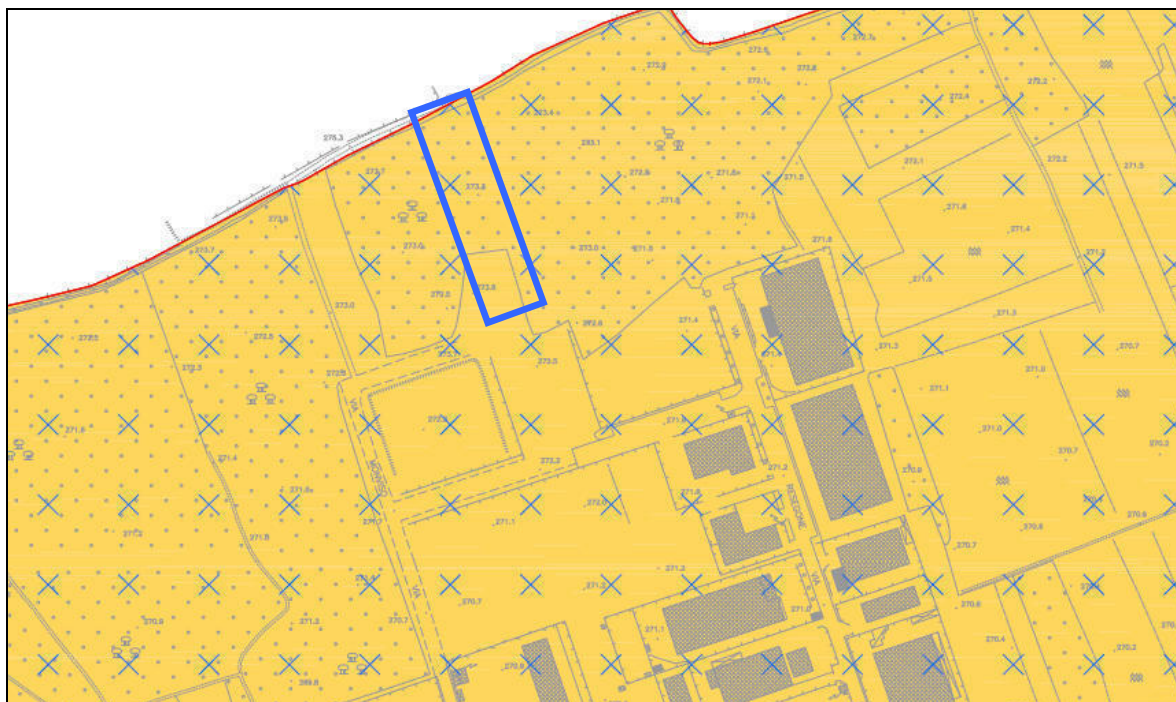
Tavola 2
 Planimetria di progetto alla scala 1:200
 (stralcio elaborati progettuali forniti dalla Committenza)

La porzione di terreno dove sorgerà la nuova strada di collegamento è occupata allo stato attuale da bosco.

Le opere in progetto, come riportato in dettaglio in **Tavola 2** (estratto elaborati forniti dalla Committenza), prevedono la realizzazione del nuovo tratto stradale rialzato rispetto alla quota di p.c. per una lunghezza complessiva di circa 150 metri. Le caditoie di raccolta delle acque meteoriche saranno posizionate su entrambi i lati della carreggiata ad una distanza di circa 25 m l'una dall'altra e, dopo aver raccolto le acque, le recapiteranno all'interno di trincee disperdenti e pozzi perdenti posti su entrambi i lati della carreggiata nella zona a verde.

2.1 FATTIBILITA' GEOLOGICA

Per quanto riguarda la Fattibilità geologica per le azioni di piano del Piano di Governo del Territorio attualmente in adozione dal comune di Locate Varesino, l'area oggetto di intervento ricade in una classe di **Fattibilità Geologica 3** (Figura 3). In tale classe sono comprese le *“zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni per l'entità o la natura dei rischi individuati”*. In tutte le aree valgono le disposizioni del D.M. 14-01-2008 *“Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni”* e succ. In base a tali norme la modellazione geologica e gli approfondimenti di carattere geotecnico sono parte integrante degli atti progettuali. Risulta inoltre obbligatorio in tali aree la *“Valutazione della capacità portante del terreno in relazione con l'influenza diretta dell'opera, della presenza di sedimenti coesivi, di eventuali cedimenti sotto carico, mediante analisi in sito e indagini geognostiche o geofisiche”* oltre alla *“Valutazione della efficacia del sistema di smaltimento delle acque meteoriche previsto in progetto e della sua compatibilità con la situazione geologica locale...”*.

**3**

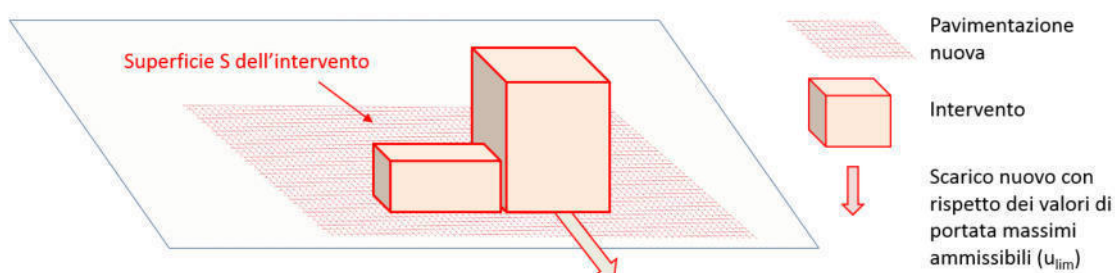
Fattibilità con consistenti limitazioni: zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni per l'entità o la natura dei rischi individuati; vengono elencate le prescrizioni specifiche per la mitigazione del rischio e/o i supplementi di indagine.

Figura 2: Estratto della Carta della Fattibilità geologica delle azioni di Piano dello studio geologico allegato al vigente PGT del Comune di Locate Varesino.

3 CLASSIFICAZIONE DELL'INTERVENTO AI FINI DELL'INVARIANZA IDRAULICA

L'intervento in esame, ai sensi del Regolamento regionale 23 novembre 2017 - n. 7, è classificabile come "nuova costruzione" con lo schema applicativo di seguito rappresentato.

2. NUOVA COSTRUZIONE



1. Sono richieste misure di invarianza idraulica o idrologica calcolate per la superficie interessata dall'intervento (S)
2. La portata di scarico è vincolata al limite massimo ammissibile da regolamento

Per le "nuove costruzioni" sono richieste misure di invarianza idraulica o idrologica calcolate per la superficie S interessata dall'intervento e la cui portata di scarico al ricettore finale è vincolata al limite massimo ammissibile da regolamento.

Il Comune di Locate Varesino entro cui verrà realizzato l'intervento, ai sensi dell'allegato B, risulta inserito in "Ambito A – alta criticità" in relazione alla criticità idraulica dei bacini dei potenziali corsi d'acqua ricettori per il quale, in base all'art. 8, vige il limite di scarico al ricettore finale di 10 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento oltre ad un requisito minimo di laminazione pari a 800 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile.

Inoltre, come meglio dettagliato nei capitoli successivi, ai fini del Regolamento Regionale, dato che il “coefficiente di deflusso medio ponderale” dell’intervento è pari a $\psi = 0.54$, quindi superiore a $\psi = 0.40$, e la superficie interessata dall’intervento superiore ai 1.000 mq, l’intervento è classificabile come “**Classe 2 - Impermeabilizzazione potenziale media**”. Inoltre, il Comune di Locate Varesino è classificato in area “A” come ambito territoriale.

Secondo la tabella 1 del RR n.7 del 23/11/2017, così così come variato dalla D.G.R. N° IX/1516 del 15/04/2019 “Disposizioni sull’applicazione dei principi dell’invarianza idraulica ed idrologica; modifiche al Regolamento Regionale 23 Novembre 2017, N. 7”, le modalità di calcolo previste sono quelle del Metodo delle sole piogge.

L’evento meteorico di riferimento da assumere a base della progettazione è quello corrispondente a tempo di ritorno 50 anni, secondo quanto indicato all’art.11 del R.R. 7/2017. Il medesimo articolo stabilisce inoltre che l’opera dovrà essere verificata anche per un evento avente tempo di ritorno 100 anni: tale verifica è mirata a valutare che, in presenza di un evento con T 100, non si determinino esondazioni che arrechino danni a persone o a cose, siano esse le opere stesse o le strutture presenti nell’intorno.

Allo stato attuale della progettazione, la rete di raccolta delle acque chiare relativa all’intervento in oggetto è costituita da caditoie di raccolta poste su entrambi i lati della carreggiata.

4 INDAGINI E STUDI ESEGUITI

In relazione agli obiettivi della presente relazione sono state previste e seguite queste procedure:

- ✓ raccolta e analisi dei dati di letteratura sull'assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico locale;
- ✓ analisi idrologica locale con ricostruzione delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica con un tempo di ritorno $T=10$ anni ($Q_{T=10}$), $T=30$ anni ($Q_{T=30}$) e $T=50$ anni ($Q_{T=50}$);
- ✓ individuazione e analisi dei bacini e sottobacini idrografici in base ai piani quotati e geo-referenziati di progetto;
- ✓ verifica della capacità ricettiva e di smaltimento dei collettori e degli attuali sistemi di dispersione e laminazione (pozzi perdenti, trincee drenanti, vasche, ecc.);
- ✓ individuazione e valutazione delle criticità idrauliche del sistema di drenaggio e relativa restituzione dei risultati sotto forma di criteri progettuali ai sensi dell'invarianza idraulica;
- ✓ indicazioni progettuali sulla base delle problematiche evidenziate.

La relazione presentata è adeguatamente documentata con elaborati grafici e riprese fotografiche.

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

In questa sezione si intende descrivere sinteticamente la situazione geologica ed idrogeologica locale, ai fini di definire le caratteristiche geologico-tecniche dell'area d'intervento.

5.1 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Dal punto di vista geologico ed idrogeologico l'area di interesse si inserisce nella media pianura terrazzata lombarda, tra la pianura alluvionale principale e i primi rilievi prealpini. In tale settore, i lembi residui delle antiche superfici deposizionali di origine morenico e fluvioglaciale si compenetrano a monte con le colline moreniche dei vasti apparati pleistocenici delle colate glaciali principali (Verbano, Ceresio e Lario).

Dal punto di vista genetico i depositi di questa zona sono da attribuirsi alla formazione e successiva evoluzione degli apparati glaciali e delle superfici di trasporto fluvioglaciale che li delimitano, espressione della concatenazione, dal Pliocene ad oggi, di diverse glaciazioni separate da interglaciali.

La letteratura geologica classica distingue quattro grandi periodi glaciali denominati Donau, Gunz, Mindel, Riss e Wurm, succeduti da altrettanti periodi interglaciali/postglaciali.

Proprio in relazione ad una tale modalità deposizionale i depositi più antichi sono quelli che costituiscono i terrazzamenti più elevati, mentre il livello fondamentale della pianura è riferibile all'ultimo episodio fluvioglaciale del quaternario, identificato nella letteratura geologica classica come Wurm.

In particolare, da Castiglione Olona a Tradate, i depositi wurmiani che costituiscono il livello fondamentale della pianura si protendono in direzione N-S limitati a est dalla strada statale "Varesina" e ad ovest dalla valle dell'Olona; le direttrici di questi ultimi due elementi si incontrano in corrispondenza del territorio

comunale di Castiglione Olona, dove l'elemento geomorfologico descritto raggiunge in Lombardia il suo punto più settentrionale.

Procedendo verso E una ristretta fascia di depositi fluvioglaciali più antichi, riferibili al periodo postglaciale Riss, funge da termine di passaggio alle colline moreniche del Riss che caratterizzano il centro abitato di Tradate e l'area d'interesse. Muovendosi ulteriormente verso Est, la morfologia del territorio diventa maggiormente ondulata segnando il passaggio ai depositi più antichi di origine glaciale della glaciazione Mindel ("Ferretto").

L'assetto geologico descritto trova riscontro sulla carta di inquadramento in scala 1: 5.000 di **Tavola 3**. Di seguito si propone una descrizione speditiva dei principali caratteri delle formazioni cartografate (estratte dallo studio geologico del vigente PGT comunale di Tradate e Locate Varesino), ed elencate in ordine cronologico dalla più antica alla più recente.

UT UNITÀ DI TRADATE (Fluvioglaciale Riss degli Autori precedenti)

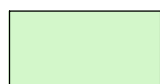
L'unità è costituita da depositi fluvioglaciali prevalentemente grossolani. La litologia dominante è rappresentata da ghiaie a supporto clastico, con matrice fine (limoso-argillosa) talvolta abbondante di colore marrone ocraceo. I ciottoli sono generalmente da arrotondati a subarrotondati, poligenici, con diametro variabile, generalmente inferiore ai 20 cm. Il grado di alterazione è medio. I depositi sono massivi o organizzati in livelli mal definiti, identificabili per variazioni granulometriche. Localmente le ghiaie sono ricoperte da un livello di sedimenti fini di spessore variabile tra 1.5 e 2.5 metri costituito da limi e limi argillosi massivi. La colorazione è bruno rossiccia. Il limite tra il livello superiore e le ghiaie è generalmente netto.

Questa unità costituisce la piana fluvioglaciale sulla quale è sviluppato il centro abitato di Tradate, la frazione di Abbiate Guazzone e l'abitato di Locate.

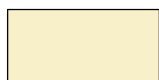
LO - UNITÀ DI LONATE CEPPINO (Fluvioglaciale Wurm degli Autori precedenti)

Questa unità è costituita da depositi fluvioglaciali, prevalentemente ghiaie a supporto clastico, localmente a supporto di matrice sabbiosa. I ciottoli sono prevalentemente arrotondati ed hanno un diametro variabile fino ad un massimo di 30 cm; sono presenti alcuni livelli ben selezionati. I clasti carbonatici ed alcuni

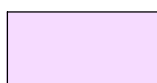
LEGENDA



UNITA' DI LONATE CEPPINO (Fluvioglaciale Wurm)
depositi fluvioglaciali costituiti da ghiaie a supporto
clastico localmente a supporto di matrice sabbiosa



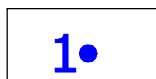
UNITA' DEL FONTANILE (Fluvioglaciale Wurm)
Depositi di piana alluvionale deposti dal Torrente
Fontanile di natura sabbioso-limosa con rari ciottoli



UNITA' DI TRADATE (Fluvioglaciale Riss)
Depositi fluvioglaciali a prevalenza da ghiaie, con
matrice sabbiosa e limoso/argillosa con profilo di
alterazione variabile tra 0.5 e 3 m



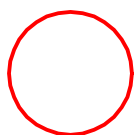
Pozzi idropotabili e codice identificativo



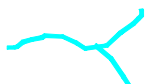
Pozzi ad usi diversi e codice identificativo



Linee isopiezometriche in m s.l.m.



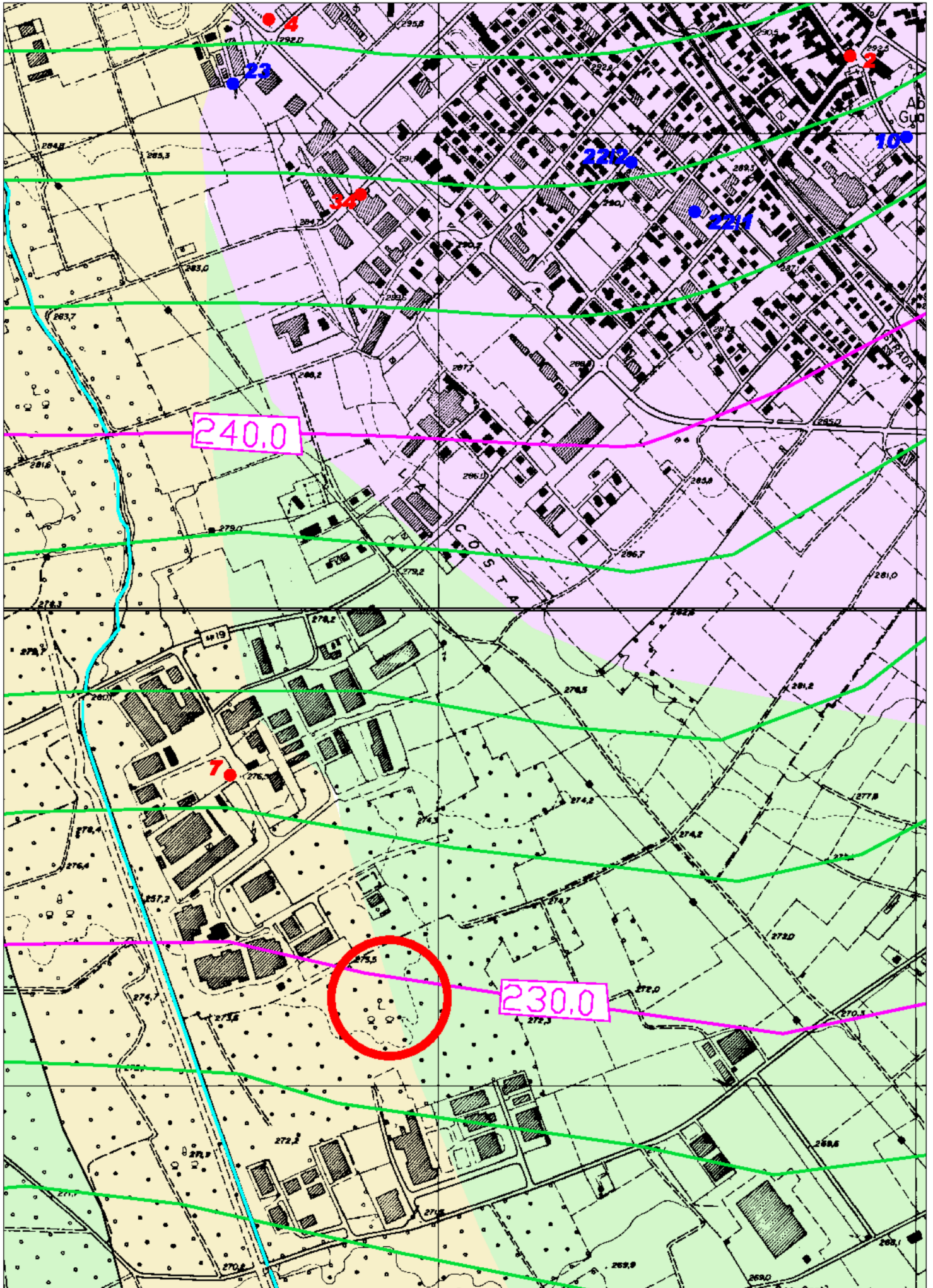
Ubicazione area d'indagine



Torrente Fontanile

TAVOLA 3

Carta di inquadramento geologico-idrogeologico alla scala 1:5.000
(base topografica sezione A5d2- A5e2 della Carta Tecnica Regionale)



granitici si presentano alterati. Localmente si rinvencono livelli sabbiosi ben selezionati con scarsa matrice limosa.

L'unità costituisce il livello fondamentale della pianura della bassa Provincia di Varese.

FO - UNITÀ DEL T. FONTANILE (Fluvioglaciale Wurm degli Autori precedenti)

Depositi di piana alluvionale depositi dal Torrente Fontanile che ha rimaneggiato il materiale dell'Unità precedente. Litologicamente sono costituiti da sedimenti prevalentemente sabbioso-limosi con alternanza di livelli ghiaiosi (ghiaie fini) e rari ciottoli. I limiti areali di tale unità non sono indicati con certezza in quanto manca un'espressione morfologica distintiva rispetto all'Unità di Lonate Ceppino con la quale c'è un rapporto stratigrafico di ricoprimento.

In relazione alle indagini in sito eseguite, l'area di studio ubicata prevalentemente all'interno dell'Unità Del Fontanile, comunque in una porzione di passaggio con l'Unità di Lonate Ceppino e risulta caratterizzata da depositi sabbioso-limosi-argillosi superficiali passanti a depositi a granulometria maggiore in profondità.

4.2 ELEMENTI IDROGEOLOGICI

L'assetto geologico-strutturale descritto in precedenza nonché la litologia delle formazioni affioranti condiziona fortemente ed inevitabilmente anche l'assetto idrogeologico locale soprattutto per quanto concerne le modalità di circolazione delle acque sotterranee ed i parametri idrogeologici generali quali la permeabilità.

Dal punto di vista idrogeologico, gli acquiferi sono contenuti nei depositi pleistocenici continentali e marini che costituiscono parte del bacino idrogeologico della Pianura Padana.

I territori dei Comuni di Tradate e Locate Varesino sono sede di acquiferi nei depositi fluvioglaciali e fluviali pliopleistocenici alimentati soprattutto per infiltrazione delle acque meteoriche nelle unità più permeabili.

La morfologia piezometrica dell'acquifero principale, contenuto nella unità delle ghiaie e conglomerati prevalenti, è stata ricostruita sulla base delle carte isopiezometriche elaborate nell'ambito di studi idrogeologici a scala provinciale

(AATO della Provincia di Varese e Provincia di Como) e a scala locale (Studio idrogeologico del territorio del Parco Pineta – Parmigiani, aprile 2010).

L'acquifero principale è contenuto nell'unità delle ghiaie e conglomerati prevalenti e ha andamento principalmente N-S; Le quote piezometriche sono comprese tra 300 m nella zona nord al confine con Venegono e circa 225 m s.l.m. in corrispondenza del territorio di Locate Varesino con direzioni del flusso idrico prevalentemente N-S e NE-SW. Il gradiente idraulico medio della falda varia dal 2% all'1% circa verso S, in accordo con la pendenza media delle superfici del pianalto di poco inferiori all'1,5%.

Nel dettaglio l'area di studio posta nella porzione al confine tra i due territori comunali a sud del pozzo n.7 ad uso idropotabile (Zona industriale comune di Tradate), presenta una falda principale sviluppata all'interno dei depositi sabbioso-ghiaiosi superficiali con soggiacenza pari a circa 40 m s.l.m. quindi tale da non poter interagire negativamente con le opere in progetto.

Le uniche problematiche legate alla presenza di acqua possono far riferimento all'instaurarsi o meno di piccole falde sospese localizzate, legate alle precipitazioni che si sviluppano o condizioni di ristagno superficiale connesso alla presenza di depositi di natura limoso-argillosa superficiale.

5.3 VALUTAZIONE DELLA PERMEABILITA' DEI TERRENI

In relazione alla litologia ipotizzata ed allo stato d'addensamento dei terreni in posto ricavata dai dati di letteratura esistenti, è stato possibile attribuire alle diverse unità riconosciute un valore di permeabilità medio-basso, in linea con metodi qualitativi ben noti in letteratura.

Il coefficiente di permeabilità dipende per la maggior parte dalle caratteristiche del mezzo attraversato, sotto forma di:

- dimensione e forma dei grani, granulometria (con particolare riferimento alla quantità, al tipo e alla distribuzione delle parti fini);
- stato di addensamento dei terreni (ad esempio per terreni a granulometria uniforme all'aumentare della densità relativa il coefficiente di permeabilità diminuisce).

In particolare, in funzione della granulometria si possono definire per i vari tipi di terreno valori orientativi del coefficiente di permeabilità, riportati in Tabella 1 e in Tabella 2, in cui si osserva innanzitutto un campo di variabilità tra i terreni a supporto prevalentemente granulare (ghiaie e sabbie) caratterizzati da valori medio alti ($>10^{-2}$ m/s), e definiti permeabili, e terreni a grana fine o supporto coesivo (limi e argille) caratterizzati da valori bassi ($<10^{-6}$ m/s), definiti impermeabili.

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}
<i>Grado di permeabilità</i>	alto		medio		basso		molto basso		impermeabile			
<i>Drenaggio</i>	buono				povero			praticamente impermeabile				
<i>Tipo di terreno</i>	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							

Tabella 1: Valori indicativi del coeff. di permeabilità dei terreni, in funzione della litologia.

Grado di permeabilità	Valore di k (cm/sec.)
ALTO	superiore a 10^{-1}
MEDIO	$10^{-1} \div 10^{-3}$
BASSO	$10^{-3} \div 10^{-5}$
MOLTO BASSO	$10^{-5} \div 10^{-7}$
IMPERMEABILE	minore di 10^{-7}

Tabella 2: Valori indicativi del coeff. di permeabilità dei terreni, in funzione del grado di permeabilità

5.4 PROVA DI PERMEABILITÀ IN POZZETTO SUPERFICIALE A CARICO VARIABILE

Per la caratterizzazione idrogeologica ai fini della verifica delle condizioni di drenaggio nell'area interessata dalle opere in progetto è stata condotta una campagna d'indagini in sito (la cui ubicazione è riportata nella figura seguente), finalizzata alla definizione della permeabilità dei terreni.

In base alle necessità del presente studio di valutare le caratteristiche di conducibilità del primo sottosuolo nell'area in cui è inserito il progetto, è fondamentale disporre di prove quantitative della permeabilità.

In questo senso, sono state realizzate due prove di permeabilità in pozzetto superficiale a carico variabile (altrimenti denominate prove infiltrometriche). Le prove infiltrometriche sono state eseguite in corrispondenza del terreno di fondo scavo all'interno degli scavi S1 e S2.

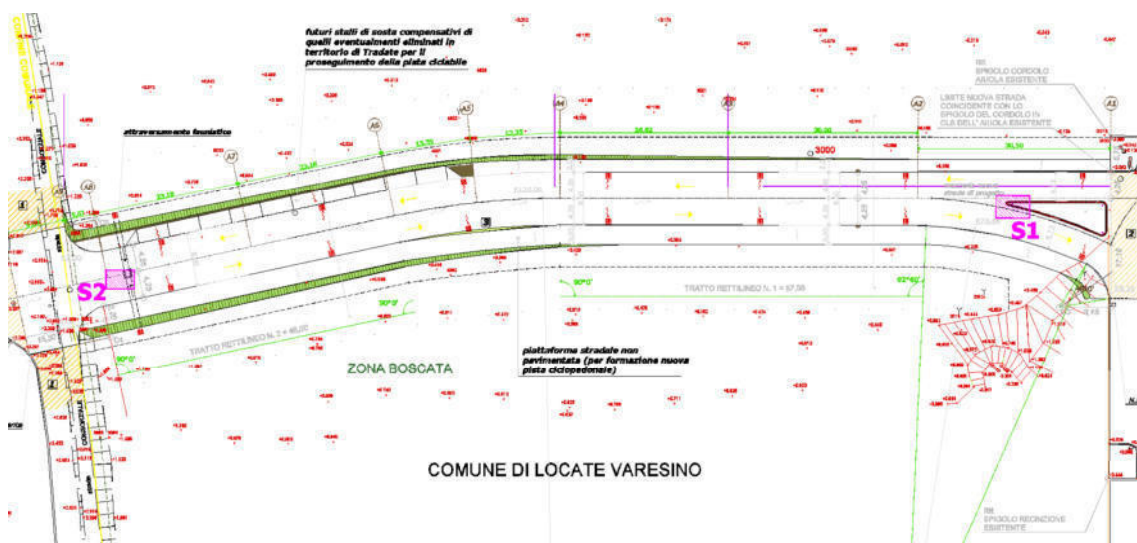


Figura 1: Ubicazione degli scavi di saggio S1 e S2 all'interno dei quali sono state eseguite le prove infiltrometriche (su stralcio planimetria fornita dalla Committenza)

L'attrezzatura utilizzata (denominata infiltrometro ad anello singolo) consiste in un anello cilindrico metallico del diametro interno di 30.5 cm, dotato di apposite impugnature per consentire l'immorsamento nel terreno fino ad alcuni

centimetri di profondità (in genere 10/15 cm) in corrispondenza del punto di prova da analizzare.

In questo caso il punto di prova è costituito dal fondo dello scavo di saggio della profondità di circa 2.0 m appositamente eseguito ed adeguatamente predisposto allo scopo. L'altezza e il diametro dell'anello utilizzato per la prova non sono standardizzati, ma possono essere adattati di volta in volta al terreno sul quale viene eseguita la misura secondo correlazioni basate sul diametro massimo dei grani che lo costituiscono.

La prova di permeabilità così conformata consente di approfondire in modo esaustivo le richieste di dati empirici per il dimensionamento di opere di dispersione nel primo sottosuolo e consiste nel riempire di acqua pulita un cilindro inserito nel tratto di terreno da investigare, per uno spessore non inferiore a circa 20 cm, nel permettere una prima fase di completa saturazione del terreno e nel misurare l'abbassamento del livello dell'acqua all'interno del cilindro al passare del tempo. La durata della prova varia in funzione della granulometria dei terreni ed in genere è eseguita fino a completo assorbimento del volume d'acqua utilizzato: il tempo d'esecuzione della prova, quindi, varia da pochi minuti nei terreni più grossolani, fino ad alcune ore (o giorni) per quelli più fini. I principali vantaggi di questa prova risiedono nel fatto che l'apparecchiatura è economica, di facile installazione e versatile; infatti, a seconda dei terreni è possibile variare il diametro dell'anello per diminuire l'effetto dell'infissione. Permette inoltre di operare sia in terreni fini sia grossolani, con valori di permeabilità compresi tra 10^{-2} e 10^{-6} cm/s.



Figura 2: Attrezzatura di prova – infiltrometro ad anello singolo con maniglie per l’infissione nel terreno

Perciò, riconducendo le modalità d’esecuzione della prova ad altre prove ben note in letteratura, l’infiltrometro svolge le funzioni di un pozzetto in una prova di permeabilità a carico variabile. I dati ricavati permettono una stima del valore della permeabilità tramite le formule delle prove in pozzetto a carico variabile, che dipendono dal raggio dell’infiltrometro utilizzato, da un fattore di forma (in funzione del coefficiente di uniformità del terreno) e dalla variazione dell’altezza della colonna d’acqua con il tempo:

con:

$$k \text{ (cm/s)} = \frac{d}{32} \cdot \frac{(h_2 - h_1)}{(t_2 - t_1)} \cdot \frac{1}{h_m}$$

- d = diametro del pozzetto di riferimento (30.5 cm);
 h_1, h_2 = altezza della colonna d'acqua al tempo t_1, t_2 (cm);
 t_1, t_2 = tempi da inizio prova delle letture h_1, h_2 (sec);
 h_m = altezza media dell'acqua nel pozzetto (cm).

Di seguito vengono riportati i risultati delle prove effettuate all'interno del lotto; i dati utilizzabili, interpretati fra l'insieme di quelli acquisiti, risultano unicamente quelli relativi al regime idraulico stazionario, ricavabili graficamente tramite un'interpolazione lineare dei dati di abbassamento registrati.

5.4.1 Prova di permeabilità S1

Letture (cm)	Abbassamento (cm)	Tempo (s)
23.6	0	0
23.4	0.2	30
23.2	0.4	60
22.8	0.8	120
22.7	0.9	180
22.6	1	240
22.5	1.1	300
22.4	1.2	360
22.3	1.3	420
22.2	1.4	480
22	1.6	540
21.9	1.7	600
21.7	1.9	720
21.5	2.1	840
21.3	2.3	960
21.1	2.5	1080
20.9	2.7	1200

Tabella 3: Risultati della prova di permeabilità S1 in pozzetto a carico variabile

L'abbassamento complessivo in un periodo di tempo di 1'200 secondi è risultato di 2,7 cm. Il grafico relativo all'interpretazione della prova effettuata è riportato nelle seguenti figure.

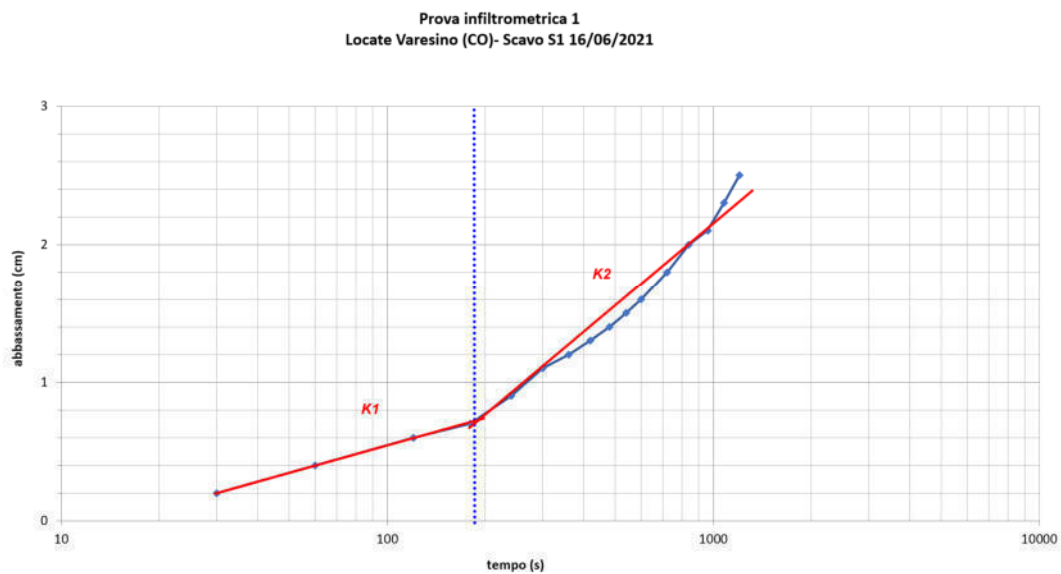


Figura 3: grafico prova infiltrometrica 1

In base ai dati utili ricavati e diagrammati è stata quindi riportata la conducibilità idraulica calcolata nella seguente tabella, permettendo un confronto critico dei risultati:

	<i>Metodo utilizzato</i>	<i>Permeabilità (cm/s)</i>
Scavo S1 Prova 1	<i>Pozzetto superficiale</i>	$6,05 \times 10^{-4}$

Tabella 3: Valori di permeabilità ricavati da diversi tratti di prova

5.4.2 Prova di permeabilità S2

Lettura (cm)	Abbassamento (cm)	Tempo (s)
23.6	0	0
23.4	0.2	30
23.2	0.4	60
22.8	0.8	120
22.7	0.9	180
22.6	1	240
22.5	1.1	300
22.4	1.2	360
22.3	1.3	420
22.2	1.4	480
22	1.6	540
21.9	1.7	600
21.7	1.9	720
21.5	2.1	840
21.3	2.3	960
21.1	2.5	1080
20.9	2.7	1200

Tabella 3: Risultati della prova di permeabilità S2 in pozzetto a carico variabile

L'abbassamento complessivo in un periodo di tempo di 1'200 secondi è risultato di 2,9 cm. Il grafico relativo all'interpretazione della prova effettuata è riportato nelle seguenti figure.

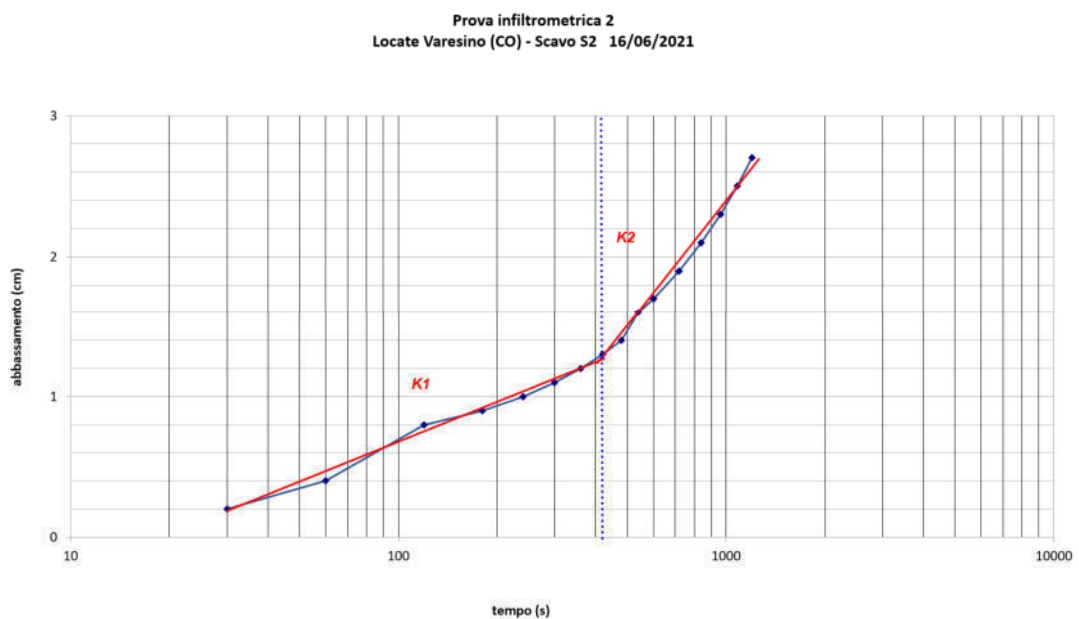


Figura 4: grafico prova infiltrometrica 2

In base ai dati utili ricavati e diagrammati è stata quindi riportata la conducibilità idraulica calcolata nella seguente tabella, permettendo un confronto critico dei risultati:

	<i>Metodo utilizzato</i>	<i>Permeabilità (cm/s)</i>
Scavo S2 Prova 2	<i>Pozzetto superficiale</i>	$7,43 \times 10^{-4}$

Tabella 3: Valori di permeabilità ricavati da diversi tratti di prova

Mediando i risultati ottenuti dalle diverse prove infiltrometriche, la conducibilità idraulica individuata è pari a circa $6,74 \times 10^{-4}$ cm/s (cioè $6,74 \times 10^{-4}$ m/s), permettendo di assegnare ai terreni una permeabilità medio-bassa, tipica dei depositi rinvenuti in fase di scavo a componente sabbioso-argillosa.

In particolare, nell'ambito del progetto in esame è stato assegnato un valore di permeabilità pari a $6,74 \times 10^{-6}$ m/s, caratteristico di terreni a permeabilità medio-bassa, comunque cautelativo rispetto alle litologie presenti.

6 INQUADRAMENTO IDROLOGICO, IDRAULICO ED INVARIANZA IDRAULICA

L'inquadramento climatico risulta fondamentale per la valutazione degli afflussi e dei deflussi che determinano il dimensionamento delle opere di smaltimento delle acque meteoriche.

Si riconferma la tendenza, iniziata negli anni '80, ad un lento e progressivo aumento delle temperature medie e ad una estremizzazione dei fenomeni atmosferici violenti. Le precipitazioni tendono a divenire concentrate in brevi periodi, intervallate a periodi più o meno lunghi di siccità.

In particolare, le stagioni intermedie, primavera e autunno, già tendenzialmente piovose, tendono a concentrare ancora maggiormente le precipitazioni dell'anno, portando il clima verso una "tropicalizzazione", ossia verso un clima tipico dei paesi tropicali, che conoscono due sole stagioni, una asciutta e una molto umida.

In questo senso, soprattutto per le valutazioni relative alle modalità di smaltimento delle acque di prima pioggia, è importante avere a disposizione statistiche relative a precipitazioni di breve durata, allo scopo di poter valutare la massima intensità di pioggia prevedibile e, di conseguenza, le necessità d'invaso.

Durata ed intensità della precipitazione sono legate tra loro dalle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) che rappresentano la caratterizzazione meteoclimatica del sito indagato: a tale proposito, i parametri pluviometrici sono stati recuperati dal portale idrologico geografico di ARPA Lombardia.

6.1 DETERMINAZIONE DELLE LINEE SEGNALTRICI DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA (LSPP)

La previsione quantitativa delle piogge intense in un determinato punto è effettuata attraverso la determinazione della curva di probabilità pluviometrica,

cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno. Si ricorda che con il termine altezza di precipitazione in un punto, comunemente misurata in mm, si intende l'altezza d'acqua che si formerebbe al suolo su una superficie orizzontale e impermeabile, in un certo intervallo di tempo (durata della precipitazione) e in assenza di perdite.

La curva di probabilità pluviometrica è comunemente espressa da una legge di potenza del tipo:

$$h(t) = a t^n$$

in cui i parametri a e n dipendono dallo specifico tempo di ritorno considerato.

Per il calcolo della linea segnatrice 1-24 ore, i parametri sono stati ricavati dal portale idrologico geografico di ARPA Lombardia.

I dati ottenuti dalla pagina di ARPA riportano le seguenti altezze massime di pioggia regolarizzate (mm):

H (mm) x durate 1-24 ore

Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni
1	29.9	40.2	47.1	53.7	62.4	69.0	75.6
2	37.8	50.9	59.7	68.1	79.1	87.4	95.8
3	43.5	58.5	68.5	78.2	90.9	100.4	110.0
4	48.0	64.5	75.6	86.3	100.3	110.8	121.4
5	51.8	69.7	81.6	93.2	108.2	119.6	131.0
6	55.1	74.1	86.9	99.1	115.2	127.3	139.4
7	58.1	78.2	91.6	104.5	121.4	134.2	147.0
8	60.8	81.8	95.8	109.4	127.1	140.4	153.8
9	63.3	85.2	99.8	113.9	132.3	146.2	160.1
10	65.6	88.3	103.4	118.1	137.1	151.6	166.0
11	67.8	91.2	106.9	122.0	141.7	156.6	171.5
12	69.8	94.0	110.1	125.7	146.0	161.3	176.7
13	71.8	96.6	113.1	129.1	150.0	165.8	181.6
14	73.6	99.1	116.0	132.5	153.9	170.0	186.3
15	75.4	101.4	118.8	135.6	157.5	174.1	190.7
16	77.1	103.7	121.5	138.6	161.1	178.0	195.0
17	78.7	105.8	124.0	141.6	164.4	181.7	199.0
18	80.2	107.9	126.4	144.3	167.7	185.3	203.0
19	81.7	109.9	128.8	147.0	170.8	188.8	206.8
20	83.2	111.9	131.1	149.6	173.8	192.1	210.4
21	84.6	113.8	133.3	152.1	176.8	195.3	214.0
22	85.9	115.6	135.4	154.6	179.6	198.5	217.4
23	87.2	117.4	137.5	157.0	182.3	201.5	220.7
24	88.5	119.1	139.5	159.3	185.0	204.4	223.9

ed i coefficienti “n” ed “a”:

Parametri 1-24 ore

Parametro	Valore
A1 - Coefficiente pluviometrico orario	31.85
N - Coefficiente di scala	0.34189999
GEV - parametro alpha	0.28330001
GEV - parametro kappa	-0.0094999997
GEV - parametro epsilon	0.83350003

Riportando in grafico i parametri calcolati sono state quindi tracciate le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica per i tempi di ritorno di 2, 5, 10, 20, 50, 100 e 200 anni, come riportato nella figura seguente:

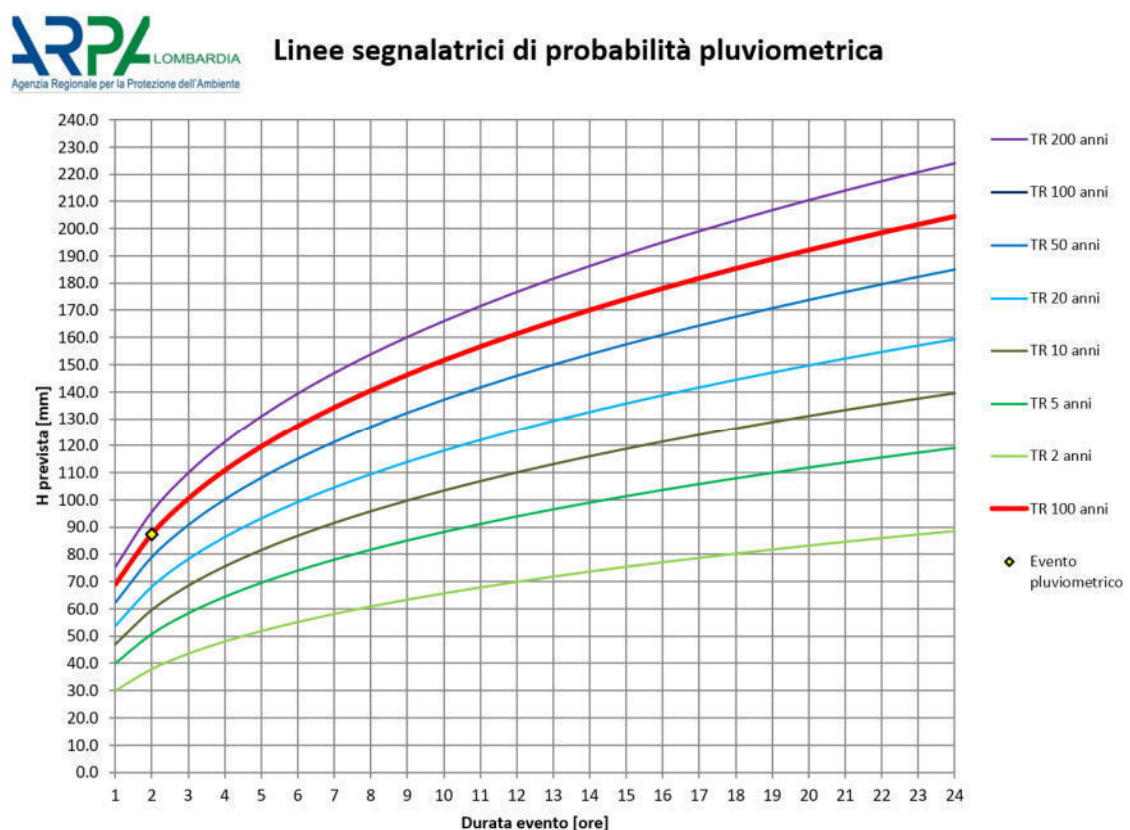


Figura 3: Grafico delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica

L'evento meteorico di riferimento da assumere a base della progettazione è quello corrispondente a tempo di ritorno 50 anni, secondo quanto indicato

all'art.11 del R.R. 7/2017. Il medesimo articolo stabilisce inoltre che l'opera dovrà essere verificata anche per un evento avente tempo di ritorno 100 anni: tale verifica è mirata a valutare che, in presenza di un evento con Tr100, non si determinino esondazioni che arrechino danni a persone o a cose, siano esse le opere stesse o le strutture presenti nell'intorno.

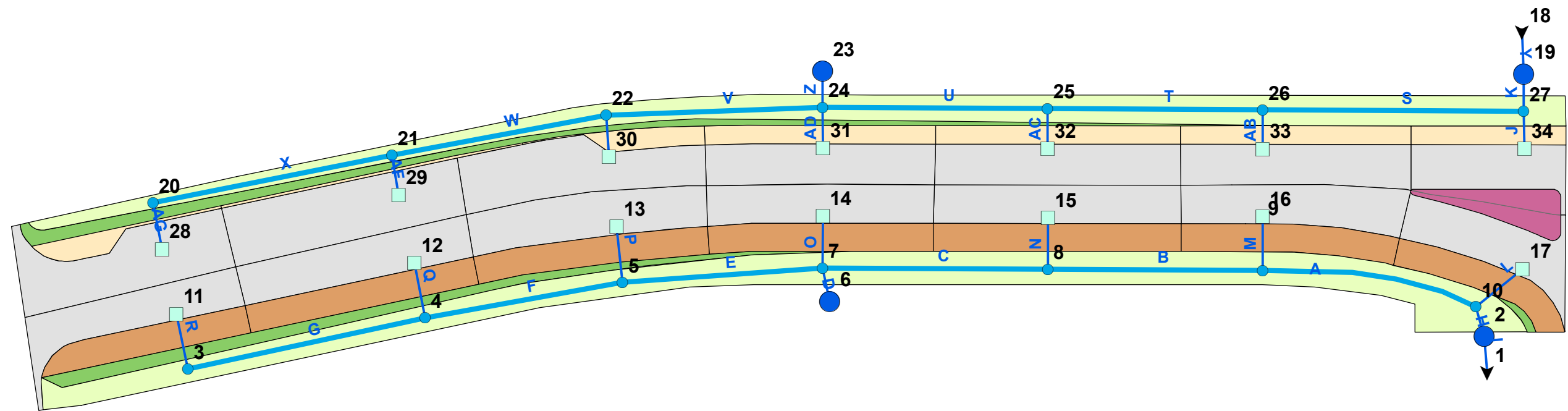
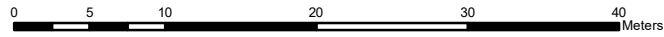
Inoltre, per verificare il franco di sicurezza di un evento con tempi di ritorno di 100 anni, verranno quindi utilizzate per la modellazione piogge con Tr100.

6.2 DEFINIZIONE DELLA SUPERFICIE SCOLANTE IMPERMEABILE E DEI CRITERI D'INVARIANZA PER LO SMALTIMENTO DELLE ACQUE CHIARE

Complessivamente la superficie dell'area di intervento soggetta ad invarianza idraulica risulta di circa 3'461.5 mq; di questi circa 1'592.7 mq saranno occupati dalla strada e dai parcheggi in asfalto, circa 47.2 mq dall'isola spartitraffico, circa 493.8 mq dalla pista ciclopedonale, circa 243.6 mq dalla superficie sterrata, circa 177.0 mq dalla scarpata di raccordo e circa 907.2 mq da superfici a verde permeabile non collettato (cfr. tavola 2).

In base alle differenti tipologie di coperture in progetto ed alle ulteriori considerazioni svolte nei paragrafi precedenti, è possibile fornire alcune indicazioni sulle modalità di gestione delle acque chiare in aggiunta a quelle esistenti allo scopo di fornire un bilancio idrico preliminare circa le quantità d'acqua conseguenti alle precipitazioni meteoriche che vengono recapitate direttamente all'interno del comparto, limitatamente alle strutture di nuova realizzazione.

Sono state infatti analizzate le modalità di raccolta delle acque chiare e la loro destinazione. Le superfici non permeabili che contribuiscono a generare il deflusso delle acque meteoriche sono riassunte nella seguente tabella suddivisa nelle due differenti tipologie di copertura (come riassunto in **Tavola 4**).



Legenda










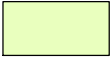


- | | | | |
|---|--|--|---|
|  Carreggiata e parcheggi in asfalto (coeff. 1.0) |  Sterrato (coeff. 0.3) |  Caditoia quadrata 0.5 m x 0.5 m |  Trincea drenante (lunghezza 150 m, h. 1.50 m) |
|  Isola spartitraffico (coeff. 1.0) |  Scarpata di raccordo (coeff. 0.0) |  Allaccio trincea drenante |  Tubazioni |
|  Pista ciclopedonale (coeff. 0.30) |  Verde permeabile (coeff. 0.0) |  Pozzo perdente circolare (diam. 1.50 m , h. 2.0 m) |  Outlet/verifica recettore |

Tavola 4
 Delimitazione dei bacini e schema idraulico delle superfici di intervento alla scala 1:500

PROGETTO				
SUPERFICI IMPERMEABILI		mq reali	coeff.	mq ragguagliati
Superficie 1	STRADA ASFALTATA	1,592.7	1.0	1,592.7
Superficie 2	ISOLA SPARTITRAFFICO	47.2	1.0	47.2
Superficie 3	PISTA CICLOPEDONALE	493.8	0.3	148.1
Superficie 4	SUPERFICIE STERRATA	243.6	0.3	73.1
Superficie 5	SCARPATA	177.0	0.0	0.0
Superficie 6	VERDE PERMEABILE	907.2	0.0	0.0
TOTALE 1		3,461.5		1,861.1

Tabella 3: Riassuntiva superfici coperte in progetto da smaltire attraverso la rete di acque chiare

I dati di cui alle precedenti tabelle contribuiscono a fornire un valore complessivo di superfici non permeabili da smaltire attraverso la rete di acque chiare (ragguagliati per coefficienti di deflusso $\psi = 1.00$ – superficie pavimentata e asfaltata, $\psi = 0.30$ – superficie sterrata e pista ciclopedonale), pari a circa 1'861.1 mq.

Ai fini del Regolamento Regionale, dato che il “coefficiente di deflusso medio ponderale” dell’intervento è pari a $\psi = 0.54$, quindi superiore a $\psi = 0.40$, e la superficie interessata dall’intervento superiore ai 1.000 mq, l’intervento è classificabile come “**Classe 2 - Impermeabilizzazione potenziale media**”. Inoltre, il Comune di Locate Varesino è classificato in area “A” come ambito territoriale.

Secondo la tabella 1 del RR n.7 del 23/11/2017, così così come variato dalla D.G.R. N° IX/1516 del 15/04/2019 “Disposizioni sull’applicazione dei principi dell’invarianza idraulica ed idrologica; modifiche al Regolamento Regionale 23 Novembre 2017, N. 7”, le modalità di calcolo previste sono quelle del Metodo delle sole piogge.

L’evento meteorico di riferimento da assumere a base della progettazione è quello corrispondente a tempo di ritorno 50 anni, secondo quanto indicato all’art.11 del R.R. 7/2017. Il medesimo articolo stabilisce inoltre che l’opera dovrà essere verificata anche per un evento avente tempo di ritorno 100 anni: tale

verifica è mirata a valutare che, in presenza di un evento con T 100, non si determinino esondazioni che arrechino danni a persone o a cose, siano esse le opere stesse o le strutture presenti nell'intorno.

Pertanto, ai fini dell'invarianza idraulica, l'intervento dovrà soddisfare i seguenti requisiti minimi:

- Volume di laminazione superiore a 800 mc/ha di superficie scolante impermeabile, cioè superiore a **148.89 mc**;
- Eventuale troppo pieno finale recapitato al ricettore (fognatura comunale) con portata specifica inferiore ai limiti imposti dal Regolamento Regionale per il Comune di Locate Varesino (Zona A) pari a 10 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile che per il sito d'intervento e le superfici in esame risulta pari a **1.86 l/s**;
- Tempo di svuotamento del volume di laminazione inferiore a 48 ore.

Per quanto riguarda il dimensionamento per tempi di ritorno di 50 anni, applicando il **Metodo delle Sole Piogge** per il calcolo dei volumi di laminazione, bisogna soddisfare un volume minimo di **192,83 mc**.

Per la verifica prevista dall'art. 11 comma 2.a)2. circa il rispetto del tempo di ritorno Tr100, da adottare per la verifica dei franchi di sicurezza delle opere, verrà convalidato il funzionamento della rete con piogge con Tr100 tramite il modello idraulico di dettaglio descritto ai capitoli successivi.

Per il calcolo ed il dimensionamento delle infrastrutture di laminazione e dispersione delle acque è stato utilizzato apposito software di calcolo per le modellizzazioni idrauliche riferite alle reti di smaltimento acque denominato "MIKE URBAN Collection System", distribuito dal Danish Hydraulic Institute (DHI).

Nel capitolo successivo si descrivono le caratteristiche del modello implementato e i risultati ottenuti.

7 ALLESTIMENTO DEL MODELLO IDROLOGICO-IDRAULICO

La simulazione idraulica è stata effettuata con l'ausilio di una modellazione idrologico-idraulica di tipo matematico attraverso il codice di calcolo MIKE URBAN Collection System, distribuito dal Danish Hydraulic Institute (DHI). La complessità dei fenomeni idraulici relativi a questi dispositivi richiede un approccio di studio più approfondito rispetto a quello classico proposto in letteratura, sia per quanto riguarda la precisione di calcolo che per l'analisi di come variano le grandezze durante l'evento critico. Nel presente capitolo si descrivono le caratteristiche del modello implementato e i risultati ottenuti. Per ulteriori approfondimenti relativi al codice di calcolo si rimanda all'Appendice 1: Descrizione del codice di calcolo MIKE URBAN Collection System in coda alla relazione.

MIKE URBAN CS (Collection System) utilizza differenti motori di calcolo per la simulazione idrodinamica delle correnti non stazionarie nelle reti di drenaggio, con l'eventuale alternanza della presenza di correnti a pelo libero ed in pressione. Per la presente simulazione idraulica è stato utilizzato il motore di calcolo denominato "MIKE 1D" che permette la modellazione di un'ampia gamma di strutture idrauliche, incrementi di pressione, particolari strutture definite dall'utente, pozzi a dispersione, regole operative complesse, ecc.

Il modello di calcolo idrodinamico risolve le equazioni complete di De St. Venant attraverso la rete di drenaggio (a maglia chiusa o ramificata), permettendo la modellazione degli effetti di rigurgito, inversioni di flusso, sovrappressioni nei tombini, deflusso a pelo libero ed in pressione, condizioni al contorno variabili nel tempo (ad esempio effetti di marea), bacini di accumulo. Il motore di calcolo MOUSE è stato progettato per simulare qualsiasi tipologia di rete e tubazioni con sezione di qualsiasi forma. Qualsiasi struttura può essere rappresentata, comprese pompe, luci sottobattenti, sifoni ecc.

Lo schema di calcolo utilizza una soluzione numerica implicita alle differenze finite delle equazioni di De St. Venant. L'algoritmo numerico usa un passo di calcolo autoadattante, che fornisce una soluzione efficiente ed accurata sia nelle reti ramificate sia in quelle a maglia chiusa. Possono essere simulate

condizioni sia di corrente lenta sia di corrente veloce grazie allo schema computazionale che si adatta alle condizioni locali di deflusso. Infine, sono simulati con precisione gli effetti di rigurgito e le sovrappressioni.

Di seguito si descrivono nel dettaglio le singole componenti che vanno a comporre la struttura del modello specifico della rete oggetto di studio.

7.1 ASSETTO DELLA RETE

La schematizzazione geometrica della rete è stata effettuata in modo da ottenere una buona rappresentazione dell'assetto progettuale generale in modo da simulare in modo attendibile la propagazione dell'evento meteorico verso i differenti recapiti e da rispettare i limiti quantitativi riportati al paragrafo precedente.

In particolare, la ricostruzione geometrica della rete avviene inserendo i nodi (nodes) della rete nei punti di intersezione delle tubature in progetto e le relative quote di piano campagna e di fondo. I vari pozzetti, identificati con il corretto numero di codifica, sono stati collegati tra loro in relazione alla ricostruzione della rete mediante rami principali (*Pipes and Canals*) a cui sono state associate le dimensioni in corrispondenza dei pozzetti stessi. Ai collettori, in relazione al materiale con cui sono stati realizzati, è stata assegnata una scabrezza di Manning pari a $0.001 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ per le tubazioni in PVC/PEAD e pari a $0.003 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ per le condotte in calcestruzzo. I pozzi disperdenti ed i bacini di raccolta (vasche di laminazione) sono stato definiti attraverso la struttura "*basin*"; tramite un'apposita maschera è possibile definire la relazione che lega l'altezza del solido al volume invasato. La definizione geometrica del solido è stata effettuata attraverso gli schemi progettuali ipotizzati per il rispetto dei criteri normativi ed inserito secondo schemi tipologici fissi modellizzati in relazione al volume massimo invasabile.

Sulla base della suddivisione dei bacini e sottobacini idrografici di competenza per le singole reti di drenaggio delle acque meteoriche vengono individuati all'interno del software di calcolo tutte le superfici che in caso di evento di pioggia recapitano le acque all'interno dei tratti di rete oggetto di studio.

In particolare, i bacini idrografici, distinti in relazione al piano quotato di riferimento e ai manufatti esistenti presenti nelle diverse aree, vengono ulteriormente suddivisi in sottobacini di minor dimensione e quindi collegati ad ogni caditoia/fognolo/pluviale direttamente connessi al bacino di riferimento suddivisi in maniera automatica in bacini più piccoli in relazione al numero di pozzetti atti alla raccolta delle acque. Per ciascun sottobacino, lo scorrimento superficiale e quindi il contributo alla rete sono definiti in funzione delle perdite iniziali, dell'area del bacino e delle perdite idrologiche continuative.

Per semplificare le operazioni di calcolo, alla luce delle caratteristiche del sito di studio, sono state assegnate a tutti i bacini caratterizzati un valore di "impermeabilità" (*imperviousness*) corrispondente ad un coefficiente di deflusso così come definito ai paragrafi precedenti.

La forma dell'idrogramma contribuente, determinata dal tempo di corrivazione e della relazione tempo-area definita (T-A curve), è stata invece assegnata in maniera automatica con un tempo di corrivazione mediato in relazione alla dimensione di ciascun bacino.

In particolare, si assume che la portata al colmo, assegnata una determinata precipitazione, dipenda soltanto dalle caratteristiche del bacino, queste ultime ammesse stazionarie e indipendenti dall'evento e dalla storia pregressa del bacino stesso. Questa ipotesi risulta fondamentale nel modello di calcolo impiegato in quanto permette di considerare la sovrapposizione degli effetti. Dalle ipotesi del modello sopra descritte ne consegue che esiste un tempo di corrivazione, T_c caratteristico del bacino, che rappresenta il tempo necessario perché la goccia caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino raggiunga la sezione di chiusura.

Aumentando la durata della precipitazione aumenterà di conseguenza l'area del bacino contribuente, fino al tempo di corrivazione, quando tutta la superficie del bacino sarà contribuente ovvero ogni goccia caduta nel bacino avrà raggiunto la sezione di chiusura.

Dato che usualmente l'intensità media di pioggia va diminuendo con l'aumentare della durata della stessa, come ampiamente dimostrato in letteratura

idraulica, la portata critica per il bacino è quella risultante da una precipitazione di durata pari al tempo di corrivazione.

7.2 CONFIGURAZIONE DELLA RETE DI PROGETTO

La rete è stata schematizzata tramite l'inserimento di 14 caditoie in cls di dimensioni standard di 0.50 m di lato poste ai lati della carreggiata a circa 25 metri lineari di distanza l'una dall'altra. I pozzetti risultano collegati alle trincee drenanti da un tubo in PVC di 0.2 m di diametro con pendenze verso Ovest.

Per quanto riguarda le infrastrutture necessarie per rispettare i limiti dell'invarianza idraulica, sono state schematizzate secondo step di avanzamento progettuali successivi diversi elementi allo scopo di soddisfare i criteri sia in termini di volume di laminazione che di portata in eccesso verso il ricettore finale, qui non presente in quanto è prevista una gestione completamente interna delle acque meteoriche quindi senza scarichi al ricettore.

In particolare, è stato ipotizzato un intervento di invarianza idraulica misto "dispersione/laminazione" sotto forma n. 2 trincee drenanti a sezione trapezia (figura 4) di lunghezza 150 m e n. 4 pozzi perdenti con diametro di 1.5 m (2.0 m nel modello, +30% di corona drenante laterale) e profondità di 2.0 m. All'interno della trincea drenante trapezoidale è inserito un tubo microfessurato, mentre la trincea è riempita con materiale drenante costituito da 2/3 di ciottoli ed 1/3 da vuoti interstiziali.

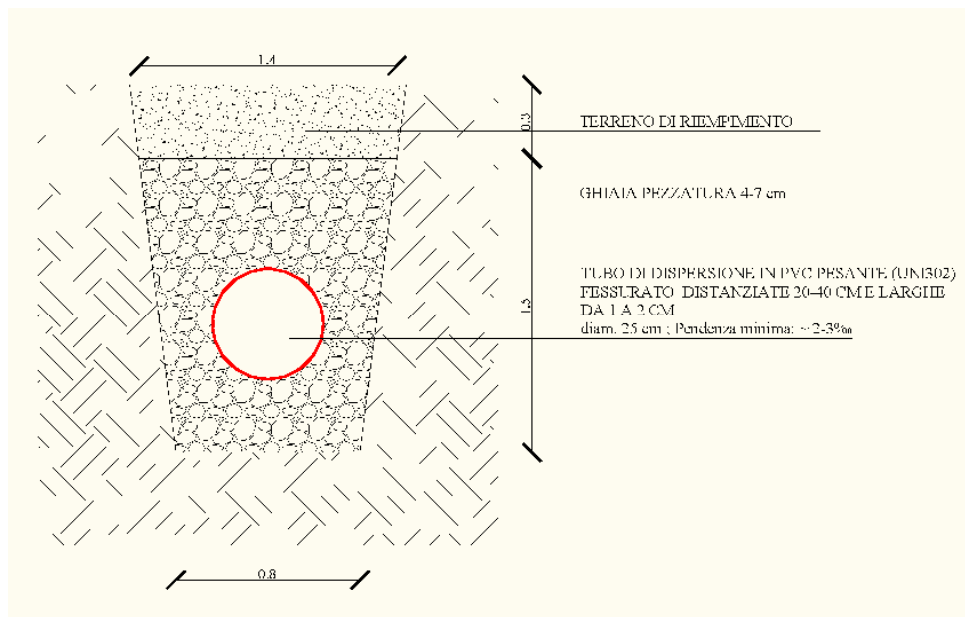


Figura 4: Sezione trincea drenante

Il volume utile di laminazione considerato per ogni trincea drenante è stato calcolato nel modo seguente:

$$\text{Volume utile} = \text{Lunghezza trincea} \times [\text{superficie tubo} + 1/3 (\text{superficie trapezio} - \text{superficie tubo})]$$

Il volume della trincea di lunghezza totale 150 m risulta quindi essere di circa 87.45 mc, di conseguenza le due trincee hanno un volume utile complessivo di circa 174.86 mc.

Nel software di modellazione idraulica, in base alla tipologia costruttiva delle due trincee drenanti che non possono garantire il volume necessario al soddisfacimento dei volumi di invarianza, sono stati aggiunti n. 4 pozzi perdenti con le caratteristiche volumetriche descritte in precedenza (raggio 1.50 m e h. 2.00 m) posti a valle e a metà delle trincee drenanti.

La dispersione avverrà all'interno del primo orizzonte al di sotto del coltivo, costituito da depositi di natura sabbioso-argillosa, a profondità relativamente superficiali (da 1.6 a 2.0 m da p.c.). È stato assegnato un valore di permeabilità

pari a $6,74 \times 10^{-6}$ m/s, caratteristico di terreni a permeabilità bassa, cautelativo rispetto alle litologie presenti.

La trincea drenante e i pozzi perdenti avranno duplice funzione sia di laminazione in termini di volume disponibile che di dispersione in sito. I bacini contribuenti e risultanti dalla suddivisione delle aree come in **Tavola 4** sono stati collegati ad ogni nodo di riferimento e quindi alla rete di smaltimento. Alla luce delle caratteristiche del sito di studio, sono stati assegnati ai bacini della sede stradale un valore di "impermeabilità" (imperviousness) corrispondente ad un coefficiente di deflusso di 1.00, ai bacini della pista ciclabile e della superficie sterrata un valore di "impermeabilità" (imperviousness) corrispondente ad un coefficiente di deflusso di 0.30. La forma dell'idrogramma contribuente, determinata dal tempo di corrivazione e della relazione tempo-area definita (T-A curve), è stata invece assegnata in maniera automatica con un tempo di corrivazione mediato in relazione alla dimensione planimetrica di ciascun bacino.

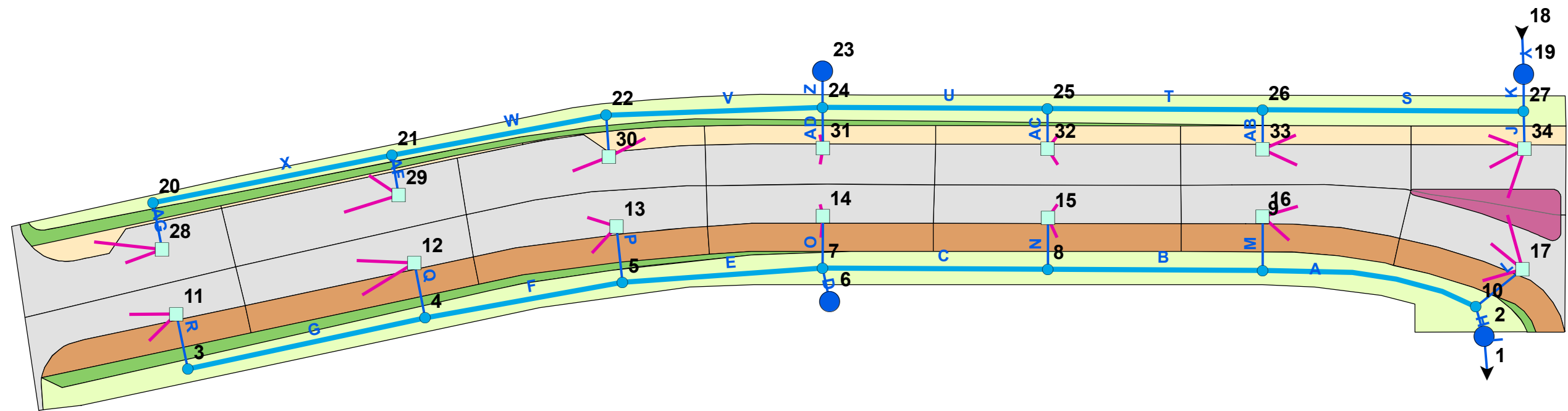
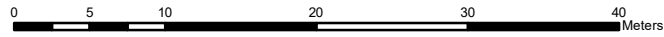
7.3 RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA

Per la simulazione idraulica sono stati utilizzati i parametri di pioggia relativi ad una precipitazione di 120 minuti, durata critica calcolata in base al "Metodo delle sole piogge".

Analizzando la linea segnatrice 1-24 ore ricavata dai parametri del portale idrologico geografico di ARPA Lombardia si evince un'intensità di pioggia di 87,4 mm per due ore, per tempi di ritorno di 100 anni.

È stato creato quindi un idrogramma di tipo rettangolare di 3000 minuti, con pioggia continua di 0.7284 mm/min per i primi 120 minuti per poi azzerarsi nei restanti 2880, per simulare l'onda di deflusso a precipitazioni esaurite e di scarico dei volumi d'acqua.

Come descritto nei capitoli precedenti, ai fini dell'invarianza idraulica, la modellazione idraulica dell'intervento dovrà soddisfare i seguenti requisiti minimi:



Legenda





- | | | | |
|---|--|--|---|
|  Carreggiata e parcheggi in asfalto (coeff. 1.0) |  Sterrato (coeff. 0.3) |  Caditoia quadrata 0.5 m x 0.5 m |  Trincea drenante (lunghezza 150 m, h. 1.50 m) |
|  Isola spartitraffico (metà) (coeff. 1.0) |  Scarpata di raccordo (coeff. 0.0) |  Allaccio trincea drenante |  Tubazioni |
|  Pista ciclopedonale (coeff. 0.30) |  Verde permeabile (coeff. 0.0) |  Pozzo perdente circolare (diam. 1.50 m , h. 2.0 m) |  Outlet/verifica recettore |
| | | |  Collegamento bacini scolanti / rete |

Tavola 5
Modello idraulico delle superfici di intervento alla scala 1:500

- Volume di laminazione superiore a 800 mc/ha di superficie scolante impermeabile, cioè superiore a **148.89 mc**;
- Troppo pieno finale con recapito alla fognatura chiara comunale con portata specifica inferiore ai limiti imposti dal Regolamento Regionale per il Comune di Locate Varesino (Zona A) pari a 10 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile che per il sito d'intervento e le superfici in esame risulta pari a **1.86 l/s**;
- Tempo di svuotamento del volume di laminazione inferiore a 48 ore.

La configurazione di progetto che ha permesso di rispettare i limiti dell'invarianza ha le seguenti caratteristiche:

- n. **1 trincea drenante** (codice nodo 3-4-5-7-8-9-10) con lunghezza minima di 150 m e profondità di 1.5 m (1.80 considerando il terreno superficiale), con volume utile complessivo pari a circa 87,45 mc
- n. **1 trincea drenante** (codice nodo 20-21-22-24-25-26-27) con lunghezza minima di 150 m e profondità di 1.5 m (1.80 considerando il terreno superficiale), con volume utile complessivo pari a circa 87,45 mc
- n. **4 pozzi perdenti** (codice nodo 2-6-19-23) con diametro minimo di 1.50 m (2.0 m nel modello, +30% di corona drenante laterale) e profondità di 2.00, con volume utile pari a 6,28 mc ciascuno (25,13 mc volume utile complessivo)

che si traduce in un volume utile per la laminazione complessivo pari a circa **199,99 mc**, superiore a 148,89 mc, volume minimo necessario.

Per quanto riguarda il dimensionamento per tempi di ritorno di 50 anni, applicando il "Metodo delle sole piogge" per il calcolo dei volumi di laminazione, bisogna soddisfare un volume minimo di **192,83 mc**. Il volume viene soddisfatto.

L'art. 11 comma 2.a)2. prevede la verifica dei franchi di sicurezza delle opere con tempo di ritorno Tr_{100} . Questo punto viene convalidato tramite il funzionamento corretto del modello idraulico, i cui risultati sono riportati di seguito. Infatti, tramite modellazione idrologica ed idraulica è stato verificato il completo contenimento del volume di acqua nelle opere previste riferibile ad un

evento con Tr100. Rispettando i limiti imposti allo scaricatore finale (1.86 l/s), qui non presente, il tempo di svuotamento di tale volume, in considerazione della dispersione in corrispondenza delle trincee drenanti e dei pozzi perdenti, risulta essere inferiore alle 48 h previste dal regolamento.

Fra i vari risultati della simulazione che il modello utilizzato può fornire, si è scelto di analizzare e restituire la portata massima riferita ad ogni tubazione comprensiva della tubazione di scarico al ricettore finale sulla quale è necessario soddisfare i limiti da R.R. 7/2017. In particolare, è da considerare la portata in uscita dagli ultimi elementi (codice nodo 1-18, codice tubazione I-Y).

Di seguito si riportano sia l'ipotesi progettuale di schema della rete (**Tavola 4** ed **Appendice 2**) che la tabella di restituzione dei calcoli elaborata dal software di modellizzazione idraulica relativamente ad ogni tratto di tubazione, individuabile in planimetria.

MUID	Link: Discharge [m ³ /s]
L	0.0015
M	0.0014
N	0.0015
O	0.0013
P	0.0016
Q	0.0015
R	0.0013
X	0.0003
W	0.0013
V	0.0016
U	0.0010
T	0.0007
S	0.0000
K	0.0000
Y	0.0000
G	0.0000
F	0.0000
E	0.0001
C	0.0005
B	0.0005

MUID	Link: Discharge [m ³ /s]
J	0.0012
AB	0.0014
AC	0.0014
AD	0.0013
AE	0.0016
AF	0.0021
AG	0.0016
A	0.0000
H	0.0000
I	0.0000
D	0.0007
Z	0.0012

Tabella 4: Riassuntiva portate massime per ogni tubazione

Per quanto riguarda l'ultimo pozzetto di ispezione con outlet, dalla tabella si evince che la portata massima nelle tubazioni I e Y, in uscita dai pozzi perdenti verso gli outlet è uguale a 0,0 l/s, compatibile con i 1,86 l/s ammissibili dal Regolamento e con una gestione completamente interna delle acque meteoriche, quindi senza scarichi al ricettore.

8 CONSIDERAZIONI GENERALI

Il modello idrologico-idraulico è stato realizzato, come già illustrato nei paragrafi precedenti, per poter laminare e successivamente disperdere quasi totalmente in sito una quantità d'acqua in condizione di piovosità critica, ipotizzando anche eventi di pioggia ripetuti con probabile condizione di pozzo parzialmente pieno, in modo da non sovraccaricare le reti di raccolta delle acque chiare.

Nonostante il benefico effetto degli elementi di laminazione ed allo scopo di ovviare all'invarianza idraulica, a tutela del locale assetto geomorfologico ed idrogeologico, è in ogni caso consigliabile prevedere le seguenti attività:

- o prevedere l'utilizzo di materiali drenanti nelle aree libere in modo da non alterare le attuali condizioni di infiltrazione e deflusso delle acque sotterranee e di conseguenza l'equilibrio idrogeologico dell'area;
- o evitare variazioni significative della morfologia attuale dei siti a seguito delle attività di scavo per la realizzazione delle strutture, ripristinando per quanto possibile nelle aree non occupate dal sedime dei manufatti l'andamento planoaltimetrico preesistente e favorendo le naturali condizioni di drenaggio, al fine di non generare possibili fenomeni di ristagno delle acque meteoriche, concentrazioni di acque di ruscellamento e/o direzioni preferenziali di deflusso;
- o lo scarico di svuotamento delle opere di invarianza idraulica dovrà in ogni caso rispettare i limiti di 1,86 l/s ammissibili al ricettore finale ammissibili al ricettore finale: tale condizione è ampiamente verificata in quanto non sono previsti recapiti in uscita dal lotto ma tutte le acque chiare verranno disperse in sito.

Appendice 1

Descrizione del codice di calcolo MIKE URBAN Collection System

1. PREMESSA

MIKE URBAN CS (Collection System) utilizza il motore di calcolo "MIKE 1D" per la simulazione idrodinamica delle correnti non stazionarie nelle reti fognarie, con l'alternanza della presenza di correnti a pelo libero ed in pressione. MIKE permette la modellazione di un'ampia gamma di strutture idrauliche, incrementi di pressione, particolari strutture idrauliche definite dall'utente, regole operative complesse, ecc.. Il modello di calcolo idrodinamico risolve le equazioni complete di De St. Venant attraverso la rete di drenaggio (a maglia chiusa o ramificata), permettendo la modellazione degli effetti di rigurgito, inversioni di flusso, sovrappressioni nei tombini, deflusso a pelo libero ed in pressione, condizioni al contorno variabili nel tempo (ad esempio effetti di marea), bacini di accumulo. Il motore di calcolo MOUSE è stato progettato per simulare qualsiasi tipologia di rete e tubazioni con sezione di qualsiasi forma. Qualsiasi struttura può essere rappresentata, comprese pompe, luci sottobattenti, sifoni ecc..

Lo schema di calcolo utilizza una soluzione numerica implicita alle differenze finite delle equazioni di De St. Venant. L'algoritmo numerico usa un passo di calcolo autoadattante, che fornisce una soluzione efficiente e accurata sia nelle reti ramificate sia in quelle a maglia chiusa. Possono essere simulate condizioni sia di corrente lenta sia di corrente veloce grazie allo schema computazionale che si adatta alle condizioni locali di deflusso. Infine sono simulati con precisione gli effetti di rigurgito e le sovrappressioni.

2. SCHEMATIZZAZIONE DELLA RETE

Gli elementi che possono essere utilizzati in MIKE per schematizzare la rete sono rappresentati da tre tipologie principali:

1. Links

- Tubi – standard o con sezione definita dall'utente di forma circolare, ovoidale, rettangolare,...
- Canali aperti – sezione definita dall'utente.

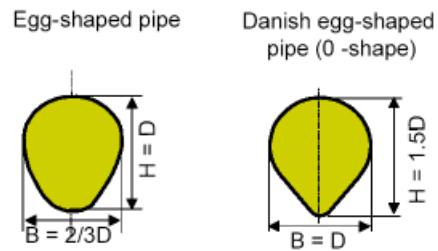


Figura 2-1 Sezioni tipo di forma ovoidale schematizzabili nel modello.

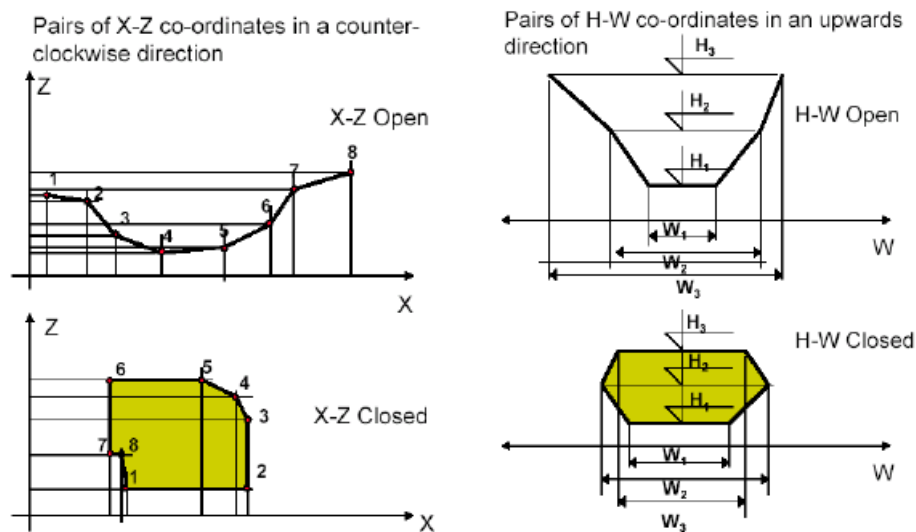


Figura 2-2 Esempi di sezioni schematizzabili in funzione dei dati direttamente inseriti dall'utente.

2. Nodes

- pozzetti (nodes)
- Bacini di accumulo (basin)
- scarichi e restituzioni (outlet)
- pozzi a dispersione (soakaway)

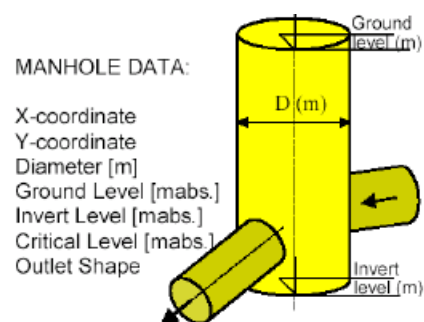


Figura 2-3 Schematizzazione dei pozzetti.

3. Funzioni, per la descrizione di alcuni componenti della rete come ad esempio:

- scaricatori di piena,
- luci sotto-battenti,
- pompe,
- valvole unidirezionali,
- stramazzi.

3. SCHEMATIZZAZIONE DEL MOTO VARIO NELLE CONDOTTE

3.1. EQUAZIONE DI DE SAINT VENANT

Il calcolo delle correnti in moto vario viene effettuato risolvendo le equazioni di continuità e di quantità di moto, basate sulle seguenti assunzioni:

- fluido incomprimibile e omogeneo;
- pendenza del fondo modesta;
- direzione prevalente del moto monodimensionale;
- pressioni idrostatiche lungo la verticale;

Le equazioni del moto assumono la forma generale seguente:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (3-1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gAlf = gAl_0 \quad (3-2)$$

dove

Q = portata, [m³/s];

A = area, [m²];

y = altezza d'acqua, [m];

g = accelerazione di gravità, [m/s²];

x = progressiva lungo la direzione di moto, [m];

t = tempo, [s];

α = coefficiente di distribuzione delle velocità;

l_0 = pendenza di fondo;

lf = pendenza della linea dell'energia.

La schematizzazione ipotizzata è riportata in figura 3-1.

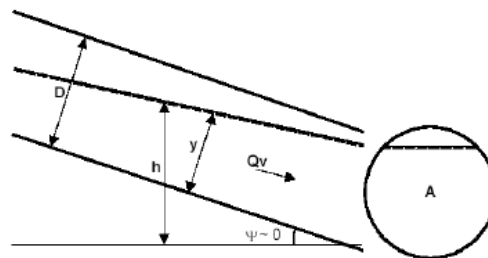


Figura 3-1 Schema della sezione di una condotta.

Il coefficiente di distribuzione delle velocità tiene conto della distribuzione non uniforme della velocità in una determinata sezione e può essere espresso con la formula:

$$\alpha = \frac{A}{Q^2} \int_A v^2 dA \quad (3-5)$$

Assumendo che la pendenza del fondo sia piccola, essa può essere espressa come funzione dell'altezza d'acqua e del gradiente della superficie libera come:

$$I_0 \approx \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3-6)$$

In questo modo è possibile utilizzare l'altezza h del pelo libero rispetto ad una quota di riferimento, come variabile dipendente al posto dell'altezza d'acqua y. L'equazione del momento può quindi assumere la forma:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} = gA I_f \quad (3-7)$$

mentre la pressione e le forze di gravità possono essere espresse in un unico termine

$$gA \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3-8)$$

Le equazioni descritte sono valide per correnti a pelo libero ma possono essere generalizzate ed estese anche in caso di moto in pressione come descritto successivamente.

3.2. SCHEMATIZZAZIONE DELLE CORRENTI IN PRESSIONE

Nel momento in cui la portata raggiunge il valore limite di capacità della tubazione si instaura un moto in pressione e le assunzioni di base delle equazioni di Saint Venant non sono più valide. Tuttavia è possibile generalizzare tali equazioni, rendendole valide anche per il moto in pressione. Ciò è reso possibile introducendo uno "slot" fittizio in corrispondenza della sommità della condotta, come rappresentato in figura 3-2, che permette di estendere la sezione di calcolo della tubazione rendendo valide le equazioni di De Saint Venant.

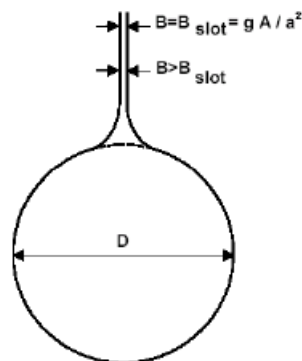


Figura 3-2 Schematizzazione del moto in pressione.

3.3. CONDIZIONI DI MOTO SIMULATE

Il modello consente di attivare tre diverse descrizioni del moto, mediante tre differenti formulazioni matematiche:

Approccio dell'"onda cinematica". Le condizioni di moto sono calcolate imponendo il bilancio tra le forze di gravità e di attrito. Questa semplificazione non permette di simulare gli effetti di rigurgito.

Approccio dell'"onda diffusiva". Oltre alle forze di gravità ed attrito viene tenuto conto del gradiente idrostatico in modo tale da poter valutare anche gli effetti a monte delle condizioni al contorno di valle, cioè simulare i fenomeni di rigurgito.

Approccio dell'"onda dinamica". Utilizzando le equazioni complete del moto, comprese le forze di accelerazione, è possibile simulare con questa formulazione transitori veloci, flussi di marea ecc.

In funzione del tipo di problema da risolvere è possibile scegliere la descrizione del moto più appropriata. Ognuna delle tre formulazioni consente di simulare sia sistemi idrici ramificati che reti idrauliche con maglie chiuse.

4. METODO DI SIMULAZIONE

La soluzione del sistema di equazioni è indipendente dall'approccio modellistico seguito (cinematico, diffusivo, dinamico). Le equazioni generali di De Saint Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e h alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico h , rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti).

La griglia di calcolo viene generata dal modello in base alle richieste dell'utente: il numero minimo di punti di calcolo per ogni condotta è 3, con un punto h a ciascuna estremità del tubo.

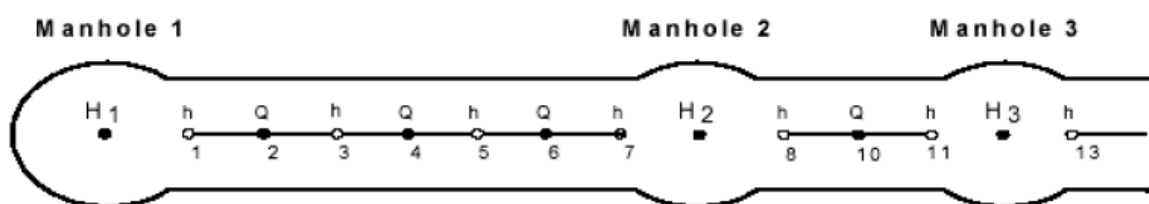


Figura 4-1 Rappresentazione della griglia di calcolo.

5. CONDIZIONI INIZIALI

E' possibile scegliere due diverse opzioni per definire le condizioni iniziali:

- ÷ Standard: Viene definita automaticamente dal modello un'altezza d'acqua iniziale pari allo 0.5% dell'altezza della tubazione e comunque inferiore a 0.005 m e la rispettiva portata viene calcolata utilizzando la formulazione di Manning.
- ÷ Hotstart: E' possibile utilizzare i risultati di una simulazione precedente come condizioni iniziali.

6. CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni al contorno necessarie alla risoluzione delle equazioni differenziali possono essere definite come costanti o come variabili nel tempo e si suddividono in due gruppi principali:

- ÷ condizioni al contorno esterne, che descrivono l'interazione tra la rete simulata e il mondo esterno;
- ÷ condizioni al contorno interne, che descrivono l'interazione tra diversi elementi della rete.

Tra le condizioni al contorno esterne possono essere specificate le seguenti:

- in corrispondenza di pozzetti e strutture:
 - ÷ portata costante in ingresso o uscita $Q = \text{cost.}$, [m³/s];
 - ÷ idrogramma di portata in ingresso o uscita $Q = Q(t)$, [m³/s];
 - ÷ portata in uscita attraverso uno stramazzo $Q = Q(H)$, [m³/s];
 - ÷ portata in uscita attraverso una pompa $Q = Q(H)$, [m³/s].
- in corrispondenza degli sbocchi:
 - ÷ Livello costante $H = \text{cost.}$, [m];
 - ÷ idrogramma di livello $H = H(t)$, [m];
 - ÷ scala di deflusso $Q = Q(H)$, [m³/s].

Tra le condizioni al contorno interne possono essere specificate le seguenti:

- in corrispondenza di pozzetti e strutture:
 - ÷ scala di deflusso di uno stramazzo (weir) $Q = Q(H)$, [m];
 - ÷ caratteristiche della pompa (pump) $Q = Q(H)$, [m³/s] o $Q = Q(DH)$, [m³/s].

Alcune delle condizioni al contorno descritte sono riportate nella Fig. 22.

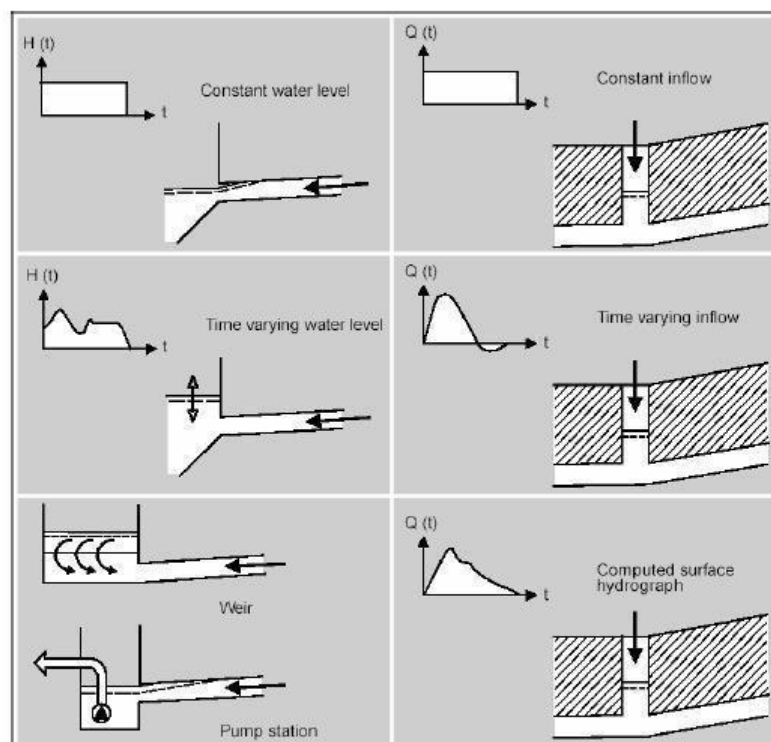


Fig. 22 Esempi di condizioni al contorno applicabili.

7. RESISTENZE PER ATTRITO E PERDITE DI CARICO

7.1. RESISTENZE PER ATTRITO LUNGO I COLLETTORI

MIKE URBAN consente di utilizzare 2 diverse formulazioni per il calcolo della resistenza d'attrito lungo i collettori:

Formola di Strickler

Secondo la formola di Strickler, nell'equazione del moto il termine di resistenza risulta pari a:

$$I_f = \frac{gQ|Q|}{M^2 AR^{4/3}}$$

dove M è il coefficiente di Strickler, pari a $1/n$, essendo n il coefficiente di Manning.

Formola di Colebrook-White

Secondo tale formulazione, il fattore di resistenza viene calcolato iterativamente in funzione dell'equazione:

$$\sqrt{\frac{2}{f_{cw}}} = cw_1 + cw_2 \cdot \ln \left(\frac{cw_3}{Re} \sqrt{\frac{2}{f_{cw}}} + cw_4 \cdot \frac{k}{R} \right)$$

dove

k = scabrezza equivalente [m];

R = raggio idraulico;

Re = numero di Reynolds;

cw1, cw2, cw3, cw4 = costanti empiriche il cui valore di default è 6.4, -2.45, 3.3, 1.0.

Infine si ha

$$I_f = f_{cw} \cdot \frac{Q^2}{2gA^2R} \Rightarrow f = \frac{f_{cw}}{2gA^2R}$$

7.2. PERDITE DI CARICO IN INGRESSO AI POZZETTI

L'altezza d'acqua nel pozzetto e nel tubo afferente è considerata la stessa; ne consegue che le perdite di carico vengono calcolate in funzione del termine cinetico relativo al condotto (i) e al pozzetto (m):

$$\Delta H_i = \frac{v_i^2 - v_m^2}{2g}$$

Nel caso di deflusso libero dal condotto al pozzetto, quando quindi l'altezza d'acqua nel pozzetto è inferiore all'altezza d'acqua nel collettore in ingresso, l'altezza d'acqua nel collettore è assunta pari all'altezza di moto critico, ed a seconda del tipo di sezione sono utilizzate formulazioni differenti; ad esempio per condotte circolari viene utilizzata la seguente:

$$y_{c(i)} = \sqrt[3]{0.32 \frac{Q_i}{\sqrt{D_i}}}$$

Analogamente, quando nel collettore si instaura una corrente supercritica, il livello d'acqua a valle della confluenza è assunto pari all'altezza d'acqua presente nel collettore.

7.3. PERDITE DI CARICO IN USCITA AI POZZETTI

La perdita di carico è considerata proporzionale al termine cinetico:

$$\Delta H_j = \sum_k \zeta_{jk} \cdot \frac{v_j^2}{2g}$$

Indicando con i il collettore in ingresso al nodo e con j quello in uscita si ottiene:

$$\zeta_{dir(i)} = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{Q_j} \cdot \frac{\theta_{ij}^2}{90^{\circ 2}}$$

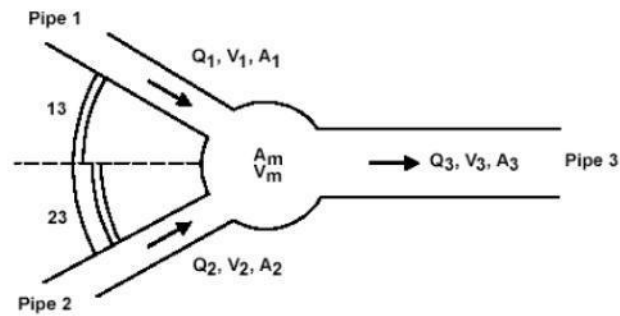


Fig. 23 Pozzetto con 2 tubi in ingresso e 1 in uscita

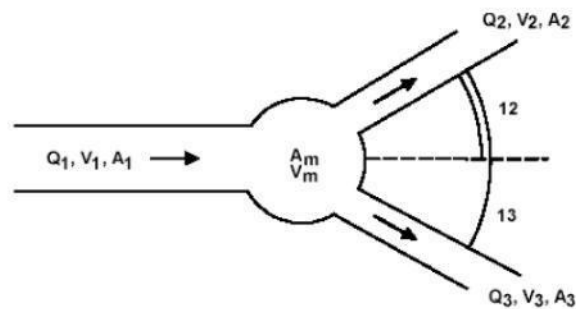


Fig. 24 Pozzetto con 1 tubo in ingresso e 2 in uscita

Nel caso in cui vi sia una differenza in quota tra il collettore in ingresso e quello in uscita come rappresentato in figura, le perdite di carico sono calcolate mediante la seguente:

$$\zeta_{level(j)} = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{Q_j} \cdot \frac{(Z_j - Z_i) \cdot (Z_j + D_j - Z_i - D_i)}{D_i \cdot D_j}$$

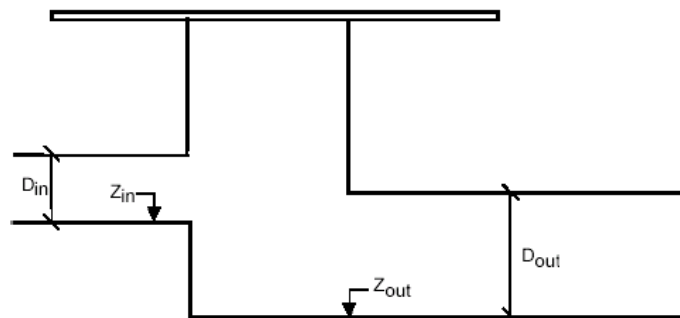


Fig. 25 Differenza di quota tra collettore in ingresso e uscita dal pozzetto

Il flusso di portata che esce da un pozzetto ed entra in un collettore subisce una contrazione che determina delle perdite di carico in funzione della forma del pozzetto e del collettore, calcolate dal modello mediante la seguente espressione:

$$\zeta_{contr(j)} = K_m \cdot \left(1 - \frac{A_j \cdot Q_j}{A_m \cdot \sum_{i=1}^n Q_i} \right)^2$$

dove K_m e A_m rappresentano il coefficiente di forma e l'area del pozzetto.

8. SIMULAZIONE DELLE CORRENTI VELOCI CON L'APPROCCIO DELL'ONDA DINAMICA

Per le correnti veloci viene applicata un'equazione "ridotta" del moto, ottenuta trascurando il termine non lineare:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQQ}{C^2AR} = 0$$

La descrizione del moto è tanto più accurata quanto meno rapidamente variabile è la velocità della corrente.

Il vantaggio di questa schematizzazione è rappresentato dal fatto che è possibile ottenere una soluzione stabile con la stessa metodologia usata per le correnti lente. Nella transizione tra corrente lenta e veloce viene applicata una riduzione graduale del termine non lineare.

9. MODELLAZIONE DEL DEFLUSSO SUPERFICIALE

I modelli di simulazione del deflusso superficiale (Surface RunOff) disponibili sono 4:

- ÷ Modello A, metodo afflussi-deflussi basato sulle relazioni area/tempo di corrivazione;
- ÷ Modello B, basato sul modello dell'onda cinematica (serbatoio non lineare);
- ÷ Modello C, basato sul modello a serbatoio lineare;
- ÷ UHM, basato sul metodo dell'Idrogramma Unitario.

Alle opzioni precedentemente descritte (tranne che per il modello UHM) può essere accoppiato il sistema RDI (Rainfall Dependent Infiltration). RDI schematizza il ciclo idrologico con le equazioni di continuità che legano una serie di 4 serbatoi, ognuno rappresentante una fase del ciclo idrologico: atmosfera (formazione-fusione della neve, perdite per evapotraspirazione), superficie (accumulo nelle depressioni superficiali e scorrimento superficiale), zona radicale (infiltrazione, non saturo) e falda (accumulo e rilascio dalla falda). Il bilancio idrologico dinamico simulato consente di valutare in continuo gli apporti quantitativi in ingresso alla rete e al tempo stesso permette di operare in continuo (quindi non solo su singoli eventi) nella simulazione dei processi di apporto di sostanze inquinanti dalla superficie del bacino alla rete fognaria. Le analisi idrauliche e quelle relative ai carichi inquinanti in rete, spesso basate su eventi pluviometrici molto intensi, possono essere trasformate in un processo continuo che copre sia il periodo di pioggia sia il tempo secco. Questo permette di simulare in maniera realistica il contenuto di carichi inquinanti nelle acque avviate alla depurazione e in quelle sfiorate dagli scaricatori di piena.

Il modello implementato del presente progetto è stato realizzato mediante il **MODELLO A**.

Lo scorrimento superficiale e quindi il contributo dei singoli bacini è definito in funzione delle perdite iniziali, dell'area del bacino e delle perdite idrologiche continuative. La forma dell'idrogramma contribuente è determinato dal tempo di corrivazione e della relazione tempo-area definita (T-A curve).

Sono già definite all'interno del modello 3 relazioni tempo-area rispettivamente per bacini rettangolari (TA Curve 1), divergenti (TA Curve 2) e convergenti (TA Curve 3), come raffigurato in Fig. 26.

Il processo di scorrimento superficiale è discretizzato nel tempo in funzione del passo di simulazione Δt ; la superficie del bacino contribuente è discretizzata infatti in una serie di celle concentriche centrate sulla rispettiva sezione di chiusura. Definendo il tempo di corrivazione come T_c , il numero di celle di discretizzazione è pari a:

$$n = \frac{t_c}{\Delta t}$$

L'area totale contribuente è pari all'area del bacino moltiplicata per il coefficiente di impermeabilità definito dall'utente.

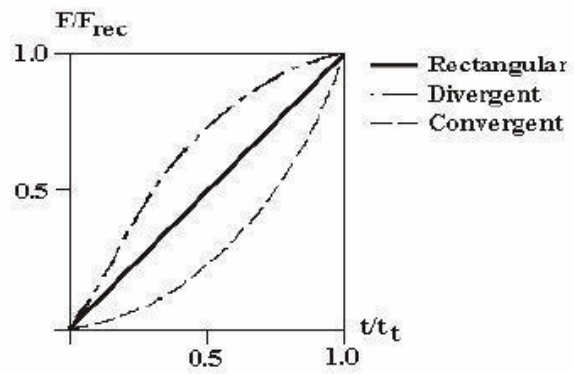
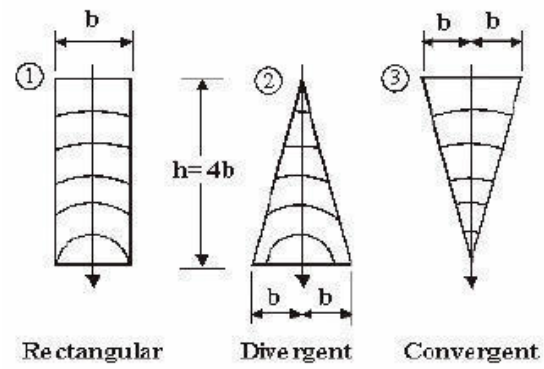


Fig. 26 Schema delle 3 curve T-A disponibili

Appendice 2

Report tabellare modellazione idraulica

Results Table

Project: R:\lavori_in_corso\Locate Varesino_strada
 PIP_geotecnica sismica
 idrogeologica_giu2021\INVARIANZA\MIKE\prova3\prova3.mup

Date: lunedì 30 agosto 2021

MUID	Link Depth [m]	Link Flood [m]	Link: Discharge [m ³ /s]	link: waterlevel [m]	Link: FlowVelocity [m/s]	Pipe Filling [-]
L	0,41	-0,09	0,0015	99,94	0,02	0,21
M	0,39	-0,11	0,0014	99,93	0,02	0,20
N	0,37	-0,13	0,0015	99,92	0,02	0,19
O	0,35	-0,15	0,0013	99,91	0,02	0,18
P	0,32	-0,18	0,0016	99,89	0,02	0,16
Q	0,30	-0,20	0,0015	99,88	0,02	0,15
R	0,28	-0,22	0,0013	99,87	0,02	0,14
X	1,40	-0,20	0,0013	99,88	0,01	0,70
W	1,40	-0,18	0,0002	99,88	0,00	0,70
V	1,40	-0,20	0,0000	99,86	0,00	0,70
U	0,42	-0,18	0,0000	99,87	0,00	0,21
T	1,44	-0,16	0,0000	99,88	0,00	0,72
S	1,46	-0,14	0,0000	99,89	0,00	0,73
K	1,44	-0,15	0,0013	99,86	0,01	0,72
Y	2,30	-0,19	0,0000	99,81	0,00	0,10
G	1,35	-0,25	0,0000	99,83	0,00	0,68
F	1,37	-0,23	0,0000	99,84	0,00	0,69
E	1,39	-0,21	0,0000	99,85	0,00	0,70
C	0,42	-0,18	0,0000	99,87	0,00	0,21
B	1,44	-0,16	0,0000	99,88	0,00	0,72
J	0,41	-0,09	0,0012	99,94	0,01	0,20
AB	0,39	-0,11	0,0014	99,93	0,02	0,20
AC	0,37	-0,13	0,0014	99,92	0,02	0,19
AD	0,35	-0,15	0,0013	99,91	0,02	0,18
AE	0,32	-0,17	0,0016	99,89	0,02	0,16
AF	0,32	-0,16	0,0021	99,90	0,02	0,16
AG	0,29	-0,20	0,0016	99,88	0,02	0,14
A	1,46	-0,14	0,0000	99,89	0,00	0,73
H	1,40	-0,17	0,0000	99,82	0,00	0,70
I	2,30	-0,18	0,0000	99,81	0,00	0,10
D	0,41	-0,17	0,0000	99,86	0,00	0,21
Z	0,41	-0,14	0,0000	99,87	0,00	0,21

legenda

MUID	codice tubazione
Link flood	livello idrico da piano campagna
Link Discharge	portata
Link water level	livello idrico da quota di riferimento (100,00)
Link Flowvelocity	velocità flusso in tubazione
Pipe filling	grado di riempimento tubazione