



COMUNE DI PORTOFERRAIO
PROVINCIA DI LIVORNO

PEEP "AMBITO CASERME ALBERETO"
E IMPIANTI SPORTIVI "AMBITO BRICCHETTERIA"

STUDIO IDRAULICO

REL
IDR

Relazione idraulica

Data emissione:
Marzo 2021

CODICE
ELABORATO

Anno	Commessa	Progetto	Tipologia	Elaborato n°
2021	005	D	REL	IDR

LIVELLO

LIVELLO	Numero	Data	Stesura	Controllo	Approvazione
Prima stesura	01	08/03/2021	FM	CR	PB
Seconda Stesura	02	08/03/2021	FM	CR	PB

Progettazione

INGEO

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

Il progettista

ing. Paolo Barsotti

Il gruppo di lavoro

ing. Federico Morgantini

ing. Claudio Rossi

SOMMARIO

1. PREMESSA	2
2. INQUADRAMENTO.....	3
2.1 Inquadramento territoriale.....	3
2.2 Studi idraulici precedenti ed inquadramento normativo.....	4
3. STUDIO IDROLOGICO	7
3.1 Generalità	7
3.2 Pluviometria.....	7
3.3 Parametrizzazione idrologica del bacino.....	9
3.3.1 Determinazione del bacino e suddivisione in sottobacini	9
3.3.2 Parametrizzazione geomorfologica del bacino	10
3.4 Modellazione idrologica del bacino	14
3.5 Parametri cautelativi utilizzati nella modellazione idrologica.....	16
4. STUDIO IDRAULICO	17
4.1 Generalità	17
4.2 Descrizione del codice di calcolo e dei parametri della modellazione	17
4.3 Risultati dell'analisi idraulica sul corso d'acqua	18
4.4 Parametri cautelativi utilizzati nella modellazione idraulica monodimensionale.....	20
5. CONCLUSIONI.....	21

1. PREMESSA

A seguito dell'incarico ricevuto dal Comune di Portoferraio per lo studio "L. R. 65/2014 – D. P. G. R. n. 53/R/2011 – Controllo Obbligatorio delle Indagini geologiche di supporto alla Variante al Piano Strutturale e Regolamento Urbanistico – PEEP "Ambito Caserme Albereto" e impianti sportivi "Ambito Bricchetteria" – Deposito n. 399 del 27/11/2019 – Integrazioni Idrauliche", lo scrivente dott. Ing. Paolo Barsotti, iscritto all'ordine degli ingegneri della Provincia di Lucca con numero di iscrizione A959, redige la presente relazione idrologica idraulica.

Il presente elaborato è redatto ai sensi della Legge Regionale Toscana 65/2014 e del Regolamento Regionale 5R/2020.

Per la conduzione del presente studio lo scrivente si è avvalso della collaborazione del dott. Ing. Federico Morgantini. Gli elaborati di cui si compone lo studio idraulico, oltre alla presente relazione sono i seguenti:

- All 1 Allegato idrologico
- All 2 Allegato idraulico
- Tav 1 Planimetria delle sezioni

Si è posta particolare attenzione, oltre agli aspetti idrologici e idraulici "classici" ai seguenti aspetti, che sono stati oggetto di approfondimenti specifici:

1. Coefficienti di scabrezza dei canali analizzati;
2. Specificare le modalità di funzionamento di ponti e tombini (metodi e parametri);
3. Trasmissione completa degli output del modello;
4. Chiarimenti nei riguardi del refuso nell'allegato idrologico;
5. Chiarimenti sulla morfologia della zona d'interesse.

2. INQUADRAMENTO

2.1 Inquadramento territoriale

Il piano attuativo in oggetto riguarda un'area sita in località Concia di Terra, una frazione posta immediatamente ad ovest rispetto al nucleo principale dell'abitato di Portoferraio. Per quanto la zona sia urbanizzata, la densità abitativa è sicuramente minore rispetto al centro storico: accanto agli insediamenti umani e alla rete viaria si sviluppano contesti caratterizzati da campi coltivati e zone incolte.



Figura 2.1 – Ortofoto con indicazione dell'area in esame in relazione all'abitato di Portoferraio

La rete idraulica qui presente sottende un bacino globale di piccole dimensioni, posto a nord rispetto al fosso della Madonna. L'asta principale del sistema è il fosso della Concia, che scorre in un contesto collinare nella parte di monte e in un ambito decisamente più pianeggiante e urbanizzato nella parte di valle in cui si trovano significative interferenze con il tessuto edilizio (ponticelli e tombamenti, tra cui spicca quello avente lunghezza di qualche centinaio di metri prima dello sbocco a mare). Tra gli affluenti degni di nota si segnalano il fosso Val di Danari, che si immette nella parte bassa del bacino, drenando un piccolo versante posto in destra idraulica e il Botro della Vecchia, che si trova invece nella parte alta del bacino.

In generale, i corsi d'acqua del sistema, sottendendo bacini di dimensioni assai ridotte e in ragione delle significative pendenze di fondo, sono caratterizzate da ridotte larghezze di fondo (la sezione terminale dell'asta principale ha larghezza inferiore a 5 m) e sono perlopiù incassati.

L'area oggetto del piano attuativo si trova nella parte alta del reticolo, significativamente più a monte rispetto alla parte bassa più urbanizzata di cui in precedenza. A monte di esso si registrano degli attraversamenti sulla "Strada Provinciale per l'Enfola" che comunque non si configurano, almeno visivamente, come punti di riduzione della sezione di deflusso.

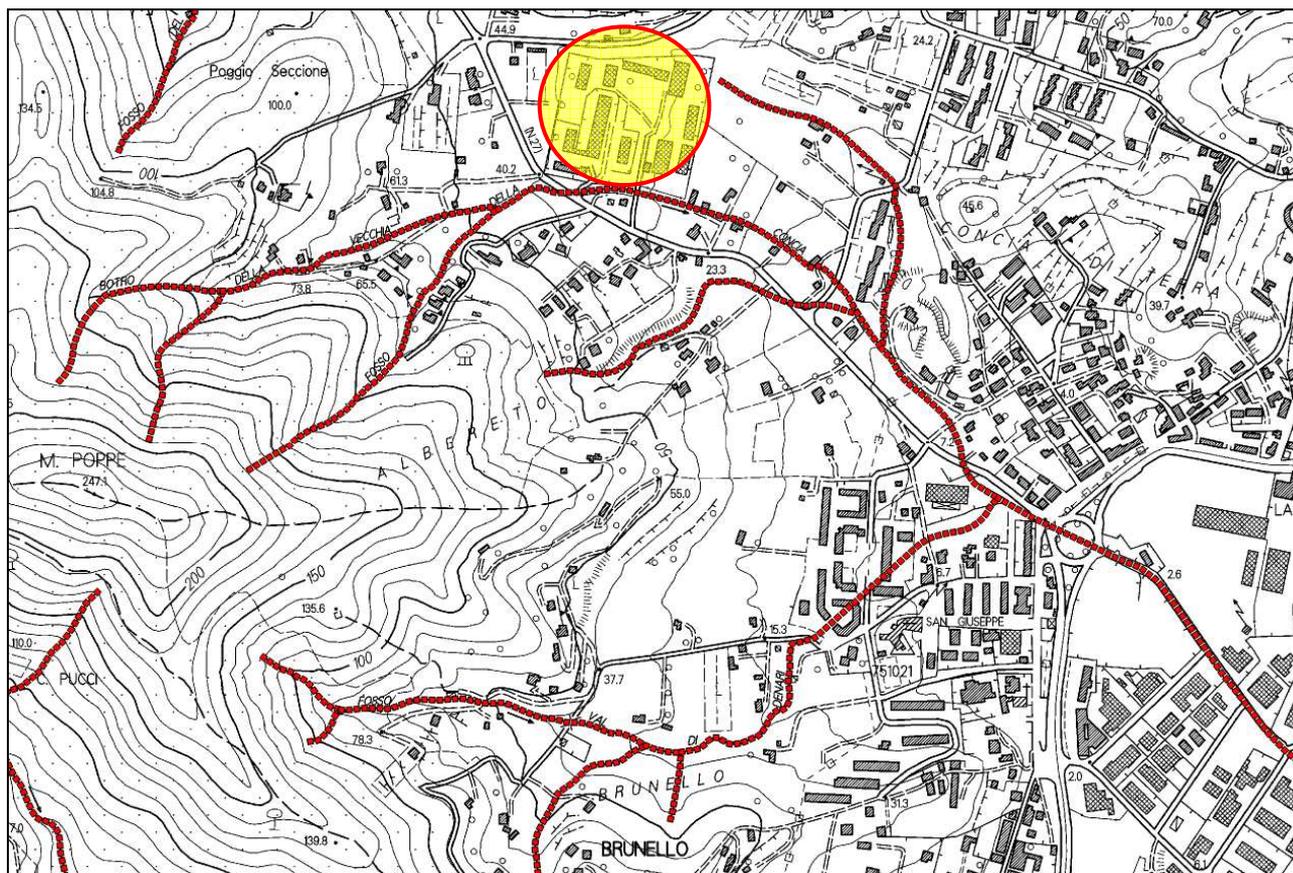


Figura 2.2 – Rappresentazione del reticolo idraulico in prossimità dell'area oggetto di studio

2.2 Studi idraulici precedenti ed inquadramento normativo

Il presente lavoro ha come scopo la valutazione della pericolosità idraulica dell'area in esame per la redazione del PEEP "Ambito Caserme Albereto" e impianti sportivi "Ambito Bricchetteria", così come definito dalla normativa vigente. I riferimenti normativamente più significativi sono:

- **Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni** (di seguito denominato PGRA), del Distretto di Bacino dell'Appennino Settentrionale approvato con Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri del 27/10/2016 e pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana del 4 febbraio 2017 – Serie Generale n. 29;
- **La legge regionale 41/2018** "Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del 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" che introduce i concetti di magnitudo idraulica. In questo documento vengono riprese le classi di pericolosità indicate all'interno del PGRA che sono di seguito indicate
 - a. pericolosità da alluvione elevata (P3), corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno minore/uguale a 30 anni;
 - b. pericolosità da alluvione media (P2), corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 30 anni e minore/uguale a 200 anni;

- c. pericolosità da alluvione bassa (P1) corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni e comunque corrispondenti al fondovalle alluvionale.
- **la Legge Regionale Toscana 65/2014**, che attualmente è il riferimento principale in ambito urbanistico.
 - **il regolamento relativo alle indagini a supporto degli strumenti urbanistici 5R/2020** recante il "Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche" e le relative Direttive Tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche – Allegato A della suddetta norma
 - **La legge Regionale 79/2012** che introduce il concetto di reticolo idrografico, a cui è stata data prima attuazione con la Deliberazione del Consiglio Regionale del 11 giugno 2013, n. 57 "Individuazione del reticolo idrografico e di gestione ai sensi dell'articolo 22, comma 1, lettera e), della legge regionale 27 dicembre 2012, n. 79". Attualmente è vigente il reticolo idrografico approvato con la DCR n. 28/2020.

La pericolosità idraulica legata al reticolo idraulico riportata nel vigente PGRA è stata tracciata mutuando i dati di pericolosità idraulica riportati nel PAI redatto dal Bacino Toscana Costa che a loro volta erano stati costruiti sulla base di eventi storici piuttosto in riferimento ad approfondimenti di natura modellistica. Inoltre, sul reticolo, limitatamente alla parte più a valle rispetto a quella oggetto del presente piano attuativo, fu condotto uno studio da parte dello scrivente tra gli anni 2009 e 2011 che indusse variazioni al quadro conoscitivo aumentando l'estensione delle aree classificate a pericolosità.

Il lotto in esame ricade in un'area a pericolosità P1 che corrisponde a zone alluvionabili con tempo di ritorno superiore a 200 anni per quanto sopra riportato. Il presente studio, tuttavia, mira ad approfondire la situazione nella parte di reticolo potenzialmente rilevante ai fini delle esondazioni nel lotto in esame alla luce dei nuovi parametri per la determinazione delle aree inondabili (gli aggiornamenti riguardano soprattutto la parte idrologica, a seguito dell'incremento delle serie storiche dei dati di pioggia e il modello digitale del terreno, grazie alla possibilità di utilizzare i dati LIDAR del Ministero dell'Ambiente e del Territorio).

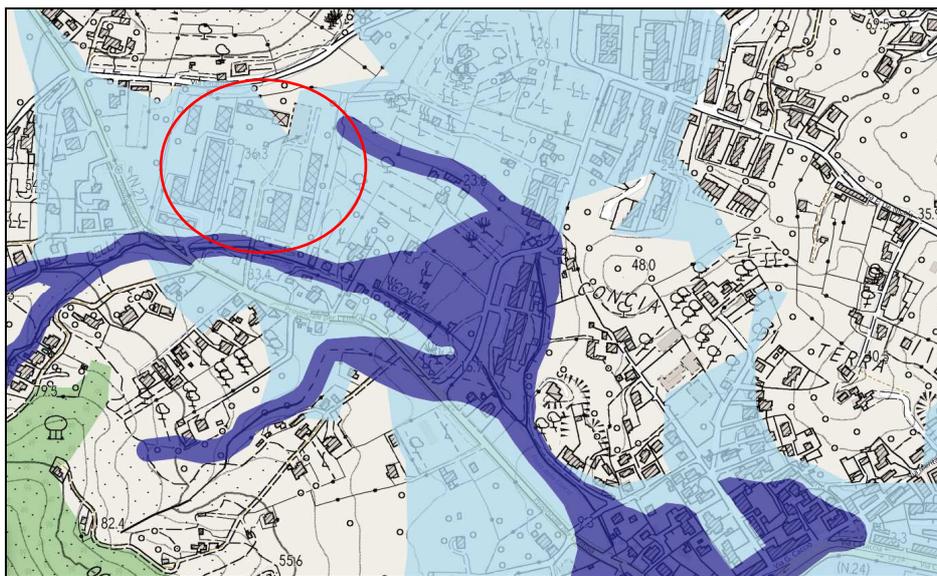


Figura 2.3 – Planimetria della zona oggetto dell'intervento (la zona del piano attuativo è cerchiata in rosso)

Per garantire completezza ed organicità e per operare "a scala di bacino" così come indicato nella normativa idraulica vigente, si ritiene opportuno organizzare lo studio nelle seguenti modalità:

- I bacini dei corsi d'acqua sono stati ripresi dallo studio del 2011, andando soltanto a dettagliare la parte di monte per meglio definire le portate nelle aste di monte;
- Il modello idraulico del sistema è stato ripreso dal modello dell'anno 2011 prolungandolo a monte per valutare il deflusso in corrispondenza dell'area interessata dal piano attuativo ed eventuali effetti dovuti a manufatti a valle che appaiono abbastanza improbabili visti la distanza planimetrica e la quota dei lotti in esame, significativamente maggiore rispetto a quella della parte a valle.

3. STUDIO IDROLOGICO

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 analizzato è costituito dal fosso della Concia e dai relativi affluenti.

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);

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 per aree estese 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;
- ψ 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, aggiornato alla banca dati delle piogge a tutto il 2012, 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 sistema in esame e si mettono a confronto le curve di possibilità pluviometrica ad esse relative, per i tempi di ritorno di interesse tecnico. Dall'analisi delle celle si può interpolare la curva rappresentativa per il sistema attraverso la media pesata dei coefficienti (in cui i pesi sono rappresentati dall'area di bacino coperta da ciascuna cella pluviometrica).

Di seguito si riportano i grafici e le equazioni delle CPP analizzate sia per il tempo di ritorno duecentennale che per quello trentennale.

Tempo di ritorno 200 anni			
	a	n	AREA
Curva 1	76,937	0,38339	28205
Curva 2	79,217	0,38376	33
Curva 3	77,743	0,38415	327077
Curva 4	79,895	0,38592	75970
Curva 5	77,809	0,39421	919617
Curva 6	76,968	0,39529	312739

CURVA MEDIATA	
a	n
77,71843	0,391873

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

Tempo di ritorno 30 anni			
	a	n	AREA
Curva 1	55,313	0,31993	28205
Curva 2	56,953	0,32029	33
Curva 3	55,893	0,32068	327077
Curva 4	57,439	0,32247	75970
Curva 5	55,939	0,33073	919617
Curva 6	55,335	0,33181	312739

CURVA MEDIATA	
a	n
55,87432	0,328397

Figura 3.2 – Curve di possibilità pluviometrica per il tempo di ritorno 30 anni.

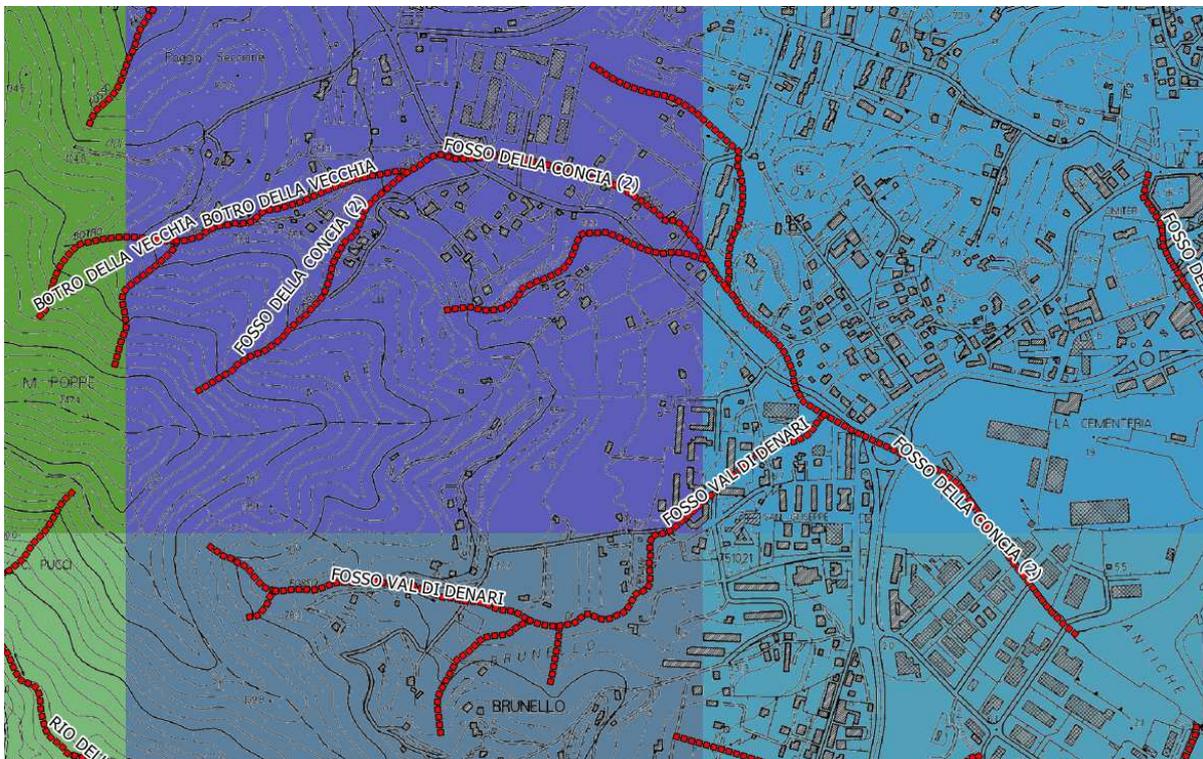


Figura 3.3 – Planimetria dei bacini con indicazione delle celle del modello pluviometrico.

Per i problemi relativi alle costruzioni idrauliche occorre riferirsi a curve di possibilità pluviometrica valide per superfici di una certa estensione, per tenere conto dell'effetto realistico che le intensità di pioggia

misurate puntualmente tendono a ridursi con l'aumentare dell'area interessata, che sono desumibili da quelle sopra riportate con l'applicazione del coefficiente di ragguaglio all'area. Infatti, attraverso il prodotto del coefficiente di ragguaglio ψ , si ottiene una riduzione dei valori di pioggia. Esistono varie metodologie per la valutazione del suddetto coefficiente: nei casi in esame il ragguaglio all'area produrrebbe una riduzione degli afflussi meteorici, rispetto alle CPP non depurate, di una percentuale significativa. Quindi, a favore di sicurezza, nelle modellazioni idrologiche si utilizzano le CPP non ragguagliate.

3.3 Parametrizzazione idrologica del bacino

La suddivisione in sottobacini competenti alle aste più significative del reticolo e la parametrizzazione secondo le grandezze geo-morfologiche sono operazioni necessarie 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 urbano, generalmente l'intervento antropico risulta decisivo sulla dinamica del deflusso delle acque meteoriche: la determinazione del sistema di canalizzazione delle acque risulta indispensabile per l'identificazione delle aree scolanti pertinenti ad una certa sezione di interesse. L'analisi del sistema di drenaggio urbano delle aree in esame è stato oggetto di specifici e approfonditi sopralluoghi. È opportuno rilevare che l'urbanizzazione riscontrata nei bacini analizzati non ha ripercussioni così significative rispetto a quello che è l'andamento naturale delle linee spartiacque.

In particolare, i bacini rappresentati sono i seguenti:

- Concia Monte
- Concia sx
- Concia dx
- Concia valle
- Fosso Val di Danari

Per quanto riguarda il bacino Concia Monte è stato suddiviso in Botro della Vecchia e Concia Monte dx. Tale ulteriore suddivisione è stata operata per la determinazione delle portate relative alle due aste di monte che confluiscono insieme dando vita all'asta principale.

Lo schema dei bacini e l'attribuzione delle portate alle singole sezioni sono riportati nell'immagine successiva. Si evidenzia come questo processo di attribuzione è estremamente prudenziale in quanto in generale a un certo tratto viene attribuita la portata della sezione di chiusura del tratto stesso.

- Punto A – Portata Bacino Botro della Vecchia (parte sx del bacino Concia Monte)
- Punto B - Portata Bacino Concia monte dx (parte dx del bacino Concia Monte)
- Punto C - Portata Bacino Concia Monte
- Punto D - Portata Punto C + Bacino Concia Sx
- Punto E - Portata punto D + Bacino Concia valle
- Punto F – Portata intero bacino

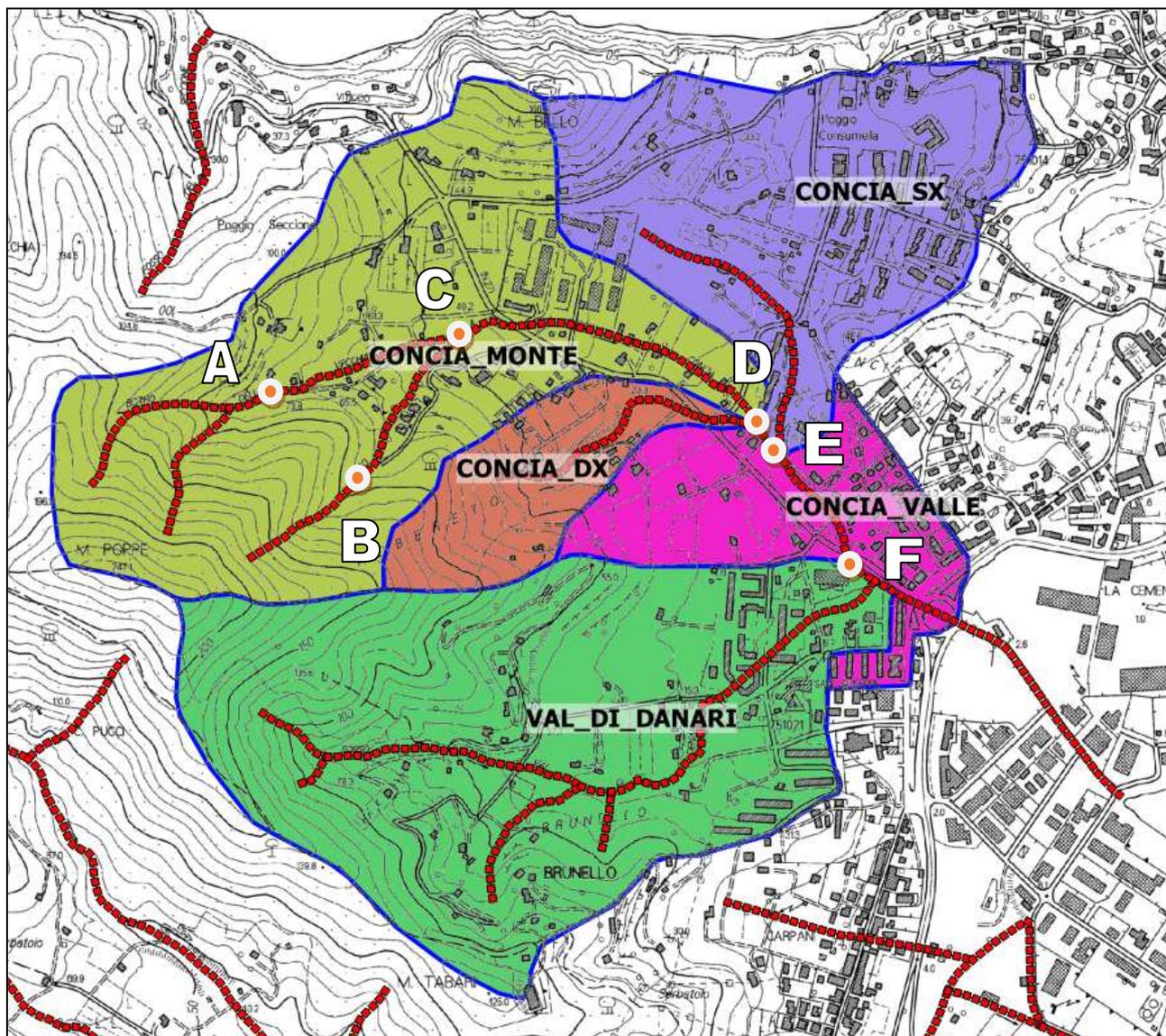


Figura 3.4 - Indicazione dei bacini e dello schema di attribuzione delle portate

In ogni caso, l'individuazione delle aree scolanti del bacino è riportata nell'allegato idrologico ALL 1.

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 significativo¹
- Q_{max} Quota del punto più alto
- Q_{maxs} Quota del punto più alto significativo

¹ 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".

- 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)²
- 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 col metodo dell'SCS (vedasi par. successivo)

I valori dei suddetti parametri sono riportati nell'allegato idrologico ALL 1.

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 della carta tecnica regionale e del modello digitale del terreno (DTM) da esso derivato.

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 pedologia, uso del suolo e condizioni di umidità del terreno al momento dell'evento simulato. 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 superficiale rispetto a quella che non partecipa alla formazione della piena per le cosiddette perdite di bacino (infiltrazione, intercezione, ecc.).

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

² Altre indicazioni di bibliografia indicano anche la possibilità di calcolare la pendenza media attraverso il rapporto $(\Delta Z \cdot L)/A$ dove ΔZ è l'equidistanza tra le isoipse, L la loro lunghezza totale ed A l'area del bacino. Il risultato è praticamente coincidente con la valutazione attraverso il raster delle pendenze analizzato.

La disposizione dei gruppi pedologici presenti nei bacini analizzati è riportata nell'allegato idrologico ed è stata determinata attraverso i dati resi disponibili dal servizio Difesa del Suolo della Regione Toscana (Implementazione di modello idrologico distribuito per il territorio toscano - ref. Prof. Fabio Castelli).

Nell'ambito della citata banca dati messa a disposizione dalla Regione Toscana si trovano anche gli usi del suolo nelle aree in esame³.

L'incrocio dei dati di uso del suolo e di permeabilità permette la determinazione del CN che, ad ogni modo, è fornito anch'esso all'interno della succitata banca dati regionale.

Il coefficiente CN dipende anche dalle condizioni di umidità del suolo ipotizzate. Queste sono descritte dal parametro AMC (Antecedent Moisture Condition) che considera la precipitazione caduta nei cinque 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; 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 3.2– Coefficiente AMC in relazione all'altezza totale di pioggia (in mm) caduta nei 5 giorni precedenti.

Si noti che i coefficienti riportati nella tabella precedente si riferiscono alla condizione AMC II: 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

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

La sovrapposizione delle caratteristiche pedologiche e di quelle di uso del suolo permette la determinazione del coefficiente CN.

Poiché le caratteristiche di uso del suolo e di permeabilità dell'area sono disuniformi, le aree di bacino sono state suddivise in modo da determinare zone del territorio con caratteristiche omogenee sia di uso del suolo sia di 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:

³ L'uso del suolo è stato desunto dalla banca dati del settore "Difesa del Suolo" Regione Toscana che a sua volta è mutuato dallo studio Corine Land Cover. Si segnala tuttavia che nelle banche dati cartografiche della Regione Toscana è disponibile anche un'altra mappa dell'uso del suolo, che, rispetto a quella citata, ha un dettaglio molto maggiore (ad esempio suddivide le zone urbane in strade e tessuto edificato). Si ritiene ragionevole utilizzare l'uso del suolo a grande scala per gli scopi idrologici, mentre la mappa di dettaglio viene solitamente sfruttata per analisi idrauliche di dettaglio, onde definire le dinamiche specifiche di deflusso.

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

3.3.2.3 Parametri tempo

Infine, per quanto riguarda i parametri "tempi" associati ai bacini analizzati, i tempi di corrivazione e concentrazione sono stati valutati con le formule di Tournon, dell'SCS e dell'FAA:

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

in cui

- d. L è la lunghezza dell'asta principale in km
- e. S è la pendenza media dell'alveo
- f. A_b è l'area del bacino in km²
- g. S_v è la pendenza media dei versanti

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

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")

$$t_c = \frac{1.8 \cdot (1.1 - C) \cdot L^{0.5}}{S^{0.333}} \quad \text{tc di corrivazione secondo FAA Federal Aviation Administration}$$

- e. t_c è il tempo di concentrazione in ore;
- f. L la lunghezza dell'asta massima espressa in ft (piedi);
- g. C è il valore del coefficiente di deflusso;
- h. S è la pendenza media del bacino espressa in % (dal termine inglese "Slope")

Si noti che il tempo di concentrazione, utilizzando l'idrogramma dell'SCS, viene a coincidere con il tempo di corrivazione.

Per i sottobacini collinari è stata assunto come riferimento la media tra le formule SCS e la formula di Tournon. Soltanto per il bacino "Concia Valle", più piccolo e pianeggiante, è stato assunto come riferimento il tempo calcolato con la formula FAA.

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;
- $S = 25.4(1000/CN - 10)$ è l'assorbimento potenziale massimo, misurato in mm;
- I_a è l'assorbimento iniziale, misurato anch'esso in mm.

L'assorbimento iniziale I_a , stanti le caratteristiche geologiche e la presenza di diversi terreni agricoli, è stato assunto pari a $0.2 S$ per tutti i sottobacini.

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 attraverso le sezioni di chiusura. Il processo descritto avviene attraverso modelli matematici, chiamati "modelli di trasformazione afflussi-deflussi", basati su algoritmi di calcolo che utilizzano i parametri geo-morfologici dei bacini definiti in precedenza. 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 in esame sono stati modellati secondo l'idrogramma unitario dell'SCS. Questo idrogramma unitario è ampiamente descritto in letteratura ed è 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 4.2.1 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 precipitazioni (precipitation gage); in accordo con gli uffici tecnici delle Autorità competenti si è ritenuto

opportuno simulare fenomeni contraddistinti da uno ietogramma costante⁴.

- 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 (estensione, CN, Lag time, I_a ecc ecc).
- 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 di durata compresa tra 15 minuti e 3 ore (tempo di ritorno di 200 e 30 anni). 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. Di seguito si riporta lo schema del sistema analizzato

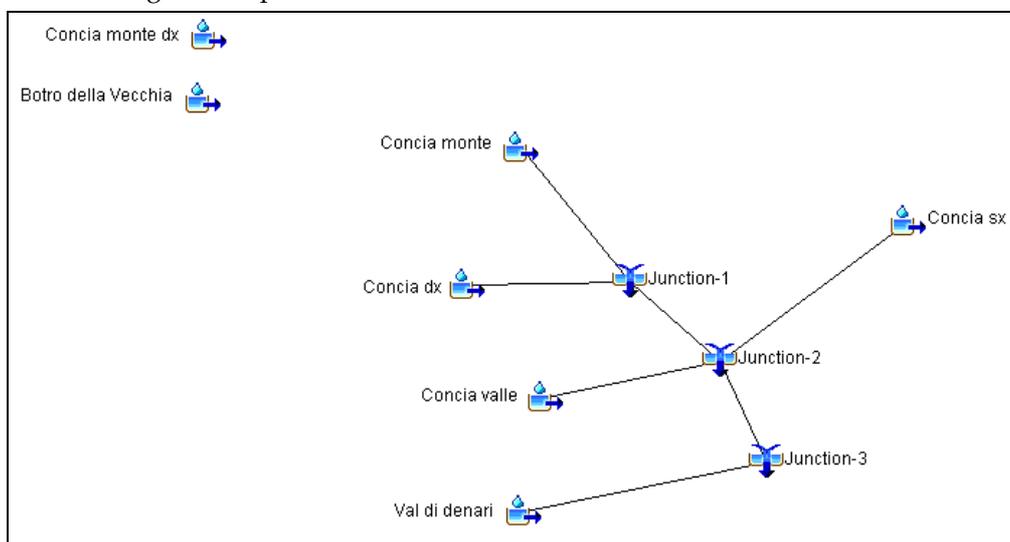


Figura 3.5 – Schema del modello idrologico implementato

I risultati delle simulazioni sono riportati negli specchietti successivi

Portate per il tempo di ritorno 30 anni													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
BOTRO DELLA VECCHIA	2.04	2.48	2.34	2.13	1.94	1.78	1.65	1.53	1.44	1.36	1.29	1.23	2.48
CONCIA DX	1.81	1.81	1.57	1.37	1.22	1.10	1.00	0.93	0.87	0.81	0.77	0.73	1.81
CONCIA MONTE	5.04	6.62	6.61	6.18	5.69	5.24	4.85	4.52	4.23	3.98	3.77	3.58	6.62
CONCIA MONTE DX	1.53	1.54	1.36	1.19	1.07	0.97	0.90	0.83	0.78	0.73	0.69	0.66	1.54
CONCIA SX	5.50	7.42	7.79	7.54	7.10	6.61	6.16	5.74	5.38	5.06	4.78	4.53	7.79
CONCIA VALLE	3.01	3.03	2.63	2.27	1.99	1.79	1.62	1.49	1.39	1.30	1.22	1.15	3.03
JUNCTION-1	5.87	7.93	8.01	7.49	6.88	6.33	5.85	5.44	5.09	4.79	4.53	4.30	8.01
JUNCTION-2	12.08	16.62	17.63	16.97	15.84	14.67	13.60	12.66	11.85	11.14	10.53	9.98	17.63
JUNCTION-3	17.50	23.90	25.04	24.01	22.36	20.69	19.18	17.86	16.71	15.72	14.86	14.10	25.04
VAL DI DENARI	5.55	7.39	7.48	7.06	6.53	6.03	5.58	5.20	4.86	4.58	4.33	4.11	7.48

Figura 3.6 – Risultati modellazione trentennale

⁴ Nel seguito della relazione verranno chiarite le ragioni per cui non sono stati utilizzati ietogrammi di altre forme

Portate per il tempo di ritorno 200 anni													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
BOTRO DELLA VECCHIA	3.33	3.97	3.72	3.37	3.07	2.83	2.62	2.45	2.31	2.19	2.08	1.98	3.97
CONCIA DX	2.68	2.69	2.35	2.05	1.83	1.67	1.53	1.42	1.33	1.26	1.19	1.13	2.69
CONCIA MONTE	7.66	10.18	10.16	9.51	8.76	8.08	7.49	7.00	6.57	6.21	5.89	5.61	10.18
CONCIA MONTE DX	2.38	2.39	2.09	1.85	1.67	1.52	1.41	1.31	1.23	1.16	1.11	1.05	2.39
CONCIA SX	7.91	10.93	11.58	11.27	10.64	9.94	9.28	8.69	8.16	7.70	7.30	6.95	11.58
CONCIA VALLE	4.24	4.33	3.77	3.28	2.91	2.62	2.40	2.22	2.07	1.95	1.84	1.75	4.33
JUNCTION-1	8.95	12.20	12.30	11.50	10.57	9.74	9.02	8.41	7.90	7.46	7.08	6.74	12.30
JUNCTION-2	17.81	25.04	26.63	25.66	23.98	22.24	20.68	19.32	18.13	17.11	16.22	15.44	26.63
JUNCTION-3	25.97	36.15	37.99	36.41	33.95	31.48	29.25	27.32	25.65	24.21	22.95	21.85	37.99
VAL DI DENARI	8.34	11.26	11.42	10.78	9.99	9.24	8.57	8.00	7.52	7.10	6.73	6.41	11.42

Figura 3.7 - Risultati modellazione duecentennale

I risultati sopra riportati si possono valutare in base alle seguenti considerazioni:

- in termini di "coefficiente udometrico duecentennale", ovvero di portata per unità di superficie, riferendosi alla sezione di chiusura del bacino si ottiene un valore di 21.70 mc/s kmq, valore anche superiore a bacini analoghi dell'Isola d'Elba per dimensione e morfologia.
- In termini di confronto con il precedente studio approvato dagli Enti competenti nell'anno 2011, la presente analisi risulta significativamente superiore. Infatti, per la sezione di chiusura si stimava una di picco duecentennale pari a 23.50 mc/s, in luogo di una nuova stima pari a 37.99 mc/s. L'incremento della portata stimata è di 14.49 mc/s, con una variazione superiore al 60 % della stima originaria, peraltro approvata dagli Enti competenti

Per le motivazioni sopra riportate, le stime di portata effettuate appaiono corrette per quanto riguarda il sistema in esame e non si ritiene necessario approfondire la stima con l'applicazione di altre metodologie (ad es. ietogrammi di forma triangolare, altri metodi di afflusso-deflusso, ecc).

3.5 Parametri cautelativi utilizzati nella modellazione idrologica

Si sottolineano le principali approssimazioni seguite a favore di sicurezza:

- valutazione prudenziale delle condizioni di umidità precedente (AMC in classe III);
- mancata depurazione delle curve di pioggia attraverso il coefficiente di deflusso;
- Significativo aumento delle portate stimate per i tempi di ritorno indicati dalla normativa rispetto ai precedenti studi idraulici approvati dagli Enti competenti.

4. STUDIO IDRAULICO

4.1 Generalità

Gli studi idraulici hanno la finalità di modellare il deflusso delle acque all'interno di un sistema di corsi d'acqua per determinare eventuali punti di crisi e, conseguentemente anche le aree di esondazione.

La modellazione è stata fatta a partire da rilievi strumentali effettuati nel corso di una campagna di rilievo effettuata nel gennaio 2021 dallo studio Sani Grossi di Lucca. Tali dati sono stati collegati alla rilevazione già disponibile per la parte bassa del reticolo idraulico.

4.2 Descrizione del codice di calcolo e dei parametri della modellazione

La modellazione idraulica del corso d'acqua è stata svolta con il software HEC RAS 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.

Una volta stabilita la geometria delle sezioni sulla base dei rilievi, attraverso la loro distanza e i coefficienti di scabrezza delle superfici dell'alveo si può riprodurre la morfologia del corso d'acqua. In generale sono stati utilizzati valori indicati da letteratura o, se disponibili, valori desunti da studi precedenti approvati dagli enti competenti. Nella fattispecie, per la parte a valle rispetto a quella in prossimità dei lotti in esame per cui era già stato effettuato uno studio approvato nell'anno 2011, è stata ripresa la morfologia delle simulazioni i cui risultati sono stati utilizzati per la parziale ridefinizione della pericolosità idraulica così come indicato nei paragrafi introduttivi.

Per quanto riguarda le portate, in accordo con le indicazioni dei paragrafi precedenti, si simula il deflusso del picco delle piene trentennali e duecentennali (per la cui quantificazione si rimanda ai capitoli precedenti) a partire dalle sezioni più a monte modellate nel sistema. Si ribadisce che tale valutazione sia estremamente prudentiale. Infatti, tale portata competerebbe alla sezione di chiusura, mentre nelle simulazioni svolte viene invece attribuito a tutto il tratto, a partire dalla sezione di monte.

In merito alle condizioni al contorno, per le situazioni di monte, non essendo generalmente presenti particolari singolarità idrauliche, si ritiene corretto adottare la condizione di moto uniforme (con la definizione della sola pendenza di monte). Poiché il modello arriva fino allo sbocco a mare, la condizione di valle è stata assunta pari alla condizione del mare in tempesta per l'Isola d'Elba (0.8 m s.l.m.), supposizione estremamente prudentiale considerato il fatto che lo sbocco avviene all'interno del golfo di Portoferraio, estremamente riparato rispetto al moto ondoso.

Gli attraversamenti della parte del modello mutuata dal sistema analizzato e approvato nel 2011 sono stati ripresi tal quali, mentre quelli della nuova parte del reticolo, in prossimità del lotto in esame sono stati modellati come "bridge" o "culvert" onde tener conto di eventuali funzionamenti in pressione. Infine, si fa presente che per quanto riguarda gli attraversamenti a sezione variabile, prudentialmente, si è in generale ritenuto opportuno effettuare una modellazione a sezione uniforme, impiegando quella di luce più piccola.

4.3 Approfondimenti della modellazione

4.3.1 Coefficienti di scabrezza:

Si è posta particolare attenzione alla valutazione dei coefficienti di scabrezza "n" della sezione corrente del canale; poiché era stato effettuato uno studio precedente, inizialmente si erano assunti valori coerenti con quello studio pari a 0,025; si sono poi svolte le simulazioni assumendo, cautelativamente il valore pari a 0,03. Si è di fatto tenuto conto sia dello stato dei canali sia dei materiali riscontrati sul fondo e sulle sponde. Si osserva infatti che in buona parte, nei canali, sono presenti opere di difesa spondali in muratura oltre alla presenza di vegetazione in alcuni tratti d'alveo e sulle sponde. Si è quindi considerato il valore utilizzato come una media su tutta la sezione d'interesse.

4.3.2 Modalità funzionamento dei ponti e tombini:

Nello studio tutti i ponti ed i tombini analizzati sono stati considerati con funzionamento in pressione derivato dal livello liquido presente nel canale. Inoltre, si è proceduto nei riguardi del tombamento posto fra le sezioni 103 e 106, che comunque si trova a valle della zona di interesse per questo studio, ad incrementare le perdite ponendo un valore al coefficiente di contrazione di 0.3 e un valore al coefficiente di espansione di 0.5. Si ribadisce, comunque, che questo tratto non influenza la zona di riferimento obiettivo delle verifiche ed integrazioni del presente studio.



Figura 4.1 – Uno degli attraversamenti incontrati durante la campagna di rilievo

4.4 Risultati dell'analisi idraulica e output del modello

4.4.1 Risultati delle simulazioni

I risultati dello studio condotto si possono esaminare nell'allegato idraulico ALL 2. 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, in generale, 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.

E' opportuno far presente che nell'allegato si riporta quella parte del sistema avente influenza sull'area interessata dal piano attuativo, che peraltro comprende anche alcune sezioni del tratto già analizzato a valle nell'ambito degli approfondimenti dell'anno 2011.

Di seguito si riportano i profili longitudinali delle aste in esame.

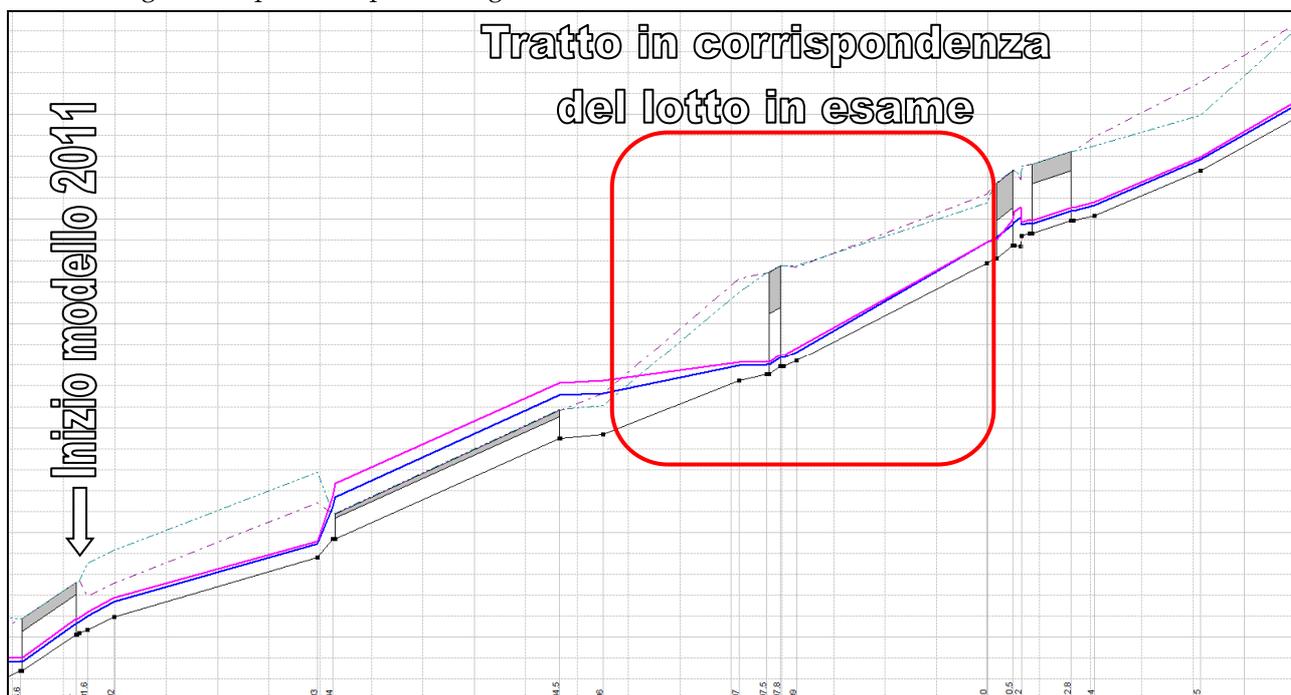


Figura 4.2 - Profilo Longitudinale tratto monte Fosso della Concia

Dall'analisi dei profili si evidenzia che le criticità del tratto rappresentato riguardano soltanto il tombamento posto a cavallo delle sezioni 103 - 106, sia per il tempo di ritorno di 30 anni sia per quello duecentennale. Si specifica che in tale tratto la portata contenuta risulta essere pari a circa $5.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ a fronte di una portata duecentennale di 10.18 mc/s e di una portata trentennale di 6.62 mc/s .

Nell'ambito dei rilievi sopralluoghi tale l'imbocco di tale attraversamento è stato rilevato come una coppia di tubi, mentre a valle, complice anche la vegetazione infestante, è stato possibile riscontrare soltanto uno dei due tubi.

In ogni caso, anche qualitativamente, questo manufatto si configura come "collo di bottiglia" del sistema. Per di più, esso coincide con l'origine della zona a pericolosità idraulica P3 (elevata) della carta del PGRA. In sostanza, la modellazione svolta conferma le evidenze riscontrate sul posto, nonché la caratterizzazione di pericolosità del Distretto di Bacino dell'Appennino Settentrionale.

4.4.2 Trasmissione completa degli output del modello

In allegato vengono fornite le serie complete degli output del modello analizzato. Si specifica che nel tratto dalla sezione 1 alla sezione 26.6, il profilo e le sezioni sono state mutuate dallo studio «Analisi del rischio idraulico per la messa in sicurezza delle aree interessate quale parte integrante e sostanziale del programma di settore ex art. 10 LRT.1/05 per la portualità. - Verifiche di sicurezza idraulica dei fossi Carpani - Riondo, Santa Lucia, Condotto e Bucine -Comune di Portoferraio (LI)» effettuato dallo scrivente nel 2011 per il comune di Portoferraio e già approvato dagli Enti preposti, dove gli attraversamenti sono stati simulati come elementi "LID" nell'ambito del Codice di Calcolo HEC RAS. La simulazione del tratto vallivo è stata mantenuta quindi inalterata, salvo l'aggiornamento dello studio idrologico, in quanto non si ritiene che i livelli idrometrici di valle possano influenzare il tratto di monte e quindi quello di interesse (Vedasi All.2_REV01).

4.5 **Parametri cautelativi utilizzati nella modellazione idraulica monodimensionale**

Si sottolineano le principali approssimazioni seguite a favore di sicurezza:

- Attribuzione della portata idrologica fin dalla sezione più a monte del modello realizzato;
- Simulazione degli attraversamenti a sezione variabile come attraversamenti prismatici a sezione uniforme e con luce pari a quella minore misurata nell'ambito dei rilievi topografici.

5. CONCLUSIONI

Per quanto attiene al piano attuativo, essendo esso posto significativamente più a monte rispetto alla sezione critica dove sono state evidenziate potenzialità di esondazioni, il modello non rileva situazioni tali da far prevedere allagamenti per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni.

Peraltro si fa presente che l'area oggetto del PEEP in esame si sviluppa in corrispondenza di un "alto morfologico" rispetto al piano di campagna circostante. Ciò appare evidente nella rappresentazione tridimensionale del LIDAR di seguito riportata; a tale proposito si trasmettono, inoltre, ubicazione e profilo di due sezioni effettuate tramite l'utilizzo di dati Lidar, sezioni trasversali e longitudinali nei pressi dell'area d'interesse (vedasi All.3).



Figura 5.1 – Vista tridimensionale dell'area in esame – Elaborazione dei dati LIDAR

Stante questa situazione, non si ritiene necessario procedere con lo studio idraulico bidimensionale delle esondazioni e si può affermare l'assenza di battente idraulico nell'area d'interesse ai sensi della LR 41/2018.

