

Impianto di Buraccio - Loc. Buraccio - Porto Azzurro (LI) -  
Uffici impianto tel. 0565 940247 - fax 0565 933219



## INTERVENTI PER LA REALIZZAZIONE DI MODIFICA DEL SISTEMA IMPIANTISTICO DEL POLO TECNOLOGICO DI SELEZIONE E TRATTAMENTO RIFIUTI URBANI ED ASSIMILATI DI BURACCIO

**MODIFICA A.I.A. A.D. n. 116 DEL 13.07.2011 (Prov. Livorno)  
ai sensi dell'art. 29-nonies del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.**

Responsabile tecnico

Per. Ind. Sauro Marinari

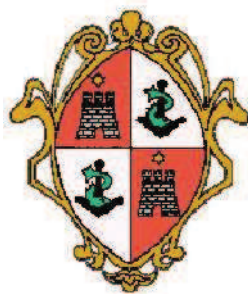
ESA S.p.A.

via Elba, 149 - 57037 Portoferraio (LI) - Tel. 0565.916.557 - fax 0565.93.07.22

Redazione a cura di:  
Geom. Fabio Alinari & Partners  
viale del Milite, 43 - 50131 Firenze (FI)  
Tel. e fax 055.55.35.656



|  |   |                       |
|--|---|-----------------------|
| Elaborato:<br><br><b>BB.a</b>  | Elaborazione:<br><br>Luglio 2019  | Scala:<br><br>- : - - |
|  | Revisione:<br><br>01 Aprile 2020<br><br>_____<br><br>_____<br><br>_____ | Nome file:            |
| Oggetto:<br><br><u>VALUTAZIONE FATTORI DI RISCHIO IN FUNZIONE DEI NUOVI</u><br><u>IMPIANTI E DELLE AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA</u><br><br><i>relazione idraulica</i> |   |                       |



**COMUNE DI PORTO AZZURRO**  
(PROVINCIA DI LIVORNO)

STUDIO IDRAULICO DI PRIMO LIVELLO  
A SUPPORTO DELLAIA SULL'IMPIANTO ESA IN LOC. BURACCIO  
VERIFICHE IDRAULICHE SUL FOSSO MAR DEI CARPISI

**STUDIO IDROLOGICO - IDRAULICO - INTEGRAZIONI**

REL  
A

Relazione idraulica integrativa

Data emissione:  
Luglio 2019

CODICE  
ELABORATO

|      |          |          |           |              |
|------|----------|----------|-----------|--------------|
| Anno | Commissa | Progetto | Tipologia | Elaborato n° |
| 2019 | 035      | D        | REL       | A            |

| LIVELLO         | Numero | Data       | Stesura | Controllo | Approvazione |
|-----------------|--------|------------|---------|-----------|--------------|
| Prima emissione | 01     | 03/07/2019 | FB      | PB        | PB           |
|                 |        |            |         |           |              |
|                 |        |            |         |           |              |

Il Committente



Analisi idrauliche

**INGEO**

Studio *INGEO*  
Ingegneri e Geologi Associati  
Via di Tiglio 433 - 55100 Lucca  
Telefono 0583 - 48682  
Telefax 0583 - 464539  
E-mail [studio@ingeo.it](mailto:studio@ingeo.it)

Il tecnico

ing. Paolo Barsotti

Il collaboratore

ing. Andrea De Vitis

Il geologo

geol. Luigi Giammattei



## SOMMARIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>SOMMARIO .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>1 PREMESSA .....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>2 APPROFONDIMENTO DELLE VALUTAZIONI DELLO STUDIO IDRAULICO.....</b>                | <b>4</b>  |
| <b>2.1 Generalità .....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>2.2 Descrizione del codice di calcolo e dei parametri della modellazione .....</b> | <b>4</b>  |
| <b>2.3 Risultati dell'analisi idraulica sul corso d'acqua .....</b>                   | <b>5</b>  |
| <b>3 DIMENSIONAMENTO OPERE DI PRESIDIO DELLA STRADA A MONTE DELL'IMPIANTO .....</b>   | <b>8</b>  |
| <b>3.1 Generalità .....</b>   | <b>8</b>  |
| <b>3.2 Studio idrologico per la determinazione delle portate .....</b>                | <b>9</b>  |
| 3.2.1 Pluviometria .....  | 9         |
| 3.2.2 Individuazione dei bacini imbriferi.....  | 10        |
| 3.2.3 Parametrizzazione geomorfologica dei bacini .....                               | 11        |
| 3.2.4 Parametro CN.....   | 12        |
| 3.2.5 Parametri tempo.....  | 16        |
| 3.2.6 Parametro perdite iniziali .....  | 16        |
| 3.2.7 Modellazione idrologica del bacino .....  | 17        |
| <b>3.3 Verifica idraulica delle canalette.....</b>                                    | <b>18</b> |
| <b>4 CONCLUSIONI.....</b>   | <b>24</b> |

## 1 PREMESSA

Su incarico della soc. ESA - Elbana Servizi Ambientali ricevuto tramite il geol. Carlo Dini, lo scrivente dott. ing. Paolo Barsotti, iscritto all'ordine degli Ingegneri della Provincia di Lucca al numero A959, redige le presenti integrazioni allo "Studio idraulico a supporto dell'AIA sull'impianto ESA in loc. Buraccio nel Comune di Porto Azzurro (LI)", redatto nel settembre 2018

Come già accennato in tale sede, l'area dell'attività si trova in corrispondenza di un impluvio in cui scorre il fosso Mar dei Carpisi, raccogliendo i contributi di alcuni piccoli affluenti destri e sinistri. Il piazzale dello stabilimento non è caratterizzato da pericolosità idraulica, circostanza che si accorda con l'assenza di fenomeni calamitosi negli ultimi anni nonostante l'Isola d'Elba sia stata colpita da diversi eventi meteorici alluvionali. In effetti, poi, il lotto si trova a quote piuttosto sopraelevate rispetto al contesto locale. Tuttavia si sono registrati i seguenti aspetti idraulicamente rilevanti:

- In corrispondenza della particella in analisi, a livello cartografico è segnalato un corso d'acqua del reticolo significativo della Regione Toscana (LR 79/2012 e successive delibere di Consiglio); tuttavia, al tempo della realizzazione delle infrastrutture dell'impianto è stato modificato il sistema di smaltimento delle acque meteoriche e la situazione reale non corrisponde a quella cartografica.
- Sulla strada di accesso al lotto è presente un attraversamento sul fosso Mar dei Carpisi sul quale è stato necessario sviluppare le verifiche idrauliche.

Questi aspetti sono stati analizzati nel dettaglio del citato studio idraulico e della relazione geologica a firma del Geol. Carlo Dini. Le analisi svolte hanno avuto esito positivo e non hanno manifestato particolari criticità.

L'istruttoria condotta sulle relazioni sopra indicate dagli uffici del Genio Civile della Regione Toscana, pur recependo in sostanza le risultanze degli studi, è stata conclusa con la richiesta di tre precisazioni di seguito riportate:

- *approfondire le dichiarazioni in materia idraulica;*
- *dimensionare opportunamente le opere di presidio e regimazione idraulica della strada ubicata a monte dell'impianto e di prevederne la periodica manutenzione al fine di evitare possibili allagamenti nell'area;*
- *prevedere interventi finalizzati ad impedire e limitare i fenomeni erosivi che sono stati segnalati, in termini di solchi di erosione, nella scarpata adiacente l'alveo del Fosso di Mar dei Carpisi, nell'area sottostante all' impianto;*

La presente relazione integrativa analizza i primi due aspetti mentre una relazione del geol. Carlo Dini chiarisce la situazione sul terzo punto. Per l'inquadramento generale ed idraulico del contesto si rimanda alla relazione geologica ed idraulica sopra citate.

Si ribadisce che l'aggiornamento dell'AIA per il quale è stato svolto lo studio idraulico è legata a modifiche relative ad attività che riguardano soltanto la parte interna dei fabbricati in essere e non vanno ad influire sul regime idraulico o sulle condizioni di sicurezza.

La modellazione idrologica ed idraulica è stata svolta sulla base del rilievo di dettaglio realizzato da GeoLaser 3D di Roberto Nesti e Sauro Salvadori nel Maggio 2019 e del rilievo LIDAR della Regione Toscana.

Per lo sviluppo dei calcoli idrologici idraulici, lo scrivente si è avvalso della collaborazione del dott. ing. Andrea De Vitis, iscritto all'ordine degli Ingegneri della Provincia di Pisa al numero A1839, mentre le valutazioni geologiche connesse all'idrologia sono state svolte dal dott. geol. Luigi Giammattei.

## 2 APPROFONDIMENTO DELLE VALUTAZIONI DELLO STUDIO IDRAULICO

### 2.1 Generalità

Per quanto riguarda lo studio idraulico, le conclusioni riportavano quanto segue:

*“Poiché la capacità della condotta [di attraversamento] è superiore rispetto a quella della portata in arrivo da monte per il tempo di ritorno 200 anni si può concludere che l'attraversamento è in linea con la normativa vigente e potrà essere costituita una pratica di autorizzazione e concessione in linea idraulica.”*

Nella presente relazione è stato effettuato un approfondimento delle valutazioni, come richiesto, ricorrendo alla costruzione di un modello a moto permanente del tratto a cavallo dell'attraversamento. Mediante tale analisi sarà possibile valutare l'effetto della struttura nel contesto in cui essa è inserita.

### 2.2 Descrizione del codice di calcolo e dei parametri della modellazione

La modellazione idraulica del reticolo è stata svolta con il software HEC RAS 5.0.3 fornito da

*U.S. Army Corps of Engineers. Institute*

*For Water Resources. Hydrologic Engineering Center*

*609 Second Street - Davis, CA 95616-4620*

La modellazione è avvenuta seguendo i seguenti passi:

- Definizione della morfologia dell'alveo;
- Inserimento delle portate e delle condizioni al contorno.

La morfologia del corso d'acqua è stata riprodotta attraverso l'estrazione dei dati LIDAR della Regione Toscana, implementando in essa la geometria dell'attraversamento rilevato attraverso il dettaglio.

Una volta stabilita la geometria delle sezioni, la loro distanza e i coefficienti di scabrezza delle superfici dell'alveo si può riprodurre la morfologia del corso d'acqua. In particolare sono stati adottati coefficienti di Manning pari a  $0.030 \text{ m}^{-1/3}$  s sulla base delle indicazioni presenti in letteratura e in coerenza con altri studi idraulici e progetti approvati su corsi d'acqua limitrofi. I coefficienti impiegati sono coerenti per condizioni di manutenzione ordinaria (in quanto situazioni di manutenzione carente non sono prevedibili). Infine è stato modellato il ponte più volte citato (come elemento “bridge”), secondo un rilievo di dettaglio.

L'ubicazione delle sezioni è rappresentata nell'immagine successiva.



*Figura 2.1 – Planimetria delle sezioni del modello idraulico*

Per quanto riguarda le portate, in accordo con le indicazioni dei paragrafi precedenti, si simula il deflusso del picco di piena duecentennale calcolato secondo le indicazioni dei parametri della Regione Toscana 2014 così come valutato nella relazione idraulica consegnata al Genio Civile che non ha avanzato osservazioni al riguardo.

In merito alle condizioni al contorno, sia per le situazioni di monte che per quella di valle, non essendo presenti particolari singolarità idrauliche, si ritiene corretto adottare la condizione di moto uniforme (con la definizione della sola pendenza di fondo pari al 3%, cautelativamente inferiore rispetto a quella effettiva riscontrata sul modello digitale del terreno estratto dal rilievo LIDAR).

### 2.3 Risultati dell'analisi idraulica sul corso d'acqua

I risultati dello studio condotto si possono esaminare nell'allegato idraulico riportato in calce alla presente relazione. In generale, sono da ritenersi insufficienti quelle sezioni per le quali i livelli liquidi sono tali da non permettere il deflusso all'interno degli argini o del livello piano di campagna per le sezioni incassate. Per la lettura del profilo longitudinale fornito da HEC-RAS si tenga presente che:

- La linea nera continua rappresenta il fondo del corso d'acqua;
- Le linee colorate continue rappresentano i profili liquidi al passaggio del colmo della piena simulata;
- Le linee a tratto indicano le sommità dei rilevati arginali posti in destra e sinistra idrografica (che il codice di calcolo indica con "LOB" e "ROB", acronimi che stanno per le

locuzioni anglosassoni Left Over Bank e Right Over Bank). Le quote di questi elementi sono state definite al momento dell'implementazione delle sezioni.

I risultati mostrano quanto segue:

- Le pendenze di fondo risultano considerevoli e si aggirano mediamente ai quattro punti percentuali, favorendo deflussi con velocità consistenti limitando i battenti liquidi;
- L'alveo del torrente Mar dei Carpisi, risulta ovunque capace di contenere la piena di calcolo con ampio margine, anche in corrispondenza dell'attraversamento oggetto della presente valutazione;
- L'opera d'arte modellata non provoca neanche rigurgiti tali da influenzare l'area in esame.

In sostanza il modello ha palesato la sostanziale capacità del corso d'acqua e dell'attraversamento in relazione alla piena modellata nel tratto in esame.

Nella figura successiva si riporta un estratto del profilo della piena modellata.

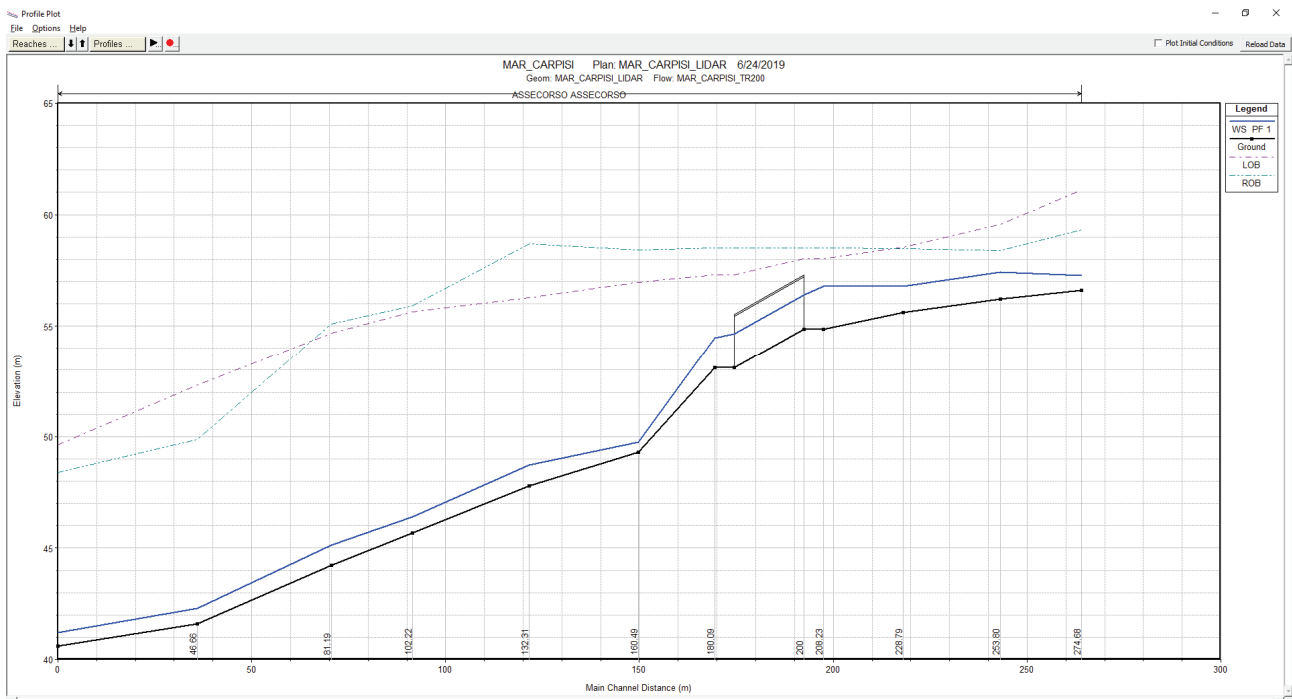


Figura 2.2 – Profilo longitudinale della piena trentennale sul fosso Castiglione nella zona in esame.

Di seguito si riporta la sezione del corso d'acqua in corrispondenza dell'attraversamento: si nota l'adequatezza della sezione rilevata.

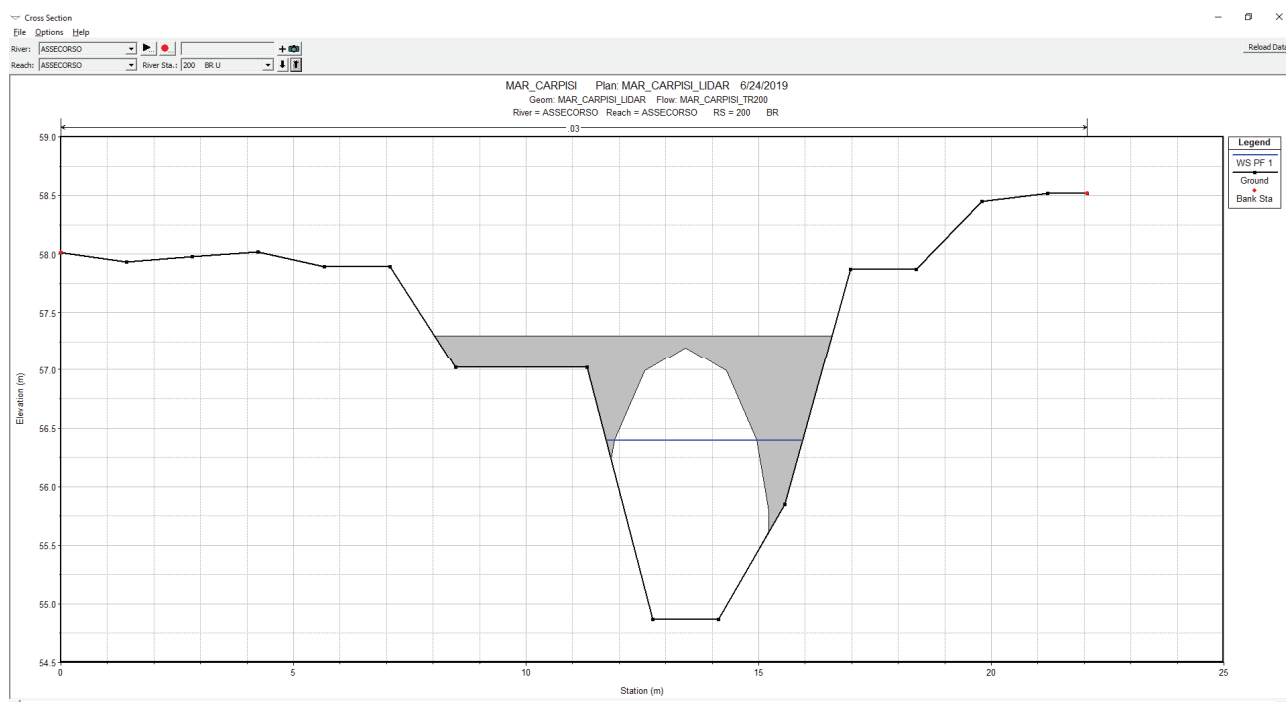


Figura 2.3 – Sezione dell'attraversamento in esame

### 3 DIMENSIONAMENTO OPERE DI PRESIDIO DELLA STRADA A MONTE DELL'IMPIANTO

#### 3.1 Generalità

Per quanto riguarda il dimensionamento delle opere di presidio a monte della strada, i paragrafi che seguono contengono i calcoli idrologici ed idraulici per la progettazione di tali opere.

Il tracciato delle opere di smaltimento è stato determinato in base alla pendenza delle linee di scolo ed ai ricettori finali. In particolare, poiché la strada a monte dell'impianto presenta una contropendenza a metà del suo tracciato, sono stati individuati due ricettori finali:

- Il primo è un impluvio non appartenente al reticolo di gestione posto ad ovest rispetto all'area in esame: esso raccoglierà il contributo di una canaletta da realizzare in fregio alla strada, che poi sarà collegata all'impluvio attraverso una chiavica passante al di sotto della strada stessa e una canaletta interna allo stabilimento adiacente ad una viabilità esistente.
- Il secondo è un pozzetto collegato ad una condotta circolare di diametro Ø1000 posto nella parte nord est dell'impianto. Esso raccoglie le acque della parte est della strada e le convoglia, tramite la suddetta condotta, direttamente presso il fosso Mar dei Carpisi



Figura 3.1 – Schema delle canalette da realizzare

L'approccio seguito per il dimensionamento è il medesimo per la verifica idraulica dell'attraversamento sul fosso "Mar dei Carpisi" e si articola nei punti successivi:

- Studio idrologico per la determinazione delle portate;
- Verifica idraulica delle sezioni ipotizzate per i tratti delle canalette da realizzare.

### 3.2 Studio idrologico per la determinazione delle portate

#### 3.2.1 Pluviometria

Il regime pluviometrico relativo ad una certa parte di territorio si determina attraverso l'analisi statistica dei dati di pioggia registrati dalle stazioni meteorologiche presenti sul territorio: al termine di questo processo si determinano le cosiddette "Curve di Possibilità Pluviometrica" (CPP), che, in funzione del tempo di ritorno, permettono di quantificare l'altezza di pioggia corrispondente ad un fenomeno avente una certa durata. La forma classica con cui sono espresse le curve di possibilità pluviometrica è la seguente:

$$h = \psi \cdot a \cdot t^n$$

dove

- $h$  è l'altezza di pioggia in mm;
- $t$  è la durata della precipitazione in ore;
- $\psi$  è il coefficiente di ragguaglio;
- $a$  ed  $n$  sono coefficienti stabiliti dall'analisi delle serie statistiche.

Nel caso di specie si riprende la curva di possibilità pluviometrica determinata nell'ambito dello studio idraulico a supporto dell'AUA, a sua volta desunta dallo "Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme" (Enrica Caporali, Valentina Chiarello, Giuseppe Rossi) prodotto nell'ambito dell'Accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e ambientale dell'Università degli Studi di Firenze per attività di ricerca per la mitigazione del rischio idraulico nella Regione Toscana (Marzo 2014).

Nella fattispecie, la Curva di possibilità pluviometrica è l'involuppo delle curve aventi i coefficienti di seguito riportati, desumibile dal grafico di Figura 3.3.

| <b>Tempo di ritorno 200 anni</b> |          |          |
|----------------------------------|----------|----------|
|                                  | <b>a</b> | <b>n</b> |
| <b>Curva 1</b>                   | 75.374   | 0.33513  |
| <b>Curva 2</b>                   | 75.895   | 0.33399  |
| <b>Curva 3</b>                   | 75.991   | 0.33324  |
| <b>Curva 4</b>                   | 76.055   | 0.32992  |

Figura 3.2 – Equazioni delle curve di possibilità pluviometrica relativi al bacino del Mar dei Carpisi

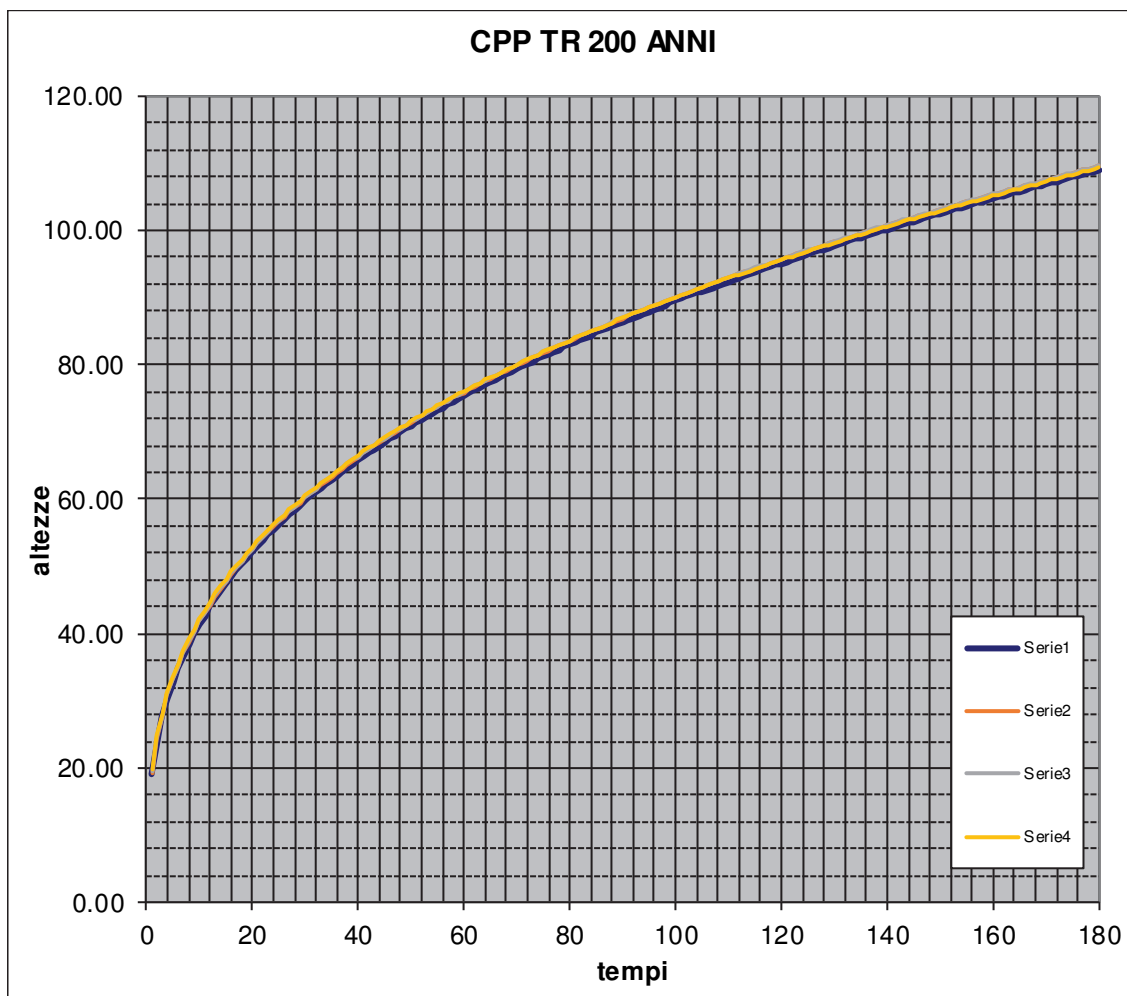


Figura 3.3 – Grafici delle curve di possibilità pluviometrica inviluppate

### 3.2.2 Individuazione dei bacini imbriferi

Nell'ambito di aree naturali, la linea spartiacque segue l'andamento delle linee di cresta del suolo, mentre le aste dei corsi d'acqua si sviluppano lungo le linee di compluvio. In base a queste considerazioni, fissata una certa sezione di chiusura, è possibile delimitare il bacino ad essa afferente. Nella presente analisi, inoltre, si suppone trascurabile il contributo delle acque sotterranee (intendendo con questo termine quelle che scorrono, non canalizzate, al di sotto del livello del terreno), il cui effetto durante le piene non è assolutamente paragonabile a quello prodotto dal deflusso superficiale.

Nel caso delle fossette sopra individuate, i bacini risultano determinabili secondo il modello tridimensionale di seguito riportato, costruito sulla base del rilievo LIDAR della Regione Toscana. Trattasi di bacini estremamente poco estesi: già prima di procedere con le valutazioni analitiche di dettaglio si può affermare che le portate raccolte sono di modesta entità.

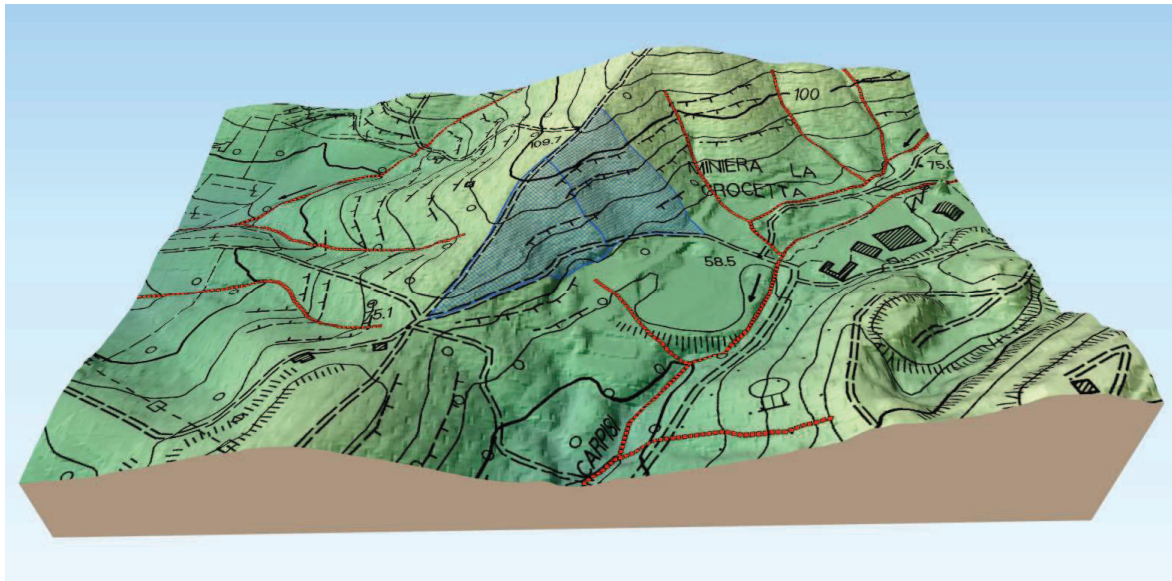


Figura 3.4 – Restituzione grafica del DTM ricavato dal LIDAR messo a disposizione dall'Ufficio Cartografico della Regione Toscana

### 3.2.3 Parametrizzazione geomorfologica dei bacini

La parametrizzazione dei bacini si è posta come obiettivo la determinazione delle seguenti grandezze:

- $A_b$  Area di bacino
- $L_{max}$  Lunghezza del percorso idraulico massimo
- $L_s$  Lunghezza del percorso idraulico significativo<sup>1</sup>
- $Q_{max}$  Quota del punto più alto
- $Q_{maxs}$  Quota del punto più alto significativo
- $Q_{min}$  Quota del punto più basso (nella sezione di chiusura)
- $Q_{med}$  Altezza media sulla sezione di chiusura, individuata tramite la curva ipsografica del sottobacino
- $i$  Pendenza media dell'asta principale (individuata sul percorso significativo)
- $i_v$  Pendenza media dei versanti (individuata attraverso la carta acclivometrica del bacino)
- CN Coefficiente CN
- $T_{cor}$  Tempi di corrivazione
- $T_{con}$  Tempo di concentrazione
- $T_{lag}$  Tempo di ritardo

<sup>1</sup> Per l'individuazione della pendenza dell'asta principale si fa riferimento al percorso idraulico massimo depurato di un tratto di estensione pari al 20 % da detrarre nella parte di monte, in quanto generalmente molto più acclive del resto del percorso. Il tratto individuato per la valutazione della pendenza e tutte le grandezze che ad esso si riferiscono vengono individuate come "significative"

- $I_L$  Perdite iniziali in percentuale, valutate con il metodo dell'SCS (vedasi paragrafo successivo)

Le grandezze morfologiche dei bacini (area di bacino, lunghezza dei percorsi, quote e conseguentemente la curva ipsografica da cui si ricava  $H_{med}$ , pendenze) sono determinate sulla base del rilievo LIDAR della Regione Toscana.

### 3.2.4 Parametro CN

Il coefficiente CN, che serve per la determinazione delle perdite di bacino e per la valutazione dei tempi di concentrazione, è invece determinato sulla base delle caratteristiche di litologia, uso del suolo e condizioni di umidità del terreno al momento dell'evento simulato. In generale il coefficiente CN indica l'attitudine al deflusso di una certa porzione di territorio: maggiore è il valore del coefficiente CN, maggiore è l'aliquota di pioggia che tende a trasformarsi in deflusso rispetto a quella che non partecipa alla formazione della piena per le cosiddette perdite di bacino (infiltrazione, intercezione, ecc.). La determinazione del CN è stata valutata in riferimento ad una cartografia pubblicata dalla Regione Toscana (vedasi la pubblicazione "Modellazione idrologica caso pilota. Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC Addendum: Parametrizzazione HMS" prodotto nell'ambito dell'accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria civile ambientale dell'Università degli studi di Firenze per attività di ricerca per la mitigazione del rischio idraulico nella Regione Toscana – Fabio Castelli – Novembre 2014).

Per quanto riguarda la permeabilità si distinguono quattro categorie (A, B, C e D) a permeabilità decrescente, come si evince dalla Tabella 3.1.

| Caratteristiche geomorfologiche e di permeabilità |  |
|---|--|
| Gruppo  | Caratteristiche  |
| <b>A</b>  | Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.  |
| <b>B</b>  | Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.                |
| <b>C</b>  | Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione. |
| <b>D</b>  | Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.                         |

Tabella 3.1 - Classificazione litologica dei suoli secondo il Soil Conservation Service

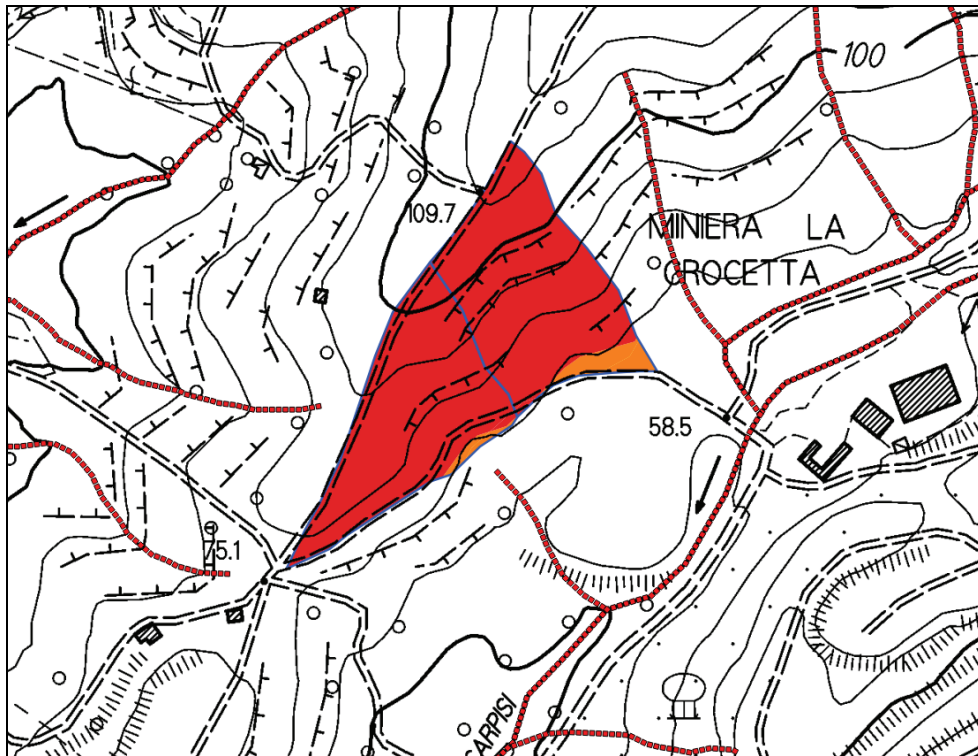


Figura 3.5 – Carta della permeabilità del territorio ritagliata sui bacini: in giallo le aree a permeabilità A, in arancio le aree a permeabilità B, in rosso la permeabilità C e in viola la classe D

La disposizione dei gruppi litologici presenti nel bacino è riportata nell'immagine precedente.

Allo stesso modo, la carta dell'uso del suolo è stata desunta dai dati della Regione Toscana. Si riscontra la presenza dei seguenti usi del suolo:

- Aree estrattive (codice Corine Land Cover 131);
- Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione (codice Corine Land Cover 324).

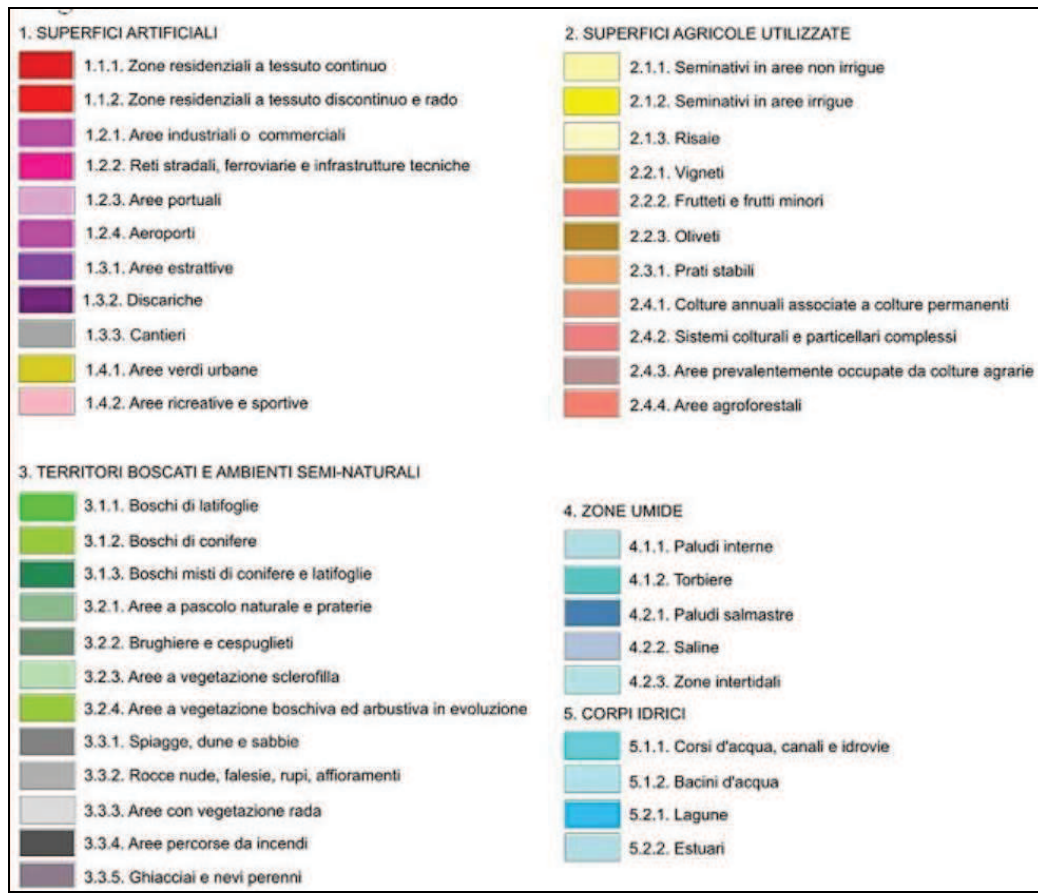
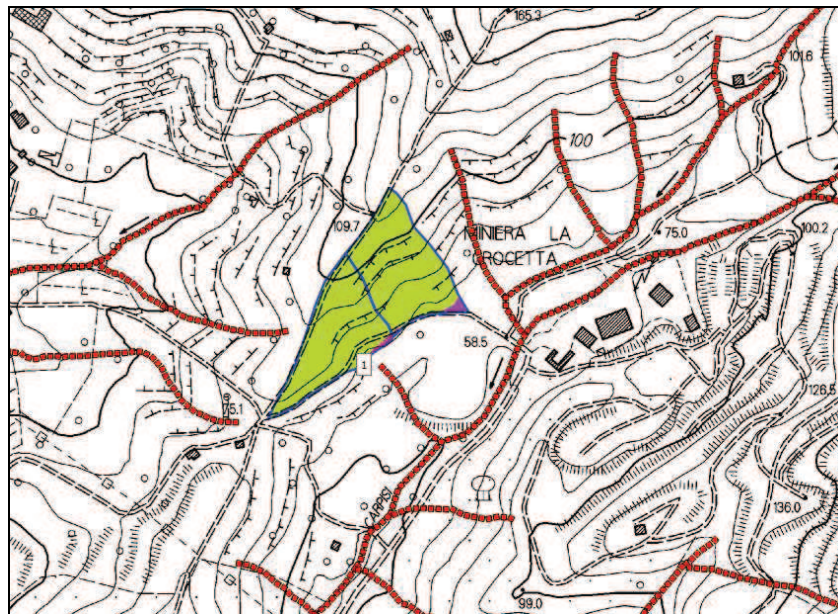


Figura 3.6 – Legenda della carta di uso del suolo



Il risultato dell'incrocio dei dati di uso del suolo e di permeabilità si concretizza nella carta del parametro CN, di cui si riporta un estratto nella figura successiva.

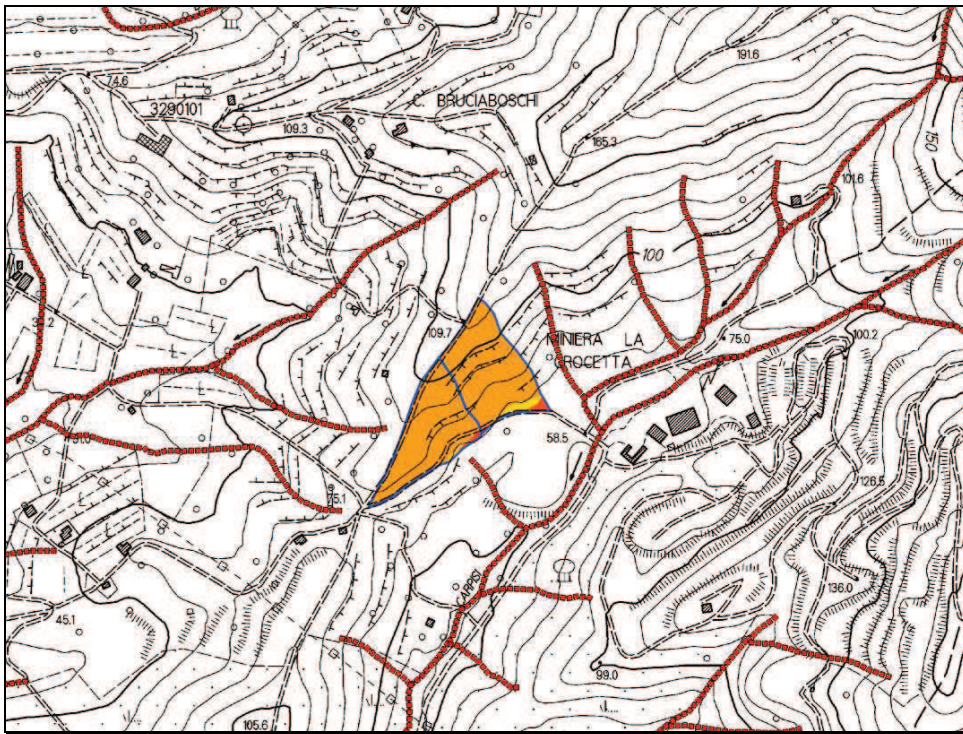


Figura 3.7 – Carta del CN. I colori rossi indicano un coefficiente CN più alto, i colori con tonalità verde sono associati a valori del CN più bassi

Il coefficiente CN dipende anche dalle condizioni di umidità del suolo ipotizzate, descritte dalla condizione AMC (Antecedent Moisture Condition): tale parametro considera la precipitazione caduta nei 5 giorni precedenti all'evento simulato e varia a seconda della stagione in cui si considera l'evento. I parametri AMC (riportati nella successiva tabella) sono rispettivamente AMC I, AMC II e AMC III e si riferiscono a imbibizioni del terreno crescenti. La carta precedente si riferisce al valore del CN in classe AMC II. Tuttavia, per le simulazioni idrologiche si ritiene prudentiale la simulazione della condizione **AMC III**.

| PARAMETRO AMC<br>ANTECEDENT MOISTURE CONDITION |                    |                      |
|--|--------------------|----------------------|
| CLASSE AMC                                     | STAGIONE DI RIPOSO | STAGIONE DI CRESCITA |
| I  | <12.7              | <35.5                |
| II   | 12.7 – 28.0        | 35.5 – 53.3          |
| III  | > 28.0             | > 53.3               |

Tabella 3.2– Coefficiente AMC in relazione all'altezza totale di pioggia (in mm) caduta nei 5 giorni precedenti

Il passaggio da un CN che si riferisce alla condizione AMC II (sinteticamente indicato con  $CN_{II}$ ) a un parametro  $CN_{III}$  avviene secondo la formula

$$CN_{III} = \frac{23 \cdot CN_{II}}{10 + 0.13 \cdot CN_{II}}$$

Poiché le caratteristiche di uso del suolo e di permeabilità dell'area sono disuniformi, le aree di ogni sottobacino sono state suddivise in modo da determinare zone del territorio con caratteristiche omogenee sia dal punto di vista dell'uso del suolo che per quanto riguarda la permeabilità. In seguito, avendo determinato

per ogni zona il valore del coefficiente CN, è stata effettuata una media pesata sulla superficie globale del sottobacino, fino a determinare il valore del CN medio, attraverso la relazione:

$$CN_{med} = \frac{\sum_i CN_i \cdot A_i}{\sum_i A_i}$$

### 3.2.5 Parametri tempo

Per quanto riguarda infine i parametri “tempi” associati ai sottobacini analizzati, come riportato all'interno dell'allegato idrologico, sono stati valutati in diversi modi e in particolare con riferimento alle formule di Tournon e dell'SCS. Le formule di Tournon e dell'SCS hanno le seguenti equazioni:

$$\bullet \quad t_c = 0.396 \cdot \frac{L}{\sqrt{S}} \left[ \frac{A_b}{L^2} \cdot \sqrt{S / S_v} \right]^{0.72} \quad \text{Tempo di corrivazione secondo Tournon}$$

in cui

- a. L è la lunghezza dell'asta principale in km
- b. S è la pendenza media dell'alveo
- c. A<sub>b</sub> è l'area del bacino in km<sup>2</sup>
- d. S<sub>v</sub> è la pendenza media dei versanti

$$\bullet \quad t_c = \frac{100 \cdot L^{0.8} \cdot [(1000 / CN) - 9]^{0.7}}{1900 \cdot S^{0.5}} \quad \text{Tempo di concentrazione secondo l'SCS}$$

dove:

- a. t<sub>c</sub> è il tempo di concentrazione in ore;
- b. L la lunghezza dell'asta massima espressa in ft (piedi);
- c. CN è il valore del coefficiente CN per quel bacino;
- d. S è la pendenza media del bacino espressa in % (dal termine inglese “Slope”)

Ora, nel caso di specie, l'applicazione delle formule sopra riportate indurrebbe valutazioni del tempo di concentrazione inferiore ai 10 minuti. Ciò non si concilia né con fenomeni meteorici effettivi né con la letteratura tecnica di settore se si pensa che i tempi di accesso ad una rete di fognatura sono almeno di 10 minuti: tali anomalie sono da attribuire al formato dei bacini, troppo ridotte rispetto alla casistica per la quale sono state determinate le equazioni sopra indicate. Pertanto, a favore di sicurezza, si ritiene opportuno stimare il tempo di concentrazione pari a 10 minuti.

Si noti che il tempo di concentrazione coincide con il tempo di corrivazione. Nel caso di idrogramma unitario valutato con il metodo del CN, il tempo di ritardo ha valore pari a 0.6 T<sub>c</sub>.

### 3.2.6 Parametro perdite iniziali

Infine, è stato determinato il parametro delle “perdite iniziali di bacino”, con riferimento al metodo dell'SCS. Questa teoria permette la quantificazione dell'entità di acqua che, infiltrandosi, non partecipa alla formazione della piena. Tale volume liquido, che si può indicare come “perdita” si suddivide in due aliquote:

- Perdite iniziali: il modello adottato suppone che le prime acque di pioggia imbibiscano il terreno e si infiltrino in esso senza partecipare al deflusso

- Perdite successive: superato il principio dello scroscio, il volume liquido eccedente le perdite iniziali in parte si infiltra nel terreno, in parte defluisce attraverso la rete idrica del bacino, generando le onde di piena

Per la quantificazione della pioggia netta o efficace, si fa riferimento alla seguente formula, sempre suggerita dal Soil Conservation Service:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

dove:

- $P_e$  è la pioggia efficiente (o netta) misurata in mm;
- $P$  è la pioggia totale misurata in mm;
- $S = 25.4 \cdot (1000 / CN - 10)$  è l'assorbimento potenziale massimo, misurato in mm;
- $I_L$  è l'assorbimento iniziale, misurato anch'esso in mm.

L'assorbimento iniziale  $I_L$  è stato assunto pari a  $0.2 S$  per tutti i sottobacini, in modo più precauzionale rispetto a quanto suggerito letteratura tecnica<sup>2</sup>;  $S$  è l'assorbimento potenziale massimo sopra menzionato.

### 3.2.7 Modellazione idrologica del bacino

La modellazione idrologica vera e propria consiste nella trasformazione degli afflussi meteorici, quantificati secondo le indicazioni precedenti, in deflussi, ovvero in portate nelle varie sezioni di chiusura dei sottobacini del sistema. Il processo descritto avviene attraverso modelli matematici, per l'appunto chiamati "trasformazione afflussi- deflussi", basati su algoritmi di calcolo che utilizzano i parametri geomorfologici dei bacini in precedenza definiti. Tali modelli matematici, ampiamente trattati in letteratura, prendono spunto dalla definizione di idrogrammi unitari, ovvero idrogrammi prodotti da una pioggia netta unitaria di durata 1 minuto.

Nel presente studio, i bacini competenti alle due canalette analizzate sono stati modellati attraverso i suoi sottobacini secondo l'idrogramma unitario dell'SCS. Tale idrogramma unitario è ampiamente descritto in letteratura: è un'idrogramma unitario standard basato sui seguenti parametri geomorfologici:

- Area del bacino
- Curve Number
- Tempo di ritardo, calcolato a partire dal tempo di corrivazione

I calcoli idrologici veri e propri sono stati sviluppati con il codice di calcolo HEC HMS 3.5 fornito da

*U.S. Army Corps of Engineers. Institute*

*For Water Resources. Hydrologic Engineering Center*

*609 Second Street - Davis, CA 95616-4620*

La modellazione avviene secondo lo schema di seguito riportato:

- Determinazione dello ietogramma delle piogge totali per diverse durate di pioggia con tempo di ritorno

<sup>2</sup> cfr. V.T. Chaw - D.R. Maidment - L.W. Mays, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill International Edition, 1988. In letteratura si consiglia di limitare le perdite iniziali tra 0.1 e 0.4S.

a partire dalle curve di possibilità pluviometrica. Immissione in HMS dei valori ottenuti per le precipitazioni (precipitation gage);

- Schematizzazione del bacino mediante sottobacini elementari (Basin Model);
- Definizione del modello di infiltrazione, della legge di trasformazione afflussi – deflussi e del deflusso di base, mediante alcuni parametri geomorfologici (come estensione, CN, Lag time e  $I_L$ , ecc ecc), la cui determinazione è descritta ampiamente nei paragrafi precedenti;
- Immissione dei dati relativi al componente Meteorologic Model (interazione fra modello di bacino e modello meteorologico definito in funzione delle diverse durate degli eventi);
- Immissione dei dati relativi al componente Control Specifications (inizio e fine simulazione idrologica con fissato intervallo temporale di calcolo, che nello studio compiuto è stato posto pari ad 1 minuto)
- Determinazione delle onde di piena nelle sezioni in esame in funzione della durata dell'evento meteorologico.

Sono stati simulati gli eventi di pioggia ad intensità costante di durata variabile tra 10' e 2 h. Per ogni simulazione sono stati calcolati gli idrogrammi e in particolare i valori di picco degli idrogrammi; dal confronto di queste portate al colmo si può risalire alla portata massima per i tempi di ritorno analizzati.

I risultati dei modelli idrologici sono di seguito riportati

| TR 30 ANNI  | AREA  | 00:10 | 00:15 | 00:30 | 00:45 | 01:00 | 01:15 | 01:30 | 01:45 | 02:00 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| BACINO_01   | 0.012 | 0.171 | 0.187 | 0.172 | 0.147 | 0.126 | 0.111 | 0.101 | 0.093 | 0.085 |
| BACINO_02   | 0.014 | 0.196 | 0.216 | 0.199 | 0.17  | 0.146 | 0.129 | 0.118 | 0.108 | 0.099 |
|             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| TR 200 ANNI | AREA  | 00:10 | 00:15 | 00:30 | 00:45 | 01:00 | 01:15 | 01:30 | 01:45 | 02:00 |
| BACINO_01   | 0.012 | 0.266 | 0.294 | 0.27  | 0.231 | 0.201 | 0.178 | 0.162 | 0.148 | 0.138 |
| BACINO_02   | 0.014 | 0.306 | 0.34  | 0.313 | 0.269 | 0.234 | 0.207 | 0.189 | 0.172 | 0.161 |

Figura 3.8 – Risultati delle simulazioni idrologiche sulle fossette analizzate (in  $m^3/s$ ). Il bacino 1 è il bacino ovest, il bacino 2 è il bacino est

Come ci si attendeva si tratta di portate estremamente modeste.

### 3.3 Verifica idraulica delle canalette

Le sezioni delle canalette sono state valutate a moto uniforme con la formula di Gauckler Strickler, prudenzialmente in relazione al tratto con minor pendenza. Il rilievo dell'area ove si prevede la realizzazione delle canalette è stato svolto da GeoLaser 3D di Roberto Nesti e Sauro Salvadori nel Maggio 2019. Le verifiche sono state prudenzialmente effettuate in riferimento all'evento duecentennale.

La formula di Gauckler Strickler ha la seguente espressione:

$$Q = K \cdot i^{1/2} \cdot A \cdot R^{2/3}$$

dove i termini hanno il seguente significato:

- K è il coefficiente di scabrezza, che per il deflusso dell'acqua in tubazioni in calcestruzzo è, da letteratura, pari a  $70 m^{1/3}/s$
- i è la pendenza di fondo dell'area in oggetto nel tratto di minor pendenza (stimata intorno all'1%)
- A è l'area liquida

- R è il raggio idraulico, pari al rapporto fra l'area bagnata ed il contorno bagnato

Sulla base della formula sopra riportata si ottiene quanto riportato nelle tabelle successive che si riferiscono rispettivamente ai tratti a cielo aperto e i tratti tombati della canaletta ovest e ai tratti a cielo aperto e i tratti tombati della canaletta est. Per i tratti a cielo aperto è stata scelta una sezione rettangolare 40x40, mentre i tratti tombati hanno sezione circolare Ø500.

|  |       |                     |  |  |  |  |  |
|--|-------|---------------------|--|--|--|--|--|
| <u>Caratteristiche geometriche</u>   |       |                     |  |  |  |  |  |
| b  | 0.40  | [m]                 | Larghezza fondo alveo                    |  |  |  |  |
| z <sub>1</sub>   | 0.00  |                     | Scarpa primo argine                      |  |  |  |  |
| z <sub>2</sub>   | 0.00  |                     | Scarpa secondo argine                    |  |  |  |  |
| h <sub>max</sub>   | 0.40  | [m]                 | Altezza massima                          |  |  |  |  |
| <u>Caratteristiche geomorfologiche</u>                                     |       |                     |  |  |  |  |  |
| K  | 85    |                     | Coefficiente di Gauckler Strickler       |  |  |  |  |
| n  | 0.012 |                     | Coefficiente di Manning                  |  |  |  |  |
| i  | 0.010 |                     | Pendenza                                 |  |  |  |  |
| <u>Caratteristiche geometriche della sezione in funzione della portata</u> |       |                     |  |  |  |  |  |
| Q  | 0.29  | [m <sup>3</sup> /s] | Portata                                  |  |  |  |  |
| h  | 0.39  | [m]                 | Altezza del pelo libero di moto uniforme |  |  |  |  |
| V  | 1.90  | [m/s]               | Velocità della corrente                  |  |  |  |  |
| A  | 0.15  | [m <sup>2</sup> ]   | Area                                     |  |  |  |  |
| C  | 1.17  | [m]                 | Contorno bagnato                         |  |  |  |  |
| R  | 0.13  | [m]                 | Raggio idraulico                         |  |  |  |  |
| E  | 0.57  | [m]                 | Energia specifica                        |  |  |  |  |
| B <sub>s</sub>   | 0.40  | [m]                 | Larghezza in superficie                  |  |  |  |  |
| D  | 0.39  | [m]                 | Profondità idraulica                     |  |  |  |  |

Figura 3.9 – Verifica condotta ovest – Tratti a cielo aperto

|   |          |                     |  |  |  |  |  |  |  |
|---|----------|---------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Caratteristiche geometriche                 |          |                     |  |  |  |  |  |  |  |
| D   | 0.50     | [m]                 | Diametro della condotta                      |  |  |  |  |  |  |
| r   | 0.25     | [m]                 | Raggio della sezione                         |  |  |  |  |  |  |
| Caratteristiche morfologiche e di scabrezza |          |                     |  |  |  |  |  |  |  |
| K   | 85       |                     | Coefficiente di Gauckler Strickler           |  |  |  |  |  |  |
| n   | 0.012    |                     | Coefficiente di Manning                      |  |  |  |  |  |  |
| i   | 0.010    |                     | Pendenza                                     |  |  |  |  |  |  |
| Portata di calcolo                          |          |                     |  |  |  |  |  |  |  |
| Q   | 0.290000 | [m <sup>3</sup> /s] | Portata                                      |  |  |  |  |  |  |
| Q <sub>max</sub>                            | 0.449    | [m <sup>3</sup> /s] | Portata massima per la sezione prescelta     |  |  |  |  |  |  |
| Caratteristiche del deflusso                |          |                     |  |  |  |  |  |  |  |
| α   | 206.29   | [°]                 | Angolo al centro                             |  |  |  |  |  |  |
| α   | 3.60     | [rad]               | Angolo al centro                             |  |  |  |  |  |  |
| A   | 0.13     | [m <sup>2</sup> ]   | Area   |  |  |  |  |  |  |
| C   | 0.90     | [m]                 | Contorno bagnato                             |  |  |  |  |  |  |
| R   | 0.14     | [m]                 | Raggio idraulico                             |  |  |  |  |  |  |
| h   | 0.31     | [m]                 | Altezza                                      |  |  |  |  |  |  |
| %   | 61.37    |                     | Percentuale di riempimento                   |  |  |  |  |  |  |
| V   | 2.30     | [m/s]               | Velocità della corrente                      |  |  |  |  |  |  |
| Q   | 0.29     | [m <sup>3</sup> /s] | Portata di confronto                         |  |  |  |  |  |  |
| Q/Q <sub>p</sub>                            | 0.70     |                     | Rapporto Portata - portata a sezione piena   |  |  |  |  |  |  |
| V/V <sub>p</sub>                            | 1.08     |                     | Rapporto velocità - velocità a sezione piena |  |  |  |  |  |  |

Figura 3.10 - Verifica condotta ovest – Tratti tombato

|  |       |                     |  |  |  |  |  |
|--|-------|---------------------|--|--|--|--|--|
| <u>Caratteristiche geometriche</u>   |       |                     |  |  |  |  |  |
| b  | 0.40  | [m]                 | Larghezza fondo alveo                    |  |  |  |  |
| z <sub>1</sub>   | 0.00  |                     | Scarpa primo argine                      |  |  |  |  |
| z <sub>2</sub>   | 0.00  |                     | Scarpa secondo argine                    |  |  |  |  |
| h <sub>max</sub>   | 0.40  | [m]                 | Altezza massima                          |  |  |  |  |
| <u>Caratteristiche geomorfologiche</u>                                     |       |                     |  |  |  |  |  |
| K  | 85    |                     | Coefficiente di Gauckler Strickler       |  |  |  |  |
| n  | 0.012 |                     | Coefficiente di Manning                  |  |  |  |  |
| i  | 0.010 |                     | Pendenza                                 |  |  |  |  |
| <u>Caratteristiche geometriche della sezione in funzione della portata</u> |       |                     |  |  |  |  |  |
| Q  | 0.34  | [m <sup>3</sup> /s] | Portata                                  |  |  |  |  |
| h  | 0.39  | [m]                 | Altezza del pelo libero di moto uniforme |  |  |  |  |
| V  | 2.20  | [m/s]               | Velocità della corrente                  |  |  |  |  |
| A  | 0.15  | [m <sup>2</sup> ]   | Area                                     |  |  |  |  |
| C  | 1.17  | [m]                 | Contorno bagnato                         |  |  |  |  |
| R  | 0.13  | [m]                 | Raggio idraulico                         |  |  |  |  |
| E  | 0.63  | [m]                 | Energia specifica                        |  |  |  |  |
| B <sub>s</sub>   | 0.40  | [m]                 | Larghezza in superficie                  |  |  |  |  |
| D  | 0.39  | [m]                 | Profondità idraulica                     |  |  |  |  |

Figura 3.11 - Verifica condotta est – Tratti a cielo aperto

|   |          |                     |  |  |  |  |  |
|---|----------|---------------------|--|--|--|--|--|
| Caratteristiche geometriche                 |          |                     |  |  |  |  |  |
| D   | 0.50     | [m]                 | Diametro della condotta                  |  |  |  |  |
| r   | 0.25     | [m]                 | Raggio della sezione                     |  |  |  |  |
| Caratteristiche morfologiche e di scabrezza |          |                     |  |  |  |  |  |
| K   | 85       |                     | Coefficiente di Gauckler Strickler       |  |  |  |  |
| n   | 0.012    |                     | Coefficiente di Manning                  |  |  |  |  |
| i   | 0.010    |                     | Pendenza                                 |  |  |  |  |
| Portata di calcolo                          |          |                     |  |  |  |  |  |
| Q   | 0.340000 | [m <sup>3</sup> /s] | Portata                                  |  |  |  |  |
| Q <sub>max</sub>                            | 0.449    | [m <sup>3</sup> /s] | Portata massima per la sezione prescelta |  |  |  |  |
| Caratteristiche del deflusso                |          |                     |  |  |  |  |  |
| $\alpha$                                    | 223.59   | [°]                 | Angolo al centro                         |  |  |  |  |
| $\alpha$                                    | 3.90     | [rad]               | Angolo al centro                         |  |  |  |  |
| A   | 0.14     | [m <sup>2</sup> ]   | Area                                     |  |  |  |  |
| C   | 0.98     | [m]                 | Contorno bagnato                         |  |  |  |  |
| R   | 0.15     | [m]                 | Raggio idraulico                         |  |  |  |  |
| h   | 0.34     | [m]                 | Altezza                                  |  |  |  |  |
| %   | 68.56    |                     | Percentuale di riempimento               |  |  |  |  |
| V   | 2.37     | [m/s]               | Velocità della corrente                  |  |  |  |  |
| Q   | 0.34     | [m <sup>3</sup> /s] | Portata di confronto                     |  |  |  |  |

Figura 3.12 Verifica condotta est – Tratto tombato

Si fa presente che anche la condotta di dimensione Ø1000 che parte a valle della canaletta est, ed i successivi i tratti a cielo aperto dove si riduce la sezione alla metà, risultano idonei al contenimento della portata, in riferimento alle tabelle successive

|   |          |                     |  |  |  |  |  |
|---|----------|---------------------|--|--|--|--|--|
| Caratteristiche geometriche                 |          |                     |  |  |  |  |  |
| D   | 1.00     | [m]                 | Diametro della condotta                  |  |  |  |  |
| r   | 0.50     | [m]                 | Raggio della sezione                     |  |  |  |  |
| Caratteristiche morfologiche e di scabrezza |          |                     |  |  |  |  |  |
| K   | 85       |                     | Coefficiente di Gauckler Strickler       |  |  |  |  |
| n   | 0.012    |                     | Coefficiente di Manning                  |  |  |  |  |
| i   | 0.010    |                     | Pendenza                                 |  |  |  |  |
| Portata di calcolo                          |          |                     |  |  |  |  |  |
| Q   | 0.340000 | [m <sup>3</sup> /s] | Portata                                  |  |  |  |  |
| Q <sub>max</sub>                            | 2.850    | [m <sup>3</sup> /s] | Portata massima per la sezione prescelta |  |  |  |  |
| Caratteristiche del deflusso                |          |                     |  |  |  |  |  |
| $\alpha$                                    | 117.86   | [°]                 | Angolo al centro                         |  |  |  |  |
| $\alpha$                                    | 2.06     | [rad]               | Angolo al centro                         |  |  |  |  |
| A   | 0.15     | [m <sup>2</sup> ]   | Area                                     |  |  |  |  |
| C   | 1.03     | [m]                 | Contorno bagnato                         |  |  |  |  |
| R   | 0.14     | [m]                 | Raggio idraulico                         |  |  |  |  |
| h   | 0.24     | [m]                 | Altezza                                  |  |  |  |  |
| %   | 24.19    |                     | Percentuale di riempimento               |  |  |  |  |
| V   | 2.32     | [m/s]               | Velocità della corrente                  |  |  |  |  |
| Q   | 0.34     | [m <sup>3</sup> /s] | Portata di confronto                     |  |  |  |  |

Figura 3.13 – Tratto esistente (tabella valida sia per i tratti a cielo aperto che per i tratti tombati)

#### 4 CONCLUSIONI

All'interno della presente integrazione sono stati verificati i seguenti aspetti:

- E' stato approfondito lo studio idraulico dell'attraversamento attraverso un modello idraulico di maggiore dettaglio che ha confermato l'adeguatezza della geometria esistente
- E' stato effettuato un dimensionamento delle canalette di raccolta della strada a monte dell'impianto individuandone il tracciato e la sezione.

Per quanto riguarda la valutazione sulla salvaguardia della stabilità della sponda del Mar dei Carpi si rimanda alla relazione del geol. Carlo Dini.