

THE  
**BLOSSOM®**  
AVENUE

FOR BETTER HUMAN LIVING

## PIANO ATTUATIVO CONFORME AL PGT

AMBITO DI TRASFORMAZIONE AdT n° 13

**Allegato 14**

**Studio idrologico e idraulico per riduzione  
delle aree di esondazione**

PROPONENTE



**develog6**

logistics  
development

Develog 6 s.r.l.  
Via Durini 9  
20122 Milano (Milano)

PROJECT MANAGEMENT E  
PROGETTAZIONE DEL PIANO  
ATTUATIVO

**The Blossom Avenue Partners**

Prof. Arch. Marco Facchinetti  
Urb. Marco Dellavalle  
Arch. Luca De Stefani  
Corso Italia 13, 20122, Milano  
Tel +39 (02) 365 20482  
[tbapartners@pec.it](mailto:tbapartners@pec.it)

CONSULENZA AMBIENTALE

TEA consulting  
Ing. Massimo Moi  
via G. B. Grassi, 15, 20157 - Milano  
[moi@territorioambiente.com](mailto:moi@territorioambiente.com)  
Invarianza idraulica  
Ing. Michelangelo Aliverti

PROGETTAZIONE DEL PAESAGGIO E DEL VERDE

Studio Architettura Paesaggio di Luigino Pirola  
Dott. Arch. Paesagg. Luigino Pirola  
Via Piave 1 24040 - Bonate Sopra (BG)  
[info@studioarchitetturapaesaggio.it](mailto:info@studioarchitetturapaesaggio.it)

Maggio 2023

**STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO  
DI RIDUZIONE AREE DI ESONDAZIONE  
NELL'AMBITO DI TRASFORMAZIONE N.13  
DEL PGT DEL COMUNE DI LONATO DEL GARDA**

**1**

**RELAZIONE TECNICA  
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**

---

**MARZO 2022**

---



**IL PROGETTISTA**

**Dott. Ing. Angelo Agostini**

Via Consorzio Agrario, 21 – 25032 CHIARI (BS)  
Tel. 030-711470 e-mail: ing.agostini@libero.it

## INDICE

<b>1. PREMESSE – OBIETTIVI DELLO STUDIO.....</b>	<b>3</b>
<b>2. STATO DI FATTO .....</b>	<b>4</b>
<b>3. CALCOLO IDROLOGICO E IDRAULICO DELLE OPERE.....</b>	<b>9</b>
3.1 RIFERIMENTI NORMATIVI.....	9
3.2 BACINO IDROLOGICO .....	9
3.3 PIOGGE INTENSE – PARAMETRI ARPA – PRESCRIZIONI RR7 .....	11
3.3.1 RAGGUAGLIO DELLE PIOGGE PUNTUALI ALL’AREA DEI BACINI .....	13
3.3.2 IETOGRAMMA DI PROGETTO .....	13
3.3.3 DEPURAZIONE DELLE PIOGGE – METODO CURVE NUMBER CN.....	13
3.4 MODELLO IDROLOGICO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI.....	18
3.4.1 TEMPO DI CORRIVAZIONE.....	18
3.4.2 IDROGRAMMA ISTANTANEO UNITARIO (IUH).....	18
3.4.3 RISULTATI - PORTATE DI PIENA E VOLUMI ECCEDENTI/DI LAMINAZIONE.....	18
<b>4. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA.....</b>	<b>20</b>
<b>5. SINTESI DEGLI INTERVENTI .....</b>	<b>21</b>
<b>6. ELENCO ALLEGATI .....</b>	<b>22</b>

## **1. PREMESSE – OBIETTIVI DELLO STUDIO**

Develog 6 s.r.l. intende eseguire gli interventi previsti nell'Ambito di Trasformazione n.13 del Piano di Governo del Territorio del Comune di Lonato del Garda (BS).

All'interno dell'area di intervento scorre, con direzione Ovest-Est, il canale classificato dal Reticolo Idrico Minore (RIM) del Comune di Lonato del Garda con n.9429, affluente del bacino idrografico Scolo Redone Superiore; in adiacenza dell'alveo, questo canale presenta un'area di esondazione piuttosto estesa, con larghezza media di circa 40 m; le esondazioni sono causate dalle evidenti criticità di alcune sezioni del canale e dalle condizioni di mancanza di manutenzione ordinaria dello stesso.

Con il presente studio si intende fornire:

- l'esame dello stato di fatto
- lo studio idrologico con determinazione dell'evento di piena di progetto
- l'analisi delle criticità rilevate
- il quadro delle proposte di intervento che consentano l'eliminazione del fenomeno di esondazione con contenimento del deflusso delle piene nella sezione dell'alveo.

## 2. STATO DI FATTO

Con riferimento alle planimetrie allegare (ed ai relativi picchetti qui riportati fra parentesi quadre [...]), il canale RIM-9429 oggetto di studio si immette nell'area dell'AdT n.13 mediante un manufatto in calcestruzzo di sottopasso della Strada Provinciale BS 567 via del Benaco [100-105].

Il manufatto ha dimensioni di 1.50 x H2.10m con quota di fondo scorrimento 115.08 msm, ribassata di circa 10 cm rispetto alle sezioni in terra battuta a monte e a valle.



*Manufatto di immissione - Sezione a monte*



*Manufatto di immissione - Sezione a valle*

Nel tratto immediatamente a valle del sottopasso della SP.367 [105-107] (immagine successiva), il canale presenta sezione in terra battuta di dimensioni alquanto variabili.

La sponda destra (a Sud) è piantumata ed offre quindi una discreta stabilità contro i fenomeni di erosione causati dal passaggio delle piene (fenomeni normalmente molto accentuati allo sbocco dei manufatti).

La sponda sinistra presenta un'altezza piuttosto modesta; il deflusso delle piene (anche modeste) esondare facilmente nella parte più bassa del terreno agricolo adiacente, confermando le indicazioni del RIM sulla presenza dell'area esondabile.

La presenza di una tubazione pluvirrigua DN100 disattivata (tranciata ma abbandonata in alveo) crea ulteriore ostacolo al deflusso delle piene, oltre che causare il deposito di detriti in alveo.



*Sezione a valle del sottopasso della SP.367 [105-107]*

Nel tratto [107-108] è presente un ponte in calcestruzzo di dimensioni interne 1.60 x H1.60m, parzialmente interrato e in assenza di manutenzione.



*Vista da valle del manufatto 1.60x1.60m parzialmente occluso [107-108]*



*Sezione di valle [108] del manufatto 1.60x1.60m parzialmente occluso*

Il ponte-tubo di diametro 1.00m presente nel successivo tratto [111-112] è in condizioni inaccettabili ed è la principale causa delle attuali esondazioni: la sezione (individuabile solo per la sezione di valle [112]) è occlusa per oltre il 70% dell'altezza utile, come visibile nelle successive immagini.

*Viste da valle del ponte-tubo del tratto [111-112]*



A valle, in tutto il tratto [112-119] il canale prosegue con sezione trapezoidale con circa 1.20 m di base e 1.50m di altezza media, con sponda sinistra confinante con il terreno agricolo e sponda destra alberata in condizioni di scarsa manutenzione.



*Tratto [112-119]*

Nel picchetto [114] affluisce l'attuale canale di scarico del laghetto in estremità Nord dell'AdT13; il canale affluente è oggetto di studio di spostamento lungo il perimetro Est dell'AdT 13, a cura della Dott.Geol. Elisa Lancini.

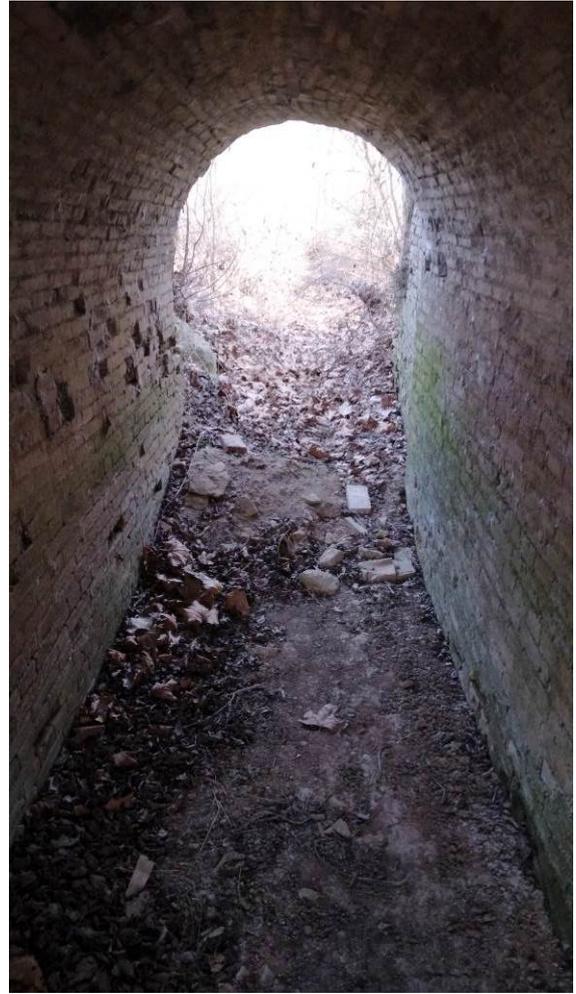
Nella sezione [119] inizia il manufatto in cotto di sottopasso della strada comunale ad Est dell'AdT 13, di dimensioni 1.40 m x Hmax 2.20 e quota fondo scorrimento 115.39 msm, che presenta condizioni precarie nella sezione di imbocco (in chiave e ai fianchi).



*Manufatto di sottopasso strada comunale a Est dell'AdT13 [119-120]*



*Manufatto di sbocco – Sezione a monte [119]*



*Manufatto di sbocco - Sezione a valle [120]*



*Manufatto di sbocco - Sezione e canale a valle [120]*

### 3. CALCOLO IDROLOGICO E IDRAULICO DELLE OPERE

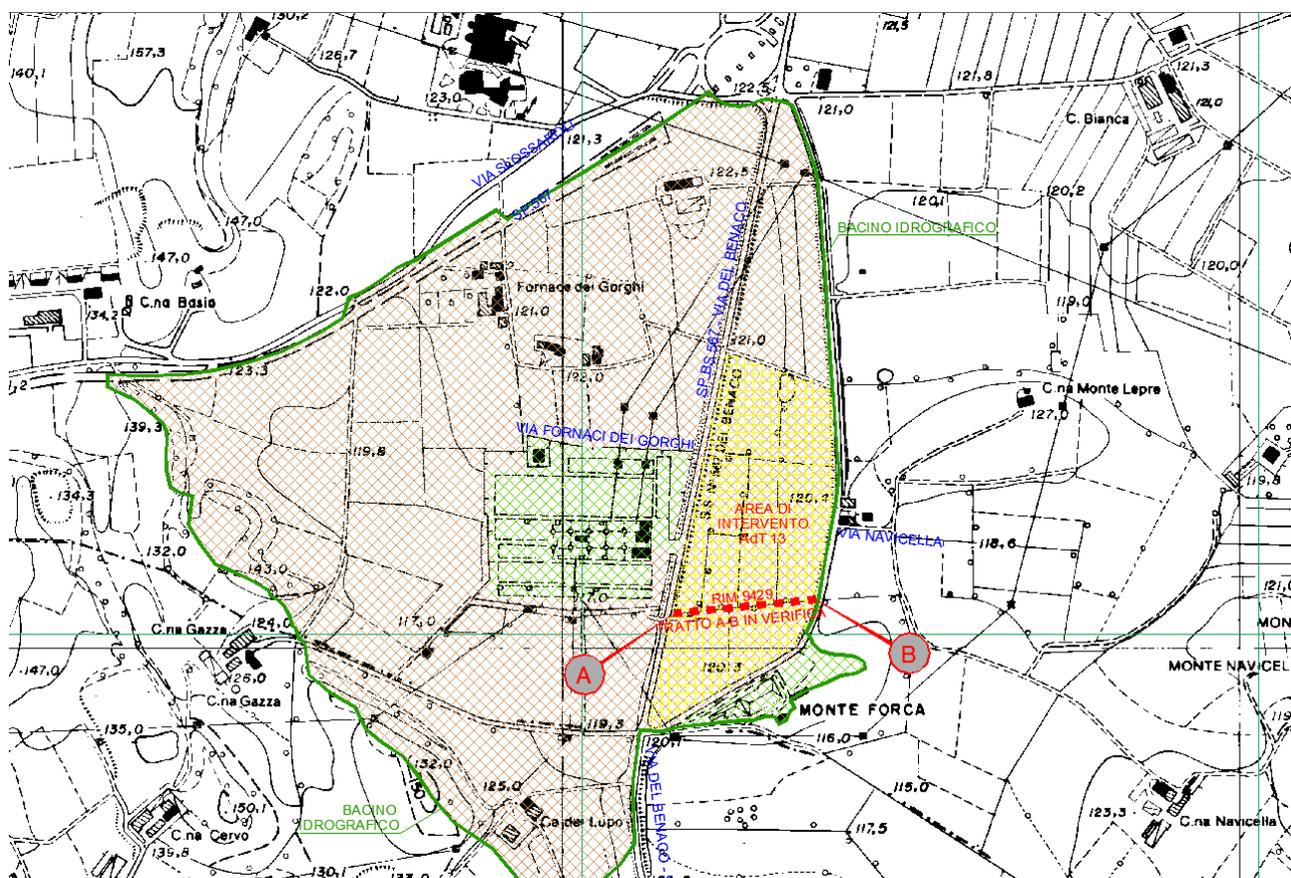
#### 3.1 RIFERIMENTI NORMATIVI

Le opere esistenti e di progetto sono state verificate per eventi meteorici con tempo di ritorno di 100 anni, come da prescrizioni contenute nel Regolamento Regionale n.7 e s.m.i. (nel seguito "RR7", art. 14.7.a.1 riferito allo studio comunale del rischio idraulico).

#### 3.2 BACINO IDROLOGICO

Il bacino oggetto di studio, riportato nella successiva immagine, è delimitato a Nord-Ovest dalla SP.567 - via Mantova, è attraversato in direzione Nord-Sud dal ramo di SP.567 - via Benaco e delimitato ad Est dalla strada comunale che interseca via Navicella.

Al centro del bacino, a Sud di via Fornaci dei Gorgi, è presente l'area archeologica dell'antica fornace romana e immediatamente a Sud l'area del campo pali ENEL.



La superficie è composta in gran parte da terreni agricoli, in generale dotati di una mediocre capacità di infiltrazione (trattandosi in gran parte di "depositi glaciali" e "depositi glaciolacustri di depressione intermorenica o di fronte glaciale", come da studio geologico allegato al PGT).

La pendenza del bacino è modesta; solo lungo il perimetro Sud si presenta un rilievo con quota massima di 143 msm presso la cascina Gazza (circa 20m sopraelevato rispetto al tratto in esame).

Si tratta quindi di un bacino pianeggiante con capacità di invaso relativamente elevata, favorita anche dalla lavorazione agricola dell'intero territorio non impermeabilizzato.



*Ortofoto dell'area di intervento, con destinazione prettamente agricola*

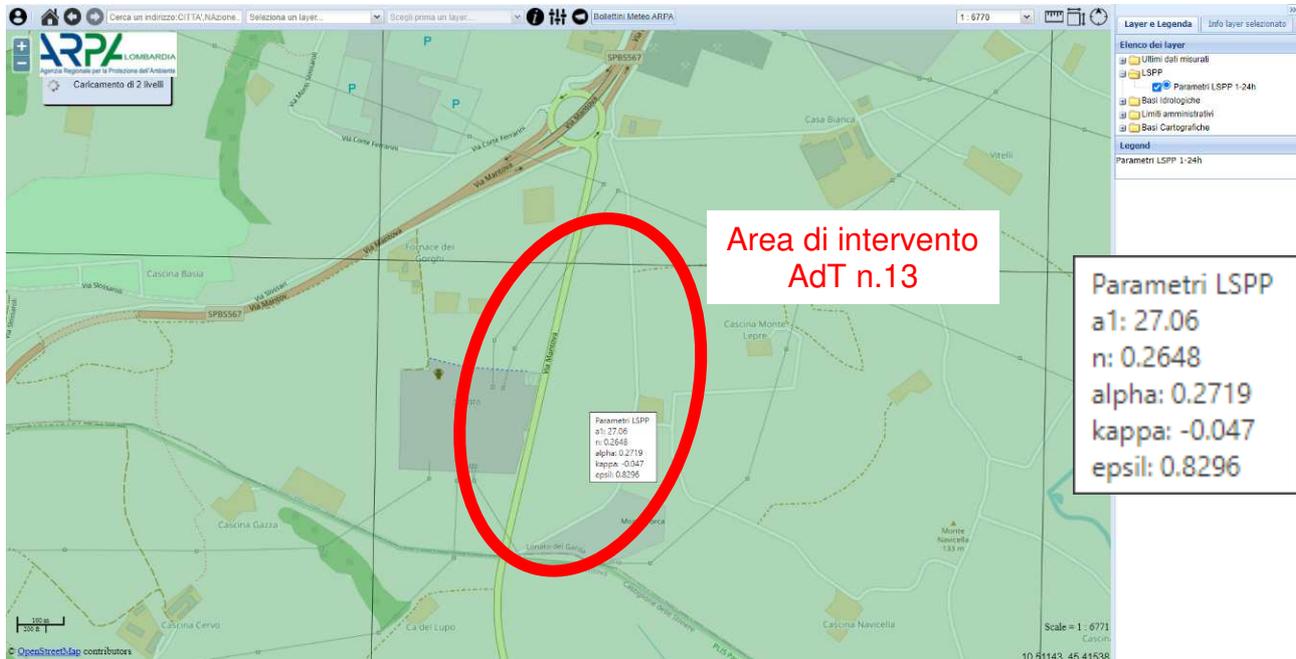
Il calcolo delle portate è stato effettuato suddividendo in sottobacini idrologicamente simili l'intero bacino affluente al canale oggetto di studio.

Le caratteristiche idrologiche di ciascun sottobacino sono individuate mediante il coefficiente di deflusso  $\varphi$ , che rappresenta la quota di piogge affluenti alla rete di drenaggio (piogge nette), escludendo quindi dal calcolo le perdite idrologiche.

Sono stati considerati valori variabili da  $\varphi = 0.25$  per le aree naturali e per le aree coltivate,  $\varphi = 0.40$  per le aree a diversa destinazione; le aree impermeabilizzate (tetti, piazzali, strade) risultano mediamente ricomprese nelle precedenti, data la scarsa incidenza areale.

### 3.3 PIOGGE INTENSE – PARAMETRI ARPA – PRESCRIZIONI RR7

Le curve di possibilità pluviometrica del tipo monomio  $h = a t^n$  sono calcolabili utilizzando i parametri pubblicati da ARPA Lombardia sul proprio sito; per le aree di via Serello e per la frazione Castelletto i parametri sono esposti nelle successive immagini.



I 5 parametri locali  $a_1$ ,  $n$ ,  $\alpha$ ,  $k$ ,  $\varepsilon$  ed il tempo di ritorno  $T = 100$  anni sono utilizzati per calcolare il parametro  $w_T$  che ha espressione:

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

La curva di intensità pluviometrica esprime l'altezza di pioggia  $h_T$  (mm) caduta nel tempo  $D$  (durata, in ore); l'espressione di tipo monomio per durate di pioggia  $D$  è del tipo:

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

Per durate  $D$  degli eventi critici inferiori a 1 ora, l'esponente della curva pluviometrica deve essere assunto  $n = 0.50$ . Per l'area in esame, le curve pluviometriche valide per tempo di ritorno  $T = 100$  anni risultano:

$$h_T(D) = 60.23 D^{0.50} \quad \text{per durate } D < 1 \text{ ora}$$

$$h_T(D) = 60.23 D^{0.2648} \quad \text{per durate } D \geq 1 \text{ ora}$$

Nella successiva elaborazione sono stati considerati i valori di  $a$  e  $n$  per il baricentro di ciascun sottobacino di calcolo, valori risultanti dalla interpolazione bilineare fra i 4 valori puntuali a contorno dell'area di intervento (valori dei 5 parametri ARPA fra loro distanziati 1500 m).

Pertanto i singoli valori (esatti per il calcolo) possono discostarsi leggermente dai valori medi sopra riportati.



Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente

### Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: *Lonato del Garda*  
 Coordinate:

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

A1 - Coefficiente pluviometrico orario 27.06

N - Coefficiente di scala 0.2648

GEV - parametro alpha 0.2719

GEV - parametro kappa -0.047

GEV - parametro epsilon 0.8296

**Linea segnatrice**

Tempo di ritorno (anni)

**Evento pluviometrico**

Durata dell'evento [ore]

Precipitazione cumulata [mm]

**Formulazione analitica**

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

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

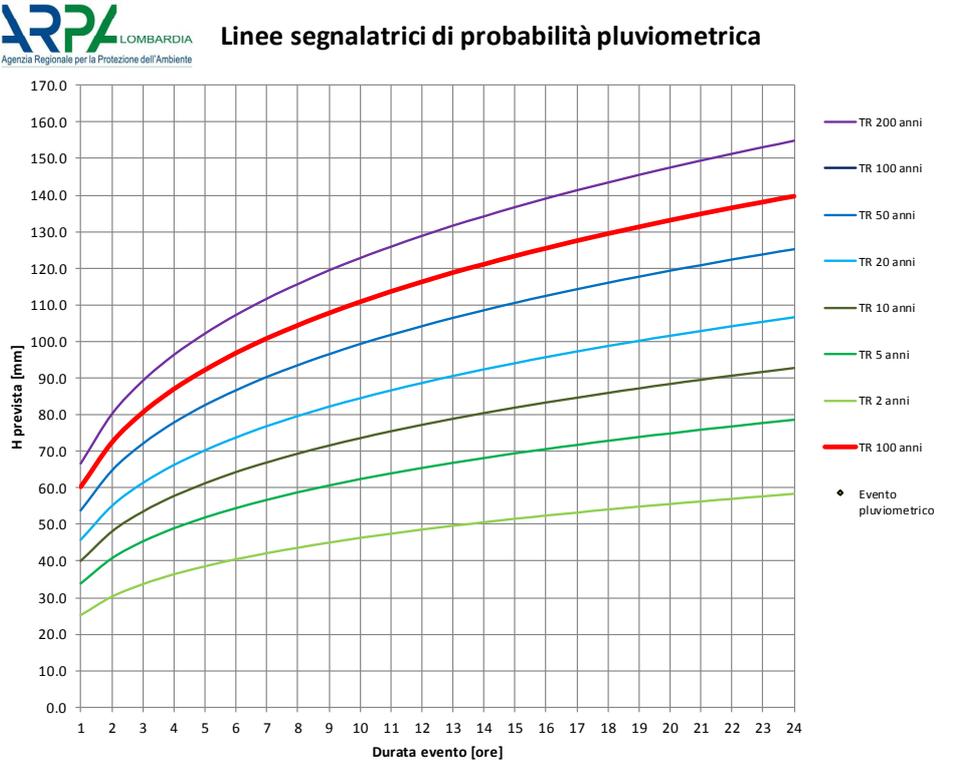
Bibliografia ARPA Lombardia:

<http://idro.arpalombardia.it/manual/lspn.pdf>

[http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA\\_report.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	100
wT	0.930118	1.252153	1.475005	1.696283	1.994050	2.225889	2.464574	2.225889
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 100 anni
1	25.2	33.9	39.9	45.9	54.0	60.2	66.7	60.2
2	30.2	40.7	48.0	55.1	64.8	72.4	80.1	72.4
3	33.7	45.3	53.4	61.4	72.2	80.6	89.2	80.6
4	36.3	48.9	57.6	66.3	77.9	86.9	96.3	86.9
5	38.5	51.9	61.1	70.3	82.6	92.2	102.1	92.2
6	40.5	54.5	64.1	73.8	86.7	96.8	107.2	96.8
7	42.1	56.7	66.8	76.8	90.3	100.8	111.6	100.8
8	43.7	58.8	69.2	79.6	93.6	104.5	115.7	104.5
9	45.0	60.6	71.4	82.1	96.5	107.8	119.3	107.8
10	46.3	62.3	73.4	84.5	99.3	110.8	122.7	110.8
11	47.5	63.9	75.3	86.6	101.8	113.7	125.8	113.7
12	48.6	65.4	77.1	88.6	104.2	116.3	128.8	116.3
13	49.6	66.8	78.7	90.5	106.4	118.8	131.5	118.8
14	50.6	68.2	80.3	92.3	108.5	121.2	134.1	121.2
15	51.6	69.4	81.8	94.0	110.5	123.4	136.6	123.4
16	52.4	70.6	83.2	95.6	112.4	125.5	139.0	125.5
17	53.3	71.7	84.5	97.2	114.3	127.5	141.2	127.5
18	54.1	72.8	85.8	98.7	116.0	129.5	143.4	129.5
19	54.9	73.9	87.0	100.1	117.7	131.4	145.4	131.4
20	55.6	74.9	88.2	101.5	119.3	133.2	147.4	133.2
21	56.4	75.9	89.4	102.8	120.8	134.9	149.3	134.9
22	57.1	76.8	90.5	104.1	122.3	136.6	151.2	136.6
23	57.7	77.7	91.6	105.3	123.8	138.2	153.0	138.2
24	58.4	78.6	92.6	106.5	125.2	139.7	154.7	139.7



**Linee segnatrici di probabilità pluviometrica**

ARPA LOMBARDIA  
 Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente

The graph plots predicted precipitation (H prevista [mm]) on the y-axis (0.0 to 170.0) against event duration (Durata evento [ore]) on the x-axis (1 to 24). Multiple curves represent different return periods (TR): 2, 5, 10, 20, 50, 100, and 200 years. A red curve specifically highlights the TR 100 anni data. A legend on the right identifies the lines and includes a diamond symbol for 'Evento pluviometrico'.

Foglio di calcolo dal sito ARPA con parametri relativi all'intervento nell'AdT n.13

### 3.3.1 RAGGUAGLIO DELLE PIOGGE PUNTUALI ALL'AREA DEI BACINI

L'estensione ad un'area dell'altezza di pioggia registrata puntualmente, indicata con il termine di "ragguaglio all'area", è stata eseguita applicando un coefficiente di ragguaglio secondo la formula di Wallingford:

$$ARF = 1 - f_1 \cdot (t)^{-f_2}$$

dove ARF è il coefficiente di ragguaglio (Areal Reduction Factor),  $t$  (ore) è la durata della precipitazione ed  $f_1$  e  $f_2$  sono funzione dell'area  $A$  considerata:

$$\begin{aligned} f_1 &= 0.0394 \cdot A^{0.354} & f_2 &= 0.40 - 0.0208 \cdot \ln(4.6 - \ln A) & \text{per } A < 20 \text{ km}^2 \\ f_1 &= 0.0394 \cdot A^{0.354} & f_2 &= 0.40 - 0.003832 \cdot \ln(4.6 - \ln A) & \text{per } 20 \text{ km}^2 < A < 100 \text{ km}^2 \end{aligned}$$

### 3.3.2 IETOGRAMMA DI PROGETTO

Considerato il metodo di misurazione e di successiva definizione delle piogge massime annuali (alla base della elaborazione delle curve pluviometriche), la durata delle piogge e l'estensione dei bacini idrologici, la distribuzione temporale delle piogge è stata considerata costante per tutta la durata dell'evento, utilizzando quindi ietogrammi di tipo costante.

### 3.3.3 DEPURAZIONE DELLE PIOGGE – METODO CURVE NUMBER CN

La stima delle perdite idrologiche o "depurazione delle piogge" è stata effettuata utilizzando il metodo "Curve Number" edito dal *Natural Resources Conservation Service* (noto anche come SCS). Il metodo ipotizza che sussista una relazione di proporzionalità fra il volume netto delle piogge  $R$  (runoff) ed il volume affluito delle piogge  $P$ , pari al rapporto fra il volume perso (trattenuto o infiltrato)  $F$  ed il volume massimo immagazzinabile nel terreno a saturazione  $S$ :

$$R/P = F/S$$

Inserendo l'equazione di continuità:  $R = P - F$ , si ottiene l'espressione:

$$R = P^2 / (P + S)$$

Al volume affluito  $P$  viene detratta una "depurazione iniziale" (Initial abstraction  $I_a$ ) che tiene conto dei volumi trattenuti, infiltrati o delle perdite presenti prima che il deflusso abbia inizio; quindi sostituendo  $P$  con il valore  $(P - I_a)$  l'espressione diviene:

$$R = (P - I_a)^2 / (P - I_a + S)$$

Il metodo indica di assumere  $I_a = 0.20 S$  (cioè la depurazione iniziale pari al 20% del massimo volume immagazzinabile a saturazione del terreno), per cui in definitiva:

$$\begin{aligned} R &= (P - 0.2S)^2 / (P + 0.8S), \text{ per } P \geq 0.2 S \\ R &= 0, \text{ per } P < 0.2 S \end{aligned}$$

In base a valori di letteratura, il metodo assume  $S$  in base al parametro CN Curve Number caratteristico di ciascun tipo di suolo e del suo tipo di uso:

$$S = 25400 / CN - 254 \text{ (mm)}$$

È possibile tenere conto dell'umidità dei suoli nelle condizioni precedenti l'inizio delle piogge tramite il parametro "Antecedent Moisture Condition", che nel caso in esame è stato assunto pari al valore medio, senza modifica delle espressioni sopra riportate.

Stabilito quindi il parametro CN per il tipo di suolo (con il metodo esposto di seguito), il metodo consente di depurare dalle perdite lo ietogramma delle piogge ( $P$ ) per ciascun istante  $t$  dell'evento piovoso, ottenendo lo ietogramma delle piogge nette ( $R$ ).

La definizione del parametro CN (Curve Number) è stata eseguita basandosi sulla correlazione dello stesso CN con i valori del parametro CORINE (classificazione DUSAF), definiti sulla scorta di precedenti studi regionali e basati sull'incrocio tra la destinazione d'uso dei suoli (DUSAF) ed il gruppo idrologico/permeabilità dei terreni.

Per ciascuno dei bacini/sottobacini individuati e prescelti per il calcolo, con l'ausilio di procedure informatiche GIS è stata pertanto utilizzata la cartografia geologica di base del PGT comunale per definire arealmente le caratteristiche idrogeologiche e specificatamente la permeabilità dei terreni secondo il seguente schema:

<b>Ambito geologico-litologico</b>	<b>Permeabilità</b>
<i>Depositi di conoide</i> <i>Depositi di contatto glaciale</i> <i>Depositi fluvioglaciali interni grossolani</i> <i>Depositi di spiaggia</i>	Medio Alta
<i>Depositi glaciolacustri</i> <i>Depositi fluvioglaciali interni fini</i>	Complessivamente Bassa
<i>Depositi morenici</i>	Bassa
<i>Depositi di contatto (Morena di fondo)</i> <i>Depositi lacustri</i> <i>Depositi torbosi</i>	Bassa/Molto bassa

Il gruppo idrologico di appartenenza (HSG) dei suoli è stabilito in base alla seguente tabella.

<b>A</b>	Suoli aventi scarsa potenzialità di deflusso e alti tassi di infiltrazione, anche quando sono completamente umidi. Comprende sabbie profonde, sabbia-franca e materiale franco-sabbioso, con scarsissima presenza di limo e argilla e ghiaie profonde. Risultano molto permeabili, con tasso di trasmissione maggiore di 7.6 mm/h. Capacità di infiltrazione in condizioni di saturazione molto elevata.
<b>B</b>	Suoli aventi moderata potenzialità di deflusso e modesto tasso di infiltrazione quando sono completamente umidi. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi abbastanza profondi e drenati (meno profondi rispetto al gruppo A), con tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana. Hanno un tasso di infiltrazione compreso tra 3.8 e 7.6 mm/h. Elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.
<b>C</b>	Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta e bassi tassi di infiltrazione quando sono completamente umidi. Sono principalmente composti da terreni con strati che impediscono il movimento di percolazione dell'acqua. Suoli franchi argillo-sabbiosi, contenenti considerevoli qualità di argilla e colloidali, con tessitura abbastanza fine. Tasso di trasmissione compreso tra 1.3 e 3.8 mm/h. Scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.
<b>D</b>	Potenzialità di deflusso molto elevata e percentuale di infiltrazione molto bassa quando sono completamente umidi. Argille con elevata capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressochè impermeabili in vicinanza della superficie. Suoli argillosi, argillo-sabbiosi, argillosi sabbiosi e argillosi limosi, con la presenza di falda in prossimità della superficie. Questi suoli presentano un tasso di trasmissione molto basso (0 - 1.3 mm/h). Scarsissima capacità di infiltrazione a saturazione.

Si è assunta la seguente correlazione:

- terreni a medio-alta permeabilità → gruppo idrologico B
- terreni a bassa permeabilità → gruppo idrologico C
- terreni a permeabilità da bassa a molto bassa → gruppo idrologico D

Sovrapponendo la cartografia regionale relativa alla destinazione d'uso dei suoli (*Uso e copertura del suolo 2015 (DUSAF 6.0)* – SIT Regione Lombardia) ed i gruppi idrologici, è possibile assegnare uno specifico parametro CN in base alla seguente tabella.

**Individuazione del parametro CN (Curve Number) in base alla destinazione d'uso dei suoli (DUSAF) secondo il codice CORINE.**

Codici Europei Corine Land Cover (Coordination of Information on the Environment Land Cover)			REGIONE LOMBARDIA			
Valori del CN <sub>II</sub> per diverse tipologie ed uso del suolo (Soil Conservation Service)			SISTEMA INFORMATIVO PEDOLOGICO			
			classi di permeabilità			
			H=alta	M=media	L=bassa	
ex Classif. DUSAF	Classif. CORINE	Tipologia Uso suolo	Gruppo idrologico del suolo			
			A	B	C	D
	100	TERRITORI MODELLATI ARTIFICIALMENTE				
U, UN	111	Zone residenziali a tessuto continuo	89	92	94	95
	1111	Zone residenziali a tessuto residenziale denso	89	92	94	95
	1112	Zone residenziali a tessuto continuo mediamente denso	89	92	94	95
	112	Tessuto urbano discontinuo				
	1121	Tessuto urbano discontinuo denso con uso misto (sup.art. 50-80%)	77	85	90	92
	1122	Tessuto urbano discontinuo medio, nucleiforme principalmente residenziale (sup.art. 30-50%)	60	75	84	89
	1123	Tessuto urbano rado, principalmente residenziale (sup.art. 10-30%)	55	71	80	85
	11231	Cascine	55	71	80	85
	121	Aree industriali o commerciali, servizi pubblici e privati, aree militari	81	88	91	93
	12111	Insedamenti industriali, artigianali, commerciali	81	88	91	93
	12112	Insedamenti produttivi agricoli	81	88	91	93
	12121	Insedamenti ospedalieri	81	88	91	93
	12122	Impianti di servizi pubblici e privati	81	88	91	93
	12123	Impianti tecnologici	81	88	91	93
	12124	Cimiteri	81	88	91	93
	12125	aree militari obliterate	81	88	91	93
	12126	Impianti fotovoltaici a terra	81	88	91	93
	122	Reti stradali e ferroviarie, infrastrutture e spazi accessori	98	98	98	98
	1221	Rete stradale veloce con territori associati	98	98	98	98
	1222	Rete stradale secondaria con territori associati	98	98	98	98
	1223	Rete ferroviaria con territori associati	98	98	98	98
	123	Aree portuali	81	88	91	93
	124	Aeroporti	72	82	87	89
R2	131	Aree estrattive	72	82	87	89
R3	132	Discariche	72	82	87	89
R4	133	Cantieri, aree in costruzione	72	82	87	89
	134	Aree in attesa di destinazione d'uso, aree degradate non utilizzate e non vegetate	72	82	87	89
	141	Aree verdi urbane	68	79	86	89
	1411	Parchi e giardini	68	79	86	89
	1412	Aree verdi incolte	68	79	86	89
	142	Aree sportive e ricreative	49	69	79	84
	1421	Impianti sportivi	49	69	79	84
	1422	Campeggi e strutture turistiche e ricettive	49	69	79	84
	1423	Parchi divertimento	49	69	79	84
	1424					

Codici Europei Corine Land Cover (Coordination of Information on the Environment Land Cover)			REGIONE LOMBARDIA			
			SISTEMA INFORMATIVO PEDOLOGICO			
Valori del CN <sub>II</sub> per diverse tipologie ed uso del suolo (Soil Conservation Service)			classi di permeabilità			
			H=alta	M=media	L=bassa	
ex Classif.	Classif.	Tipologia Uso suolo	Gruppo idrologico del suolo			
DUSAF	CORINE		A	B	C	D
	200	TERRITORI AGRICOLI				
S3, S4, S6	211	Seminativi in aree non irrigue	49	69	79	84
	2111	Colture intensive, seminativi semplici	49	69	79	84
	2112	Seminativi arborati	49	69	79	84
	21131	Colture orticole a pieno campo	49	69	79	84
	21132	Colture orticole protette	49	69	79	84
	21141	Colture floro-vivaistiche a pieno campo	49	69	79	84
	21142	Colture floro-vivaistiche protette	49	69	79	84
	2115	Piante industriali in aree non irrigue, orti familiari	49	69	79	84
	212	Seminativi in aree irrigue	49	69	79	84
	213	Risaie	59	70	78	81
L1	221	Vigneti	67	77	83	87
L4	222	Frutteti e frutti minori	65	75	82	86
	223	Oliveti	65	75	82	86
	224	Altre colture permanenti	67	78	85	89
	2241	Arboricoltura da legno	67	78	85	89
	2242	Pioppeti in coltura	67	78	85	89
P1, P2	231	Prati stabili, foraggiere permanenti, graminacee non soggette a rotazione	49	69	79	84
	2311	Prati permanenti in assenza di specie arboree ed arbustive	54	74	81	85
	2312	Prati permanenti con presenza di specie arboree ed arbustive sparse	69	81	86	89
	232	Superfici a prato permanente ad inerbimento spontaneo, comunemente non lavorata	49	71	86	89
S1, S2	241	Colture annuali associate a colture permanenti	62	71	78	81
	242	Sistemi colturali e particellari complessi	67	78	85	89
	243	Colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	67	78	85	89
	244	Aree agroforestali	45	66	77	83
	300	TERRITORI BOSCATI E AMBIENTI SEMI-NATURALI				
L7, B1	311	Boschi di latifoglie	60	65	70	77
	31111	Boschi di latifoglie a densità media e alta governati a ceduo	60	65	70	77
	31112	Boschi di latifoglie a densità media e alta governati ad alto fusto	60	65	70	77
	31121	Boschi di latifoglie a densità bassa governati a ceduo	60	65	70	77
	31122	Boschi di latifoglie a densità bassa governati ad alto fusto	60	65	70	77
	3113	Formazioni ripariali	60	65	70	77
	3114	castagneti da frutto	60	65	70	77
	312	Boschi di conifere	60	65	70	77
	3121	Boschi conifere a densità media e alta	60	65	70	77
	3122	Boschi di conifere a densità bassa	60	65	70	77
	313	Boschi misti	60	65	70	77
	31311	boschi misti a densità media e alta	60	65	70	77
	31312	boschi misti a densità media e alta	60	65	70	77
	31321	boschi misti a densità bassa	60	65	70	77
	31322	boschi misti a densità bassa	60	65	70	77
	314	Imboschimenti recenti	60	65	70	77
	321	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	60	65	74	80
	3211	praterie naturali d'alta quota assenza di specie arboree ed arbustive	60	65	74	80
	3212	vigneti	60	65	74	80
	322	Brughiere e cespuglietti	60	65	74	80
	3221	Cespuglietti	60	65	74	80
	3222	Vegetazione dei greti	60	65	74	80
	3223	Vegetazione degli argini sopraelevati	60	65	74	80
	323	Aree a vegetazione sclerofilla	60	65	74	80
N5, N8	324	Aree a vegetazione boschiva in evoluzione	60	65	74	80
	3241	Cespuglietti con presenza significativa di specie arbustive alte ed arboree	60	65	74	80
	3242	Cespuglietti in aree agricole abbandonate	60	65	74	80
R5	331	Spiagge, dune, sabbie (più larghe di 100 m)	25	55	70	77
	332	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	68	79	86	89
	333	Aree con vegetazione rada	68	79	86	89
	334	Aree percorse da incendi	68	79	86	89
	335	Ghiacciai e nevi perenni	36	60	73	79

Codici Europei Corine Land Cover (Coordination of Information on the Environment Land Cover)			REGIONE LOMBARDIA			
			SISTEMA INFORMATIVO PEDOLOGICO			
Valori del CN <sub>II</sub> per diverse tipologie ed uso del suolo (Soil Conservation Service)			classi di permeabilità			
			H=alta	M=media	L=bassa	
ex Classif.	Classif.	Tipologia Uso suolo	Gruppo idrologico del suolo			
DUSAF	CORINE		A	B	C	D
	400	ZONE UMIDE				
N1	411	Paludi interne	98	98	98	98
	412	Torbiere	98	98	98	98
	421	Paludi salmastre	98	98	98	98
	422	Saline	98	98	98	98
	423	Zone intertidali	98	98	98	98
	500	CORPI IDRICI				
A2	511	Corsi d'acqua, canali e idrovie	99	99	99	99
A3	512	Bacini d'acqua	99	99	99	99
	5121	Bacini idrici naturali	99	99	99	99
	5122	Bacini idrici artificiali	99	99	99	99
	5123	Bacini idrici da attività estrattive interessanti la falda	99	99	99	99
	521	Lagune	99	99	99	99
	522	Estuari	99	99	99	99
	523	Mari e oceani	99	99	99	99

Quindi per ciascuna sezione di chiusura e per ciascun bacino/sottobacino oggetto di analisi è stato possibile calcolare un valore medio pesato del parametro CN.

L'applicazione del modello idrologico dell'invaso lineare (esposto in seguito) richiede la trasformazione delle perdite idrologiche del metodo CN nel classico coefficiente di afflusso  $\varphi$  richiesto dal modello. La trasformazione (cfr. "Shakeup-2, Caratterizzazione idrologica del regime di piena in Lombardia: bacini tributari del lago di Como", 2004, ARPA) si effettua in base alla espressioni:

$$\varphi = 0.75 \cdot (i / 4 / (1 + \lambda) / S)^{1/3} \quad \text{per } i \leq (1 + \lambda) S$$

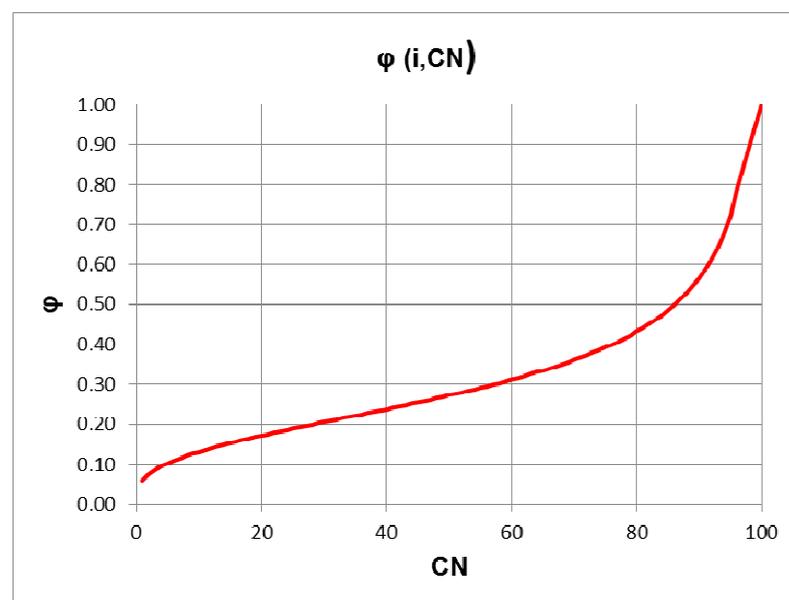
$$\varphi = 1 - (1 + \lambda) \cdot S / i \quad \text{per } i > (1 + \lambda) S$$

essendo:

$\lambda = 0.2$  il valore caratteristico del metodo,

$S = (1000/CN - 10) \cdot 25.4$  (mm) il potenziale massimo di ritenzione del terreno,

$i = a \cdot d^{n-1} = a \cdot 1^{n-1} = a$  mm/h, intensità di pioggia di durata oraria ( $i_{netta, TR=100} = 58.2$  mm/h).



Correlazione CN –  $\varphi$  per  $\lambda = 0.2$ ,  $i = 58.2$  mm/h

### 3.4 MODELLO IDROLOGICO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI

L'evento pluviometrico "critico" produce nella sezione di chiusura di ogni sottobacino la corrispondente portata "critica", cioè la portata massima che si può presentare nella sezione per le condizioni idrologiche assunte (tempo di ritorno, coefficienti di afflusso, tempo di corrivazione, condizioni di invaso, ecc...). La portata critica può essere calcolata mediante applicazione di un modello di trasformazione afflussi-deflussi che, a partire dallo ietogramma critico sopra definito, permette di generare l'idrogramma di piena alla sezione di interesse.

Normalmente, l'evento critico ha durata delle piogge prossime al tempo di corrivazione del singolo bacino.

#### 3.4.1 TEMPO DI CORRIVAZIONE

Il tempo di corrivazione ( $T_c$ ) rappresenta il tempo oltre il quale l'intero bacino contribuisce in modo completo alla formazione degli afflussi nella sezione di chiusura; è stato valutato con la formula di Giandotti:

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.80\sqrt{h_m}}$$

con:

- $A$  area del bacino, in  $\text{km}^2$
- $L$  lunghezza dell'asta principale, in km;
- $h_m$  altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura, in m;
- $T_c$  il tempo di corrivazione, in ore.

#### 3.4.2 IDROGRAMMA ISTANTANEO UNITARIO (IUH)

L'idrogramma delle portate nelle sezioni di chiusura di ogni singolo bacino è stato calcolato utilizzando lo ietogramma costante depurato (ietogramma netto) sopra descritto ed un modello di trasformazione afflussi-deflussi basato sul modello di Nash. Questo metodo simula il comportamento del bacino mediante  $n$  serbatoi posti in serie caratterizzati dalla stessa costante  $k = W/Q$ , (con  $W$  volume invaso,  $Q$  portata defluente).

L'idrogramma istantaneo unitario (impulsivo) assume la forma:

$$u(t) = \frac{1}{k(n-1)!} \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} e^{-t/k}$$

Vista la morfologia dei bacini, è stato adottato un valore di  $n = 3$ , mentre il valore di  $k$  è stato assunto pari a  $2/3$  del tempo di corrivazione del bacino.

Mediante calcolo di convoluzione fra lo ietogramma delle piogge nette e l'idrogramma unitario calcolato per il singolo bacino in base ai propri parametri  $n$  e  $k$ , si ottiene l'idrogramma di piena nella sezione di chiusura del bacino in esame.

#### 3.4.3 RISULTATI - PORTATE DI PIENA E VOLUMI ECCEDENTI/DI LAMINAZIONE

Per ogni bacino/sottobacino è stata calcolata la portata al colmo critica  $Q_{10}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{100}$  (in L/s) per tempi di ritorno TR di 10, 50 e 100 anni, come richiesto al punto 7.a.1 dell'art.14 del R.R. n. 7.

Gli eventi critici per ciascun sottobacino sono stati definiti con calcolo iterativo, assumendo durate crescenti delle piogge (con passo di 5 minuti) sull'intera area di studio (cioè per tutti i sottobacini), individuando quindi per ciascun sottobacino il valore della durata di piogge che rende massi-

ma la portata defluente.

La definizione degli idrogrammi di piena ha tenuto conto delle caratteristiche dei singoli sottobacini, sia per quanto riguarda gli aspetti idrologici, sia per quanto riguarda gli aspetti idraulici connessi alla sovrapposizione e traslazione degli idrogrammi generati presso ciascuna sezione di calcolo, tenendo conto di:

- somma degli idrogrammi di piena per sezioni confluenti di più sottobacini
- propagazione rigida dell'idrogramma di piena nella sezione a valle.

Nelle tabella di seguito sono riportati i calcoli delle portate affluenti nelle 3 sezioni del canale in studio (denominato per comodità "Benaco" dal nome della adiacente SP.567), utilizzati per la successiva verifica di compatibilità idraulica.

Sezione	BEN1	BEN2	BEN3
Sez. Affluente		BEN1	BEN2
sup.propria, Ha	57.91	5.23	4.85
sup.cumulata, Ha	57.91	63.13	67.99
pendenza bacino	0.090%	0.113%	0.162%
Zmax	151.47	151.47	151.47
Zmed	120.67	119.21	119.16
Zmin	115.30	115.01	115.01
LungTC	1002.2	21.7	150.1
TC, (ore)	2.45	0.58	0.68
a(10), mm/h <sup>n</sup>	39.95102	39.95102	39.95102
n(10)	0.26413	0.26413	0.26413
a(50), mm/h <sup>n</sup>	53.91784	53.91784	53.91784
n(50)	0.26413	0.26413	0.26413
a(100), mm/h <sup>n</sup>	60.13895	60.13895	60.13895
n(100)	0.26413	0.26413	0.26413
φmed	0.398	0.398	0.398
CNmed	82.383	82.258	82.386
la, mm	10.9	12.0	9.6
nNash	3	3	3
kNash, min	36.8	8.7	10.2
MenuProp	0	0	0
DPcr(10), min	235	250	250
QTR(10), L/s	1090	1168	1275
DPcr(50), min	205	220	220
QTR(50), L/s	1804	1930	2103
DPcr(100), min	195	210	210
QTR(100), L/s	2145	2293	2498

### 4. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Le sezioni idrauliche di progetto sono le seguenti:

- a. Sezione trapezia in terra battuta, comprensiva di piantumazione spondale, di dimensioni:  
 Base = 1.50 m  
 Altezza media interna (da base a quota terreno adiacente sopralzata) = 2.70 m  
 Scarpa minima = 1.00 m (o pendenza sponde massima = 2/1 = 63°)
- b. Sezione del nuovo attraversamento con tubazione di diametro minimo interno D=1.80m o con area utile superiore a 2.50 m<sup>2</sup>.

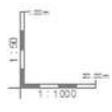
In queste condizioni, il profilo di moto permanente allegato alla planimetria di progetto, di seguito riportato per comodità, mostra che il livello idrico raggiunto nel canale è di 116.66 m.

La velocità di deflusso è al massimo di 0.85 m/s, compatibile con una sezione in terra pinatmata. La sponda posizionata a 117.70 msm offre pertanto un franco idraulico superiore a 1.00 m.

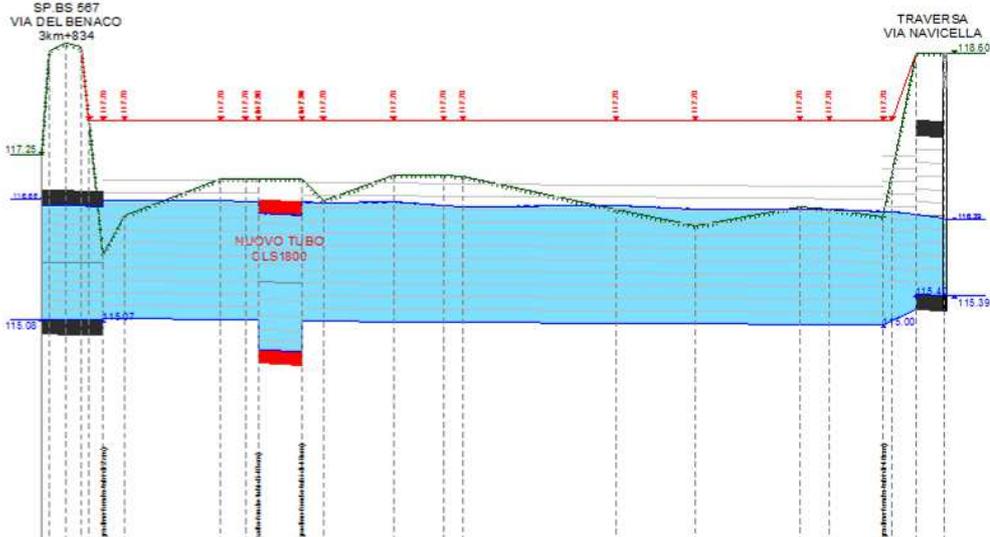
DATI TOFONMASTICI	asta RIM 9429										
CARATTERISTICHE TUBAZIONE	16.20m	trapezia CLS 1500x2000x0.500x0.500				11.40m	trapezia 161.30m NATI 500x2000x0.500x0.500				7.00m
PENDENZA DI FONDO	0.6%	0.3%				2.0%	0.3%				1.3%
SALTI DI FONDO A MONTE/VALLE POZZETTI											
CALCOLI IDRAULICI											
CARATTERISTICHE RIPRISTINI											

Tratto 200  
Asta RIM 9429

Rettilineo minore esis tente/di progetto  
 Canale  
 picchetti: 200-222  
 Lunghezza totale: 237.30m  
 Opere di progetto:  
 11.40m CLS DN1800



Quota di riferimento: 112.00



PICCHETTI	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	
QUOTE TERRENO QT (m)	117.96	118.00	118.04	118.08	118.12	118.16	118.20	118.24	118.28	118.32	118.36	118.40	118.44	118.48	118.52	118.56	118.60	118.64	118.68	118.72	118.76	118.80	118.84	118.88
PENDENZE TERRENO (%)							23.2%									21.1%								
QUOTE FONDO SCORRIMENTO (FT) (m)	115.08	115.08	115.08	115.08	115.08	115.08	115.08	115.08	115.08	115.08	115.08	115.08	115.08	115.08	115.08	115.08	115.08	115.08	115.08	115.08	115.08	115.08	115.08	115.08
PENDENZE TUBAZIONE (%)							2.7%									2.7%								
PROF. FONDO SCORRIMENTO DA P.C. (m)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
PROF. MEDIA SCAVO (m) (tratto: 1.99 m)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
LARGH. MEDIA SCAVO (m) (tratto: 2.88 m)	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88
ALT. INT. CAMERETTE / TORRINI (cm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DISTANZE PARZIALI (m)		25.40	6.40	3.50	11.40	5.00	15.40	13.20	5.00	40.20	20.90	27.40	7.70	14.30	8.50	7.60								
DISTANZE PROGRESSIVE (m)	0.00	25.40	31.80	35.30	46.70	62.10	77.50	90.70	106.10	146.30	167.20	194.60	202.30	216.60	225.10	232.70	240.30	248.00	256.50	265.00	273.50	282.00	290.50	299.00

La sezione di progetto si ritiene quindi verificata.

## 5. SINTESI DEGLI INTERVENTI

Con il presente studio si prevede l'esecuzione dei seguenti interventi da realizzare sul corso del canale n.9429 lungo il tratto incluso nell'AdT n.13 del PGT del Comune di Lonato del Garda, consistenti nella sistemazione dell'alveo esistente per renderlo idoneo al deflusso della piena centenaria.

1. manutenzione ordinaria: rimozione di terre e detriti che occludono parzialmente la sezione idraulica e manutenzione delle alberature esistenti in sponda destra (sponda Sud);
2. rimozione dei n.2 manufatti di sottopasso esistenti, ampiamente insufficienti per il deflusso delle piene di progetto;
3. realizzazione del manufatto di attraversamento previsto per la nuova strada di accesso mediante tubazione in c.a. oppure con manufatto in c.a. di sezione interna utile di almeno  $2.50 \text{ m}^2$ ;
4. adeguamento della sezione idraulica esistente per formazione di sezione in terra battuta di base 2.00m alla quota della sezione esistente e sponde a quota minima di 117.70 msm, con raccordo graduale sia sezione di uscita ad Est; raccordi graduali delle sponde al terreno adiacente e piantumazione della sponda sinistra (sponda Nord) per conferire adeguata resistenza e stabilità al passaggio delle piene di studio.

L'esecuzione di questi interventi consentirà la riduzione delle aree di esondazione che attualmente interessano l'AdT n.13; la nuova area di esondazione risulterà limitata all'ingombro della sezione idraulica come sopra ridimensionata.

## 6. ELENCO ALLEGATI

Il presente progetto è composto dai seguenti elaborati:

- ALL 01      Relazione Tecnica
  
- TAV 1      Stato di fatto  
            Corografia  
            Bacino idrologico esistente  
            Planimetria  
            Profilo longitudinale
  
- TAV 2      Interventi di progetto  
            Corografia  
            Bacino idrologico di progetto  
            Planimetria  
            Profilo longitudinale

§§§§§§§§§§§§§§

Chiari, 14 Marzo 2022



(Dott.Ing. Angelo Agostini)