

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

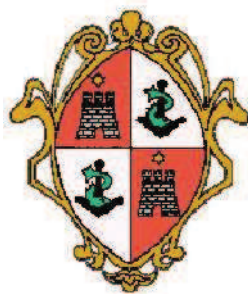
ESA S.p.A.

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:	<b>L.a</b>	Elaborazione:	Luglio 2019	Scala:	- : ---
Oggetto:	VALUTAZIONE IDRAULICA FOSSO CARPISI	Revisione:	01 Aprile 2020	Nome file:	
	relazione generale, idrogeologica e idraulica				



**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**

REL  
A

Relazione generale

Data emissione:  
Agosto 2018

CODICE  
ELABORATO

Anno	Commissa	Progetto	Tipologia	Elaborato n°
2018	056	D	REL	A

LIVELLO	Numero	Data	Stesura	Controllo	Approvazione
Prima emissione	01	23/08/2017	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 INQUADRAMENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Contesto geografico ed idraulico.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Quadro conoscitivo e quadro normativo in materia idraulica.....</b>	<b>4</b>
<b>2.3 Verifiche idrauliche.....</b>	<b>5</b>
<b>3 STUDIO IDROLOGICO PER LA STIMA DELLE PORTATE .....</b>	<b>6</b>
<b>3.1 Generalità .....</b>	<b>6</b>
<b>3.2 Pluviometria.....</b>	<b>6</b>
<b>3.3 Parametrizzazione idrologica del bacino.....</b>	<b>8</b>
<b>3.3.1 Determinazione del bacino e suddivisione in sottobacini .....</b>	<b>8</b>
<b>3.3.2 Parametrizzazione geomorfologica del bacino .....</b>	<b>9</b>
3.3.2.1 Parametri geo-morfologici .....	10
3.3.2.2 Parametro CN .....	10
3.3.2.3 Parametri tempo .....	14
3.3.2.4 Parametro perdite iniziali .....	14
<b>3.4 Modellazione idrologica del bacino .....</b>	<b>15</b>
<b>3.5 Confronto con le portate di riferimento.....</b>	<b>16</b>
<b>4 VERIFICA IDRAULICA DELLA SEZIONE DELL'ATTRAVERSAMENTO .....</b>	<b>17</b>
<b>4.1 Generalità .....</b>	<b>17</b>
<b>5 CONCLUSIONI.....</b>	<b>19</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 il presente "Studio idraulico a supporto dell'AIA sull'impianto ESA in loc. Buraccio nel Comune di Porto Azzurro (LI)". L'area dell'attività in esame 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 ove si sviluppa l'attività 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 registrano i seguenti aspetti meritevoli di approfondimenti di natura idraulica:

- 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 necessario sviluppare le verifiche idrauliche

Le considerazioni rispetto al primo aspetto saranno sviluppate dal Geol. Carlo Dini nell'ambito della sua relazione, mentre nell'ambito del presente studio sarà verificata l'idoneità dell'attraversamento sopra citato. Per raggiungere tale scopo, i passaggi svolti sono i seguenti:

- Determinazione delle portate duecentennali per il fosso Mar dei Carpisi secondo i parametri attualmente vigenti forniti dalla Regione Toscana;
- Verifica dell'attraversamento sul fosso Mar dei Carpisi.

Si fa presente che l'aggiornamento dell'AIA 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 del geol. Carlo Dini 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 INQUADRAMENTO

### 2.1 Contesto geografico ed idraulico

Il lotto in oggetto si trova nel Comune di Porto Azzurro, al confine con i Comuni di Capoliveri e Portoferraio, in una valle interna dell'Isola scarsamente urbanizzata raggiungibile da ponente e da mezzogiorno attraverso viabilità comunali che partono rispettivamente dalle località Valdana e Lido di Capoliveri. A livello idraulico, nella suddetta valle scorre il fosso Mar dei Carpisi, sottendendo un bacino che, all'altezza del lotto in esame, si estende per circa 1 kmq. Tale corso d'acqua ha un regime torrentizio tipico del contesto isolano in cui si trova: è contraddistinto infatti da pendenze di fondo piuttosto significative (alcuni punti percentuali), si trova in secca per periodi prolungati dell'anno ed è caratterizzato da deflussi liquidi soltanto in concomitanza dei fenomeni meteorici più intensi. Procedendo verso valle si trovano diverse opere d'arte (attraversamenti e muretti di sponda), legati all'interferenza tra il rio e il contesto vallivo urbanizzato: tuttavia, nella parte di monte, in cui si trova l'attività in esame, tali opere risultano piuttosto rade. Come detto in premessa, proprio in corrispondenza del piazzale ove sorge l'attività in esame è cartografato un corso d'acqua non riscontrabile nella realtà, caratterizzata da un diverso sistema di smaltimento delle acque meteoriche.



Figura 2.1 – Vista con indicazione del lotto in esame (cerchiato in rosso) e del reticolo idraulico

## 2.2 Quadro conoscitivo e quadro normativo in materia idraulica

Una prima ricognizione sui dati disponibili per il lotto in esame ha mostrato l'assenza di studi idraulici di dettaglio sul fosso Mar dei Carpisi, oggetto della presente relazione.

A livello normativo, le principali leggi sono le seguenti:

- **Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto dell'Appennino Settentrionale**, il quale ha raccolto i dati della pericolosità idraulica indicati all'interno del PAI del Bacino di Rilievo Regionale Toscana Costa e approvato con Consiglio Regionale n. 13 del 25 gennaio 2005;
- **Il Regolamento Regionale Toscano 53R/2011** - Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche
- **Legge regionale Toscana 21/2012** – Disposizioni urgenti in materia di difesa dal rischio idraulico e tutela dei corsi d'acqua. Tale legge sarà abrogata con l'entrata in vigore della **Legge Regionale 24 luglio 2018, n. 41** "Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione Sito esternodel decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla l.r. 80/2015 e alla l.r. 65/2014".

Le suddette normative citano i fenomeni duecentennali come quelli di riferimento per la definizione della pericolosità idraulica e per la valutazione dell'idoneità delle opere idraulica. Si ricorda che, per quanto riguarda la pericolosità idraulica, come riportato nel successivo estratto della carta di pericolosità del territorio del PGRA, il lotto in esame non sia interessato da fasce a pericolosità.

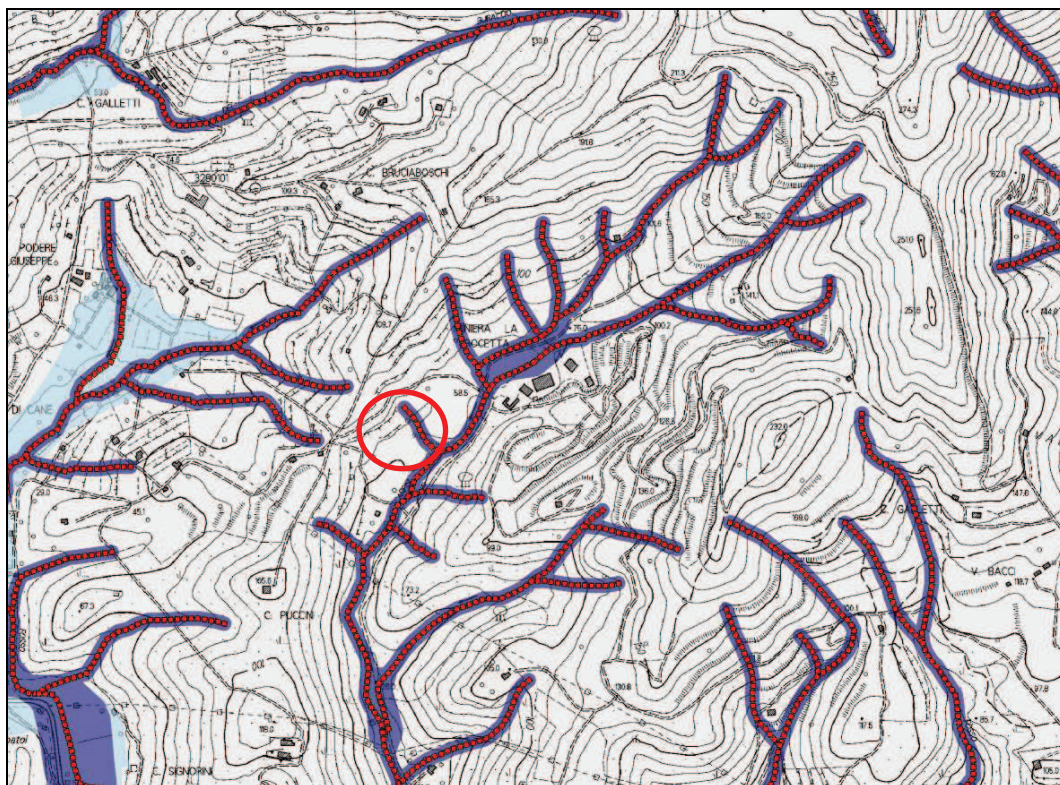


Figura 2.2 – Carta di pericolosità nella zona del lotto in esame

### 2.3 Verifiche idrauliche

Viste le considerazioni precedenti, il presente lavoro si propone di analizzare l'idoneità del ponticello di accesso all'area in esame sul fosso Mar dei Carpisi tenendo conto delle normative vigenti e del mutato quadro conoscitivo, secondo lo schema seguente:

- Studio idrologico per la determinazione delle portate duecentennali nel fosso Mar dei Carpisi;
- Verifiche idrauliche sull'attraversamento in esame.

Si sottolinea che questi le verifiche saranno svolte alla luce delle curve di possibilità climatiche introdotte dalla Regione Toscana nel 2014.

### 3 STUDIO IDROLOGICO PER LA STIMA DELLE PORTATE

#### 3.1 Generalità

La stima delle portate nelle aste del reticolo idraulico in oggetto per i tempi di ritorno definiti dalla normativa è la base delle successive verifiche idrauliche. Nel caso specifico il reticolo idraulico analizzato è costituito dal fosso Mar dei Carpisi.

Le valutazioni idrologiche sono condotte attraverso lo studio dei seguenti aspetti:

- **Determinazione del regime pluviometrico**, con definizione delle curve di possibilità pluviometrica aventi i tempi di ritorno indicati dalla normativa (paragrafo 3.2);
- **Caratterizzazione dei bacini attraverso i parametri idrologici** necessari alla modellazione idrologica vera e propria (paragrafo 3.3);
- **Simulazione dei fenomeni meteorici estremi** per i tempi di ritorno indicati dalla normativa, con determinazione della portata al colmo e degli idrogrammi di piena per i corsi d'acqua analizzati (paragrafo 3.4);
- **Confronto delle portate di picco con valori di riferimento** (ad esempio risultati forniti da altri studi o con valori di riferimento di letteratura o di normativa).

#### 3.2 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.

Si cita a proposito lo studio "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). Il risultato di tale studio è una carta a copertura regionale che individua un reticolo per ogni cella del quale si definiscono i parametri delle curve di possibilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno. Si analizzano dunque le celle intersecate dal bacino in esame e si mettono a confronto le curve di possibilità pluviometrica ad esse relative, per i tempi di ritorno di interesse tecnico: dal confronto delle curve si assume la curva involucro dei massimi di pioggia come riferimento per i successivi calcoli idraulici.

Di seguito si riportano i grafici delle CPP analizzate da cui si deduce la curva involucro utilizzata per il tempo di ritorno duecentennale.

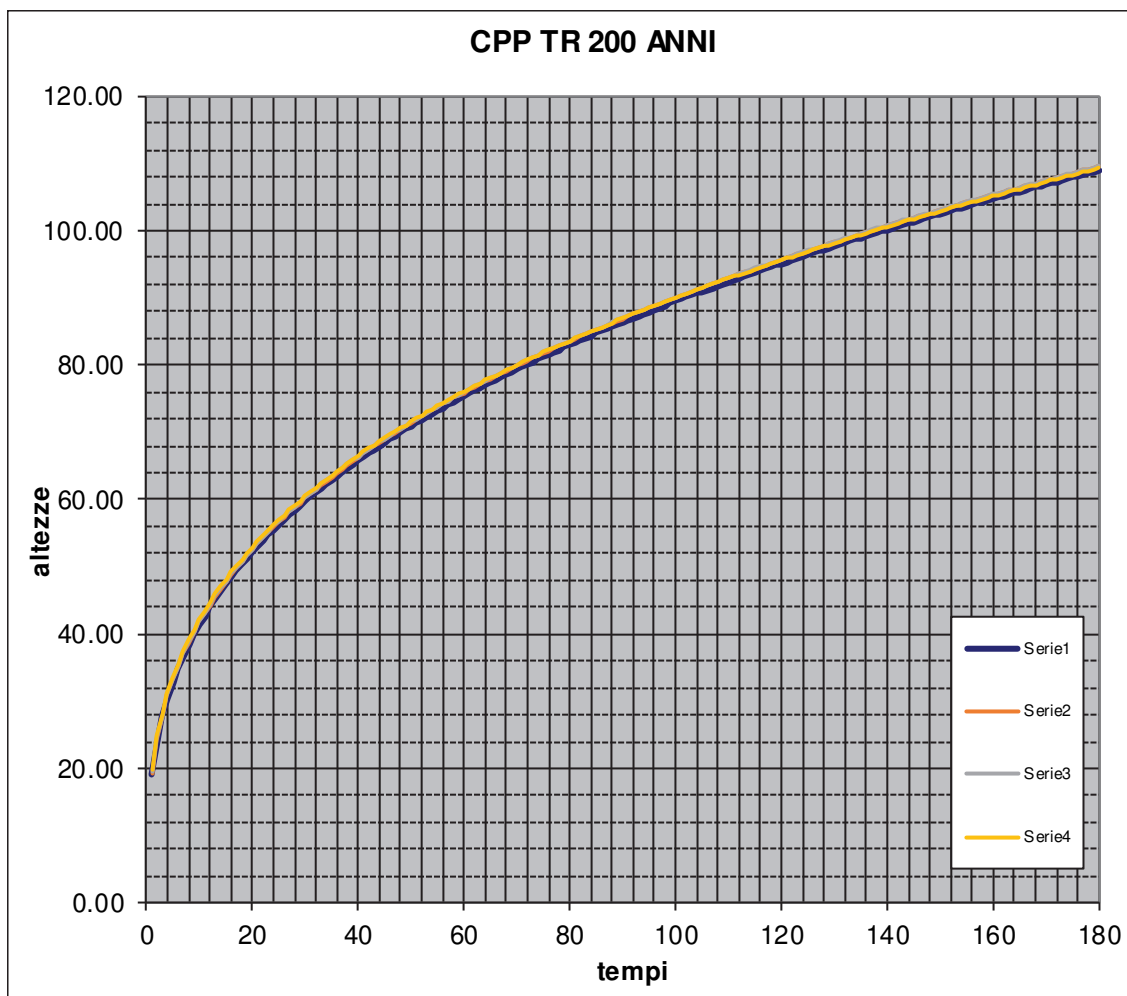


Figura 3.1 - - Curve di possibilità pluviometrica per il tempo di ritorno 200 anni

Tempo di ritorno 200 anni		
	a	n
Curva 1	75.374	0.33513
Curva 2	75.895	0.33399
Curva 3	75.991	0.33324
Curva 4	76.055	0.32992

Tabella 3.1 - Coefficienti delle curve di possibilità pluviometrica dello studio dell'Università di Firenze

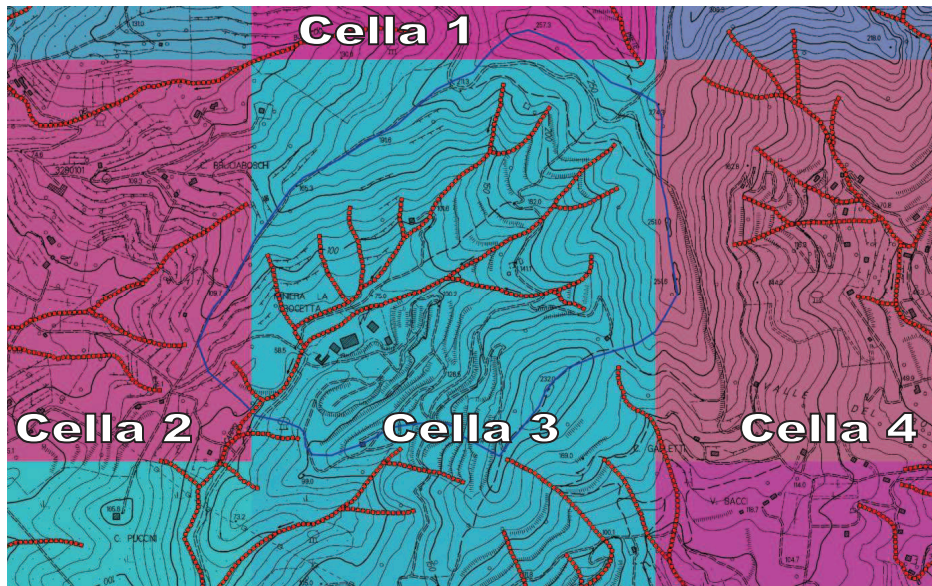


Figura 3.2 – Planimetria del bacino sovrapposta alla carta raster del modello delle piogge della Regione Toscana

In generale, per i problemi relativi alle costruzioni idrauliche occorre riferirsi a curve di possibilità pluviometrica valide per superfici di una certa estensione che sono desumibili da quelle sopra riportate mediante il coefficiente di ragguaglio all'area. Infatti, attraverso il prodotto del coefficiente di ragguaglio  $\psi$ , si ottiene una riduzione dei valori di pioggia, sopra stimati. Esistono varie metodologie per la valutazione del suddetto coefficiente: nel caso in esame il ragguaglio all'area produce una riduzione degli afflussi meteorici, rispetto alle CPP non depurate, di una percentuale compresa tra i 5 ed i 20 punti. A favore di sicurezza si impiega un coefficiente di ragguaglio pari all'unità, in modo da non depurare i valori di pioggia valutati senza l'applicazione del coefficiente stesso.

### 3.3 Parametrizzazione idrologica del bacino

L'individuazione del bacino e la parametrizzazione secondo le grandezze geo-morfologiche sono operazioni propedeutiche per le successive analisi idrologiche.

#### 3.3.1 Determinazione del bacino e suddivisione in sottobacini

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.

In ambito urbanizzato, invece, l'intervento antropico risulta decisivo sulla dinamica del deflusso delle acque meteoriche: la determinazione del sistema di canalizzazione delle acque risulta indispensabile per la determinazione delle aree scolanti pertinenti ad una certa sezione di interesse. Nel caso in esame, trattando di un contesto di urbanizzazione a carattere sparso, le opere antropiche influiscono molto limitatamente sul deflusso.

Nel caso del Fosso Mar dei Carpisi, l'individuazione delle aree scolanti del bacino, riportata all'interno dell'allegato idrologico ALL B – Allegato idrologico, è avvenuta sulla base del rilievo LIDAR della

Regione Toscana. La sezione di chiusura del bacino è stata individuata subito a monte rispetto all'area oggetto dell'intervento.

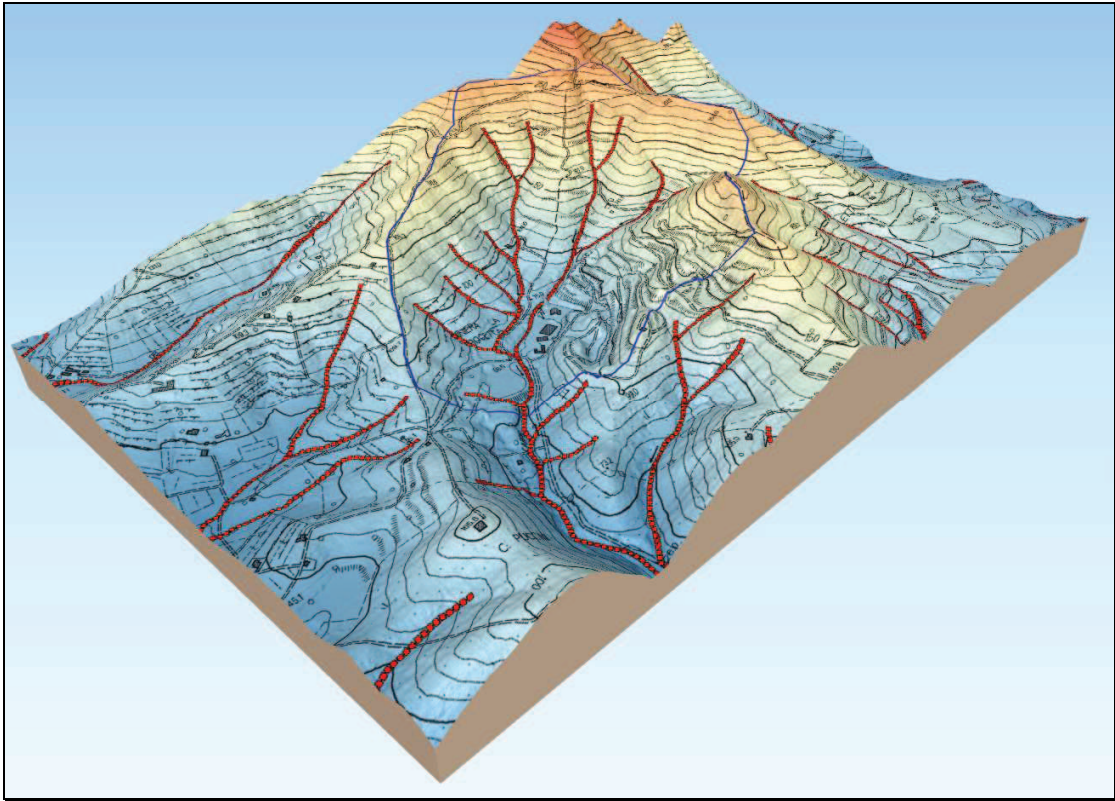


Figura 3.3 – Restituzione grafica del DTM ricavato dal LIDAR messo a disposizione dall'Ufficio Cartografico della Regione Toscana

### 3.3.2 Parametrizzazione geomorfologica del bacino

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)

<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"

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

#### 3.3.2.1 Parametri geo-morfologici

Le grandezze morfologiche del bacino (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.

#### 3.3.2.2 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 3.2.

Caratteristiche geomorfologiche e di permeabilità	
Gruppo	Caratteristiche
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
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.
C	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.
D	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 3.2 - Classificazione litologica dei suoli secondo il Soil Conservtion Service)

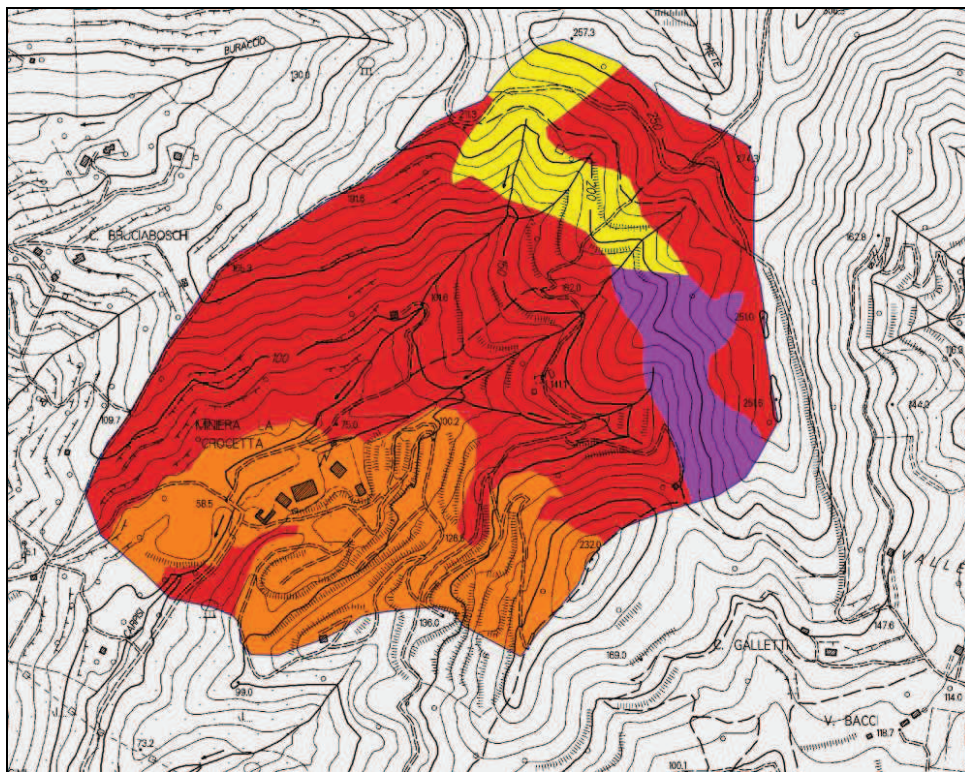


Figura 3.4 – Carta della permeabilità del territorio ritagliata sui bacini: in giallo le aree a permeabilità A, in arancio le aree a permeabilità B, in rosso la permeabilità C e in viola la classe D

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);
- Boschi misti di conifere e latifoglie (codice Corine Land Cover 313);
- Area a vegetazione sclerofilia (codice Corine Land Cover 323);

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

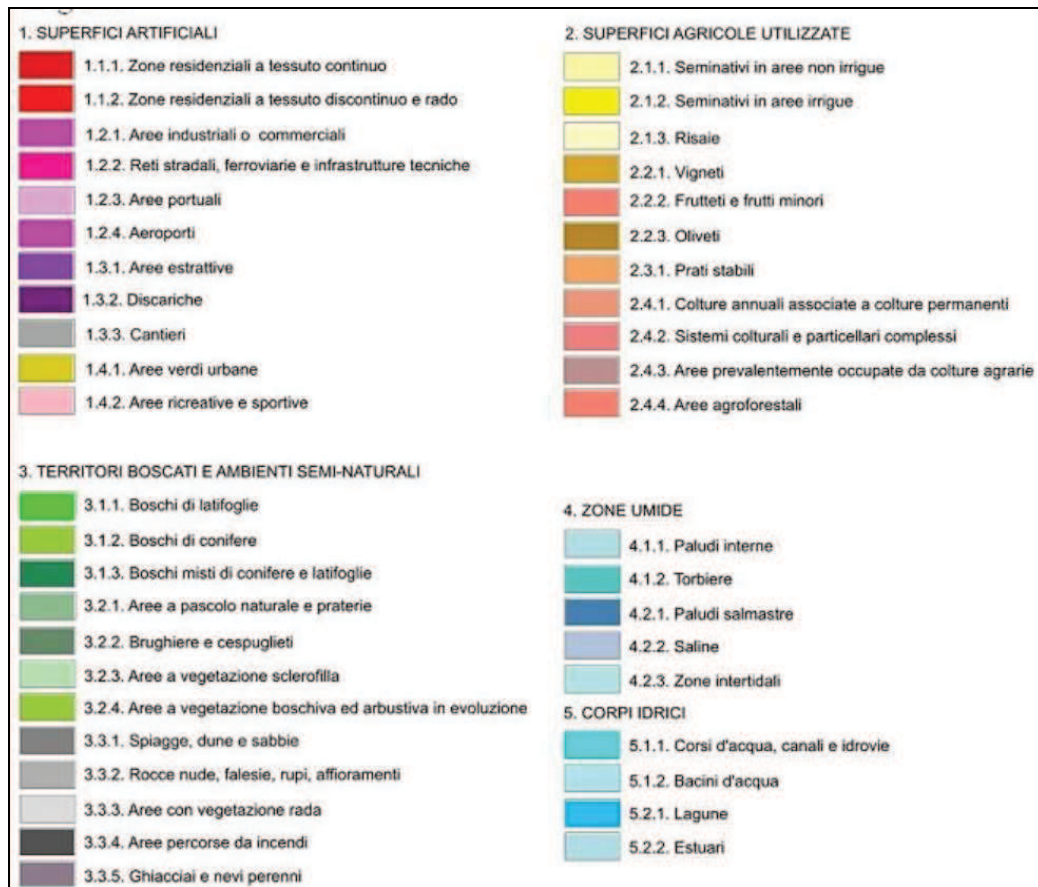


Figura 3.5 – Legenda della carta di uso del suolo

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.

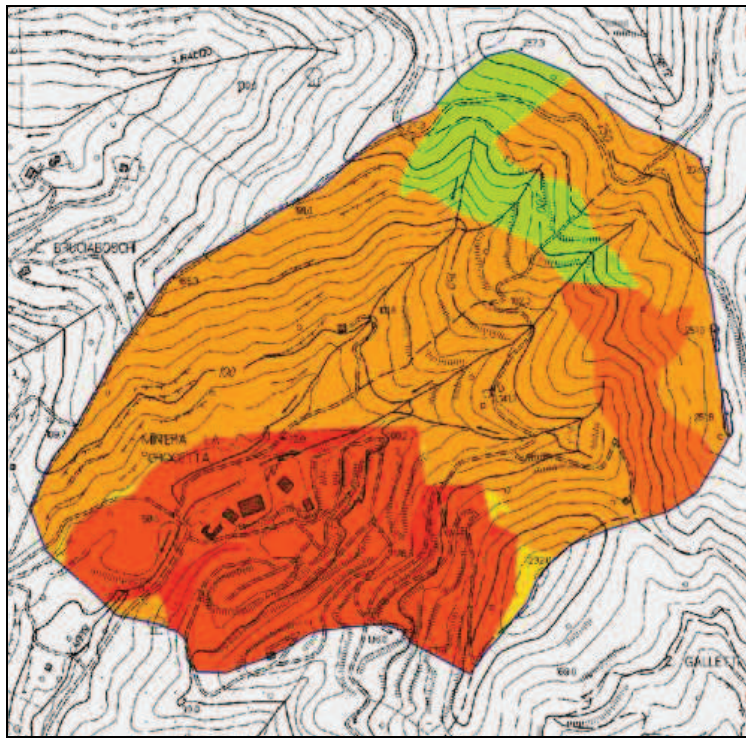


Figura 3.6 – Carta del CN. I colori rossi indicano un coefficiente CN più alto, i colori con tonalità verde sono associati a valori del CN più bassi

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 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 3.3– 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:

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

In allegato (ALL B) è riportata la tabella con esplicitazione della formula sopra riportata.

### 3.3.2.3 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. Si è scelto di utilizzare i tempi di corrivazione (che corrispondono ai tempi di concentrazione) stimati mediando i risultati della formula dell'SCS, che fornisce i tempi minori (tale scelta massimizza, precauzionalmente, la valutazione della portata). 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.  $A_b$  è l'area del bacino in km<sup>2</sup>
- d.  $S_v$  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.  $t_c$  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”)

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  $T_c$ .

### 3.3.2.4 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.

Le tabelle con i parametri idrologici di bacino sono riportate nell'allegato ALL B.

### 3.4 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, il bacino del fosso Mar dei Carpisi è stato modellato 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 a partire dalle curve di possibilità pluviometrica. Immissione in HMS dei valori ottenuti per le

<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.

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 Metereologic 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 0.25 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

	AREA	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	$Q_{max}$
<b>MAR DEI CARPISI</b>	0.807	12.40	14.67	14.06	12.89	11.69	10.79	9.89	9.26	<b>14.67</b>

Figura 3.7 – Risultati delle simulazioni idrologiche duecentennali del fosso Mar dei Carpisi (in  $m^3/s$ )

### 3.5 Confronto con le portate di riferimento

Un importante riferimento per la valutazione delle portate è stato fornito anche nell'ambito del PAI del Bacino di Rilievo Regionale Toscana Costa, nel documento "Piano degli interventi strutturali".

Ai fini del confronto, è opportuno far riferimento al coefficiente udometrico, che esprime il contributo alla formazione della portata per unità di superficie, anche perché la valutazione della portata nel caso di studio è fatto ad una portata intermedia del bacino. Di sotto si riporta il confronto tra le stime del PAI e quelle del presente studio.

Corso d'acqua	Valutazioni PAI			Valutazioni INGEO		
	Portata	Area PAI	u	Portata	Area	u
Mar dei Carpisi	26.65 $m^3/s$	2.64 $km^2$	10.09 $m^3/s km^2$	14.67 $m^3/s$	0.807 $km^2$	18.17 $m^3/s km^2$

Tabella 3.4 – Confronto tra la portata valutata nel PAI e la portata valutata nel presente studio

Dal confronto emerge come le stime effettuate all'interno del presente studio risultino superiori (e dunque cautelative) rispetto alle stime ufficiali e agli studi di dettaglio precedentemente realizzati sul bacino: ciò dipende dalla scelta prudenziale dei parametri assunti per le simulazioni (ad esempio l'assunzione di un'unica curva di possibilità pluviometrica pari all'involuppo delle curve disponibili per il bacino in esame). La valutazione riportata nel presente studio è superiore anche alla portata indicata nel PAI aumentata del 30 % secondo le consuetudini di calcolo applicate al tempo in cui vigeva il PAI.

## 4 VERIFICA IDRAULICA DELLA SEZIONE DELL'ATTRAVERSAMENTO

### 4.1 Generalità

La sezione del corso d'acqua è stata valutata a moto uniforme con la formula di Gauckler Strickler, anche in considerazione dell'impossibilità di procedere con il rilievo dei tratti a monte e a valle (a causa della vegetazione infestante) e dunque di realizzare un modello a moto permanente. Il rilievo dell'attraversamento è stato realizzato dal geol. Dini. Di seguito si riporta un'immagine dell'attraversamento, realizzato tramite una sezione tipo "Fracasso" in lamiera metallica ondulata. Si nota l'assenza di depositi o fenomeni di scalzamento, segno dell'equilibrio della struttura con le dinamiche evolutive del corso d'acqua.



Figura 4.1 – Immagine dell'attraversamento durante le operazioni di rilievo

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 acciaio è, da letteratura pari a  $60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  anche in presenza di incrostazioni
- i è la pendenza di fondo del tratto oggetto di analisi desunto da LIDAR (il LIDAR indicherebbe una pendenza del 6%; prudenzialmente viene utilizzata una pendenza del
- 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, avendo a che fare con una sezione difficilmente descrivibile attraverso un'equazione, è stata individuata la portata relativa al deflusso a sezione piena determinando le grandezze A ed R. Tale valore è stato poi confrontato con la portata duecentennale.

Si ottiene:

$$Q_P = 63.27 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{200} = 14.67 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_P \gg Q_{200}$$

Poiché la capacità  $Q_P$  della condotta è molto superiore rispetto a quella della portata in arrivo da monte si può concludere che l'attraversamento è in linea con le indicazioni normative vigenti e potrà essere costituita una pratica di autorizzazione e concessione in linea idraulica.

## 5 CONCLUSIONI

Poiché la capacità  $Q_P$  della condotta 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. Per quanto riguarda l'organizzazione del reticolo idraulico in corrispondenza del lotto in esame si rimanda alla relazione del geol. Dini.