

INDICE

1	Premessa	1
2	Individuazione del reticolo di drenaggio	4
3	Dati topografici e rilievo a terra	11
4	Definizione dei bacini e calcolo delle portate di piena	13
5	Ricostruzione dell'evento del novembre 2014	17
6	Analisi idraulica.....	22
6.1	Caratteristiche del modello di simulazione	22
6.2	Schematizzazione della rete di drenaggio	23
6.3	Schematizzazione del terreno.....	24
6.4	Definizione delle scabrezze idrauliche.....	25
6.5	Condizioni al contorno	26
6.6	Risultati della modellazione	27
7	Conclusioni.....	36

ALLEGATI

ALLEGATO A – MIKE 11 HD

Descrizione Tecnica

ALLEGATO B–MIKE 21 HD

Descrizione Tecnica

ALLEGATO C

Idrogrammi

ALLEGATO D

“Osservazione ed istanza di modifica della perimetrazione – Dott. Geol. Macciò Roberto, febbraio 2015”.

1 Premessa

La Giunta Regionale della Liguria, con deliberazione n. 981 del 7/9/2015, ad oggetto “L.r. 15/2015. Art. 26, c. 5 e 6. Adozione variante al Piano di Bacino dell’Ambito “Centa” per aggiornamento cartografie a seguito dell’evento alluvionale 2014 in Comune di Albenga” ha adottato la variante relativa ai bacini Centa, La Liggia e Carenda, finalizzata al recepimento della perimetrazione delle aree inondate negli eventi del 2014, di cui alla DGR 59/2015, in Comune di Albenga, con la classificazione nella fascia A* delle porzioni di aree eccedenti la perimetrazione di fascia A del piano di bacino vigente.

In particolare, per il bacino La Liggia, la variante ha comportato la classificazione in fascia A* di un’ampia porzione della golaena destra del Centa a monte della SS1, così come illustrato nelle figure seguenti.

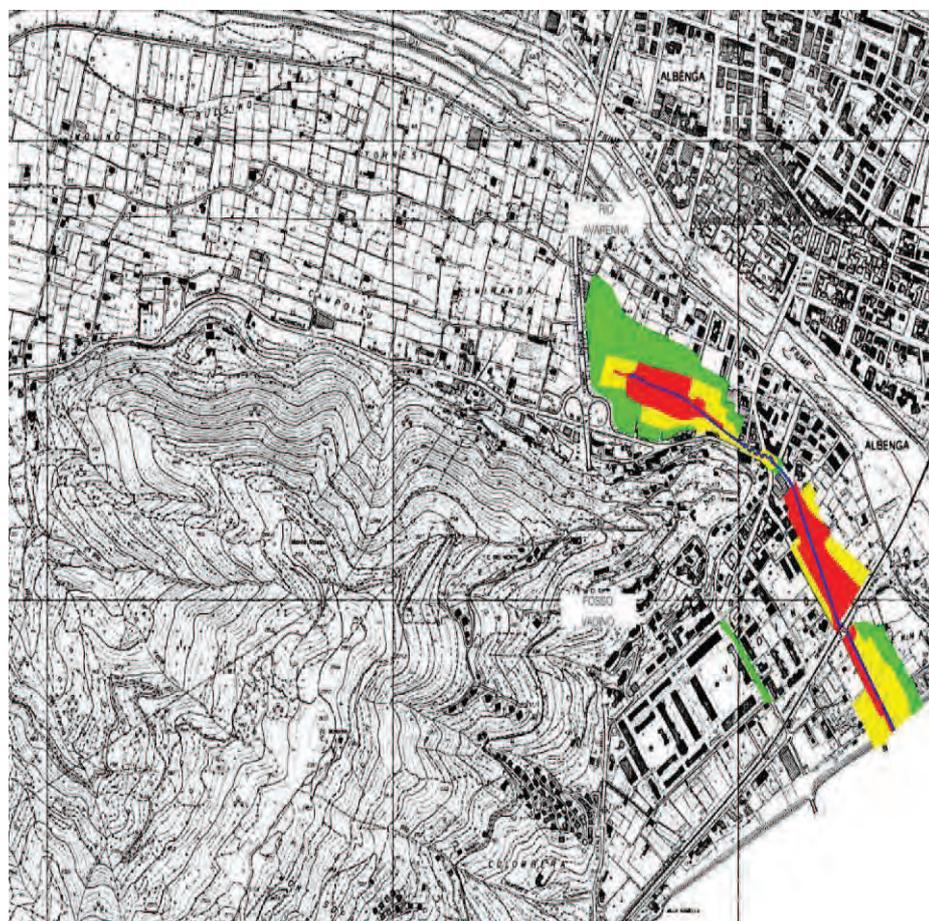


Figura 1.1 Piano di Bacino vigente: fasce di inondabilità per diverso tempo di ritorno.

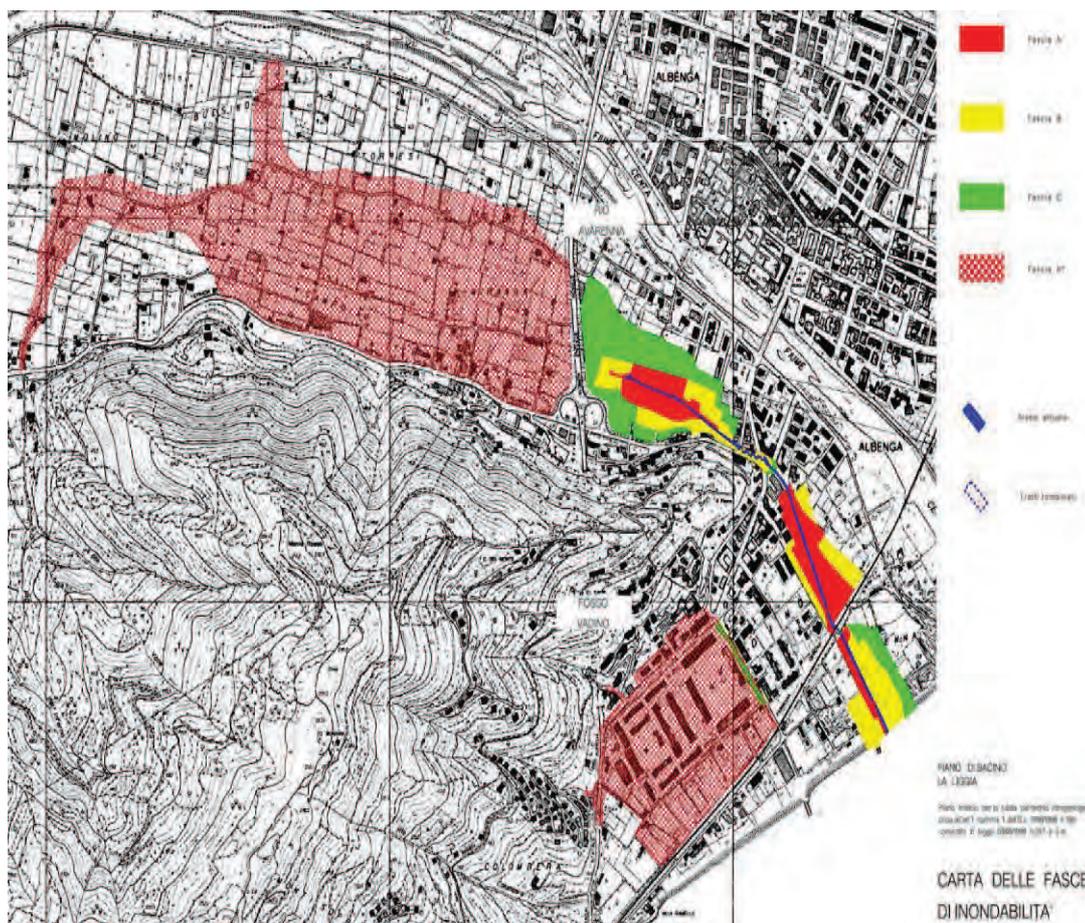


Figura 1.2 Piano di Bacino modificato: carta delle fasce di inondabilità: introduzione della fascia A*.

Gli allagamenti registrati nel corso dell'evento del 2014 hanno, infatti, interessato il reticolo minore a monte del rilevato stradale non ancora classificato e indagato dal Piano di Bacino; a valle del rilevato il Piano ha invece già individuato e indagato il rio Avarena, scolo principale del reticolo di fossi di drenaggio minori, fino alla sua confluenza in mare.

Nell'area classificata come fascia A* rientra il Mappale 333sub4 del Foglio ALB/22 di proprietà della Morchio Autodoria S.r.l, Regione Miranda n.54, che ha dato incarico agli scriventi al fine di evidenziare, a seguito delle effettive caratteristiche morfo-altimetriche dell'areale, il non possibile interessamento da parte delle esondazioni da reticolo minore locale.

Il Mappale 333sub4, individuato in dettaglio nella figura seguente, risulta, infatti, ubicato su un terrazzamento artificiale, realizzato nel corso degli anni 60 (data non precisata con certezza) al fine di uniformare la quota dell'allora terreno agricolo con le quote della strada S.P.6. Tale terrazzamento è stato realizzato con un riporto di terreno naturale e matrice argillosa con ghiaia e pietrisco sparsi, innalzando l'area di circa 2.0 – 2.5 m rispetto al resto della piana agricola.

Già nel corso del 2015, la Morchio Autodoria S.r.l. aveva dato incarico ad un professionista di Albenga di redigere una "Osservazione ed istanza di modifica della perimetrazione – Dott. Geol. Macciò Roberto, febbraio 2015". In tale studio il Professionista aveva inquadrato l'area di interesse evidenziando le differenze di quota rispetto al piano campagna. Nello stesso documento, che è integralmente allegato al presente studio, era riportata una ricostruzione dell'evento del novembre 2014 (con foto indicative delle aree interessate dagli allagamenti) ed una valutazione sul sistema di smaltimento delle acque di piattaforma dell'area sopraelevata.



Figura 1.3 Ubicazione del terreno di proprietà della Morchio Autodoria s.r.l..

La presente indagine ha l'obiettivo di effettuare uno studio di approfondimento che, utilizzando dati aggiornati e di maggior dettaglio e strumenti di elevata tecnologia, ha lo scopo di confermare che le esondazioni del reticolo afferente al rio Avarenna non possono interessare l'areale in oggetto.

Di conseguenza, comportare una di variante al Piano di Bacino ai sensi della l.r. 15/2015, art. 26, c.5, ai fini della ripermimetrazione delle fasce di inondabilità, con sostituzione della fascia A* con le fasce a diversi tempi di ritorno.

In particolare sono state eseguite le seguenti attività:

- 1) sopralluogo e rilievo fotografico finalizzato alla ricostruzione del reticolo secondario gravante sull'area di interesse e drenante verso il rio Avarenna;
- 2) rilievo delle geometrie del territorio mediante acquisizione del LIDAR ministeriale e esecuzione di specifico rilievo a terra dei fossi di drenaggio;
- 3) definizione delle portate di piena di riferimento per il reticolo secondario;
- 4) analisi idraulica bidimensionale finalizzata alla determinazione dell'estensione degli allagamenti per diverso tempo di ritorno.

2 Individuazione del reticolo di drenaggio

Il primo obiettivo del presente studio è stato quello di individuare l'estensione del reticolo di drenaggio che interessa la zona di studio e che recapita le acque drenate nel rio Avarenna, il cui effettivo alveo si può considerare abbia inizio subito a valle della SS1.

L'obiettivo è in sostanza quello di individuare correttamente il bacino idrologico drenato escludendo quelle aree che convogliano le acque verso altri scoli o direttamente nel Centa, non essendo disponibile una classificazione ufficiale a questa scala di dettaglio.

L'area di riferimento, rappresentata nella figura seguente, è limitata a nord dal fiume Centa, a est dalla SS1, a sud dai rilievi collinari e ad ovest dal Rio dell'Inferno che drena il suo bacino idrografico nel fiume Centa: il rio Avarenna può considerarsi tale a valle del rilevato della SS1, dove un recente intervento di adeguamento ha portato alla realizzazione di una sezione d'alveo rettangolare, della dimensione di qualche metro.

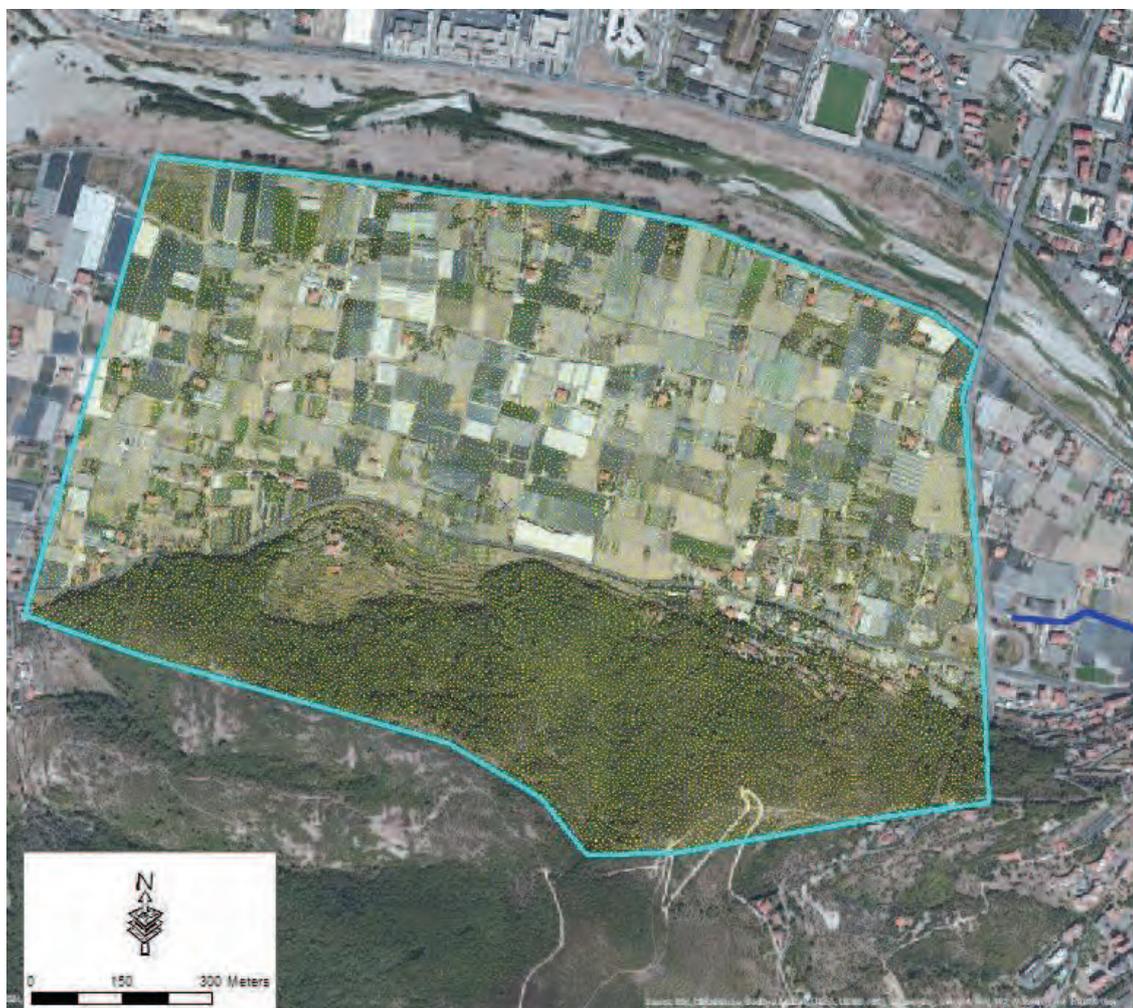


Figura 2.1 Area di interesse al presente studio: in blu è rappresentato l'alveo del rio Avarenna a valle del rilevato della SS1.

Tutta l'area a monte del rilevato stradale è attraversata da un reticolo di fossi di drenaggio che, correndo lungo i singoli appezzamenti di terreno o strutture a serra, dovrebbe garantire il deflusso delle acque verso il Centa o verso valle.

Lo specifico sopralluogo ha permesso di evidenziare i diversi punti di recapito di tale reticolo, sia verso il Centa sia a valle del rilevato della SS1 che sostanzialmente rappresenta una barriera fisica al deflusso delle acque, ad eccezione di singoli specifici punti di recapito. La figura seguente illustra la posizione delle fotografie effettuate nel corso del rilievo, alcune delle quali sono riportate nel presente rapporto a supporto di una migliore comprensione del territorio.

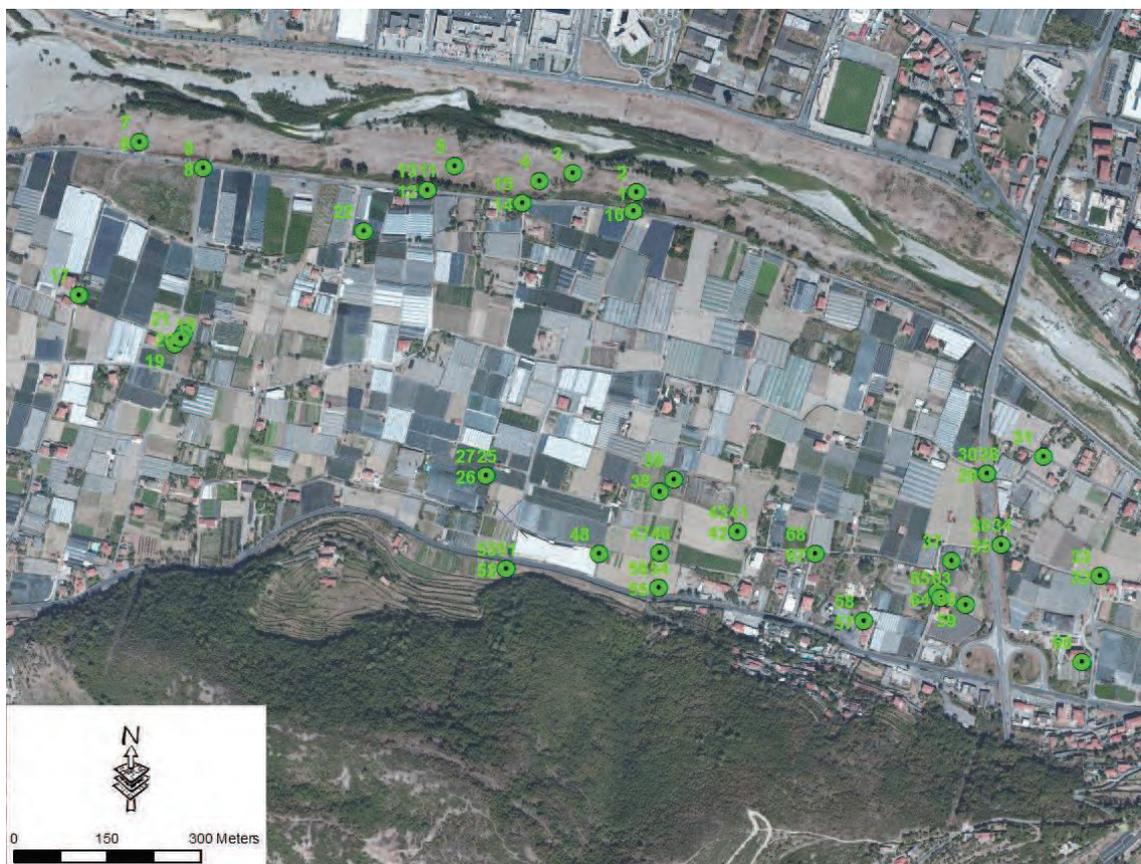


Figura 2.2 Ubicazione del rilievo fotografico effettuato nel corso del sopralluogo.

Dall'indagine di campo è emerso che l'area agricola in destra Centa, a ridosso della SS1, presenta un reticolo di drenaggio suddiviso in tre diverse zone: l'area A, individuata nella figura seguente dal reticolo giallo, che convoglia attraverso un primo sottopasso dell'Aurelia le acque verso il rio Avarena, l'area B (in rosso) che attraverso un secondo sottopasso più a nord converge su un rio tombato che prosegue verso l'abitato di Albenga, ed infine l'area C che grazie a una serie di scarichi drena direttamente nel Centa.

Nel seguito vengono rappresentati, tramite planimetria e fotografie scattate nel corso del sopralluogo, i reticoli di drenaggio delle 3 aree individuate, con l'obiettivo di definire l'estensione del bacino idrologico drenato dal rio Avarena e di interesse al presente studio.

La Figura 2.4 individua il reticolo di drenaggio che colletta le acque direttamente nel fiume Centa (area C): a parte il maggiore rio dell'Inferno (Figura 2.5) all'estremità ovest dell'area di studio, il resto del reticolo è caratterizzato da brevi fossi di drenaggio che, attraversata la strada lungo Centa, scaricano nel fiume generalmente mediante scarichi clapet (Figura 2.6).



Figura 2.3 Suddivisione dell'area golena in destra Centa in funzione dei punti di recapito finali del reticolo di drenaggio: area A – Rio Avarenna, area B – scolatore tombato, area C – Centa.



Figura 2.4 Area C: reticolo di drenaggio scolante nel fiume Centa.



Figura 2.5 Foce del rio Inferno (foto 7 in planimetria).



Figura 2.6 Esempio di scarichi protetti da clapet (foto 2 in planimetria).

L'area B corrisponde alla porzione intermedia del territorio esaminato: il reticolo individuato convoglia le acque verso un unico collettore il cui nome non è stato possibile desumere dalla cartografia regionale.

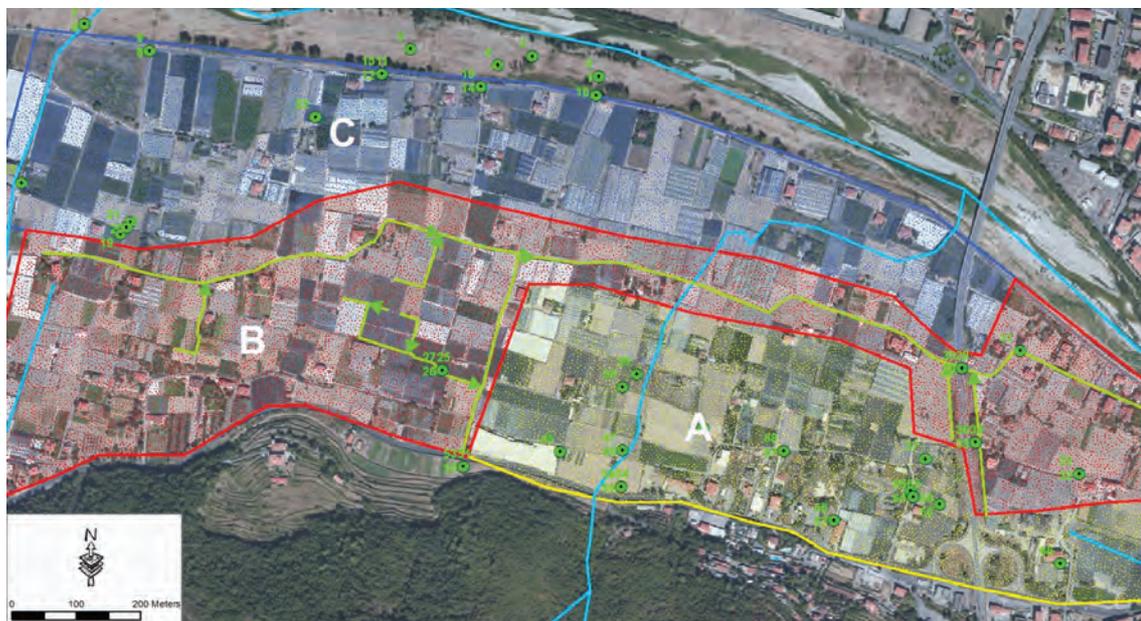


Figura 2.7 Area B: reticolo di drenaggio recapitante verso l'abitato di Albenga.

Il collettore scorre per quasi tutta la totalità del suo percorso al di sotto della strada; a valle del rilevato della SS1 è stato oggetto di recenti interventi di ripristino e ammodernamento, come evidente dalla foto 31 riportata nel seguito, con una sezione in cemento 100x100 cm.



Figura 2.8 Sezione del collettore principale dell'area B, a valle del rilevato della SS1 (foto 31 in planimetria, vista verso valle).

L'area A rappresenta la porzione di territorio di specifico interesse in quanto recapita nel rio Avarenna ed interessa il Mappale 333sub4 del Foglio ALB/22: solo tale parte di reticolo sarà pertanto oggetto di ulteriore analisi idraulica di dettaglio.



Figura 2.9 Reticolo di drenaggio di interesse al presente studio - Area A - Bacino rio Avarenna. In arancione il mappale di interesse per la ripermetrazione.

Partendo da valle (fotografia 66, Figura 2.10), il rio Avarenna presenta una sezione significativa per effetto dei recenti lavori di adeguamento.

Tuttavia il deflusso da monte è limitato dall'attuale sezione del rio in corrispondenza dell'attraversamento della SS1, caratterizzata da un tubo in calcestruzzo di diametro 1 m (Figura 2.11). Tale sezione verrà utilizzata come sezione di controllo del modello idraulico e come condizione al contorno di valle.

Il resto del reticolo è caratterizzato da una serie di fossi di guardia o di drenaggio spesso in cattive condizioni se non quando addirittura parzialmente ostruiti. La Figura 2.12 rappresenta 3 esempi dello stato di manutenzione del reticolo.



Figura 2.10 Nuova sezione del rio Avarena (vista verso valle) a seguito dei lavori di adeguamento idraulico (foto 66 in planimetria).

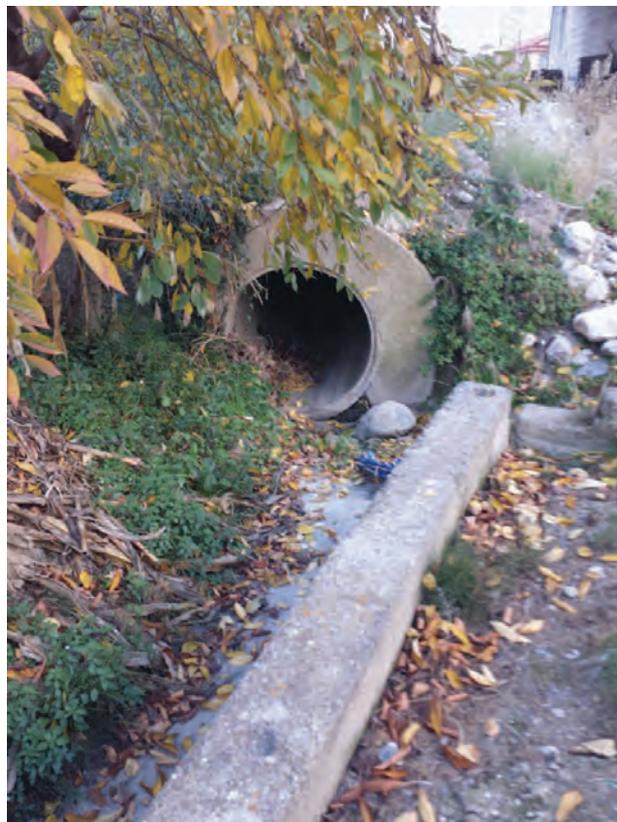


Figura 2.11 Sezione limitante del rio Avarena: tubo di attraversamento del rilevato della SS1 (sullo sfondo).



Figura 2.12 Esempi di tipologie dei fossi di drenaggio presenti all'interno dell'area A e collettanti verso il rio Avarena (fotografie 38, 64, 68 in planimetria di Figura 2.9).

3 Dati topografici e rilievo a terra

Per l'esecuzione dello studio idraulico si è reso necessario reperire le quote del terreno nell'area di interesse nonché le geometrie dei principali fossi di drenaggio recapitanti le acque di pioggia verso il rio Avarena.

Per quanto riguarda le quote del terreno, con il fine di poter realizzare un modello idraulico bidimensionale, è stato richiesto al Comune di Albenga di reperire il LIDAR Ministeriale a copertura dell'area golenale in destra Centa.

Tale informazione topografica deriva da una campagna di rilievi aerofotogrammetrici con strumentazione laser (Laser Imaging Detection and Ranging, LIDAR) eseguita negli anni tra il 2008 e il 2011 su committenza del Ministero dell'Ambiente e finalizzata alla restituzione di dati grigliati di altimetria ad altissima risoluzione (1x1m e/o 2x2m) sull'intera fascia costiera nazionale e su una porzione delle zone interne.

La Figura 3.1 rappresenta il LIDAR ritagliato sull'area di interesse: al centro è possibile notare l'alveo inciso del fiume Centa.

Per quanto riguarda l'acquisizione delle geometrie dei fossi si è provveduto ad un rilievo classico a terra che ha restituito una trentina di sezioni, così come illustrato in Figura 3.2.

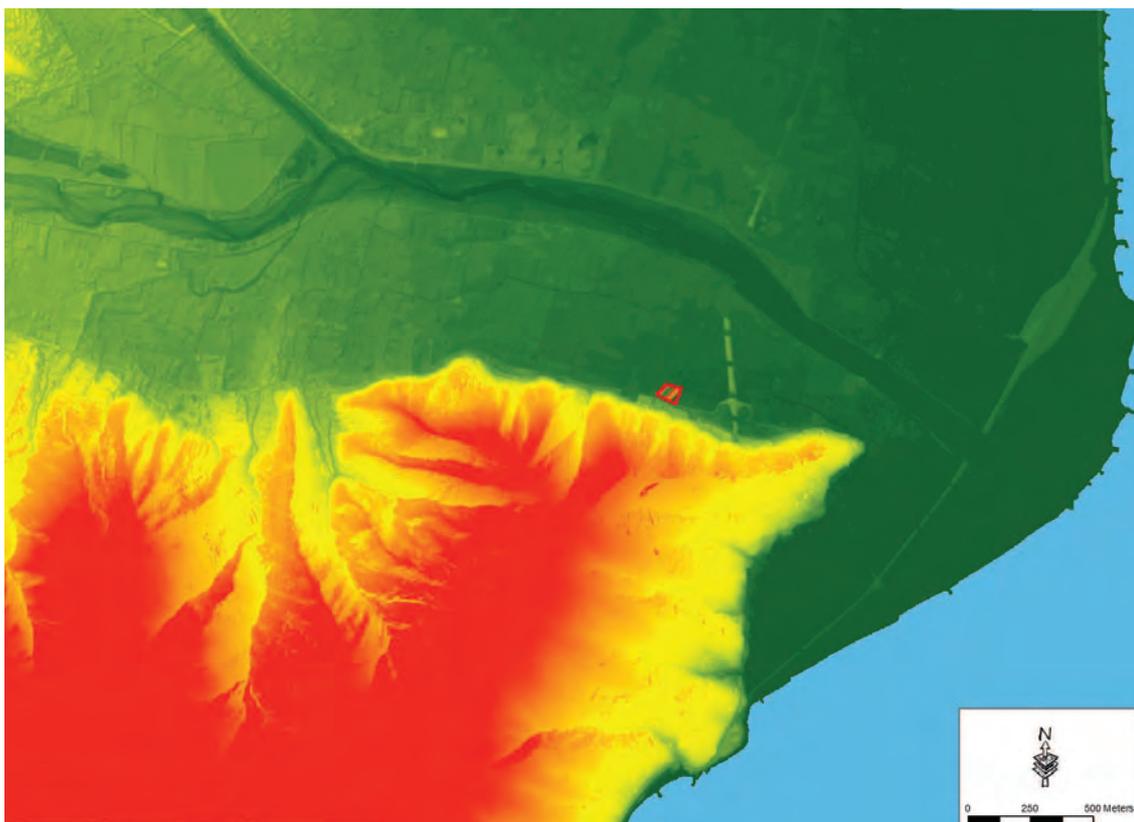


Figura 3.1 LIDAR Ministeriale a maglia 1x1 utilizzato come informazione topografica di dettaglio su tutta l'area di studio. A monte della strada SS1 si nota il mappale di interesse al presente studio.

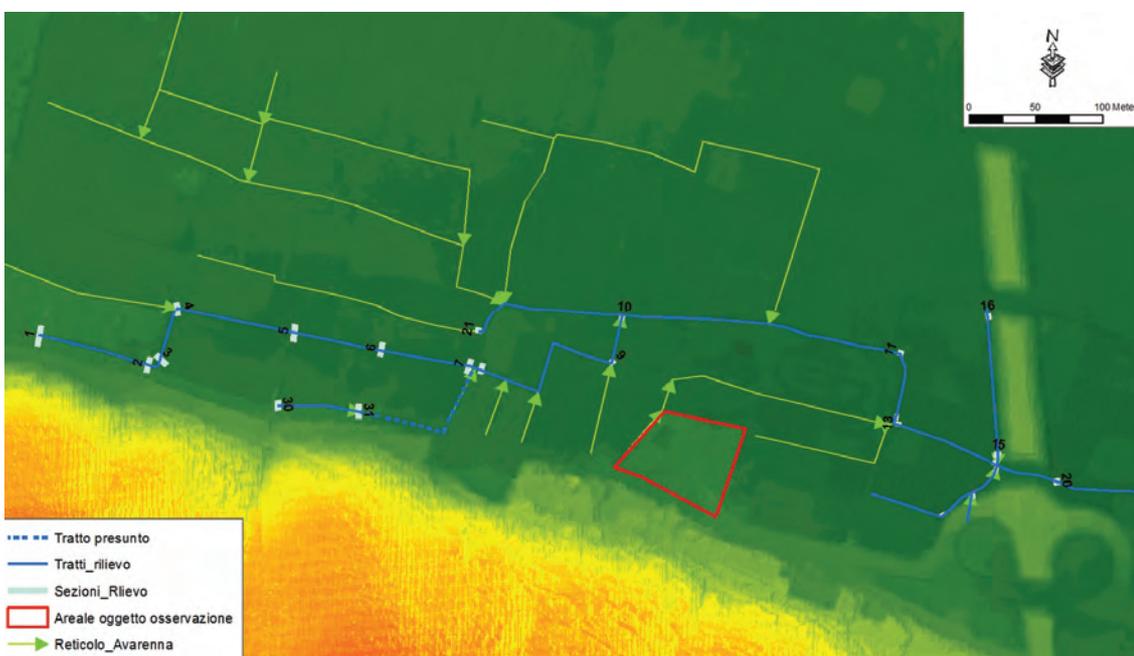


Figura 3.2 Individuazione planimetrica delle sezioni topografiche di rilievo lungo l'asse principale di drenaggio.

Per maggiori dettagli relativi al rilievo si rimanda alle specifiche tavole (planimetria e prospetti).

4 Definizione dei bacini e calcolo delle portate di piena

Il sopralluogo in campo ed il successivo rilievo hanno permesso non solo di individuare il reticolo di drenaggio ma anche delimitare con sufficiente dettaglio l'estensione e i limiti dei singoli bacini contribuenti.

La delimitazione è stata effettuata in funzione delle caratteristiche altimetriche e di uso suolo delle varie porzioni di territorio oggetto di studio, ed in particolare:

- utilizzo del LIDAR a maglia 1 metro per la delimitazione dei bacini nell'area collinare a sud;
- caratteristiche del reticolo di drenaggio, interferenze indotte dalla tipologia di uso suolo (edifici, strade, serre e rispettivi punti di recapito delle acque di pioggia, campi aperti e relativa posizione dei fossi di guardia) nel resto dell'area, con altimetria prevalentemente pianeggiante.

La classificazione ha portato all'individuazione di 21 bacini, ognuno dei quali scolante su uno specifico tratto o sezione del reticolo di drenaggio. La Figura 4.1 riporta la suddivisione dell'area di studio in sottobacini.

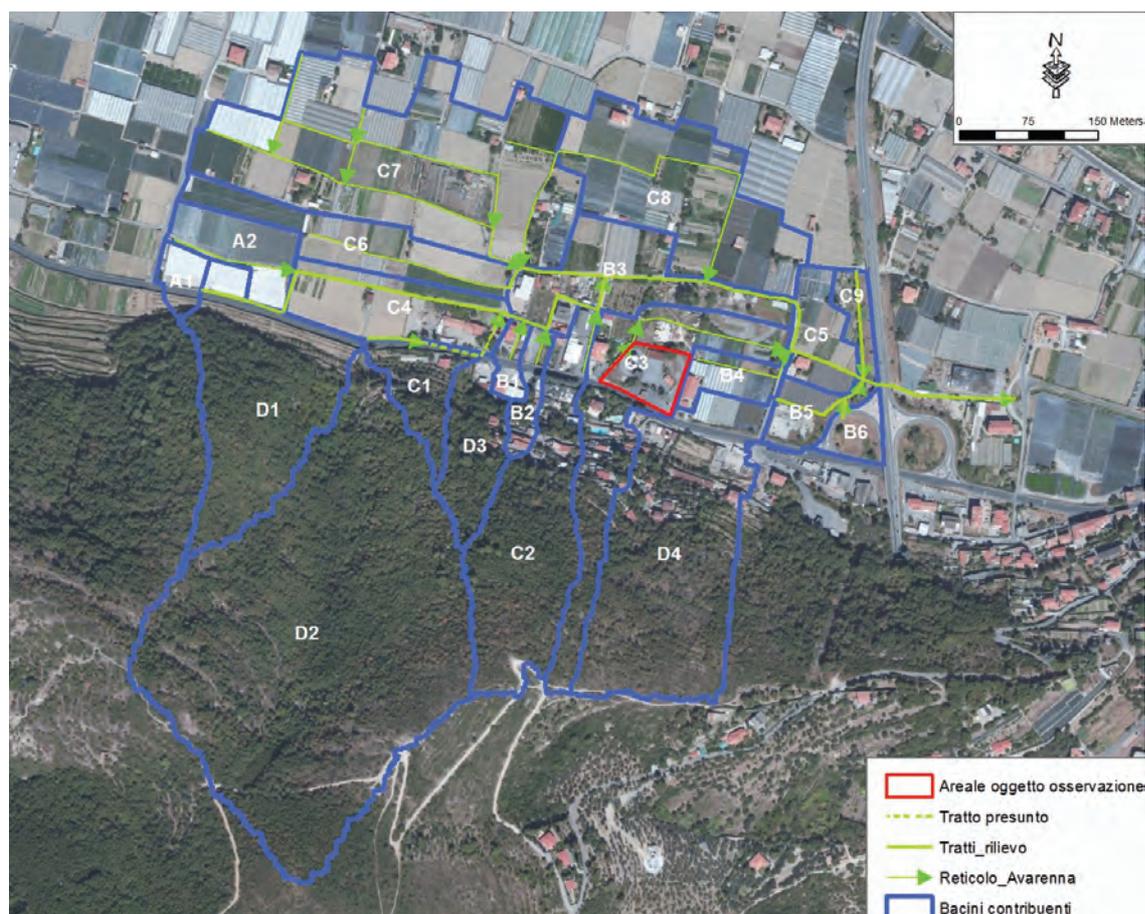


Figura 4.1 Individuazione dei singoli bacini contribuenti al reticolo di drenaggio a monte della SS1.

Ciascun bacino è stato codificato con un numero progressivo ed una lettera la quale fa riferimento alla classificazione dei bacini regionali per la stima del valore del coefficiente CN (Curve Number), riportata nella seguente tabella.

Tabella 4.1 Classificazione dei bacini regionali per la stima del CN (fonte Piano di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico).

tipo	Descrizione	CN
A	Bacini di tipo residenziale, industriale o commerciale caratterizzati da un elevato grado di urbanizzazione. Estensione delle aree impermeabili superiore al 60%.	92
B	Bacini caratterizzati da un medio grado di urbanizzazione. Estensione delle aree impermeabili compresa fra 30% e 60%.	87
C	Bacini caratterizzati da un basso grado di urbanizzazione. Estensione delle aree impermeabili compresa fra 5% e 30%.	75
D	Bacini caratterizzati da estesa copertura arborea. Estensione delle aree impermeabili inferiore al 5%.	67

L'area oggetto di studio è prevalentemente caratterizzata da un modesto grado di impermeabilizzazione dovuto esclusivamente a singole serre, abitazioni isolate e strade di collegamento. La maggior parte del territorio è coperta da vegetazione (versanti a ovest) o ad uso agricolo (coltivazioni in terra).

Per quanto riguarda la definizione delle curve pluviometriche e delle portate di piena per differente tempo di ritorno si è fatto riferimento a quanto riportato nel Piano di Bacino vigente.

In particolare per la determinazione delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica si è utilizzata l'espressione

$$h(d, T) = K_T \cdot E[H1] \cdot d^{0,39}$$

con

d = durata in ore;

K_T = moltiplicatore funzione del tempo di ritorno riportato in Tabella 4.2;

$E[H1]$ = parametro pioggia indice, che in funzione della longitudine del sito assume il valore di 37.4 mm.

Tabella 4.2 Valore del parametro moltiplicatore funzione del periodo di ritorno T (fonte PdB vigente).

T [anni]	K_T
30	1.88
50	2.10
100	2.43
200	2.78
500	3.28

La Figura 4.2 riporta le curve di possibilità pluviometrica calcolate, a partire dai valori precedentemente indicati, per i tre tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

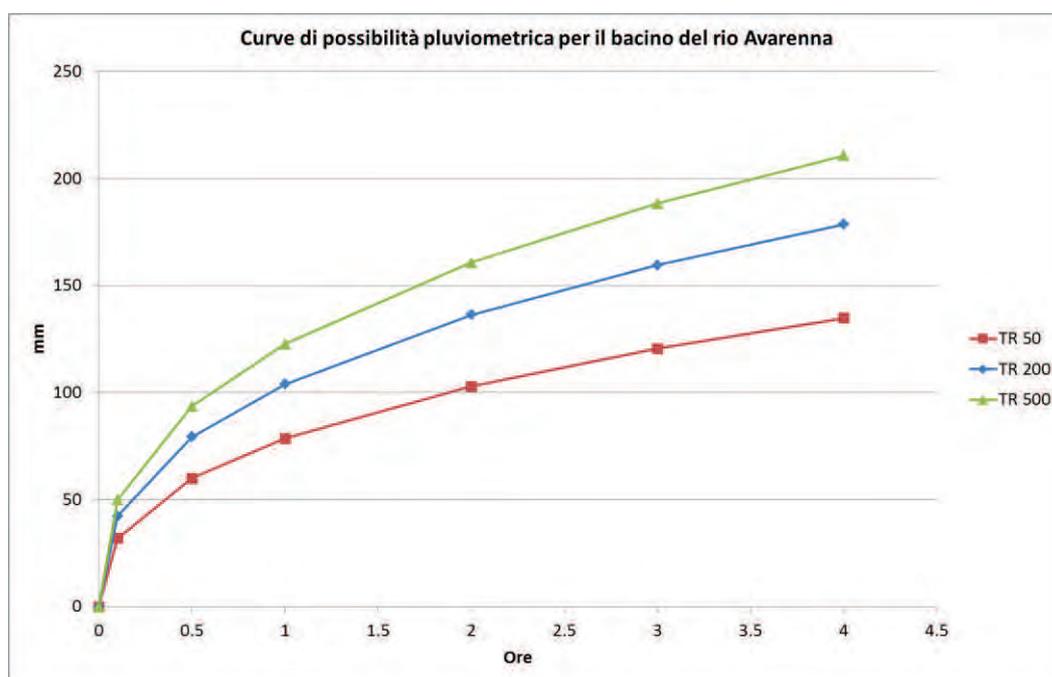


Figura 4.2 Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica per il bacino del rio Avarena.

Per quanto riguarda le portate di piena, si è fatto riferimento alla metodologia suggerita nel Piano di Bacino per bacini con area inferiore ai 2 km² (CIMA 1999). In questo caso la portata al colmo (m³/s) viene calcolata a partire dalla formula

$$Q_T = K_T \cdot A \cdot U_{A=2}$$

con

A = area del bacino in km²;

K_T = fattore di frequenza delle portate riportato in Tabella 4.3;

U_{A=2} = contributo unitario per un'area pari a 2 km² riportato in Tabella 4.4, funzione dell'uso del suolo e della posizione del bacino; l'area di interesse è ubicata alla coordinata 8° 12'.

Tabella 4.3 Valore del fattore di frequenza funzione del periodo di ritorno T (fonte PdB vigente).

T [anni]	5	10	30	50	100	200	500
K _T	1.29	1.79	2.90	3.47	4.25	5.02	6.04

Tabella 4.4 Contributo unitario in funzione del tipo di bacino e della sua posizione.

Longitudine		Bacino Tipo			
Gradi	primi	A	B	C	D
8	5	8.14	6.80	5.20	4.57
8	7.5	8.27	6.90	5.28	4.64
8	10	8.39	7.00	5.36	4.70
8	12.5	8.51	7.10	5.43	4.77
8	15	8.62	7.20	5.51	4.84

La Tabella 4.5 riporta l'elenco dei bacini, la rispettiva area drenata, i parametri per il calcolo del tempo di corrivazione, il tempo di corrivazione stesso (calcolato e assunto) e i valori di portata al colmo per differente tempo di ritorno.

Tabella 4.5 Bacini contribuenti: portate al colmo per differente tempo di ritorno.

Codice	Area	CN	L	iv	T.Corr.(min.)				Portata (m ³ /s)		
Bacino	km ²	(-)	(m)	%	SCS	VAPI	Media	Assunto	TR50	TR200	TR500
A1	0.004	92	67.00	0.3	10	15	13	15	0.13	0.18	0.22
A2	0.009	92	145.00	0.3	19	16	18	15	0.26	0.37	0.45
B1	0.003	87	115	3.0	6	14	10	15	0.06	0.09	0.11
B2	0.004	87	195	7.0	6	15	10	15	0.09	0.13	0.16
B3	0.019	87	330	0.3	46	18	32	30	0.47	0.67	0.81
B4	0.005	87	180	1.1	15	15	15	15	0.13	0.19	0.22
B5	0.005	87	170	6.0	6	15	11	15	0.13	0.19	0.23
B6	0.004	87	75	4.0	4	15	9	15	0.09	0.13	0.16
C1	0.008	75	250	11.0	9	16	12	15	0.16	0.23	0.27
C2	0.032	75	570	21.0	13	19	16	15	0.60	0.87	1.04
C3	0.028	75	643	12.0	18	19	19	15	0.53	0.77	0.93
C4	0.016	75	480	2.0	35	17	26	30	0.30	0.43	0.51
C5	0.008	75	180	3.0	13	16	14	15	0.14	0.21	0.25
C6	0.015	75	345	0.5	54	17	36	30	0.28	0.41	0.49
C7	0.060	75	450	0.4	75	22	49	60	1.13	1.64	1.97
C8	0.032	75	390	0.3	77	19	48	60	0.60	0.87	1.04
C9	0.004	75	140	0.3	34	15	24	30	0.07	0.10	0.12
D1	0.033	67	425	20.0	13	20	16	15	0.54	0.78	0.94
D2	0.118	67	705	23.0	18	26	22	30	1.95	2.82	3.39
D3	0.011	67	300	11.0	13	16	15	15	0.18	0.26	0.31
D4	0.047	67	550	20.0	16	21	18	15	0.77	1.12	1.35
media	0.022	-	319	7.0	24	17	21	-	-	-	-
TOTALE	0.46	73	1500	17	32	41		36	9	12	15
Rio Avarenna (PdB)	1.00	75	-	-	-	-		-	19	27	33

Il calcolo del tempo di corrivazione è in questo caso esclusivamente funzionale alla costruzione di un idrogramma di portata, condizione al contorno per le verifiche idrauliche in moto vario di cui ai successivi capitoli.

Per quanto riguarda la formulazione utilizzata, si è fatto riferimento, per omogeneità di applicazione dal momento che la formula per il calcolo della portata al colmo si basa sui valori del coefficiente CN, a quella del metodo SCS, tra l'altro particolarmente idonea anche per bacini di ridotte dimensioni:

$$tc = \frac{100 L^{0,8} \left(\frac{1.000}{CN} - 9 \right)^{0,7}}{1.900 i_v^{0,5}}$$

con L lunghezza dell'asta principale in piedi e i_v pendenza dei versanti in %.

A questa, a titolo di confronto, è stata affiancata la formula VAPI modificata:

$$t_c = 0.2 + 0.27\sqrt{S}$$

con S superficie dei bacini in Km². Si fa notare come le due formulazioni utilizzino un approccio del tutto differente, la prima basata su lunghezza dell'asta, pendenza e tipologia del bacino, la seconda esclusivamente sull'area.

I singoli sottobacini presentano valori del tempo di corrivazione molto variabili: questo aspetto è collegato alla forte variazione delle caratteristiche degli stessi, in particolare in termine di dimensione e pendenza media. Tuttavia, si possono osservare tre categorie principali, con tempo di corrivazione pari rispettivamente a 15, 30 e 60 minuti.

Al fine di considerare un evento di piena critico per tutti i sottobacini individuati, si è proceduto con la costruzione di idrogrammi di piena strutturati nel seguente modo:

- portata massima per differente tempo di ritorno pari a quella definita applicando la formulazione del Piano di Bacino e riportata in Tabella 4.5;
- durata dell'evento di piena pari a due volte la durata critica per i bacini con tempo di corrivazione maggiore, e quindi pari a 120 minuti;
- tempo di picco pari al tempo di corrivazione delle singole classi di bacini (15, 30 e 60 minuti).

Il risultato ottenuto è una serie di idrogrammi a forma trapezoidale, per bacini con tempo di corrivazione di 15 e 30 minuti, e triangolare, per i bacini con tempo di corrivazione di 60 minuti.

L'impostazione scelta deriva dalla finalità di poter simulare un evento di piena critico per la tipologia di bacino oggetto di studio e al contempo garantire un sufficiente grado di cautela nella determinazione dei volumi di piena.

Nella tabella è inoltre riportata l'area complessiva contribuente e il relativo valore di portata al colmo: tale valore è da riferirsi alla sezione di attraversamento del rilevato della SS1, sezione di chiusura del presente studio. Per completezza nella tabella è stato anche indicato il relativo dato di area e portata indicata dal Piano di Bacino e facente riferimento all'intero bacino del rio Avarenna.

5 Ricostruzione dell'evento del novembre 2014

Il 15 novembre 2014, tra le ore 2 e le ore 13, l'area oggetto di studio è stata interessata da un significativo evento di precipitazione che ha causato diffusi allagamenti.

Le figure seguenti riportano due fotografie effettuate del geologo Roberto Macciò subito al termine dell'evento (rispettivamente alle ore 11, al termine dello scroscio più intenso, e alle ore 13).



Figura 5.1 Ubicazione delle foto degli allagamenti osservati a seguito dell'evento del novembre 2014: i triangoli rossi identificano i coni visivi, le linee gialle il reticolo di drenaggio e la linea rossa l'area Autodoria.



Figura 5.2 Foto degli allagamenti determinati dall'evento del novembre 2014 – Ex area go-kart ore 10:46.



Figura 5.3 Foto degli allagamenti determinati dall'evento del novembre 2014 – Adiacenze proprietà Autodoria ore 13:10.

Il dato di precipitazione registrato dalla rete pluviometrica Regionale è riportato nella Tabella 5.1: rispetto alle due stazioni più prossime alla zona di interesse è stato calcolato il dato medio; le due stazioni sono quelle di Isolabella (nei pressi dell'Autostrada A10, cumulata maggiore) e Molino Branca (nei pressi della SS1, prossimità al sito), come evidenziato nella figura seguente.



Figura 5.4 Posizione delle stazioni pluviometriche di riferimento per l'area oggetto di studio.

Tabella 5.1 Dati pluviometrici registrati nel corso dell'evento del 15 novembre 2014.

Orario	Isolabella	Molino Branca	Media
(-)	(mm)	(mm)	(mm)
00:00-01:00	0.8	1.8	1.3
01:00-02:00	3.8	3.4	3.6
02:00-03:00	12.4	6.0	9.2
03:00-04:00	13.8	6.4	10.1
04:00-05:00	19.6	15.8	17.7
05:00-06:00	15.2	16	15.6
06:00-07:00	40.0	31.0	35.5
07:00-08:00	15.8	2.2	9.0
08:00-09:00	14.4	17.4	15.9
09:00-10:00	28.0	16.8	22.4
10:00-11:00	20.2	7.4	13.8
11:00-12:00	4.2	4.2	4.2
12:00-13:00	6.2	6.4	6.3
13:00-14:00	6.6	4.8	5.7

Il dato di precipitazione cumulata è stato confrontato con le Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSP) del Piano di Bacino, con lo scopo di avere una valutazione qualitativa del tempo di ritorno dell'evento pluviometrico.

La figura seguente illustra tale confronto: dal momento che lo scroscio più violento (ore 6) è stato preceduto da un lungo periodo di precipitazione meno intensa ma continua, il confronto è stato effettuato considerando diversi orari di inizio dell'evento ed ottenendo quindi l'involuppo massimo per ogni durata di pioggia. In ogni caso la figura mostra come l'evento possa considerarsi per ogni ora sempre inferiore ad un tempo di ritorno indicativo di 20 anni, con condizioni però di elevato grado di imbibizione iniziale del terreno.

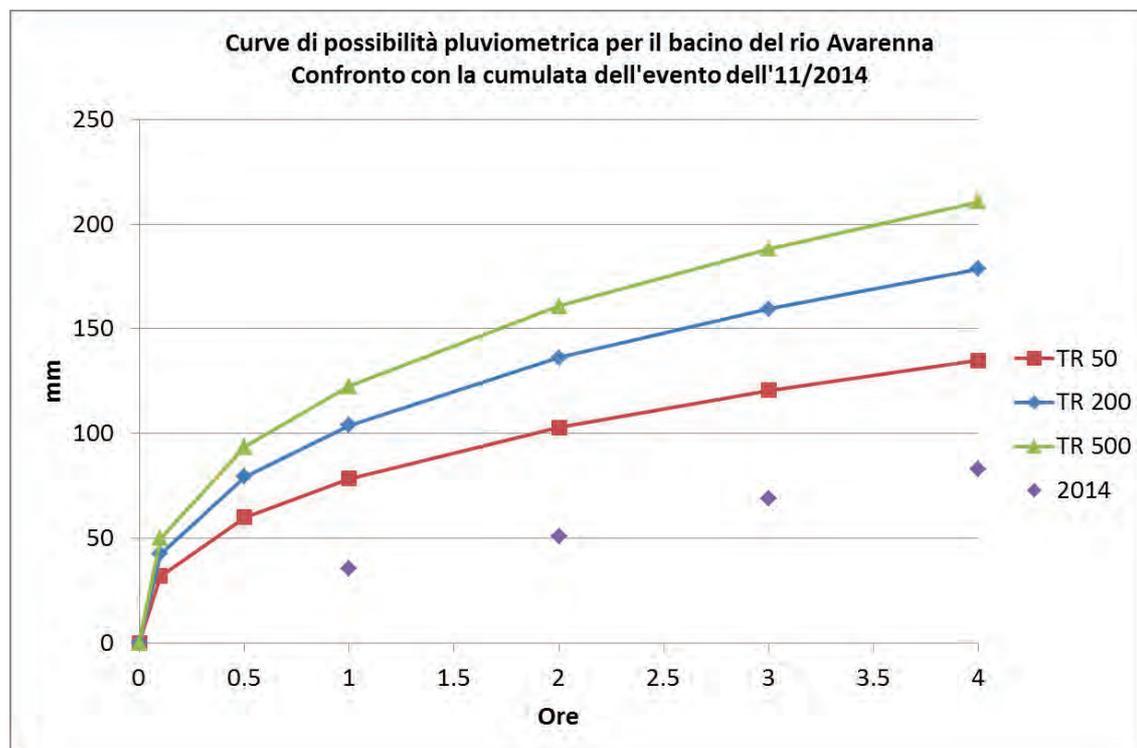


Figura 5.5 Confronto tra le LSP del Piano di Bacino per differente tempo di ritorno e la cumulata (massima oraria) dell'evento 2014.

I dati pluviometrici registrati sono stati utilizzati per la ricostruzione dell'evento mediante modellazione numerica bidimensionale: tale simulazione, realizzata mediante l'applicazione del modello numerico descritto in dettaglio nel paragrafo successivo, ha permesso di riprodurre gli allagamenti osservati ed è stata utilizzata come benchmarking qualitativo al fine di poter verificare la validità del modello di simulazione realizzato.

In particolare il modello di simulazione è stato condizionato calcolando la precipitazione netta a partire dai dati osservati ai pluviometri, ed applicandola direttamente come condizione al contorno distribuita sul dominio di calcolo (input diretto di pioggia sul dominio bidimensionale di calcolo).

La precipitazione netta è stata calcolata utilizzando, per uniformità con quanto fatto per il calcolo del tempo di corrivazione, la metodologia del SCS, dove il coefficiente di deflusso è funzione dell'afflusso meteorico (P in mm), ed in particolare:

$$C = \frac{(1 - 0.2 \cdot K)^2}{(1 + 0.8 \cdot K)}$$

con

$$K = \frac{S}{P}$$

ed S (mm), ritenzione potenziale pari a

$$S = 25.4 \cdot \left[\frac{1000}{CN} - 10 \right].$$

A partire quindi dai valori del CN riportati in Tabella 4.5 e dalla precipitazione P cumulata sull'evento, pari a 155 mm, è stato possibile calcolare per ogni bacino il valore della ritenzione potenziale ed il rispettivo coefficiente di deflusso; il valore medio sull'intera area di studio risulta pari a 0.61.

La Figura 5.6 riporta l'estensione degli allagamenti simulata dal modello numerico: l'immagine evidenzia le zone con un accumulo di acqua uguale o superiore a 10 cm.

E' interessante osservare come il modello riproduca con sufficiente precisione gli allagamenti evidenziati nelle foto precedenti; in particolare, così come indicato in planimetria dai tre cerchi in nero, si può osservare:

- l'area della ex pista go-kart con porzioni di terreno leggermente più elevate e non interessate dagli allagamenti così com'è possibile intravedere in Figura 5.3 (sullo sfondo dietro al pozzo in primo piano);
- il limite degli allagamenti attestato sullo spigolo nord-est dell'area di osservazione, in corrispondenza dell'antico pozzo di Figura 5.3;
- la differenziazione tra campo allagato e campo asciutto di Figura 5.2.

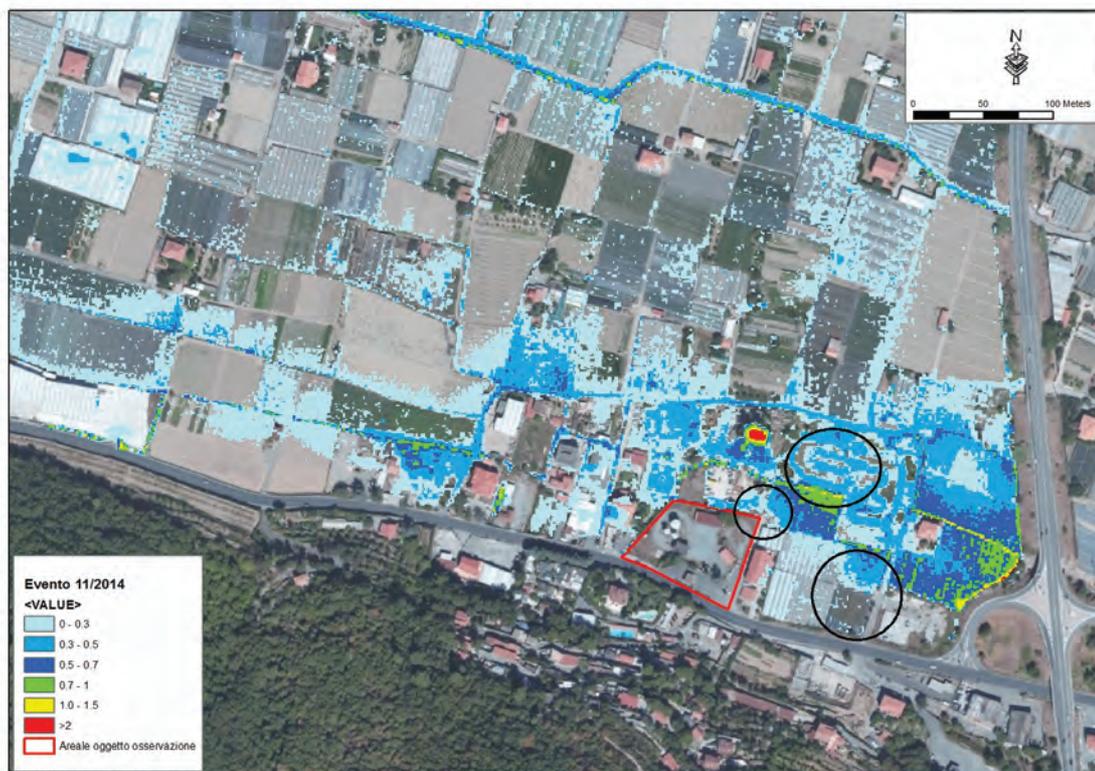


Figura 5.6 Allagamenti determinati dall'evento del novembre 2014 così come riprodotti dal modello di simulazione. In figura sono colorate le zone con accumuli pari o superiori a 10 cm.

In base alle osservazioni precedentemente riportate, ed in assenza di informazioni di maggiore dettaglio, il modello di simulazione può essere ritenuto qualitativamente calibrato.

6 Analisi idraulica

L'analisi idraulica è stata finalizzata alla determinazione delle aree allagabili per differente tempo di ritorno (50, 200 e 500 anni) in funzione delle portate al colmo definite dal Piano di Bacino e degli idrogrammi di portata ricostruiti nel corso del presente studio.

La verifica idraulica è stata eseguita utilizzando un modello numerico di simulazione bidimensionale, in particolare il codice di calcolo MIKE FLOOD del DHI.

6.1 Caratteristiche del modello di simulazione

Sui tratti studiati è stato messo a punto un modello idrodinamico basato sul codice di calcolo MIKE FLOOD di DHI. Tale modello combina dinamicamente l'approccio monodimensionale e quello bidimensionale.

Il reticolo di drenaggio è stato modellato con approccio monodimensionale attraverso l'inserimento delle sezioni trasversali disponibili.

I fossi sono stati poi collegati dinamicamente alle aree laterali inondabili, sia in sponda destra che in sponda sinistra, mediante speciali funzioni di MIKE FLOOD, nel rispetto delle reali quote di sponda. La modellazione accurata della dinamica di piena, effettuata con approccio bidimensionale, è stata estesa all'intera zona in esame, rappresentata mediante un modello del

terreno a celle quadrate, contenente gli edifici e tutte le strutture in grado di avere effetto nella propagazione della piena stessa sul territorio.

Il codice di calcolo MIKE FLOOD è uno strumento modellistico integrato che permette di accoppiare in maniera dinamica, attraverso un'interfaccia utente grafica, il codice monodimensionale MIKE 1D e quello bidimensionale MIKE 21 (per una descrizione sintetica dei quali si rimanda agli allegati A e B).

Il modulo consente di sfruttare al massimo le potenzialità di MIKE 1D e di MIKE 21, facendo intervenire nell'ambito di uno stesso modello l'uno o l'altro codice in funzione delle specifiche esigenze di rappresentazione geometrica e di simulazione necessarie: MIKE 1D per la simulazione monodimensionale di tratti incisi, MIKE 21 per il deflusso nelle aree golenali o di esondazione e di invaso coperte da un DTM.

MIKE FLOOD presenta le seguenti caratteristiche principali:

- MIKE 1D e MIKE 21 rimangono singoli codici indipendenti l'un l'altro nella messa a punto, nell'interfaccia grafica e nell'input-output;
- una specifica interfaccia grafica consente di definire i collegamenti reciproci e biunivoci di MIKE 1D e MIKE 21 per gli scambi di flusso e la congruenza dei livelli idrici di calcolo.

6.2 Schematizzazione della rete di drenaggio

Il sistema di canali di drenaggio descritto nel capitolo 2 è stato schematizzato utilizzando il codice di calcolo monodimensionale MIKE HYDRO River (risolutore MIKE 1D), evoluzione in ambiente GIS del noto MIKE 11.

A livello di simulazione idrodinamica sono stati schematizzati il rio Avarenna (evidenziato in azzurro nella figura seguente) e 6 fossi secondari (in nero in figura). Il tratto del rio Avarenna simulato parte in corrispondenza dell'effettivo inizio del fosso, subito a lato della strada provinciale e al piede del versante collinare, e termina a valle del rilevato della SS1, con l'ultimo tratto caratterizzato da un collettore circolare dal diametro di 1 metro.

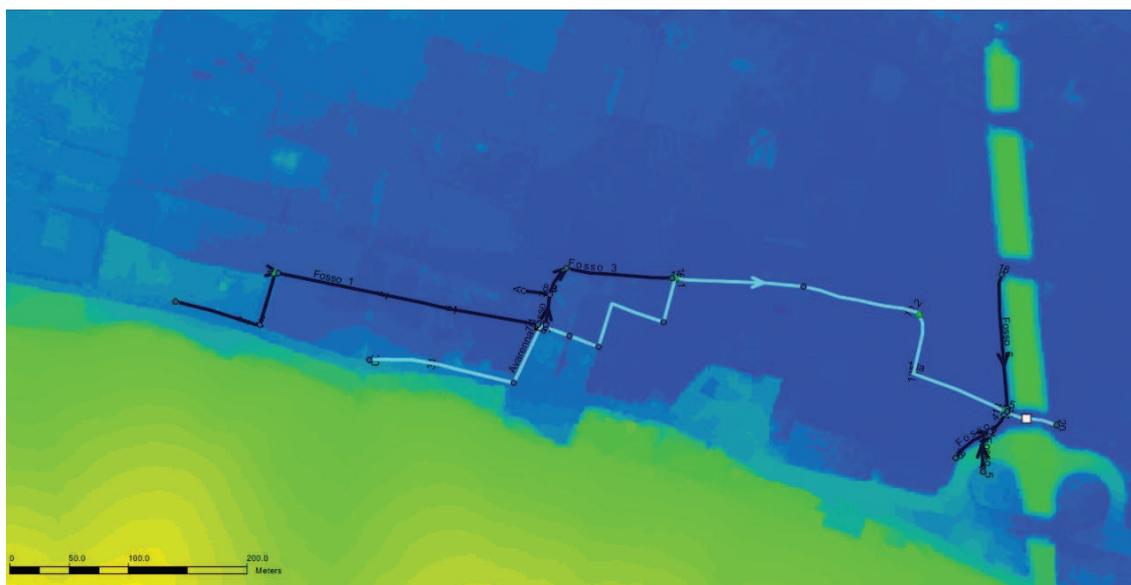


Figura 6.1 Planimetria del modello monodimensionale di schematizzazione del reticolo di drenaggio: in azzurro il rio Avarenna a monte del rilevato della SS1, in nero i fossi secondari ad esso confluenti.

I tratti indagati sono caratterizzati da una estrema varietà di tipologia di sezioni: canali in cemento di recente realizzazione, fossi in terra, collettori circolari, etc.

La geometria delle sezioni è stata ricavata da apposito rilievo topografico a terra, agganciato in quota al LIDAR ministeriale, come dettagliato nel paragrafo 3. Per la planimetria delle sezioni ed i prospetti si rimanda agli elaborati di rilievo. La Tabella 6.1 riporta l'elenco delle sezioni topografiche schematizzate all'interno del modello di simulazione del rio Avarenna, comprensive della rispettiva progressiva numerica.

Tabella 6.1 Elenco delle sezioni di calcolo del modello numerico del rio Avarenna: indicazione del codice sezione, della progressiva longitudinale all'interno del modello di simulazione e del tipo di sezione.

N.	Progr.	Fonte	Tipo
Sez.	(m)	dato	Sezione
30	0	Rilievo	Rett.Cemento
31	58	Rilievo	Rett.Cemento
31.1	60	Rilievo	Circ.Cemento
31.2	126	Interpol.	Circ.Cemento
8	185	Rilievo	Rett.Cemento
8.1	189	Rilievo	Rett.Cemento
8.2	206	Interpol.	Rett.Cemento
8.3	232	Interpol.	Rett.Cemento
8.4	317	Interpol.	Rett.Cemento
10	352	Rilievo	Rett.Cemento
10.1	356	Rilievo	Circ.Cemento
10.1 bis	464	Interpol.	Circ.Cemento
10.2	563	Rilievo	Circ.Cemento
11	565	Rilievo	Rett.Naturale
13a	616	Rilievo	Rett.Naturale
13b	622	Rilievo	Rett.Naturale
14	700	Rilievo	Rett.Naturale
20	746	Rilievo	Circ.Cemento

6.3 Schematizzazione del terreno

Le aree di possibile esondazione sono state schematizzate all'interno del modello di simulazione bidimensionale a partire dalle quote del terreno ricavate dal LIDAR a maglia 1x1 metri fornito dal Comune di Albenga.

Il modello così ottenuto rappresenta il territorio con un elevato grado di dettaglio, permettendo così una fedele riproduzione del fenomeno di propagazione delle acque di piena.

La figura seguente riporta la topografia utilizzata all'interno del codice di calcolo MIKE 21: le aree in rosso rappresentano la porzione di territorio esclusa dal calcolo perché a quote non raggiungibili dalle acque di esondazione (quota maggiore di 20 m s.m.).

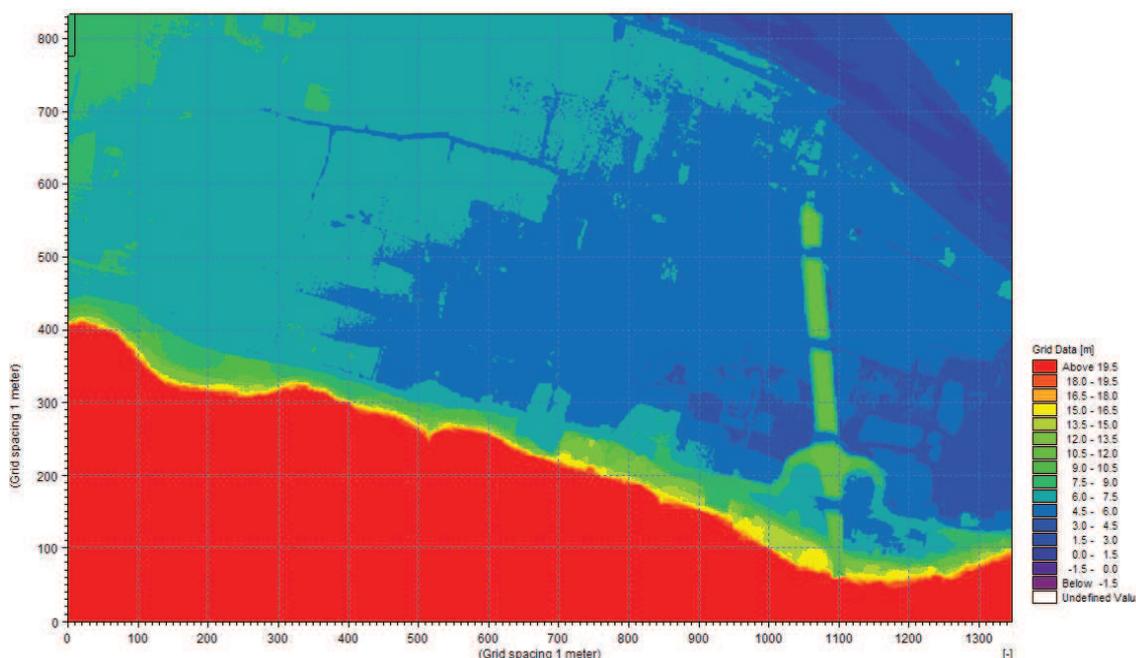


Figura 6.2 Topografia del territorio a maglia 1x1 metri così come inserita nel modello di simulazione: in rosso le aree escluse dal calcolo, in blu le aree più depresse (alveo del Centa).

6.4 Definizione delle scabrezze idrauliche

Per quanto riguarda i coefficienti di scabrezza idraulica, non essendo disponibili dati osservati utili per una possibile calibrazione del modello, si è fatto riferimento in prima battuta ai valori indicati dalle Norme di Piano di Bacino e riportati in Tabella 6.2.

Tabella 6.2 Scabrezze idrauliche suggerite nelle norme di Piano di Bacino.

Descrizione corso d'acqua	Coeff. di scabrezza di Gauckler-Strickler K_s ($m^{1/3}s^{-1}$)
Tratti di corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo	25-30
Corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo	30-35
Tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato	35-40
Corsi d'acqua con fondo ed argini totalmente cementati in ottimo stato ed assenza di manufatti (tubi, cavi, ecc.) o discontinuità interferenti con le acque	40-45

Il rio Avarena, ed i fossi ad esso confluenti, possono essere classificati, a seconda dei tratti, nella categoria 2 (valori tra 30 e 35 $m^{1/3}s^{-1}$) e nella categoria 3 (valori tra 35 e 40 $m^{1/3}s^{-1}$).

Tuttavia, nel presente studio, si è valutato necessario assumere una certa cautela nell'ambito dell'analisi idraulica del reticolo in questione, legata in particolar modo alle ridotte dimensioni delle sezioni di deflusso e al cattivo stato di manutenzione delle stesse.

In contesti più classici, per corsi d'acqua con sezioni ben definite, in caso di carenza di franco idraulico è buona prassi valutare un coefficiente di sicurezza che possa considerare tutte le incertezze legate all'analisi, ai dati di rilievo, alla stima dei parametri di calcolo; tale coefficiente

viene normalmente considerato valutando una possibile parzializzazione della sezione di deflusso.

Nel caso in esame, in conseguenza della ridotta altezza utile delle sezioni e dell'eterogeneità di forma e stato di manutenzione delle stesse, l'ipotesi di riduzione della sezione porterebbe o a considerare una minima riduzione di sezione (pochi cm) o a sovrastimare la possibile riduzione (sezione residua di deflusso estremamente ridotta).

Si è preferito quindi inglobare tale coefficiente di sicurezza nel valore di scabrezza assunto nella modellazione, forzando tale valore in funzione della tipologia di sezione e dello stato di manutenzione della stessa.

La tabella seguente riassume i valori assunti nell'ambito dell'analisi idraulica.

N. Sez.	Progr. (m)	Tipo Sezione	Condizioni Manutenzione	Scabrezza ($m^{1/3}s^{-1}$)
30	0	Rett.Cemento	Cattiva	20
31	58	Rett.Cemento	Cattiva	20
31.1	60	Circ.Cemento	Cattiva	20
31.2	126	Circ.Cemento	Cattiva	20
8	185	Rett.Cemento	Cattiva	20
8.1	189	Rett.Cemento	Cattiva	20
8.2	206	Rett.Cemento	Cattiva	20
8.3	232	Rett.Cemento	Cattiva	20
8.4	317	Rett.Cemento	Cattiva	20
10	352	Rett.Cemento	Cattiva	20
10.1	356	Circ.Cemento	Media	25
10.1 bis	464	Circ.Cemento	Media	25
10.2	563	Circ.Cemento	Media	25
11	565	Rett.Naturale	Cattiva	20
13a	616	Rett.Naturale	Cattiva	20
13b	622	Rett.Naturale	Cattiva	20
14	700	Rett.Naturale	Cattiva	20
20	746	Circ.Cemento	Buona	35

6.5 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno applicate al modello di simulazione sono essenzialmente di 2 tipologie:

- contributo di portata applicato in corrispondenza delle sezioni di chiusura dei bacini idrologici (puntuale o distribuito);
- condizione al contorno di valle sul rio Avarena in corrispondenza dell'ultima sezione di calcolo (a valle del rilevato della SS1).

A valle, in corrispondenza della sezione 20 a progressiva 746 metri (sezione di sbocco del collettore circolare), è stata applicata una scala di deflusso in moto uniforme; a questo riguardo occorre fare alcune considerazioni:

- 1) a valle del tratto in esame il rio Avarena presenta una sezione estremamente ampia frutto di specifici interventi di adeguamento idraulico; si possono quindi escludere effetti di rigurgito verso monte;
- 2) il rio Avarena a monte del rilevato della SS1 è idraulicamente svincolato dal tratto di valle dalla presenza di un collettore circolare di diametro 100 cm che determina una disconnessione geometrica ed idraulica tra l'area a monte della SS1 (sostanzialmente un fosso a cielo aperto con possibilità di esondazione su ampie aree agricole), dal tratto di valle (sezione di progetto del rio Avarena);

In funzione delle considerazioni sopra esposte si è pertanto osservato che la condizione al contorno imposta, seppur necessaria ai fini modellistici, non ha alcun effetto su estensione ed entità dei possibili allagamenti a monte della SS1.

Per quanto riguarda i contributi di portata proveniente da bacini idrologici, il capitolo 4 illustra la metodologia utilizzata per la definizione degli idrogrammi di portata.

L'allegato C riporta gli idrogrammi calcolati ed utilizzati nell'ambito della presente analisi idraulica.13

6.6 Risultati della modellazione

Il presente capitolo riassume ed illustra i risultati dell'analisi idraulica riportando tre diverse tipologie di informazioni per ogni tempo di ritorno indagato:

- le tabelle delle principali grandezze idrodinamiche per ciascuna sezione del rio Avarenna;
- il profilo longitudinale del rio Avarenna con l'indicazione delle quote massime del pelo libero;
- le mappe delle estensioni delle aree allagabili.

Tabella 6.3 Principali grandezze idrodinamiche calcolate dal modello di simulazione nel caso di evento con tempo di ritorno di 50 anni.

TR50							
N.	Progr.	Q. fondo	y	P.L.	Fr	v	H
Sez.	(m)	(m s.m.)	(m)	(m s.m.)	(-)	(m/s)	(m s.m.)
30	0	6.41	0.83	7.24	0.3	0.74	7.30
31	58	5.70	1.20	6.90	0.3	0.87	6.97
31.1	60	5.70	1.19	6.89	0.3	0.86	6.96
31.2	126	4.80	1.51	6.31	0.2	0.78	6.37
8	185	4.10	1.51	5.61	0.2	0.80	5.68
8.1	189	4.55	1.02	5.57	0.1	0.43	5.59
8.2	206	4.52	1.03	5.56	0.1	0.44	5.58
8.3	232	4.48	1.05	5.53	0.1	0.47	5.55
8.4	317	4.35	0.91	5.26	0.1	0.41	5.28
10	352	4.29	0.97	5.26	0.1	0.31	5.26
10.1	356	4.15	1.47	5.62	0.1	0.22	5.62
10.1 bis	464	3.90	1.80	5.70	0.1	0.49	5.72*
10.2	563	3.64	1.38	5.02	0.5	1.85	5.37
11	565	3.64	1.33	4.97	0.2	0.57	5.00
13a	616	3.62	1.35	4.97	0.1	0.45	4.99
13b	622	3.61	1.36	4.97	0.1	0.41	4.98
14	700	3.32	1.64	4.96	0.1	0.49	4.98
20	746	2.96	1.05	4.01	-	-	-

*I carichi non crescenti verso valle sono dovuti alla presenza di confluenze che apportano un contributo di portata maggiore a quello defluente nel collettore principale.

Tabella 6.4 Principali grandezze idrodinamiche calcolate dal modello di simulazione nel caso di evento con tempo di ritorno di 200 anni.

TR200							
N.	Progr.	Q. fondo	y	P.L.	Fr	v	H
Sez.	(m)	(m s.m.)	(m)	(m s.m.)	(-)	(m/s)	(m s.m.)
30	0	6.41	0.88	7.29	0.3	0.78	7.35
31	58	5.70	1.21	6.91	0.3	0.99	7.01
31.1	60	5.70	1.21	6.91	0.3	0.98	7.01
31.2	126	4.80	1.80	6.60	0.2	0.81	6.66
8	185	4.10	1.57	5.67	0.2	0.89	5.75
8.1	189	4.55	1.08	5.63	0.1	0.35	5.64
8.2	206	4.52	1.09	5.62	0.1	0.38	5.63
8.3	232	4.48	1.11	5.59	0.1	0.46	5.61
8.4	317	4.35	0.97	5.31	0.2	0.51	5.34
10	352	4.29	1.02	5.31	0.3	0.87	5.39
10.1	356	4.15	1.59	5.74	0.3	1.04	5.85
10.1 bis	464	3.90	2.04	5.94	0.1	0.55	5.97
10.2	563	3.64	1.64	5.28	0.6	2.51	5.93
11	565	3.64	1.55	5.19	0.2	0.61	5.23
13a	616	3.62	1.57	5.19	0.1	0.55	5.222
13b	622	3.61	1.58	5.19	0.1	0.46	5.214
14	700	3.32	1.87	5.19	0.1	0.51	5.212
20	746	2.96	1.13	4.09	-	-	-

*I carichi non crescenti verso valle sono dovuti alla presenza di confluenze che apportano un contributo di portata maggiore a quello defluente nel collettore principale.

Tabella 6.5 Principali grandezze idrodinamiche calcolate dal modello di simulazione nel caso di evento con tempo di ritorno di 500 anni.

TR500							
N.	Progr.	Q. fondo	y	P.L.	Fr	v	H
Sez.	(m)	(m s.m.)	(m)	(m s.m.)	(-)	(m/s)	(m s.m.)
30	0	6.41	0.90	7.31	0.3	0.78	7.37
31	58	5.70	1.22	6.92	0.3	1.08	7.04
31.1	60	5.70	1.22	6.92	0.3	1.04	7.03
31.2	126	4.80	1.96	6.76	0.2	0.81	6.82
8	185	4.10	1.60	5.70	0.2	0.94	5.79
8.1	189	4.55	1.11	5.66	0.1	0.34	5.67
8.2	206	4.52	1.12	5.64	0.1	0.37	5.66
8.3	232	4.48	1.13	5.62	0.1	0.46	5.64
8.4	317	4.35	1.00	5.34	0.3	0.99	5.44
10	352	4.29	1.06	5.35	0.3	0.89	5.43
10.1	356	4.15	1.66	5.81	0.4	1.43	6.02
10.1 bis	464	3.90	2.17	6.07	0.2	0.99	6.17
10.2	563	3.64	1.73	5.37	0.6	2.59	6.05
11	565	3.64	1.63	5.27	0.2	0.62	5.30
13a	616	3.62	1.65	5.27	0.1	0.59	5.30
13b	622	3.61	1.66	5.27	0.1	0.56	5.30
14	700	3.32	1.94	5.26	0.1	0.61	5.30
20	746	2.96	1.15	4.11	-	-	-

*I carichi non crescenti verso valle sono dovuti alla presenza di confluenze che apportano un contributo di portata maggiore a quello defluente nel collettore principale.

I profili, riportati in Figura 6.3, Figura 6.4 e Figura 6.5 riportano le seguenti informazioni:

- quota del fondo alveo;
- quota di sponda destra (linea nera continua);
- quota di sponda sinistra (linea nera tratteggiata);

- inviluppo delle massime quote del pelo libero (linea blu);
- codice identificativo delle sezioni;
- progressiva delle sezioni;
- valore numerico della massima quota del pelo libero.

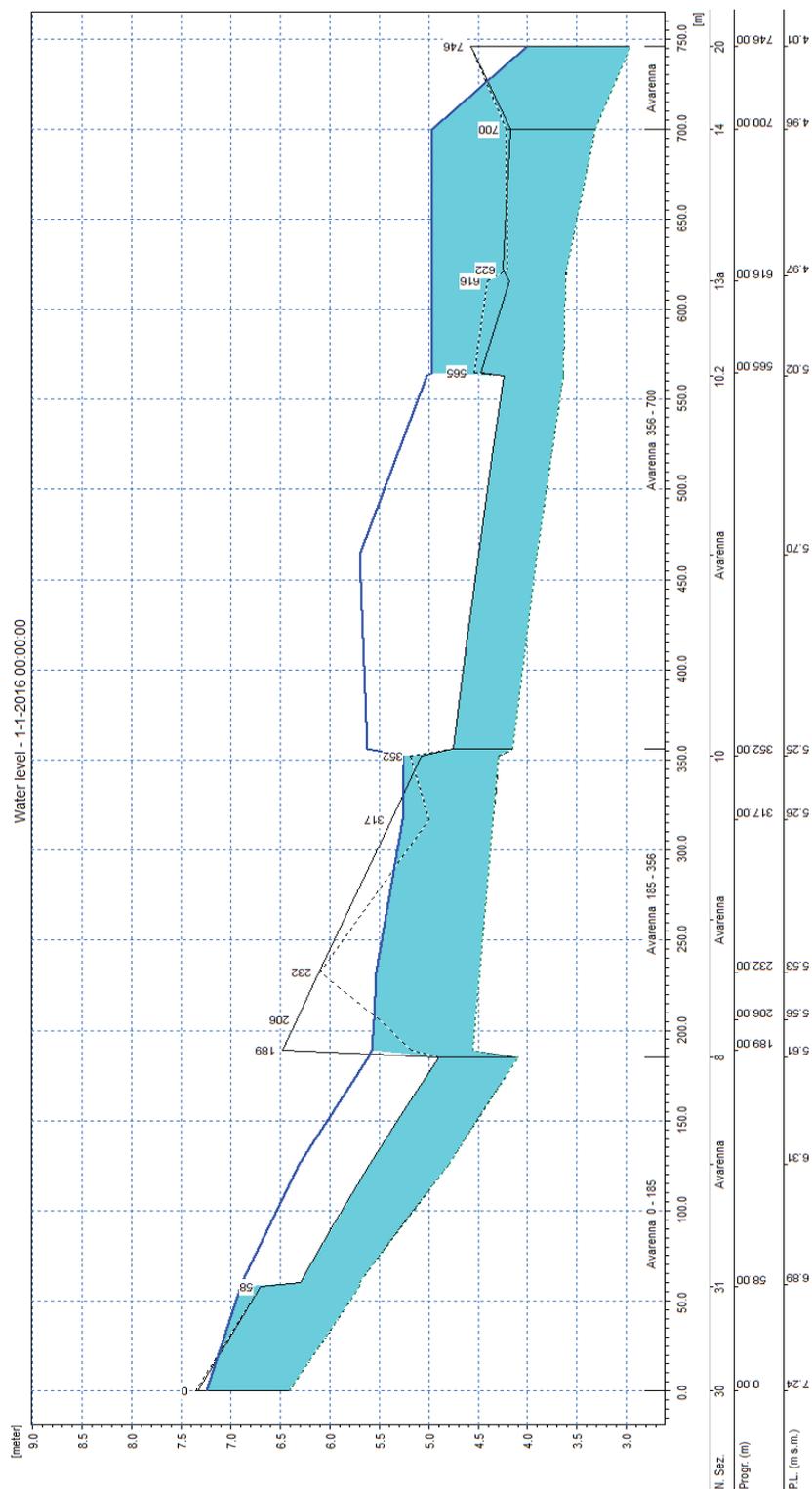


Figura 6.3 Profilo longitudinale del rio Avarena nel caso di un evento con tempo di ritorno di 50 anni.

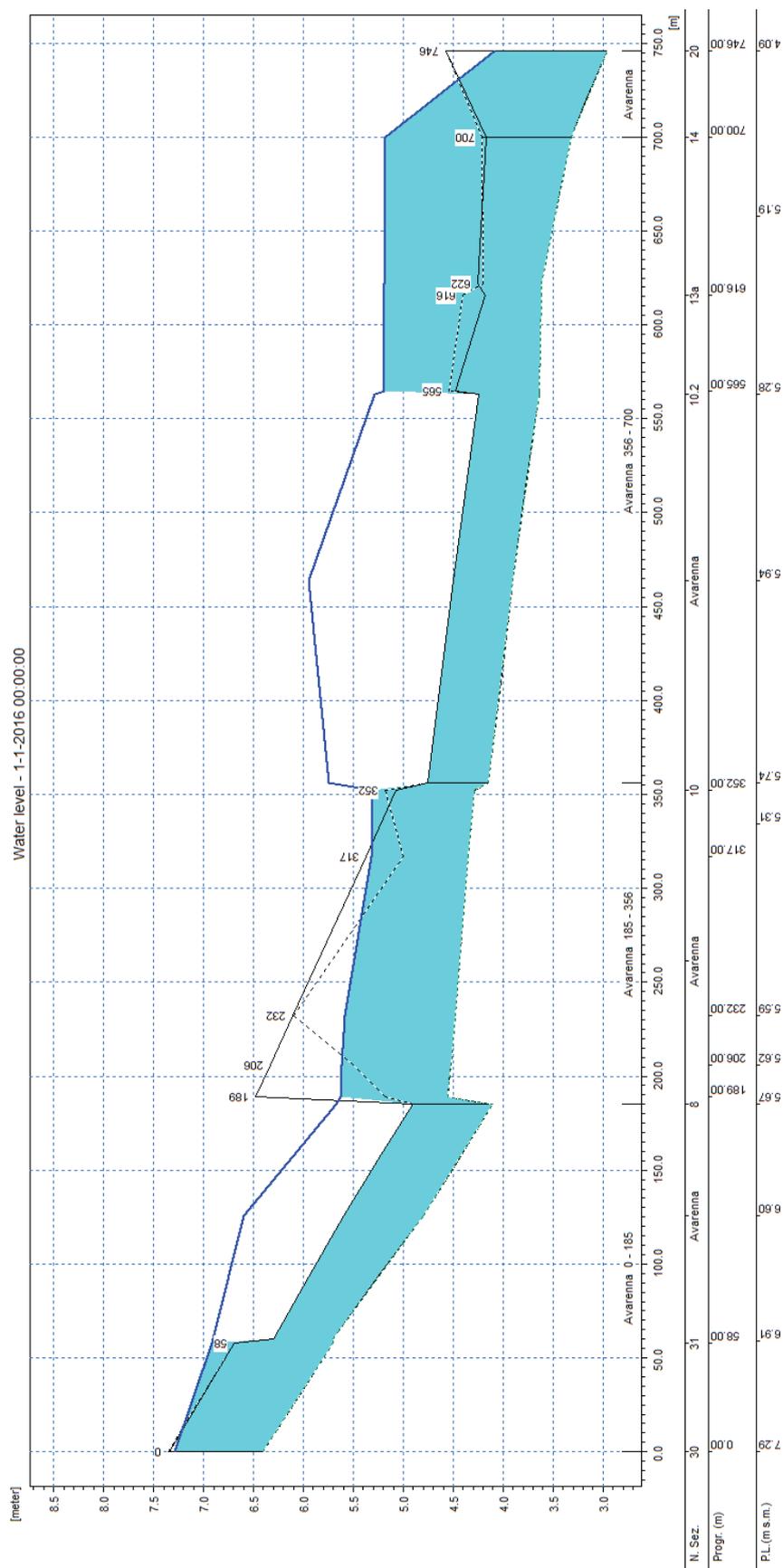


Figura 6.4 Profilo longitudinale del rio Avarena nel caso di un evento con tempo di ritorno di 200 anni.

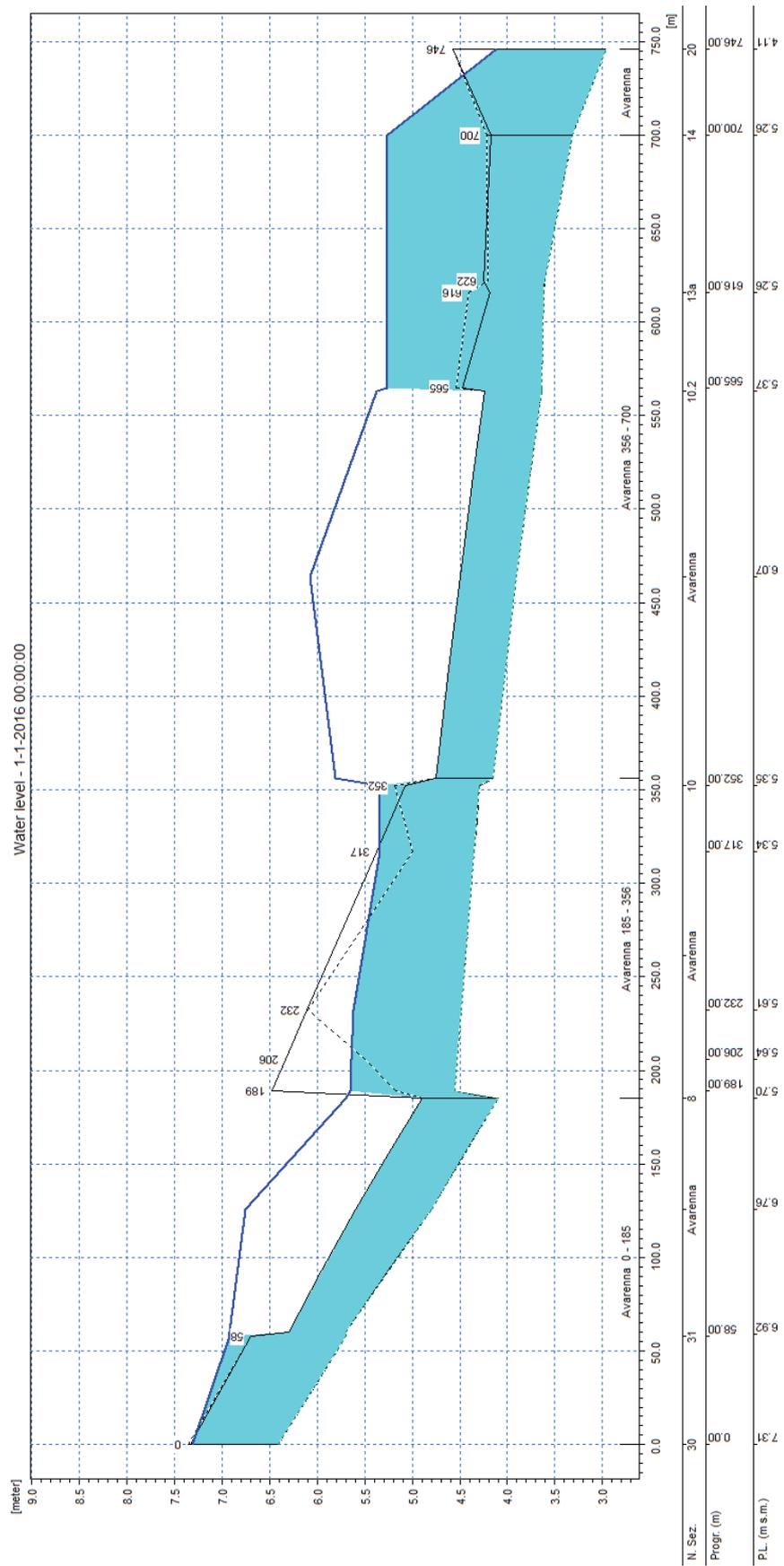


Figura 6.5 Profilo longitudinale del rio Avarena nel caso di un evento con tempo di ritorno di 500 anni.

Le figure seguenti illustrano infine in termini di massime altezze d'acqua, le estensioni degli allagamenti simulati dal modello per i tre diversi eventi di progetto (TR50, TR200, TR500). La rappresentazione dei tiranti è tagliata in corrispondenza del rilevato della SS1, limite est dell'area di interesse.

L'evento cinquantennale determina tiranti massimi dell'ordine di una decina di centimetri superiori rispetto a quanto evidenziato dalla riproduzione dell'evento di novembre 2014. La differenza tra evento cinquantennale e duecentennale, e tra evento con tempo di ritorno di 200 anni e 500 anni è rispettivamente pari in media indicativamente a 20 cm e 10 cm.

Il sito oggetto di interesse, evidenziato dal contorno rosso, risulta sempre non interessato dalle acque di piena.

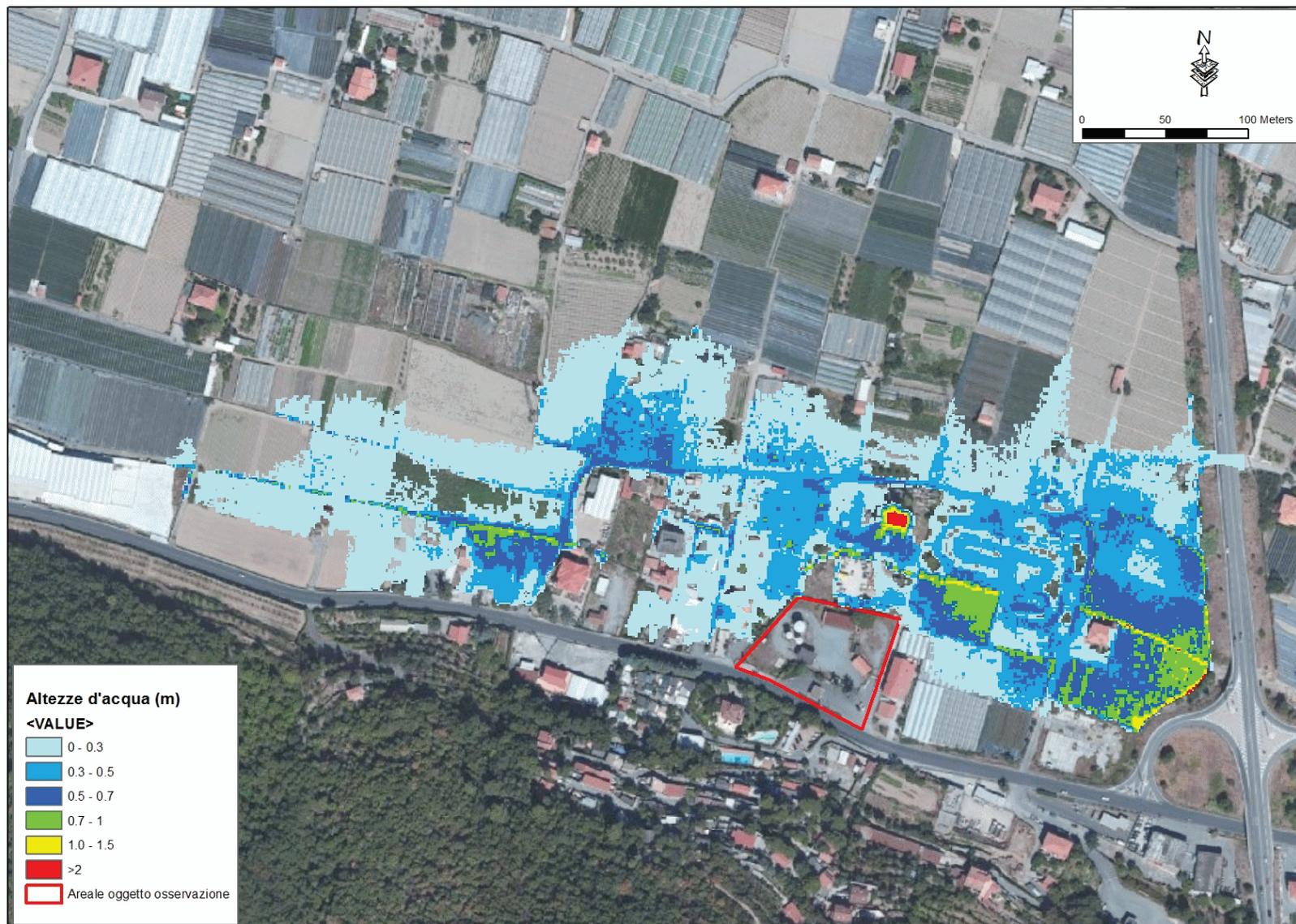


Figura 6.6 Estensioni degli allagamenti per evento con tempo di ritorno di 50 anni.

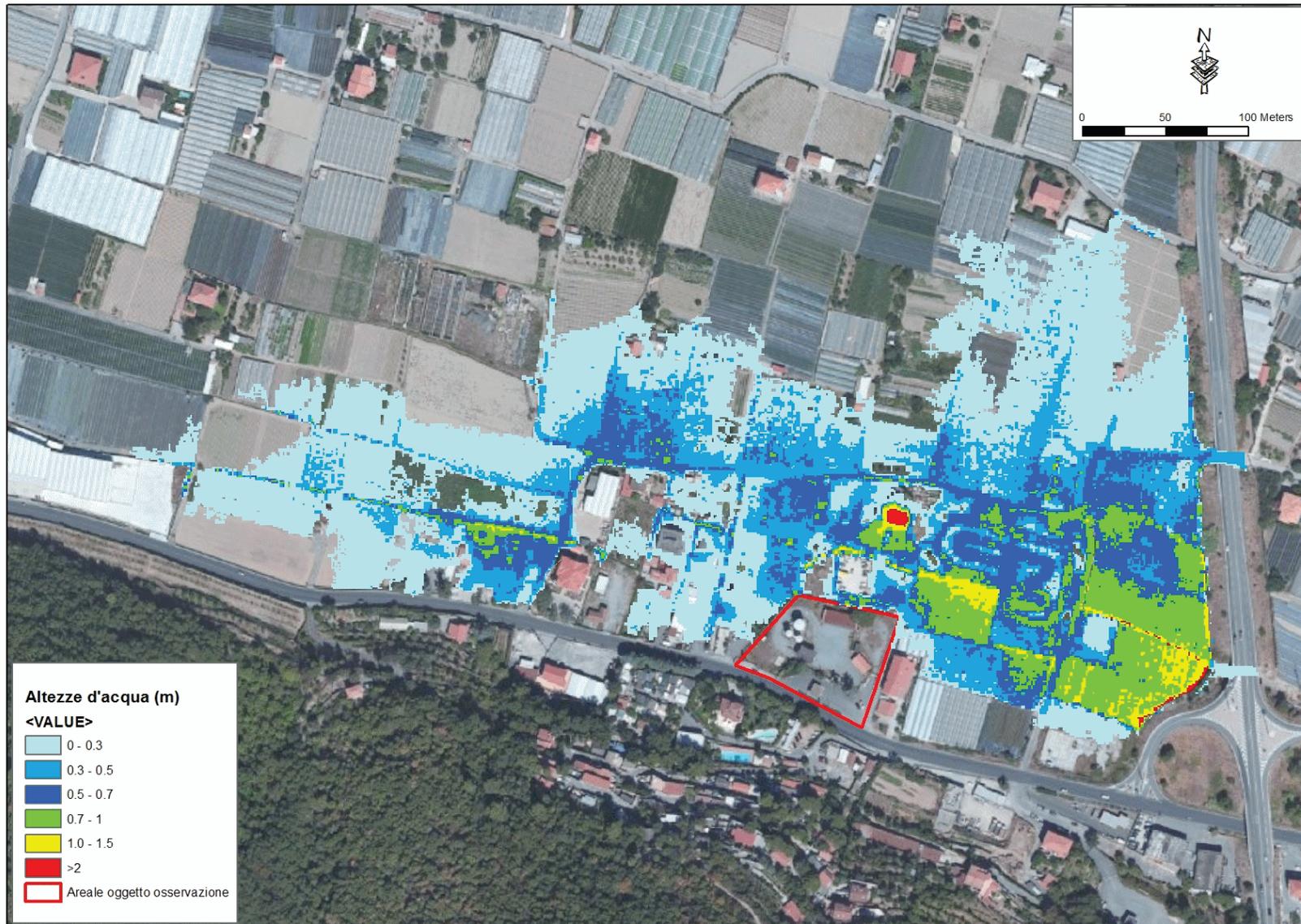


Figura 6.7 Estensioni degli allagamenti per evento con tempo di ritorno di 200 anni.

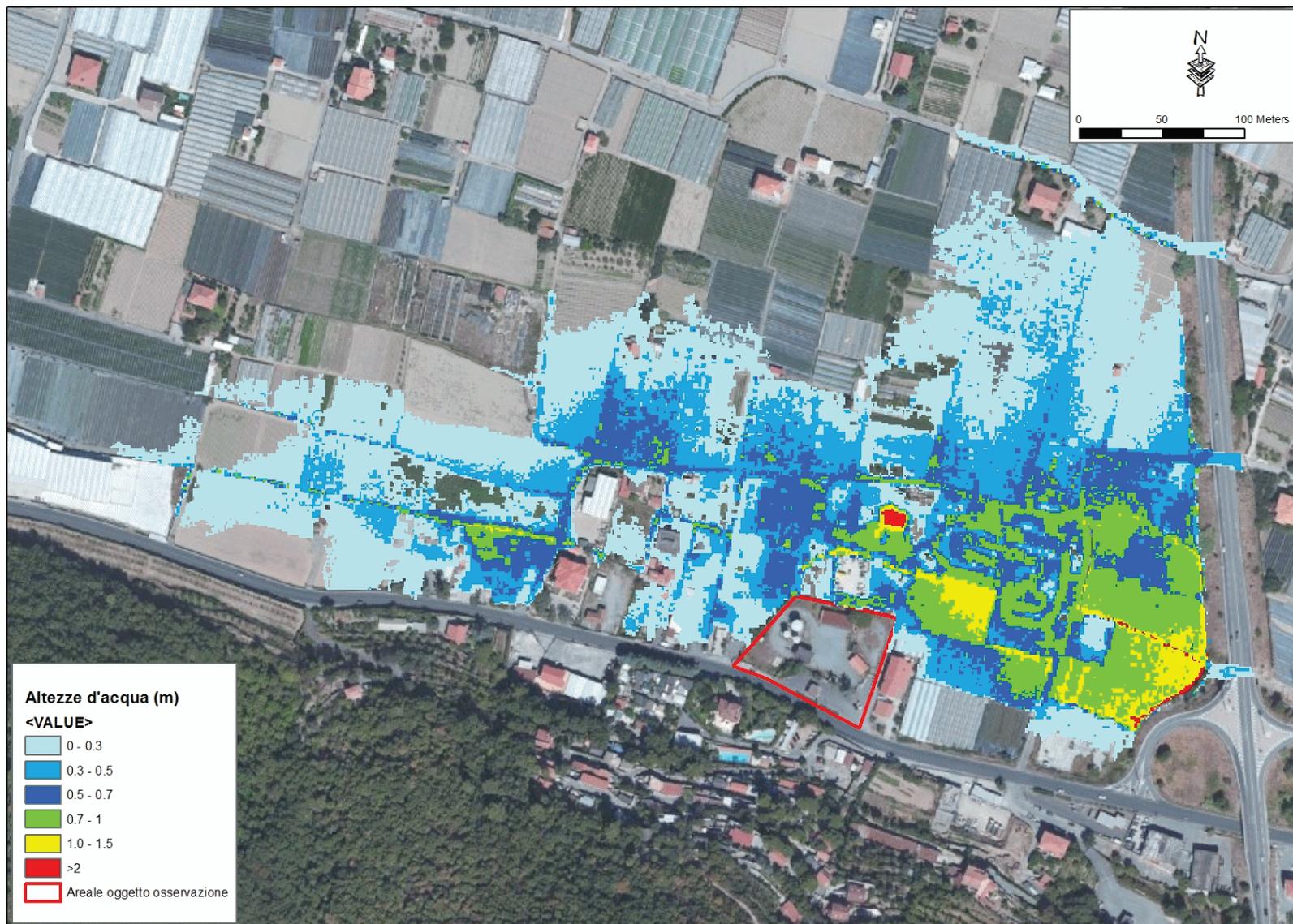


Figura 6.8 Estensioni degli allagamenti per evento con tempo di ritorno di 500 anni.