



COMUNE DI COPIANO

PROVINCIA DI PAVIA

PIANO ATTUATIVO A.T.P.1

in Variante al Piano di Governo del Territorio
ai sensi della L.R. 12/2005 e s.m.i.

COMMITTENTE:

IMMOBILIARE MA.ST.RO. S.R.L.

CORSO CAVOUR 7, 26100 CREMONA
Partita IVA E C.F. 05313990961

OGGETTO:

Invarianza Idraulica - Relazione

PROGETTISTI
ARCH. GIORGIO CORIONI:



ARCH. VITTORIO FEDERIGO ROGNONI:



DATA :

APRILE 2025

COMMITTENTE :
IMMOBILIARE MA.ST.RO. S.R.L.

IMMOBILIARE MA.ST.RO. SRL

Part. IVA 05313990961

ELABORATO:

STUDIO TECNICO

ING. MARCO CASSANI

Via Alessandro Volta n°22 – Pavia (PV)

Cod.Fisc.: CSSMRC89B09D150L
P.iva: 02619570183
PEC: marco01.cassani@pec.ording.pv.it
Email: ing.marcocassani@gmail.com
Telefono: +39 0382 539234 – Fax: +39 0382 1803332

RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA – IDROLOGICA

Copiano (PV) – Via Vistarino

Nuova costruzione di fabbricato uso deposito logistico

“Ambito APT-1”

“Verifica del sistema di smaltimento delle acque meteoriche ai sensi del R.R. n.7/2017 sul rispetto del principio d’invarianza idraulica e idrologica”

Committente: ***Studio Arch. Giorgio Corioni***
Viale Cremona, 124
27100 – Pavia (PV)

SOMMARIO

1) Premessa e inquadramento.....	1
1.1) Riferimenti normativi	2
2) Superficie d'intervento.....	3
2.1) Coefficiente deflusso medio ponderale	4
2.2) Classificazione intervento ai sensi R.R. 7/2017	4
2.2.1) Metodologie di calcolo	5
3) Descrizione rete di smaltimento in progetto.....	6
3.1) Bacino superficiale di laminazione (detenzione)	9
3.2) Manufatto di scarico	11
4) Analisi idrologica.....	12
4.1) Calcolo LSPP di progetto	12
5) Stima dell'infiltrazione.....	14
6) Trasformazione afflussi-deflussi (Metodo sole piogge).....	14
6.1) Sotto-bacino – Ambito APT-1	15
6.1.1) Volumi accumulati	15
6.1.2) Verifiche di svuotamento.....	15
7) Requisiti minimi	15
8) Verifica idraulica rete meteorica.....	17
9) Conclusioni	24

1) PREMESSA E INQUADRAMENTO

Il presente documento costituisce la relazione sul rispetto del principio d'invarianza idrologica e idraulica (R.R.7/2017 e s.m.i.), parte integrante della documentazione tecnica di progetto, relativa alla rete di gestione e smaltimento delle sole acque meteoriche di un'area libera su cui è in previsione la realizzazione di un nuovo insediamento produttivo logistico con relative area pertinenziali costituite da piazzali di carico, parcheggi e viabilità interna ed esterna; tale nuova costruzione è inserita in un Ambito Produttivo di Trasformazione comunale denominato "APT-1".

L'applicazione del principio d'invarianza idraulica riguarderà la superficie afferente alla nuova costruzione del fabbricato, comprensiva della viabilità interna ed esterna (in cessione pubblica), escludendo dal calcolo, così come previsto dal Regolamento Regionale, quelle non oggetto d'intervento e le aree verdi non drenate e non impiegate ai fini dell'infiltrazione.

L'ambito in cui è previsto l'insediamento produttivo, illustrato nella seguente immagine satellitare, è identificato al N.C.T. del Comune di Copiano (C979) al Foglio 1, Particelle 989 e 1005 ed è ubicato in un contesto agricolo limitrofo ad insediamenti produttivi già in attività. L'area è situata in Via Vistarino e a perimetro d'Ambito in lato Nord-Est, oltre ad un irrigatore minore, si ha la presenza di un corso d'acqua privato ad uso irriguo denominato Cavo Marocco, facente parte del Consorzio Naviglio Olona.



FIG. 1: IMMAGINE SATELLITARE CON INDICAZIONE IN ROSSO DELLA SUPERFICIE DEL LOTTO INTERESSATA DALL'INTERVENTO.

Il progetto prevede la gestione delle acque meteoriche di dilavamento mediante rete di drenaggio standard (pluviali coperture e rete caditoie) con scarico finale tarato in corpo idrico superficiale, previo accumulo per laminazione in un unico bacino/fosso d'invaso ("laghetto") a servizio dell'intero Ambito e dotato di impianto di sollevamento e rilancio verso l'adiacente corso d'acqua privato ad uso irriguo denominato *Cavo Marocco*, facente parte del *Consorzio Naviglio Olona*, con cui è già stato attivato l'iter di nulla osta idraulico allo scarico delle acque del bacino.

Sulla scorta della relazione geologica redatta a supporto del progetto di nuova edificazione e a seguito di prove specifiche di permeabilità in-situ mirate alla stima del processo d'infiltrazione negli strati superficiali, a cura dello studio geologico GHEOS s.a.s. e a firma del Dott. Geol. Sacchi Tommaso, è stato possibile definire le caratteristiche locali di permeabilità (*"Il coeff. di permeabilità ottenuto è pari a $8,66 \cdot 10^{-7}$ m/s, e secondo la classificazione Casagrande-Fadum determina una permeabilità bassa"*) e la soggiacenza minima della falda superficiale (*"Al momento delle indagini è stato individuato il livello della falda freatica, posto tra -3,14 m e -2,81 m da piano campagna a seconda delle differenti prove"*).

Viste le caratteristiche geologiche locali, con presenza di una falda abbastanza superficiale e una permeabilità ottenuta da prove in-situ dell'ordine di $8 \cdot 10^{-7}$ m/s (molto bassa), si opta per un sistema di accumulo e laminazione (bacino superficiale) con solo scarico in corpo idrico superficiale, senza prevedere un apporto d'infiltrazione; il laghetto in progetto sarà quindi dotato di impermeabilizzazione di fondo in argilla naturale compattata e/o geomembrana bugnata in HDPE in quanto non garantito il franco minimo di 100 cm dalla soggiacenza minima di falda.

Sulla base della loro destinazione d'uso (insediamento logistico), le superfici drenate non risultano soggette alla *"disciplina sullo smaltimento delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne"* ai sensi del R.R. n.4/2006 in quanto non ricomprese nell'elenco di cui all'Art.3 c.1, e sono quindi escluse dall'obbligo di separazione e trattamento di *"prima pioggia"*.

Ai fini della verifica sul rispetto del **"principio di invarianza idraulica e idrologica"** ai sensi del R.R. n.7/2017 e s.m.i. (approvato con D.G.R. n. X/7372), la presente relazione tecnica comprenderà:

- Una 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 e/o di disperdimento nel suolo e/o negli strati superficiali del sottosuolo;
- Il calcolo delle precipitazioni di progetto;
- Il calcolo del processo di infiltrazione (eventuale) nelle aree e strutture a ciò destinate e relativi dimensionamenti;
- Il calcolo del processo di laminazione negli invasi a ciò destinati e relativi dimensionamenti;
- Il calcolo del tempo di svuotamento degli invasi di laminazione;
- I calcoli e dimensionamenti di massima di tutte le componenti del sistema di drenaggio delle acque pluviali fino al punto terminale di scarico;

1.1) RIFERIMENTI NORMATIVI

- D.Lgs.n.152/2006 – *"Testo unico ambientale"*;
- L.R. n.26/2003 – *"Norme in materia di gestione dei rifiuti, di energia, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche"*;
- R.R. n.3/ 2006 – *"Disciplina e regime autorizzatorio degli scarichi di acque reflue domestiche e di reti fognarie"*;
- R.R. n.4/2006 – *"Disciplina dello smaltimento delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne"*;
- R.R. n.7/2017 e s.m.i. – *"Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio d'invarianza idraulica e idrologica"*.

2) SUPERFICIE D'INTERVENTO

L'area totale dell'Ambito APT-1 è pari a $S_{TOT} = 58'282 \text{ m}^2$ (5,82 ha) di cui $A_v = 26'084 \text{ m}^2$ occupati tra verde non drenato, canali irrigui e superfici esistenti non oggetto dell'intervento, quindi da escludere ai fini dei calcoli di trasformazione afflussi-deflussi per il principio d'invarianza idraulica (R.R.7/2017). La restante area collettata impermeabile/semipermeabile, grava interamente sull'unico bacino di laminazione superficiale previsto con sviluppo "lineare" parallelamente al lato Est dell'Ambito.

La superficie interessata dall'intervento ("superficie scolante dell'intervento" ai sensi dell'Art.2) di nuova costruzione del fabbricato logistico con aree esterne pertinenziali ("Ambito APT-1") risulta pari a $S'_{INT} = 32'198 \text{ m}^2$ (3,21 ha), di cui:

		Sup. Lotto Totale	$S_{LOTTO} =$	58'282
		di cui Sup. VERDE (esclusa)	$S_V =$	26'084
		[mq]		
copertura impermeabile	Sup. COPERTA FABBRICATI		$S_C =$	18'010
asfalto impermeabile	Sup. VIABILITA' INTERNA		$S_{VI} =$	7'928
asfalto impermeabile	Sup. PARK INTERNO		$S_{PI} =$	1'189
asfalto impermeabile	Sup. VIABILITA' PUBBLICA		$S_{VP} =$	1'096
asfalto impermeabile	Sup. PARK PUBBLICO		$S_{PP} =$	2'817
superficie liquida	Sup. BACINO LAMINAZIONE		$S_L =$	1'158
		Sup. Intervento (R.R.7/2017)	$S_{int} =$	32'198

I successivi calcoli di dimensionamento dei sistemi di gestione delle acque meteoriche (bacino laminazione superficiale), nonché la classificazione dell'intervento ai sensi dell'Art.9 del R.R. n.7/2017 sarà svolto sulla base delle superfici globali d'intervento sopra riportate ("Ambito APT-1").



FIG. 2: SOVRAPPOSIZIONE SUPERFICIE PLANIMETRIA ARCHITETTONICA E IMMAGINE SATELLITARE.

2.1) COEFFICIENTE DEFLUSSO MEDIO PONDERALE

Per il calcolo del coefficiente di deflusso medio ponderale dell'area globale interessata dall'intervento, si fa riferimento ai valori standard proposti dall'art.11 c.2 lett.d) del R.R. n.7/2017:

Sup. Lotto Totale		$S_{Lotto} =$	58'282	
di cui Sup. VERDE (esclusa)		$S_V =$	26'084	
			[mq]	[φ]
copertura impermeabile	Sup. COPERTA FABBRICATI	$S_C =$	18'010	1
asfalto impermeabile	Sup. VIABILITA' INTERNA	$S_{VI} =$	7'928	1
asfalto impermeabile	Sup. PARK INTERNO	$S_{PI} =$	1'189	1
asfalto impermeabile	Sup. VIABILITA' PUBBLICA	$S_{VP} =$	1'096	1
asfalto impermeabile	Sup. PARK PUBBLICO	$S_{PP} =$	2'817	1
superficie liquida	Sup. BACINO LAMINAZIONE	$S_L =$	1'158	0.7
Sup. Intervento (R.R.7/2017)		$S_{int} =$	32'198	0.989

Il coefficiente di deflusso medio ponderale per l'area è pari a $\varphi_p = 0,998$; tale coefficiente sarà impiegato nei calcoli per la stima delle perdite idrologiche nel modello di trasformazione afflussi-deflussi.

2.2) CLASSIFICAZIONE INTERVENTO AI SENSI R.R. 7/2017

Ai sensi del R.R. n.7/2017 è necessario individuare la "classe dell'intervento" così da definire le modalità di calcolo da applicare in fase di dimensionamento dei sistemi di smaltimento e laminazione; la scelta è effettuata sulla base dei seguenti parametri:

- Criticità idraulica del Comune;
- Superficie interessata dall'intervento;
- Coefficiente di deflusso medio ponderale;

Il territorio Lombardo è stato suddiviso in 3 ambiti in cui sono inseriti i Comuni secondo la criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua ricettori; il Comune di Copiano (PV) è classificato tra i *Comuni a media criticità (B)*. La superficie interessata dall'intervento ($32'198 \text{ m}^2$) e il coeff. di deflusso medio ponderale (0,989) sono stati calcolati in precedenza. Entrando con i dati sopra riportati nella "tabella 1" proposta dal R.R. n.7/2017 (successiva Fig. 4), si arriva a definire la classe d'intervento che può variare da classe 0 "impermeabilizzazione potenziale qualsiasi" a classe 3 "impermeabilizzazione potenziale alta".

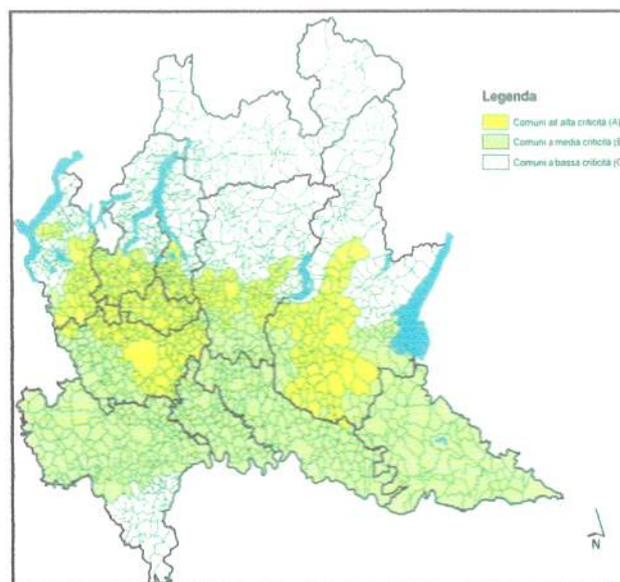


FIG. 3: DISTRIBUZIONE AREE DI CRITICITÀ IDRAULICA E IDROLOGICA REGIONE LOMBARDA (ALL. "B" DEL R.R. 7/2017)

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		

FIG. 4: DEFINIZIONE CLASSE D'INTERVENTO; "TABELLA 1" DEL R.R. 7/2017 E S.M.I.

L'intervento in oggetto è classificato ad "Impermeabilizzazione potenziale alta"; i limiti allo scarico validi per *Comuni a media criticità (B)* sono 20 l/s*ha superficie impermeabile, trattandosi però di un Ambito di Trasformazione è necessario rispettare i 10 l/s*ha ai sensi dell'art.7 c.5 del R.R. 7/2017 e pertanto:

$$Q_{u,lim} = 10 \text{ l/s} * ha * 3,2198 \text{ ha} * 0,989 = 31,9 \text{ l/s}$$

Tale $Q_{u,lim}$ è la portata massima che l'area d'intervento potrà portare direttamente allo scarico tramite il sistema di svuotamento del bacino di laminazione; ne deriva l'esigenza di dimensionare l'impianto di pompaggio su tale portata massima, così da garantire il rispetto dei limiti allo scarico ed ottimizzare i volumi di laminazione necessari.

2.2.1) METODOLOGIE DI CALCOLO

Secondo la classificazione dell'intervento definito, risulta necessario svolgere i dimensionamenti e le verifiche dei sistemi di laminazione e smaltimento mediante la sola "procedura dettagliata" di cui all'art.11 c.2 lett.d); sarà comunque svolta anche l'analisi con "metodo semplificato delle sole piogge" così da effettuare una doppia verifica dei risultati. I due valori ottenuti saranno poi confrontati con i **requisiti minimi** da soddisfare ai sensi dell'Art.12 c.2 del R.R. n.7/2017 e s.m.i., adottando per il dimensionamento il maggiore tra le risultanze.

Per la procedura sarà necessario definire:

- Evento meteorico di progetto (pioggia critica);
- Durata dell'evento meteorico di progetto (durata critica dell'invaso);
- Dinamica di svuotamento dei sistemi (portata di scarico);
- Bilancio dei volumi nei bacini di accumulo (volume massimo di laminazione);
- Tempo di svuotamento dei sistemi infiltranti (deflusso volumi accumulati).

3) DESCRIZIONE RETE DI SMALTIMENTO IN PROGETTO

La rete fognaria interna al comparto, non oggetto della presente relazione, consiste in un sistema di tipo separato e prevede che le acque meteoriche siano interamente convogliate per gravità al bacino di nuova realizzazione in lato Est, costituito da una depressione superficiale con sviluppo principale in senso longitudinale (fosso di laminazione) da ubicarsi internamente all'Ambito e a servizio sia delle aree private che della viabilità pubblica afferente all'intervento. Nel bacino, alloggiato in un manufatto dedicato, viene installato un gruppo di pompaggio che convoglierà, con portata dimensionata sulla massima scaricabile (10 l/s*ha drenato), i volumi accumulati fino al recapito finale. Come accennato in premessa, il recapito delle acque drenate prevede l'immissione puntuale in un canale irriguo privato denominato *Cavo Marocco*, facente parte del *Consorzio Naviglio Olona*, il quale si configura come rete ricettrice finale per l'intervento.

Dal punto di vista qualitativo le superfici drenate non risultano soggette alla "disciplina sullo smaltimento delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne" ai sensi del R.R. n.4/2006 in quanto non ricomprese nell'elenco di cui all'Art.3 c.1, e sono quindi escluse dall'obbligo di separazione e trattamento di "prima pioggia".

La rete meteorica in progetto sarà conformata a singolo sotto-bacino ("Ambito APT-1") gravante interamente sull'unico bacino superficiale previsto, gestito per accumulo e laminazione con scarichi forzati (impianto di pompaggio) in rete ricettrice:

1. Bacino globale diretto all'invaso di laminazione ed avente superficie d'intervento pari a $S_{INT} = 32'198 \text{ m}^2$ e coefficiente di deflusso medio $\phi_1 = 0,989$;

Il tracciato della rete di drenaggio è stato definito in base alla planimetria architettonica fornita, con l'obiettivo di garantire il collettamento delle acque meteoriche da tutte le aree anche solo parzialmente impermeabilizzate. Vista la morfologia dell'area prettamente pianeggiante e la presenza della falda freatica a pochi metri di profondità rispetto al piano campagna, si è deciso di frazionare la rete meteorica realizzando diversi scarichi nel bacino di detenzione, in modo da contenere lunghezza e diametro dei condotti ed evitare il loro eccessivo approfondimento; si prevede quindi la realizzazione di n.8 scarichi separati (A, B, C, D, E, F, G, H).

In fase preliminare si è scelto di impiegare, per tutta la rete, tubi corrugati in polietilene ad alta densità (PEad) con pendenza 3 ‰, così da limitare gli approfondimenti della rete; nello specifico per le n.8 sezioni terminali di scarico nel bacino, uniche oggetto di verifica idraulica ai sensi del R.R., si è optato:

- A. PEad DN700 con $i = 3 \text{ ‰}$, sezione di chiusura della sotto-rete pluviali afferente al 50% della superficie coperta d'ambito – $S_{drenata} \approx 9'000 \text{ m}^2$;
- B. PEad DN400 con $i = 3 \text{ ‰}$, sezione di chiusura della sotto-rete pluviali afferente al 12,5% della superficie coperta d'ambito – $S_{drenata} \approx 2'300 \text{ m}^2$;
- C. PEad DN400 con $i = 3 \text{ ‰}$, sezione di chiusura della sotto-rete pluviali afferente al 12,5% della superficie coperta d'ambito – $S_{drenata} \approx 2'300 \text{ m}^2$;
- D. PEad DN400 con $i = 3 \text{ ‰}$, sezione di chiusura della sotto-rete pluviali afferente al 12,5% della superficie coperta d'ambito – $S_{drenata} \approx 2'300 \text{ m}^2$;
- E. PEad DN400 con $i = 3 \text{ ‰}$, sezione di chiusura della sotto-rete pluviali afferente al 12,5% della superficie coperta d'ambito – $S_{drenata} \approx 2'300 \text{ m}^2$;

- F. PEad DN700 con $i = 3 \text{ ‰}$, sezione di chiusura della sotto-rete caditoie afferente alla totalità della viabilità interna d'ambito – $S_{\text{drenata}} \approx 8'000 \text{ m}^2$;
- G. PEad DN315 con $i = 3 \text{ ‰}$, sezione di chiusura della sotto-rete caditoie afferente al parcheggio auto interno all'ambito – $S_{\text{drenata}} \approx 1'200 \text{ m}^2$;
- H. PEad DN500 con $i = 3 \text{ ‰}$, sezione di chiusura della sotto-rete caditoie afferente alla totalità della viabilità e parcheggio in cessione pubblica – $S_{\text{drenata}} \approx 4'000 \text{ m}^2$;

Tutte le tubazioni sono previste in polietilene ad alta densità (PEad) idoneo per condotte di scarico interrate non in pressione, realizzate per coestrusione continua di due pareti, quella interna liscia e quella esterna corrugata di colore nero. Il sistema (tubo + giunzione) dovrà essere interamente conforme alla norma UNI EN 13476 e certificato con marchio di qualità di prodotto da ente certificatore terzo accreditato, classe di rigidità anulare minima SN 4, materiale che associa leggerezza ed economicità ad ottime caratteristiche di resistenza statica.

Le caditoie di drenaggio, del tipo a griglia standard e sifonate, saranno posizionate nei parcheggi (interno ed esterno), nelle strade di collegamento (interne ed esterne) e sui piazzali di carico e manovra interni, prestando cura a non collegare alla rete caditoie i pluviali che raccolgono le acque dei tetti, così da mantenere le due tipologie di dilavamento separate in ottica di futuri trattamenti qualitativi. È prevista inoltre la posa di pozzetti prefabbricati (dim. 100x100 cm) lungo tutte le dorsali (rete pluviali e caditoie) ad intervalli regolari di 20-25 m lineari, così da consentire ispezioni e manutenzione dei tronchi fognari; in corrispondenza di tali pozzetti, saranno possibilmente realizzati i collegamenti "in parallelo" tra il condotto principale e le caditoie.

Per quanto riguarda la posa dei condotti, la larghezza minima della trincea varia in funzione dei diametri delle tubazioni secondo quanto suggerito dalla norma europea UNI EN 1610: per DN < 225, la larghezza della trincea è data sommando al diametro esterno 40 cm; per DN compresi tra 225 e 400, è data sommando al diametro esterno 50 cm; per DN compresi tra 400 e 700, sommando al diametro esterno 70 cm; l'incremento raggiunge il valore 85 cm per diametri superiori. La profondità di posa varia invece da un minimo di 1,0 m ad un massimo di 2,5 m.

La posa avverrà in trincee a sezione rettangolare. Sono previsti uno strato di fondazione di 10 cm e uno strato di rinfianco, fino a metà della tubazione, con materiale inerte di tipo sabbioso o ghiaioso accuratamente costipato. Il rinterro, da metà diametro fino a riempimento della trincea, va realizzato con materiale inerte di tipo sabbioso o ghiaioso costipato, esente da zolle.

Il sistema d'invarianza idraulica-idrologica dell'intervento sarà pertanto costituito da un unico sottobacino gravante sul fosso/bacino superficiale di detenzione (no infiltrazione) e laminazione superficiale, il quale si svuoterà mediante impianto di pompaggio dimensionato sulla massima portata accettabile per l'intervento (10 l/s*ha) in un corso idrico superficiale denominato *Cavo Marocco*, individuato quale ricettore finale. Nei paragrafi seguenti saranno descritti e dimensionati nel dettaglio i principali elementi che costituiscono i sistemi d'invarianza, in particolare il bacino di laminazione superficiale e il manufatto di sollevamento allo scarico.

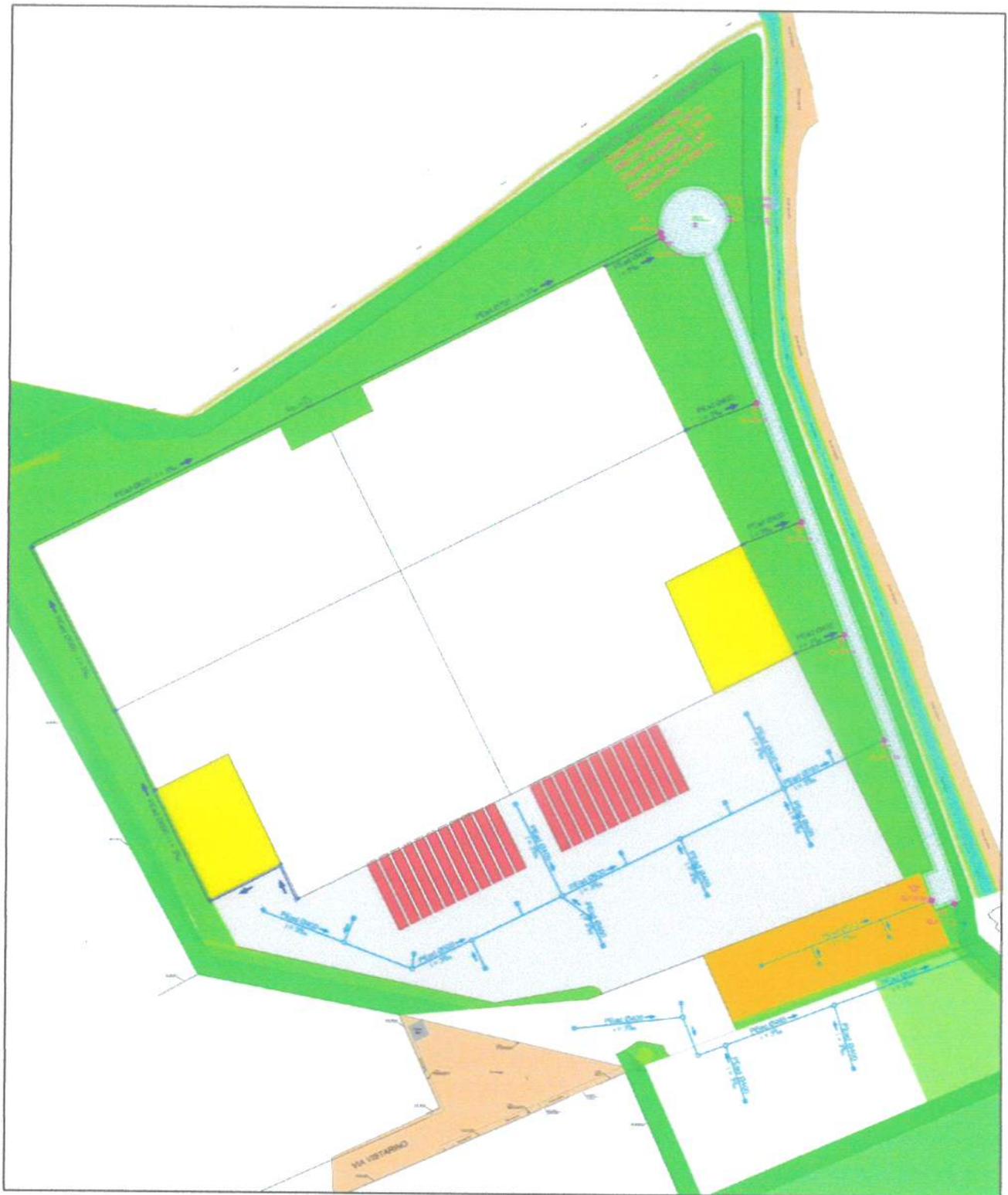


FIG. 5: SCHEMA FOGNARIO DI PROGETTO CON SISTEMA SMALTIMENTO METEORICHE (BACINO DI DETENZIONE E LAMINAZIONE).

3.1) BACINO SUPERFICIALE DI LAMINAZIONE (DETENZIONE)

Le strutture di laminazione atte all'abbattimento delle portate pluviali e meteoriche entro determinati limiti, rappresentano la famiglia più numerosa di tecniche di mitigazione degli allagamenti. Questi manufatti hanno la funzione di invasare provvisoriamente una parte, anche notevole, dei volumi idrici derivanti dagli eventi meteorici, per inviarli successivamente alla depurazione o per restituirli al ricettore finale, con portata ridotta e con essi compatibile. Sono



classificabili tra le strutture di immagazzinamento anche quelle che non contemplano uno scarico verso valle ma lo svuotamento attraverso l'infiltrazione. Nel caso specifico è previsto un bacino di laminazione superficiale cosiddetto di "detenzione", cioè in cui tutti i deflussi (o parte di essi) vengono temporaneamente invasati e contemporaneamente rilasciati attraverso gli scarichi nel sistema di drenaggio di valle, con portata limitata nei limiti prescritti dal regolamento. In questo caso il volume invasato è trattenuto solo temporaneamente nell'invaso e l'onda laminata uscente da esso si sviluppa nel corso dello stesso evento meteorico. Normalmente si tratta di bacini di grosse dimensioni (volumi invasabili nell'ordine delle migliaia di metri cubi), caratterizzati da ampie superfici, limitati tiranti idrici e poco permeabili che hanno la sola funzione di invasare temporaneamente parte delle portate in eccesso. La topografia preferibile è pianeggiante e non sono richiesti particolari tipologie di terreni in quanto l'intera superficie del bacino creato è resa impermeabile per immagazzinare le acque entranti.

Il dimensionamento dei bacini di detenzione è generalmente condotto risolvendo l'equazione di continuità mettendo a sistema la legge d'efflusso che governa le opere preposte allo scarico dell'invaso (impianti di pompaggio) e la legge d'invaso che dipende dalla forma dell'invaso stesso. Viene quindi prevista l'installazione di una serie di elettropompe da utilizzare per lo svuotamento del bacino; sarà necessario disporre di più elettropompe (almeno due) e di un generatore di corrente per fronteggiare problemi legati a malfunzionamenti meccanici e guasti elettrici.

L'impermeabilizzazione di fondo potrà essere costituita da magrone di fondazione spessore circa 5 cm, geomembrana bugnata impermeabilizzante in HDPE spessore almeno 2 mm, geocomposito drenante, ghiaia e massi in calcestruzzo, essenze vegetali erbacee, arbustive ed arboree. All'interno si possono effettuare delle piantumazioni che hanno la funzione di consolidare le sponde in terra e mitigare l'impatto ambientale e paesaggistico dell'intero bacino. In seguito sono riassunte le specie più utilizzate in queste tipologie di aree:

Essenze acquatiche coltivate su zattere mobili: canneti palustri (*Phragmites* e *Ardundo donax*), giunco, fiori di loto, ninfee.

Essenze arbustive e arboree per consolidare le sponde in terra: specie di piante appartenenti al genere *Salix*, aceri, pioppi, castagni, querce, biancospini, ecc.

In fase operativa, si procede allo sbancamento del terreno e alla modellazione dello scavo fino alla quota di fondo prevista, con la realizzazione delle pendenze di progetto (sponde a 45°) e successivo compattamento del terreno. Si procede poi alla stesura di uno strato di magrone dello spessore di almeno 5 cm in modo uniforme su tutta la superficie di fondo. Dopodiché si procede alla stesura di uno strato di geomembrana HDPE dello spessore di 2 mm al di sopra dello strato di magrone.

Per migliorare l'impatto visivo della vasca, le aree impermeabilizzate non perennemente sommerse sono ricoperte da pietre di grosse dimensioni costipate con terreno argilloso in modo tale da creare una sponda dall'aspetto più naturale. Nelle sponde non impermeabilizzate al di sopra del bacino, sono effettuati degli interventi di ingegneria naturalistica per consolidare in modo duraturo i versanti (es. idrosemina).

Nelle seguenti tabelle sono riportate le caratteristiche tipologiche e le principali operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria previste per i bacini di detenzione e la loro frequenza.

PROCESSO	GESTIONE		DESTINAZIONE D'USO		
Infiltrazione	SI	Controllo locale	NO	Residenziale a bassa densità	SI
Detenzione/attenuazione	SI	Controllo nell'intorno	SI	Residenziale ad alta densità	SI
Trasporto	NO	Controllo territoriale	SI	Strade	SI
Riutilizzo	NO			Commerciale	SI
				Industriale	SI
				di Riqualifica	SI
				Contaminata	SI
SPAZIO DISPONIBILE		TIPO DI TERRENO			
Basso	NO	Impermeabile	SI		
Alto	SI	Permeabile	SI		
RIDUZIONE DEL RISCHIO					
Idraulico	Riduzione dei Picchi di deflusso		BUONO		
	Riduzione del Volume di deflusso		BASSO		
Inquinamento	Corpi sospesi		MEDIO		
	Nutrienti		BASSO		
	Metalli pesanti		MEDIO		
VALORE ECOLOGICO			VALORE ESTETICO		
BUONO			BUONO		

PIANTE

Immissione, Controllo dell'erosione, Fuoruscita d'emergenza

SEZIONE

Livello massimo di progetto, Distribuzione, Controllo dell'erosione, Zone umide permanenti (opzionali)

VANTAGGI	SVANTAGGI
<ul style="list-style-type: none"> ○ Buona riduzione volumi dei deflussi d'acqua. ○ Buona rimozione dell'inquinamento. ○ Ottimi in zone con alte concentrazioni di inquinamento. ○ Possono contenere grandi volumi d'acqua. ○ Doppio uso del suolo. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Non consigliabili in aree scoscese.

Tipologia di manutenzione	Frequenza d'intervento	Tipologia di intervento	Costo stimato
Ordinaria	Mensile	Taglio erba, manutenzione aree verdi e potatura degli alberi ad alto fusto durante la stagione invernale	7-9 €/m ² di superficie
Straordinaria	Ogni volta che il bacino è stato riempito a seguito di un evento straordinario che ne pregiudica l'utilizzo	Rimozione e smaltimento sedimenti trasportati durante un evento di piena, pulizia fondo e sponde, manutenzione opere civili	Circa 1-2 €/m ²

Dimensionalmente il bacino di detenzione e laminazione previsto a servizio dell'Ambito, sarà realizzato con le seguenti caratteristiche:

- 1) **Bacino laminazione:** superficie alla sommità arginale $S_L = 1'158 \text{ m}^2$ – pendenza spondale 45° – superficie fondo bacino $S_{\text{fondo}} = 738 \text{ m}^2$ – profondità bacino (sommità arginale) $H_m = 2,80 \text{ m}$ – tirante massimo invasabile $H_L = 2,70 \text{ m}$ – volume disponibile all'accumulo $W_{\text{disp}} = 2'559,6 \text{ m}^3$;

I dati necessari ad effettuare le successive verifiche sono il volume del bacino di laminazione e la portata di sollevamento dell'impianto ($W_{\text{disp}} = 2'559 \text{ m}^3 - Q_{u, \text{lim}} = 31,9 \text{ l/s}$).

$S_{\text{tot}} [\text{m}^2] = 1'158$ $S_{\text{base}} [\text{m}^2] = 738$ $H_m [\text{m}] = 2.70$	$W_{\text{disp}} [\text{m}^3] = 2'559.6$
--	--

3.2) MANUFATTO DI SCARICO

Lo svuotamento della vasca di laminazione (bacino superficiale) avverrà mediante sollevamento forzato con portata massima definita a partire dal limite di riferimento, $10 \text{ l/s} \cdot \text{ha}_{\text{imp}}$, risultante:

$$Q_{u,\text{lim}_1} = 10 \text{ l/s} \cdot \text{ha} \cdot 3,2198 \text{ ha} \cdot 0,989 = 31,9 \text{ l/s} \quad (\text{in Cavo Marocco})$$

Sarà pertanto realizzata un'unica stazione di sollevamento, con due pompe gemellate; la stazione sarà costituita da:

- una cameretta di carico, connessa alla vasca grazie ad una tubazione, dove sono ubicate le elettropompe sommergibili; tale camera deve essere accessibile per garantire pulizia e manutenzione delle apparecchiature.
- una cameretta di controllo e manovra, accessibile mediante passo d'uomo di dimensioni idonee.

Le dimensioni delle camere dipendono dalle dimensioni delle elettropompe (e, in pratica, dall'entità della portata sollevata). Per il bacino si prevede la realizzazione di una camera di carico di circa $2,50 \times 2,50 \text{ m}$ in pianta, con fondo, nel punto più basso, inferiore di $0,50 \text{ m}$ rispetto al fondo della vasca.

Due elettropompe sommergibili, con funzionamento alternato, consentono il totale svuotamento del bacino (ciascuna elettropompa deve garantire il sollevamento di una portata di $31,9 \text{ l/s}$ con una prevalenza geometrica di $3,5 \text{ m}$ circa). I condotti di mandata (acciaio, DN 200) entrano in una cameretta di controllo ($2,0 \times 2,0 \text{ m}$ circa, in pianta, profonda circa $1,50 \text{ m}$ rispetto al piano campagna) dove sono ubicate le valvole di ritegno e le valvole a saracinesca. La portata è quindi convogliata in un'unica tubazione (acciaio, DN 250) che scarica in un pozzetto "di calma" posto nei pressi del punto di recapito in corpo idrico superficiale, così da immettersi con deflusso a gravità.

4) ANALISI IDROLOGICA

Per l'applicazione del metodo delle sole piogge e per le verifiche idrauliche finali della rete (metodo italiano dell'invaso lineare), è necessario definire preliminarmente la "pioggia di progetto", cioè l'evento meteorico di riferimento sul quale sarà applicata la trasformazione di afflussi in deflussi. Nei seguenti paragrafi sarà quindi calcolata la "linea segnalatrice di probabilità pluviometrica" (relazione tra le altezze massime e le durate di pioggia per un assegnato valore del tempo di ritorno) dell'area in oggetto.

4.1) CALCOLO LSPP DI PROGETTO

La definizione della linea segnalatrice di probabilità pluviometrica è stata compiuta secondo la procedura proposta da A.R.P.A. Lombardia e riportata sull'allegato "G" del R.R. n.7/2017.

Attraverso il database di A.R.P.A. sono stati definiti i parametri della linea segnalatrice, avendo assunto un tempo di ritorno della pioggia di progetto $T = 50$ anni ai sensi dell'art.11 c.2 lett.a), sia per il dimensionamento dei sistemi d'invarianza che per le verifiche idrauliche della rete di drenaggio interna al comparto, e $T = 100$ anni per la verifica del grado sicurezza delle opere come sopra dimensionate, comunque in relazione agli eventuali danni a persone o a cose presenti nell'intorno.



ARPA LOMBARDIA
Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente

Calcolo della linea segnalatrice 1-24 ore

Località: COPIANO (PV) - Via Vistarino
Coordinate: 525131,68 mE - 5005456,30 mN

Linea segnalatrice
Tempo di ritorno (anni) 50

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

A1 - Coefficiente pluviometrico orario	26.09
N - Coefficiente di scala	0.2929
GEV - parametro alpha	0.2816
GEV - parametro kappa	-0.0824
GEV - parametro epsilon	0.8124

Le monomie così ottenute, valide per durate della pioggia di progetto \geq di 1 h, sono le seguenti:

$$h = a * t^n = 55,008 * t^{0,2929} \quad \text{per } T = 50 \text{ anni}$$

$$h = a * t^n = 62,290 * t^{0,2929} \quad \text{per } T = 100 \text{ anni}$$

Per le durate inferiori a un'ora (1 h), eventualmente necessarie in fase di successive verifiche, viene impiegata la *Formula di Bell*; Bell ha osservato che i rapporti tra le altezze di durata t molto breve, inferiori alle due ore, e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località in cui si verificano. Lo U.S. Water Bureau raccomanda per tempi di pioggia inferiore ad un'ora l'adozione di una relazione empirica, derivata interamente da dati di breve durata; tale relazione mostra che il tempo in minuti in pioggia ha un rapporto costante con la pioggia della durata di 1 ora, per lo stesso tempo di ritorno, così come segue:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = 0,54 \cdot t^{0,25} - 0,50$$

In cui:

- $h_{t,T}$: altezza di pioggia espressa in mm di una durata t e tempo di ritorno T ;
- $h_{60,T}$: altezza di pioggia di durata 1 ora con determinato tempo di ritorno T ;
- t : durata di pioggia espressa in minuti.

Con essa è quindi possibile calcolare la pioggia di durata $t < 60$ minuti e tempo di ritorno T in funzione del valore $h_{60,T}$ fornito dalla la curva di possibilità pluviometrica relativa allo stesso tempo di ritorno per piogge superiori all'ora.

Nel caso specifico s'impiega il tempo di ritorno $T = 50$ anni e vengono stimate, per interpolazione, le sole monomie di durata inferiore a 30 minuti e quelle di durata comprese tra 30 minuti e 1 ora; nel primo caso si adotta una durata di riferimento, per l'applicazione di Bell, di 15 minuti, nel secondo di 45 minuti.

Parametri monomia $d > 60$ min	$h = a \cdot t^n$	Parametri monomia $d < 60$ min
a [mm/ora ⁿ] = 55.008	$h(d^*) = 30.954$	Durata voluta d^* [min] = 15
$n = 0.2929$		a [mm/ora ⁿ] = 55.008
		$n = 0.415$

Parametri monomia $d > 60$ min	$h = a \cdot t^n$	Parametri monomia $d < 60$ min
a [mm/ora ⁿ] = 55.008	$h(d^*) = 49.431$	Durata voluta d^* [min] = 45
$n = 0.2929$		a [mm/ora ⁿ] = 55.008
		$n = 0.372$

Pertanto le monomie che saranno impiegate nei successivi calcoli idraulici/idrologici, con riferimento ad un tempo di ritorno $T = 50$ anni, sono:

$$h = a * t^n = 55,008 * t^{0,2929} \quad \text{per} \quad t \geq 1 \text{ h}$$

$$h = a * t^n = 55,008 * t^{0,372} \quad \text{per} \quad 30' \geq t > 1 \text{ h}$$

$$h = a * t^n = 55,008 * t^{0,415} \quad \text{per} \quad t < 30'$$

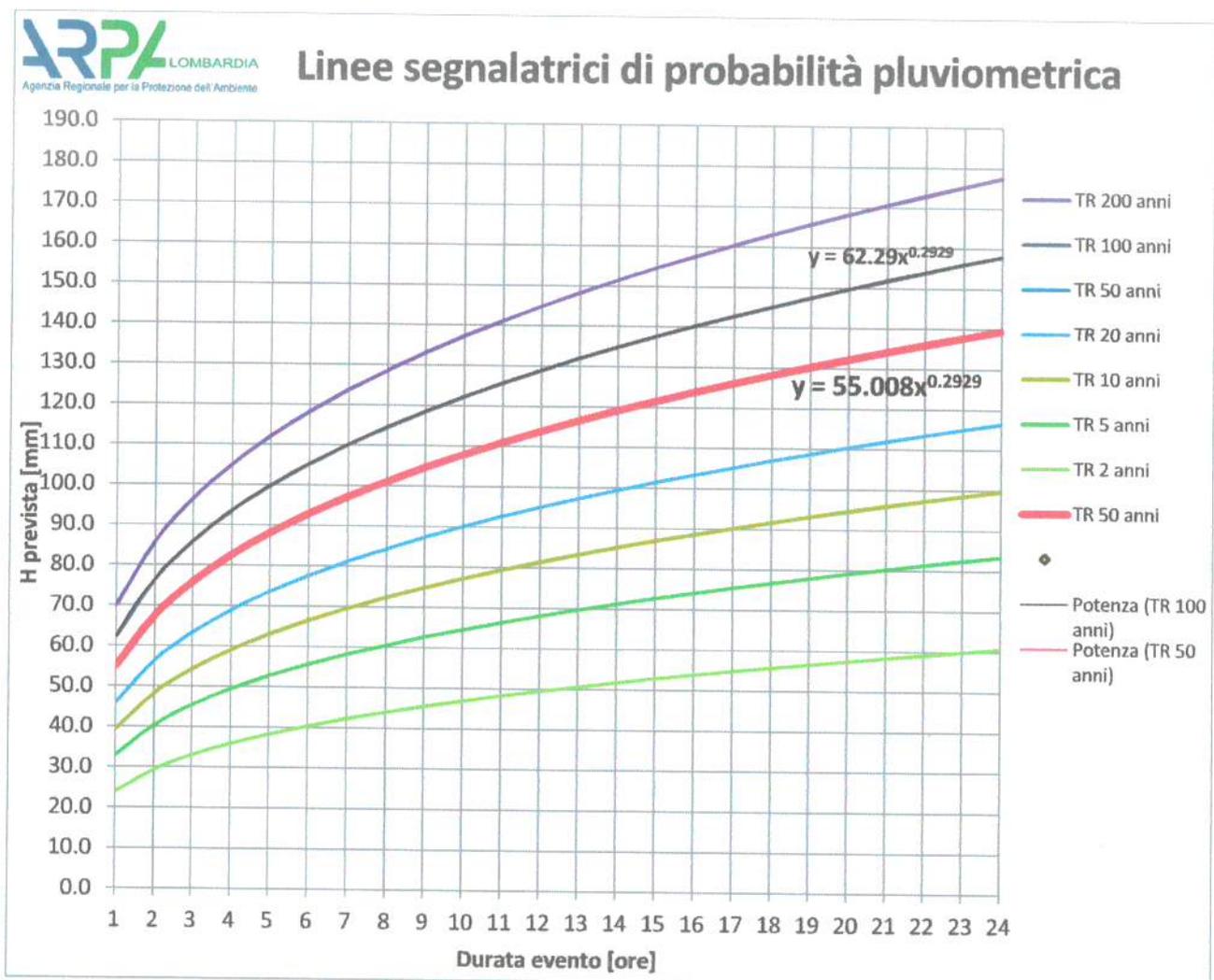


FIG. 6: LINEE SEGNALATRICI DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA SECONDO PROCEDURA A.R.P.A. LOMBARDIA.

5) STIMA DELL'INFILTRAZIONE

Considerato il sistema adottato per la gestione delle acque meteoriche, consistente nella completa detenzione in bacino impermeabilizzato con successivo scarico in rete ricettrice finale mediante sollevamento forzato, risulta superfluo definire le permeabilità locali dei terreni in quanto non prevista alcuna infiltrazione per ricarica della falda, seppur fatta eseguire, da parte del geologo coinvolto, una prova specifica in-situ per definire il coeff. di permeabilità.

Tale scelta è dettata da una parte dalla natura litologica degli strati superficiali, composti in prevalenza da terreni argillosi-limosi e limosi-sabbiosi, comunque poco permeabili (risultato da prove in-situ un $K=8 \cdot 10^{-7}$ m/s), dall'altra dalla limitata soggiacenza minima della falda individuata dalle prove geologiche a circa -2,90 m da p.c. attuale e suscettibile di innalzamenti dovuti alle pratiche irrigue.

6) TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI (METODO SOLE PIOGGE)

Il "Metodo delle sole piogge" 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 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:

$$Q_e = S_{TOT} * \varphi_p * a * D^{n-1}$$

- l'onda uscente $Q_u(t)$ è anch'essa un'onda rettangolare caratterizzata da una portata costante $Q_{u,lim}$ (laminazione ottimale) che nel nostro caso è data dal valore limite imposto dal R.R.7/2017 [10 l/s*ha] e su cui viene dimensionato l'impianto di sollevamento a servizio del bacino/fosso di laminazione.

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 dell'invaso è pari al volume critico, cioè quello calcolato per l'evento di durata critica che rende massimo il volume di laminazione.

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

$$\Delta W = W_e - W_u = S_{TOT} * \varphi_p * a * D^n - Q_{u,lim} * D$$

Esprimendo matematicamente la condizione di massimo, ossia derivando rispetto alla durata D la differenza $\Delta W = W_e - W_u$, si ricava la durata critica D_c per l'invaso considerato:

$$D_c = \left(\frac{Q_{u,lim}}{S_{tot} * \varphi_p * a * n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

Il volume accumulato può anch'esso essere stimato in maniera speditiva con la seguente relazione:

$$W_0 = S_{TOT} * \varphi_p * a * D_c^n - Q_{u,lim} * D_c$$

La procedura sopra descritta è stata applicata al “bacino globale” sia ai fini della classificazione dell’intervento sia per gli effettivi dimensionamenti dei sistemi d’invarianza. Nei paragrafi successivi verranno esposti i risultati ottenuti.

6.1) SOTTO-BACINO – AMBITO APT-1

Essendo $Q'_{u,lim} = Q_{sollevamento} = 31,9$ l/s (valore di dimensionamento dell’impianto di pompaggio di svuotamento del bacino superficiale), risulta una durata critica $D_c = 8,3$ ore.

Essendo $D_c > 1$ h, è corretto impiegare la monomia $h = 55,008 * t^{0,2929}$ come descrivente l’evento meteorico di progetto.

6.1.1) VOLUMI ACCUMULATI

Il volume accumulato può anch’esso essere stimato in maniera speditiva con la seguente relazione:

$$W_0 = S_{TOT} * \varphi_p * a * D_c^n - Q_{u,lim} * D_c$$

da cui si ottiene un volume minimo di accumulo necessario pari a $W_0 = 2'304,7$ m³, minore del volume disponibile nel bacino di laminazione (2'559,6 m³), quindi verificato.

6.1.2) VERIFICHE DI SVUOTAMENTO

La verifica del tempo di svuotamento, che dovrà risultare sempre minore di 48 h, viene svolta considerando una portata media (costante) di scarico pari alla portata sollevata dall’impianto di pompaggio $Q_{u,lim} = 31,9$ l/s, ottenendo così un tempo necessario al completo svuotamento del bacino pari a **22,2 h** < 48 h, verificato.

7) REQUISITI MINIMI

L’art.12 c.2 del R.R. n.7/2017 riporta che *“il requisito minimo da soddisfare consiste nella realizzazione di uno o più invasi di laminazione, comunque configurati, dimensionati adottando i seguenti valori parametrici del volume minimo dell’invaso, o del complesso degli invasi, di laminazione: per le aree B a media criticità idraulica di cui all’articolo 7: 500 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell’intervento”*.

Sebbene il comune di Copiano (PV) sia inserito in area B (media criticità), ai sensi dell’art.7 c.5 del R.R. 7/2017 *“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”*, pertanto il caso in esame deve rispettare il limite delle aree A (800 m³/ha):

$$W_{min_TOT} = 800 \text{ m}^3/\text{ha} * 3,2198 \text{ ha} * 0,989 = 2'548,0 \text{ m}^3$$

e quindi il requisito è soddisfatto su scala di bacino d’intervento con il solo contributo dell’invaso predimensionato (2'559,6 m³).

Confrontando i requisiti minimi sopra ottenuti con i risultati del metodo semplificato delle sole piogge e quello dettagliato di corrivazione, è possibile individuare l’effettivo volume minimo da realizzare ai fini del rispetto del principio d’invarianza idrologica e idraulica dell’intervento, che sarà dato dal maggiore dei tre valori.

Nel caso specifico il valore limitante è dato dal rispetto dei requisiti minimi di cui all'Art.12 c.2 e pertanto sarà quello effettivamente da realizzare ai fini del rispetto del principio d'invarianza idraulica nell'intervento; il bacino/fosso di laminazione presenta volume predimensionato cautelativamente superiore al limite imposto e senza aver tenuto in considerazione il possibile contributo d'invaso della rete e dei pozzetti, così da garantire un idoneo margine di sicurezza ad eventi meteorici con tempo di ritorno $T = 100$ anni.

<u>SOTTO-BACINO INTERVENTO - Ambito APT-1 - Copiano (PV)</u>		<u>VERIFICA VOLUME MINIMO e TEMPO SVUOTAMENTO</u>	
<u>METODO DELLE SOLE PIOGGE</u>		<u>REQUISITI MINIMI (Art.12 c.2)</u>	
S_{INT} [ha] =	3.2198	$W_{rot, disp}$ [m ³] =	2'559.6
ϕ_p =	0.989	$S_{rot, filtra}$ [m ³] =	0.0
\Rightarrow [mmv/ors ²] =	55.008	f_c [mm/ora] =	0
n =	0.2929	T_{svuoto} [ore] =	22.2
u_{lim} [l/s*ha] =	10.0	No infiltrazione	
W'_{min} [m ³ *ha] =	800	VERIFICATO	
Area A - alta criticità idraulica		VERIFICATO	
$Q_{u, lim}$ [l/s] =	31.9	No infiltrazione	
$Q'_{u, lim}$ [l/s] =	31.9	VERIFICATO	
$Q_{u, infiltrazione}$ [l/s] =	0.0	VERIFICATO	
Portata allo scarico diretto			
D_c [ore] =	8.3		
W_0 [m ³] =	2'304.7		
Sconto 30%		NO	
<u>REQUISITI MINIMI (Art.12 c.2)</u>			
W_0 [m ³] =	2'548.0		
Sconto 30%		NO	

8) VERIFICA IDRAULICA RETE METEORICA

L'ultima verifica da effettuare è quella idraulica sulla portata massima defluibile alle sezioni di chiusura dei tronchi di rete previsti, prima dello scarico nel sistema d'invarianza. Nello specifico si verifica:

- A. PEad DN700 con $i = 3 ‰$, sezione di chiusura della sotto-rete pluviali afferente al 50% della superficie coperta d'ambito – $S_{drenata} \approx 9'000 \text{ m}^2$;
- B. PEad DN400 con $i = 3 ‰$, sezione di chiusura della sotto-rete pluviali afferente al 12,5% della superficie coperta d'ambito – $S_{drenata} \approx 2'300 \text{ m}^2$;
- C. PEad DN400 con $i = 3 ‰$, sezione di chiusura della sotto-rete pluviali afferente al 12,5% della superficie coperta d'ambito – $S_{drenata} \approx 2'300 \text{ m}^2$;
- D. PEad DN400 con $i = 3 ‰$, sezione di chiusura della sotto-rete pluviali afferente al 12,5% della superficie coperta d'ambito – $S_{drenata} \approx 2'300 \text{ m}^2$;
- E. PEad DN400 con $i = 3 ‰$, sezione di chiusura della sotto-rete pluviali afferente al 12,5% della superficie coperta d'ambito – $S_{drenata} \approx 2'300 \text{ m}^2$;
- F. PEad DN700 con $i = 3 ‰$, sezione di chiusura della sotto-rete caditoie afferente alla totalità della viabilità interna d'ambito – $S_{drenata} \approx 8'000 \text{ m}^2$;
- G. PEad DN315 con $i = 3 ‰$, sezione di chiusura della sotto-rete caditoie afferente al parcheggio auto interno all'ambito – $S_{drenata} \approx 1'200 \text{ m}^2$;
- H. PEad DN500 con $i = 3 ‰$, sezione di chiusura della sotto-rete caditoie afferente alla totalità della viabilità e parcheggio in cessione pubblica – $S_{drenata} \approx 4'000 \text{ m}^2$;

Il dimensionamento della rete di drenaggio richiede la stima delle massime portate di picco che dovranno essere smaltite dal sistema e pertanto richiedono un calcolo specifico differente da quello adottato per il dimensionamento dei volumi di laminazione.

La portata di verifica dei tronchi finali è quindi valutata proporzionalmente alla superficie sottesa dalla singola sotto-rete del bacino, dimensionata per eventi con tempo di ritorno pari a $T = 50$ anni ed adottando la curva di possibilità calcolata al cap.4):

$$h = a * t^n = 55,008 * t^{0,2929} \quad \text{per} \quad t \geq 1 \text{ h}$$

$$h = a * t^n = 55,008 * t^{0,372} \quad \text{per} \quad 30' \geq t > 1 \text{ h}$$

$$h = a * t^n = 55,008 * t^{0,415} \quad \text{per} \quad t < 30'$$

Poiché l'area interessata dalla progettazione risulta pianeggiante, la portata è stata calcolata adottando il **“metodo italiano dell'invaso lineare”**, che tiene in considerazione gli effetti del fenomeno di laminazione degli afflussi meteorici, tipico dei bacini caratterizzati da pendenze ridotte; questo metodo si basa sul calcolo del coefficiente udometrico una volta determinato il parametro K caratterizzante il bacino e chiamato costante d'invaso.

La formula per determinare il coefficiente udometrico è riportata di seguito:

$$u = 0,65 * \frac{10^7}{3600^n} * \psi * a * K^{n-1}$$

dove:

- ~ u [l/s*ha]: coefficiente udometrico;
- ~ n [adim]: parametro della LSPP;

- ~ a [m]: parametro della LSPP;
- ~ ψ [adim]: coefficiente di afflusso;
- ~ K [sec]: costante d'invaso del bacino ($\geq 5'$);

Moltiplicando il coefficiente udometrico u per l'area del singolo sotto-bacino drenato dalla sotto-rete, si ottiene la portata al colmo nella sezione di chiusura:

$$Q(T) = u * A$$

In base a tale metodo la durata critica dell'evento meteorico corrisponde alla costante di invaso K (h), la quale è determinata in funzione di alcune grandezze che caratterizzano la morfologia del bacino.

Per la determinazione della costante d'invaso K esistono in letteratura tecnica varie espressioni di natura empirica tra le quali è stata adottata l'espressione proposta da Ciaponi-Papiri (1992) tarata sui bacini urbani del nord Italia:

$$K = 0.5 * \frac{A^{0.351} * d^{0.358}}{I^{0.163} * Sr^{0.29}}$$

dove:

- ~ K [min]: costante d'invaso del bacino;
- ~ A [ha]: area del bacino;
- ~ I [adim]: rapporto di impermeabilizzazione;
- ~ Sr [%]: pendenza ponderale media della rete di drenaggio;
- ~ d [m/ha]: densità di drenaggio della rete (≥ 150 m/ha);

5.8282	~	A [ha] : area totale del bacino;
3.104	~	A_{imp} [ha] : area totalmente impermeabile;
0.989	~	φ [adim] : coefficiente di afflusso;
0.415	~	n [adim] : parametro della LSPP;
0.0550	~	a [m] : parametro della LSPP;
0.2	~	Sr [%] : pendenza ponderale media della rete di drenaggio;
150	~	d [m/ha] : densità di drenaggio della rete (≥ 150 m/ha);
0.53	~	I [adim]: rapporto di impermeabilizzazione;
592	~	K [sec] : costante d'invaso del bacino ($\geq 5'$);
283	~	u [l/s*ha] : coefficiente udometrico;

Disponendo di tutti i dati necessari, è stato calcolato il coefficiente udometrico dell'intero bacino che è risultato essere pari a **283 l/s*ha** drenato per un tempo di ritorno di 50 anni, implicando pertanto le seguenti portate di verifica:

- A. PEad DN700 con $i = 3$ ‰, sezione di chiusura della sotto-rete pluviali afferente al 50% della superficie coperta d'ambito – $Q_{verifica} = 255$ l/s;
- B. PEad DN400 con $i = 3$ ‰, sezione di chiusura della sotto-rete pluviali afferente al 12,5% della superficie coperta d'ambito – $Q_{verifica} = 64$ l/s;
- C. PEad DN400 con $i = 3$ ‰, sezione di chiusura della sotto-rete pluviali afferente al 12,5% della superficie coperta d'ambito – $Q_{verifica} = 64$ l/s;
- D. PEad DN400 con $i = 3$ ‰, sezione di chiusura della sotto-rete pluviali afferente al 12,5% della superficie coperta d'ambito – $Q_{verifica} = 64$ l/s;
- E. PEad DN400 con $i = 3$ ‰, sezione di chiusura della sotto-rete pluviali afferente al 12,5% della superficie coperta d'ambito – $Q_{verifica} = 64$ l/s;

- F. PEad DN700 con $i = 3 ‰$, sezione di chiusura della sotto-rete caditoie afferente alla totalità della viabilità interna d'ambito – $Q_{verifica} = 224 \text{ l/s}$;
- G. PEad DN315 con $i = 3 ‰$, sezione di chiusura della sotto-rete caditoie afferente al parcheggio auto interno all'ambito – $Q_{verifica} = 34 \text{ l/s}$;
- H. PEad DN500 con $i = 3 ‰$, sezione di chiusura della sotto-rete caditoie afferente alla totalità della viabilità e parcheggio in cessione pubblica – $Q_{verifica} = 111 \text{ l/s}$;

Nel seguito vengono riportati i calcoli di moto uniforme per la verifica delle sezioni finali impiegate (DN315, 400, 500 e 700 mm) e con le portate definite in precedenza, nonché le relative scale di deflusso.

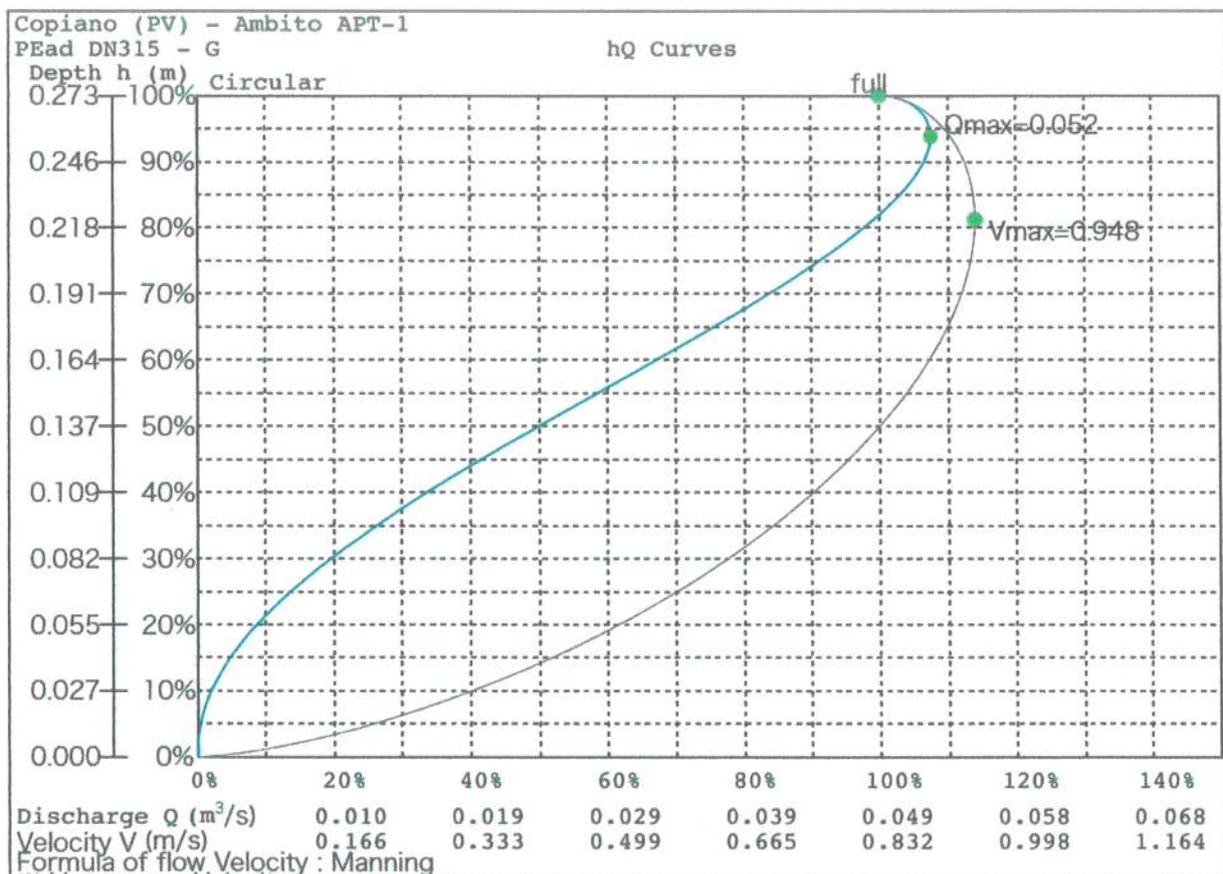
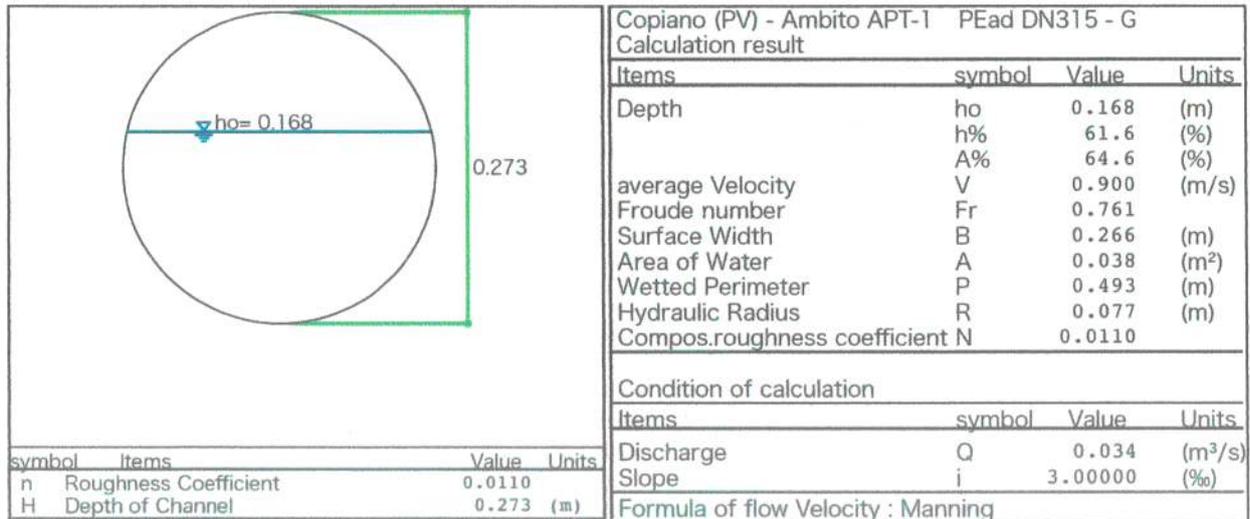


FIG. 7: CALCOLI IDRAULICI SCARICO G CON RELATIVA PORTATA DI VERIFICA.

symbol		Items	Value	Units
n		Roughness Coefficient	0.0110	
H		Depth of Channel	0.344	(m)

Copiano (PV) - Ambito APT-1 PEad DN400 - B,C,D,E				
Calculation result				
Items	symbol	Value	Units	
Depth	ho	0.214	(m)	
	h%	62.2	(%)	
	A%	65.4	(%)	
average Velocity	V	1.053	(m/s)	
Froude number	Fr	0.788		
Surface Width	B	0.334	(m)	
Area of Water	A	0.061	(m ²)	
Wetted Perimeter	P	0.625	(m)	
Hydraulic Radius	R	0.097	(m)	
Compos.roughness coefficient	N	0.0110		

Condition of calculation				
Items	symbol	Value	Units	
Discharge	Q	0.064	(m ³ /s)	
Slope	i	3.00000	(%)	

Formula of flow Velocity : Manning

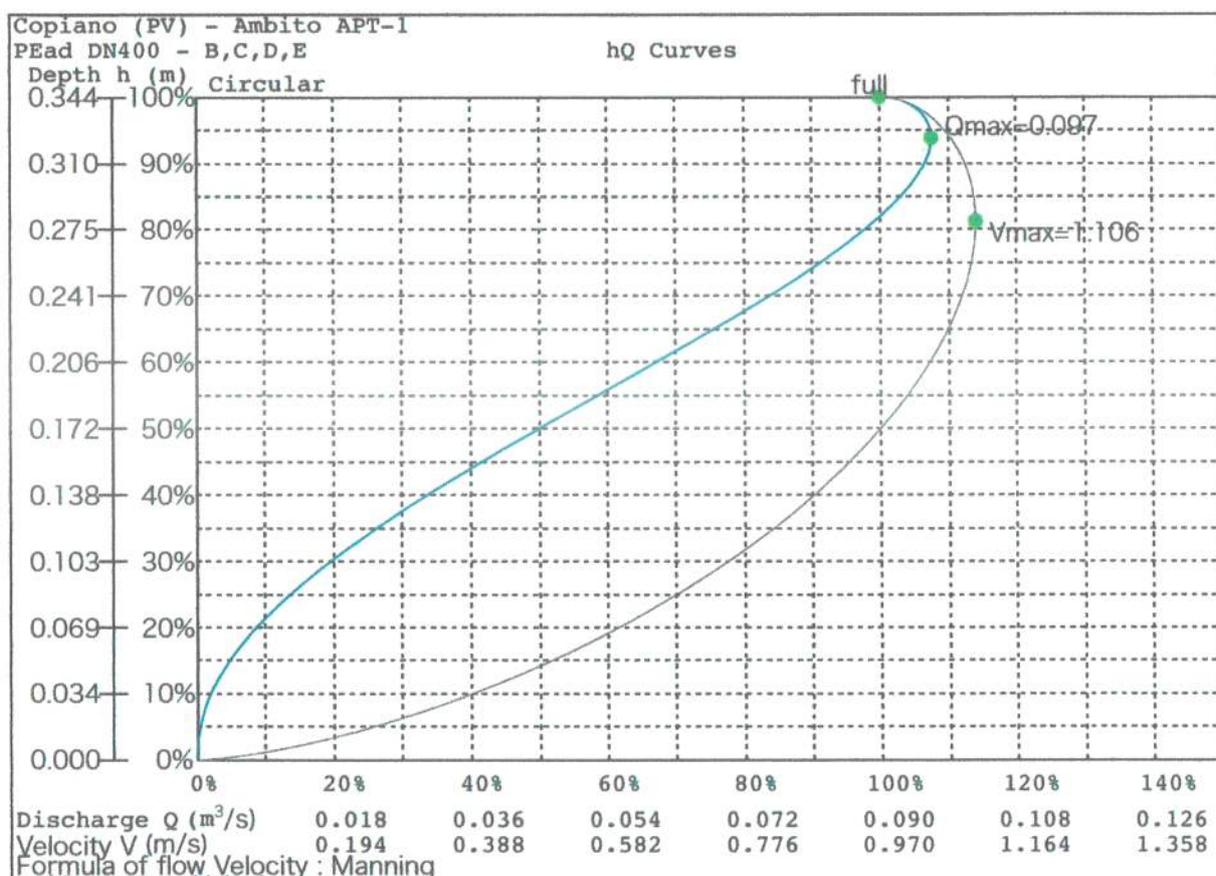


FIG. 8: CALCOLI IDRAULICI SCARICHI B, C, D ED E CON RELATIVA PORTATA DI VERIFICA.

		Copiano (PV) - Ambito APT-1 PEad DN500 - H	
		Calculation result	
Items	symbol	Value	Units
Depth	h ₀	0.261	(m)
	h%	61.2	(%)
	A%	64.1	(%)
average Velocity	V	1.210	(m/s)
Froude number	Fr	0.822	
Surface Width	B	0.416	(m)
Area of Water	A	0.092	(m ²)
Wetted Perimeter	P	0.767	(m)
Hydraulic Radius	R	0.120	(m)
Compos.roughness coefficient	N	0.0110	
Condition of calculation			
Items	symbol	Value	Units
Discharge	Q	0.111	(m ³ /s)
Slope	i	3.00000	(‰)
Formula of flow Velocity : Manning			
symbol	Items	Value	Units
n	Roughness Coefficient	0.0110	
H	Depth of Channel	0.427	(m)

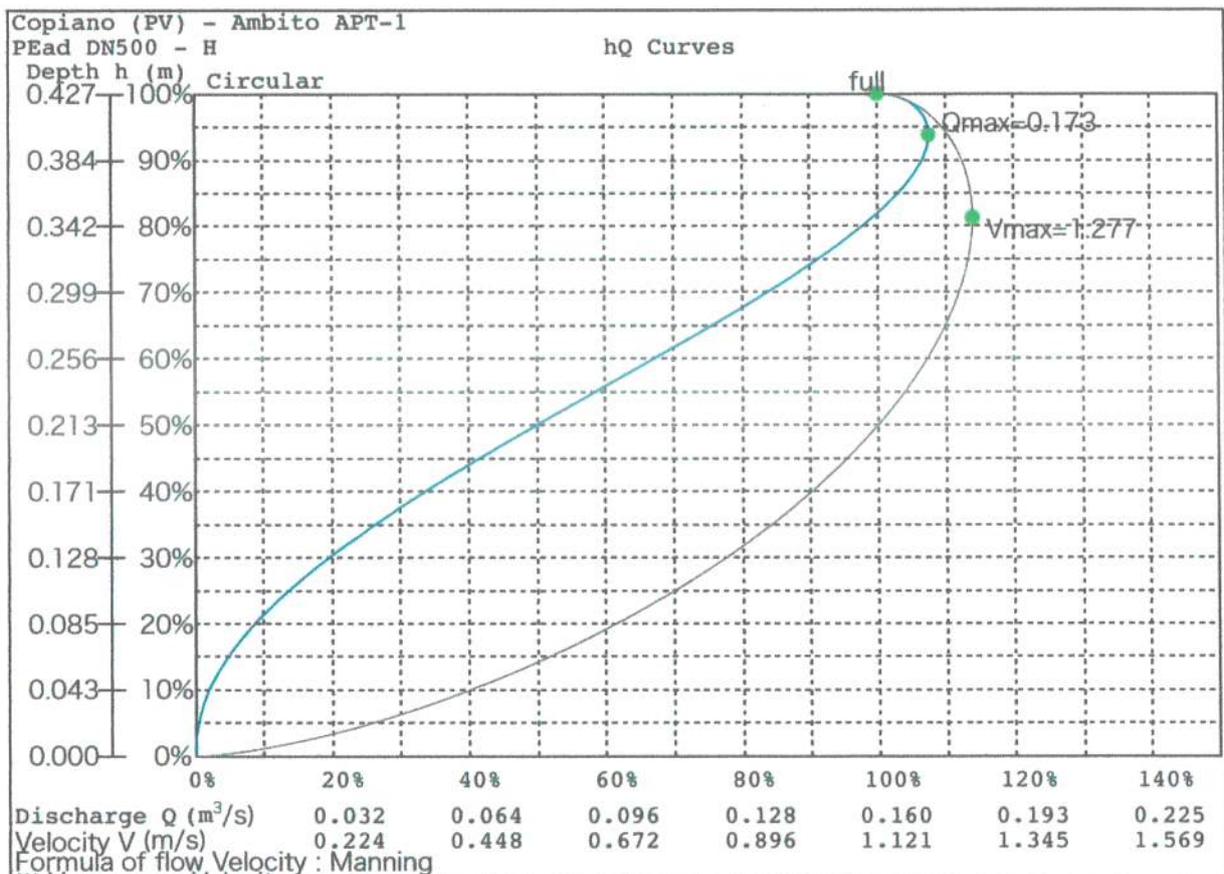
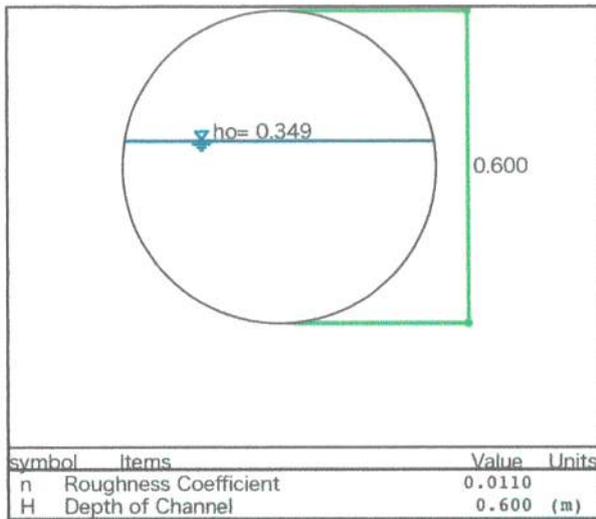


FIG. 9: CALCOLI IDRAULICI SCARICO H CON RELATIVA PORTATA DI VERIFICA.



Copiano (PV) - Ambito APT-1 PEad DN700 - A
Calculation result

Items	symbol	Value	Units
Depth	h _o	0.349	(m)
	h%	58.2	(%)
	A%	60.4	(%)
average Velocity	V	1.492	(m/s)
Froude number	Fr	0.887	
Surface Width	B	0.592	(m)
Area of Water	A	0.171	(m ²)
Wetted Perimeter	P	1.042	(m)
Hydraulic Radius	R	0.164	(m)
Compos.roughness coefficient	N	0.0110	

Condition of calculation

Items	symbol	Value	Units
Discharge	Q	0.255	(m ³ /s)
Slope	i	3.00000	(‰)

Formula of flow Velocity : Manning

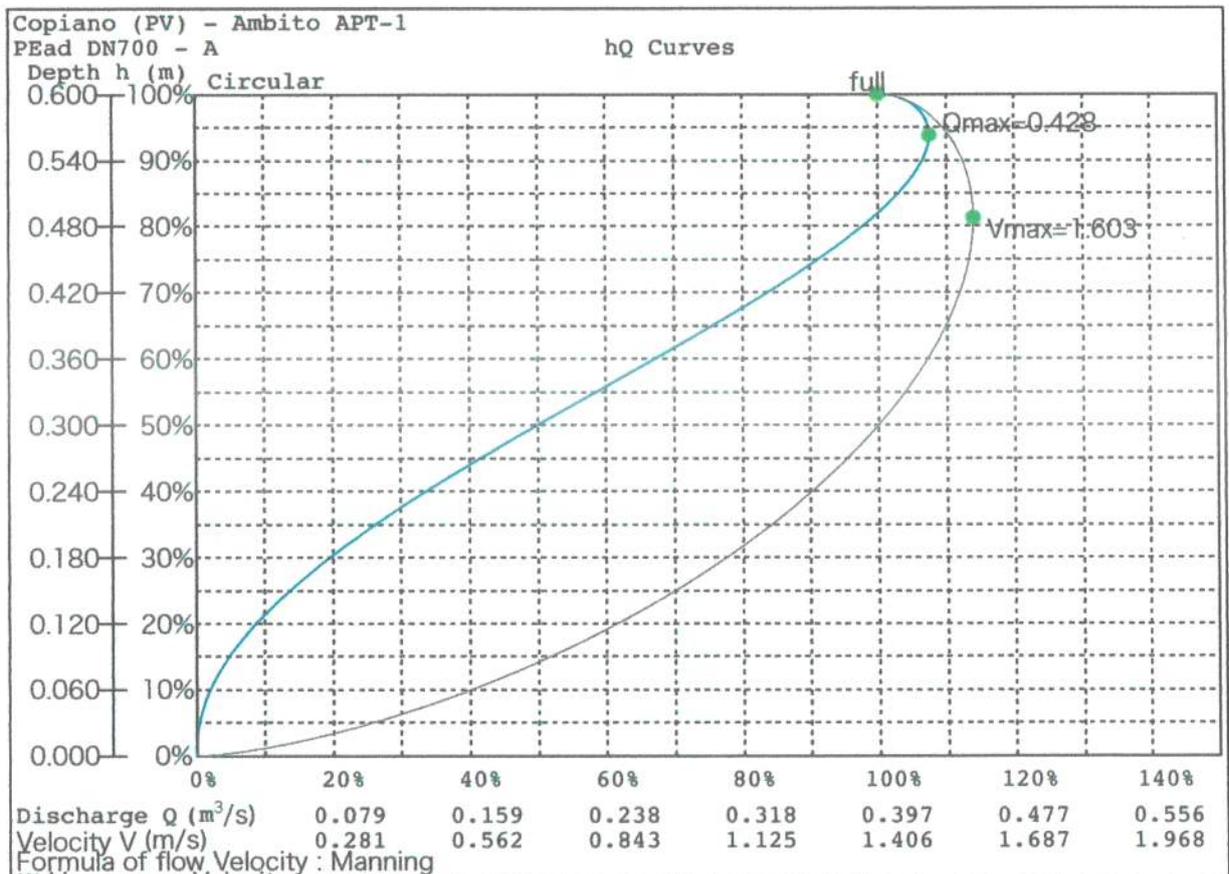


FIG. 10: CALCOLI IDRAULICI SCARICO A CON RELATIVA PORTATA DI VERIFICA.

symbol		Items	Value	Units
n		Roughness Coefficient	0.0110	
H		Depth of Channel	0.600	(m)

Copiano (PV) - Ambito APT-1 PEad DN700 - F			
Calculation result			
Items	symbol	Value	Units
Depth	ho	0.322	(m)
	h%	53.7	(%)
	A%	54.8	(%)
average Velocity	V	1.448	(m/s)
Froude number	Fr	0.909	
Surface Width	B	0.598	(m)
Area of Water	A	0.155	(m ²)
Wetted Perimeter	P	0.987	(m)
Hydraulic Radius	R	0.157	(m)
Compos.roughness coefficient	N	0.0110	

Condition of calculation			
Items	symbol	Value	Units
Discharge	Q	0.224	(m ³ /s)
Slope	i	3.00000	(%)

Formula of flow Velocity : Manning

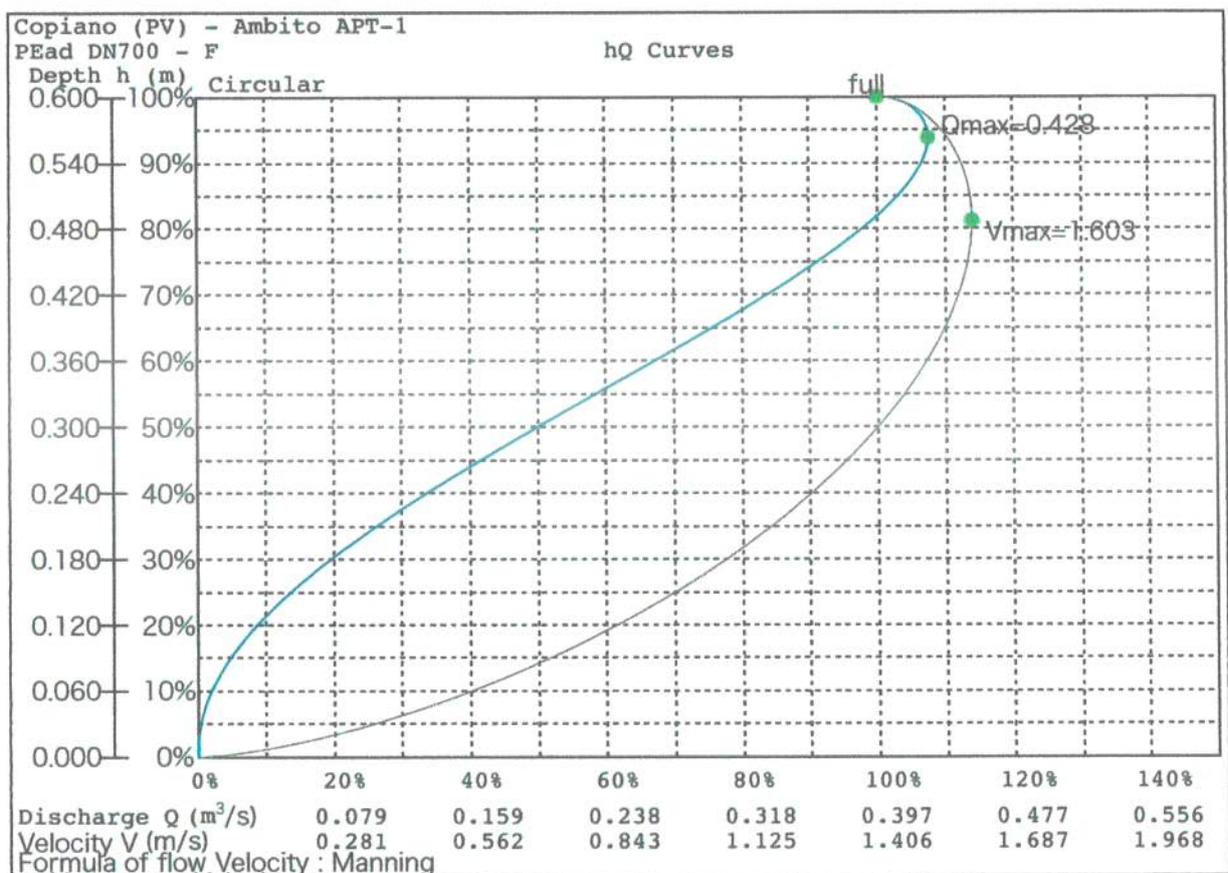


FIG. 11: CALCOLI IDRAULICI SCARICO F CON RELATIVA PORTATA DI VERIFICA.

Dai calcoli sopra esposti risulta che alle sezioni di chiusura delle 8 reti del bacino, appena a monte del sistema d'invarianza, si avrà un grado di riempimento con il deflusso delle rispettive portate di verifica inferiore al 70%, quindi verificate.

Si deducono inoltre, dalle scale di deflusso, le capacità idrauliche massime delle sezioni impiegate (DN315, 400, 500 e 700 mm), rispettivamente pari a 52 l/s, 97 l/s, 173 l/s e 428 l/s con il 94 % di riempimento.

9) CONCLUSIONI

In conclusione si prevede, ai fini del rispetto del principio di invarianza idrologica e idraulica dell'intervento, la realizzazione della rete meteorica come indicato al capitolo 2.3 (unico sotto-bacino gravante sul medesimo sistema di accumulo con 8 sotto-reti allo scarico), con l'impiego quale volume di accumulo per laminazione il bacino/fosso di detenzione superficiale impermeabilizzato previsto in lato Est e successivo scarico in rete ricettrice mediante impianto di pompaggio dimensionato sulla massima portata scaricabile per l'intervento pari a 31,9 l/s nella rete ricettrice finale individuata nel corso d'acqua privato di competenza del Consorzio Naviglio Olona e denominato Cavo Marocco.

Il volume totale minimo da garantire a livello di bacino d'intervento, comunque configurato in differenti accumuli, è pari a 2'548,0 m³, ottenuto dal rispetto dei requisiti minimi di cui all'Art.12 c.2 del R.R.

La soluzione illustrata, mettendo a disposizione un totale di 2'559,6 m³ di accumulo (cautelativamente sovradimensionata e senza aver considerato l'apporto d'invaso della rete e dei pozzetti), soddisfa, oltre ai requisiti minimi di cui sopra, anche il principio di tutela quantitativa della rete ricettrice, rispettando a pieno il principio d'invarianza idraulica e idrologica di cui al R.R. n.7/2017.

Pavia, li 23/06/2023



Ing. Marco Cassani
DOTTORE INGEGNERE
MARCO CASSANI
ING. AMBIENTE TERRITORIO-SEZIONE A
SETTORE A
ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PAVIA
n° 3391

ALLEGATI

- All.1) Elaborati grafici – Tav.1i: Planimetria superfici drenate;
- All.2) Elaborati grafici – Tav.2i: Schema rete meteoriche e particolare bacino;
- All.3) LSPP secondo A.R.P.A. Lombardia;
- All.4) Calcoli idrologici – sole piogge e dimensionamento sistemi laminazione;
- All.5) Calcoli idraulici – scala deflusso rete meteorica e verifica portata massima;
- All.6) Asseverazione in merito alla conformità ai contenuti del R.R. n.7/2017 e s.m.i.