



**Finanziato  
dall'Unione europea**  
NextGenerationEU

*Presidenza del Consiglio dei Ministri*  
IL COMMISSARIO STRAORDINARIO ALLA RICOSTRUZIONE  
NEI TERRITORI DELLE REGIONI EMILIA-ROMAGNA, TOSCANA E MARCHE



COMUNE DI FANO

**PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI**  
COMMISSARIO STRAORDINARIO ALLA RICOSTRUZIONE NEL TERRITORIO DELLE REGIONI  
EMILIA-ROMAGNA, TOSCANA E MARCHE - ORDINANZA N.35/2024

**PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA**  
MISURE PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONE E PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO  
IDROGEOLOGICA - M2C4 INVESTIMENTO 2.1A

**MA-UBIS-000017** - SDOPPIAMENTO DELLA RETE FOGNARIA MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN  
IMPIANTO DI FOGNATURE ACQUE METEORICHE DEDICATO CHE RISOLVA ANCHE IL PROBLEMA  
DELL'ATTRAVERSAMENTO DELLA SEDE FERROVIARIA E DELLA STRADA NAZIONALE ADRIATICA SUD  
E REALIZZAZIONE DI UN CANALE DI GRONDA PER INTERCETTARE LE ACQUE DA MONTE - LOCALITÀ  
PONTESASSO

**CUI L00127440410202200040 - CUP E32E22000560006**

**FASE PROGETTUALE**  
**PROGETTO ESECUTIVO**

**OGGETTO**

Relazione idrologica ed idraulica

**ELABORATO**

PE-IDR-01-00

**COMMITTENTE:**

COMUNE DI FANO  
Via San Francesco d'Assisi,  
76 - 31032, FANO



Responsabile Unico del Progetto (RUP):  
Arch. Adriano Giangolini

**IMPRESA CAPOGRUPPO:**



**IMPRESE MANDANTI:**



**PROGETTISTA MANDANTARIO:**



**PROGETTISTI MANDANTI:**



ARC. TOMMASO ZANCA

**DATA:**  
DICEMBRE 2025

**SCALA:**  
/

REV.	DATA	OGGETTO	RED.	CONT.	APP.
0	14/10/2025	EMISSIONE	CM	CG	AF
1	15/12/2025	OPERE DI PRIMA ATTUAZIONE	CM	CG	AF
2	03/02/2026	ISTRUTTORIA OPERE DI PRIMA ATTUAZIONE	CM	AF	AF



## CONTENTS

1.	INTRODUZIONE .....	7
2.	INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	8
3.	INQUADRAMENTO PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO .....	9
4.	CRITICITA' DELLO STATO DI FATTO .....	13
5.	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO COMPLESSIVO .....	20
5.1.	Descrizione delle opere di prima attuazione oggetto del presente progetto.....	21
5.2.	Descrizione delle opere di seconda attuazione .....	24
6.	PREMESSE ALLA MODELLAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA .....	26
7.	ANALISI IDROLOGICA .....	27
7.1.	SINTESI STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO PFTE APPROVATO .....	29
7.1.1	ANALISI GEOMORFOLOGICHE.....	29
7.1.2	USO DEL SUOLO .....	33
7.1.3	COROGRAFIA DEI BACINI E DATI CARATTERISTICI.....	34
7.1.4	STIMA DELLE PRECIPITAZIONI DI PROGETTO .....	35
7.1.5	PORTATE DI PROGETTO – PICCO DI PIENA.....	37
7.1.6	PORTATE DI PROGETTO – IDROGRAMMA DI PIENA.....	43
7.2.	STIMA DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA PER L'AREA DRENANTE DI OVEST .....	47
8.	STUDIO IDRAULICO.....	49
8.1.	Modello idraulico – matematico (HEC-RAS) .....	49
8.1.1	Premessa .....	49
8.1.1.1	Dati di base per la descrizione geometrica .....	53
8.1.2	Modello Rio Crinaccio .....	54
8.1.2.1	Dati in input e condizioni al contorno .....	57
8.1.2.2	Risultati della modellazione .....	60
8.1.2.3	Profili idrici Ante e Post Operam a confronto a parità di Tempo di Ritorno. ....	63
8.1.2.4	Verifica dei franchi nelle opere di attraversamento.....	64
8.1.2.5	Sezioni idrauliche .....	66
8.1.2.6	Tabulati dei risultati .....	74
8.1.2.7	Conclusioni .....	77
8.1.3	Modello dimensionamento eventuale Sfiatore provvisorio.....	80
8.1.3.1	Dati in input e condizioni al contorno .....	81
8.1.3.2	Risultati della modellazione .....	83
8.1.3.3	Verifica dei franchi nelle opere di attraversamento.....	84
8.1.3.4	Idrogrammi di portata allo sfiatore .....	85
8.1.3.5	Sezioni idrauliche .....	86
8.1.3.6	Tabulati dei risultati .....	90



8.1.3.7	Planimetria indicativa della larghezza del pelo libero TR 200 anni.....	94
8.1.3.8	Conclusioni .....	95
8.1.4	<i>Modello Gronda di Valle</i> .....	96
8.1.4.1	Dati in input e condizioni al contorno.....	97
8.1.4.2	Risultati modello Gronda di valle Tratto da O al Mare (a valle della Cassa).....	100
8.1.4.3	Verifica dei franchi nelle opere di attraversamento.....	102
8.1.4.4	Sezioni idrauliche modello senza interrimento .....	103
8.1.4.5	Sezioni idrauliche modello con interrimento .....	105
8.1.4.6	Tabulati dei risultati Gronda di Valle Tratto O-mare senza interrimento .....	107
8.1.4.7	Tabulati dei risultati Gronda di Valle Tratto O-mare con interrimento .....	108
8.1.4.8	Conclusioni in merito alla Gronda Valle Tratto da O a mare.....	109
8.1.4.9	Risultati modello Gronda di valle Tratto da E a N' (a monte della Cassa).....	113
8.1.4.10	Verifica dei franchi nelle opere di attraversamento .....	113
8.1.4.11	Sezioni idrauliche.....	115
8.1.4.12	Tabulati .....	118
8.1.4.13	Conclusioni in merito alla Gronda Valle Tratto E-N'.....	120
9.	Verifica protezioni spondali.....	121

## INDEX OF FIGURES

FIG. 1–	INQUADRAMENTO DELL'AREA D'INTERVENTO .....	7
FIG. 2–	INQUADRAMENTO DELL'AREA SU BASE CTR, AREA DI INTERVENTO INDICATA IN ROSSO. ..	8
FIG. 3–	INQUADRAMENTO DELL'AREA SU BASE ORTOFOTO, AREA DI INTERVENTO INDICATA IN ROSSO .....	8
FIG. 4–	LIVELLI MARINI DA ASSUMERE COME CONDIZIONE DI VALLE – PAI 2004... ..	12
FIG. 5–	ATTRAVERSAMENTO DELLA STRADA COMUNALE A MONTE DELL'AUTOSTRADA ..	13
FIG. 6–	ATTRAVERSAMENTO DELL'AUTOSTRADA, SEZIONE DI MONTE E DI VALLE ..	14
FIG. 7–	ATTRAVERSAMENTO DI STRADA DI MEZZO A VALLE DELL'AUTOSTRADA....	14
FIG. 8–	INDIVIDUAZIONE OPERE ESISTENTI -VIA BELVEDERE-A14-VIA DI MEZZO ..	15
FIG. 9–	IL RIO CRINACCIO NEL TRATTO TRA L'AUTOSTRADA E LA STRADA STATALE ADRIATICA ..	15
FIG. 10–	FOTO DEL RIO CRINACCIO NELLA ZONA DEL DEPURATORE DI ATTRAVERSAMENTO SASSO, VISTA DA MONTE E DA VALLE.....	16
FIG. 11–	INDIVIDUAZIONE OPERE ESISTENTI -TRA VIA DI MEZZO E SS16 – UBICAZIONE DEPURATORE 16	
FIG. 12–	VISTA DELL'ATTRAVERSAMENTO DELLA STRADA SS16 ADRIATICA ..	17
FIG. 13–	VISTA DELL'ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO SUL RIO CRINACCIO .....	17
FIG. 14–	ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO AL KM 166+023 – VISTA DI MONTE -PIENA MAGGIO 2023.....	18
FIG. 15–	ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO AL KM 166+023 – VISTA DI VALLE – PIENA MAGGIO 2023 18	
FIG. 16–	TRACCIATO CANALE DI GRONDA E AREA CASSA DI ESPANSIONE .....	20
FIG. 17–	MODELLO DIGITALE DEL TERRENO DEL RIO CRINACCIO.....	30
FIG. 18 –	MAPPA DELL'ACCLIVITÀ DEL RIO CRINACCIO .....	30



FIG. 19 – ESTRATTO DELLA CARTA GEOLITOLOGICA D'ITALIA, 1:500'000 .....	31
FIG. 20 – MAPPA DEL RETICOLO IDROGRAFICO ED INDIVIDUAZIONE DEI BACINI DEL RIO CRINACCIO A MONTE E .....	31
FIG. 21 – FORMULE ADOTTATE ANALISI IDROLOGICA PER LA STIMA DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE DEL BACINO .....	32
FIG. 22–ESTRATTO DELLA MAPPA DELL'USO DEL SUOLO (LIVELLO 3, CORINE LAND COVER, ISPRA) DEL RIO CRINACCIO.....	33
FIG. 23–ESTRATTO DELLA MAPPA DELL'USO DEL SUOLO (LIVELLO 3, CORINE LAND COVER, ISPRA 34	
FIG. 24–PLUVIOMETRO DI FANO - CURVE DI POSSIBILITÀ CLIMATICA .....	36
FIG. 25–PLUVIOMETRO DI SENIGALLIA - CURVE DI POSSIBILITÀ CLIMATICA .....	36
FIG. 26–MAPPA DEL CN (III) RELATIVA AL BACINO DI STUDIO .....	41
FIG. 27–IDROGRAMMI STIMATI MODELLAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI PFTE APPROVATO	44
FIG. 28–PUNTI DI IMMISSIONE DEGLI IDROGRAMMI UTILIZZATI NELLE SIMULAZIONI	45
FIG. 29–IDROGRAMMI DAL PFTE APPROVATO STIMATI CON MODELLAZIONE IDRAULICA AFFLUSSI-DEFLUSSI .....	46
FIG. 30–STIMA PICCO DI PIENA DEI CANALI DI OVEST .....	48
FIG. 31–IDROGRAMMI PIENA DEI CANALI DI OVEST A SINISTRA TR 200 A DESTRA TR 50	48
FIG. 32–PLANIMETRIA DI PROGETTO DI SFIORATORE PROVVISORIO.....	51
FIG. 33– PLANIMETRIA DI PROGETTO DI SECONDA ATTUAZIONE.....	52
FIG. 34 – STRALCIO PLANIMETRIA DEI DATI DI BASE .....	53
FIG. 35 – GEOMETRIA MODELLO RIO CRINACCIO ANTE OPERAM.....	55
FIG. 36– GEOMETRIA MODELLO RIO CRINACCIO POST OPERAM SFIORATORE PROVVISORIO E SECONDA ATTUAZIONE.....	56
FIG. 37 – PORTATE E LIVELLI DEI TRE MODELLI DEL CRINACCIO INGRESSO SEZIONE DI MONTE (C2 DA RILIEVO) – TR 200 .....	58
FIG. 38 – PORTATE E LIVELLI DEI TRE MODELLI DEL CRINACCIO INGRESSO SEZIONE DI MONTE (C2 DA RILIEVO) – TR 50 .....	59
FIG. 39 –RIO CRINACCIO ANTE OPERAM TR 50 E 200 ANNI.....	60
FIG. 40 –RIO CRINACCIO POST OPERAM DI SECONDA ATTUAZIONE TR 50 E 200 ANNI	61
FIG. 41 – RIO CRINACCIO POST OPERAM DI SFIORATORE PROVVISORIO E TR 50 E 200 ANNI	62
FIG. 42 – ANTE E POST OPERAM DI SFIORATORE PROVVISORIO E SECONDA ATTUAZIONETR200	63
FIG. 43 –SEZIONI IDRAULICHE MODELLO ANTE OPERAM– TR 50 E TR200.....	68
FIG. 44 –SEZIONI IDRAULICHE MODELLO POST OPERAM SECONDA ATTUAZIONE – TR 50 E TR200 70	
FIG. 45 –SEZIONI IDRAULICHE MODELLO POST OPERAM SFIORATORE PROVVISORIO – TR 50 E TR200 73	
FIG. 46 –PLANIMETRIE CON LARGHEZZA DI ESONDAZIONE SULLE SEZIONI – SCENARIO ANTE OPERAM TR 200 .....	78
FIG. 47 – PLANIMETRIE CON LARGHEZZA DI ESONDAZIONE SULLE SEZIONI – SCENARIO POST OPERAM SECONDA ATTUAZIONE - TR 200 .....	79



FIG. 48 – SCHEMA DEL MODELLO RIO CRINACCIO E GRONDA DI VALLE CON SFIORATORE PROVVISORIO.....	81
FIG. 49 –IDROGRAMMI DI PIENA MODELLO SFIORATORE PROVVISORIO.....	82
FIG. 50 – POST OPERAM SFIORATORE PROVVISORIO TR 50 E TR 200.....	83
FIG. 51 – PORTATE ALLO SFIORATORE DI SFIORATORE PROVVISORIO - TR 200 ....	85
FIG. 52 – PORTATA E LIVELLO SEZIONE GRONDA A VALLE DELLO SFIORATORE- TR200	85
FIG. 53 – PORTATE ALLO SFIORATORE DI SFIORATORE PROVVISORIO - TR 50 .....	86
FIG. 54 – PORTATA E LIVELLO SEZIONE GRONDA A VALLE DELLO SFIORATORE- TR50	86
FIG. 55 –SEZIONI IDRAULICHE MODELLO POST OPERAM SFIORATORE PROVVISORIO – TR 50 E TR200	89
FIG. 56 – SCHEMA GEOMETRICO MODELLO HEC-RAS POST OPERAM SFIORATORE PROVVISORIO – _IN BLU LARGHEZZA PELO LIBERO DELLA TR 200 .....	94
FIG. 57 – VERIFICA OPERE DI PROGETTO DI PRIMA ATTUAZIONE CON FORZANTE IDROLOGICA FINALE	96
FIG. 58 – IDROGRAMMI DI PIENA ALLA SEZIONE DI MONTE .....	98
FIG. 59 – SCHEMA GEOMETRICO MODELLO HEC-RAS POST OPERAM SECONDA ATTUAZIONE – GRONDA DI VALLE TRATTO O-MARE .....	98
FIG. 60 – SCHEMA GEOMETRICO MODELLO HEC-RAS POST OPERAM SECONDA ATTUAZIONE – GRONDA DI VALLE TRATTO E-CASSA.....	99
FIG. 61 – GRONDA POST OPERAM SECONDA ATTUAZIONE – TRATTO O-MARE A VALLE DELLA CASSE- PORTATA TR 200 E 50 .....	100
FIG. 62 – GRONDA POST OPERAM SECONDA ATTUAZIONE – TRATTO O-MARE A VALLE DELLA CASSE- PORTATA TR 200 E 50 – CON INTERRAMENTO .....	101
FIG. 63 – SEZIONI IDRAULICHE MODELLO POST OPERAM SECONDA ATTUAZIONE-GRONDA DI VALLE TRATTO O-MARE – TR 50 E TR200.....	104
FIG. 64 – SEZIONI IDRAULICHE MODELLO POST OPERAM SECONDA ATTUAZIONE-GRONDA DI VALLE TRATTO O-MARE – TR 50 E TR200 CON INTERRAMENTO.....	106
FIG. 65 – SCHEMI DI VERIFICA TRATTO FINALE DELLA GRONDA DI VALLE.....	110
FIG. 66 – PROFILI IDRICI TR 200 E 50 ANNI A CONFRONTO -GRONDA DI VALLE O-MARE – CON E SENZA INTERRAMENTO.....	112
FIG. 67 – GRONDA POST OPERAM SECONDA ATTUAZIONE – TRATTO E-N'- PORTATA TR 200 (IN ALTO) E 50.....	113
FIG. 68 – SEZIONI IDRAULICHE GRONDA POST OPERAM SECONDA ATTUAZIONE – TRATTO E-N'- TR 200 E TR 50 .....	117

## INDEX OF TABLES

TAB. 1 PLUVIOMETRO DI SENIGALLIA - PARAMETRI "N, A" DELLA CURVA DI POSSIBILITÀ CLIMATICA	27
TAB. 2 QUADRO DI SINTESI DELLE PORTATE IN INPUT AI MODELLI IDRAULICI REPERITE DALLO STUDIO PFTE APPROVATO.....	28
TAB. 3- VALORI DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO PER CLASSI DI USO DEL SUOLO DEL RIO CRINACCIO	33



TAB. 4- PARAMETRI MORFOLOGICI DEL BACINO DEL RIO CRINACCIO A MONTE DELL'AUTOSTRADA	
34	
TAB. 5-PARAMETRI MORFOLOGICI DEL BACINO DEL RIO CRINACCIO ALLA FOCE ..35	
TAB. 6-PLUVIOMETRO DI FANO - PARAMETRI "N, A" DELLA CURVA DI POSSIBILITÀ CLIMATICA	35
TAB. 7-PLUVIOMETRO DI SENIGALLIA - PARAMETRI "N, A" DELLA CURVA DI POSSIBILITÀ CLIMATICA	36
TAB. 8- STIMA DELLE PORTATE CON IL METODO RAZIONALE.....	38
TAB. 9- STIMA DELLE PORTATE CON IL METODO DI GIANDOTTI – GIAMBETTI.....	39
TAB. 10- VALORI DI PORTATA STIMATI CON IL METODO DEL SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS)	42
TAB. 11 PICCHI DI PORTATA DI VERIFICA IDRAULICA .....	57
TAB. 12 IDROGRAMMI IN INPUT NELLA SEZIONE DI MONTE.....	57
TAB. 13 DATI RELATIVI ALLE OPERE DI PROGETTO.....	64
TAB. 14 LIVELLI IDRICI RISULTANTI IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE .....	64
TAB. 15 FRANCO IDRAULICO IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE – POST OPERAM SECONDA ATTUAZIONE.....	64
TAB. 16 FRANCO IDRAULICO IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE – ANTE OPERAM	64
TAB. 17 FRANCO IDRAULICO IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE – POST OPERAM SFIORATORE PROVVISORIO TR 200 .....	65
TAB. 18 PORTATE CORRISPONDENZA DELLE OPERE – ANTE OPERAM .....	65
TAB. 19 PORTATE CORRISPONDENZA DELLE OPERE – POSTOPERAM.....	65
TAB. 20 PORTATE CORRISPONDENZA DELLE OPERE – POST OPERAM SFIORATORE PROVVISORIO	65
21	
TAB. 21 VELOCITÀ DEL FLUSSO IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE – ANTE OPERAM	65
TAB. 22 VELOCITÀ DEL FLUSSO IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE – POST OPERAM SECONDA ATTUAZIONE.....	65
TAB. 23 VELOCITÀ DEL FLUSSO IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE – POST OPERAM SFIORATORE PROVVISORIO .....	65
TAB. 24 - TABELLA RISULTATI MODELLAZIONE POST OPERAM – SECONDA ATTUAZIONE – RIO CRINACCIO .....	74
TAB. 25 TABELLA RISULTATI MODELLAZIONE POST OPERAM – SECONDA ATTUAZIONE – RIO CRINACCIO .....	75
TAB. 26 - TABELLA RISULTATI MODELLAZIONE POST OPERAM – SFIORATORE PROVVISORIO – RIO CRINACCIO .....	76
TAB. 27 DATI IN INPUT MODELLO SFIORATORE PROVVISORIO E SCHERMATA INPUT HEC-RAS	81
TAB. 28 DATI RELATIVI ALLE OPERE DI PROGETTO.....	84
TAB. 29 LIVELLI IDRICI RISULTANTI IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE .....	84
TAB. 30 FRANCO IDRAULICO IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE – POST OPERAM SFIORATORE PROVVISORIO .....	84
TAB. 31 VELOCITÀ DEL FLUSSO IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE – POST OPERAM SECONDA ATTUAZIONE.....	85
TAB. 32 PORTATE CORRISPONDENZA DELLE OPERE – POST OPERAM SFIORATORE PROVVISORIO	85



TAB. 33 – TABELLA RISULTATI MODELLAZIONE POST OPERAM – SFIORATORE PROVVISORIO – GRONDA DI VALLE.....	92
TAB. 34 – TABELLA RISULTATI MODELLAZIONE POST OPERAM – SFIORATORE PROVVISORIO – RIO CRINACCIO FINO SEZ C2.....	93
TAB. 35 - CONDIZIONI AL CONTORNO DI MONTE E VALLE AGLI SCENARI.....	97
TAB. 36 - DATI RELATIVI ALLE OPERE DI PROGETTO .....	102
TAB. 37 - LIVELLI IDRICI RISULTANTI IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE– MODELLO SENZA INTERRAMENTO.....	102
TAB. 38 - FRANCO IDRAULICO IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE – POST OPERAM SECONDA ATTUAZIONE SENZA INTERRAMENTO .....	102
TAB. 39 - LIVELLI IDRICI RISULTANTI IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE – MODELLO CON INTERRAMENTO .....	102
TAB. 40 - FRANCO IDRAULICO IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE – POST OPERAM SECONDA ATTUAZIONE CON INTERRAMENTO .....	103
TAB. 41 - VELOCITÀ DEL FLUSSO IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE – MODELLO SENZA INTERRAMENTO .....	103
TAB. 42 - VELOCITÀ DEL FLUSSO IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE – MODELLO CON INTERRAMENTO .....	103
TAB. 43 - PORTATE CORRISPONDENZA DELLE OPERE – POST OPERAM SECONDA ATTUAZIONE SENZA INTERRAMENTO.....	103
TAB. 44 - PORTATE CORRISPONDENZA DELLE OPERE – POST OPERAM SECONDA ATTUAZIONE CON INTERRAMENTO .....	103
TAB. 45 - TABELLA RISULTATI MODELLO GRONDA DI VALLE TRATTO O-MARE SENZA INTERRAMENTO .....	107
TAB. 46 - TABELLA RISULTATI MODELLO GRONDA DI VALLE TRATTO O-MARE CON INTERRAMENTO	108
TAB. 47 - RISULTATI TABELLA PFTE APPROVATO - POST OPERAM SECONDA ATTUAZIONE–GRONDA DI VALLE TRATTO E-O .....	114
TAB. 48 - DATI DI RIFERIMENTO OPERE TRATTO E-N – POST OPERAM .....	114
TAB. 49 - RISULTATI - MODELLO HEC-RAS POST OPERAM SECONDA ATTUAZIONE – GRONDA DI VALLE TRATTO E-O .....	114
TAB. 50 - TABELLA DEI RISULTATI MODELLO GRONDA POST OPERAM SECONDA ATTUAZIONE – TRATTO E-N.....	119



## 1. INTRODUZIONE

La presente relazione è relativa al Progetto Esecutivo delle opere di prima attuazione per l'intervento denominato: "SDOPPIAMENTO DELLA RETE FOGNARIA MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI FOGNATURE ACQUE METEORICHE DEDICATO CHE RISOLVA ANCHE IL PROBLEMA DELL'ATTRAVERSAMENTO DELLA SEDE FERROVIARIA E DELLA STRADA NAZIONALE ADRIATICA SUD E REALIZZAZIONE DI UN CANALE DI GRONDA PER INTERCETTARE LE ACQUE DA MONTE – LOCALITÀ ATTRAVERSAMENTO SASSO".

Gli interventi ricadono interamente nel Comune di Fano nella frazione di Ponte Sasso.

Il progetto nasce dall'esigenza di risolvere le problematiche idrauliche che interessano l'abitato di Ponte Sasso che nel corso di questi ultimi anni è stato interessato da gravi fenomeni alluvionali che hanno determinato diffuse criticità sull'intero territorio del centro abitato della cittadina fanese.

Le opere di prima attuazione oggetto del presente progetto prevedono:

-le attività di spurgo, pulizia e riprofilatura del corso d'acqua Rio Crinaccio per il tratto di Rio che si sviluppa tra l'autostrada e la S.S. 16,

-il rifacimento dell'attraversamento idraulico esistente in corrispondenza della S.S.16 attualmente inadeguato a contenere le portate del corso d'acqua;

-la demolizione della soletta situata sotto il ponte ferroviario al km 166+023 della Linea Ferroviaria Bologna – Ancona che costituisce ostacolo al deflusso idrico.

-la realizzazione di parte delle opere relative al canale scolmatore di valle che ha lo scopo di derivare parte della portata del Rio Crinaccio verso un altro punto di scarico a mare al fine di ridurre le portate di piena lungo il corso d'acqua principale. Il nuovo canale parte dal Rio Crinaccio e si sviluppa in direzione nord-ovest fino allo sbocco sul mare Adriatico dopo aver attraversato, oltre ad alcune vie comunali, la Strada Statale n.16 e la linea ferroviaria Bologna – Ancona al km 165+338;

Le opere di seconda attuazione prevedranno: il completamento del canale di gronda di valle, la realizzazione di una cassa di espansione in linea sul canale di gronda di valle, lo sfioratore nel nodo di collegamento tra Rio Crinaccio e canale di gronda e la realizzazione del canale di gronda di monte fino in prossimità di via Lago di Bracciano.

L'area d'intervento è inquadrata nella seguente Figura 1.



**Fig. 1– Inquadramento dell'area d'intervento**

## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area interessata dal progetto è situata a sud di Fano, in Provincia di Pesaro – Urbino, in Località Attraversamento Sasso sulla costa adriatica. Questa area sostanzialmente pianeggiante trovandosi lungo la costa ed è situata interamente nel Comune di Fano. La località balneare di Attraversamento Sasso si trova tra la città di Fano e Marotta, a circa 3 Km da quest'ultima in direzione nord. Inoltre è principalmente interessata da sistemi colturali e particellari complessi e in minima parte da tessuto urbano discontinuo. Nella Carta Topografica d'Italia, alla scala 1:10'000, si trova all'interno della tavoletta "Mondolfo" Foglio n. 281, sezione n. 2 I S.E.; nella CTR, essa è compresa nel foglio n. 281020.



Fig. 2–Inquadramento dell'area su base CTR, area di intervento indicata in rosso.

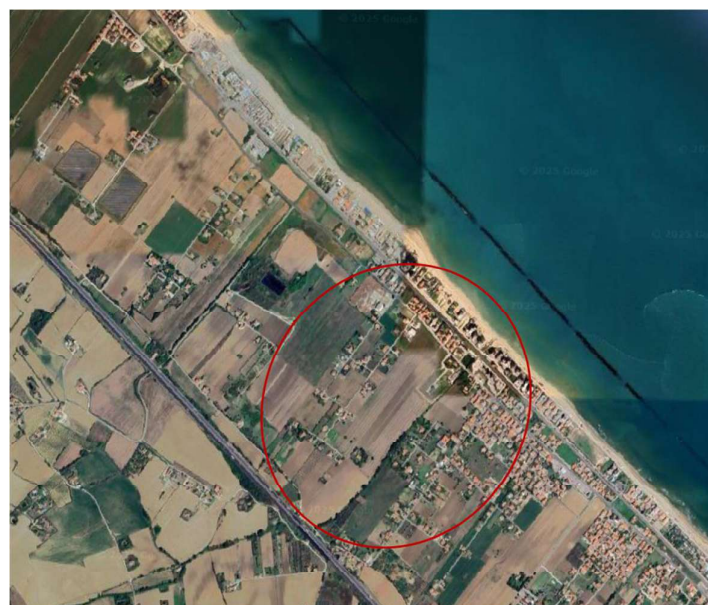


Fig. 3– Inquadramento dell'area su base Ortofoto, area di intervento indicata in rosso

### 3. INQUADRAMENTO PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO

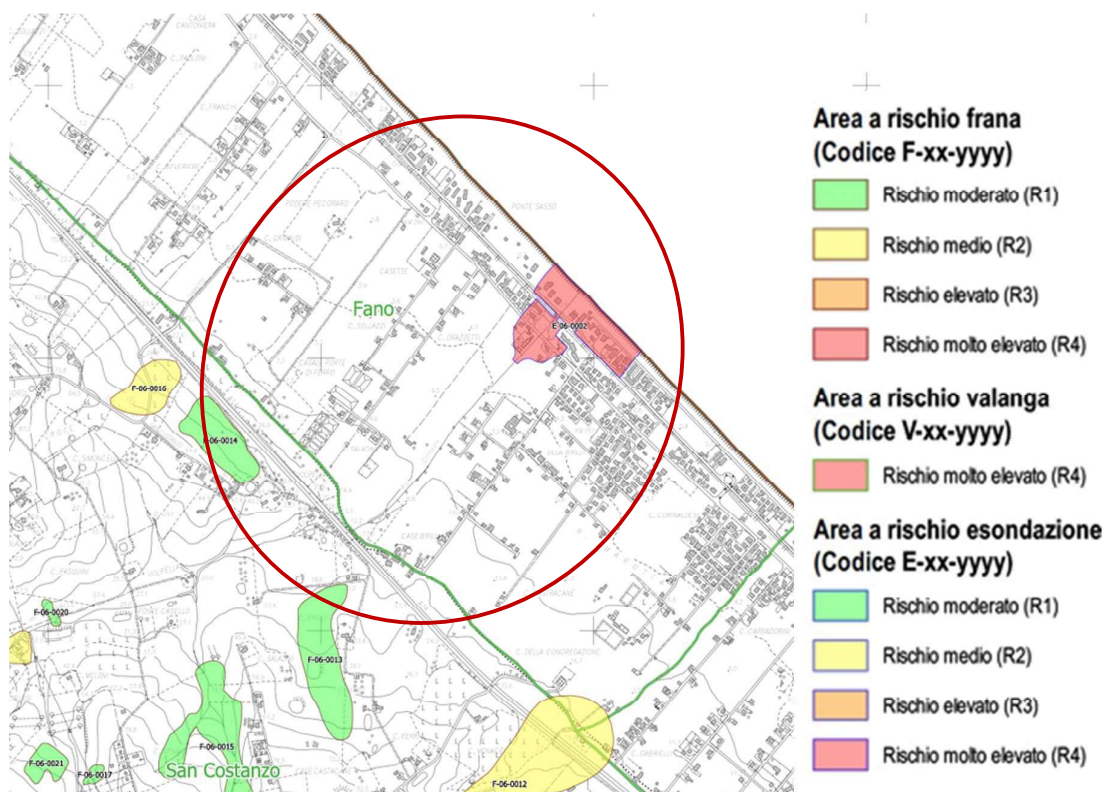
Si riportano alcuni stralci della cartografia del P.A.I. Piano Assetto Idrogeologico, redatto dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale, Aggiornato al DPCM del 14 marzo 2022.

La zona oggetto di studio ricade all'interno della Tav. RI 13a del P.A.I.

La cartografia elaborata dall'Autorità di Bacino Distrettuale conferma l'assenza di zone soggette a rischio idrogeologico per processi gravitativi di versante ubicati in corrispondenza dell'area di studio.

La cartografia individua una zona di esondazione lungo il tratto terminale del Rio Crinaccio, a cui è associato un grado di rischio molto elevato (E-06-0002, R4).

La criticità idraulica è legata alla presenza degli attraversamenti stradali e ferroviario sul Rio Crinaccio, che non risultano di dimensioni sufficienti per smaltire portate di piena eccezionali; inoltre l'intera zona risulta carente dal punto di vista degli scarichi a mare. La Strada Statale Adriatica interseca i fossi di scolo ed intercetta le acque superficiali provenienti da tutta la zona a monte della fascia costiera esaminata, pertanto, anche le opere idrauliche di cui è dotata la viabilità risultano di fondamentale importanza sia per il mantenimento in stato di sicurezza del traffico stradale, sia per le aree abitate.



**Figura 3-1 Estratto PAI Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Centrale (Tav. RI13a), area di intervento indicata in rosso.**

Oltre al PAI, si riportano le cartografie che costituiscono il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA, Direttiva Alluvioni 2007/60/CE-D.LGS 49/2010).

La mappa di pericolosità (Tav. ITR111 24P) evidenzia per l'area circostante il tratto terminale del Rio Crinaccio una classe di pericolosità P2- media probabilità (alluvioni poco frequenti), e l'intera zona (dalle colline fino alla costa) è ricompresa all'interno dei bacini con alta vulnerabilità alle flash floods.



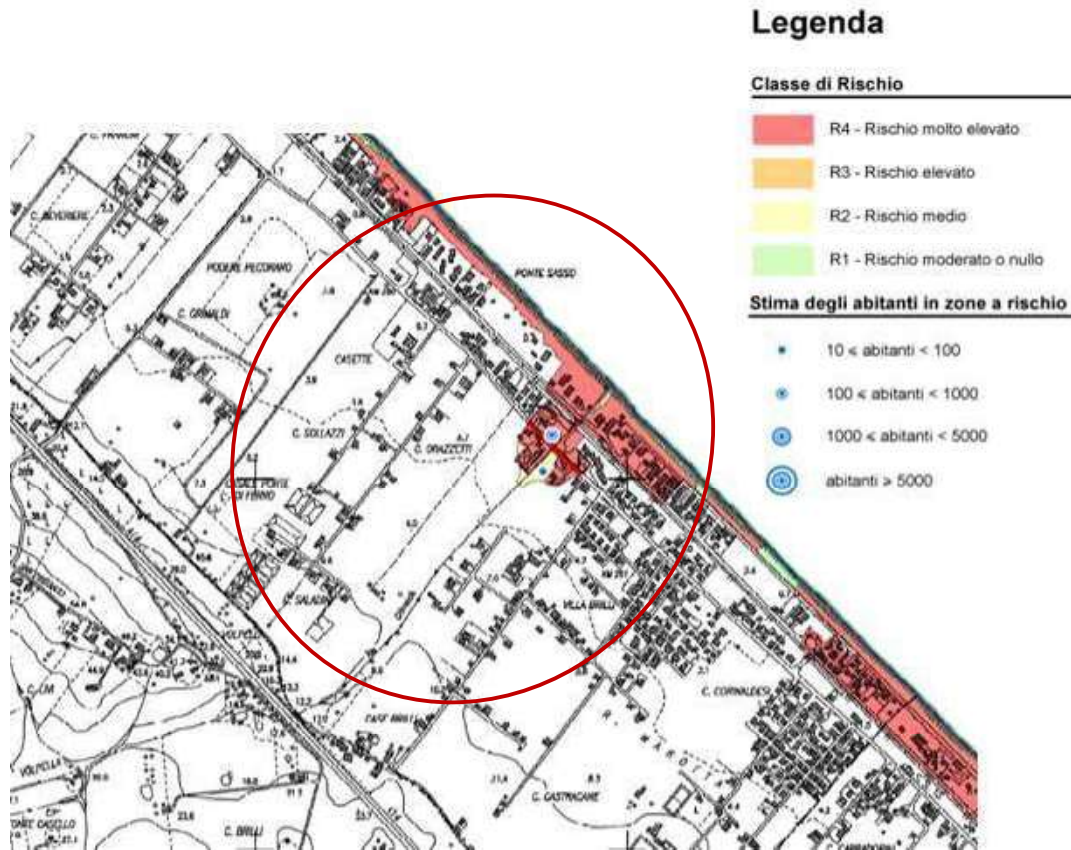


Figura 3-3 (PGRA Mappe del rischio, Il ciclo, dicembre 2019 – Aut. Distr. App. Centrale (ITR111 24 R).

Gli interventi in progetto sono conformi e compatibili con le Norme di Attuazione del PAI poiché hanno lo scopo specifico di migliorare l'assetto idrogeologico locale e di mitigare le condizioni di rischio.

In riferimento ai livelli di marea di interesse per le verifiche idrauliche si riporta quanto descritto nella Relazione del PAI dal titolo- "Progetto di piano stralcio per l'assetto idrogeologico" PAI -Autorità interregionale di Bacino Marecchia – Conca del Marzo 2004



#### **- Livelli marini da assumere quali condizioni di valle delle modellazioni**

I valori di innalzamento del livello marino, comprensivi dell'effetto del frangimento sotto costa, per il tratto meridionale del litorale romagnolo sono tratti dal "Progetto di piano per la difesa dal mare e la riqualificazione ambientale del litorale della regione Emilia-Romagna" (ARPA - Regione Emilia-Romagna - 1996), che indica i seguenti valori, rispettivamente per tempi di ritorno di 1, 10 e 100 anni:

$Z_1 = 1.3 \text{ m s.l.m.}$ ;  $Z_{10} = 1.7 \text{ m s.l.m.}$ ;  $Z_{100} = 2.1 \text{ m s.l.m.}$

Per quanto riguarda i valori di innalzamento del livello marino da assumere nelle modellazioni idrauliche, che rappresentano la condizione al contorno di valle, si è ritenuto di utilizzare, sui corsi d'acqua indagati, indipendentemente dal tempo di ritorno di 50, 200 e 500 anni considerato, il valore di 1.3 m s.l.m., corrispondente al massimo livello medio annuale. Tale scelta è legata innanzitutto al fatto di non potere certamente assumere degli analoghi tempi di ritorno, rispetto a quelli di piena, per i livelli marini, in quanto la probabilità annua di accadimento, se i due eventi fossero ritenuti indipendenti, conterrebbe il prodotto tra le due e quindi darebbe luogo a tempi di ritorno estremamente elevati. Sempre nell'ipotesi dell'indipendenza tra i due fenomeni, anche l'assunzione della ricorrenza annuale per i livelli darebbe luogo ad un aumento dei tempi di ritorno. Nella realtà tale indipendenza non è reale, in quanto l'areale complessivo di interesse è di dimensioni "contenute" rispetto ai fenomeni meteorologici critici (causati da fronti depressionari) e quindi l'accadimento di eventi pluviometrici estremi presenta una certa correlazione con una parte dei fenomeni che concorrono all'innalzamento dei livelli marini.

Si esclude anche la possibilità di utilizzare livelli marini corrispondenti a tempi di ritorno diversi per i differenti eventi di piena simulati, in quanto, qualitativamente, le condizioni idrauliche che ne deriverebbero non sono da ritenersi statisticamente più probabili di quelle evidenziabili con un unico livello.

A parziale conferma di quanto assunto, un raffronto tra le massime portate di piena giornaliere stimate sul Fiume Lamone nel periodo 1938-'59 e i livelli marini massimi del mese corrispondente a quello dell'evento, registrati al mareografo prospiciente di Porto Corsini, non evidenzia legami diretti tra i due valori, ma permette di affermare che, al più, i sovralti sono dell'ordine di  $1+1.1 \text{ m s.l.m.}$  e che quindi il valore di 1.3 m s.l.m. per tutti i tempi di interesse è da ritenersi cautelativamente appropriato.

Fig. 4-Livelli marini da assumere come condizione di valle - PAI 2004

#### 4. CRITICITA' DELLO STATO DI FATTO

L'andamento del corso d'acqua risulta naturale e praticamente indisturbato nella parte collinare del bacino per divenire di fatto artificiale nella sua parte terminale a causa della presenza di attraversamenti, tombinate, restringimenti e brusche deviazioni tali di fatto da non permettere il deflusso ordinario del fosso.

Infatti il corso d'acqua e la sua geometria sono state fortemente manipolate nel corso dei decenni per consentire lo sviluppo urbano del centro abitato e della sua rete viaria pedonale e carrabile senza tenere conto delle esigenze naturali del torrente. L'analisi dello stato dei luoghi evidenzia numerose situazioni puntuali, ed in particolare in prossimità degli attraversamenti, caratterizzate da una progressiva limitazione della sezione idraulica utile ed alcuni lunghi restringimenti delle sezioni finalizzati allo sviluppo dei percorsi pedonali che hanno contribuito a far perdere i necessari gradi di libertà al corso d'acqua.

Ne consegue dal punto di vista idraulico una situazione caotica dovuta a costruzioni in alveo direttamente interferenti con la portata del corso d'acqua (muri in alveo per delimitare i percorsi, pilastri per sorreggere camminamenti, travi di impalcati e spalle dei ponti, ecc.) o comunque poste a pochi metri dalle sponde del Torrente e quindi pericolosamente interferenti con le portate di piena.

Procedendo da monte il primo attraversamento sul corso d'acqua che si trova risulta essere quello prima dell'Autostrada per consentire il passaggio della strada comunale locale (Strada Belvedere - Figura 4); in questo tratto le sezioni naturali sono piuttosto ampie e la sezione utile dell'attraversamento (trattasi di elemento scatolare) è pari a circa 7 m<sup>2</sup>.



**Fig. 5–Attraversamento della strada comunale a monte dell'autostrada**

Quindi il Rio attraversa l'Autostrada ove scorre all'interno di un tombino scatolare avente superficie di circa 9,5 m<sup>2</sup> a monte e 11 m<sup>2</sup> circa a valle. Questo tombino è stato recentemente allungato nell'ambito dei lavori di realizzazione della 3° corsia dell'Autostrada 14 mantenendo le medesime sezioni originarie.



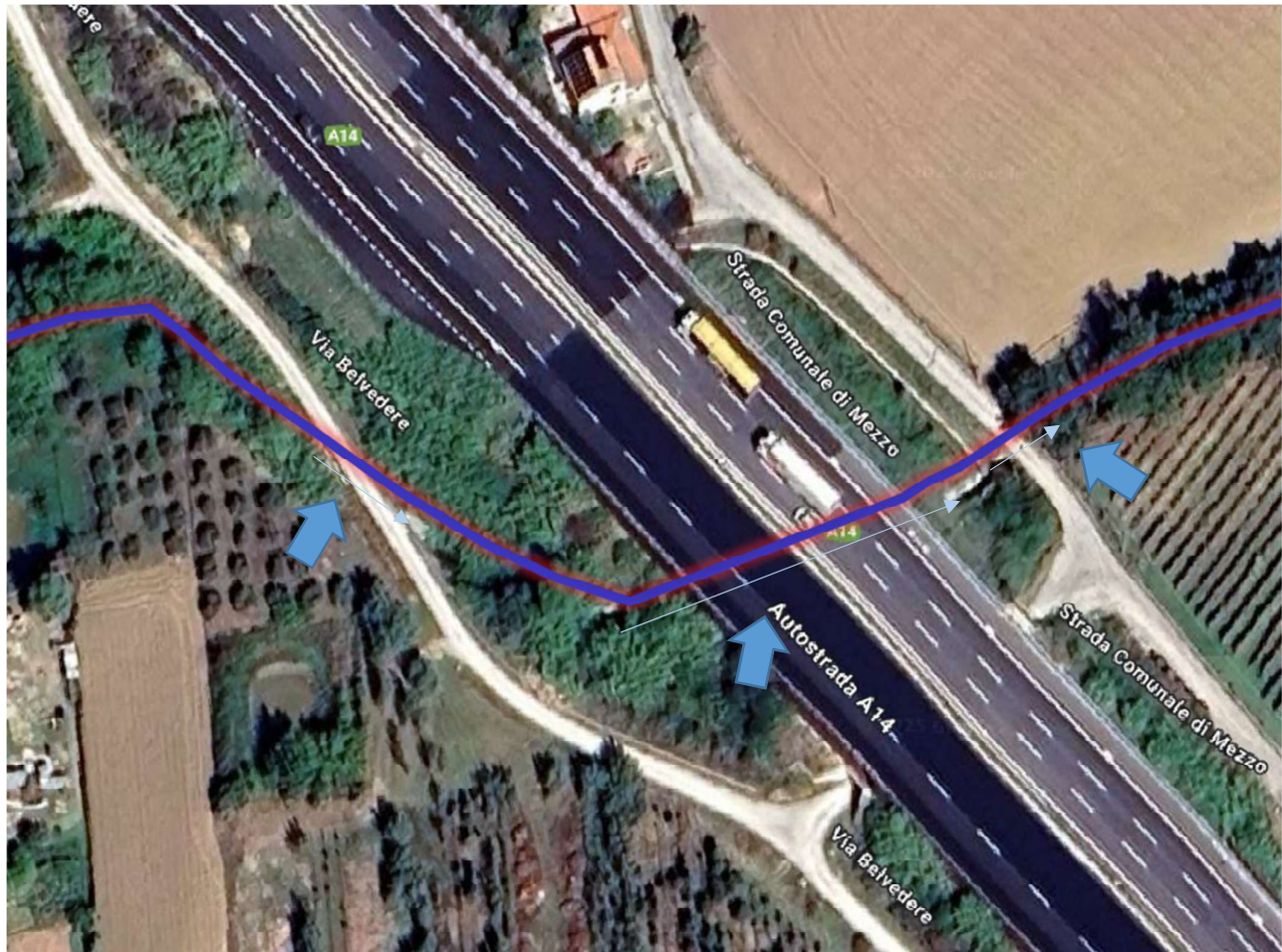
**Fig. 6– Attraversamento dell'autostrada, sezione di monte e di valle**

Subito a valle dell'Autostrada è presente l'attraversamento della strada comunale (Strada di Mezzo) la cui sezione di deflusso è pari a circa 9,5 m<sup>2</sup> .



**Fig. 7–Attraversamento di Strada di Mezzo a valle dell'Autostrada**

Dopodiché il fosso è caratterizzato da un alveo naturale fino alla Strada Statale Adriatica con sezioni piuttosto variabili. Lungo questo percorso vi sono tratti in erosione alternati a tratti fortemente vegetati con vegetazione a terra e sulle sponde cause di potenziali forme di ostruzione e di trasporto solido e di materiale galleggiante.



**Fig. 8-Individuazione opere esistenti -Via Belvedere-A14-Via di Mezzo**



**Fig. 9-Il Rio Crinaccio nel tratto tra l'Autostrada e la Strada Statale Adriatica**

Prima del ponticello sulla Strada Statale Adriatica il Rio lambisce il depuratore di Attraversamento Sasso Figura 8 e quindi è interessato appunto dall'attraversamento della Strada Statale Adriatica n. 16.



Fig. 10–Foto del Rio Crinaccio nella zona del depuratore di Attraversamento Sasso, vista da monte e da valle



Fig. 11–Individuazione opere esistenti -tra Via di Mezzo e SS16 – ubicazione depuratore

La sezione dell'attraversamento della SS16 è estremamente modesta, pari a circa 3 m<sup>2</sup> e risulta caratterizzato da una sezione nettamente inferiore a quelle delle opere d'arte presenti a monte e a valle pari mediamente a circa 8 – 10 m<sup>2</sup>.



**Fig. 12–Vista dell'attraversamento della Strada SS16 Adriatica**

La sezione di questo attraversamento è estremamente modesta, pari a circa 3 m<sup>2</sup> e risulta caratterizzato da una sezione nettamente inferiore a quelle delle opere d'arte presenti a monte. È evidente, inoltre, come l'attraversamento si possa ostruire in corso d'evento amplificando anche in caso di stati di piena ordinari a carattere stagionale i fenomeni di esondazione.

Quindi il Rio si trova ad incrociare la ferrovia Bologna - Ancona al Km. 166 +023 dove il suo alveo si trova ridotto per la presenza di un passaggio ciclo-pedonale e l'asse del corso d'acqua risulta deviato per permettere il passaggio delle persone nella parte più alta del ponticello ferroviario caratterizzato comunque da una superficie pari a circa 10 m<sup>2</sup>. Questa deviazione provoca un decentramento della linea della corrente anche rispetto all'attraversamento successivo e conseguentemente un ostacolo al deflusso delle sue acque.



**Fig. 13–Vista dell'attraversamento ferroviario sul Rio Crinaccio**



**Fig. 14–Attraversamento ferroviario al km 166+023 –  
 Vista di monte -piena maggio 2023**



**Fig. 15–Attraversamento ferroviario al km  
 166+023 – Vista di valle – piena maggio 2023**

Subito a valle di questo attraversamento, dopo un breve tratto sempre rivestito, è presente l'attraversamento di Via Ammiraglio Cappellini già oggetto di adeguamento così come il tratto terminale che sbocca nella battigia.

Come già esposto, le sezioni idrauliche del tratto urbano del Rio Crinaccio sono modeste. Facendo un rapido raffronto fra l'attraversamento Autostradale (e quelli nelle immediate vicinanze) e quelli localizzati nella zona abitata, questi ultimi offrono una superficie al deflusso inferiore di più del 50 % rispetto quelli presenti a monte. Questo fatto inevitabilmente costituisce un forte ostacolo al passaggio delle acque, in quanto manufatti con superficie di circa 4 m<sup>2</sup> collocati in un tratto pianeggiante come appunto quello terminale che può risentire anche delle condizioni meteo marine avverse, sono caratterizzati da un'officiosità idraulica nettamente inferiore a quella necessaria per far transitare anche le piene ordinarie.

Per questo si ritiene fondamentale individuare una doppia linea d'intervento:

- Il miglioramento delle sezioni di deflusso;
- La laminazione delle portate di deflusso.

Il miglioramento delle sezioni di deflusso consiste nell'adeguamento degli attraversamenti esistenti per renderli compatibili almeno al deflusso derivante dalle piene e morbide ordinarie, regolarizzando la capacità di deflusso monte – valle del corso d'acqua e con il doppio effetto di migliorare la capacità idraulica e nel contempo di diminuire la probabilità dei fenomeni di ostruzione che caratterizzano in corso d'evento le luci di modeste dimensioni.

Gli interventi sulle opere d'arte (per quanto migliorativi rispetto alla situazione attuale) non sono tuttavia sufficienti da soli per mitigare l'esposizione al rischio idraulico dato che le interferenze del tessuto urbano nel suo complesso rispetto al corso d'acqua sono tali da impedire un consistente aumento delle sezioni di deflusso per renderle compatibili con gli stati di piena.

Per questo si ritiene fondamentale e prioritario la realizzazione del Canale di Gronda che possa intercettare le acque provenienti dai settori collinari e nel contempo scolare le portate del Rio Crinaccio adducendole a mare tramite



MA-UBIS-000017-SDOPPIAMENTO DELLA RETE FOGNARIA  
MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI FOGNATURE  
ACQUE METEORICHE DEDICATO CHE RISOLVA ANCHE IL  
PROBLEMA DELL'ATTRAVERSAMENTO DELLA SEDE  
FERROVIARIA E DELLA STRADA NAZIONALE ADRIATICA SUD E  
REALIZZAZIONE DI UN CANALE DI GRONDA PER INTERCETTARE  
LE ACQUE DA MONTE - LOCALITÀ PONTESASSO  
**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA**

Doc.no.	
PE IDR 01	
Rev. 0	Date: Gennaio-26
Pag. 19 of 123	

un diversivo idraulico unitamente ad un sistema di laminazione funzionale a quest'ultimo. Infatti così, come per l'alveo storico del Rio Crinaccio, l'attraversamento della Statale e della ferrovia ed il vicinissimo sbocco in battigia con le relative condizioni meteo marine, costituiscono dei rigidi limiti fisici che non consentono sezioni di sbocco adeguate per smaltire le portate attese maggiori di circa 15 mc/s, corrispondenti al tempo di ritorno di 5 – 10 anni, a fronte invece di portate al colmo ad esempio per il tempo di ritorno di 50 – 200 anni di circa 40 – 50 mc/s.



## 5. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO COMPLESSIVO

Il presente progetto esecutivo è relativo alle sole opere di prima attuazione ma si descrive comunque l'intervento nel suo complesso.

L'obiettivo del progetto di prima e seconda attuazione è quello di riduzione del rischio idraulico per i territori circostanti l'area del Rio Crinaccio.

Per quanto riguarda il corso del Rio Crinaccio l'intervento prevede: la pulizia del corso d'acqua, l'allargamento dell'attraversamento esistente in corrispondenza della Strada Nazionale Adriatica Sud e la demolizione della soletta al di sotto della sede ferroviaria che costituisce un ostacolo al deflusso idrico.

Gli interventi sulle opere d'arte esistenti sul Rio Crinaccio (per quanto migliorativi rispetto alla situazione attuale) non sono tuttavia sufficienti da soli per mitigare l'esposizione al rischio idraulico dato che le interferenze del tessuto urbano nel suo complesso rispetto al corso d'acqua sono tali da impedire un consistente aumento delle sezioni di deflusso per renderle compatibili con gli stati di piena.

Infatti, per l'alveo storico del Rio Crinaccio, l'attraversamento della Statale e della ferrovia ed il vicinissimo sbocco in battaglia con le relative condizioni meteo marine, costituiscono dei rigidi limiti fisici che non consentono sezioni di sbocco adeguate allo smaltimento di portate maggiori di circa 15 mc/s, a fronte invece di portate al colmo per Tempi di Ritorno di 50 anni pari a circa 40 mc/s e per Tempi di Ritorno pari a 200 anni di circa 50 mc/s.

Pertanto, ai fini della mitigazione del rischio di esondazione del corso d'acqua mediante la riduzione delle portate transitanti nel Rio Crinaccio, l'intervento complessivo prevede la realizzazione di un canale di gronda di monte, di un canale di gronda di valle e di una cassa di espansione.

Il Canale di Gronda, è suddiviso tra parte di monte che si immette nel Rio Crinaccio che si sviluppa da via Lago Maggiore con direzione Nord-Ovest fino all'intersezione con il Rio Crinaccio. e di valle che scolma il Rio Crinaccio stesso così come riportato nella sottostante figura. Il Canale di Gronda di valle si sviluppa poi in direzione Nord-Ovest fino all'area di proprietà comunale all'altezza di via Milo, qui entra all'interno dell'area destinata alla realizzazione della cassa di espansione sviluppandosi in direzione Nord-Est dove, dopo aver attraversato la Strada Statale n.16 e la linea ferroviaria Bologna – Ancona, recapita nel Mare Adriatico.

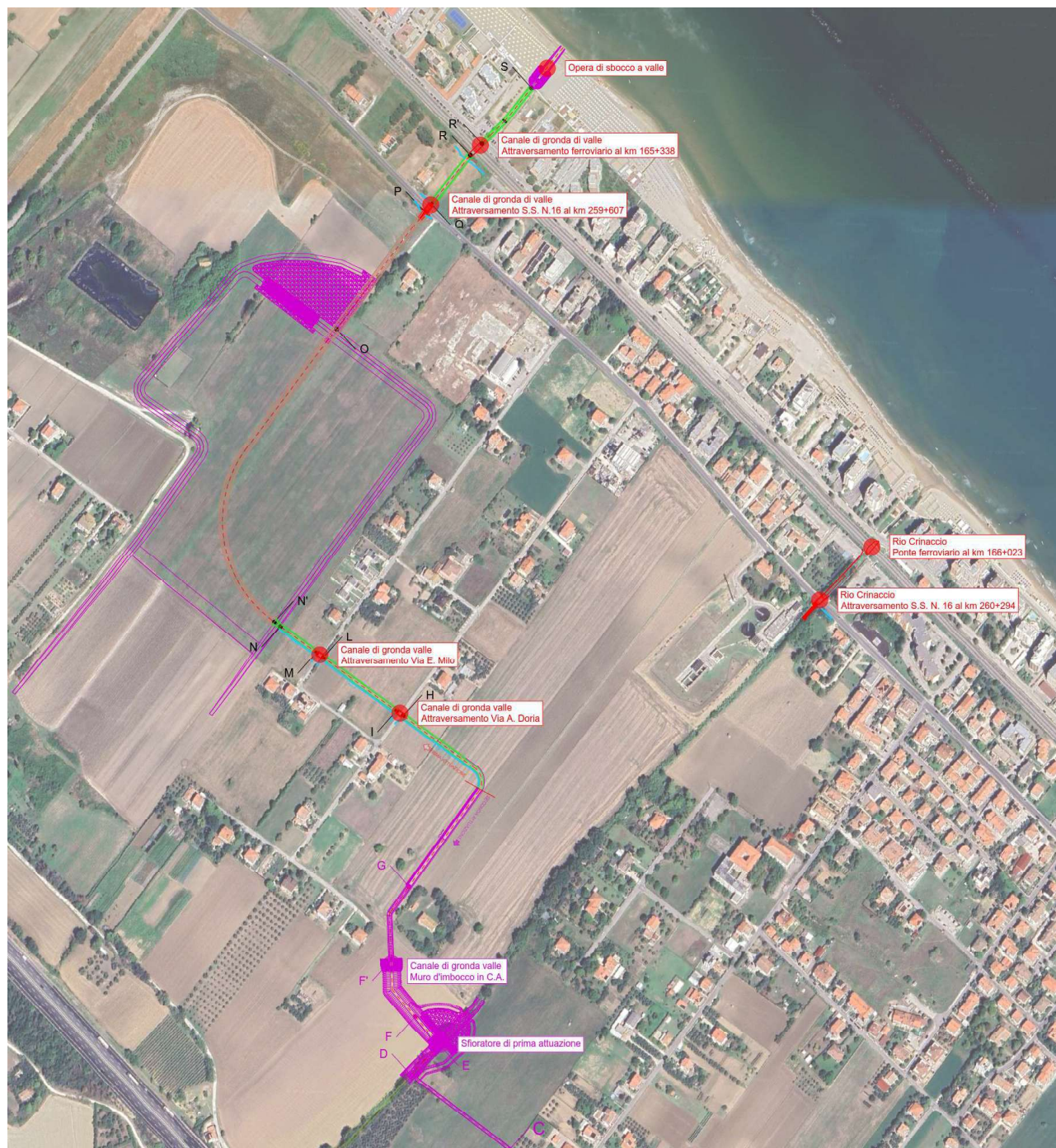
Il Canale di Gronda, sarà realizzato parte in terra e parte in calcestruzzo armato, a sezione variabile parte a cielo aperto e parte tombinato.

Si specifica infine che rispetto al Canale emissario (Canale di Gronda di Valle) le portate di magra e di morbida che interessano il Rio Crinaccio proseguiranno sempre in modo indisturbato e naturale nel Rio Crinaccio verso la foce.



Fig. 16–Tracciato Canale di Gronda e area cassa di espansione

## 5.1. Descrizione delle opere di prima attuazione oggetto del presente progetto



**Figura 5-1 Stralcio planimetria di progetto**

Per quanto riguarda il Rio Crinaccio, gli interventi di progetto di prima attuazione comprendono:

- Le attività di spurgo, pulizia e riprofilatura del corso d'acqua Rio Crinaccio per il tratto di Rio che si viluppa tra l'autostrada e la S.S. 16,



- L'adeguamento delle sponde del Rio Crinaccio nel tratto immediatamente a monte dell'attraversamento della S.S.16 mediante, la realizzazione di un muro sulla sponda in destra idraulica alto fino alla quota della sponda in sinistra idraulica, la riprofilatura e la protezione del fondo canale con materassini tipo "Reno",
- Il rifacimento dell'attraversamento del Rio Crinaccio in corrispondenza della Strada Statale n.16 al Km 260+294 mediante la demolizione del ponte esistente con luce inadeguata al deflusso del Rio Crinaccio e la realizzazione di un nuovo attraversamento con scatolare prefabbricato in calcestruzzo armato di dimensioni interne 4.50 x 2.00 m. L'intervento prevede: l'interruzione del traffico sulla S.S. 16, l'infissione di una palancola provvisoria sul lato sinistro dell'attraversamento per limitare gli scavi e preservare alcune reti tecnologiche quali cavi Enel e fibra ottica presenti in sinistra, la demolizione dell'attraversamento esistente e la realizzazione dello scavo, la posa in opera dello scatolare prefabbricato, la realizzazione delle opere di raccordo tra il nuovo scatolare ed il canale a monte dell'attraversamento, la chiusura dello scavo con misto cementato, l'installazione dei nuovi guard rail, il ripristino della strada e della viabilità.
- Immediatamente a valle della S.S. 16, sono previsti gli interventi per il raccordo del nuovo attraversamento scatolare con il canale esistente mediante la demolizione e il rifacimento di un tratto di canale in calcestruzzo a cielo aperto e l'innalzamento del muro in sinistra idraulica fino alla quota del muro in destra idraulica. Contestualmente è prevista la realizzazione di una nuova passerella in acciaio per il passaggio pedonale in adiacenza alla S.S. 16 in sostituzione a quella esistente.
- La rimozione di parte della soletta presente nell'alveo del Rio Crinaccio sotto il ponte dell'Attraversamento della linea ferroviaria Bologna – Ancona al Km 166+023. La soletta era stata realizzata successivamente al ponte ferroviario per consentire un passaggio pedonale. Recentemente è stato costruito un nuovo passaggio pedonale in affiancamento all'attraversamento idraulico; pertanto, la soletta che costituisce un ostacolo al deflusso del Rio può essere demolita.

Per quanto riguarda i canali di gronda, gli interventi di prima attuazione riguardano esclusivamente alcune opere relative al canale di gronda di valle, che ha lo scopo di deviare parte delle portate di piena che confluiscono nel Rio Crinaccio verso un nuovo punto di recapito a mare, in modo da alleggerire le piene sul corso d'acqua principale.

Partendo dal punto di uscita del canale di gronda nel mare Adriatico e progressivamente andando verso monte, le opere di prima attuazione comprendono i seguenti tratti.

- Il tratto R-S tra la ferrovia e l'area demaniale costituito da un tratto di canale interrato realizzato con scolarari prefabbricati carrabili in calcestruzzo armato con sezione interna B=4,5 m H=2 m. Il tratto di canale R-S è previsto in scatolare chiuso interrato in quanto il primo tratto di canale a valle della ferrovia è situato al di sotto di via Cappellini e dell'area di parcheggio adiacente alla strada per poi proseguire verso mare in adiacenza ad una proprietà comunale.
- Tratto R'-R - Nuovo attraversamento Ferroviario della linea ferroviaria Bologna – Ancona al Km 165+338.

L'attraversamento idraulico sarà realizzato con uno scatolare monolite in calcestruzzo armato gettato in opera e costruito fuori dal perimetro della ferrovia con sezione interna di 4.50x2.50m. Il monolite avrà lunghezza pari a circa 20.00 m, così da coprire interamente la larghezza del rilevato ferroviario caratterizzato nel tratto in questione da due binari. Il monolite una volta realizzato verrà varato al di sotto del rilevato ferroviario con sistema di spinta oleodinamico mediante l'impiego di martinetti idraulici che spingono su muro di contrasto gettato in opera. Durante la penetrazione del manufatto nel terrapieno ferroviario un escavatore asporterà il terreno del fronte di scavo. Al termine dell'infissione sul fondo dello scatolare verrà realizzato un riempimento in calcestruzzo al fine di ripristinare la continuità delle livellette di progetto del canale.

Prima di iniziare la fase di infissione del manufatto, si dovrà mettere in opera una struttura isostatica finalizzata al sostegno dei binari durante la penetrazione del monolite nel terrapieno. La metodologia individuata per lo scopo è quella tipo "Ponte Essen". Questo intervento permette, infatti, la conservazione dell'assetto plan-altimetrico dei binari ed evita quindi l'interruzione dell'esercizio nei binari sostenuti. Tramite il suddetto sostegno si ottiene, per ciascun binario, una struttura formata da quattro travi metalliche portanti, delle quali la coppia interna è collegata mediante appositi piastroni bullonati.

Nella fase di infissione il sistema tipo "Ponte Essen" permette il progressivo trasferimento del carico mobile agente sui binari dal rilevato al sistema stesso. Quando lo scatolare è penetrato completamente nel terrapieno si smontano le opere di sostegno dei binari e si ripristina la massicciata ferroviaria secondo le metodologie concordate con la direzione compartimentale delle ferrovie dello stato di Ancona.



Tale tecnica presenta i seguenti vantaggi:

- Mantenimento dell'esercizio della via di comunicazione interessata dall'attraversamento sotterraneo;
- Notevole riduzione delle strutture di sostegno della linea di comunicazione;
- Rapidità operativa;
- Rischi di cantiere contenuti;
- Installazione del tunnel contemporaneamente alla realizzazione dello scavo;
- Riduzione dell'impatto ambientale.

Il varo del monolite richiede la realizzazione di opere provvisorie.

L'area di cantiere per l'allestimento delle opere propedeutiche alla realizzazione dell'attraversamento ferroviario e per la realizzazione del monolite è stata prevista lato valle in corrispondenza del parcheggio di Via Cappellini. Il parcheggio è asfaltato, è ben collegato alla viabilità pubblica facilitando l'accesso all'area di cantiere ed è costituito da terreni di riporto meglio compattati rispetto ai terreni che si avrebbero a monte dell'attraversamento.

Per tutti i dettagli si rimanda agli specifici elaborati.

Per l'esecuzione dell'intervento verrà richiesta al competente Organo di RFI l'autorizzazione in deroga alle distanze legislativamente stabilite per legge ai sensi dell'art. 60 del D.P.R. 753/80.

Successivamente al varo dell'attraversamento ferroviario, verranno realizzati e raccordati i tratti di canale a monte ed a valle.

- Il tratto R-Q tra la SS 16 e la ferrovia costituito da un canale rettangolare a cielo aperto in calcestruzzo armato gettato in opera con base di larghezza 4,5 m ed altezza 2.70 m.
- Il tratto P-Q costituito dall'attraversamento della Strada Statale 16 al Km 259+607 mediante un tratto di canale interrato realizzato con scatolari prefabbricati carrabili in calcestruzzo armato con sezione interna B=4,5 m H=1,75 m. L'intervento prevede l'interruzione del traffico sulla S.S. 16, la realizzazione dello scavo, la posa dello scatolare, la realizzazione del muro d'ala all'imbocco dell'attraversamento, la chiusura dello scavo con misto cementato, l'installazione dei nuovi guard rail e il ripristino della strada e della viabilità.
- Il tratto O-P che si sviluppa tra la futura area di cassa di espansione di seconda attuazione e la S.S. 16. Il tratto è costituito da un canale in terra a cielo aperto con sezione trapezoidale di base 3 m e scarpate a pendenza 2 su 3. Immediatamente a monte dell'attraversamento della Statale 16 per il tratto di canale con pendenza maggiore è previsto il rivestimento del fondo e delle sponde canale mediante materassini tipo "Reno".
- Il tratto N-O che si sviluppa all'interno dell'area della futura cassa di espansione. Il tratto è costituito da un canale in terra a cielo aperto con sezione trapezoidale di base 3 m e scarpate a pendenza 2 su 3.
- Il tratto N-N' che costituisce l'imbocco della futura cassa di espansione ed è costituito da uno scatolare chiuso prefabbricato di dimensioni interne: B=4 m H=2,5 m. In successiva attuazione verrà realizzato l'argine della cassa al di sopra dello scatolare.
- Il tratto M-N costituito da un canale rettangolare a cielo aperto in calcestruzzo armato gettato in opera con base di larghezza 4 m ed altezza variabile tra i 3 e i 2.60 m.
- Il tratto L-M costituito dall'attraversamento di Via Enrico Millo mediante un tratto di canale interrato realizzato con scatolari prefabbricati carrabili in calcestruzzo armato con sezione interna B=4 m H=2.5 m. L'intervento prevede l'interruzione della viabilità comunale, la realizzazione dello scavo, la posa dello scatolare, la realizzazione dei muri di raccordo con i tratti di canale a monte e a valle, la chiusura dello scavo con misto cementato, il ripristino della strada e della viabilità.
- Il tratto I-L tra Via Enrico Millo e Via Andrea Doria costituito da un canale a sezione rettangolare a cielo aperto in calcestruzzo armato gettato in opera con base di larghezza 4 m ed altezza variabile tra i 3,5 e i 3,25 m.
- Il tratto H-I costituito dall'attraversamento di Via Andrea Doria mediante un tratto di canale interrato realizzato con scatolari prefabbricati carrabili in calcestruzzo armato con sezione interna B=4 m H=2.5 m. L'intervento prevede l'interruzione della viabilità comunale, la realizzazione dello scavo, la posa dello scatolare, la



realizzazione dei muri di raccordo con i tratti di canale a monte e a valle, la chiusura dello scavo con misto cementato, il ripristino della strada e della viabilità.

- 142 m del tratto G-H costituito da un canale a sezione rettangolare a cielo aperto in calcestruzzo armato gettato in opera con base di larghezza 4 m ed altezza variabile tra i 4.65 e 4 m.

L'opera è stata dimensionata in modo tale che per tempi di ritorno pari TR 200 anni, la portata transitante nel canale di gronda di valle sia equiparabile a quella che si verificherebbe a seguito della realizzazione della cassa di espansione e dello sfioratore definitivo.

Lungo i tratti di Canale, sia in terra sia in calcestruzzo armato sono state previste delle opere di intercettazione dei canali di scolo dei fondi agricoli al fine di garantire la continuità idraulica delle aree. In fase di esecuzione dei lavori in base anche alle indicazioni dei residenti potranno essere valutate anche ulteriori aperture per l'intercettazione dei fossi di scolo.

Tutti gli scatolari prefabbricati previsti in progetto saranno opportunamente ancorati ad ali in calcestruzzo armato gettate in opera per scongiurare il galleggiamento dell'opera. La scelta di procedere con scatolari prefabbricati e non gettati in opera è vantaggiosa in termini di velocità di realizzazione. Per quanto riguarda i tratti di canale a sezione rettangolare a cielo aperto in calcestruzzo armato gettati in opera, anch'essi saranno realizzati con soletta di fondazione adeguatamente dimensionata per scongiurare il galleggiamento delle opere nell'eventualità che si verifichino le condizioni di falda alta e canale vuoto.

## 5.2. Descrizione delle opere di seconda attuazione

Le opere di seconda attuazione prevedono: la realizzazione del canale di gronda di monte, la realizzazione della cassa di espansione, la realizzazione dello sfioratore verso il canale di gronda di valle, il completamento delle opere relative al canale di gronda di valle.

- Il Canale di Gronda di monte è stato previsto, partendo da monte, tra via Lago di Bracciano e via Lago Maggiore direttamente in terra in sterro a sezione trapezoidale con base pari a circa 3.00 m e altezza variabile. Il tratto compreso tra via Lago Maggiore ed il Rio Crinaccio è previsto in calcestruzzo armato con sezione scatolare chiusa di dimensione 3.00 x 2.50 m per i primi 100 m circa e con sezione aperta 3.00 x h var per la restante parte fino al Rio Crinaccio.
- Tra le opere di seconda attuazione è prevista la realizzazione di una cassa di espansione in area comunale con arginature perimetrali per innalzare le quote del terreno in sponda. La regolazione delle portate della cassa sul Canale di Gronda avverrà mediante una bocca tarata di regolazione e controllo di dimensioni 1.50 x 1.50 m dotata di sfioratore di emergenza caratterizzato da una lunghezza di circa 80 m. Lo sfioratore di emergenza è stato dimensionato tenendo anche conto della condizione, del tutto improbabile, della completa occlusione della luce del tombino. Al servizio della vasca, del tipo in linea, non sono previsti organi mobili di regolazione ma solamente opere fisse in modo che, anche in caso di improvviso stato di piena, non sia fondamentale la presenza di un presidio di controllo. In particolare, è stata prevista un'arginatura con una bocca tarata che avrà il compito di far proseguire verso valle solamente la portata compatibile con il corso d'acqua. Inoltre, in considerazione che il livello della piena cinquantennale e duecentennale in vasca si attesta attorno alla quota circa 5.80 m slmm e 6.40 m slmm, rispettivamente, volendo mantenere un franco di circa 1 m rispetto al suddetto massimo livello, la sommità arginale è stata collocata a quota 7.40 m slmm.
- L'opera di collegamento definitiva tra il Rio Crinaccio e il canale di gronda di valle è prevista tra le opere di seconda attuazione ed è costituita da una bocca tarata di regolazione e controllo delle portate di dimensioni 1.50 x 1.50 m dotata di sfioratore di emergenza delle portate eccedenti rispetto alla capacità di deflusso della bocca tarata verso il Rio Crinaccio di lunghezza pari a circa 60 m. La realizzazione del manufatto di sfioro è caratterizzata da una lunghezza di circa 20 m dal Rio Crinaccio al Canale di Gronda di valle.

Il manufatto di regolazione e controllo collocato lungo il Rio Crinaccio lascia defluire lungo il Rio Crinaccio stesso una portata pari a circa 9 mc/s per TR 50 anni e 12 mc/s per TR 200 anni, mentre l'eccedenza viene derivata nel Canale di Gronda di valle. A questa si somma il contributo derivante dai bacini collocati ad ovest per complessivi 38 mc/s per TR 50 anni e 44 mc/s per TR 200 anni che entrano in cassa di espansione. A valle del manufatto di controllo della cassa di espansione proseguono circa 12 mc/s per TR 50 anni e 14 mc/s per TR 200 anni.



Tra le opere di seconda attuazione vi è anche il completamento del canale di gronda di valle per i seguenti tratti:

- Il completamento del tratto G-H costituito da un canale a sezione rettangolare a cielo aperto in calcestruzzo armato gettato in opera con base di larghezza 4 m ed altezza variabile tra i 4.65 e 4 m.
- Il tratto F'-G è costituito da un canale interrato realizzato con scatolari prefabbricati in calcestruzzo armato con sezione interna B=4 m H=2.5 m. In questo tratto si è scelto il canale interrato in quanto il canale si trova in prossimità di alcune abitazioni.
- Il tratto F-F' si sviluppa all'interno di un'area agricola di proprietà comunale; pertanto, il canale è stato previsto in terra a cielo aperto con sezione trapezoidale di base 4 m e scarpate a pendenza 2 su 3.
- Eventuale Sfiatore provvisorio, in corrispondenza del punto in cui è prevista la realizzazione dello sfioratore definitivo.

In considerazione dell'eventualità in cui non si riesca a realizzare in tempi brevi, l'opera di sfioro completa e definitiva, che potrà essere realizzata solo a seguito del completamento della cassa di espansione, il collegamento tra il Rio Crinaccio e il canale di gronda di valle potrà essere realizzato mediante un'opera di sfioro provvisoria costituita da una soglia laterale in calcestruzzo. Tale configurazione provvisoria consentirebbe il transito delle portate ordinarie di magra sempre verso il Rio Crinaccio, mentre, all'aumentare del livello idrico parte della portata inizierebbe a sfiorare nel canale di gronda alleggerendo la piena transitante lungo il corso principale.

La soluzione con eventuale sfioratore provvisorio risulterebbe migliorativa ma non risolutiva delle problematiche di esondazione lungo il corso d'acqua principale.

Rispetto al progetto di PFTE, il Progetto Esecutivo recepisce alcune modifiche plano-altimetriche del tracciato del canale di gronda sviluppate a seguito di indicazioni espresse dall'Amministrazione e dal gruppo tecnico comunale.

Nello specifico:

- il tratto di canale di gronda finale a valle dell'attraversamento ferroviario è stato planimetricamente spostato in adiacenza ad una proprietà comunale,
- il tratto di canale in terra N-O, situato nell'area della cassa di espansione, è stato oggetto di una modifica del tracciato finalizzata a rendere una curva meno accentuata,
- la posizione dello sfioratore e del tratto F-F' del canale di gronda è stata arretrata in un'area di proprietà comunale.
- È stato previsto un eventuale sfioratore provvisorio realizzabile preliminarmente alla cassa di espansione.

## 6. PREMESSE ALLA MODELLAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA

Lo studio idraulico è stato sviluppato ai fini del corretto dimensionamento delle opere di progetto di prima attuazione, considerando anche le configurazioni idrauliche previste a seguito del completamento delle opere di seconda attuazione.

La porzione di canale di gronda prevista in prima attuazione non comprende il collegamento al Rio Crinaccio; pertanto, le acque raccolte saranno esclusivamente quelle provenienti dal bacino 2 (come individuato nella corografia dei bacini), mentre le portate affluenti al Rio Crinaccio continueranno a defluire nel corso d'acqua principale.

La modellazione di tale configurazione risulta poco significativa dal punto di vista idraulico, in quanto le portate convogliate nel canale di gronda sono nettamente inferiori rispetto a quelle considerate nelle simulazioni relative alla configurazione finale con collegamento al Rio Crinaccio. Sono state pertanto simulate: (i) una configurazione con eventuale collegamento provvisorio tra gronda di valle e Rio Crinaccio, realizzabile in assenza della cassa di espansione, e (ii) la configurazione finale con sfioratore definitivo e cassa di espansione.

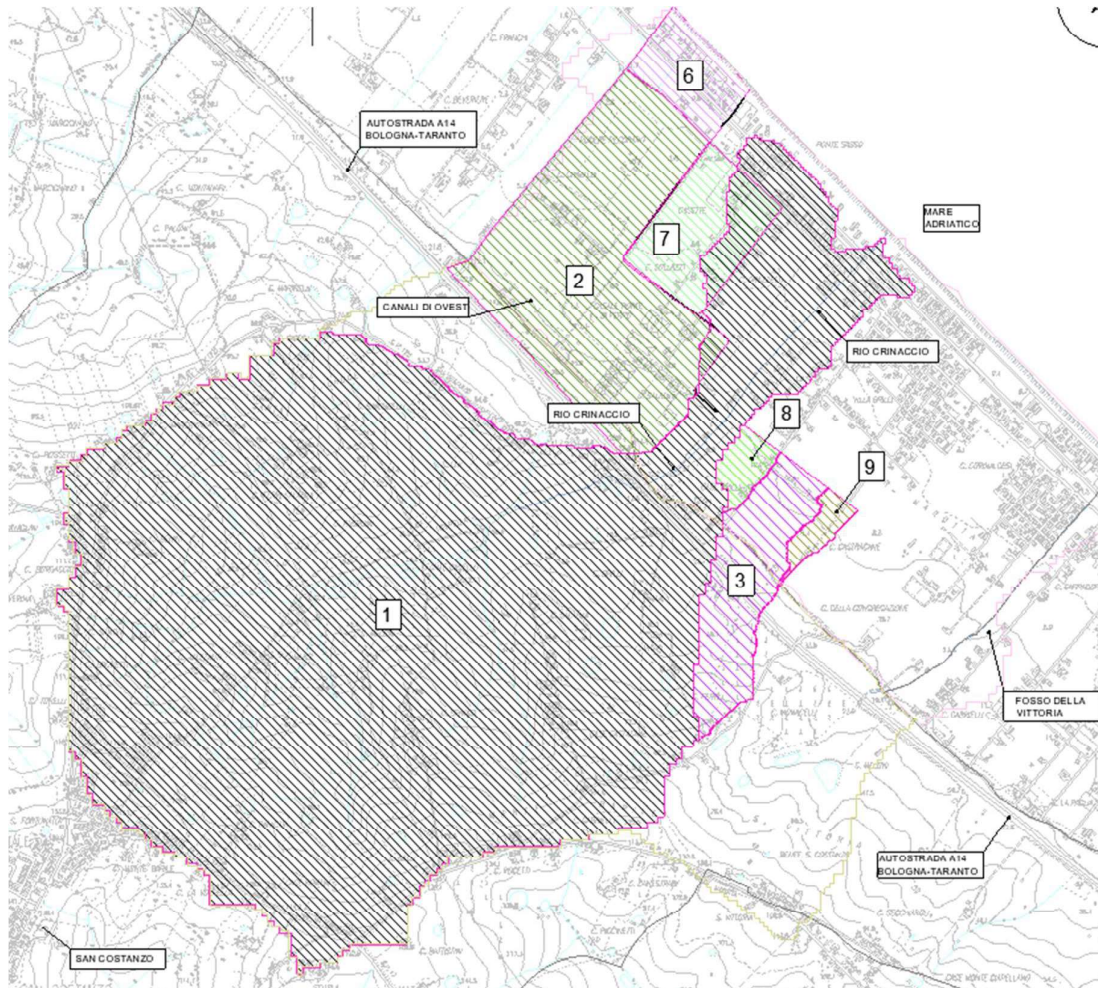


Figura 6-1 – Stralcio della corografia dei bacini.



## 7. ANALISI IDROLOGICA

Il Rio Crinaccio è un torrente caratterizzato da un comportamento fortemente torrentizio caratterizzato da un bacino modesto, pari a circa 4,14 km<sup>2</sup> e da una lunghezza dell'asta principale pari a 3,8 km ricadente per oltre l'88% in area collinare nel Comune di San Costanzo e per la quota restante in area pianeggiante nel Comune di Fano ove è situato anche lo sbocco nell'arenile di Attraversamento Sasso. Praticamente al confine tra i due Comuni, con tracciato parallelo alla linea di costa, corre la linea dell'Autostrada Adriatica A14 recentemente oggetto dell'ampliamento della terza corsia.

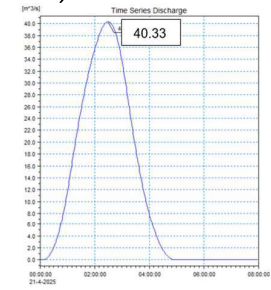
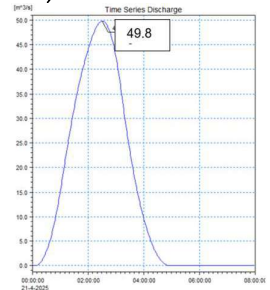
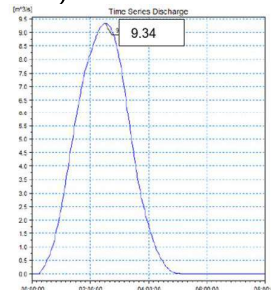
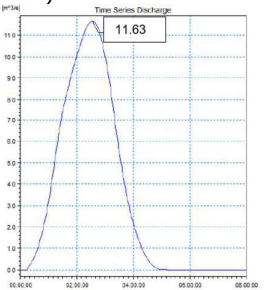
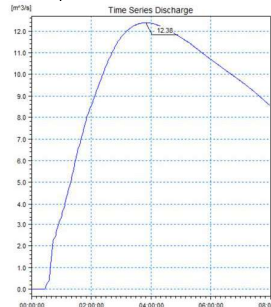
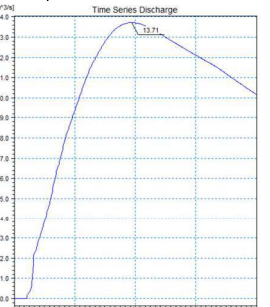
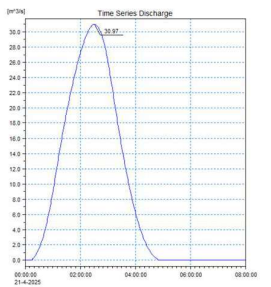
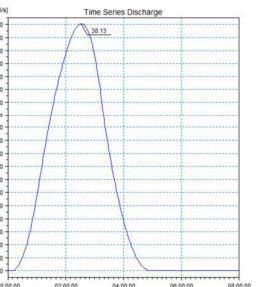
I problemi principali riguardano in particolare la parte terminale del corso d'acqua ove sono presenti numerose infrastrutture strategiche pubbliche, private abitazioni, residence, alberghi, stabilimenti balneari e attività economiche.

Prima di delineare sinteticamente il lavoro pregresso vengono riportati i parametri delle curve di possibilità pluviometrica, utilizzate per le stime degli idrogrammi necessari ad integrazione di quelli già realizzati nel PFTE approvato e gli idrogrammi del PFTE utilizzate per le calcolazioni idrauliche.

<i>Tr (anni)</i>	<i>a</i>	<i>n</i>
<i>Tr 200</i>	80.26	0.239
<i>Tr100</i>	72.57	0.243
<i>Tr50</i>	64.85	0.246
<i>Tr25</i>	57.07	0.251

**Tab. 1 Pluviometro di Senigallia - parametri "n, a" della curva di possibilità climatica**



		TR 50 m <sup>3</sup> /s	TR 200 m <sup>3</sup> /s
Modello Crinaccio	Ante Operam	40.33 (Fig 31 pag 53 Rel PFTE) 	49.8 (Fig 36 pag 56 Rel PFTE) 
	Post Operam con Portate da progetto di Seconda Attuazione	9.34 (Fig 32 pag 54 Rel PFTE) 	11.63 (Fig 37 pag 56 Rel PFTE) 
Modello Eventuale Sfiatore provvisorio	Post Operam	40.33 (Fig 31 pag 53 Rel PFTE) <i>Vedi prima riga</i>	49.8 (Fig 36 pag 56 Rel PFTE) <i>Vedi prima riga</i>
Modello Gronda di valle tratto O-mare (dall'uscita della cassa al mare) con e senza interrimento	Post Operam con Portate da progetto di Seconda Attuazione	12.38 (Fig 35 pag 55 Rel PFTE) 	13.71 (Fig 40 pag 58 Rel PFTE) 
Modello Gronda di valle tratto E-N' (dall'inizio del canale sino all'ingresso in cassa)	Post Operam con Portate da progetto di Seconda Attuazione	30.97 (Fig 33 pag 54 Rel PFTE) 	38.13 (Fig 38 pag 57 Rel PFTE) 

Tab. 2 Quadro di sintesi delle portate in input ai modelli idraulici reperite dallo studio PFTE approvato



## 7.1. SINTESI STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO PFTE APPROVATO

Si riporta di seguito in questo capitolo una sintesi dell'analisi idrologica ed idraulica del PFTE approvato in quanto, parte degli input di portata dei modelli descritti nella trattazione idraulica, sono stati assunti pari alle stime ottenute in questa analisi di PFTE. Per maggiori approfondimenti si rimanda alla documentazione integrale del PFTE approvato.

Partendo dall'analisi dei dati storici e delle principali variabili che regolano il modello idrodinamico, di seguito si riportano i dati di ingresso assunti nell'analisi idrologica – idraulica del PFTE del corso d'acqua e dei bacini efficaci ad esso limitrofi d'interesse ed in particolare le portate critiche di massima piena. Con l'utilizzo di software dedicati di modellazione idrologica ed idraulica, software MIKE Plus 2025 sviluppato dal Danish Hydraulic Institute (DHI), in particolare il programma MIKE+ Rivers 1D con il modulo RR (Rainfall-Runoff) e modulo HD (Hydrodynamic), sono stati simulati preliminarmente gli scenari d'evento studiando l'andamento dell'onda di piena in occasione di portate critiche per differenti tempi di ritorno nelle sezioni d'interesse.

In particolare l'analisi idrologica – idraulica è composta delle seguenti valutazioni ed attività:

- Analisi delle serie di precipitazione e/o massimi annuali della stazione di Fano/Senigallia;
- Redazione della *mappa aggiornata dell'uso del suolo* sulla base delle informazioni cartografiche disponibili;
- *Individuazione preliminare delle portate al colmo* per differenti tempi di ritorno tramite *il metodo razionale tradizionale e modificato (Giambetti)* ed *il metodo SCS*;
- Implementazione di uno o più *idrogrammi di piena* per la sollecitazione del modello idraulico mediante il modello idrodinamico modulo RR (Rainfall-Runoff) sviluppato dal Danish Hydraulic Institute (DHI);
- Esecuzione di un *rilievo topografico di dettaglio*;
- Reperimento dei *dati Li.D.A.R.* dell'area d'interesse gentilmente concessi dal Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare;
- Esecuzione di *verifiche idrauliche in moto vario sul modello idrodinamico modulo 1D HD (Hydrodynamic)*, sviluppato dal Danish Hydraulic Institute (DHI);
- Analisi e descrizione dei risultati e proposta degli interventi e loro fabbisogno economico.

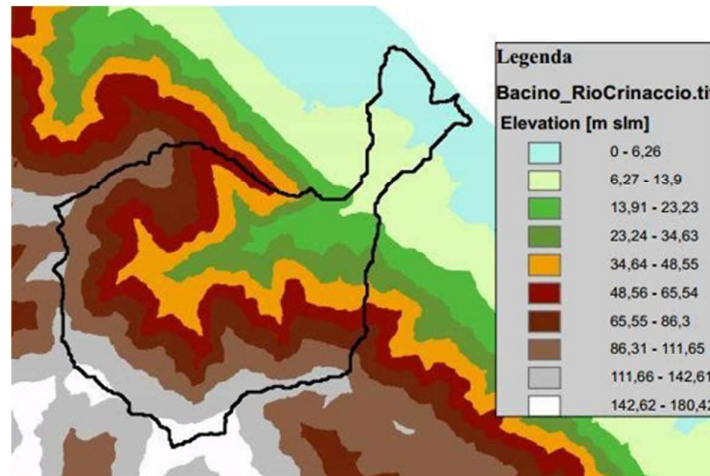
Nel proseguo del presente capitolo si esamina dapprima il bacino complessivo del Rio Crinaccio e della quota parte d'interesse che, come anzidetto, riguarda la parte terminale del Rio pari a circa 1,9 km dall'Autostrada A14 alla chiusura alla foce, si riporta la descrizione delle caratteristiche geomorfologiche e dell'uso del suolo, l'analisi delle piogge di riferimento e la stima delle portate che si originano nel bacino chiuso alla sezione d'interesse per differenti valori del tempo di ritorno, quindi si procede con la descrizione e la simulazione degli interventi proposti.

### 7.1.1 ANALISI GEOMORFOLOGICHE

Al fine di effettuare le analisi geomorfologiche preliminari è stato redatto un modello digitale del terreno (DEM) partendo dagli strumenti cartografici disponibili.

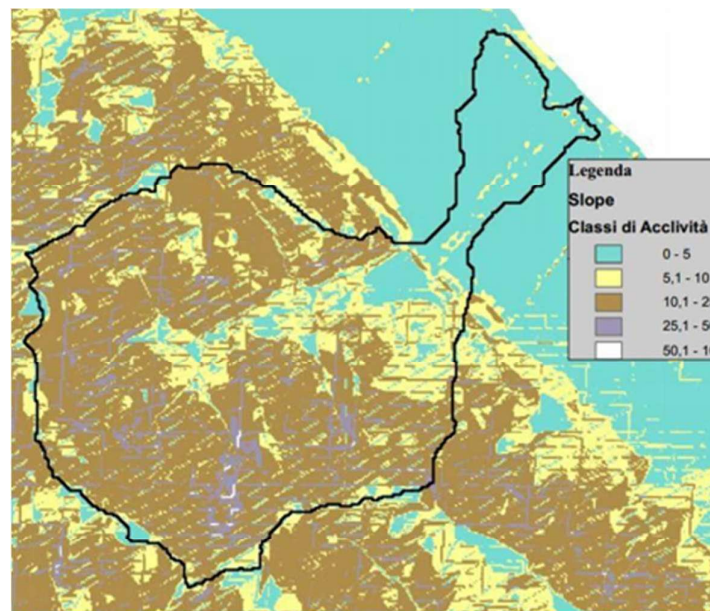
Il DEM è stato realizzato unendo quello originario di D.E.M. TINITALY con i punti estratti dalla cartografia 1:2'000 della Carta Tecnica del Comune di Fano, questi ultimi impiegati per migliorare la definizione dell'estensione del bacino nel tratto pianeggiante ed i suoi confini naturali.

L'infrastruttura autostradale rappresenta come anzidetto lo spartiacque tra la parte di bacino collinare caratterizzato da quote relativamente elevate (altezza massima individuata in 162 m slm), posta in Comune di San Costanzo e quella pianeggiante a valle fino alla foce posta (caratterizzata da quote inferiori a 10 m slm) in territorio Fanese.



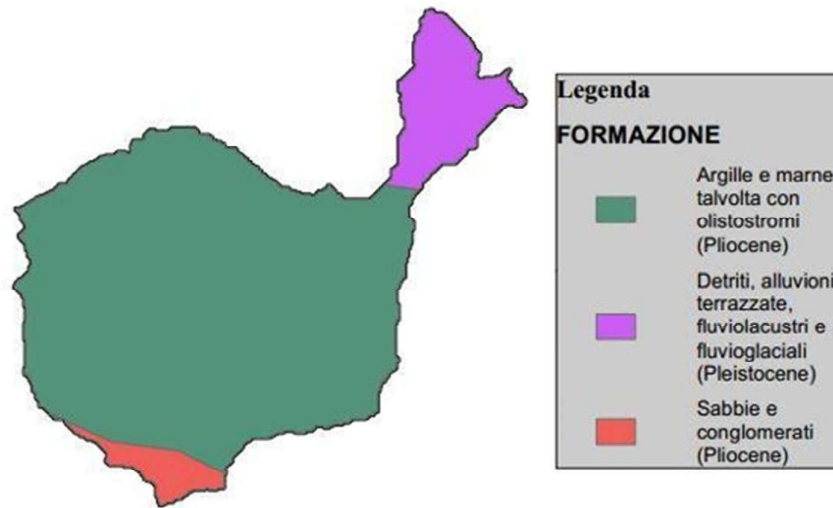
**Fig. 17–Modello digitale del terreno del Rio Crinaccio**

Le due zone di bacino si distinguono nettamente visivamente nella seguente figura ove è riportata la mappa delle acclività: quella di San Costanzo con una pendenza media elevata e mediamente pari a oltre il 14 % e quella di Fano invece con inclinazioni praticamente nulle.



**Fig. 18 – Mappa dell'acclività del Rio Crinaccio**

Il cambio di pendenza segna anche Geologicamente il contatto fra i terreni del Pliocene (Argille e Marne e Sabbie e Conglomerati) presenti in area collinare e quelli del Pleistocene (Detriti, alluvioni terrazzate) situati in prossimità del mare.



**Fig. 19 – Estratto della carta Geolitologica d'Italia, 1:500'000**

Per quanto riguarda gli aspetti idrologici l'area in studio si chiude in corrispondenza della foce del Rio Crinaccio, corrispondente allo sbocco a mare nell'abitato di Attraversamento Sasso. Per i motivi sopra esposti è stata poi posta un'ulteriore sezione di chiusura a monte del rilevato autostradale, in modo di verificare le portate derivanti dalla parte collinare rispetto all'intero bacino.



**Fig. 20 – Mappa del reticolo idrografico ed individuazione dei bacini del Rio Crinaccio a monte e valle dell'Autostrada**

In base ai valori che si possono estrarre a partire dalle immagini sopra mostrate, è possibile determinare il tempo di corrivazione, dipendente per la teoria cinematica dalla morfologia del bacino:



Per le valutazioni idrologiche sono stati utilizzati diversi valori del tempo di corrivazione  $T_c$  calcolati mediante le relazioni normalmente impiegate in casi analoghi. In particolare sono state impiegate le seguenti espressioni adottando quella di Giandotti per il Rio Crinaccio ovvero quella di Kirpich per i bacini che si collocano a EST dello stesso e risultano tributari del Canale di Gronda nel tratto che si immette appunto nel Rio Crinaccio. Per i bacini collocati a OVEST, che scaricheranno le acque nella Geonda di Valle, è stata utilizzata la formulazione di Pasini come indicato in molteplici linee guida dei consorzi di bonifica per bacini di painura.

$$T_c = \frac{(4 \cdot A^{0.5} + 1.5 \cdot L)}{(0.8 \cdot H^{0.5})} (h) \quad \text{(Giandotti)}$$

$$T_c = 0.000325 \cdot (L \cdot 1000)^{0.77} \cdot I^{-0.385} (h) \quad \text{(Kirpich)}$$

$$T_c = 0.055 \cdot \frac{A}{\sqrt{i}} (h) \quad \text{(Pezzoli)}$$

$$T_c = 0.108 \frac{(A \cdot L)^{1/3}}{\sqrt{I}} (h) \quad \text{(Pasini)}$$

$$T_c = 0.1272 \sqrt{\frac{A}{I}} (h) \quad \text{(Ventura)}$$

**Fig. 21 – Formule adottate analisi idrologica per la stima del tempo di corrivazione del bacino**

### 7.1.2 USO DEL SUOLO

Per l'analisi dell'uso del suolo si è fatto riferimento alla banca dati del progetto Corine Land Cover (ver. 2006) elaborato dall'ISPRA. La morfologia collinare e pianeggiante ha favorito un uso del suolo prevalentemente seminativo, eccezion fatta per il tratto costiero, trasformatosi nel corso degli anni in zona residenziale.

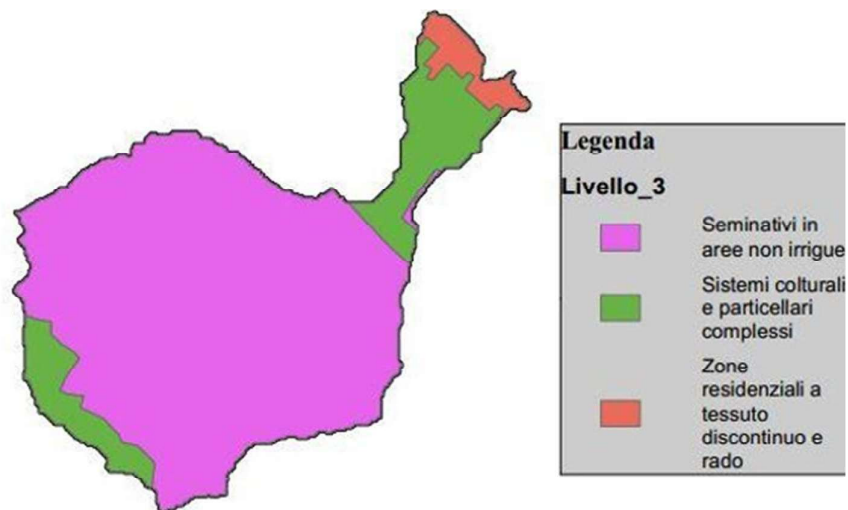


Fig. 22–Estratto della mappa dell'uso del suolo (livello 3, Corine Land Cover, ISPRA) del Rio Crinaccio

I valori del coefficiente di deflusso adottati per ogni singola classe di uso del suolo sono illustrati nella seguente Tabella 1 ove si deduce che il coefficiente equivalente per l'intero bacino oggetto di studio è pari a 0,61.

Uso del suolo	Area [Kmq]	$\phi$
Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado	0.13	0.95
Seminativi in aree non irrigue	3.31	0.6
Sistemi colturali e particellari complessi	0.60	0.6
Autostrada	0.03	0.95
$\phi$ medio		<b>0.61</b>

Tab. 3- Valori del coefficiente di deflusso per classi di uso del suolo del Rio Crinaccio

A questo valore si è giunti mediante la sovrapposizione del bacino con le differenti zone di cui alla mappa Corine Land Cover di terzo livello di cui alla precedente figura ed assegnando a ciascuna zona presente valori del coefficiente di deflusso presenti in letteratura (e, fra gli altri, nella "Analisi Idraulica [...] dei Torrenti Rio Melo e Fosso Taviolo [...] redatto dall'Autorità di Bacino Interregionale Marecchia-Conca).

Si sottolinea come il calcolo del coefficiente medio, pur valutato come 0,61 successivamente è stato assunto cautelativamente pari a 0,7.

### 7.1.3 COROGRAFIA DEI BACINI E DATI CARATTERISTICI

Nell'immagine seguente si mostrano le suddivisioni dei bacini idrografici interferenti con le opere do progetto, Rio Crinaccio e Canali di Gronda.

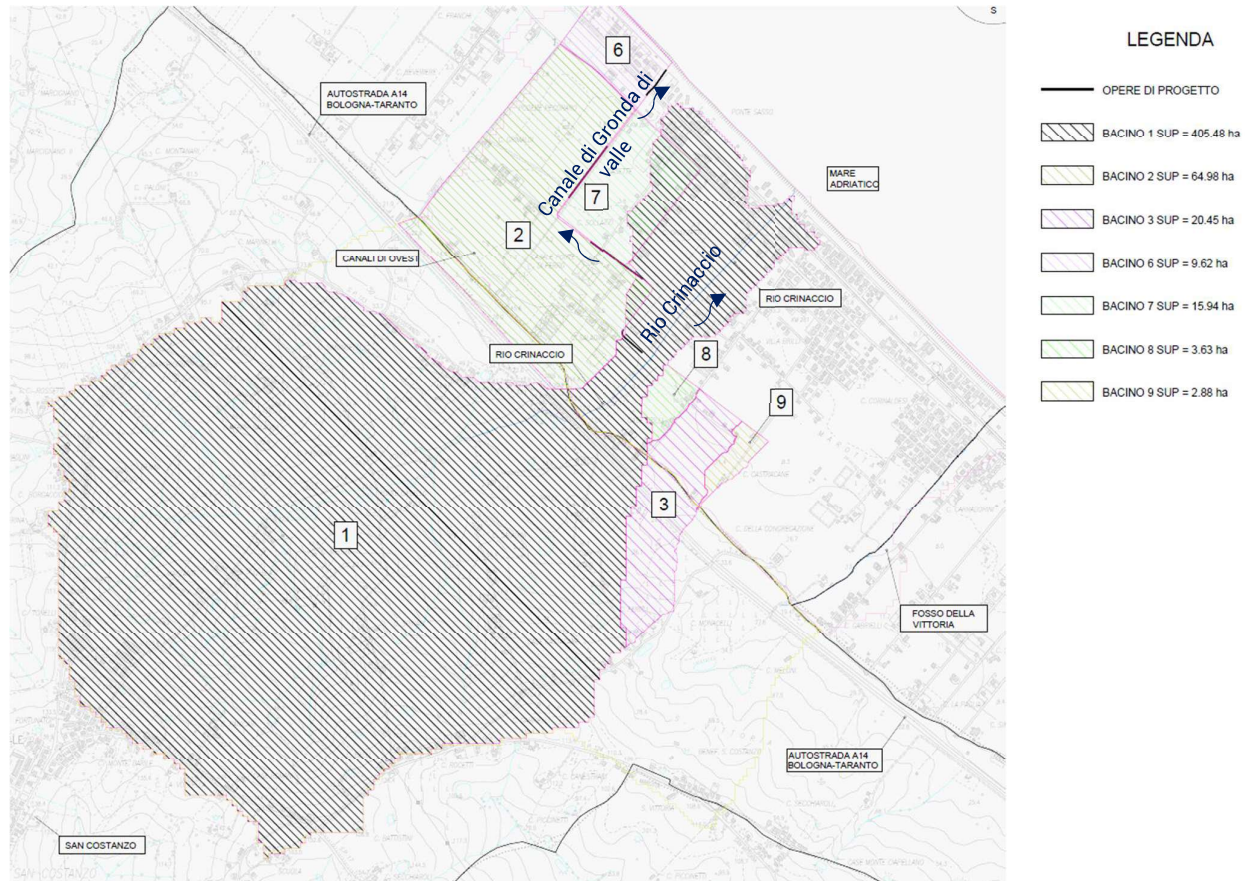


Fig. 23–Estratto della mappa dell'uso del suolo (livello 3, Corine Land Cover, ISPRA)

#### Bacino a monte dell'attraversamento autostradale:

La chiusura del bacino in questione si trova in prossimità del rilevato dell'Autostrada a 14 proprio in corrispondenza del tombino autostradale.

I parametri morfometrici associati al bacino in questione sono stati calcolati mediante software Gis sulla base del D.E.M. TINITALY a risoluzione 10 m.

I risultati ottenuti sono i seguenti:

Area [Km <sup>2</sup> ]	L [Km]	i [m/m]	Hmax	Hmin	Hmed	ψ	T <sub>c</sub> [ore]
3,29	2,51	0.039	162,55	17,41	72,17	0,7	1,86

Tab. 4- Parametri morfologici del Bacino del Rio Crinaccio a monte dell'Autostrada

#### Bacino alla foce del Rio Crinaccio

La chiusura del bacino in questione si trova in corrispondenza della foce del Rio Crinaccio.

I parametri morfometrici associati al bacino in questione sono stati calcolati mediante software Gis su una base creata dalla sovrapposizione fra il già citato D.E.M. TINITALY e un raster creato mediante interpolazione di punti



quotati della cartografia a 2'000 del Comune di Fano, in modo da meglio discretizzare il tratto vallivo ed individuare l'effettivo spartiacque con i bacini collocati a NORD e a SUD rispetto all'andamento del Rio Crinaccio.

Nella seguente tabella si riassumono i principali dati/risultati.

Area [Km <sup>2</sup> ]	L [Km]	i [m/m]	Hmax	Hmin	Hmed	ψ	Tc [ore]
4.14	3.83	0.030	162.55	0.9	62.64	0.70	2.20

Tab. 5-Parametri morfologici del Bacino del Rio Crinaccio alla foce

#### 7.1.4 STIMA DELLE PRECIPITAZIONI DI PROGETTO

La stima delle portate per le verifiche idrauliche parte dalla valutazione delle precipitazioni meteoriche della zona in questione per poi costruire la curva di possibilità climatica. L'analisi della frequenza dei valori misurati della grandezza idrologica alla quale viene riferito il dimensionamento di un'opera idraulica consente di definire quantitativamente il rischio d'insuccesso: tradizionalmente il rischio idraulico è definito in termini di tempo di ritorno (Tr). Per un'opera, quale una rete di drenaggio urbano a protezione e servizio del territorio, il tempo di ritorno (Tr) è definito come la durata media, in anni, del periodo in cui il valore  $X_T$  della variabile idrologica (l'altezza di pioggia caduta nel sito di progetto in un assegnato intervallo, portata al colmo di piena della sezione di progetto, o altro) sul quale viene dimensionata l'opera, viene superato una sola volta; esso è legato alla probabilità di non superamento  $P(X_T) = P(x \leq X_T)$  dalla:

$$P(X_T) = 1 - 1/T_r$$

L'idrologia della zona in oggetto è caratterizzata da un tratto collinare, posto principalmente nel Comune di San Costanzo, e da un tratto pianeggiante corrispondente alla foce. Di conseguenza i tempi di concentrazione, o di corrivazione, dove per tempo di corrivazione si intende il tempo caratteristico del bacino che rappresenta il tempo necessario perché la goccia caduta nel punto più "lontano" del bacino raggiunga la sezione di chiusura, sono relativamente breve (nell'ordine delle poche ore) e le precipitazioni che interessano sono quelle a forte intensità di durata oraria (o tri- oraria). Al fine di calcolare le portate di pioggia, occorrono pertanto informazioni sull'idrologia della zona. Queste informazioni possono essere riassunte dalla relazione a due parametri denominata legge di probabilità pluviometrica o curva segnatrice di possibilità climatica che lega le altezze di pioggia con le durate di pioggia con l'espressione seguente:  $h = at^n$

Per la stima di a e n è necessario raccogliere i dati di pioggia riportati dal Pluviometro di interesse. Per la stima delle portate del Rio Crinaccio, trovandosi indicativamente ad egual distanza sia dal Pluviometro di Fano che di quello di Senigallia, si è deciso di effettuare i calcoli per entrambe le stazioni, al fine di avere il valore idrologicamente più cautelativo per le valutazioni successive. I dati di pioggia sono stati aggiornati al 2023.

Tr (anni)	a	n
Tr 200	61.61	0.312
Tr100	56.64	0.309
Tr50	51.65	0.304
Tr25	46.62	0.299
Tr10	39.85	0.290
Tr5	34.50	0.281

Tab. 6-Pluviometro di Fano - parametri "n, a" della curva di possibilità climatica

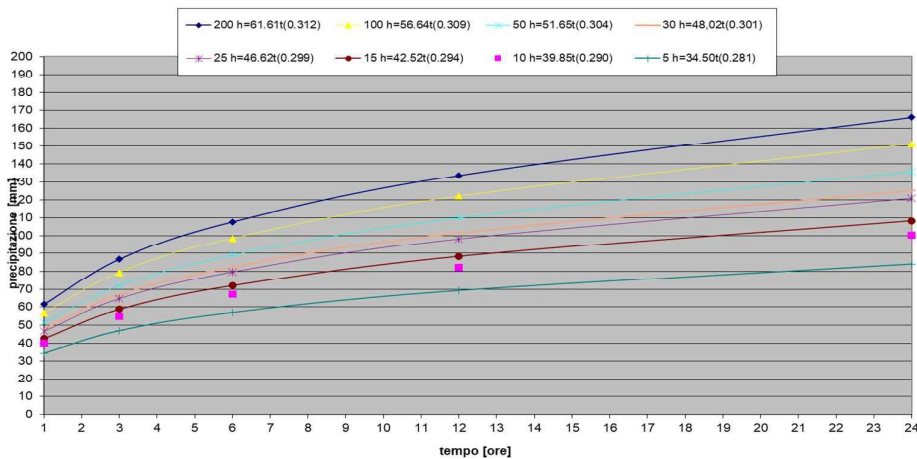


Tr (anni)	a	n
<b>Tr 200</b>	<b>80.26</b>	<b>0.239</b>
Tr100	72.57	0.243
<b>Tr50</b>	<b>64.85</b>	<b>0.246</b>
Tr25	57.07	0.251
Tr10	46.60	0.260
Tr5	38.31	0.270

**Tab. 7-Pluviometro di Senigallia - parametri "n, a" della curva di possibilità climatica**

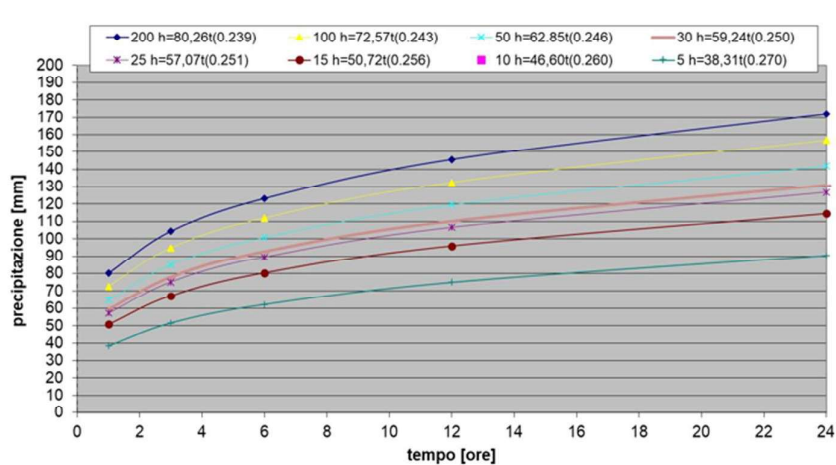
Le curve elencate nella precedente Tabella 4 e Tabella 5 sono mostrati nelle seguenti figure, in cui si mostra per i differenti valori del tempo di ritorno l'andamento delle precipitazioni per durate comprese fra 1 – 24 ore.

**ALTEZZE DI PIOGGIA 1-24 ORE**



**Fig. 24–Pluviometro di Fano - Curve di possibilità climatica**

**ALTEZZE DI PIOGGIA 1-24 ORE**



**Fig. 25–Pluviometro di Senigallia - Curve di possibilità climatica**



### 7.1.5 PORTATE DI PROGETTO – PICCO DI PIENA

Il presente capitolo riguarda la stima preliminare delle portate di piena del bacino del Rio Crinaccio.

L'area del bacino a monte dell'Autostrada risulta in circa 3,2 Km<sup>2</sup>, mentre quella totale, calcolata alla foce, corrisponde a circa 4,14Km<sup>2</sup>. I calcoli delle portate sono stati effettuati mediante tre metodologie distinte: il metodo razionale, il metodo razionale modificato (Giandotti – Giambetti) ed il metodo SCS.

Si riportano i risultati ottenuti nel PFTE approvato per la sola CPP della stazione pluviometrica di Senigallia, che risultano cautelativi rispetto alla stazione di Fano.

#### ANALISI RAZIONALE

Per rappresentare il processo di deflusso di una rete drenante in questo caso si ricorre ad una descrizione sintetica del legame fra l'afflusso (pioggia netta o efficace) al bacino idrografico ed il corrispondente deflusso di piena, secondo la procedura nota come Metodo dell'Idrogramma Unitario (I.U.), che fu sviluppato originariamente da Sherman nel 1932.

Nell'ipotesi di linearità ed invarianza nel tempo dei fenomeni di scorrimento superficiale – ad un aumento del volume di pioggia netta corrisponde un eguale aumento della portata defluente, indipendentemente dall'istante in cui la pioggia ha avuto inizio – vale il principio della sovrapposizione degli effetti. Ne consegue che tutti i modelli lineari possono essere messi nella forma della formula razionale:

$$Q_{c,max} = \varphi \cdot i(t_p) \cdot S \cdot \lambda(t_p)$$

considerando come parametri del modello il tempo di pioggia critico  $t_p$  e il valore di  $\lambda(t_p)$  essendo  $\varphi$  il coefficiente di afflusso,  $i(t_p)$  l'intensità media della pioggia di durata ( $t_p$ ) ed S la superficie del bacino. La portata di piena corrispondente alla portata di afflusso efficace (o di pioggia netta) al bacino si può stimare pertanto con il *metodo cinematico lineare*, che altro non è che il tradizionale *metodo della corrivazione* con le considerazioni che:

- gocce di pioggia cadute contemporaneamente in punti diversi del bacino impiegano tempi diversi per arrivare alla sezione di chiusura di questo;
- il contributo di ogni singolo punto del bacino alla portata di piena è direttamente proporzionale all'intensità di pioggia caduta nel punto in un istante precedente quello del passaggio della piena del tempo necessario perché detto contributo raggiunga la sezione di chiusura;
- questo tempo è caratteristico di ogni singolo punto ed invariante nel tempo.

Ne consegue che:

- esiste un tempo di concentrazione o di corrivazione  $t_c$  caratteristico del bacino che rappresenta il tempo necessario perché la goccia caduta nel punto più "lontano" del bacino raggiunga la sezione di chiusura;
- l'idrogramma unitario è semplificato.

Stando queste ipotesi la precedente formula è riscrivibile nel modo seguente:

$$Q_{c,max} = \varphi \frac{iA}{3,6} m^3 / s$$

dove: A=S=superficie del bacino in Km<sup>2</sup>

i = intensità della precipitazione in mm/h

Ψ= coefficiente di afflusso

Tenuto conto che, usualmente, l'intensità media di pioggia va diminuendo con l'aumentare della durata della stessa meno di quanto vada aumentando il parametro  $\lambda(t_p)$ , la portata massima al colmo si ottiene normalmente per piogge di durata pari al tempo di concentrazione o di corrivazione. La stima dell'intensità massima è legata alla curva di possibilità climatica deducibile direttamente dai dati rilevati ai pluviografi. Tale intensità massima si verifica in corrispondenza del tempo di corrivazione, tempo calcolabile, ad esempio con la classica formula del Giandotti.



La determinazione dell'afflusso meteorico al bacino idrografico richiede pertanto il calcolo dell'altezza media di pioggia caduta sul bacino medesimo, noti i valori puntuali misurati ai pluviografi, come visto al punto in precedenza.

Il volume di afflusso può essere stimato operando il ragguglio. È stato assunto pari a 1,00.

La portata al colmo dell'onda di piena può essere stimata quindi in modo estremamente rapido con la formula razionale precedentemente vista, valida per intensità di pioggia costante nel corso dello scroscio di durata non inferiore al tempo di corrivazione.

I calcoli di portata sono stati effettuati, come consuetudine, per tempo di ritorno di 5, 10, 25, 50, 100 e 200 anni.

In base ai valori precedentemente determinati, si riportano le portate stimate in base alle due stazioni pluviometriche per il bacino chiuso, cautelativamente alla foce con il tempo di corrivazione stimato con il metodo di Giandotti.

CPP Pluviometro Senigallia	Rio crinaccio foce - Giandotti	Bacini Canali di EST- Kirpich
Q 200 anni [mc/s]	35.19	12.30
Q 100 anni [mc/s]	31.89	11.07
Q 50 anni [mc/s]	28.58	9.84
Q 25 anni [mc/s]	25.25	8.60
Q 10 anni [mc/s]	20.76	6.94
Q 5 anni [mc/s]	17.21	5.62

**Tab. 8- Stima delle portate con il Metodo Razionale**

#### **METODO DI GIANDOTTI – GIAMBETTI**

La formula di Giandotti – Giambetti risulta essere una variazione del metodo Razionale, sviluppandosi attraverso le stesse basi fisiche ma con l'introduzione di alcuni nuovi parametri.

Nell'applicazione della formula di Giandotti al bacino in esame, date le sue modeste dimensioni, sono stati assunti i valori di  $\gamma$  e  $\lambda$  secondo Giambetti, il quale evidenziò come la formula di Giandotti bene si adattava alla riproduzione delle portate al colmo di piena di bacini imbriferi prevalentemente impermeabili con superficie di non oltre 50 km<sup>2</sup> assumendo valori di  $\gamma = 7$  e  $\lambda = 5$ .

La formula che si utilizza è questa:

$$Q_{c,max} = \frac{\gamma \cdot \varphi \cdot P \cdot S}{\lambda \cdot T_c}$$

dove  $\gamma$  rappresenta il rapporto fra portata massima e media,  $\varphi$  il coefficiente di deflusso,  $\lambda T_c$  è il tempo di durata dell'onda di piena, S la superficie del bacino e P la precipitazione raggugliata all'intero bacino con durata uguale o leggermente superiore al tempo di corrivazione sopra calcolato. Nell'applicazione della formula di Giandotti al bacino in esame, date le sue modeste dimensioni, sono stati assunti i valori di  $\gamma$  e  $\lambda$  secondo Giambetti pari a  $\gamma = 7$  e  $\lambda = 5$ .

Anche in questo caso i calcoli di portata sono stati effettuati per il tempo di ritorno di 5, 10, 25, 50, 100 e 200 anni.

Nelle seguenti tabelle si riportano i valori di portata stimati con il metodo di Giandotti – Giambetti sempre per le stazioni pluviometriche di Fano e Senigallia, per il bacino del Rio Crinaccio chiuso alla foce, per i bacini presenti a EST del Rio Crinaccio.

CPP Pluviometro	Rio crinaccio	Bacini Canali di
-----------------	---------------	------------------



<i>Senigallia</i>	EST- Kirpich	Foce - Giandotti
Q 200 anni [mc/s]	4.18	49.22
Q 100 anni [mc/s]	3.76	44.61
Q 50 anni [mc/s]	3.35	39.99
Q 25 anni [mc/s]	2.93	35.33
Q 10 anni [mc/s]	2.36	29.04
Q 5 anni [mc/s]	1.91	24.07

**Tab. 9- Stima delle portate con il Metodo di Giandotti – Giambetti**

### **METODO SCS**

Oltre al calcolo della portata mediante il metodo razionale ovvero la formula di Giandotti così come modificata da Giambetti, metodologia di largo impiego, di seguito si riporta, al fine di conseguire una valutazione più approfondita delle perdite del bacino e con essa la stima della pioggia efficace, il metodo proposto dal Soil Conservation Service (SCS) degli Stati Uniti.

Questo metodo è particolarmente utilizzato per la determinazione del deflusso corrispondente allo scorrimento superficiale nei bacini di medie – piccole dimensioni, privi di stazioni di misura. Il metodo, per quanto basato su considerazioni circa l'andamento temporale delle perdite, è stato proposto per stimare il deflusso relativo all'intero fenomeno di piena e risulta quindi del tutto equivalente ad un metodo di stima del coefficiente di afflusso.

Secondo la metodologia proposta il deflusso superficiale  $Q$  dipendente dall'afflusso meteorico  $P$  viene espresso secondo la seguente relazione (Moisello, 1999) :

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

dove  $I_a$  rappresenta la capacità di assorbimento iniziale e  $S$  la massima ritenzione potenziale.

In particolare  $I_a$  è un parametro che tiene in considerazione le perdite iniziali dovute all'infiltrazione all'intercettazione, all'immagazzinamento nelle depressioni superficiali e dipende dalle condizioni e dall'umidità iniziale del suolo. Analisi empiriche hanno mostrato come il parametro  $I_a$  sia proporzionale al parametro  $S$  secondo la relazione:

$$I_a = 0.2S$$

da cui sostituendo nella precedente espressione si ottiene:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}$$

Il parametro  $S$  rappresenta la quantità immagazzinabile dal bacino e quindi dipende fondamentalmente dalla tipologia del terreno, dall'uso del suolo e dalle condizioni di umidità del suolo determinate dalle piogge antecedenti (AMC, Antecedent Moisture Condition). Tali caratteristiche vengono di fatto riassunte in un fattore adimensionale, CN (Curve Number), legato al parametro  $S$  dalla seguente relazione:

$$S = 25.4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

con CN variabile fra 0 (deflusso superficiale assente) e 100 (assenza di perdite di infiltrazione).



Per la determinazione del valore di CN si fa riferimento a tabelle di letteratura che riportano valori del parametro CN, corrispondenti a condizioni di saturazione del suolo medie, a seconda del uso del suolo con riferimento a quattro gruppi (A, B, C, D) definiti in funzione della possibilità di infiltrazione offerta dal tipo di suolo. I quattro gruppi di classificazione vengono così definiti (Moisello 1999):

- suoli a basso potenziale di scorrimento, caratterizzati da un tasso di infiltrazione elevato anche quando completamente bagnati. Sono costituiti prevalentemente da sabbie o ghiaie di notevole spessore, con drenaggio da buono ad eccessivo;
- suoli caratterizzati da un tasso di infiltrazione moderato quando sono completamente bagnati. Sono costituiti prevalentemente suoli di spessore moderatamente elevato o elevato, con drenaggio da moderatamente buono a buono e con tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana;
- suoli caratterizzati da un tasso di infiltrazione basso quando completamente bagnati. Sono suoli con uno strato che impedisce il movimento discendente dell'acqua, oppure suoli con costituiti prevalentemente da sabbie o ghiaie di notevole spessore, con tessitura da moderatamente fine a fine;
- suoli ad alto potenziale di scorrimento, caratterizzati da un tasso di infiltrazione bassissimo quando completamente bagnati. Sono costituiti prevalentemente suoli argillosi con un alto potenziale di rigonfiamento, suoli con una falda prevalentemente alta, suoli con uno strato di argilla alla superficie o presso la superficie e suoli sottili giacenti sopra materiale pressoché impermeabile.

Per quanto riguarda le condizioni di saturazione, il metodo considera 3 classificazioni:

AMC I: bacino con suoli sufficientemente asciutti caratterizzati da potenziale di scorrimento superficiale minimo;

AMC II: condizioni medie;

AMC III: bacino pressoché saturato dalle piogge precedenti con potenziale di scorrimento superficiale massimo;

Alla luce di quanto esposto finora, è stato calcolato il CN come incrocio della tipologia di suolo e del suo uso.

Nella seguente sono riportati i valori percentuali di appartenenza dei diversi tipi di elementi litologici in riferimento alla classificazione proposta dal Soil Conservation Service:

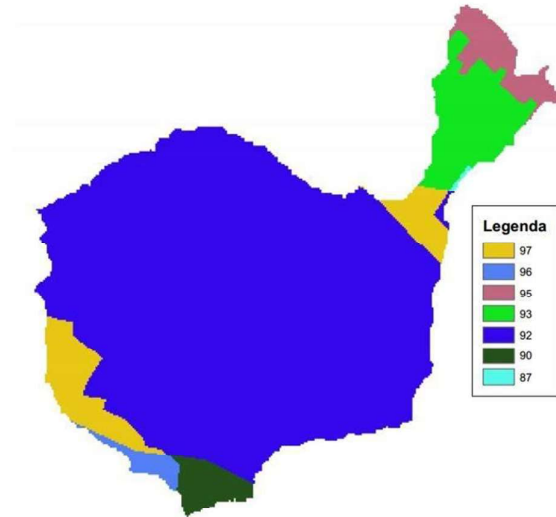
Nome Formazione	GruppoA	GruppoB	GruppoC	GruppoD
Alluvioni, detriti e depositi glaciali	10	35	55	0
Argille, argille e marne	0	0	0	100
Sabbie, arenarie e conglomerati	0	10	40	50

I valori del Curve Number, assegnati ai diversi tipi di uso del suolo sono i seguenti:

Nome Uso del Suolo	Gruppo A	Gruppo B	Gruppo C	GruppoD
Zone residenziali a tessuto discontinuo erado	89	94	97	98
Seminativi in aree non irrigue	79	85	90	92
Sistemi colturali e particellari complessi	86	92	96	97

I valori desunti per le diverse classi di suolo sono stati ottenuti dalla lettura attuale, e sono stati scelti per la classe di saturazione III in quanto fenomeni di alta intensità piovosa non permettono quasi il deflusso nel sottosuolo, trasformandosi quasi interamente in scorrimento superficiale.

Il risultato dato dall'incrocio fra gli elementi sopra descritti si può osservare in figura



**Fig. 26–Mappa del CN (III) relativa al bacino di studio**

Il valore medio del CN calcolato sull'intero bacino risulta dunque di 92,28.

Il metodo proposto dall'SCS considera un idrogramma approssimato di forma triangolare che ha una fase crescente di durata  $t_a$  (tempo di accumulo) e una fase di esaurimento di durata  $t_e$  (tempo di esaurimento) e il cui volume, espresso in  $m^3$ , ha la seguente espressione:

$$V = \frac{Q_p}{2}(t_a + t_e) = \frac{Q_p}{2}(t_b)$$

- con  $t_b$  equivalente alla durata dell'evento di piena.

Sperimentalmente le analisi eseguite dall'SCS hanno evidenziato che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume idrico pari al 37.5% del volume totale  $V$  di deflusso, da cui ne consegue che la durata della fase crescente è pari a 0.375 volte la durata dell'evento di piena  $t_b$  e pertanto:

$$t_b = 2.67t_a$$

Utilizzando le formule di cui sopra, esprimendo il volume di deflusso  $V$  in mm, il tempo  $t_a$  in ore, l'area  $A$  del bacino in  $Km^2$ , si ottiene:

$$Q_p = 0.208 \frac{Q}{t_a} A$$

Per determinare nell'ipotesi di precipitazione di intensità costante di durata  $t_p$  e indicando con  $t_L$  il tempo di ritardo, si procede con la seguente relazione:

$$t_a = 0.5t_p + t_L$$

con  $t_p$  minore o uguale a  $0.133t_c$  e minore di 0.2 volte  $t_a$ , mentre per la determinazione del tempo di ritardo,  $t_L$ , l'SCS propone in particolare l'espressione, limitata a bacini inferiore a  $8 km^2$ , come nel caso in esame:

$$t_L = 0.342 \frac{L^{0.8}}{S^{0.5}} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$



dove  $s$  rappresenta la pendenza media del bacino espressa in %,  $L$  la lunghezza dell'asta principale prolungata fino al displuviale espressa in Km.

Considerati eventi meteorici corrispondenti a differenti valori del tempo di ritorno, i valori della portata per il bacino in esame sono rappresentati nella seguente tabella:

Tempo di ritorno	Senigallia
<b>Q 200 anni [mc/s]</b>	<b>49.44</b>
Q 100 anni [mc/s]	42.12
<b>Q 50 anni [mc/s]</b>	<b>34.97</b>
Q 25 anni [mc/s]	28.00
Q 10 anni [mc/s]	19.13
Q 5 anni [mc/s]	12.73

**Tab. 10- Valori di portata stimati con il metodo del Soil Conservation Service (SCS)**

I picchi di portata maggiormente cautelativi per tutti i tempi di ritorno analizzati, per il bacino del Rio Crinaccio alla foce, sono quelli stimati attraverso le curve segnalatrici della stazione di Senigallia attraverso il metodo SCE sopra descritto. In funzione di questi picchi sono stati stimati gli idrogrammi di piena come descritto nel capitolo successivo.



### 7.1.6 PORTATE DI PROGETTO – IDROGRAMMA DI PIENA

Le verifiche idrauliche delle opere progettate sono state eseguite utilizzando il software MIKE Plus 2025 sviluppato dal Danish Hydraulic Institute (DHI), in particolare il programma MIKE+ Rivers 1D con il modulo RR (Rainfall-Runoff) e modulo HD (Hydrodynamic).

Nel caso in esame è stata utilizzata la sezione Rivers 1D di Mike ed in specifico il modulo MIKE 1D River che simula il flusso di fiumi, canali e alvei naturali definendo sezioni trasversali, rami fluviali e scabrezza del letto, modella briglie, tombini e ponti per un'analisi completa dei corsi d'acqua in esame.

Nel caso in esame sono stati ricostruiti gli idrogrammi di piena relativi alla portata al colmo stimata con i metodi riportati nei precedenti paragrafi mediante l'utilizzo del software MIKE + modulo RR Tale modulo RR (afflussi-deflussi) consente, partendo dai dati meteorologici (pioggia, temperature, evapotraspirazione, ecc...), su bacini naturali o artificiali, di ricostruire attraverso l'utilizzo di modelli idrologici (NAM, UHM, Drift, ecc...) le portate idriche in assegnate sezioni di calcolo.

Nel nostro caso è stato utilizzato il modello idrologico UHM che implementa il metodo dell'idrogramma unitario mediante diverse formule di calcolo delle perdite idrologiche e della portata defluente tra cui il metodo SCS i cui parametri sono riportati nel precedente paragrafo 3.6.3.

La pioggia netta rappresenta la quantità di pioggia che raggiunge il corso d'acqua durante un evento, cioè la precipitazione totale meno la perdita.

La pioggia netta è quindi trasformata in deflusso nel corso d'acqua attraverso il metodo dell'idrogramma unitario che permette di utilizzare sia l'idrogramma adimensionale del metodo SCS sia qualsiasi idrogramma definito dall'utente e memorizzato in un database che gestisce anche le condizioni al contorno, ovvero le serie storiche dei dati registrati di precipitazione e di portata.

Il modello UHM si basa su tre metodi differenti per il calcolo della pioggia netta, tutti modelli a parametri concentrati, ovvero che considerano ciascun bacino come un'unità e quindi i parametri utilizzati rappresentano valori medi sul bacino. Tutti e tre i metodi, di seguito elencati, includono un fattore di aggiustamento areale che tiene conto dell'eventuale distribuzione non uniforme della precipitazione sul bacino:

- Perdita proporzionale (di fatto come nel metodo razionale) in cui le perdite sono assunte proporzionali al tasso di precipitazione;
- Perdita fissa iniziale e perdita costante che prevede che non si produca pioggia netta fino a quando la perdita iniziale, definita a priori dall'utente, non sia stata raggiunta. Di conseguenza la pioggia netta è generata solo quando il tasso di precipitazione è superiore a uno specifico tasso costante di perdita, in questo modo il metodo tiene conto del fatto che le perdite sono maggiori all'inizio dell'evento di precipitazione;
- Perdita con CN del SCS.

Per la determinazione della pioggia netta si è considerata la perdita calcolata con il metodo CN del SCS la cui procedura è riportata al precedente capitolo.

Il metodo proposto dall'SCS è già stato esposto nel capitolo precedente, qui si aggiunge solo una formulazione alternativa per la stima del tempo di ritardo.

Il tempo di ritardo può essere stimato anche a partire da una stima del tempo di corrivazione  $t_c$  del bacino mediante la relazione (Ferro, 2001):

$$t_L = 0.6 t_{cv}$$

Dove  $t_c$  è stato calcolato con la Formula di Giandotti riportata nei paragrafi precedenti.

Sulla base di quanto sopra esposto, al fine di procedere con una valutazione circa l'effetto delle opere di progetto, sono stati individuati tre idrogrammi di piena per portate con tempo di ritorno di 50 e 200 anni relativi alle suddivisioni dei bacini indicate nella corografia dei bacini.

- l'idrogramma relativo al bacino del Rio Crinaccio, il cui contributo è stato inserito in testa al Rio Crinaccio;



- l'idrogramma relativo ai bacini collocati ad EST del Rio Crinaccio, il cui contributo è stato inserito in testa al Canale di Monte.

I tre idrogrammi suddetti sono stati calcolati con il tempo di corrivazione del Rio Crinaccio mediante la formula di Giandotti.

Inoltre è stato calcolato un altro idrogramma con Tr50 anni per i bacini collocati ad EST del Rio Crinaccio considerando il proprio tempo di corrivazione stimato mediante la formula di Kirpich. Tale idrogramma è stato utilizzato per il dimensionamento del Canale di Monte ed inserito in testa a detto canale al posto del precedente.

Gli idrogrammi sono stati tutti opportunamente calibrati utilizzando le portate al colmo calcolate nei precedenti paragrafi.

Gli idrogrammi risultanti utilizzati nella simulazione complessiva dell'intero sistema sono tre, come suddetto e sono per il tempo di ritorno di 50 anni, 200 anni, mentre i punti di immissione nella rete di canali sono riportati nella figura seguente.

L'idrogramma utilizzato per il dimensionamento del Canale di Monte con il tempo di corrivazione di Kirpich.

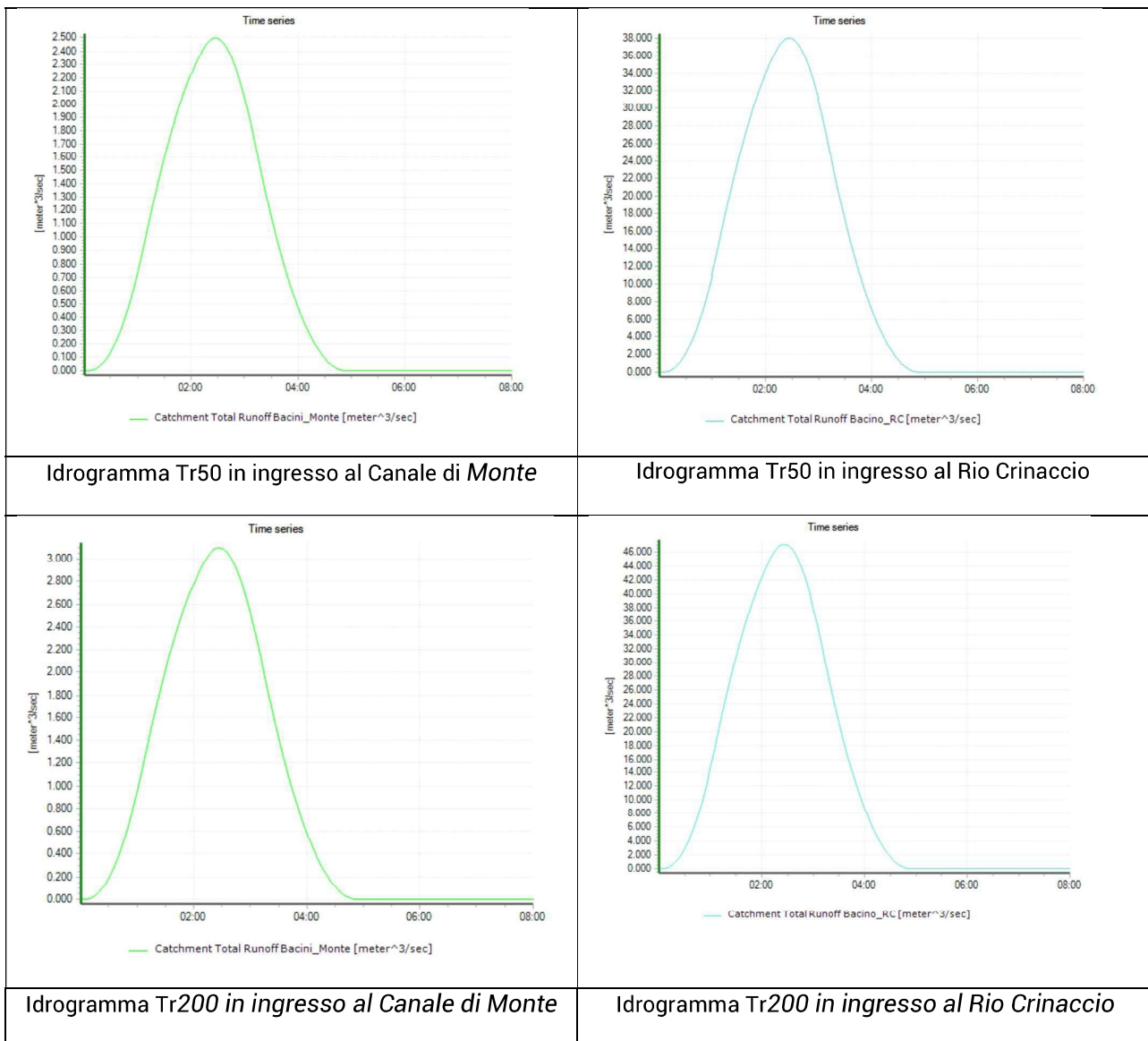
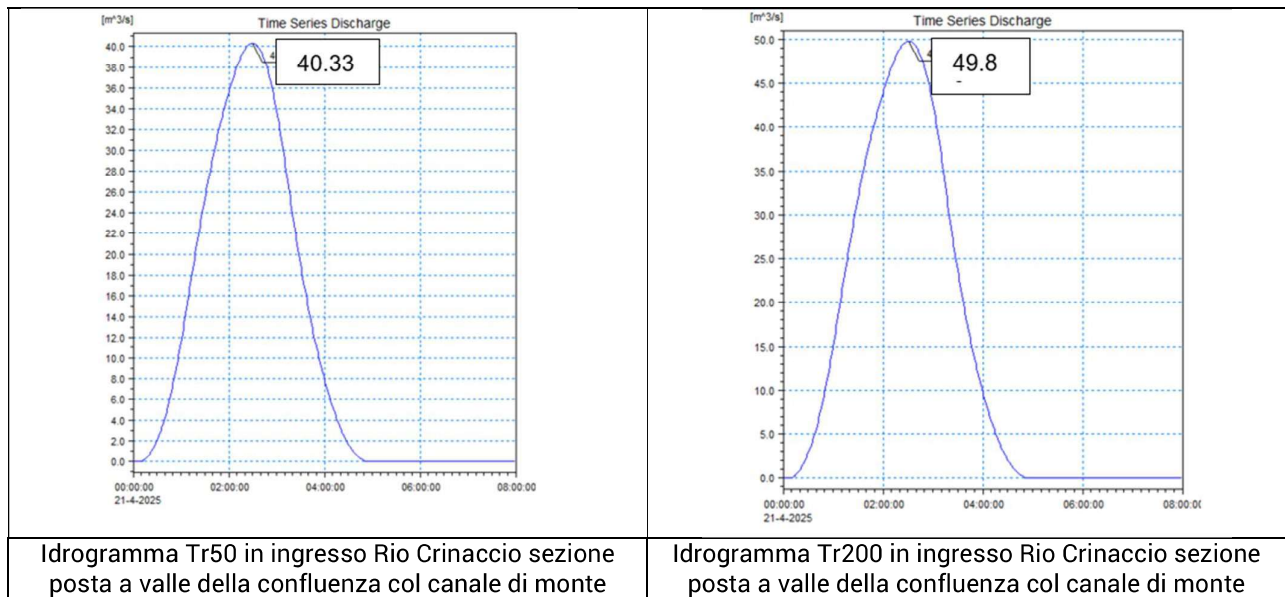


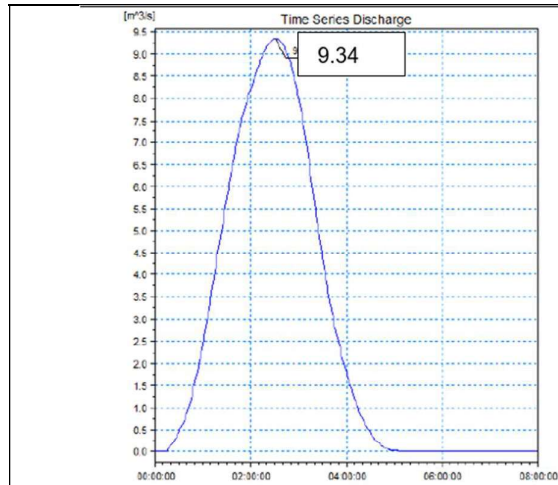
Fig. 27 – Idrogrammi stimati modellazione afflussi-deflussi PFE approvato



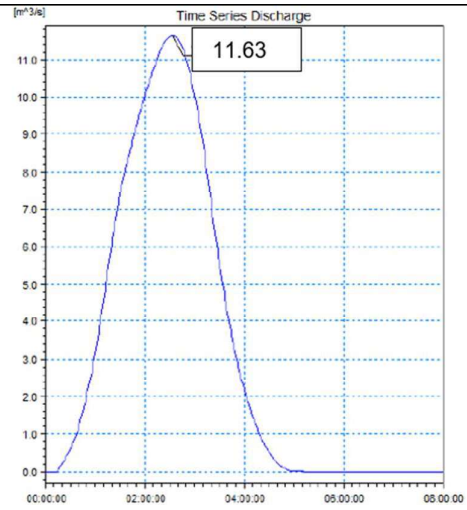
**Fig. 28–Punti di immissione degli idrogrammi utilizzati nelle simulazioni**

Seguono le immagini degli idrogrammi stimati nello studio del PFTE, dall'accoppiamento modello idrologico e modello idraulico, riferiti alla fase di Seconda Attuazione. Questi idrogrammi sono stati utilizzati per le verifiche del Rio Crinaccio e del Canale di Gronda di Valle, nella fase di Seconda Attuazione.

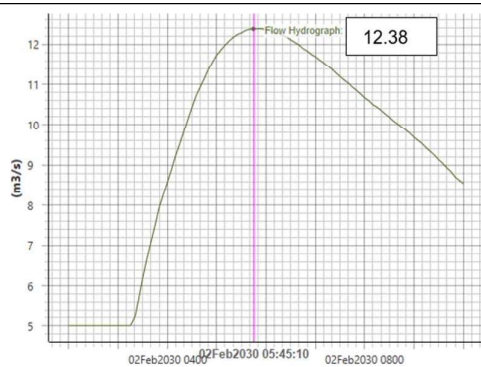




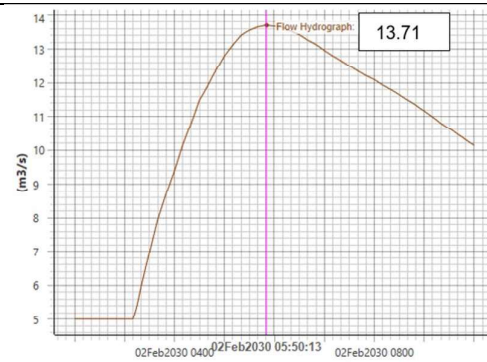
Idrogramma Tr50 Rio Crinaccio sezione posta a valle del tombino di controllo



Idrogramma Tr200 Rio Crinaccio sezione posta a valle del tombino di controllo



Idrogramma Tr50 Canale di Gronda di Valle sezione posta a valle del tombino controllo cassa



Idrogramma Tr200 Canale di Gronda di Valle sezione posta a valle del tombino controllo cassa

Fig. 29–Idrogrammi dal PFTE approvato stimati con modellazione idraulica afflussi-deflussi



## 7.2. STIMA DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA PER L'AREA DRENANTE DI OVEST

Definiti gli idrogrammi in input alle singole modellazioni, si è ritenuto in questa trattazione, di ricalcolare gli idrogrammi di piena dell'area a OVEST, il cui bacino (n°2 della Tav. di corografia dei Bacini), interferito dal percorso della Gronda DI VALLE, che, in prima attuazione, verserà le sue acque nella gronda stessa esattamente tra lo scatolare di Via Doria e quello della SS16. Un sistema di raccolta realizzato con fossi di guardia permette al deflusso di giungere in diversi punti della Gronda di Valle tramite aperture sui muri laterali del tratto canalizzato ad U e direttamente dalle sponde nel tratto a cielo aperto a sezione trapezoidale. Si sottolinea che tale bacino allo stato attuale non è ricompreso in quello del Crinaccio ma scarica direttamente a mare passando in prossimità del percorso della Gronda di valle di progetto all'altezza della SS16.

Per stimare l'idrogramma per piene TR 200 e 50 anni necessari alle verifiche idrauliche, è stato stimato il picco di piena col Metodo Razionale, descritto nel Cap. 7.1.4, utilizzando i parametri delle CPP di Senigallia e applicando la formula di Bell per la stima dell'intensità di precipitazione. Infatti i tempi di corrivazioni di questo bacino di modeste dimensioni sono inferiori all'ora. Infine per la forma dell'idrogramma si è utilizzata una forma sintetica triangolare con tempo di picco pari al tempo di concentrazione del bacino e base dell'idrogramma pari a tre volte il tempo di concentrazione o corrivazione (Tc). Il tempo di corrivazione è stato stimato con la formula di Pasini e il coefficiente di deflusso da utilizzato per l'applicazione della formula Razionale è stato assunto cautelativamente pari a 0.7. Tali ipotesi sono in linea con le indicazioni di diversi consorzi di bonifica per aree di pianura.

Si riporta in breve per completezza la Formula di Bell:

In considerazione del valore molto basso del tempo di corrivazione di alcune superfici scolanti, risulta opportuno utilizzare la seguente formulazione che lega le altezze di pioggia relative a tempi inferiori all'ora a quelle di un evento, a pari tempo di ritorno e durata di un'ora:

Per la stima dell'intensità di precipitazione da inserire nella formula del metodo razionale, è stata utilizzata la seguente formulazione, per la stima dei mm di pioggia. La formula dipende dai mm di pioggia stimati per un'ora per il tempo di ritorno considerato. Per tale grandezza è stato assunto il parametro a delle CPP di Senigallia già riportati nei paragrafi precedenti del presente capitolo.

$$h_t = (0.54 \times t^{0.25} - 0.5) \times h_{60}$$

Dove:

- t è il tempo espresso in minuti;
- $h_{60}$  è l'altezza di pioggia relativa ad un evento a pari tempo di ritorno e di durata pari ad un ora in mm ( $h_{60,200}$  è 80.26  $h_{60,25}$  è 64.85 dove il secondo termine a pedice indica il tempo di ritorno).



Segue la stima del picco di piena con metodo razionale e gli idrogrammi triangolari ottenuti

<b>BACINO CANALI DI OVEST ALLA GRONDA DI VALLE</b>					
<b>Metodo razionale</b>					
<b>Caratteristiche morfologiche del bacino afferente</b>					
Superficie	Lunghezza asta	H <sub>chiusura</sub>	H <sub>max</sub>	H <sub>med</sub>	i <sub>media asta</sub>
(km <sup>2</sup> )	(km)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(-)
0.650	0.151	1.80	10.00	5.00	0.0040
<b>Tempo di corrivazione del bacino afferente</b>					
Pasini					
(h)					
0.79					
<b>Curve pluviometriche stazione di Senigallia</b>					
T <sub>r</sub>	a(d<1h)	n(d<1h)	H mm Bell	intensità di pioggia	
(anni)					
10	46.6	0.26	42.68	54.18	
25	57.07	0.251	52.27	66.36	
50	64.85	0.246	59.39	75.40	
100	72.57	0.243	66.46	84.38	
200	80.26	0.239	73.51	93.32	
T <sub>r</sub>	Coefficiente ragguglio	Coefficiente deflusso	Q <sub>max,Pasini</sub>		
(anni)			(m <sup>3</sup> /s)		
10	1.000	0.70	6.85		
25	1.000	0.70	8.38		
50	1.000	0.70	9.53		
100	1.000	0.70	10.66		
200	1.000	0.70	11.79		

Fig. 30–Stima picco di piena dei Canali di Ovest

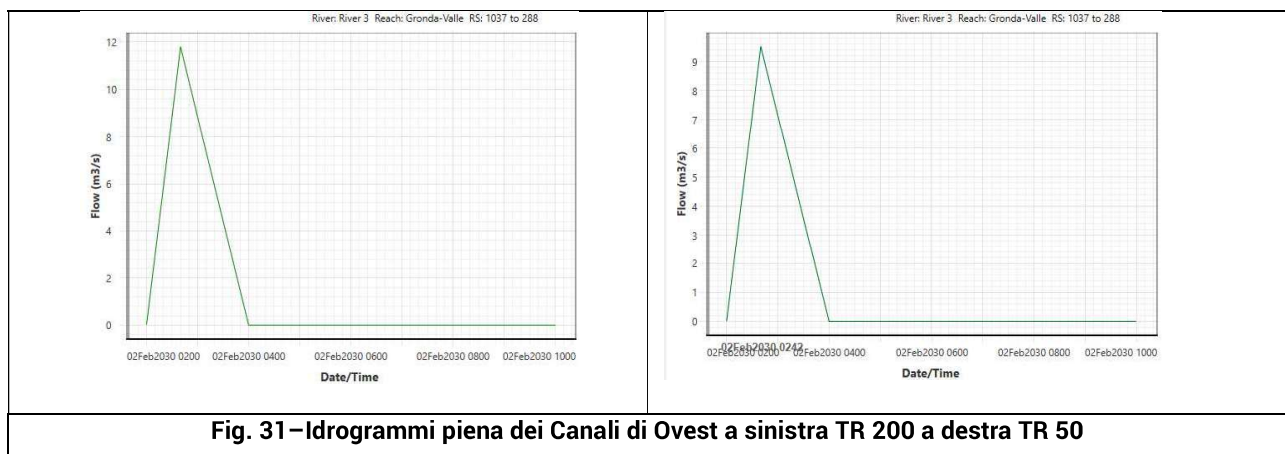


Fig. 31–Idrogrammi piena dei Canali di Ovest a sinistra TR 200 a destra TR 50



## 8. STUDIO IDRAULICO

Lo studio idraulico consiste nella modellazione del corso d'acqua d'interesse in condizioni di moto vario, sia nello stato ante operam che post operam, effettuata mediante l'utilizzo di un codice di calcolo denominato HEC-RAS (River Analysis System – Versione 6.6), sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corp of Engineers, che risponde alle esigenze del problema in studio, sulla scorta dei valori di piena precedentemente stimati.

Di seguito, prima di analizzare i risultati, si fornisce una breve descrizione del modello di calcolo e delle assunzioni fatte.

Il codice HEC-RAS permette di determinare le grandezze caratteristiche dei moti entro un ampio ventaglio di condizioni ai limiti e configurazioni geometriche mediante la risoluzione completa delle equazioni di De Saint Venant.

Tale codice fornisce come risultati il livello idrometrico dello specchio liquido, la velocità dell'acqua, il numero di Froude, gli idrogrammi di piena nelle varie sezioni del corso d'acqua, oltre ad altri "output" di interesse minore per lo studio in oggetto. La rilevazione dell'andamento dei livelli idrometrici, correlati alla morfologia del corso d'acqua, permette di identificare l'ambito fluviale durante gli eventi di piena esaminati.

La corretta applicazione di tale modello richiede la rappresentazione geometrica del corso d'acqua, nonché la valutazione e stima di quei parametri che intervengono nelle equazioni del moto oltre, naturalmente, alle portate in ingresso ed alle condizioni ai limiti.

Tali elementi vengono di seguito sviluppati in dettaglio.

### 8.1. Modello idraulico – matematico (HEC-RAS)

#### 8.1.1 Premessa

Per ottenere la stima delle portate e dei livelli nelle singole sezioni di calcolo e di tutte le grandezze idrauliche derivate, è necessario inserire una adeguata rappresentazione geometrica. In questo caso, considerando il moto dell'acqua durante un evento di piena eccezionale principalmente nella direzione della corrente, il modello adottato è di tipo monodimensionale.

È inoltre necessario inserire i parametri che rappresentano le grandezze fisiche dell'alveo quali scabrezze e coefficienti di espansione e contrazione.

Fondamentale per la simulazione è la definizione delle condizioni al contorno che nel caso di moto vario sono le condizioni di monte e di valle in termini di portate e/o di livelli idrici.

Sono stati implementati 3 schemi generali di modellazione (i riferimenti sono mostrati nelle figure seguenti):

- uno per il Rio Crinaccio dalla sezione C2 alla foce
- uno che accoppia un tratto del Rio Crinaccio (Dal punto D alla sezione C2 del rilievo) per una lunghezza complessiva di 192 m e l'intera estensione della Gronda di Valle con lunghezza totale di 1563 m (da ora in poi sarà denominato Eventuale Sfiatore provvisorio).
- due tratti del canale di Gronda di Valle, dall'inizio (punto E) alla sezione di ingresso futura cassa (punto N') e un secondo dall'uscita del manufatto di controllo della cassa (Punto O) a mare.

Per il primo di questi modelli sono stati svolti, per tutti i tempi di ritorno indagati (TR 200 e 50 anni), tre scenari: Ante Operam, Post Operam Sfiatore provvisorio e Post Operam Seconda Attuazione.

Gli stessi tempi di ritorno sono stati utilizzati per le verifiche degli altri due schemi che sono di Post Operam di Sfiatore provvisorio e per la Gronda di Valle anche di Seconda Attuazione.

In questa trattazione, per Seconda Attuazione, si fa riferimento alle portate in input al modello, in quanto le opere Cassa di Espansione e Sfiatore di seconda attuazione non sono compresi nella modellazione.



Infatti, scopo fondamentale del presente studio è verificare le Opere del progetto di Prima Attuazione sia nella immediatamente successiva alla loro realizzazione, sia nella fase finale di Seconda Attuazione e quindi sottoposte ad una forzante idrologica diversa dalla prima. Ove esistente uno stato attuale si è verificato il confronto Ante e Post Operam.

Tutte le modellazioni sono realizzate in moto vario con schema monodimensionale. Gli input di portata sono riportati in un quadro di sintesi nella figura seguente, riprendendo da quanto già mostrato nel capitolo di analisi idrologica.

La condizione di valle, per il Rio Crinaccio e per la Gronda di Valle il cui schema arriva sino alla foce è pari a 1.3 m slmm, per le motivazioni anzidette.

Nel modello Sfiatore provvisorio per il Rio Crinaccio si è assunta la pendenza di moto uniforme rilevata a valle della sezione C2.

Per il modello Gronda di Valle Tratto E-N' è stata assunta, come condizione di valle, la quota stimata dal PFTE approvato di livello in cassa di espansine massimo per gli eventi di interesse TR 50 e TR 200 anni pari a rispettivamente 6.41 m slmm e 5.80 m slmm.

Come condizione iniziale si è posta una portata per dare stabilità al modello pari a 3 m<sup>3</sup>/s e 5 m<sup>3</sup>/s rispettivamente per gli eventi di piena TR 50 e TR 200 anni.

Infine, per le scabrezze si sono assunti i seguenti valori:

- 0.017 m<sup>-1/3</sup>s coefficiente di Manning assunto per i tratti in cls;
- 0.025 m<sup>-1/3</sup>s coefficiente di Manning assunto per il tratto di canale a cielo aperto.
- 0.020 m<sup>-1/3</sup>s coefficiente di Manning assunto per i tratti a cielo aperto rivestiti con materassini tipo Reno.

Per i coefficienti di perdita in ingresso e uscita dalle sezioni scatolari, sono stati assunti: valori pari rispettivamente a 0.2 per restringimenti gradualmente (muri d'ala) e 0.3, sono stati assunti valori pari a 0 per il coefficiente di uscita dove non vi sia variazione di geometria tra la sezione di monte e quella di valle.



Fig. 32-Planimetria di progetto di Sfiatore provvisorio



Fig. 33- Planimetria di progetto di seconda attuazione

### 8.1.1.1 Dati di base per la descrizione geometrica

Per costruire la geometria del rio Crinaccio si è fatto affidamento alle seguenti fonti:

- Rilievo di dettaglio acquisito
- Verifica del rilievo acquisito per una valida rappresentazione dello stato attuale nel dettaglio della presente fase di progettazione e integrazioni di questo per estensione delle sezioni e dettagli costruttivi delle opere esistenti. Integrazioni del rilievo anche nell'area di ubicazione dello sfioratore provvisorio posizionato a monte rispetto a quello previsto da PFTE approvato.
- Reperimento dei *dati Li.D.A.R.* dell'area d'interesse gentilmente concessi dal Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare;
- Ampia documentazione fotografica dello stato dei luoghi attuali e sopralluoghi in sito.

Incrociando tutte queste fonti di informazione si è riusciti a costruire uno schema di Ante Operam del Rio Crinaccio che potesse fornire una valida ricostruzione dello stato Ante Operam del canale. Visto l'elevato valore di picco di piena stimato per l'intero bacino del Rio Crinaccio. Le aree a valle risultano ampiamente allagate e spesso non è possibile chiudere le sezioni idrauliche per il contenimento della piena stessa. Pertanto si è deciso di far riferimento ai limiti idrografici del bacino e estendere le sezioni sino a questi per poi chiuderle in maniera fittizia. Tale ipotesi cautelativa nasce dal considerare le aree esterne al bacino idrografico anch'esse alluvionate durante lo stesso evento di piena e quindi non disponibili in termini di volume, per le acque del Rio Crinaccio. Questa ipotesi comunque non modifica il risultato finale che mostra che la situazione del tratto di valle del Rio Crinaccio per piene TR 50 e 200 anni risulta molto critica con ampi allagamenti sia in destra che in sinistra idraulica, nelle aree urbanizzate in prossimità della costa.

Si mostra l'immagine planimetrica del rilievo di dettaglio dello stato di fatto, con le tracce delle sezioni trasversali nelle quali sono state estratte le sezioni inserite nei modelli idraulici.



Fig. 34 – Stralcio planimetria dei dati di base



### 8.1.2 Modello Rio Crinaccio

Il primo passo da eseguire nella costruzione di un modello idraulico-matematico di propagazione delle onde di piena è quello di caratterizzare correttamente la geometria del corso d'acqua.

Le caratteristiche geometriche (profilo longitudinale, sezioni trasversali, ponti, tombinamenti, ecc.) sono stati ricostruiti a partire dai rilievi topografici a disposizione delle fasi precedenti della progettazione che si sono ritenuti ancora validi ed esaustivi per le invariate condizioni in loco.

Per il Rio Crinaccio sono state effettuate tre modellazioni:

- **Modellazione Ante Operam:** portata stimata nello studio idrologico del PFTE approvato.
- **Modellazione Post Operam nella configurazione finale di progetto:** quindi Post realizzazione dei Canali di Gronda Monte e Valle, della cassa di espansione e di tutte le opere previste nella configurazione finale di PFTE. Nella geometria di tale modellazione sono state inoltre considerate le modifiche apportate alle opere lungo il Rio Crinaccio dal presente progetto di prima attuazione. La portata di verifica utilizzata come input di monte per il modello del Crinaccio è quella stimata nello studio del PFTE Approvato considerando il manufatto di sfioro e controllo delle portate al Crinaccio, quindi nella configurazione finale di progetto (da ora in poi definita di **Seconda Attuazione**)
- **Modellazione della fase di Sfiatore provvisorio:** si considera la realizzazione di tutte le opere del presente progetto: le opere di sistemazione del Rio Crinaccio, la realizzazione del Canale di Gronda sino a mare e la realizzazione di uno sfioratore provvisorio così come riportato nelle tavole di progetto. La portata di verifica utilizzata come input di monte per il modello del Crinaccio è quella che è stata stimata a valle dello sfioratore (laterale) provvisorio e riportata in dettaglio nel paragrafo successivo.



**Fig. 35 – Geometria modello Rio Crinaccio Ante Operam**



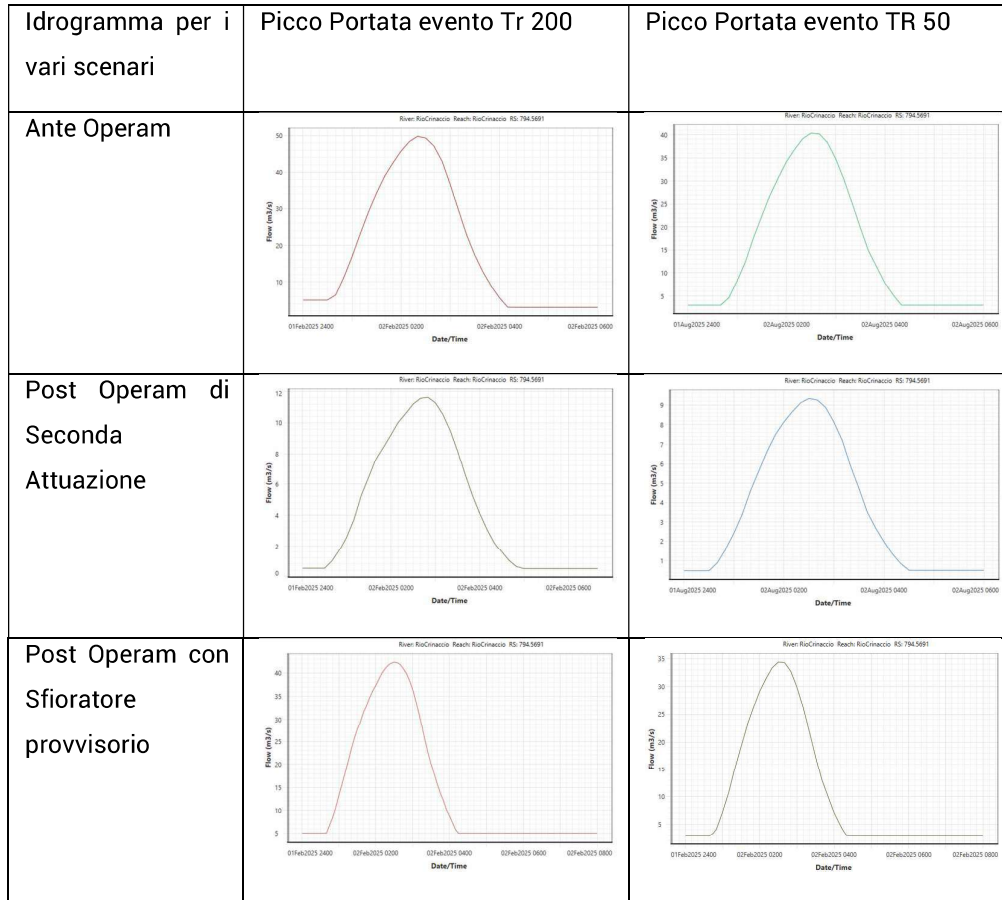
**Fig. 36– Geometria modello Rio Crinaccio Post Operam Sfiatore provvisorio e Seconda Attuazione**



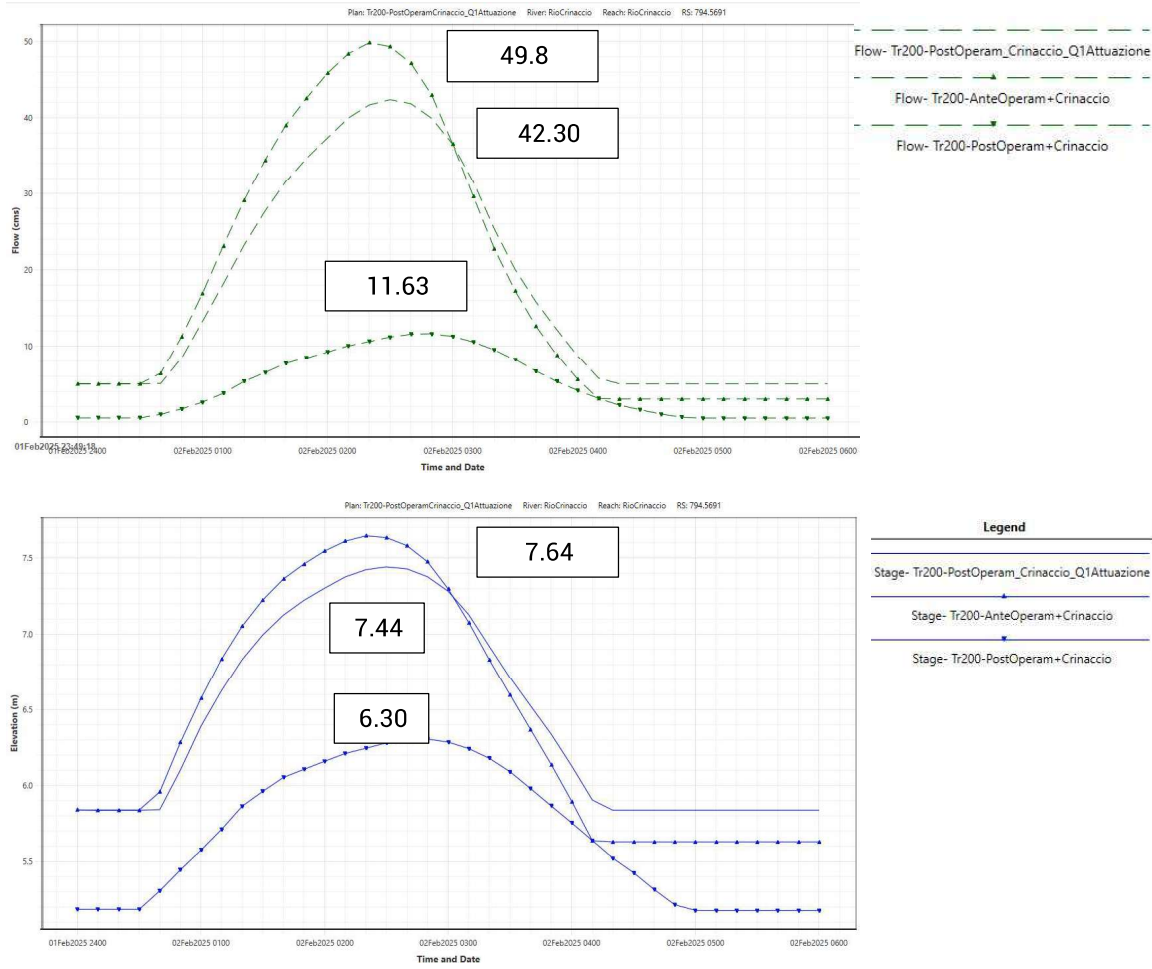
**8.1.2.1 Dati in input e condizioni al contorno**

Portate modelli Crinaccio	Picco Tr 200 (m3/s)	Picco TR 50 (m3/s)
Ante Operam	49.8 (Fig 36 pag 56 Rel PFTE)	40.33 (Fig 31 pag 53 Rel PFTE)
Post Operam	11.63 (Fig 37 pag 56 Rel PFTE)	9.34 (Fig 32 pag 54 Rel PFTE)
Post Operam Sfiatore provvisorio	42.34 (da risultati modellazione Sfiatore provvisorio)	34.40 (da risultati modellazione Sfiatore provvisorio)

**Tab. 11 Picchi di portata di verifica idraulica**



**Tab. 12 Idrogrammi in input nella sezione di monte**



**Fig. 37 – Portate e livelli dei tre modelli del Crinaccio ingresso Sezione di Monte (C2 da rilievo) – TR 200**

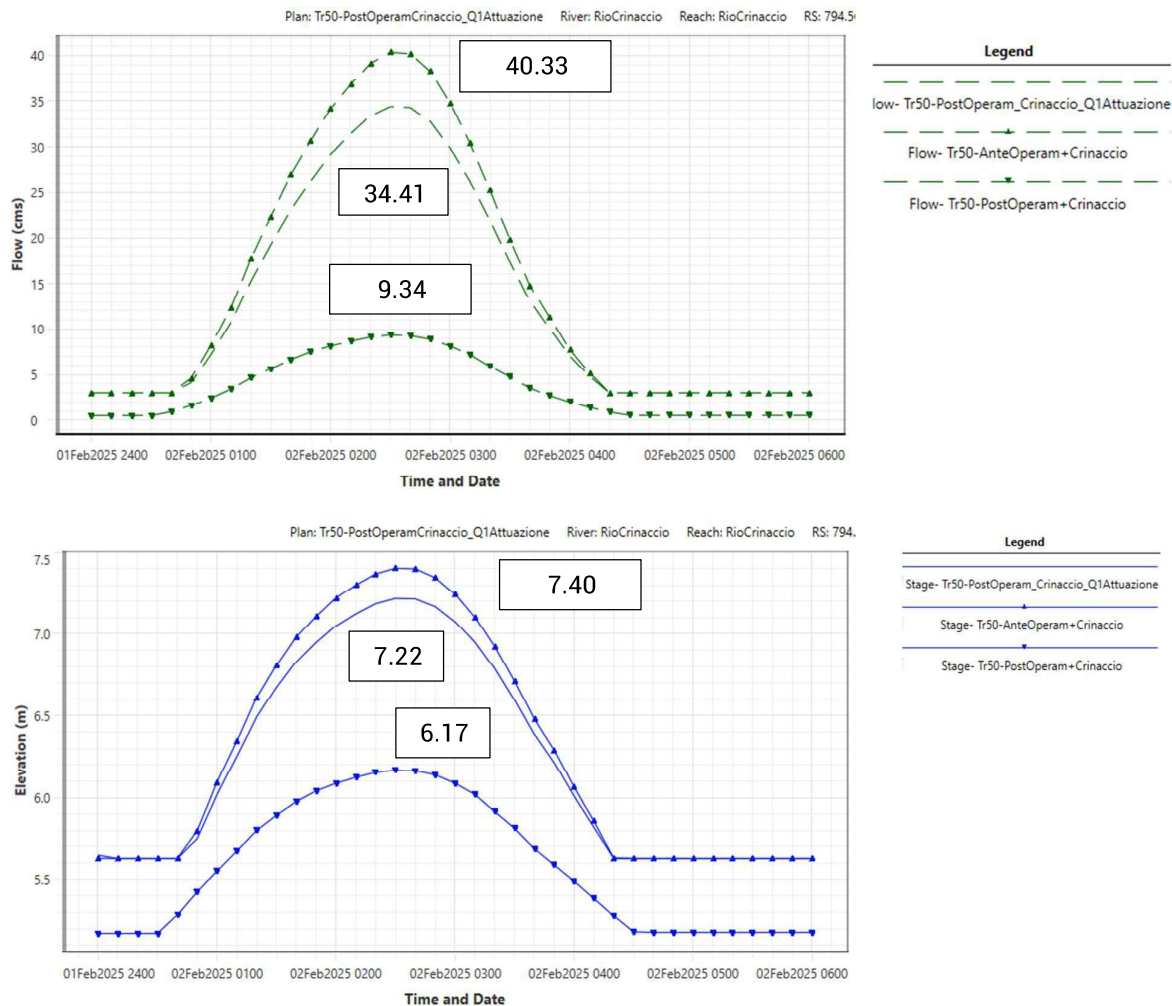
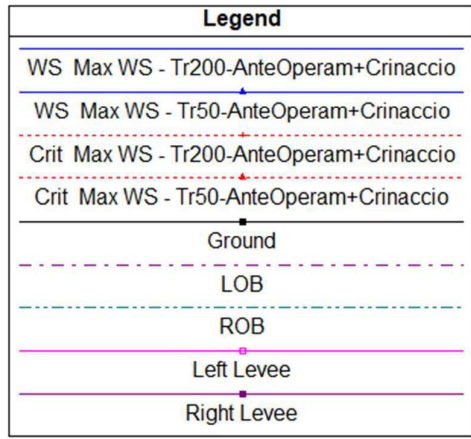
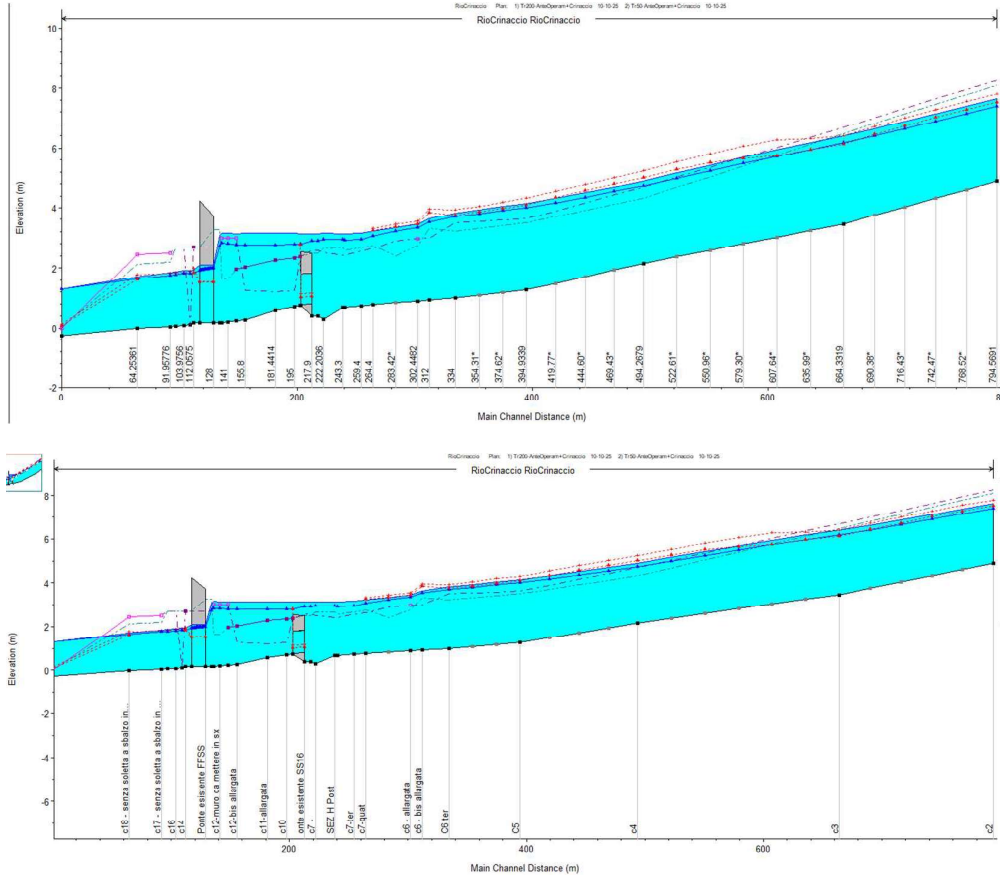


Fig. 38 – Portate e livelli dei tre modelli del Crinaccio ingresso Sezione di Monte (C2 da rilievo) – TR 50

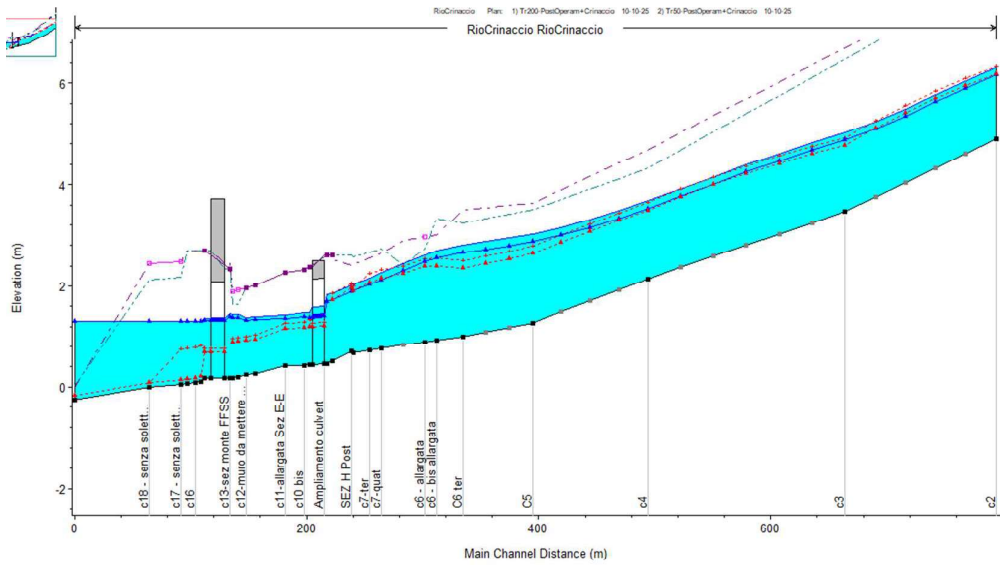
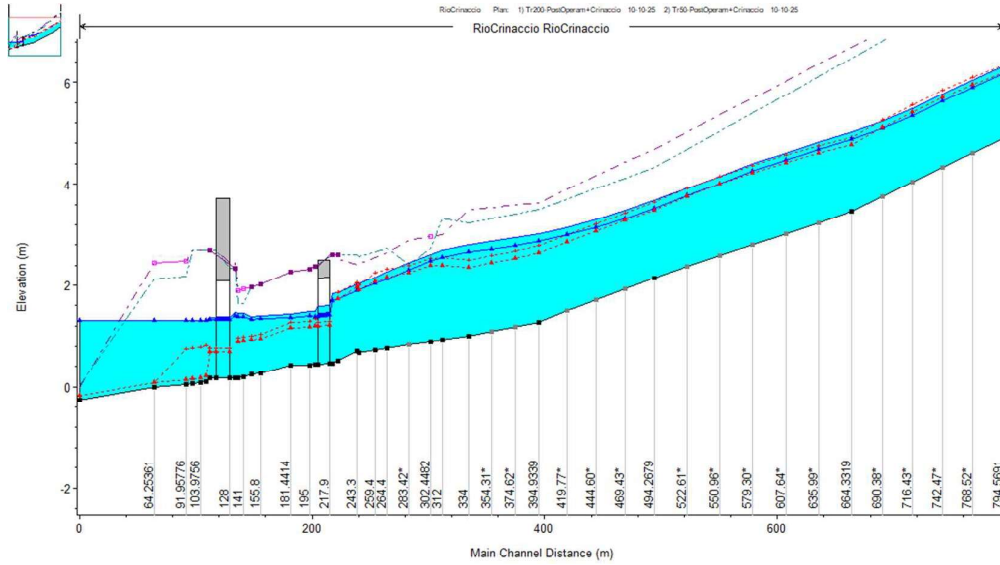


**8.1.2.2 Risultati della modellazione**

Si mostrano di seguito i risultati delle simulazioni effettuate in termini di profili, sezioni idrauliche e tabulati. Per le opere attraversate vengono infine stimati i franchi di sicurezza e evidenziate le grandezze di interesse quali le velocità del flusso.



**Fig. 39 –Rio Crinaccio Ante Operam TR 50 e 200 anni**



Legend	
WS Max WS - Tr200-PostOperam+Crinaccio	—●—
WS Max WS - Tr50-PostOperam+Crinaccio	—●—
Crit Max WS - Tr200-PostOperam+Crinaccio	- - -●- - -
Crit Max WS - Tr50-PostOperam+Crinaccio	- - -●- - -
Ground	—●—
LOB	- - -●- - -
ROB	- - -●- - -
Left Levee	—●—
Right Levee	—●—

Fig. 40 –Rio Crinaccio Post Operam di Seconda Attuazione TR 50 e 200 anni