

COMUNE DI CREMA (CR)

**Piano Attuativo riguardante parte dell'ambito
di completamento produttivo nell'area in via
Deledda / Via M. Buonarroti**

P.E. / 2020 / 00047

Committente: AMA ESTATE s.r.l. – AGARDI s.r.l.

RELAZIONE DI INVARIANZA IDROLOGICA E IDRAULICA



Edizione settembre 2020

1 SOMMARIO

2	Premessa	3
3	Intervento in esame	5
4	Definizione dei dati di progetto e delle modalità di calcolo del volume	7
5	Determinazione del volume di invarianza	9
6	Dimensionamento dell'opera di laminazione	20
7	Piano di manutenzione.....	24
8	Conclusioni	25

2 PREMESSA

Il presente elaborato descrive il progetto di invarianza idraulica redatto ai sensi del Regolamento Regionale 23 novembre 2017 n.7 e s.m.i. ai fini della verifica della compatibilità idraulica del progetto di completamento dell'ambito produttivo ivi presente nel sito di Via Deledda / Via M. Buonarroto nel comune di Crema (CR).

Ai sensi della legge 12 del 2005 e s.m.i., Art. 58 bis sono soggetti al principio di invarianza idraulica ed idrologica, gli interventi edilizi definiti dall'articolo 3, comma 1, lettere d), e) ed f), del D.P.R. n. 380/2001 e, secondo quanto specificato nel regolamento regionale al comma 5, tutti gli interventi che comportano una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla sua condizione preesistente all'urbanizzazione. Sono inoltre compresi gli interventi relativi alle infrastrutture stradali, autostradali e loro pertinenze e i parcheggi.

Nello specifico, ai sensi dell'Art. 3 del R.R. 7/2017 e s.m.i., sono soggetti ai requisiti di invarianza idraulica e idrologica gli interventi di:

- ✓ Di ristrutturazione edilizia, come definiti dall'articolo 3, comma 1, lettera d) del d.p.r. 380/2001, solo se consistono nella demolizione totale, almeno fino alla quota più bassa del piano campagna posto in aderenza all'edificio, e ricostruzione con aumento della superficie coperta dell'edificio demolito; ai fini del presente regolamento, non si considerano come aumento di superficie coperta gli aumenti di superficie derivanti da interventi di efficientamento energetico che rientrano nei requisiti dimensionali previsti al primo periodo dell'articolo 14, comma 6, del decreto legislativo 4 luglio 2014, n. 102 (Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE);
- ✓ di nuova costruzione, così come definiti dall'articolo 3, comma 1, lettera e), del d.p.r. 380/2001, compresi gli ampliamenti; sono escluse le sopraelevazioni che non aumentano la superficie coperta dell'edificio;
- ✓ di ristrutturazione urbanistica, così come definiti dall'articolo 3, comma 1, lettera f), del d.p.r. 380/2001;
- ✓ relativi a opere di pavimentazione e di finitura di spazi esterni, anche per le aree di sosta, di cui all'articolo 6, comma 1, lettera e-ter), del d.p.r. 380/2001, con una delle caratteristiche che seguono:
 1. di estensione maggiore di 150 mq;
 2. di estensione minore o uguale di 150 mq, solo qualora facenti parte di un intervento di cui alle lettere a), b) o c), del presente comma o di cui al comma 3;
- ✓ pertinenziali che comportino la realizzazione di un volume inferiore al 20 per cento del volume dell'edificio principale, con una delle caratteristiche che seguono:
 1. di estensione maggiore di 150 mq;
 2. di estensione minore o uguale di 150 mq, solo qualora facenti parte di un intervento di cui alle lettere a), b) o c), del presente comma.
- ✓ parcheggi, aree di sosta e piazze, con una delle caratteristiche che seguono: (6)
 - a)
 - 1. estensione maggiore di 150 mq;
 - 2. estensione minore o uguale di 150 mq, solo qualora facenti parte di un intervento di cui alle lettere a), b) o c), del comma 2;
 - b) aree verdi sovrapposte a nuove solette comunque costituite, qualora facenti parte di un intervento di cui al comma 2 o alla lettera a) del presente comma.

Il progetto di invarianza idrologica e idraulica è allegato alla domanda di permesso di costruire o alla segnalazione di inizio attività o alla comunicazione di inizio lavori.

Tale progetto, fatti salvi gli interventi per i quali si applicano i requisiti minimi di cui all'articolo 12 comma 2 del R.R. 7/2017 e s.m.i. (contenuti specificati all'Art. 10 comma 2), deve essere corredato con i

calcoli, le valutazioni, i grafici e i disegni effettuati a livello di dettaglio corrispondente ad un progetto almeno definitivo, osservando le procedure e metodologie di cui all'articolo 11. Nello specifico, il progetto deve contenere i seguenti elementi:

- ✓ Relazione tecnica comprendente:
 - localizzazione degli interventi con definizione dell'area di criticità comunale ricadente;
 - descrizione della soluzione progettuale di invarianza idraulica e idrologica e delle corrispondenti opere di raccolta, convogliamento, invaso, infiltrazione e scarico costituenti il sistema di drenaggio delle acque pluviali fino al punto terminale di scarico nel ricettore o di disperdimento nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo;
 - calcolo delle precipitazioni di progetto;
 - calcoli del processo di laminazione negli invasi a ciò destinati e relativi dimensionamenti;
 - calcoli del processo di infiltrazione nelle aree e strutture a ciò destinate e relativi dimensionamenti;
 - calcolo del tempo di svuotamento degli invasi di laminazione;
 - dimensionamento del sistema di scarico terminale, qualora necessario, nel rispetto dei requisiti ammissibili del Regolamento Regionale 2017.
- ✓ Documentazione progettuale completa di:
 - planimetrie;
 - profili longitudinali e trasversali in scala adeguata;
 - sezioni;
 - particolari costruttivi.
- ✓ Piano di manutenzione ordinaria e straordinaria dell'intero sistema di opere previsto dal progetto di invarianza idraulica e idrologica e di recapito nei ricettori, secondo le disposizioni dell'articolo 13;
- ✓ Asseverazione del professionista in merito alla conformità del progetto ai contenuti del R.R. 7/2017 e s.m.i., redatta secondo il modello di cui all'allegato E.

Il Regolamento al quale si è fatto riferimento è diventato operativo per interventi edilizi con titolo autorizzativo richiesto dopo il 27 maggio 2018. Pertanto, per il presente progetto, è necessario definire gli interventi da mettere in atto per rispettare la prescrizione regolamentare di invarianza idraulica.

3 INTERVENTO IN ESAME

Il lotto residenziale oggetto di intervento si trova all'interno dell'abitato di Crema (CR) a nord est del centro storico, in via Michelangelo Buonarroti. Il lotto oggetto di studio prevede l'ampliamento dell'ambito produttivo ivi esistente. Allo stato attuale non sono ancora stati definiti gli elementi strutturali e la loro posizione e di rimanda si rimanda alle tavole progettuali di dettaglio per la relativa rappresentazione. Ai fini della presente relazione, è sufficiente conoscere la tipologia di superficie che si intende realizzare (quota parte verde, semi-permeabile e impermeabile) e le modalità di immagazzinamento e scarico delle acque collettate. La committenza, pur non avendo ancora individuato la posizione spaziale degli elementi strutturali, ha stabilito che il lotto verrà totalmente impermeabilizzato.

Per quanto riguarda le opere di immagazzinamento delle acque meteoriche, ai fini del rispetto del R.R. 7/2017, esse verranno disposte lungo il lato ovest della proprietà. Si specifica che tutte le acque meteoriche dovranno essere collettate esclusivamente nei dispositivi di progetto di accumulo dimensionati in questa relazione tramite un'apposita rete di drenaggio. Le acque meteoriche, una volta raggiunto il dispositivo di smaltimento delle acque, provvederà all'allontanamento delle stesse tramite la sola infiltrazione nel terreno senza possibilità di scarico di troppo pieno in un corpo idrico ricettore o in fognatura. In figura 3.1, è riportata l'ortofoto con indicata l'ubicazione del lotto.



Fig. 3.1 – Ortofoto: inserimento del nuovo ambito produttivo nell'area industriale esistente

Trattandosi di un intervento di nuova costruzione, lo stesso ricade nell'ambito di applicazione del Regolamento Regionale 7/2017 e precisamente nella fattispecie dell'Art. 3 comma 2 lettera a).

Situazione di progetto

La configurazione di progetto del lotto, come già scritto, non è stata ancora definita ma per scelta progettuale la superficie ad ovest del lotto verrà dedicata alle opere di invarianza idrologica-idraulica. Le caratteristiche delle superfici di interesse che compongono il lotto sono riportate in Tab. 3.1.

Tab. 3.1: Caratteristiche delle superfici di interesse del lotto oggetto di intervento

N°	Tipologia superficie	Estensione [m²]	φ [-]
1	Superficie S1	1.838,5	1
2	Superficie S2	1.748,5	1

4 DEFINIZIONE DEI DATI DI PROGETTO E DELLE MODALITÀ DI CALCOLO DEL VOLUME

Il Comune di Crema (CR), ai sensi del Regolamento Regionale 7/2017, risulta tra quelli del territorio Lombardo classificati in **zona a criticità idraulica B**, ovvero a media criticità, pertanto l'area oggetto di intervento è da **assoggettare ai limiti indicati nel regolamento per le aree B**.

Ai sensi dell'Art. 8 del R.R. 7/2017 e s.m.i., il coefficiente udometrico (u_{lim}) necessario per determinare la portata massima ammessa al ricettore per le zone così classificate risulta essere pari a 20 l/s per ogni ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento. Per ricettore si intende il corpo idrico naturale o artificiale o rete di fognatura, nel quale si immettono le acque meteoriche.

Gestione delle acque meteoriche

Acque di prima e seconda pioggia: alla data attuale si ritiene che le attività che si insedieranno non siano soggette all'obbligo di separazione delle acque di prima pioggia ai sensi dell'Art. 3 del Regolamento Regionale 4/2006 "Disciplina dello smaltimento delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne".

Classificazione dell'intervento:

Ai sensi dell'Art. 2 comma 5 del R.R., le misure di invarianza idraulica e idrologica non si applicano all'intero lotto ma alla sola superficie del lotto interessata dall'intervento comportante una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla sua condizione preesistente all'urbanizzazione.

Secondo l'Art. 11 comma 2 lettera d) la superficie scolante dell'intervento deve essere valutata utilizzando i seguenti coefficienti di deflusso:

- $\varphi=1$ per tutte le sotto-aree interessate da tetti, coperture, pavimentazioni continue di strade, vialetti, parcheggi;
- $\varphi=0,7$ per i tetti verdi, i giardini pensili e le aree verdi sovrapposti a solette comunque costituite, per le aree destinate all'infiltrazione delle acque gestite ai sensi del presente regolamento e per le pavimentazioni discontinue drenanti o semipermeabili di strade, vialetti, parcheggi;
- $\varphi=0,3$ per le sotto-aree permeabili di qualsiasi tipo, comprese le aree verdi munite di sistemi di raccolta e collettamento delle acque, escludendo dal computo le superfici incolte e quelle in uso agricolo.

Utilizzando la classificazione appena riportata e dato che il lotto sarà completamente impermeabile una volta terminati i lavori, la superficie che verrà presa in considerazione per effettuare i calcoli coinciderà con la superficie totale del lotto. Le superfici e i coefficienti di deflusso associati ad ogni superficie sono riportati nella seguente tabella.

Tab. 4.1: Coefficienti di deflusso associati alle superfici oggetto dell'intervento

N°	Tipologia superficie	Estensione [m ²]	φ [-]
1	Superficie S1	1.838,5	1
2	Superficie S2	1.748,5	1
Totale		3.587	

Il valore di deflusso medio ponderale risulterà essere pari a 1 in quanto la superficie oggetto dell'intervento è uniforme per tipologia. In sostanza:

Noto l'ambito territoriale, l'Art. 9 del R.R. introduce una tabella che, in funzione della superficie interessata dall'intervento e del coefficiente di deflusso appena calcolato, definisce la "classe di intervento" che corrisponde alla classificazione della gravosità della trasformazione. Infine, in funzione della classe individuata, la stessa tabella indica la metodologia da adottare per il calcolo del volume di laminazione. Di seguito si riporta la tabella definita dall'Art. 9 del R.R.

Tab. 4.2: Coefficienti di deflusso associati alle superfici oggetto dell'intervento

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

Dalla tabella sopra riportata si ottiene per il caso specifico di studio una "impermeabilizzazione potenziale media" che per il coefficiente medio ponderale calcolato (1,00), la superficie totale considerata (3.587 m²) e l'ambito territoriale (B), richiede l'applicazione del "Metodo delle sole piogge".

5 DETERMINAZIONE DEL VOLUME DI INVARIANZA

Il calcolo del volume di invarianza avverrà secondo il seguente procedimento:

- Calcolo delle precipitazioni di progetto;
- Simulazione del processo di infiltrazione nelle aree e strutture a ciò destinate e relativi dimensionamenti.

Calcolo delle precipitazioni di progetto: definizione della curva di possibilità pluviometrica

L'input idrologico di progetto sulla quale si basa il dimensionamento della vasca dipende dalla zona interessata dall'intervento ed è funzione del tempo di ritorno di progetto rispetto al quale si intende dimensionare l'opera. Quest'ultimo è indicato dal regolamento in 50 anni, salvo poi verificare il funzionamento dell'opera per tempi di ritorno pari a 100 anni.

L'input idrologico è identificato dalla curva di possibilità climatica ed ha la seguente forma:

— ———

Nella quale a , n sono i parametri della curva di possibilità pluviometrica mentre k è un coefficiente maggiore di 1, funzione dei parametri a , n , della distribuzione di Gumbel e del tempo di ritorno T imposto pari a 50 anni.

Tali parametri vengono forniti dal portale di ARPA Lombardia all'indirizzo <http://idro.arpalombardia.it/pmapper-4.0/map.phtml>. Per l'area in esame si ottengono i seguenti parametri:

Rispetto a quanto riportato dal sito ARPA, si osserva che il coefficiente di scala n per durate inferiori all'ora è stato imposto pari a 0,5 in quanto il valore indicato dal portale è riferito a durate comprese tra 1 e 24 h.

Utilizzando i parametri ricavati dal sito ARPA, è possibile calcolare la curva di possibilità pluviometrica tramite un tool messo a disposizione da ARPA stessa e del quale se ne riportano i risultati nella seguente figura.

Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: *Crema (CR)*
 Coordinate: *45.359310, 9.639851*

Parametri ricavati da: <http://idro.arpalombardia.it>
 A1 - Coefficiente pluviometrico orario 27,74
 N - Coefficiente di scala 0,283
 GEV - parametro alpha 0,282
 GEV - parametro kappa -0,0506
 GEV - parametro epsilon 0,822

Linea segnatrice
 Tempo di ritorno (anni)

Evento pluviometrico
 Durata dell'evento [ore]
 Precipitazione cumulata [mm]

Formulazione analitica

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

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

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	0,92632	1,26145	1,49415	1,72581	2,03849	2,28265	2,53465	2,03848807
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	35,0	41,4	47,9	56,5	63,3	70,3	56,547659
2	31,3	42,6	50,4	58,2	68,8	77,0	85,5	68,8028011
3	35,1	47,8	56,6	65,3	77,2	86,4	96,0	77,16848
4	38,0	51,8	61,4	70,9	83,7	93,7	104,1	83,7139064
5	40,5	55,2	65,4	75,5	89,2	99,9	110,9	89,1708984
6	42,7	58,1	68,8	79,5	93,9	105,1	116,7	93,892615
7	44,6	60,7	71,9	83,0	98,1	109,8	122,0	98,0793042
8	46,3	63,0	74,7	86,2	101,9	114,1	126,6	101,856582
9	47,9	65,2	77,2	89,2	105,3	117,9	130,9	105,308945
10	49,3	67,1	79,5	91,9	108,5	121,5	134,9	108,496226
11	50,7	69,0	81,7	94,4	111,5	124,8	138,6	111,462495
12	51,9	70,7	83,7	96,7	114,2	127,9	142,0	114,241244
13	53,1	72,3	85,7	98,9	116,9	130,9	145,3	116,858579
14	54,2	73,8	87,5	101,0	119,3	133,6	148,4	119,335282
15	55,3	75,3	89,2	103,0	121,7	136,3	151,3	121,688197
16	56,3	76,7	90,8	104,9	123,9	138,8	154,1	123,93118
17	57,3	78,0	92,4	106,7	126,1	141,2	156,8	126,075783
18	58,2	79,3	93,9	108,5	128,1	143,5	159,3	128,131748
19	59,1	80,5	95,4	110,2	130,1	145,7	161,8	130,107371
20	60,0	81,7	96,8	111,8	132,0	147,8	164,1	132,009784
21	60,8	82,8	98,1	113,3	133,8	149,9	166,4	133,845166
22	61,6	83,9	99,4	114,8	135,6	151,9	168,6	135,61891
23	62,4	85,0	100,7	116,3	137,3	153,8	170,8	137,335752
24	63,2	86,0	101,9	117,7	139,0	155,6	172,8	138,999876

Linee segnatrici di probabilità pluviometrica

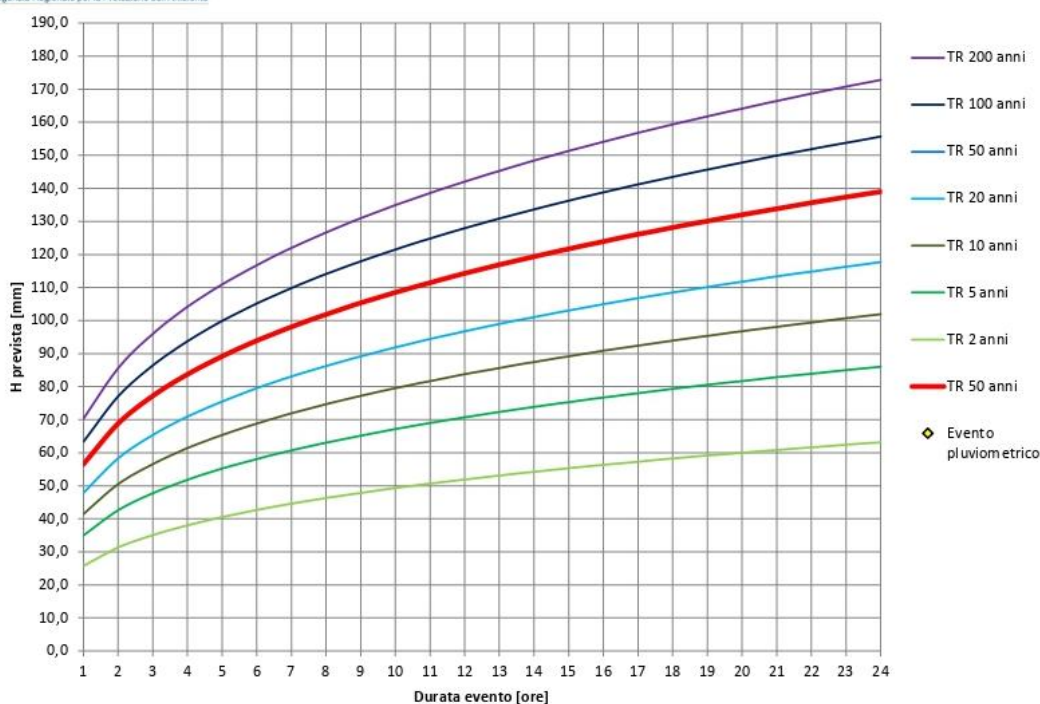


Figura 5.1: Curva di possibilità pluviometrica generata tramite i parametri ed il tool disponibile dal sito ARPA

Descrizione del sistema di drenaggio

Lo schema del drenaggio di dettaglio delle acque meteoriche verrà redatto non appena verrà stabilita la posizione degli elementi strutturali di progetto (capannoni, superfici pavimentate...). La presente relazione indicherà unicamente la posizione dei dispositivi di trattenimento e smaltimento delle acque meteoriche che dovranno poi essere collegati al sistema di drenaggio delle superfici individuate nel paragrafo precedente.

Lo smaltimento delle acque meteoriche è previsto in assenza di scarico in un fosso che verrà costituito sul lato ovest del lotto e per cui è stata richiesta l'autorizzazione al Consorzio di Bonifica DUNAS, gestore dell'opera, che ha imposto come vincolo per la costruzione delle opere di invarianza una distanza di 1,5 m dall'argine, al fine di garantire la possibilità di poter effettuare manutenzione del corpo idrico.

Il rispetto del limite di scarico imposto dal regolamento verrà dunque garantito tramite la posa di trincee drenanti poste al di sotto della pavimentazione del piazzale lungo il lato ovest del lotto e ad una distanza minima di 1,5 m dal fosso come indicato dal Consorzio. Data la mancanza di scarico delle acque nel nuovo fosso, lo smaltimento delle acque accumulate avverrà unicamente tramite infiltrazione nel terreno. La scelta della tipologia di opera è dovuta al limitato spazio planimetrico a disposizione, alla notevole distanza dal massimo livello della falda dal piano campagna rilevata nella relazione geologica (- 5,0 m) e alla buona capacità filtrante del terreno stesso che verrà evidenziata nei paragrafi successivi.

Riepilogando, lo smaltimento è previsto come segue:

- Raccolta delle acque meteoriche tramite la rete di drenaggio;
- Accumulo temporaneo dei volumi in n° 2 trincee drenanti lungo il lato ovest (una per superficie) senza prevedere scarichi di troppo pieno nel fosso posto anch'esso lungo il lato ovest e ad una distanza pari ad 1,5 m dall'argine dello stesso.

In figura 5.2 si riporta la previsione di inserimento dei dispositivi di laminazione; il calcolo delle relative dimensioni verrà spiegato nei capitoli successivi.

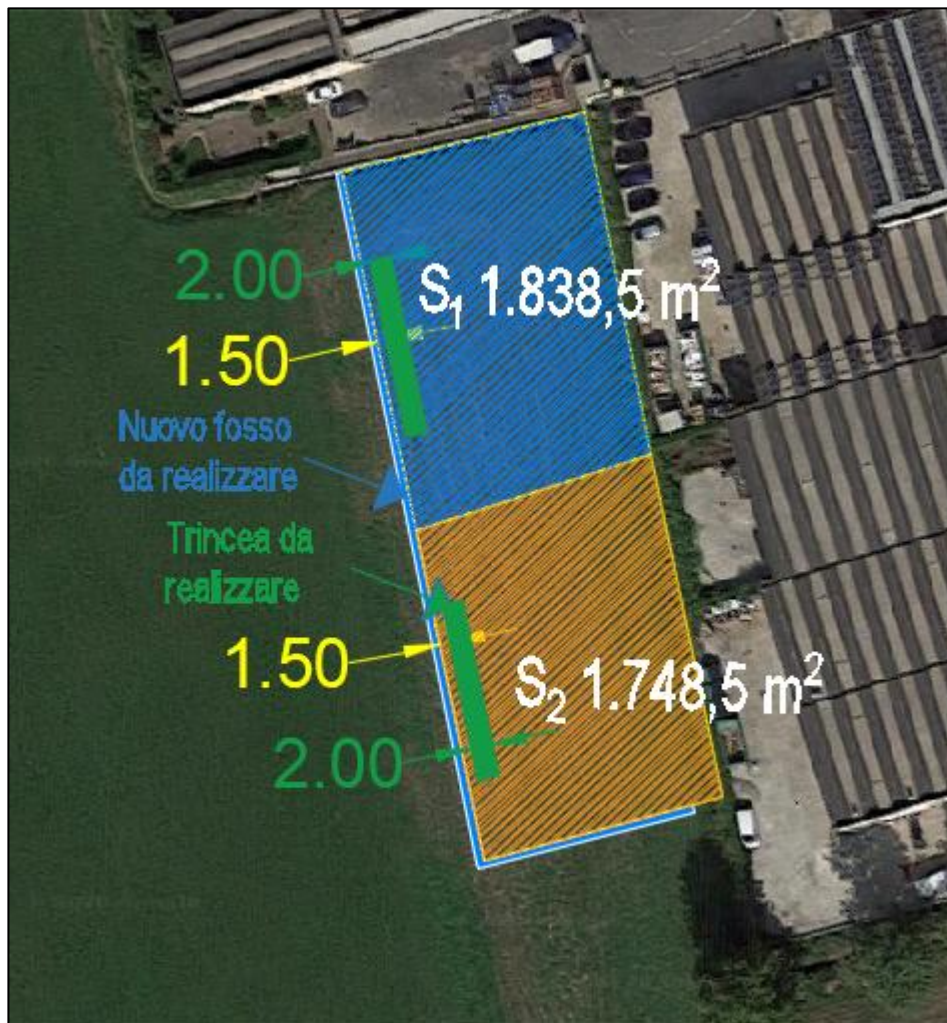


Figura 5.2: Planimetria con indicazione dei dispositivi di dispersione (trincee) di progetto

Descrizione e realizzazione delle trincee filtranti

Le trincee filtranti sono costituite da scavi riempiti con materiale di tipo naturale o sintetico che ha come caratteristica tecnica una buona permeabilità in modo da assolvere principalmente alle seguenti funzioni:

- ✓ Laminazione di volumi generalmente modesti
- ✓ Infiltrazione delle acque meteoriche in funzione delle capacità del terreno;
- ✓ Miglioramento della qualità delle acque;
- ✓ Richiesta di minore manutenzione se accoppiate a strutture di pretrattamento a monte.

Tra le funzioni appena elencate, la principale consiste nella laminazione dei volumi di pioggia favorendo lo stoccaggio temporaneo dei volumi di run-off in arrivo dalla superficie superiore e la loro successiva infiltrazione nel sottosuolo attraverso le pareti verticali ed il fondo. Tali volumi, in pieno accordo con il Regolamento di Invarianza, oltre che ridurre il quantitativo di acque meteoriche che genera il deflusso superficiale ormai difficilmente gestibile e causa di frequenti allagamenti, permette inoltre di mantenere il bilancio idrico di un sito e la ricarica della falda sotterranea. Infine, per quanto riguarda la componente qualitativa, si osserva che opere di questo tipo contribuiscono al generale miglioramento qualitativo delle acque anche se in caso di possibile forte inquinamento dovuto alle acque provenienti dal dilavamento delle superfici impermeabili, è necessario prevedere degli elementi di pretrattamento in modo da limitare l'apporto di inquinanti in falda. In generale, è preferibile mantenere un adeguato franco di sicurezza tra il fondo dell'opera ed il livello massimo della falda in modo da garantire la

possibilità di scarico delle acque accumulate ed il migliore trattamento depurativo dello strato di terreno a contatto con la falda.

Le acque accumulate nella trincea hanno un tempo di permanenza che da progetto richiede in genere dalle 12 alle 24 h successive alla fine dell'evento di pioggia in funzione della capacità di infiltrazione dei terreni al di sotto dell'opera stessa.

Il sistema appena descritto, così come concepito, è dunque costituito da una vasca in terra che verrà riempita con materiale granulare di pezzatura uniforme che garantirà il recepimento dei volumi meteorici ed in seguito l'infiltrazione degli stessi nel terreno. Dal punto di vista pratico, la realizzazione di una trincea drenante comprende, in linea generale, le seguenti fasi:

- ✓ Realizzare un letto di posa di materiale selezionato (spezzato o ghiaietto di granulometria conforme alle indicazioni progettuali) con uno spessore di 10 cm evitando così che la sommità della costola vada a poggiare sul terreno di scavo;
- ✓ Stendere un foglio di tessuto non tessuto attorno alle pareti dello scavo che avvolgerà tutta la trincea;
- ✓ Utilizzare come materiale di riempimento selezionato attorno al tubo di scarico (spezzato o ghiaietto di granulometria conforme alle indicazioni progettuali);
- ✓ Effettuare il riempimento con il medesimo fino a 20 cm sopra l'estradosso del tubo;
- ✓ Coprire la sezione di ricoprimento con il tessuto non tessuto;
- ✓ Ultimare il riempimento dello scavo con il terreno di riporto.

A conclusione del paragrafo, si riporta lo schema di funzionamento di una trincea drenante e qualche esempio di realizzazione in ambito urbano ed extraurbano.

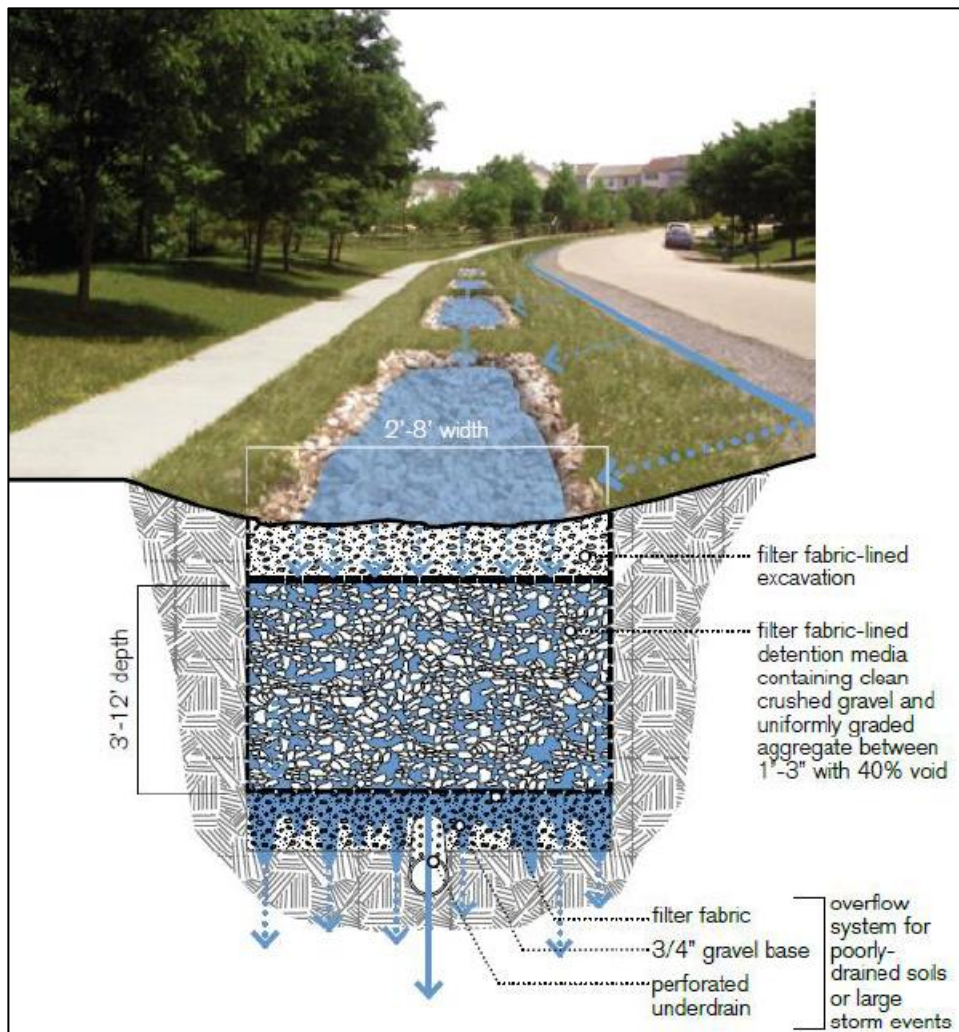


Fig. 5.3 – Schema di funzionamento di una trincea drenante – Fonte: LID Low Impact Development – a design manual for urban areas (University of Arkansas Community Design Center)



Fig. 5.4 – Esempi di realizzazione di trincee drenanti applicate a strade e parcheggi

Circolazione idrica superficiale

La relazione geologica indica che la zona è caratterizzata dal punto di vista idrografico dalla presenza del fiume Serio, distante circa 3 km dal lotto investigato. Localmente la zona è caratterizzata da canali e rogge che hanno uno scopo prevalentemente irriguo e che rappresentano un intreccio di vie d'acqua tendente spesso a ramificarsi in derivazioni più o meno importanti.

Lungo il lato est della zona d'intervento, come indicato nella relazione geologica, è presente attualmente un fosso gestito dal Consorzio di Bonifica DUNAS utilizzato durante la stagione irrigua che permette inoltre lo scarico a gravità delle acque intercettate dalla rete di drenaggio sia durante la stagione irrigua sia durante un evento di piena. Questo verrà spostato lungo il lato ovest del lotto in modo da non rimanere intercluso tra il lotto oggetto d'intervento e l'adiacente lungo il lato est. Si ricorda che le trincee previste lungo il lato ovest non avranno alcun dispositivo di scarico verso il nuovo fosso e le acque meteoriche accumulate verranno totalmente infiltrate nel terreno.

Descrizione litologica e parametri tecnici del terreno

I parametri che definiscono le caratteristiche tecniche del terreno e che costituiscono i dati di input per la progettazione dell'opera di trattenuta delle acque, sono stati ricavati anch'essi dalla relazione geologica. In particolare, sono state effettuate n. 4 prove penetrometriche dinamiche, n. 2 trincee esplorative eseguite con escavatore semovente a benna rovescia e n. 2 registrazioni di sismica passiva. Nella figura seguente si riporta l'ubicazione delle prove eseguite.

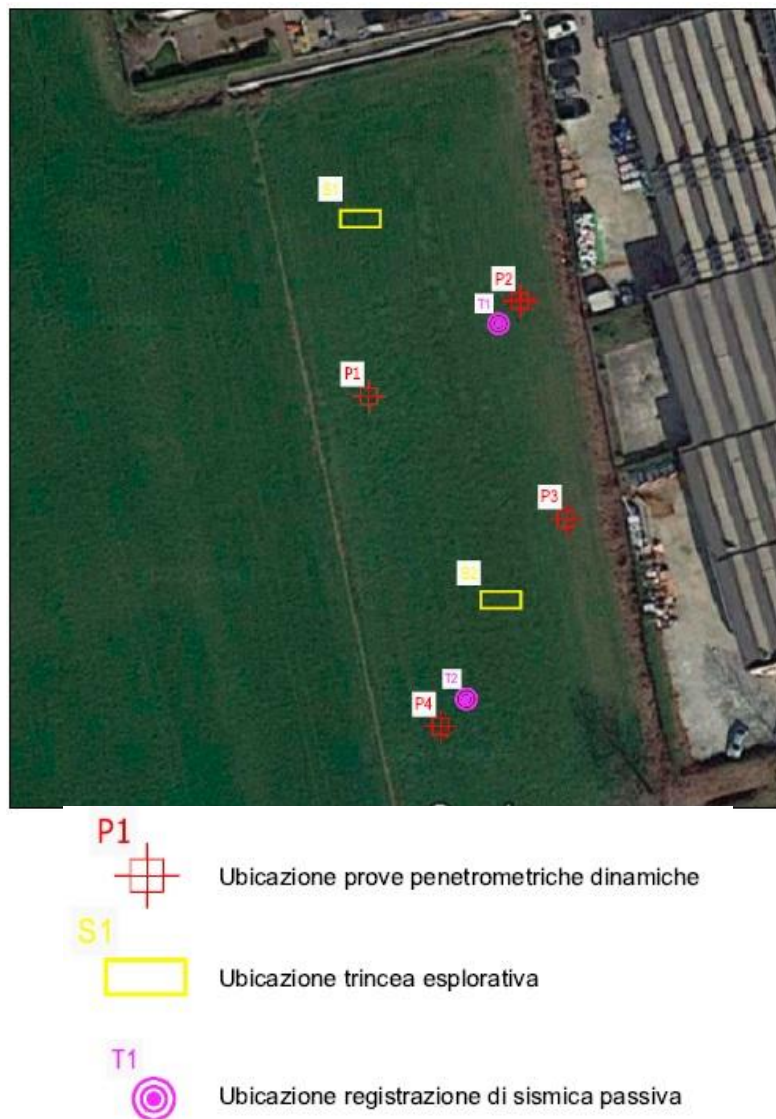


Fig. 5.5 – Estratto dalla relazione geologica – ubicazione delle prove geologiche

In base ai risultati ottenuti dalle prove e utilizzando correlazioni semi-empiriche tratte dalla letteratura geotecnica, sono stati determinati i principali parametri geotecnici rappresentativi dei livelli geologici individuati che sono stati suddivisi in unità geotecniche a comportamento geomeccanico omogeneo e delle quali se ne riporta di seguito una descrizione sommaria per composizione:

- da p.c. e fino a -0,8 / -0,9 m: terreno di coltivo vegetale, di natura sabbioso-limosa ricco di sostanza organica, di colore marrone, con presenza di radici;
- da -0,8 / -0,9 m a -1,6 / -1,8 m da p.c.: limo sabbioso e argilloso, a tratti sabbia limosa, debolmente argillosa, sciolta e poco consistente, di colore bruno-marrone;
- da -1,6 / 1,8 m a -2,7 m da p.c.: sabbia fine o medio/fine, quasi monogranulare grigio-nocciola, sciolta o poco addensata con tracce di limo in piccoli agglomerati e rari ciottoli di diametro pari a 4/5 cm.

Dall'analisi della stratigrafia emersa dalle prove, emerge una situazione abbastanza omogenea data dalla presenza di agglomerati sabbiosi-limosi.

Infine, per quanto riguarda la falda, si riporta che è stata individuata durante le prove descritte precedentemente ad una profondità di -8,0 m dal p.c. Le rilevazioni effettuate precedentemente indicano un'oscillazione della stessa da -5,5 m a -8,1 m dal p.c. A favore di sicurezza, si assume come profondità massima di progetto della falda un valore pari a -5,0 m.

Definizione della permeabilità di progetto

Per il materiale individuato durante lo scavo, la relazione geologica indica il seguente valori medio di permeabilità verticale:

- $k_v = 1 \cdot 10^{(-4)} \text{ m/s}$.

Tale valore verrà assunto come input per la progettazione dei dispositivi di drenaggio.

Definizione della portata limite di scarico

Lo scarico dell'invaso di laminazione asservito verrà infiltrato totalmente nel suolo nel rispetto della portata limite ammissibile complessiva che, essendo _____ per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento, risulta essere pari a:

Nella quale:

portata limite ammissibile allo scarico definita secondo i limiti del regolamento di invarianza [l/s]

superficie oggetto dell'intervento [ha]

coefficiente di deflusso medio ponderale della zona oggetto dell'intervento [-]

coefficiente udometrico definito dalla normativa in funzione della criticità della zona oggetto dell'intervento (B), pari a 20 [l/s per ettaro]

In questo caso, data la scelta progettuale di non scaricare nel nuovo fosso e di infiltrare totalmente le portate meteoriche, la _____ ha un valore pari a 0 e la portata in uscita dai dispositivi di infiltrazione risulterà unicamente quella infiltrata (_____).

Valutazione del volume di invaso

Il volume di invaso da realizzare per garantire l'invarianza idraulica nelle superfici soggette a trasformazione verrà calcolato ai sensi del R.R. secondo il "metodo delle sole piogge" e seguendo il procedimento esposto nel testo "Sistemi di fognatura, Manuale di progettazione" (CSDU, Milano, 1997) richiamato al paragrafo 4.2 delle "Linee Guida per la Valutazione di Compatibilità Idraulica". Tale modello si basa sul confronto tra la curva cumulata delle portate entranti e quella delle portate uscenti ipotizzando che sia trascurabile l'effetto della trasformazione afflussi-deflussi operata dal bacino e dalla rete drenante. In sostanza, il metodo si basa sulle seguenti assunzioni:

- l'onda entrante dovuta alla precipitazione piovosa $Q_e(t)$ nell'invaso di laminazione è un'onda rettangolare avente durata D e portata costante Q_e pari al prodotto dell'intensità media di pioggia, dedotta dalla curva di possibilità pluviometrica valida per l'area oggetto di calcolo in funzione della durata di pioggia, per la superficie scolante impermeabile dell'intervento afferente all'invaso; con questa assunzione si ammette che, data la limitata estensione del bacino scolante, sia trascurabile l'effetto della trasformazione afflussi-deflussi operata dal bacino e dalla rete drenante afferente all'invaso. Conseguentemente l'onda entrante nell'invaso coincide con la precipitazione piovosa sulla superficie scolante impermeabile dell'intervento. La portata costante entrante è quindi pari a:

E il volume di pioggia complessivamente entrante è pari a:

In cui S è la superficie scolante del bacino complessivamente afferente all'invaso, è il coefficiente di deflusso medio ponderale del bacino medesimo calcolabile con i valori standard esposti nell'articolo 11, comma 2, lettera d) del regolamento (quindi è la superficie scolante impermeabile dell'intervento), D è la durata di pioggia. $a=a_1w_T$ e n sono i parametri della curva di possibilità pluviometrica (desunti da ARPA Lombardia) che viene espressa nella seguente forma.

- L'onda uscente $Q_u(t)$ è anch'essa un'onda rettangolare caratterizzata da una portata costante $Q_{u,lim}$ (laminazione ottimale) ed è commisurata al limite prefissato in aderenza alle indicazioni sulle portate massime ammissibili di cui all'Art. 8 del regolamento. La portata costante uscente è quindi pari a:

Ed il volume complessivamente uscito nel corso della durata D dell'evento è pari a:

In cui è la portata specifica limite ammissibile allo scarico, di cui all'articolo 8 comma 1 del regolamento.

Sulla base di tali ipotesi semplificative il volume di laminazione è dato, per ogni durata di pioggia considerata, dalla differenza tra i volumi dell'onda entrante e dell'onda uscente calcolati al termine della durata di pioggia. Conseguentemente, il volume di dimensionamento della vasca è pari al volume critico di laminazione, cioè quello calcolato per l'evento di durata critica che rende massimo il volume di laminazione.

Quindi, il volume massimo che deve essere trattenuto nell'invaso di laminazione al termine dell'evento di durata generica D (invaso di laminazione) è pari a:

Esprimendo matematicamente la condizione di massimo, ossia derivando rispetto alla durata D la differenza , si ricava la durata critica per l'invaso di laminazione e di conseguenza il volume di laminazione :

Nella quale sono state utilizzate le seguenti unità di misura:

[m³], S [ha], a [mm/], [ore], [ore], [l/s]

Nella figura seguente si riporta il grafico esplicativo del metodo.

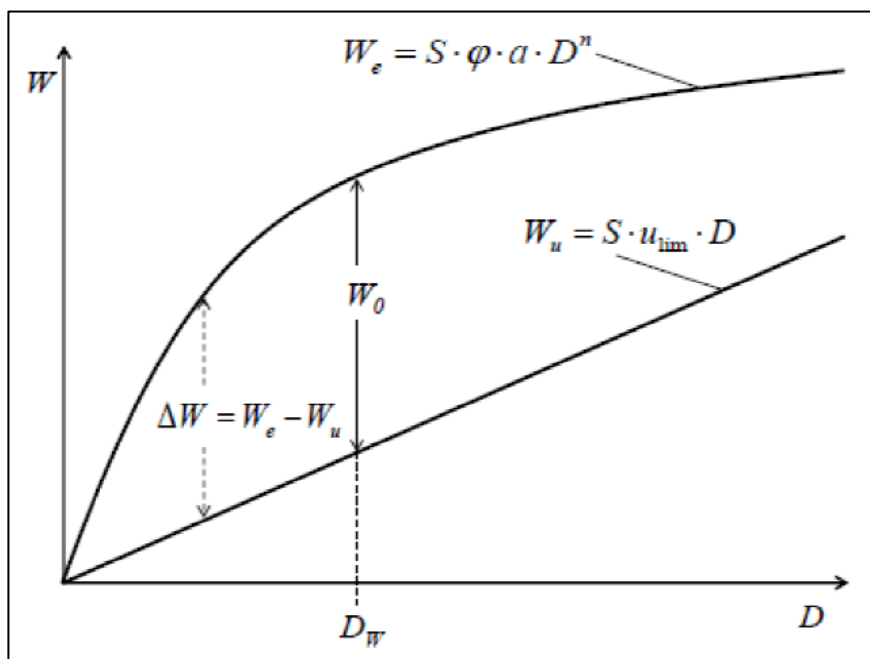


Figura 5.6: Rappresentazione grafica del "Metodo delle sole piogge"

Il volume calcolato tramite il metodo appena descritto va infine confrontato con il volume di invarianza minimo richiesto dalla normativa definito in base alla criticità dell'area, che in questo caso specifico risulta essere pari a 800 m³/ha_{imp} in base all'art. 7 comma 5 per cui " 5. Indipendentemente dall'ubicazione territoriale, sono assoggettate ai limiti indicati nel presente regolamento per le aree A di cui al comma 3, anche le aree lombarde inserite nei PGT comunali come ambiti di trasformazione o anche come piani attuativi previsti nel piano delle regole . L'art. 11 comma 2 del R.R. 7/2017 permette però di poter ridurre tale volume specifico del 30% nel caso si realizzino sole strutture di infiltrazione con valutazione della permeabilità del terreno tramite prove specifiche. Nel caso oggetto di studio si prevede di realizzare strutture di sola infiltrazione e, come precedentemente richiamato nel paragrafo dedicato, sono disponibili dati provenienti da prove di permeabilità effettuate in loco e riportate nella

relazione geologica. Pertanto, il volume minimo richiesto dalla normativa risulta essere ridotto a 560 m³/ha_{imp}.

Il volume di progetto sarà poi dato dal massimo tra il volume calcolato tramite il metodo delle sole piogge e il minimo indicato dalla normativa. I risultati del volume delle opere da realizzare e il rispettivo minimo indicato dalla normativa sono riportati nella seguente tabella. Per cui con una Superficie di mq. 3587 risulta un W così calcolato

Tab. 5.1: Riassunto dei principali parametri calcolati

W_{min da calcoli} [m³]	W_{,min,norm,5} [m³]	W_{min,progetto} [m³]
91,57	200,87	200,87

6 DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA DI LAMINAZIONE

Per realizzare il volume richiesto per l'invarianza calcolato nel capitolo precedente, si predisporranno n° 2 trincee lungo il lato ovest con l'obiettivo di infiltrare completamente le acque meteoriche accumulate durante l'evento di progetto. Come già indicato nei precedenti paragrafi, i calcoli sono stati effettuati senza prevedere la possibilità di scarico in corpo idrico ricettore in quanto le caratteristiche di permeabilità del terreno evidenziate dalla relazione geologica sono buone e permettono l'infiltrazione totale dei volumi nei tempi richiesti dal Regolamento Regionale.

Dimensionamento e verifica dei pozzi

Definito il volume minimo, è necessario dimensionare l'opera di drenaggio individuando il volume utile per l'immagazzinamento della portata in ingresso. Come anticipato nella descrizione del sistema di drenaggio, si intende realizzare un sistema costituito da n° 2 strutture disperdenti.

Dimensionamento della trincea

La trincea drenante deve assolvere, dal punto di vista idraulico, alle seguenti funzioni:

- ✓ Il volume minimo dell'opera dev'essere almeno pari a quello calcolato nel paragrafo precedente (), ricavato per un tempo di ritorno pari a 50 anni. L'opera deve però essere in grado di laminare precipitazioni corrispondenti a tempi di ritorno di 100 anni;
- ✓ Il Regolamento Regionale impone lo svuotamento della trincea entro 48 ore dal termine dell'evento. Questo parametro dipende unicamente dalla tipologia di suolo presente in sito o che si intende utilizzare per il riempimento del sottofondo della trincea;
- ✓ Franco idraulico tra piano di posa della trincea e livello medio della falda almeno pari ad 1 m.

Il dimensionamento di una trincea drenante va eseguito confrontando le portate in arrivo al sistema definite in funzione delle curve di possibilità pluviometrica e del tempo di ritorno, con la capacità di infiltrazione del sistema. Il confronto viene effettuato, al pari di un qualsiasi vaso, tramite l'equazione di continuità, che rappresenta il bilancio delle portate entranti ed uscenti attraverso il mezzo filtrante nel quale di trascura, a favore di sicurezza, sia il contributo dovuto all'evaporazione che quello dovuto allo scarico laterale delle acque e della eventuale tubazione di scarico della trincea in corpo idrico ricettore (se presente).

Il volume di calcolo della trincea verrà calcolato come primo tentativo ipotizzando la posa di una trincea senza tubo di drenaggio; tale sistema è definito in letteratura "totalmente filtrante". L'opera proposta è la più semplice tra le tipologie di trincee disponibili in quanto per la sua costruzione si necessita unicamente di uno scavo e di materiale di riempimento idoneo alla filtrazione. Nel caso in oggetto, la trincea verrà posta lungo il lato ovest della proprietà e non dovrà presentare alcuna costruzione al di sopra della stessa ai fini di mantenere la possibilità di ispezione e manutenzione. Considerando inoltre l'impermeabilizzazione totale del lotto e la destinazione produttiva dello stesso, la trincea verrà posta al di sotto di un pacchetto stradale e non sarà visibile dal piano campagna a meno del pozzetto di ispezione e spurgo installato a monte della trincea che fungerà da punto di raccolta delle acque meteoriche e permetterà ad intervalli regolari la pulizia del dispositivo tramite aria compressa. Lo schema di progetto dell'opera è riportato nella seguente figura:

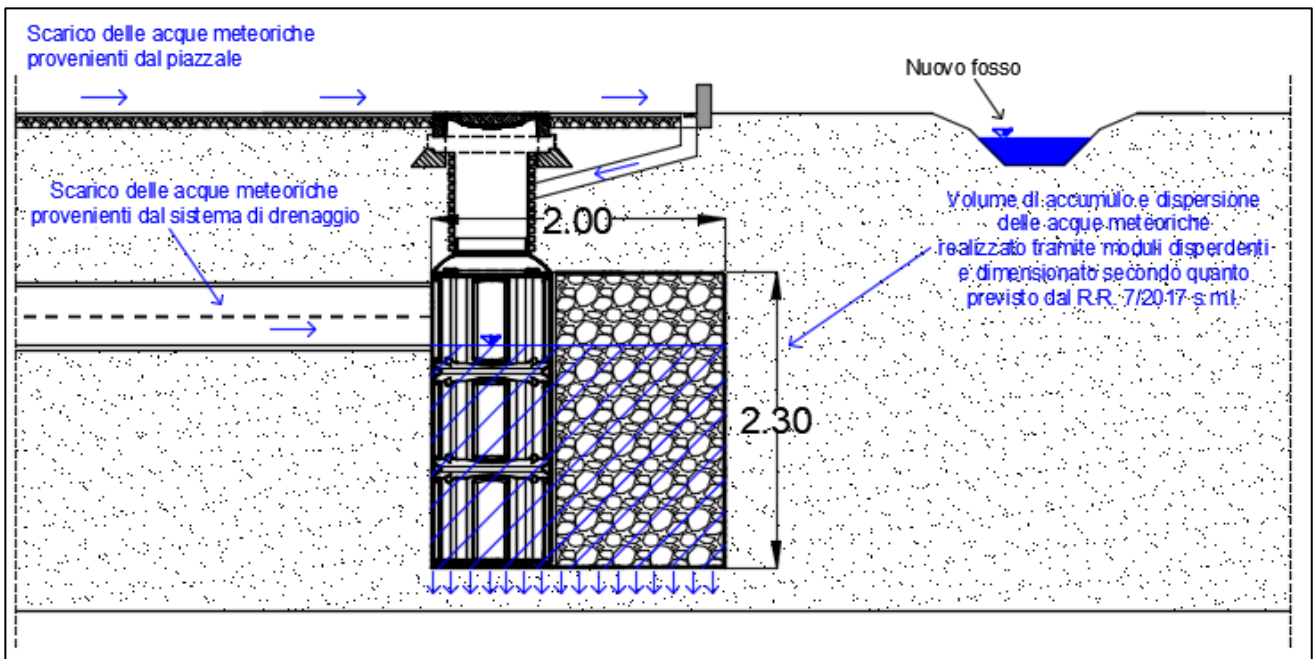


Figura 6.1: Sezione tipo raccolta e scarico delle acque meteoriche verso la trincea

Il dimensionamento è stato effettuato ipotizzando un sistema di infiltrazione delle acque 2D, considerando come unica possibilità di smaltimento delle acque il fondo dell'opera e trascurando l'eventuale contributo di infiltrazione derivante dalle sponde. Lo schema seguito per la progettazione è quello riportato nella figura seguente:

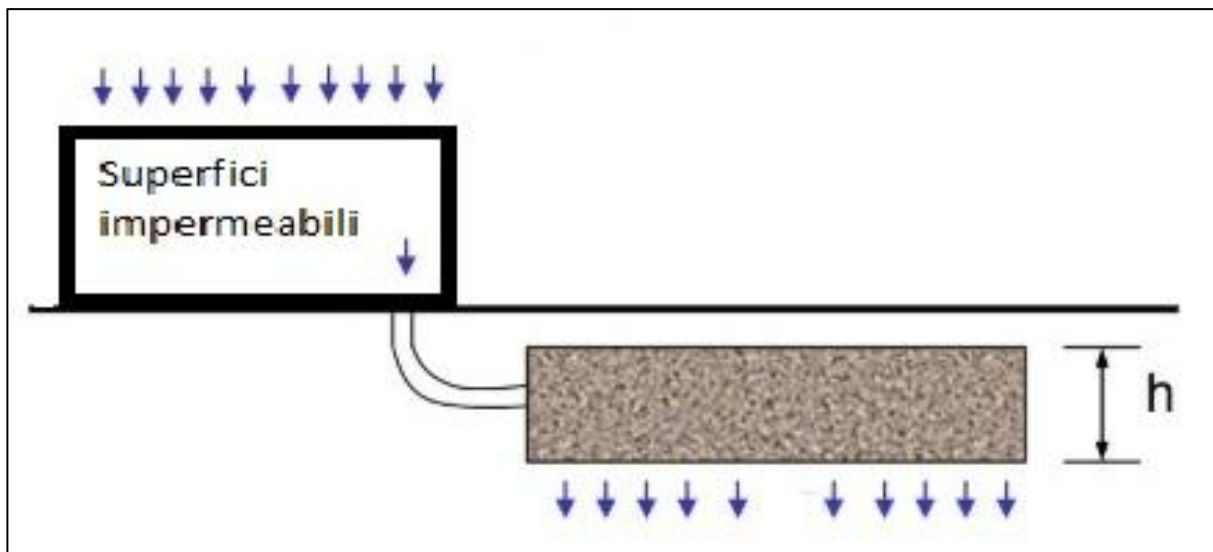


Figura 6.2: Schema di un sistema di infiltrazione bidimensionale

Il calcolo dell'invaso di laminazione avviene, come per tutti i serbatoi, applicando l'equazione di continuità che nel caso specifico assume la seguente forma:

Nella quale:

durata dell'evento (h)

tempo di ritorno dell'evento di progetto (pari a 50 anni)

portata in ingresso al sistema

intensità di precipitazione media, calcolata in funzione dei parametri della curva di possibilità pluviometrica indicati nei capitoli precedenti

tasso di infiltrazione medio assunto pari alla permeabilità verticale in condizioni sature desunta dalla relazione geologica (pari a \quad m/s valore cautelativo)

superficie planimetrica di progetto del sistema di infiltrazione

porosità del materiale imposta pari a 0,9 considerando un materiale di riempimento della trincea artificiale altamente poroso

profondità del sistema di infiltrazione

capacità di scarico residua in Canale Gronda Nord al netto della portata infiltrata (mm/h)

Integrando l'equazione di continuità appena riportata ed esplicitando la profondità, si ottiene:

—

Nella quale \quad rappresenta il rapporto tra la superficie che si intende laminare e l'area della laminazione stessa. La trincea è stata ipotizzata di forma prismatica (salvo poi riformulare tale ipotesi in considerazione dell'effettivo stato del fosso che si intende adeguare) e la rispettiva superficie planimetrica è stata scelta pari a 2,0 x 52,0 m.

Utilizzando opportunamente l'equazione appena riportata, è possibile ricavare la durata critica alla quale corrisponde l'altezza di progetto. Di seguito si riportano i risultati ottenuti:

Cautelativamente nel procedimento di calcolo non si è tenuto conto del volume fornito dalle tubazioni e dai collettori del sistema di drenaggio delle acque bianche e si è fatto solamente riferimento al volume utile dell'opera di laminazione. È però corretto considerare come volume di laminazione l'ulteriore contributo generato dallo scavo laterale necessario per la posa dell'opera. Tale volume verrà infatti riempito con materiale granulare avente porosità assunta pari a 0.3. Considerando quest'ultimo contributo per una larghezza di 0,5 m per lato, il volume dell'opera e le dimensioni delle stesse risultano quindi essere le seguenti:

Verifica del sistema di laminazione-dispersione

Definite le caratteristiche geometriche delle trincee, è ora necessario verificare il sistema ai sensi del Regolamento Regionale secondo le seguenti prescrizioni:

- ✓ Verifica del rispetto del volume minimo di invarianza calcolato secondo le prescrizioni indicate dal regolamento;
- ✓ Verifica dei dispositivi dimensionati per tempi di ritorno pari a 100 anni;
- ✓ Lo svuotamento delle opere progettate deve avvenire entro 48 h dal termine dell'evento.

I risultati delle verifiche sono i seguenti:

< 201,00

Il volume complessivo dei dispositivi è ampiamente sufficiente anche per tempi di ritorno pari a 100 anni e pertanto il sistema risulta essere verificato.

Complessivamente le verifiche per il volume a T=50 e T=100 e dei tempi di svuotamento delle opere risultano essere soddisfatte. Pertanto, si ritiene che le profondità individuate per T=50 anni siano sufficienti al contenimento dei volumi anche per T=100 anni.

Si ricorda che i calcoli sono stati effettuati escludendo il contributo dello scarico della tubazione di troppo pieno verso il nuovo fosso che, come è stato specificato precedentemente, non verrà previsto.

Si osserva infine che la profondità di progetto è abbastanza distante dal livello piezometrico della falda di progetto, posta pari a -5,00 m rispetto al p.c. e pertanto anche tale vincolo risulta essere soddisfatto.

7 PIANO DI MANUTENZIONE

Ancorché la presente relazione individua unicamente i volumi ed individua le dimensioni di massima delle opere necessarie per il drenaggio, si vogliono fornire indicazioni circa la manutenzione.

Al fine di mantenere in efficienza un sistema di drenaggio, è necessario definire un programma di manutenzione che consiste in uno strumento che indica un insieme di controlli e di interventi da eseguire a cadenze temporali prefissate, al fine di una corretta gestione del bene e delle sue parti nel corso degli anni.

In linea generale, per quanto riguarda un sistema di trincee drenanti, si indicano di seguito una serie di operazioni pratiche che sarà necessario programmare al fine di mantenere in efficienza l'opera:

- ✓ Esame visivo almeno tre volte l'anno in modo da evitare l'intasamento dell'opera per effetto del deposito del materiale trasportato durante i periodi di massima pioggia;
- ✓ Pulizia periodica nel caso in cui si dovessero notare notevoli quantità di materiale depositato;
- ✓ In caso di intasamenti, occorre prontamente provvedere all'asportazione del materiale depositato in modo da ripristinare le condizioni funzionali dell'opera;
- ✓ È da accertare lo stato di manutenzione dei geotessili. In caso di rottura è necessario provvedere alla sua sostituzione.

Infine, per il presente progetto, si è scelto di inserire 2 tubazioni forate orizzontali, parallele e forate all'interno del dispositivo che saranno poi collegate ad un pozzetto esterno dal quale sarà possibile collegare le tubazioni stesse con un compressore che introducendo aria ad una certa pressione sarà in grado di liberare i vuoti progressivamente intasati dal materiale fine trasportato dall'acqua. L'operazione appena descritta, rientrando nella categoria della manutenzione straordinaria, si consiglia di eseguirla al bisogno ma comunque con frequenza almeno biennale.

8 CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state analizzate le caratteristiche del sito e dimensionate le opere necessarie per garantire il rispetto delle prescrizioni del R.R. 7/2017 sull'invarianza idraulica.

Sulla base della procedura di calcolo del "Metodo delle sole piogge" prevista dal regolamento si è dimostrata la necessità di realizzare una volumetria di laminazione/infiltrazione pari ad almeno 125,50 m³. Che ai sensi dell'art. 7 comma 5 bisogna utilizzare un $W_{min} = mq. 201,00$ Questa verrà ottenuta tramite la realizzazione di n° 2 trincee disperdenti da realizzare lungo il lato est della proprietà che risultano avere un volume pari a 201,00 m³.

Il tempo di svuotamento di tale sistema calcolato nel paragrafo 6, è stato calcolato in 15,19 h e risulta essere inferiore alle 48 previste dal Regolamento Regionale.

Per quanto riguarda la verifica per tempi di ritorno di 100 anni si sono ottenuti volumi di calcolo inferiori rispetto a quelli di progetto: 125,50 m³ di progetto rispetto a 102,33 m³ di calcolo del metodo delle sole piogge per T=100 anni. Pertanto, i volumi di progetto sono altamente sufficienti anche per eventi per tempo di ritorno pari a 100 anni.

La profondità di progetto individuata (-2,30 m dal p.c.) che è distante dal livello limite di falda indicato nel paragrafo dedicato (-5,00 m dal p.c.) per una larghezza di m. 2,00 e una lunghezza di m. 44,00 che andrà realizzato per m. 23,00 sulla proprietà Agardi e m. 23,00 sulla proprietà Ama Estate, pertanto il vincolo idraulico/idrogeologico risulta soddisfatto.

Concludendo, alla luce dei risultati e delle verifiche effettuate, si ritiene che il sistema di drenaggio proposto risulti essere conforme al R.R. 7/2017 e s.m.i.

Crema, 23/09/2020

Il tecnico

Ing. Adriano Nichetti

