



CONSULENZA SCIENTIFICA

per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)



Elaborato:

Relazione

IL RESPONSABILE SCIENTIFICO DELLA CONVENZIONE

IL DIRETTORE DEL C.U.G.R.I.

Prof. Vittorio BOVOLIN

Prof. Domenico GUIDA

Riferimenti dell'elaborato				Riferimenti redazione	
Tavola	Revisione	Data	Agg.	Elaborato da:	Riesaminato da:
UNICA		Febbraio 2022		V. Bovolin	P. Villani

PREMESSE

In data 03/11/2021 la Società Luminosa Energia S.r.l. con sede in Milano ha affidato al CUGRI gli studi relativi alla definizione della sicurezza idraulica della progettanda Centrale Elettrica da realizzare all'interno dell'area industriale di Ponte San Valentino (Comune di Benevento).

In dettaglio le attività svolte nella presente Convenzione hanno riguardato:

- la valutazione delle portate di riferimento necessarie per la caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali;
- la verifica degli interventi già previsti nel progetto approvato dall'allora Autorità di Bacino Liri Volturno Garigliano (ABLVG) nel 2004;
- la definizione di eventuali ulteriori interventi di mitigazione idraulica ritenuti necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento.

La valutazione delle portate di riferimento necessarie per la caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali è stata svolta sulla base dei seguenti elementi:

- analisi storica degli eventi alluvionali che hanno riguardato il bacino del Calore Irpino;
- caratterizzazione delle portate significative dell'evento alluvionale del 2015;
- rivalutazione statistica della pluviometria integrando il data base dei dati storici di pioggia del SIMN con il database dei dati a 10 min misurati nelle stazioni pluviometriche gestite dalla Regione Campania.

Sulla base dei risultati della valutazione delle portate di riferimento si è proceduto alla caratterizzazione idrodinamica delle fasce fluviali del Calore Irpino nel tratto significativo compreso tra il tratto di alveo posto a monte dell'area industriale ed il viadotto di attraversamento della linea ferroviaria per una lunghezza complessiva di circa 4 km ed una superficie di oltre 5 km². Per completezza di analisi è stata anche inserita la porzione dell'Area

Industriale di ponte Valentino che insiste sul torrente Tammaro a monte della immissione nel Calore.

Le basi cartografiche utilizzate per lo svolgimento della Convenzione sono state: IGM 25000, CTR della Regione Campania 2004, dati LIDAR del Ministero dell'Ambiente 2012 e rilievo topografico commissionato da Luminosa Energia S.r.l.

Il rilievo topografico commissionato da Luminosa Energia S.r.l. ha riguardato i seguenti aspetti: rilievo di dettaglio dell'area di sedime della Centrale, rilievo degli attraversamenti esistenti sul Calore Irpino e sul Tammaro e verifica della congruità del rilievo LIDAR del Ministero dell'Ambiente 2012 con la situazione attuale.

La caratterizzazione idrodinamica delle fasce fluviali è stata svolta utilizzando il modello di simulazione bidimensionale RIVER-2D. Considerato il ridotto volume di accumulo del tratto di studio rispetto all'intero volume della piena di riferimento, le simulazioni, a vantaggio di sicurezza, sono state svolte in condizioni di moto permanente.

L'analisi ha preso in considerazione 3 Scenari: Scenario_2015, Scenario_2021_Attuale e Scenario_Progetto, per ciascun scenario sono stati considerati 2 sub Scenari caratterizzati da valori delle portate immesse nel sistema complessivamente pari a 3000 m³/s e 3500 m³/s.

Lo Scenario 2015 è stato implementato al fine di valutare la congruità delle portate stimate per la caratterizzazione idrodinamica delle fasce fluviali e per validare le capacità del modello bidimensionale di riprodurre i processi idrodinamici verificatesi nel corso della alluvione dell'ottobre 2015.

L'evento alluvionale dell'ottobre 2015 è l'evento di riferimento utilizzato dalla Autorità di Bacino del Distretto dell'Appennino Meridionale (ABDAM) per la proposta di modifica delle fasce di pericolosità idraulica contenute nel Piano Stralcio per la Difesa dalle Alluvioni (PSDA).

Lo Scenario 2021 Attuale è stato implementato al fine di definire la condizione base di riferimento rispetto alla quale valutare gli effetti idrodinamici conseguenti alle modifiche introdotte nel Progetto 2004.

Lo Scenario Progetto ha verificato che la quota 130.00 m s.m., prevista nel Progetto 2004 per il rilevato di impianto della Centrale, rimane sempre al di sopra della massima quota raggiunta nei due sub Scenari Progetto analizzati.

I risultati dello Scenario Progetto indicano che il rilevato stesso, posto in posizione laterale rispetto al filone principale della corrente, non comporta alcuna modifica del livello idrico e delle condizioni idrodinamiche rispetto allo scenario di riferimento Scenario 2021 Attuale.

Per quanto riguarda gli effetti che la presenza del rilevato può comportare sulle condizioni idrodinamiche a valle dell'area esaminata in termini di riduzione della capacità di laminazione si è osservato che il volume di 55750 m³ previsto per il rilevato rappresenta una frazione inferiore ad 1 millesimo del volume complessivo di piena defluito nel corso dell'evento alluvionale dell'ottobre 2015 che è stato stimato in almeno 10 10⁶ m³.

Considerato quindi il rapporto tra il volume complessivo della piena ed il volume del rilevato appare pertanto evidente che la riduzione del volume potenziale di laminazione appare tecnicamente non significativo.

Considerata l'esiguità del franco residuo relativo al sub Scenario_Progetto_3500, che è il più cautelativo, è stato suggerito di contornare l'area della Centrale con un argine perimetrale della altezza di 0.50 m.

In definitiva le opere previste per la costruzione della progettanda Centrale elettrica, con gli ulteriori interventi di mitigazione proposti, appaiono idraulicamente compatibili.

ELENCO DELLE FIGURE

- Figura 1 – Centrale Luminosa Energia S.r.l. inquadramento territoriale
- Figura 2 – Centrale Luminosa Energia S.r.l. dettaglio planimetria castale
- Figura 3 – Centrale Luminosa Energia S.r.l. Sezioni trasversali di progetto
- Figura 4 – Centrale Luminosa Energia S.r.l. aerofotogrammetria con curve di livello (130.00 in rosso)
- Figura 5 – Zonizzazione ed individuazione degli squilibri (fasce fluviali) (PSDA ADBLVG – 1999)
- Figura 6 – Pericolosità idraulica (estratto da Piano Gestione delle Alluvioni ADBLVG –TAV.05P Codice 01_02_03_05P) Inizio 2015 ?
- Figura 7 – Proposta di aggiornamento della Pericolosità idraulica del PSDA dell'ABDAM e delimitazione dell'area di studio
- Figura 8 – Altezze idriche relative all'evento alluvionale dell'ottobre 2015 valutate dall'ASI di Benevento
- Figura 9 – Dettaglio dell'area area di sedime della progettanda Centrale su CTR Campania 2004-2005
- Figura 10 – Posizione dei pluviografi presenti nell'area di studio
- Figura 11 - Mappe di pioggia cumulata in 30 minuti ottenute interpolando tutte le misure disponibili
- Figura 12 - Mappe di pioggia cumulata a 24 ore: a) considerando tutte le osservazioni pluviometriche disponibili nell'area
- Figura 13 – Identificazione del tratto significativo di studio a cavallo della confluenza del Tammaro nel Calore
- Figura 14 – Modellazione bidimensionale: dettaglio esemplificativo della griglia di calcolo
- Figura 15 – Modellazione bidimensionale: Topografia Scenario 2015
- Figura 16 – Modellazione bidimensionale: risultati sub Scenario 2015_3000
- Figura 17 – Modellazione bidimensionale: risultati sub Scenario 2015_3500
- Figura 18 – Modellazione bidimensionale: confronto aree allagate tra sub Scenario 2015_3500 e perimetrazione ASI
- Figura 19 – Modellazione bidimensionale: caratteristiche idrauliche significative nelle aree allagate del sub Scenario 2015_3000
- Figura 20 – Viste temporali dello Stabilimento ex Monosider presente nella zona di ricircolazione 1 della Figura 15
- Figura 21 – Vista area vecchio attraversamento ferroviario (novembre 2015 da GoogleEarth)
- Figura 22 – Modellazione bidimensionale Topografia scenario 2021 Attuale
- Figura 23 – Modellazione bidimensionale: risultati sub Scenario 2021 Attuale_3000
- Figura 24 – Modellazione bidimensionale: risultati sub Scenario 2021 Attuale_3500
- Figura 25 – Modellazione bidimensionale: confronto tra aree allagate lungo il corso del Tammaro tra Scenario 2015 e Scenario 2021_Attuale su pericolosità ABDAM
- Figura 26 – Modellazione bidimensionale Topografia scenario Progetto
- Figura 27 – Modellazione bidimensionale: risultati sub Scenario Progetto_3000
- Figura 28 – Modellazione bidimensionale: risultati sub Scenario Progetto_3500



C.U.G.R.I.

Consorzio Inter-Universitario
per la Prevenzione e Prevenzione dei Grandi Rischi
Università di Salerno - Università di Napoli 'Federico II'



Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

Figura 29 – Modellazione bidimensionale: Scenario Progetto Dettaglio velocità con vettori

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

ELENCO DELLE TABELLE

- Tabella 1 – Valori di pioggia cumulata in 24 ore di alcune delle stazioni all'interno dell'area di studio con valori prossimi e superiori a 200 mm
- Tabella 2 – Valutazione del periodo di ritorno (T) associato all'evento di riferimento
- Tabella 3 – Eventi alluvionali nel bacino del Calore Irpino storicamente documentati (da Bovolín, 2021)
- Tabella 4 – Stima della distribuzione delle portate contemporanee durante l'evento del 2015 (da Bovolín, 2021)
- Tabella 5 – Portate al colmo di piena per assegnato periodo di ritorno (da PSDA BLVG, 1999)
- Tabella 6 – Quote piezometriche massime in prossimità dell'area di imposta del rilevato della progettanda Centrale elettrica Scenario 2015 e Scenario 2021_Attuale
- Tabella 7 – Quote piezometriche massime in prossimità dell'area di imposta del rilevato della progettanda Centrale elettrica (tutti gli Scenari)

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

INDICE

1. Introduzione	1
2. L'evento alluvionale dell'Ottobre 2015	9
2.1 Analisi idrologica	9
2.1.1 Descrizione del data base integrato	9
2.1.2 Descrizione dell'evento di riferimento mediante data base integrato	11
2.1.2 Rivalutazione del periodo di ritorno dell'evento di riferimento	12
2.2 Analisi idraulica	15
3. Modellazione idraulica	18
3.3 Modellazione bidimensionale	20
3.1.1 Principi fondamentali della modellazione idraulica completamente bidimensionale	20
3.1.2 Modellazione della superficie piezometrica	20
3.1.3 Schemi per l'integrazione numerica	21
3.1.4 Dati topografici	23
3.1.5 Condizioni al contorno	23
3.1.6 Criteri di scelta del codice di calcolo bidimensionale	23
3.1.7 Codice di calcolo River2D	26
3.2 Definizione degli Scenari di calcolo	28
3.2.1 Dati topografici degli scenari di calcolo	28
3.2.2 Condizioni al contorno degli scenari di calcolo	29
3.2.3 Descrizione degli scenari di calcolo	29
4. Risultati degli scenari di calcolo	32
4.1 Scenario 2015	32
4.2 Scenario 2021 Attuale	40
4.3 Scenario Progetto	45
5. Conclusioni	51
5.1 Aspetti relativi all'impatto delle opere in progetto su livello di pericolosità idraulica dell'area	51
4.2 Aspetti relativi alla sicurezza idraulica delle opere in progetto	52
Bibliografia	54

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

1. Introduzione

La società Luminosa Energia S.r.l. intende realizzare all'interno dell'area industriale di ponte Valentino nel comune di Benevento una nuova centrale elettrica della potenza di circa 385 MW, composta da una turbina a gas, una caldaia a recupero, una turbina a vapore, un sistema di raffreddamento ad aria, i sistemi ausiliari e le opere connesse.

Il gas naturale per il funzionamento della centrale è derivato da un metanodotto alimentato dalla rete nazionale di proprietà della società Snam Rete Gas.

Dal punto di vista amministrativo sono rilevanti i seguenti atti:

- in data 09/07/2004 l'allora Autorità di Bacino Liri Volturno Garigliano ABLVG (oggi confluita nella Autorità di Bacino Distretto Appennino Meridionale ABDAM), nell'ambito del procedimento di Valutazione di Impatto Ambientale del progetto della Centrale, con nota n. 4634 del 09/07/2004 esprimeva parere favorevole al progetto presentato;
- in data 01/08/2008 l'allora Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (oggi Ministero per la Transizione Ecologica), richiamando anche il parere della ABLVG, con Decreto n. DSA-DEC-2008-0000708 del 01/08/2008 concludeva positivamente il procedimento di Valutazione Ambientale del progetto della Centrale;
- in data 21/12/2010 il Ministero dello Sviluppo Economico- Direzione Energia (oggi all'interno del Ministero della Transizione Ecologica) con Decreto n. 55/04/2010, ha rilasciato l'Autorizzazione Unica che è stata prorogata in data 31/07/2020 con Decreto n. 55/02/2020 PR.
- in data 26/07/2011 l'allora Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (oggi Ministero per la Transizione Ecologica), con Decreto n. DVA_DEC-2011-0000421, ha rilasciato l'Autorizzazione Integrata Ambientale, di cui è in corso il procedimento di riesame con valenza di rinnovo.

L'area di sedime della Centrale e delle opere accessorie è mostrata nella Figura 1.

Il dettaglio della area destinata ad ospitare la Centrale, sempre su cartografia catastale, è riportato nella Figura 2.

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

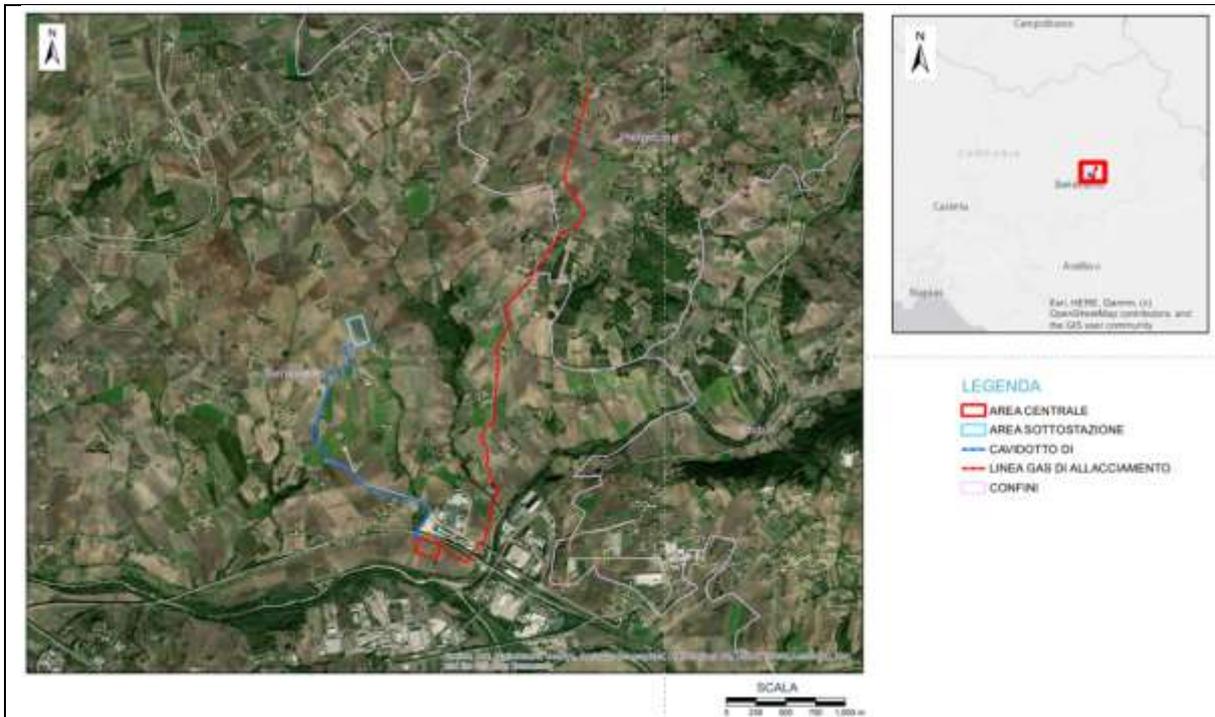


Figura 1 – Centrale Luminosa Energia S.r.l. inquadramento territoriale

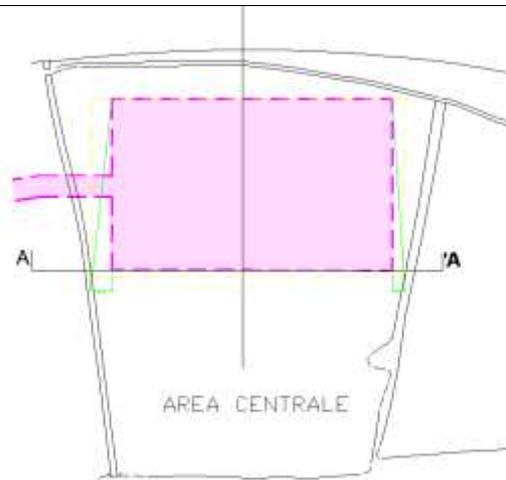


Figura 2 – Centrale Luminosa Energia S.r.l. dettaglio aerofotogrammetria

Il Progetto della Centrale sottoposto nel 2004 al parere dell'ABLVG prevede che gli edifici della centrale (vedi Figura 3) siano posti su un rilevato avente una quota pari a 130.00 m s.l.m. che è superiore rispetto alla quota attuale del piano campagna.

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

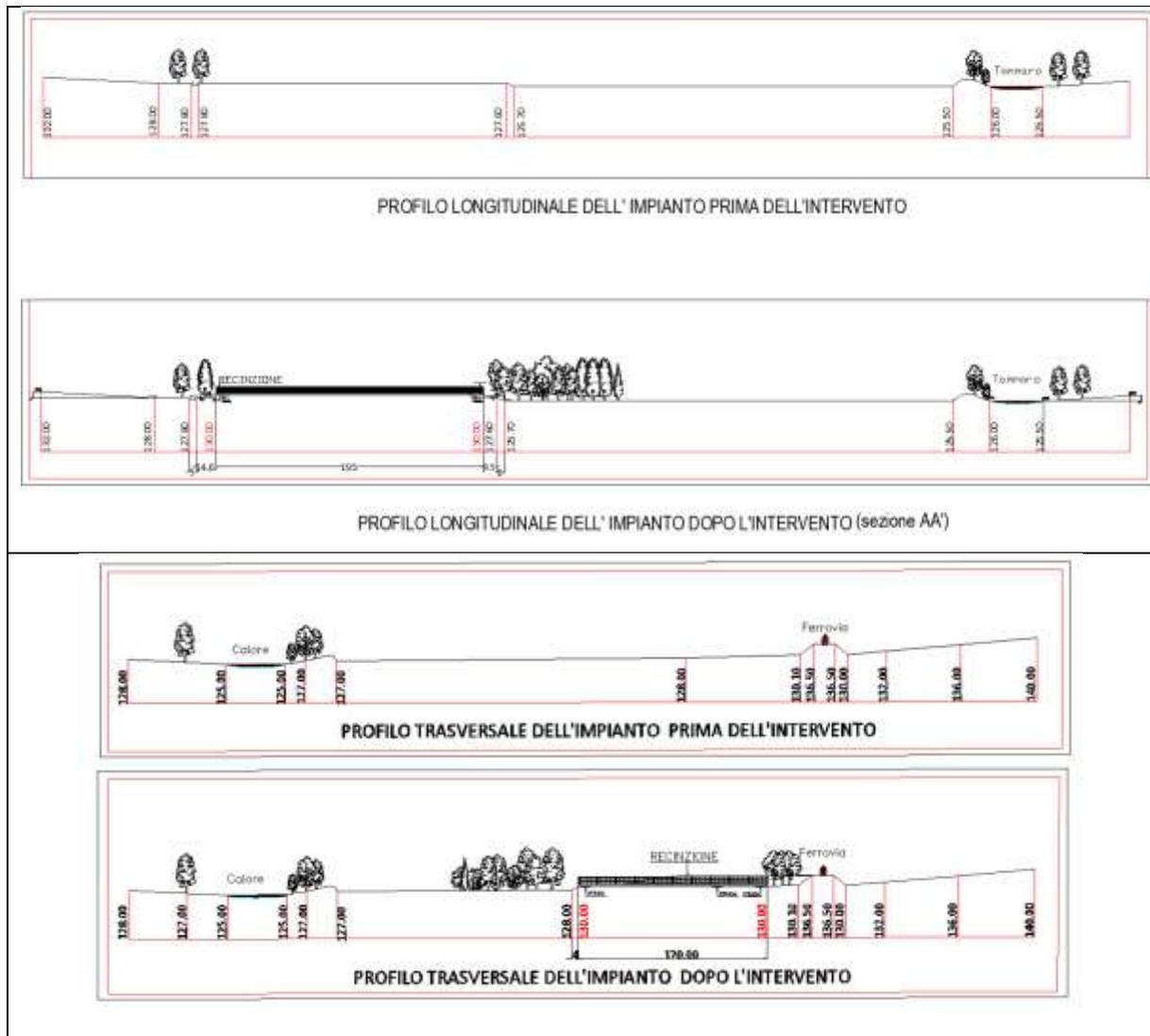


Figura 3 – Centrale Luminosa Energia S.r.l. Sezioni trasversali di progetto 2004

Le aerofotogrammetrie con sovrapposizione delle curve di livello Attuali e di quelle conseguenti alla realizzazione del rilevato di Progetto sono riportate nella Figura 4.

Il rilevato di Progetto riportato nella Figura 4 occupa una superficie di circa 27500 m² e prevede un volume complessivo di circa 55750 m³.

Il rilevato di Progetto non interferisce con le linee di drenaggio presenti nell'area e sarà collegato alla via di accesso alla centrale (vedi Figura 2) mediante una ponte che attraversa il canale di scolo presente sul lato ovest del rilevato stesso.

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

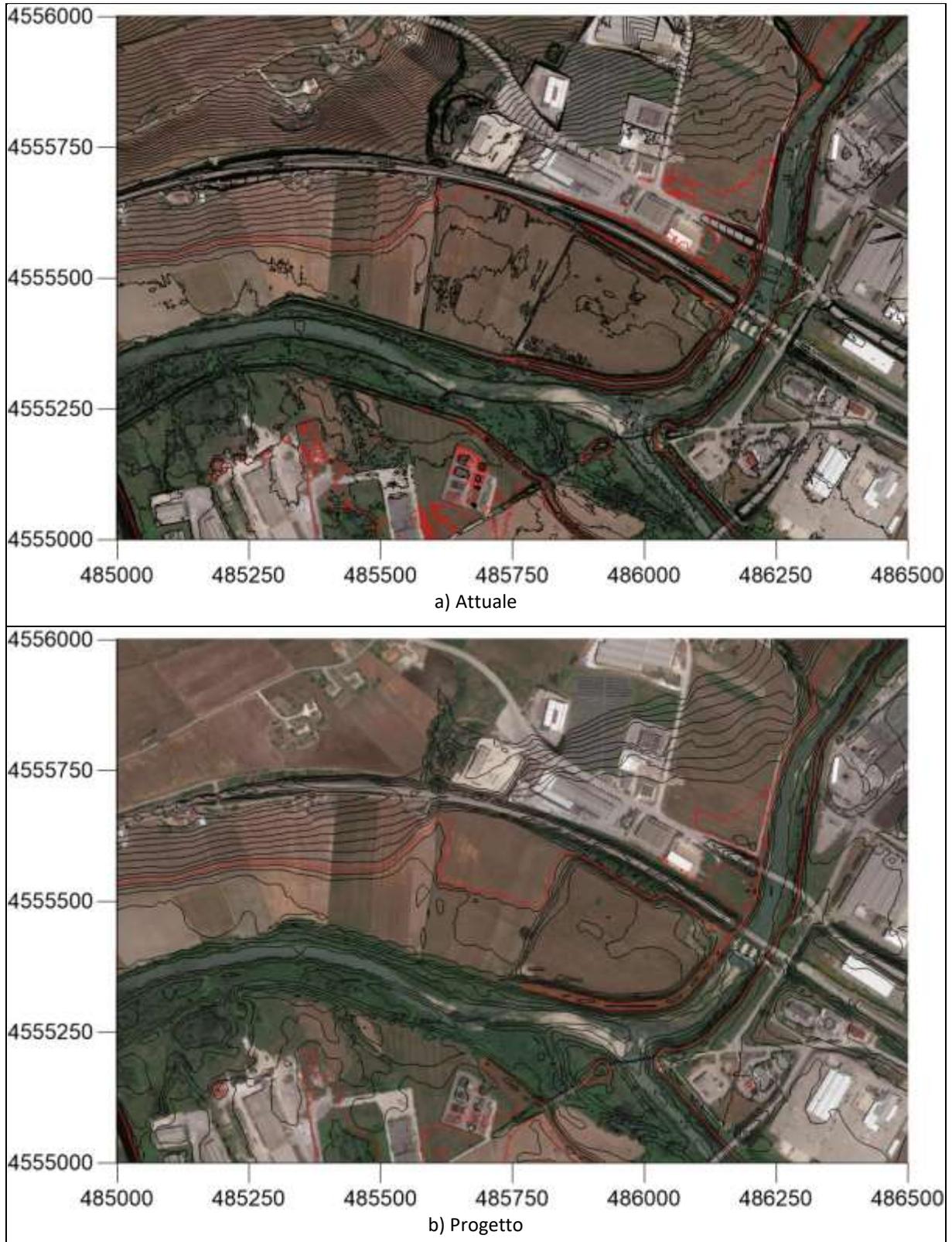


Figura 4 – Centrale Luminosa Energia S.r.l. aerofotogrammetria con curve di livello (130.00 m s.m. in rosso)

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

In effetti all'epoca di emissione del parere positivo da parte dell'ABLVG l'area di sedime della Centrale era esterna alla perimetrazione delle fasce fluviali individuate dall'ABLVG all'interno del Piano Stralcio di Difesa dalle Alluvioni (PSDA) del 1999 (vedi Figura 5).

La individuazione delle aree con pericolosità idraulica del 1999 era stata confermata dalla ABDAM nel successivo Piano di Gestione delle Alluvioni (inizio 2015 ?) riportato in Figura 6.

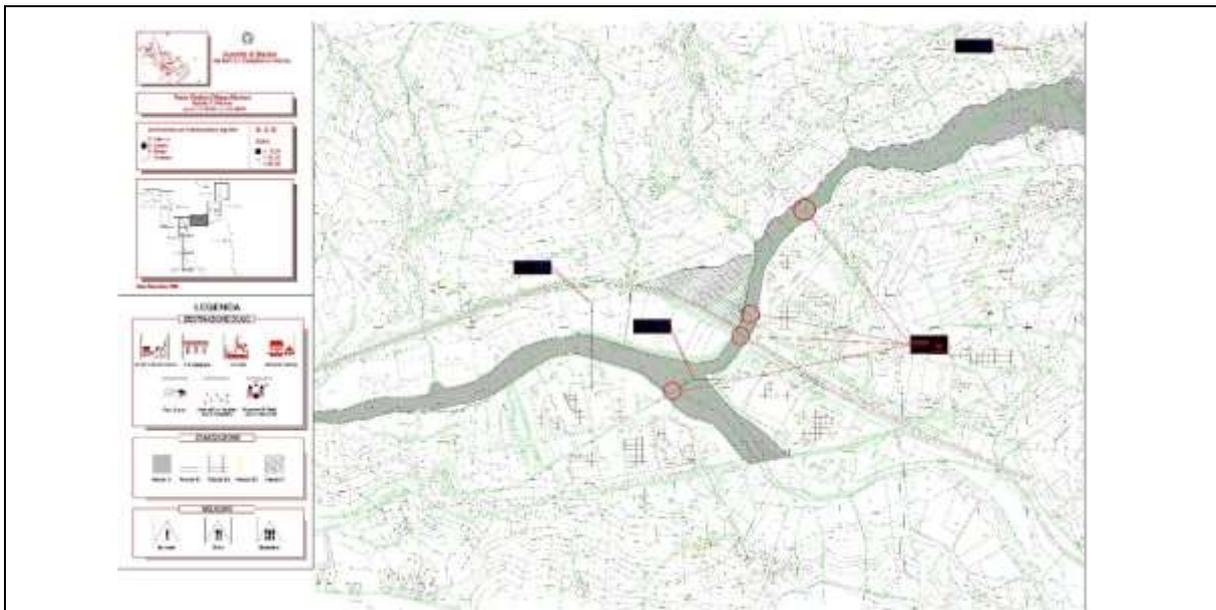


Figura 5 – Zonizzazione ed individuazione degli squilibri (fasce fluviali) (PSDA ABLVG – 1999)

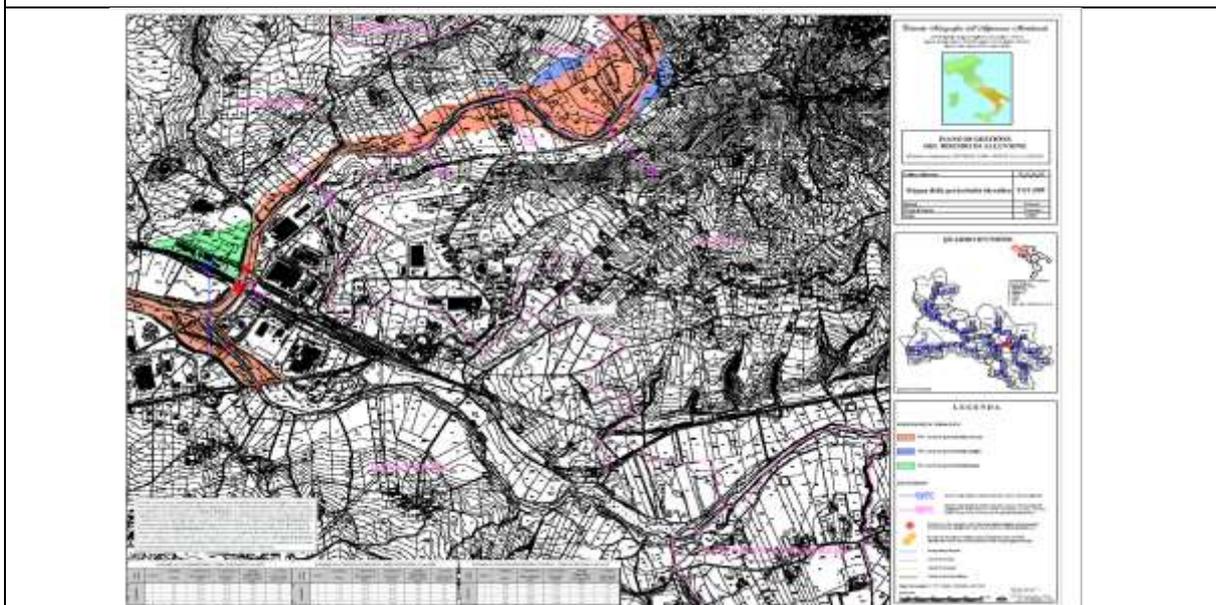
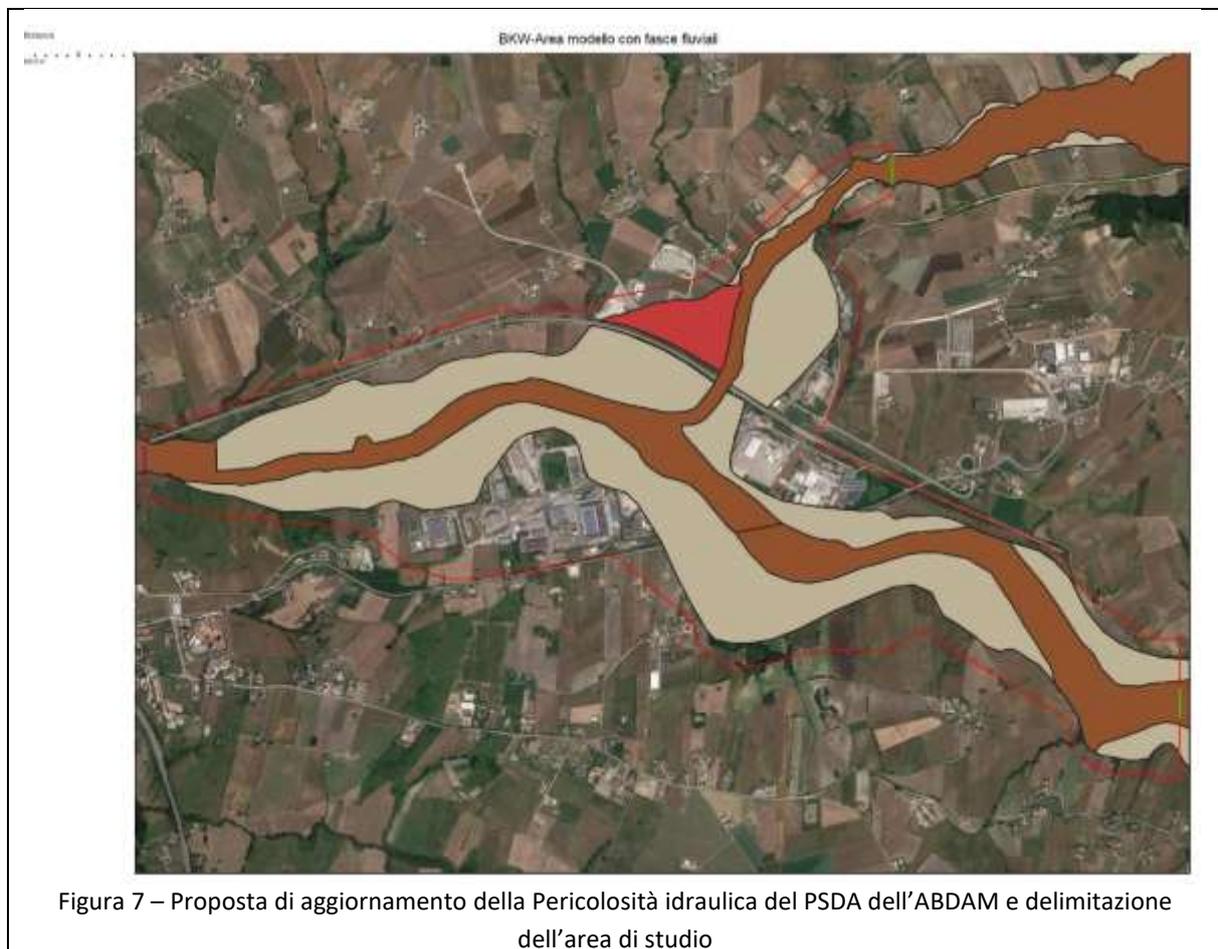


Figura 6 – Pericolosità idraulica (estratto da Piano Gestione delle Alluvioni ABLVG – TAV.05P Codice 01_02_03_05P) Inizio 2015 ?

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

Nell'ottobre del 2015 il bacino del Calore Irpino è stato interessato da un evento alluvionale di notevole intensità che nell'area di confluenza del Tammaro nel Calore Irpino ha comportato l'allagamento di vaste aree perifluviali, tra le quali ricade anche quella di sedime della progettanda Centrale, che sono rano esterne alle fasce fluviali individuate nel PSDA del 1999. A seguito dell'evento dell'Ottobre 2015 l'ADBAM ha inizialmente incluso le aree allagate nel corso di tale evento all'interno delle fasce fluviali riportate nel Piano di Gestione delle Alluvioni (PGDA), e successivamente ha avviato il processo di aggiornamento del PSDA (vedi Figura 7).



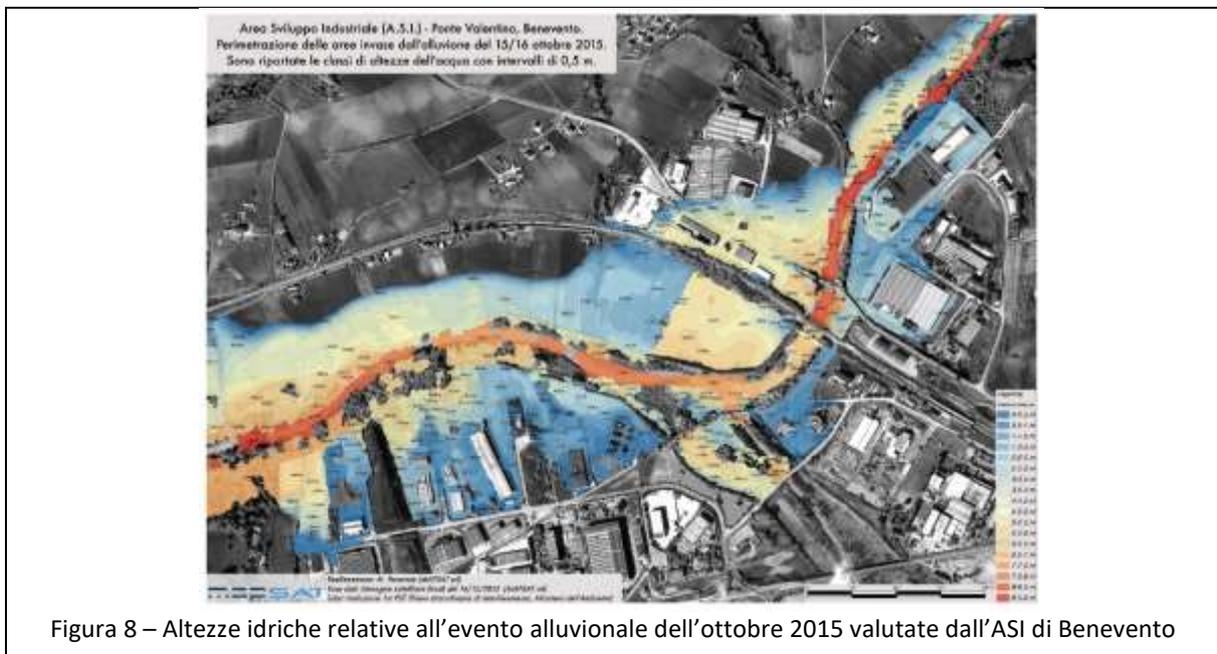
Alla luce dell'evento del 2015 e delle conseguenti modifiche amministrative in itinere, la società Luminosa Energia S.r.l. ha ritenuto necessario effettuare una valutazione aggiornata della compatibilità idraulica delle opere relative alla Centrale.

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

L'ASI di Benevento ha predisposto la cartografia riportata in Figura 8 che contiene la stima delle altezze idriche massime verificatesi nel corso dell'evento dell'ottobre 2015.

Integrando le altezze idriche riportate nella cartografia ASI con le quote altimetriche riportate nella Carta Tecnica Regionale (vedi Figura 9) si può ricavare che nel corso dell'evento dell'ottobre 2015 nell'area dove è prevista la realizzazione della Centrale in parola è stato raggiunto un livello massimo prossimo a circa 129.00-129.50 m s.l.m.

Tale valore risulta inferiore alla quota di 130.00 m s.l.m. del rilevato previsto nel progetto sottoposto alla approvazione della allora ABLVG (vedi Figura 3).



Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)



Figura 9 – Dettaglio dell'area di sedime della progettanda Centrale su CTR Campania 2004-2005

2. L'evento alluvionale dell'Ottobre 2015

Come riportato in precedenza l'evento alluvionale dell'ottobre 2015 è stato di grande magnitudo ed ha comportato l'allagamento di una notevole estensione di territorio che non ricadeva nella originaria perimetrazione del PSDA del 1999. Tale evento è stato preso a riferimento dall'ABDAM per la proposta di aggiornamento del PSDA riportata nella Figura 7.

Di seguito si riportano l'analisi idrologica e l'analisi idraulica relative all'evento del 15 ottobre 2015 svolte preliminarmente alla implementazione del modello idraulico.

2.1 Analisi idrologica

2.1.1. Descrizione del data base integrato

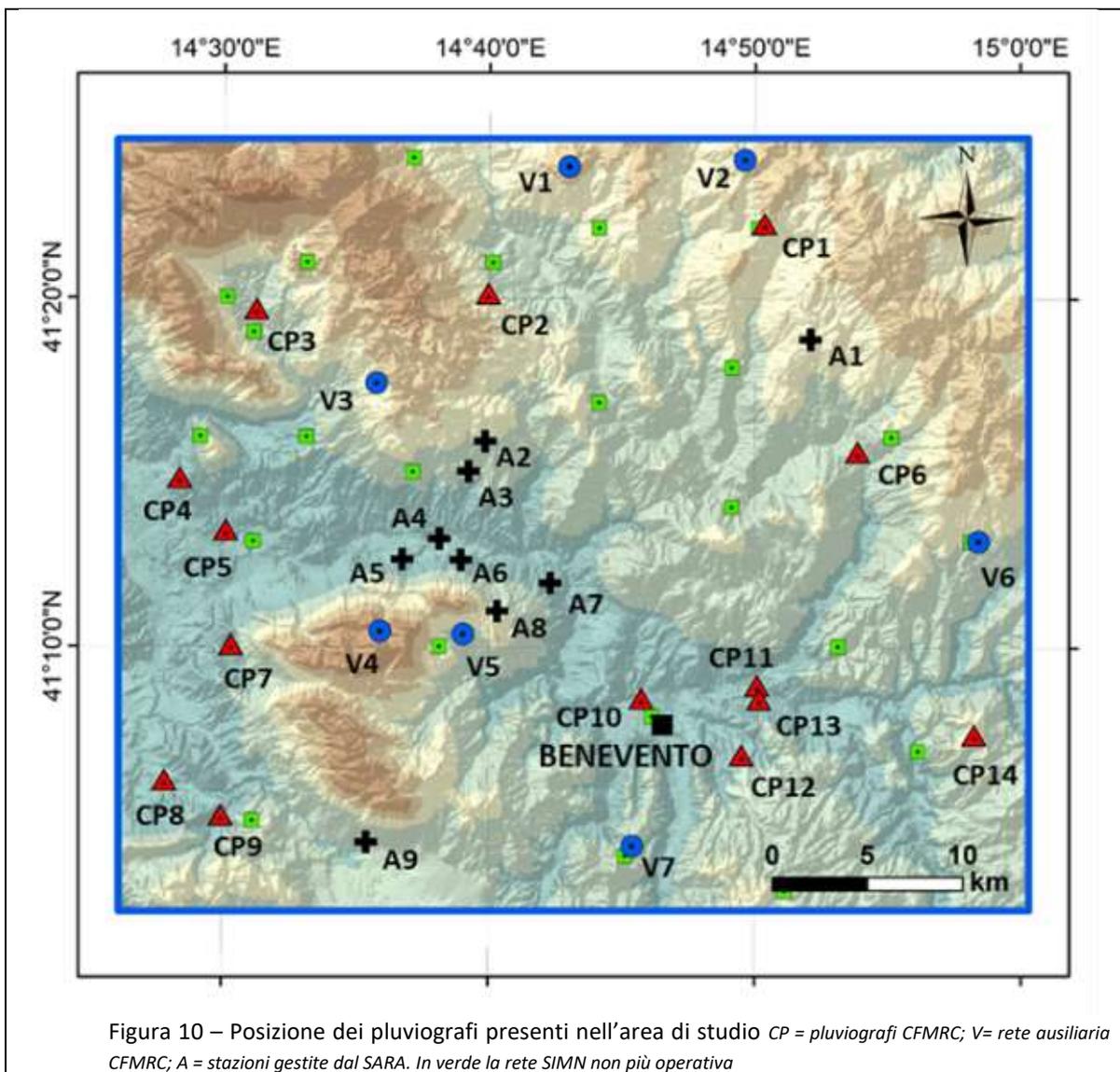
Per l'area nella quale si è verificato l'evento pluviometrico del 15 ottobre 2015 è stato possibile reperire i dati pluviometrici raccolti da quattro differenti reti pluviometriche:

1. Rete SIMN: fino alla fine degli anni Novanta del secolo scorso, in Italia, la rete di monitoraggio pluviometrico è stata controllata dal Servizio Idrografico Nazionale (SIMN) con la finalità di gestione delle acque e per scopi scientifici. Tale rete era composta essenzialmente ai strumenti con misurazione meccanica non automatica;
2. Rete CFMRC: successivamente, la gestione delle reti di monitoraggio pluviometrico è stata attribuite alla competenza regionale. In Campania la manutenzione e lo sviluppo della rete di monitoraggio è stata affidata al Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile (CFMRC) della Regione Campania. Nell'area in esame, la rete CFMRC (riportata in Figura 10, identificativo CP) consiste di 14 stazioni in telemisura su circa 2000 km², con una densità media di circa 1/140 km², pari a circa la metà della densità media regionale. Tali stazioni, inoltre, non sono distribuite uniformemente, ed è evidente in Figura 10 come la porzione centrale dell'area in esame sia completamente sguarnita, mentre la vecchia rete SIMN, con praticamente la stessa numerosità di stazioni, aveva una copertura più uniforme e, in particolare, nell'area centrale possedeva 3 stazioni meccaniche;
3. Rete CFMRC Integrativa: il CFMRC, conscio delle lacune di dati pluviometrici nei siti montani, proprio all'inizio del 2015 ha provveduto ad installare una rete ausiliaria, che

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

nell'area di interesse consta di 7 stazioni in telemisura, tutte a quote maggiori di 350 m s.l.m. (Figura 10, identificativo V).

4. Rete SARA: alla fine degli anni Novanta il Servizio Agrometeorologico Regionale dall'assessorato dell'Agricoltura (SARA) della Regione Campania, ha creato una rete di 37 pluviometri con lo specifico compito di supporto alle attività agricole e forestali della Regione. Poiché l'area in studio ha una particolare importanza nella produzione vinicola regionale, la rete SARA ha ivi installato 9 stazioni pluviometriche in telemisura (vedi Figura 10, identificativo A), di cui 7 (da A2 a A8) in una ridottissima area di circa 150 km², proprio all'interno della zona di interesse per la presente relazione.



Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

2.1.2 Descrizione dell'evento di riferimento mediante data base integrato

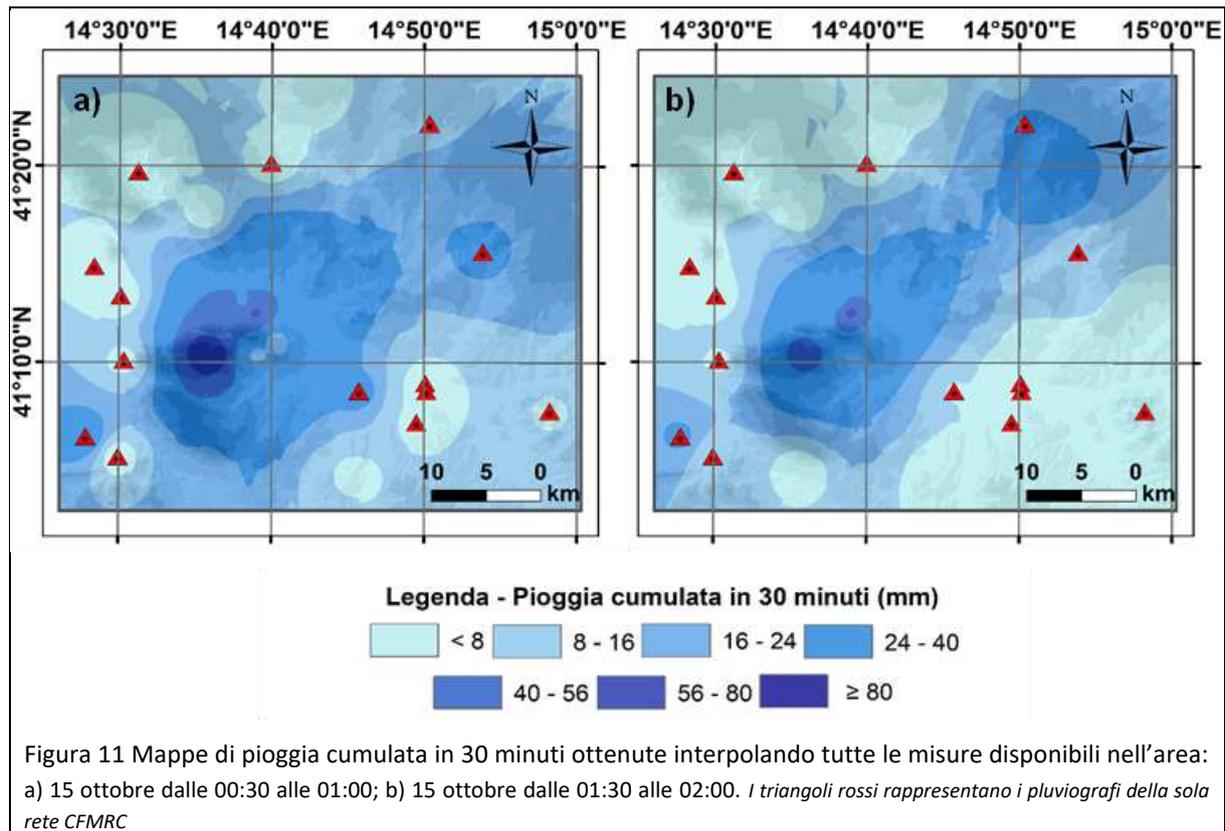
L'evento pluviometrico oggetto di studio ha avuto inizio il 14 ottobre 2015, intorno alle 20:00, quando un sistema convettivo alla mesoscala inizia ad interessare l'area di studio sviluppando un susseguirsi di centri di pioggia ad elevata intensità lungo la direzione sudovest-nordest. Nelle ore successive e, in particolare, il 15 ottobre tra le 00:30 e l'01:00 (Figura 11a) l'intensità del centro principale di pioggia raggiunge gli 80 mm in 30 minuti alla stazione V4. Nella stessa fascia oraria, le intensità nella coda sudovest del sistema piovoso sono già in diminuzione, con una cella temporalesca residua che si è poi esaurita nelle successive due ore. Un'altra cella nello stesso intervallo di tempo si sviluppa intorno alla stazione CP6 dove vengono registrati circa 30 mm in 30 minuti. Poi, all'una di notte, si osservano circa 75 mm in 30 minuti alla stazione A6 mentre le altre stazioni appartenenti alla rete agrometeorologica poste al centro del sistema piovoso (i.e., A2, A3, A4, A5) misurano intensità maggiori di 50 mm in 30 minuti. Allo stesso tempo, la rete CFMRC osserva l'intensità massima alla stazione CP6 con un valore superiore a 30 mm in 30 minuti mentre presso gli altri pluviometri vengono misurati non più di 15 mm in 30 minuti, oltre alla cella temporalesca isolata attiva nei pressi della stazione CP8. Il 15 ottobre tra le ore 01:30 e 02:00 (vedi Figura 11b), l'intensità di pioggia registrata dalla stazione A6 è superiore a 60 mm in 30 minuti, mentre le stazioni A2-A8 registrano circa 30 mm in 30 minuti. Le precipitazioni in 30 minuti sono di circa 50 mm alla stazione V4 e superiori a 30 mm alla stazione V5. Nel tempo compreso tra le 2:30 e le 3:00, il centro di pioggia si sposta in direzione sudest con intensità residue intorno ai 30 mm in 30 minuti registrate dalla rete CFMRC (es. CP6, CP11, CP13) e dalla stazione V6. Dopo le 3 del mattino, le precipitazioni si protraggono per più di dieci ore con intensità ordinarie.

La durata dell'intero evento è stata di circa 24 ore. I valori delle precipitazioni cumulate nelle 24 ore non mostrano una relazione significativa con la quota, ma un chiaro sviluppo lungo la direzione sudovest-nordest.

Per meglio evidenziare l'importanza di utilizzare un data base integrato per la comprensione del fenomeno e la rivalutazione del suo periodo di ritorno, in Figura 12 sono messe a confronto le mappa di pioggia cumulata in 24 ore sulla base delle osservazioni disponibili da tutte le reti di monitoraggio presenti (Figura 12a) oppure sulle sole stazioni di misura della rete CFMRC

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

(Figura 12b). E' chiaro come il centro più intenso di pioggia verificatosi nel quadrante sudovest non è stato rilevato dalla rete CFMRC ma solo dalle stazioni delle reti V e A. La rete CFMRC ha invece catturato una porzione di intensità ridotta dell'evento nel quadrante nordest.

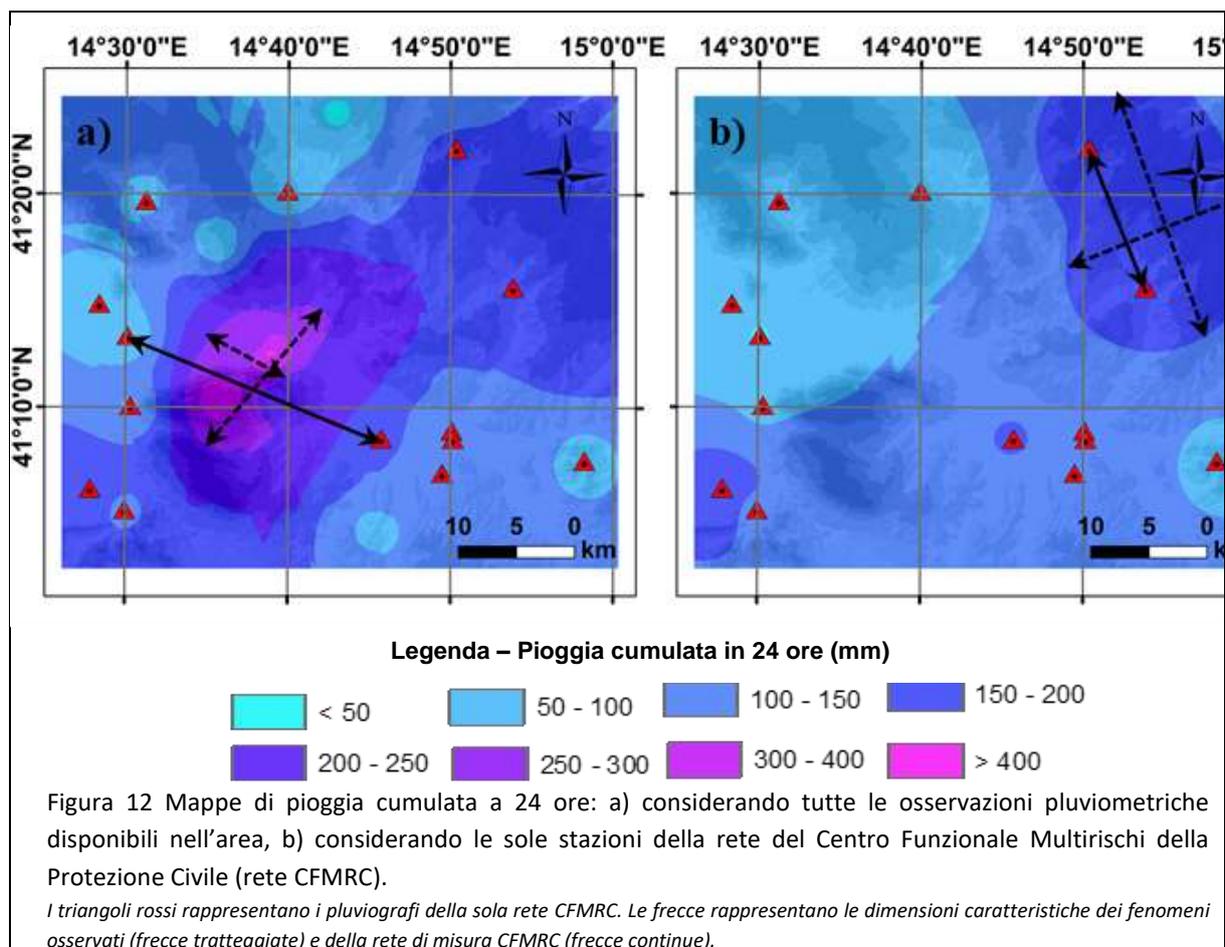


2.1.3. Rivalutazione del periodo di ritorno dell'evento di riferimento

Il modello idrologico attualmente maggiormente in uso nella Regione Campania fa riferimento alla procedura VAPI ed all'uso di una distribuzione a doppia componente (TCEV) per l'interpretazione degli eventi estremi. Recentemente è stata proposta una nuova metodologia per la stima del periodo di ritorno dei valori massimi annui più estremi, che prende le mosse proprio dall'osservazione che per essi la procedura VAPI_TCEV tende a sottostimarne la frequenza. In effetti, il ragionamento che è stato fatto è legato proprio all'analisi delle capacità che ha l'attuale rete pluviometrica di osservare gli eventi più estremi.

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

Per ritornare all'evento di riferimento, nella Tabella 1 sono riportati i valori delle precipitazioni cumulate nelle 24 ore nelle stazioni che hanno misurato valori prossimi e superiori a 200 mm. Solo due pluviometri della rete CFMRC hanno misurato valori prossimi a 200 mm, ma mai superiori a questo valore. In altri siti sono stati registrati valori anche superiori a 250 mm. Le massime altezze di pioggia misurate nelle 24 ore sono state pari a 363 mm nella stazione V4 e 415 nella stazione A6. Le due stazioni sono situate lungo la stessa direttrice orientata secondo la direzione sudovest-nordest individuata in precedenza. Le due stazioni hanno inoltre registrato le precipitazioni più elevate mai osservate nella Regione Campania in 30 minuti: pari rispettivamente a 80 mm e 75 mm.



Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

Codice	Nome della stazione	Quota (m)	Pioggia misurata in 24 ore (mm)
CP6	Pago Veiano	259	201.0
CP8	S. Agata dei Goti	65	197.6
V4	Vitulano (Camposauro)	1124	363.1
V5	Vitulano	419	229.5
V6	Buonalbergo	432	199.8
A2	Casalduni	482	247.0
A3	S. Lupo	346	238.6
A4	S. Lorenzo Maggiore	174	267.6
A5	Vitulano	96	270.4
A6	Paupisi	183	415.4
A7	Torrecuso	172	229.6
A8	Torrecuso	507	222.0
A9	Airola	270	194.8

Tabella 1 – Valori di pioggia cumulata in 24 ore di alcune delle stazioni all'interno dell'area di studio con valori prossimi e superiori a 200 mm

A livello nazionale è stata definita, quindi, una distribuzione dei valori degli eventi più estremi (EEE), superiori a 250 mm/giorno (vedi Pelosi et alii (2020) e Pelosi et alii (2022)).

$$P(X > x, x \geq 250) = P(E)P(X > x | E) = p_E (1 - G_E(x))$$

dove p_E è la probabilità che il massimo annuo sia un EEE (evento E) mentre G_E è la probabilità condizionata dei massimi annui dato il verificarsi dell'evento E. Si è giunti anche alla scelta di una distribuzione di probabilità di tipo esponenziale, come segue:

$$G_E(x) = 1 - e^{-1/\lambda (x - x_0)}, \quad x \geq 250$$

dove x_0 è pari a 250 mm e λ è stato stimato pari a circa 68 mm. Per la Campania è stato stimato un valore di $p_E = 0.10$.

E' possibile, quindi, rivalutare statisticamente il periodo di ritorno delle precipitazioni associate all'evento di riferimento. Nella Tabella 2, per i 2 valori più significativi: si tratta di serie storiche molto brevi dei massimi annuali delle precipitazioni a 24 ore: 6 anni nel caso

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

della stazione V4 e circa 20 anni per la stazione A6. Il rapporto K_T tra il valore osservato e la media aritmetica x_T dei massimi annuali osservati permette di stimarne il periodo di ritorno T attraverso l'attuale procedura VAPI: si ottengono valori che vanno da 10^3 a 10^6 anni. Applicando la metodologia precedentemente descritta, invece, si ottengono valori del periodo di ritorno compresi tra 50 e 100 anni, più coerenti alla frequenza empirica attesa da serie storiche così brevi.

Codice	Nome della stazione	Pioggia in 24 ore (mm)	x_T (mm)	K_T	T (anni) VAPI	T (anni) Pelosi et al. (2020)
V4	Vitulano (Camposauro)	363.1	83.6	4.42	$5 \cdot 10^3$	52
A6	Paupisi	415.4	53.2	7.81	$4 \cdot 10^6$	112

Tabella 3 – Valutazione del periodo di ritorno (T) associato all'evento di riferimento

2.2 Analisi idraulica

L'evento alluvionale dell'ottobre 2015 è stato oggetto di una approfondita analisi storico-idraulica da parte di Bovolin (2021).

L'analisi storica svolta da Bovolin (2021) ha evidenziato che l'evento alluvionale del 2015 non è isolato, ma che, a partire dal 1740, si sono verificati numerosi eventi alluvionali (vedi Tabella 4) che hanno avuto caratteristiche confrontabili con quelle dell'evento del 2015 che di questi almeno 5 contengono riferimenti espliciti a criticità verificatesi nel tratto del Calore Irpino prossimo alla città di Benevento.

Evento	Località principale	Data
1	Benevento	28 novembre 1740
2	Benevento	20 novembre 1770
3	Calore	20 settembre 1811
4	Tammaro	25 settembre 1841
5	Solopaca	21 novembre 1851
6	Benevento	1942-3?
7	Benevento	2 ottobre 1949
8	Benevento	18 dicembre 1952
9	Solopaca	20 dicembre 1968

Tabella 4 – Eventi alluvionali nel bacino del Calore Irpino storicamente documentati (da Bovolin, 2021)

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

Lo studio di Bovolin (2021) ha evidenziato che la maggiore parte degli eventi alluvionali si è verificato nel periodo autunnale e che essi hanno sempre visto il significativo coinvolgimento del bacino del torrente Tammaro.

Lo studio di Bovolin (2021) ha permesso di chiarire, anche sulla base dei risultati di un modello idraulico monodimensionale, che le disastrose conseguenze dell'alluvione del 1949 sono da riportarsi a fattori idraulici e che, dal punto di vista idrologico, l'evento del 1949 ha avuto caratteristiche confrontabili con quelle degli altri eventi alluvionali storicamente documentati. L'analisi idraulica svolta da Bovolin (2021) è stata anche finalizzata a definire le portate massime defluite in prossimità della confluenza del Tammaro nel Calore.

Sulla base di considerazioni relative alle tracce lasciate dalla piena sulle infrastrutture poste alla confluenza del Tammaro nel Calore e su valutazioni dei livelli idrici raggiunti nelle aree allagate Bovolin (2021) ha stimato per il Calore ed il Tammaro le massime portate riportate nella Tabella 5.

<i>Corso d'acqua</i>	<i>Minima</i>	<i>Massima</i>
<i>Tammaro</i>	2000	2000
<i>Calore</i>	1000	1500
<i>totale</i>	3000	3500

Tabella 5 – Stima della distribuzione delle portate contemporanee durante l'evento del 2015 (da Bovolin, 2021)

In effetti le portate riportate nella Tabella 2 appaiono essere ampiamente cautelative rispetto alle portate al colmo di piena valutate mediante l'applicazione della procedura VAPI nella Relazione Generale del PSDA predisposto dall'ABLVR nel 1999 e riportate nella Tabella 3.

N	Sezione	$\mu(Q)$	2	5	10	20	50	100	300	1000
14	Calore Irpino confl. Calore	466	480	495	720	1080	1245	1470	1825	2200
15	Tammaro confl. Calore	354	365	380	550	825	950	1125	1395	1695
16	Calore Irpino confl. Sabato	582	600	620	900	1350	1560	1840	2285	2775

Tabella 6 – Portate al colmo di piena per assegnato periodo di ritorno (da PSDA BLVG, 1999)

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

Le portate riportate nella Tabella 4 sono state quindi utilizzate da Bovolin (2021) come condizioni al contorno all'interno di un modello idraulico monodimensionale dell'area di confluenza del Tammaro nel Calore.

Il confronto positivo tra i livelli calcolati dal modello idraulico monodimensionale con quelli valutati sulla base delle evidenze di campagna ha confermato, indirettamente, la correttezza della stima delle portate valutate da Bovolin (2021) e riportate nella Tabella 4.

L'analisi idraulica svolta da Bovolin (2021) ha anche messo in evidenza il ruolo positivo svolto dalla diga di Campolattaro che ha mitigato le conseguenze degli eventi pluviometrici verificatesi nel Tammaro nell'ottobre 2015.

In particolare la diga di Campolattaro ha svolto un ruolo più limitato nel caso dell'evento del 15 ottobre 2015, mentre è stata fondamentale nel caso del successivo evento del 19 ottobre 2019 che in assenza della diga stessa avrebbe avuto caratteristiche sostanzialmente analoghe a quello del 15 ottobre 2015.

3. Modellazione idraulica

L'effettuazione di uno studio idraulico richiede la preventiva identificazione del "tratto significativo" da sottoporre ad analisi.

Per tratto significativo si intende quella porzione di alveo per la quale le sezioni di ingresso e di uscita sono posizionate e/o hanno caratteristiche tali che le grandezze idrodinamiche nella zona di interesse non sono influenzate dalle inevitabili incertezze che accompagnano l'assegnazione delle condizioni al contorno.

Dal punto di vista operativo gli estremi del tratto significativo devono essere posizionati il più lontano possibile dall'area di interesse e, quando possibile, essere localizzati, in corrispondenza di una discontinuità idraulica (ad esempio una briglia) o di tratti caratterizzati da sezioni trasversali bene incise.

Considerata la magnitudo dell'evento alluvionale del 2015, l'importanza dell'opera in parola e la particolarità del presente studio nel quale la portata di verifica non stata determinata sulla base della procedura VAPI standard si è ritenuto opportuno simulare tutto il sistema fluviale che interessa l'area industriale di ponte Valentino.

A tal fine insieme al Calore Irpino è stato incluso nel modello anche il tratto dal torrente Tammaro a monte della confluenza nel Calore. Il tratto significativo individuato è riportato nella Figura 13.

Per quanto riguarda la scelta del codice di calcolo da impiegare per l'implementazione del modello idraulico bidimensionale si è deciso di utilizzare il software *RIVER2D* sviluppato e distribuito gratuitamente dalla Università dell'Alberta del Canada (<https://www.river2d.ca/>).

Il codice di calcolo *RIVER2D* non solo è ampiamente utilizzato nella comunità tecnica, ma è anche disponibile gratuitamente e tale circostanza rende possibile alla Amministrazione delegata ad esaminare il contenuto del presente studio di effettuare tutte operazioni di controllo ritenute necessarie per valutare la metodologia applicata ed i risultati ottenuti.

In ogni caso, se ritenuto utile dalla Amministrazione, i file di input delle simulazioni potranno essere resi disponibili per le verifiche ritenute necessarie.

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

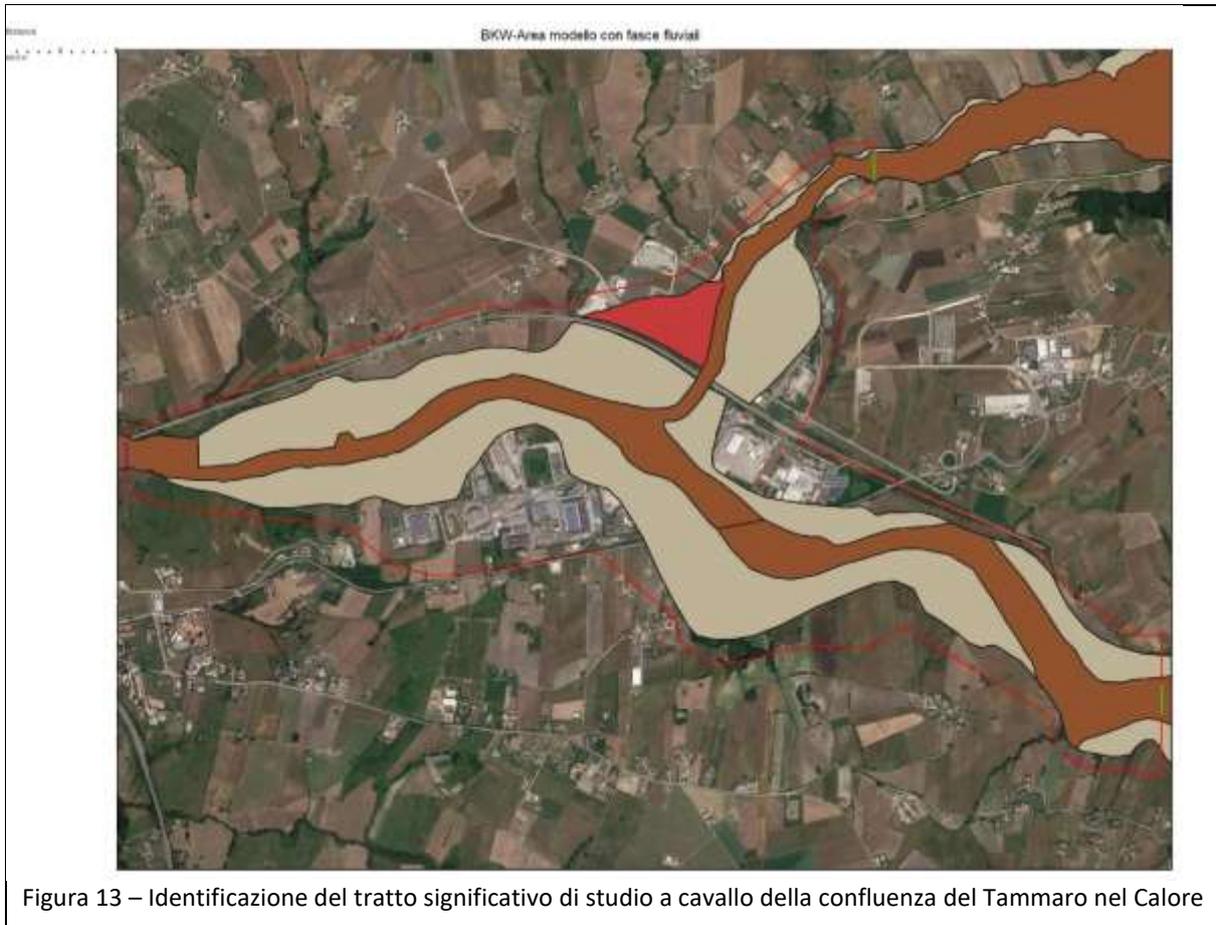


Figura 13 – Identificazione del tratto significativo di studio a cavallo della confluenza del Tamaro nel Calore

Tutte le simulazioni sono state effettuate in condizioni di moto permanente in quanto si tratta di una condizione che risulta a vantaggio di sicurezza rispetto al caso di condizioni di moto vario.

In effetti la condizione di moto permanente può essere definita come la condizione asintotica alla quale tende una condizione di moto vario che disponga di un volume di piena illimitato.

La condizione di moto permanente utilizzata nel presente studio equivale quindi ad una condizione di moto vario con idrogramma di durata infinita e portate costanti pari alle massime portate di piena riportate nella Tabella 4.

Tale condizione risulta pertanto sicuramente più gravosa rispetto a qualunque idrogramma si possa utilizzare per interpretare il massimo volume di piena per assegnata durata della pioggia.

3.1 Modellazione bidimensionale

La individuazione delle aree potenzialmente allagabili nel corso di una piena fluviale può essere perseguita secondo approcci con grado di complessità.

Il progressivo aumento delle capacità di calcolo dei processori ha reso sempre più comune l'impiego, parallelamente ai modelli monodimensionali, di modelli bidimensionali.

La diffusione dei modelli bidimensionali è stata anche favorita dallo sviluppo di tecniche numeriche in grado di rappresentare le transizioni da corrente veloce a lenta che si determinano all'interno dei corsi d'acqua.

3.1.1 Principi fondamentali della modellazione idraulica completamente bidimensionale.

La modellazione dei processi idraulici è basata sui principi di conservazione della massa e della quantità di moto (o in alternativa di conservazione dell'energia) e sulle leggi costitutive dei fluidi che introducono nel modello i meccanismi di resistenza che si sviluppano all'interno delle correnti in funzione delle proprietà dei fluidi stessi.

Il principio di conservazione della massa applicata ad un volume di controllo si può esprimere come segue: *la variazione della massa contenuta all'interno di un volume di controllo è pari alla somma dei flussi di fluido che attraversano la superficie laterale del volume di controllo.*

Il principio di conservazione della quantità di moto applicata ad un volume di controllo si può esprimere come segue: *la risultante delle forze agenti sulla superficie laterale del volume di controllo più il flusso di quantità di moto attraverso la stessa superficie sono uguali alle forze agenti sulla massa presente nel volume di controllo.*

Nel caso più generale i principi di conservazione si esprimono mediante il sistema di 2 equazioni differenziali vettoriali alle derivate parziali dette equazioni di de Saint Venant.

Nella pratica per risolvere il sistema alle equazioni di de Saint Venant sono accoppiate le equazioni che esprimono, in funzione delle caratteristiche del fluido, le perdite di carico.

3.1.2 Modellazione della superficie piezometrica

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

Il problema principale dei modelli bidimensionali è che l'estensione dell'area bagnata non è nota a priori essendo, in effetti, lo scopo dei modelli bidimensionali proprio quello di individuare le aree allagabili.

Nei modelli bidimensionali è quindi necessario implementare una procedura numerica in grado di rappresentare il processo di "bagnatura" di una cella "asciutta" e di "asciugatura" di una cella "bagnata": la soluzione di questo problema è stata perseguita secondo diversi approcci.

Un *primo approccio* utilizza un dominio di calcolo variabile aggiornato in maniera dinamica mediante l'"accensione (inclusione nel dominio di calcolo)" e lo "spegnimento (esclusione dal dominio di calcolo)" delle celle sulla base di un valore minimo della altezza idrica nella cella stessa.

Un *secondo approccio* fa riferimento ad un dominio di calcolo fisso all'interno del quale la continuità della superficie piezometrica è garantita mediante la modifica delle caratteristiche del fluido quando l'altezza idrica in una cella risulta inferiore ad un valore limite.

Un *terzo approccio*, ed è il caso del codice di calcolo *River2D*, per garantire la continuità della superficie piezometrica nell'intero dominio di calcolo accoppia le equazioni di de Saint Venant per le correnti alla equazione di Boussinesq per le acque sotterranee.

Secondo questo approccio il dominio di calcolo complessivo rimane costante, ma le celle vengono assegnate in maniera dinamica alla parte descritta dalle equazioni di de Saint Venant o alla parte descritta dalla equazione di Boussinesq.

In tale modo la continuità della superficie piezometrica nel modello è garantita unendo le equazioni delle correnti a superficie libera di de Saint Venant, utilizzate per le celle con superficie piezometrica al di sopra della quota terreno, con l'equazione delle acque sotterranee di Boussinesq, per le celle con superficie piezometrica al di sotto della quota terreno.

3.1.3 Schemi per l'integrazione numerica

Il sistema di equazioni differenziali che modellano il processo fisico che si intende simulare viene quindi discretizzato passando da una formulazione continua ad un sistema di equazioni

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

algebriche. Il numero di equazioni algebriche insieme alle equazioni che definiscono le condizioni al contorno pareggiano il numero di incognite definite sulla base di griglie di calcolo che si estendono nello spazio e, per le simulazioni in moto vario, nel tempo.

Le equazioni algebriche sviluppate nella fase di discretizzazione delle equazioni analitiche richiedono quindi una procedura numerica per la soluzione del sistema di equazioni.

Per quanto riguarda gli schemi di integrazione numerica dal punto di vista della integrazione nello spazio gli schemi più utilizzati possono racchiudersi in tre approcci: differenze finite, volumi finiti ed elementi finiti, per quanto riguarda l'integrazione nel tempo sono disponibili gli schemi espliciti ed impliciti.

Tutti gli schemi di integrazione richiamati in precedenza presentano vantaggi e svantaggi: per gli schemi spaziali si può sommariamente affermare che gli approcci alle differenze ed ai volumi finiti offrono le migliori prestazioni per quanto riguarda la stabilità e l'efficienza dell'algoritmo, mentre l'approccio agli elementi finiti risulta ottimale per rappresentare situazioni geometriche complesse.

Per quanto riguarda l'integrazione nel tempo gli schemi espliciti sono più facili da programmare e, in generale, garantiscono soluzioni più precise, ma richiedendo intervalli di integrazione più piccoli, comportano tempi di elaborazione più lunghi, mentre gli schemi impliciti forniscono soluzioni meno precise, ma richiedono intervalli temporali di integrazione più grandi e quindi tempi di elaborazione più brevi.

Gli schemi espliciti calcolano il valore di una variabile ad un dato istante temporale utilizzando esclusivamente i valori all'istante precedente, tale approccio riduce l'impegno computazionale del calcolo e l'occupazione della memoria, ma per mantenere la stabilità del processo di integrazione numerica l'intervallo temporale di calcolo deve sottostare al limite imposto dalla condizione di Courant-Lewy-Freidrichs (*CFL*).

La condizione di *CFL* impone che l'intervallo temporale di calcolo sia inferiore al tempo necessario alla celerità dell'onda per viaggiare da un nodo all'altro, ciò comporta che l'intervallo di calcolo si riduce proporzionalmente a quello della griglia di calcolo allungando i relativi tempi di calcolo.

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

Lo schema implicito non deve soddisfare la condizione di *CFL*, ma ottiene questo risultato introducendo un certo di livello di "smoothing" che può ridurre la precisione della soluzione numerica.

3.1.4 Dati topografici

La disponibilità delle sole sezioni trasversali, che risulta normalmente adeguata per l'implementazione di un modello monodimensionale, non è sufficiente per l'implementazione di un modello bidimensionale, in quanto in tale caso è necessario disporre di un rilievo che riguardi anche le aree latitanti il thalweg del corso d'acqua.

Nel caso in esame si è utilizzato il Rilievo Lidar Ministero dell'Ambiente che restituisce la superficie del terreno con un passo di 1 *m*.

La congruità del rilievo Lidar Ministero dell'Ambiente con la situazione attuale è stata verificata dalle operazioni topografiche di dettaglio commissionate dalla Luminosa Energia S.r.l.

3.1.5 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno si specializzano nell'assegnazione del valore della portata totale nelle sezioni di ingresso, nella assegnazione di un valore di altezza idrica o di una scala di deflusso nelle sezioni di uscita e nella assegnazione dei valori iniziali delle variabili idrodinamiche.

Siccome la maggioranza dei modelli bidimensionali sono implementati per fornire soluzioni in moto vario, peraltro anche le soluzioni in moto permanente sono in realtà ottenute come soluzioni asintotiche a lungo termine di soluzioni in moto vario, la definizione delle condizioni di inizializzazione del modello sono fondamentali per facilitare la convergenza della soluzione numerica.

3.1.6 Criteri di scelta del codice di calcolo bidimensionale

Sulla base delle sintetiche considerazioni riportate in precedenza risulta evidente che il principale ostacolo che si oppone alla diffusione della modellazione bidimensionale è dovuto al fatto che per rappresentare correttamente le caratteristiche idrodinamiche di un sistema

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

fluviale è necessario utilizzare una discretizzazione di calcolo che sia significativamente più piccola della scala spaziale caratteristica (ad esempio larghezza trasversale dell'alveo) del sistema stesso.

Questa condizione pone forti vincoli sulle dimensioni complessive del sistema che si intende analizzare e richiede inoltre la disponibilità di specifiche routine computazionali che consentano, ad esempio, di ottimizzare l'assegnazione delle condizioni iniziali con la conseguente velocizzazione della procedura di calcolo.

A dire il vero per ovviare a tale problematica sono stati sviluppati codici di calcolo che si basano su un approccio che si può definire *parzialmente bidimensionale (1.5D)*, tra i modelli che utilizzano tale approccio vi sono i ben noti tali codici *HEC-RAS* (a partire dalla versione 5) e *FLO 2D*.

Questo tipo di modelli corrisponde a quelli classificati nella parte *D2 - Linee guida per la redazione di studi idraulici bidimensionali* contenuto nell'Allegato D – *Metodologie ed indirizzi per gli approfondimenti nelle aree a rischio* del PSAI Autorità di Bacino Campania Centrale (*AdBCC*) oggi confluita nella ABDAM come *schema integrato monodimensionale-bidimensionale*.

I modelli *1.5D, parzialmente bidimensionali*, accoppiano la *modellazione monodimensionale*, applicata ai tratti del sistema drenante rappresentabili mediante una corrente monodimensionale, con la *modellazione bidimensionale* applicata alle aree latitanti gli alvei dove effettivamente il flusso non presenta una direzione preferenziale.

Gli scambi tra la parte monodimensionale e quella bidimensionale avvengono in funzione dei rispettivi livelli idrici, il flusso è ovviamente diretto dalle quote idriche maggiori verso quelle minori.

Il vantaggio di tale approccio è ovviamente quello di non essere costretti ad utilizzare una griglia computazionale sufficientemente ridotta da simulare la corrente che scorre all'interno dell'elemento monodimensionale con evidenti vantaggi in termini di richiesta di memoria di calcolo, intervalli di calcolo e relativi problemi di stabilità della soluzione.

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

Per comprendere le ragioni che hanno guidato la scelta del codice di calcolo utilizzato nel presente studio è utile evidenziare alcuni ulteriori aspetti che caratterizzano i codici di calcolo più diffusi che utilizzano l'approccio *1.5D*.

Nel caso di *HEC-RAS* l'integrazione tra la parte monodimensionale e quella bidimensionale è meno spinta rispetto a quella presente in *FLO-2D*.

In *HEC-RAS* la definizione della parte bidimensionale è legata alla preventiva identificazione dei tratti nella modellazione monodimensionale lungo i quali avviene l'esondazione.

Una volta che i tratti sono stati identificati si procede all'inserimento lungo tali tratti di idonee strutture idrauliche di trasferimento della portata esondante (stramazzi laterali) che fungono da condizioni al contorno per la parte di simulazione bidimensionale.

In *HEC-RAS* il collegamento tra la parte monodimensionale e quella bidimensionale è pertanto stabilito dall'utente e può richiedere che il processo sia ripetuto più volte in funzione degli effetti che l'inserimento dello stramazzo laterale comporta sulle portate a valle dello stramazzo stesso.

HEC-RAS non è pertanto un modello puramente bidimensionale in quanto la modellazione bidimensionale è strettamente ancillare a quella monodimensionale.

FLO-2D presenta una maggiore integrazione in quanto tutti i tratti che compongono gli elementi monodimensionali sono inseriti all'interno di una (o più) celle bidimensionali.

In *FLO-2D* il collegamento tra la parte monodimensionale e la parte bidimensionale non è dipendente dall'utente, ma è valutato automaticamente dal sistema in funzione della differenza di livello idrico esistente tra elemento monodimensionale e cella bidimensionale ospitante.

FLO-2D può essere, almeno in linea teorica, configurato in modalità puramente bidimensionale, in tale configurazione *FLO-2D* rientrerebbe tra i modelli classificati nella parte *D2 - Linee guida per la redazione di studi idraulici bidimensionali* contenuto nell'Allegato *D - Metodologie ed indirizzi per gli approfondimenti nelle aree a rischio* come *classicgrid*.

FLO-2D non è stato preso in considerazione nel presente studio non solo perché è un software commerciale, ma anche perché, non soddisfacendo il requisito relativo alla possibilità di inizializzazione delle variabili, avrebbe comportato tempi di calcolo eccessivamente lunghi.

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

In effetti *FLO-2D* non dispone di alcuna routine per la inizializzazione delle variabili idrodinamiche bidimensionali, in altri termini in *FLO 2D* tutto il sistema bidimensionale risulta inizialmente "asciutto", cosicché, a partire dall'area dove è immessa la portata in ingresso, andrebbe successivamente modellato tutto il processo di riempimento dell'alveo asciutto con tutte le problematiche evidenziate in termini di stabilità della soluzione e di durata del calcolo. Tutto ciò premesso si è deciso di effettuare le simulazioni utilizzando il codice di calcolo *River2D*.

3.1.7 Codice di calcolo River2D

River2D implementa la soluzione numerica delle equazioni di De Saint Venant espressa in forma conservativa.

Nel complesso sono risolte 3 equazioni scalari: 1 equazione di continuità e 2 equazioni del moto, le variabili dipendenti sono rappresentate dai valori che l'altezza idrica e le componenti della velocità nelle direzioni coordinate assumono in ogni punto del dominio di calcolo.

Il codice consente di simulare la transizione da corrente lenta a veloce ed il passaggio delle celle da asciutto a bagnato e viceversa.

River2D, come tutti i codici bidimensionali, è un codice intrinsecamente non stazionario, ma è fornito di una procedura per accelerare la soluzione nel caso si cerchi la soluzione in condizioni stazionarie.

River2D è un codice agli elementi finiti basato su una formulazione conservativa dello schema upwind di Petrov-Galerkin.

L'implementazione di *River2D* prevede una schematizzazione basata su elementi di forma triangolare.

River2D rientra tra i modelli classificati nella parte *D2 - Linee guida per la redazione di studi idraulici bidimensionali* contenuta nell'Allegato *D - Metodologie ed indirizzi per gli approfondimenti nelle aree a rischio* come *flexiblemesh*.

La base del metodo degli elementi finiti è un approccio più generale definito come il metodo dei residui pesati. L'idea di base è che le equazioni possono essere rappresentate mediante una "funzione di tentativo" che è definita mediante un numero di gradi di libertà che possono

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

essere opportunamente aggiustati per raggiungere la soluzione, in termini sommari si tratta di un metodo che utilizza lo stesso concetto alla base del processo di interpolazione di una curva o di una serie di dati.

Il maggiore vantaggio del metodo degli elementi finiti è quello di garantire una elevata flessibilità geometrica, gli elementi possono facilmente cambiare configurazione e/o dimensione per seguire forme geometriche complesse e/o per affinare la soluzione nelle aree più significative e/o dove il flusso presenta le maggiori variazioni.

Nel processo di soluzione di un modello bidimensionale la corretta rappresentazione del passaggio da area asciutta ad area bagnata e viceversa rappresenta una delle maggiori difficoltà.

L'approccio implementato da *River2D* per risolvere questo problema prevede, quando il livello idrico in una cella è al di sotto di una soglia limite, di commutare l'equazione dalle equazioni di de Saint Venant alla equazione di filtrazione per le acque filtranti.

Questa procedura permette di fare riferimento ad una superficie piezometrica continua nell'intero dominio di integrazione che non richiede di modificare le condizioni al contorno.

I parametri significativi della equazione delle acque filtranti sono rappresentati dalla trasmissibilità e dalla capacità di accumulo.

Per quanto riguarda la rappresentazione del termine di resistenza *River2d* utilizza un approccio sofisticato che vede la presenza di 2 termini:

- resistenza del fondo S_f ;
- resistenza per sforzi tangenziali trasversali.

La resistenza di fondo S_f è valutata nelle direzioni x ed y rispettivamente come:

$$S_{fx} = \frac{\sqrt{U^2+V^2}}{gHC_s^2} U \qquad S_{fy} = \frac{\sqrt{U^2+V^2}}{gHC_s^2} V \qquad (1)$$

Per il coefficiente di resistenza del fondo C_s *River2D* adotta una formulazione di tipo logaritmico basata sul concetto di scabrezza idraulica k_s definita in una cornice di riferimento di moto assolutamente turbolento. (dipendenza del coefficiente di scabrezza in funzione della sola scabrezza relativa *water depth H/ roughness k_s*).

Il coefficiente di resistenza del fondo C_s è espresso pertanto mediante la relazione:

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

$$C_s = 5.75 \log \left(12 \frac{H}{k_s} \right) \quad (2)$$

dove la scabrezza k_s è legata alla scabrezza n di Manning con la seguente relazione:

$$k_s = \frac{12H}{\frac{H^{1/6}}{e^{2.5n\sqrt{g}}}} \quad (3)$$

L'esponente $1/6$ della altezza idrica H nella (3) garantisce una limitata variabilità del coefficiente C_s rispetto ad n .

Per l'altra componente della resistenza *River2D* adotta un classico approccio basato sul concetto di viscosità turbolenta ν_t :

$$\tau_{xy} = \nu_t \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \quad (4)$$

calcolata mediante la relazione:

$$\nu_t = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \frac{H\sqrt{U^2+V^2}}{c_s} + \varepsilon_3 H^2 \sqrt{2 \frac{\partial U}{\partial x} + \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right)^2} 2 \frac{\partial V}{\partial y} \quad (5)$$

3.2 Definizione degli Scenari di calcolo

Per la modellazione idraulica implementata nel presente studio si sono utilizzati gli elementi topografici e le condizioni al contorno riportate di seguito.

3.2.1 Dati topografici degli scenari di calcolo

L'area significativa analizzata nello studio idraulico è evidenziata nella Figura 7.

Per la modellazione idraulica implementata nel presente studio si sono utilizzati i seguenti elementi topografici:

- Cartografia *IGM* 1:25000;
- Carta Tecnica Regionale *CTR* 1:5000;
- Rilievo Lidar Ministero dell'Ambiente 2011;
- Rilievo topografico di dettaglio dell'area di sedime della Centrale;
- Rilievo topografico di dettaglio degli attraversamenti;

La Cartografia *IGM* e la *CTR* sono state utilizzate per un primo inquadramento territoriale.

Il Rilievo Lidar Ministero dell'Ambiente ha rappresentato la base topografica utilizzata per la implementazione di base del modello idraulico.

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

Il rilievo topografico di dettaglio dell'area di sedime della Centrale è stato utilizzato per controllare i dati del rilievo Lidar e come base per lo verifica delle opere di protezione della centrale.

Il Rilievo topografico di dettaglio degli attraversamenti è stato anche utilizzato per integrare, dove ritenuto tecnicamente significativo, i dati del rilievo Lidar.

3.2.2 Condizioni al contorno degli scenari di calcolo

Le condizioni al contorno necessarie per l'implementazione dei modelli idraulici sono state:

- Condizioni di monte: portate;
- Condizioni di valle: livello idrico.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno di monte si sono utilizzate le portate riportate nella Tabella 4.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno di valle sulla base dei livelli raggiunti nel corso della piena del 15 ottobre 2015 si è fissato il livello idrico a valle alla quota di 126.00 m s.m.

3.2.3 Descrizione degli scenari di calcolo

Con il codice di calcolo River2D sono stati investigati pertanto investigati i seguenti 3 scenari:

- Scenario 2015;
- Scenario 2021 *Attuale*;
- Scenario Progetto;

Lo *Scenario 2015* ha avuto lo scopo di validare il modello idraulico valutandone la capacità di riprodurre gli effetti dell'alluvione del 2015, nel contempo esso ha consentito anche una ulteriore verifica della congruità delle scelte effettuate per definire le portate e le condizioni al contorno.

Lo *Scenario 2021 Attuale* ha avuto lo scopo di valutare le condizioni idrauliche attuali e di definire lo scenario di riferimento necessario per valutare la rilevanza delle variazioni delle grandezze idrauliche conseguenti agli interventi necessari per la realizzazione della Centrale.

Lo *Scenario 2021 Attuale* è nato dalla necessità di tenere conto delle modifiche morfologiche verificatesi nell'area dopo la piena del 15 ottobre 2015 ed in particolare l'effetto che la

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

rimozione del vecchio attraversamento ferroviario ha comportato sulla definizione dei livelli idrici nel torrente Tammaro a monte della immissione nel Calore Irpino.

Lo *Scenario Progetto* ha avuto l'ovvia finalità di valutare le condizioni di sicurezza idraulica della Centrale e le eventuali conseguenze che le opere previste per la realizzazione della Centrale possano comportare sul sistema fluviale.

Per ciascun Scenario, in funzione della distribuzione delle portate contemporanee riportate nella Tabella 4, sono stati considerati 2 sub Scenari che si differenziano per il valore della portata totale immessa nel sistema. Nel complesso sono stati analizzati 6 sub Scenari

Considerato che l'ex ABLVG non ha predisposto una propria documentazione tecnica relativa alla implementazione di modellazione bidimensionali si è deciso di fare riferimento alla documentazione dalla ex Autorità di Bacino della Campania Centrale (ABCC) che, come l'ABLVG, è confluita nella ABDAM.

In particolare si è fatto riferimento al documento *D – Metodologie ed indirizzi per gli approfondimenti nelle aree a rischio Allegato D2 - Linee guida per la redazione di studi idraulici bidimensionali* del PSAI del ABCC.

Sulla base di tale documentazione è stato stabilito quanto segue:

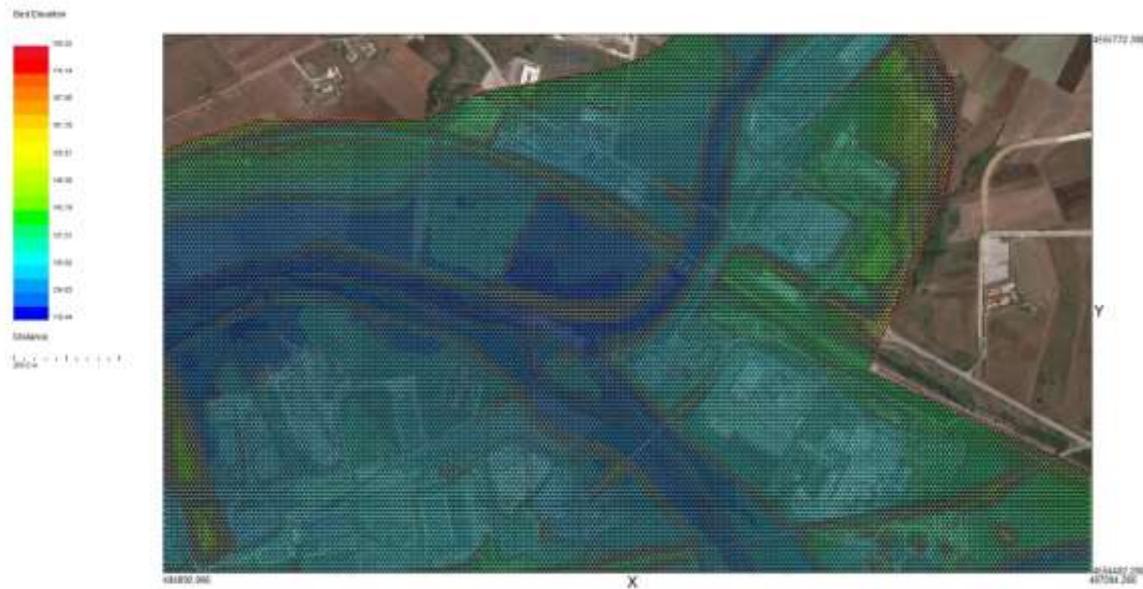
- la risoluzione della griglia di calcolo è stata posta pari a 10 m. (Il valore 10 m risulta significativamente più piccolo rispetto alle risoluzioni riportate nella Tabella 1 del richiamato Allegato D2 PSAI ex ABCC);
- l'estensione del dominio di calcolo è stata determinata estendendola al di fuori delle aree P1 della proposta aggiornamento del PSAI dell'ABDAM;
- la scabrezza idraulica è stata assegnata con riferimento a quanto riportato nella Tabella 2 del richiamato Allegato D2 del PSAI ex ABCC.

Un dettaglio esemplificativo della griglia di calcolo utilizzata è riportato nella Figura 14.

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)



a) su sfondo foto aerea



b) su sfondo foto aerea e Modello digitale

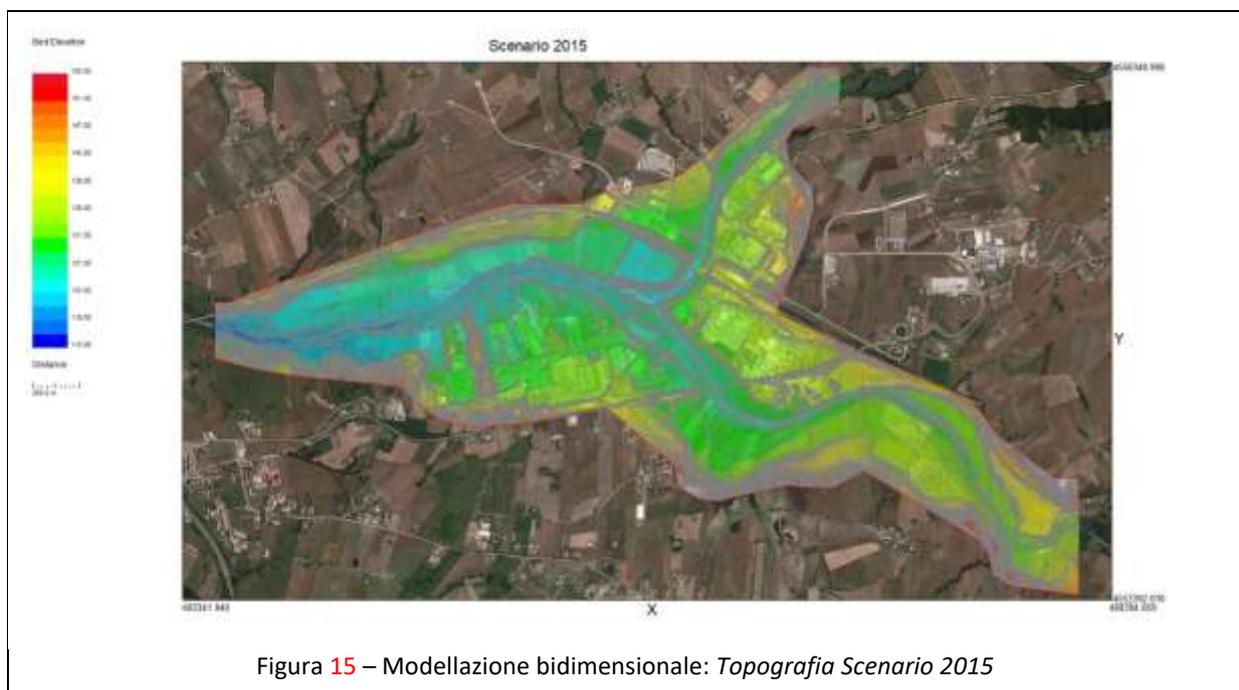
Figura 14 – Modellazione bidimensionale: dettaglio esemplificativo della griglia di calcolo

4. Risultati degli scenari analizzati

Di seguito sono illustrati e discussi i risultati dei 3 scenari di calcolo esaminati.

4.1 Scenario 2015

Il modello digitale del terreno che definisce lo Scenario 2015 con curve di livello è riportato nella Figura 15.



I risultati delle simulazioni bidimensionali effettuate con riferimento allo Scenario 2015 sono riportati nelle Figure da 16 a 18:

Nella Figura 16 sono riportate le quote piezometriche, le altezze idriche e le velocità della corrente relative al sub Scenario 2015_3000:

Nella Figura 17 sono riportate le quote piezometriche, le altezze idriche e le velocità della corrente relative al sub Scenario 2015_3500:

Nella Figura 18, per comodità di lettura, è riportato il confronto tra le aree allagate valutate per il sub Scenario 2015_3500 e le aree allagate perimetrate dall'ASI.

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

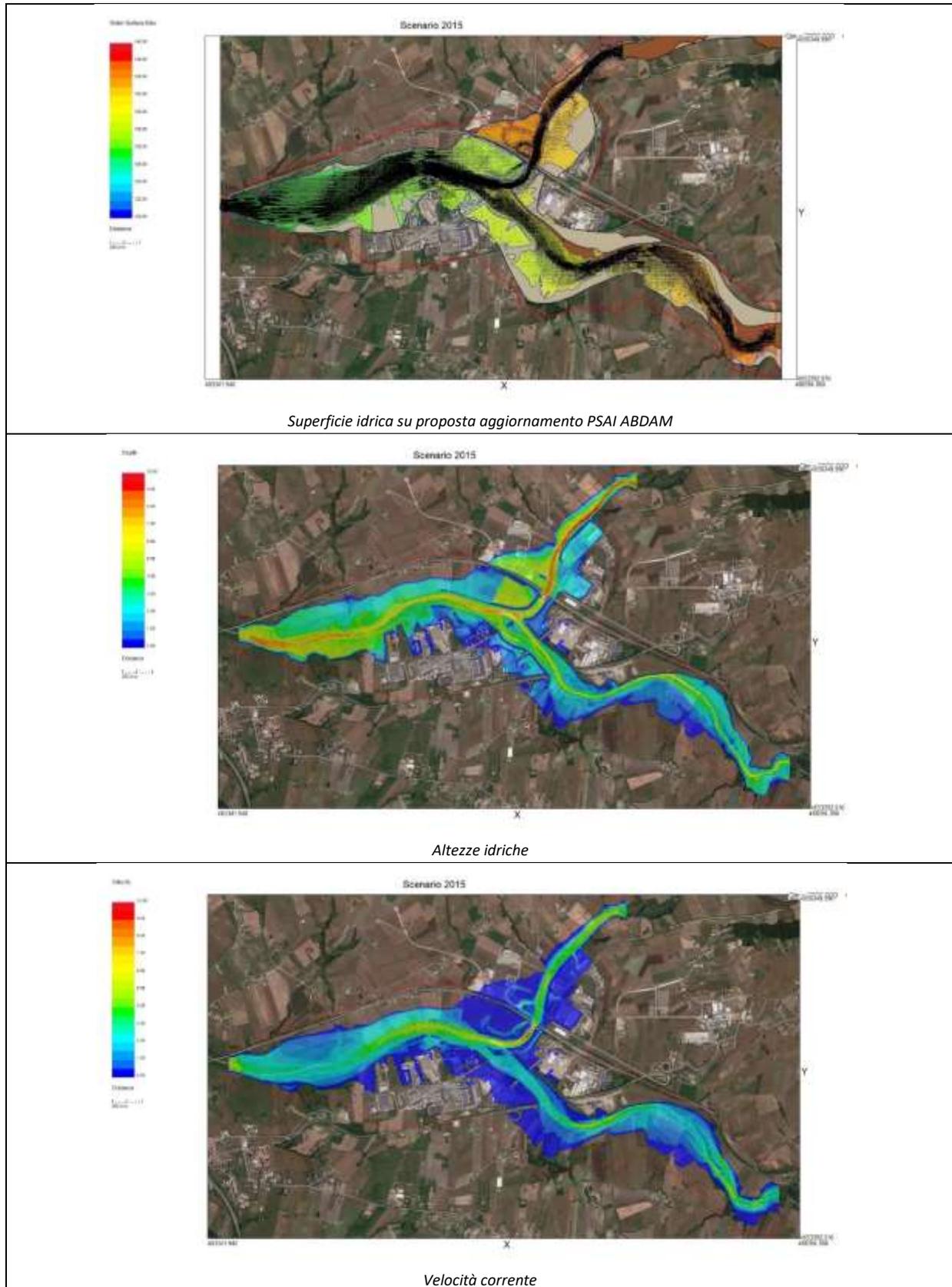


Figura 16 – Modellazione bidimensionale: risultati sub Scenario 2015_3000

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

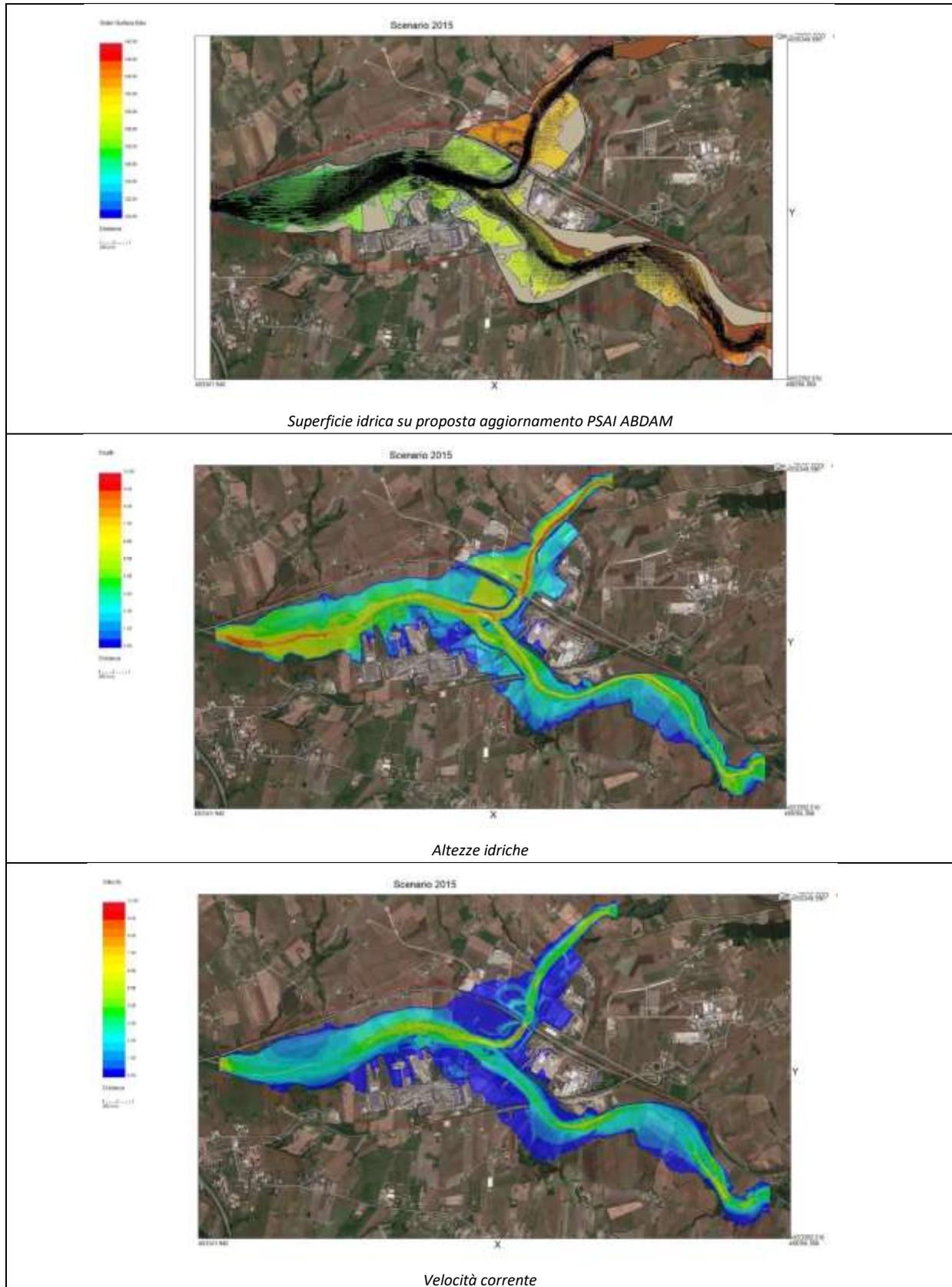


Figura 17 – Modellazione bidimensionale: risultati sub Scenario 2015_3500

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

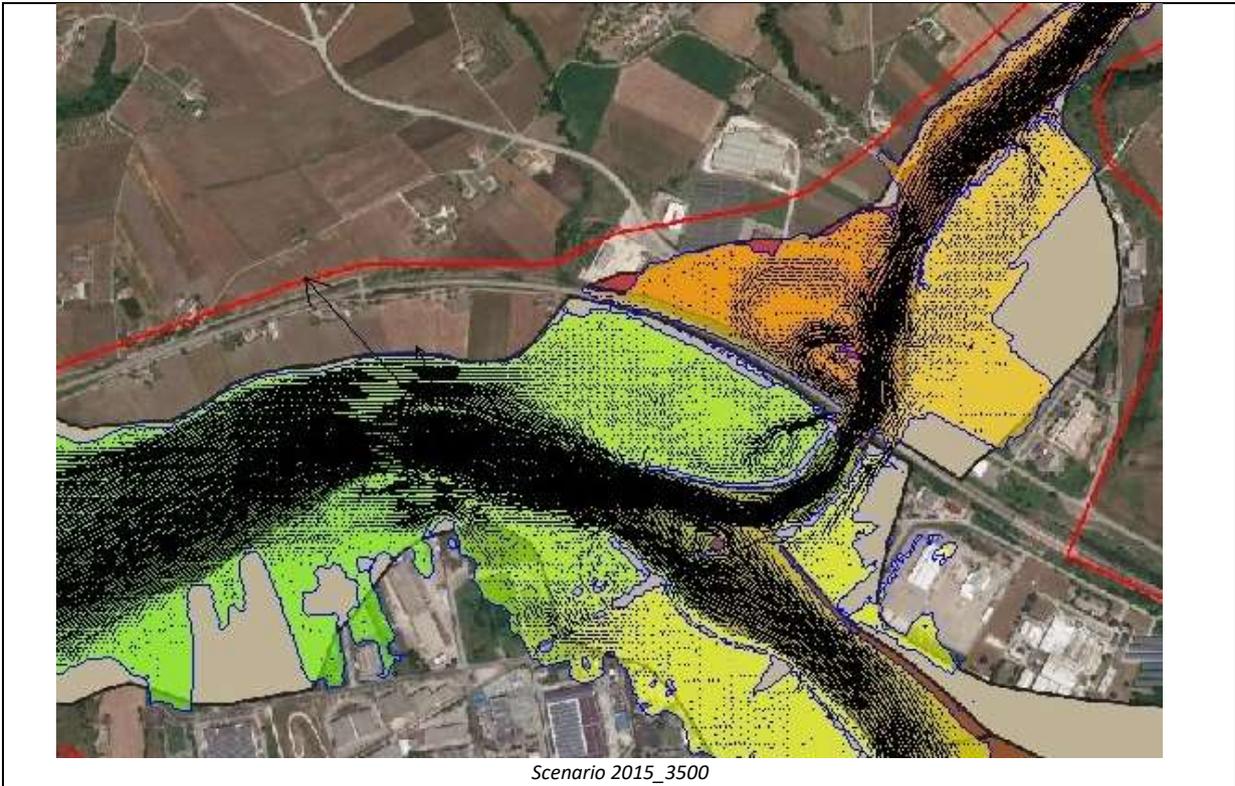


Figura 18 – Modellazione bidimensionale: confronto aree allagate tra sub Scenario 2015_3500 e perimetrazione ASI

Per una precisa interpretazione dei risultati riportati nelle figure precedenti si ricorda che la portata immessa nel Tammaro risulta la stessa ($2000 \text{ m}^3/\text{s}$) in entrambi i sub scenari, mentre per quanto riguarda il Calore Irpino la portata è di $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ nel sub Scenario 2015_3000 e di $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ nel sub Scenario 2015_3500.

L'osservazione delle Figura 16 e Figura 17 evidenzia i seguenti aspetti:

- le differenze tra le aree allagate nei 2 sub scenari analizzati appaiono complessivamente di modesta rilevanza tecnica. In effetti la lettura dei dati numerici, passando dal sub Scenario 2015_3000 al sub Scenario 2015_3500, indica nella zona interessata dalla realizzazione della progettanda centrale elettrica un aumento del livello idrico di circa 40 cm;
- tutte le aree allagate nei 2 sub scenari analizzati ricadono all'interno delle aree con pericolosità idraulica perimetrata dalla ABDAM.

Le ridotte differenze planimetriche esistenti tra i due sub scenari analizzati sono attribuibili da un lato alla circostanza che i livelli idrici differiscono tra di loro di poche decine di centimetri e dall'altro alla presenza, in molti casi, di contorni che delimitano le aree allagate caratterizzati da pendenze relativamente elevate che riducono l'effetto planimetrico indotto dalla maggiore altezza idrica.

La Figura 18 indica che le principali differenze tra i risultati della presente simulazione e la cartografia ASI riguardano aree marginali caratterizzate da altezze idriche assai ridotte.

Le differenze osservabili tra le aree marginali delle due delimitazioni delle aree allagate possono essere attribuite ai seguenti fattori:

- nelle aree marginali i flussi di piccola altezza sono sensibili a modeste differenze di quota altimetrica e/o alla presenza di delimitazioni di origine antropica che caratterizzate da scale spaziali non rappresentabili alla scala spaziale di rappresentatività del presente modello.
- nel processo di riconoscimento "di campagna" delle aree allagate tendono ad essere comprese tutte quelle aree dove risultano presenti evidenze che si sia verificato un flusso o che si sia accumulata dell'acqua indipendentemente dai meccanismi specifici che hanno comportato tali evidenze. In tale senso le aree allagate per esondazione

fluviale tendono ad essere accorpate a quelle marginali che invece possono risultare allagate per effetto di altri meccanismi quali ad esempio la presenza di flussi esterni all'ambito fluviale e/o l'insufficiente capacità di drenaggio propria di tali aree.

Sulla base delle considerazioni precedenti si può ritenere che la scelta dell'ABDAM sia stata quella di perimetrare le aree a pericolosità come inviluppo di tutte le aree allagate e di delimitarne i confini con chiari elementi fisici che ne consentano una regolare gestione amministrativa.

Un ulteriore elemento di validazione del modello idraulico bidimensionale utilizzato nel presente studio è stato quello di verificarne la capacità di riprodurre le particolari condizioni idrodinamiche, evidenziate nella Figura 19, che si sono verificati nel torrente Tammaro nel corso dell'evento alluvionale del 2015.

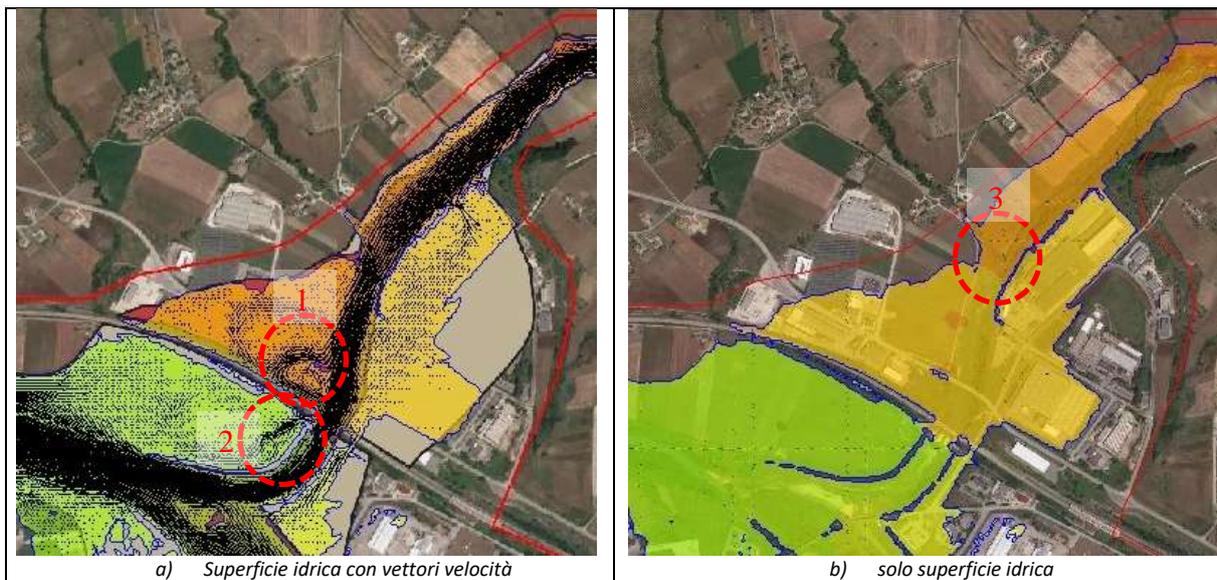


Figura 19 – Modellazione bidimensionale: *caratteristiche idrauliche significative nelle aree allagate del sub Scenario 2015_3000*

Per quanto riguarda il Tammaro appare particolarmente significativa la sostanziale corrispondenza tra le aree allagate nel presente modello in sponda destra e le corrispondenti aree indicate dall'ASI (vedi Figure 16 o Figura 17) e quelle perimetrare dalla ABDAM.

Le differenze presenti in sponda sinistra sono chiaramente attribuibili alle cause riportate in precedenza. In effetti l'allagamento del pastificio Rummo è attribuibile al corso d'acqua in

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

quanto è stato causato dal cedimento del muro di delimitazione dello stabilimento nel tratto prossimo al vertice a nord-ovest, mentre la delimitazione proposta dalla ABDAM, nella porzione posta più ad est sembra includere anche aree che hanno risentito dei processi di allagamento propri del versante sinistro del Tamaro

A conferma della capacità di rappresentazione delle simulazioni bidimensionali effettuate si richiama l'attenzione sulla porzione di territorio 1 evidenziata nella Figura 19a dove i vettori velocità mostrano una notevole intensificazione e la tendenza a ruotare verso sinistra.

In effetti una ulteriore verifica indica che la zona evidenziata nella Figura 19a riguarda l'area dove era situato lo stabilimento della ex Monosider.

La Figura 20a riporta una immagine che raffigura la situazione che caratterizzava lo stabilimento della ex Monosider immediatamente dopo l'alluvione dell'ottobre 2015.

La presenza sul fronte principale dello stabilimento (lato nord di Figura 19a) di notevoli quantità di vegetazione, evidentemente trascinate dalla corrente e depositate a seguito dell'impatto con la struttura, nonché la direzione rivolta verso l'esterno secondo la quale hanno ceduto le pareti laterali dello stabilimento (lato est di Figura 20a) sono completamente congruenti con la struttura di flusso evidenziata in Figura 19a.



Alluvione ottobre 2015

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)



Figura 20 – Viste temporali dello Stabilimento ex Monosider presente nella zona di ricircolazione 1 della Figura 18

Sempre a conferma della correttezza delle simulazioni bidimensionali effettuate si richiama l'attenzione sulla porzione di territorio evidenziata con il numero 2 nella Figura 19a dove i vettori velocità rappresentano correttamente il flusso che si è verificato a monte della spalla destra del vecchio attraversamento ferroviario visibile nella Figura 21.



Figura 21 – Vista area vecchio attraversamento ferroviario con evidenze flusso evidenziate nella Figura 15 (novembre 2015 da GoogleEarth)

Infine nella Figura 19b è evidenziata con il numero 3 la presenza di una stretta morfologica che determina un incremento della quota piezometrica di circa 0.60 m in un tratto di poche decine di metri.

In definitiva i risultati dello Scenario 2015 da un lato confermano indirettamente le valutazioni di Bovolín (2021) per quanto riguarda il campo di portate massime che si sono verificate nel corso dell'evento dell'ottobre 2015 che è stato utilizzato per le modifiche del PSAI attualmente in corso di approvazione e dall'altro rappresentano una convincente validazione delle capacità del modello bidimensionale utilizzato di rappresentare i processi idrodinamici che si verificano all'interno di un flusso bidimensionale.

4.2 Scenario 2021 Attuale

Il modello digitale del terreno che definisce lo Scenario 2021 Attuale con curve di livello è riportato nella Figura 22.

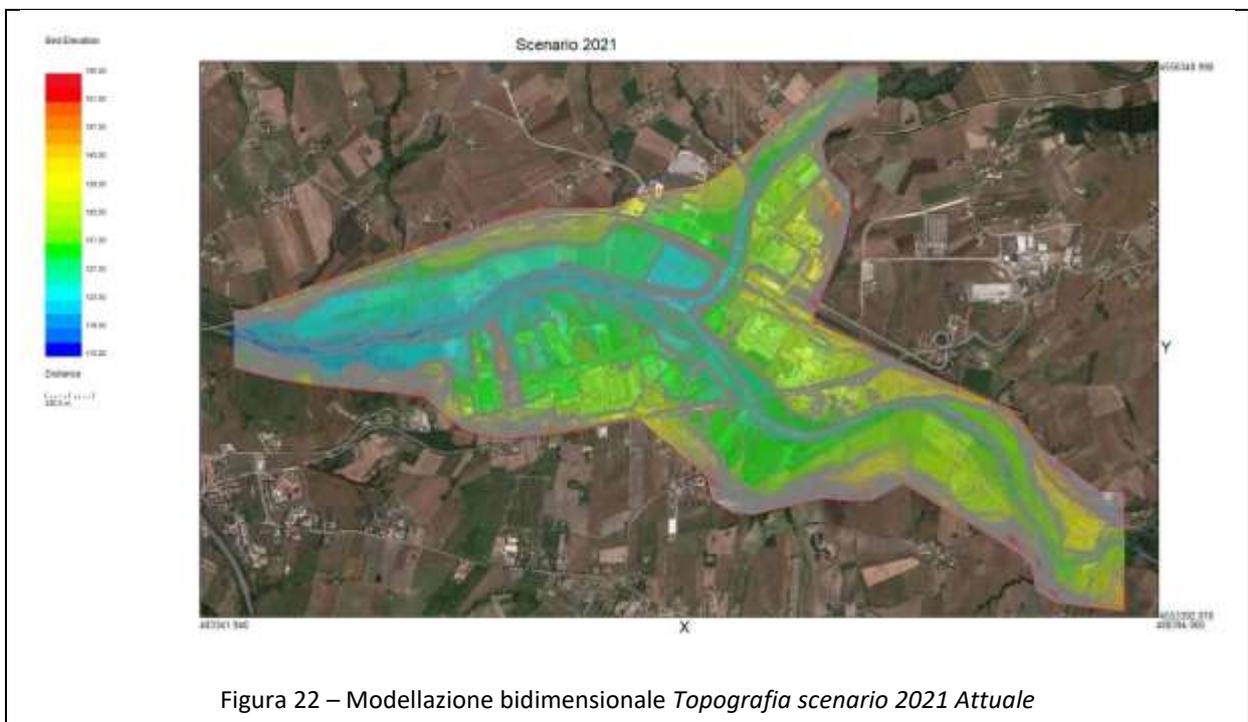


Figura 22 – Modellazione bidimensionale *Topografia scenario 2021 Attuale*

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

I risultati delle simulazioni bidimensionali effettuate con riferimento allo Scenario 2021_Attuale sono riportati nelle Figura 23 e Figura 24-

Nella Figura 23 sono riportate le quote piezometriche, le altezze idriche e le velocità della corrente relative al sub Scenario 2021_Attuale_3000:

Nella Figura 24 sono riportate le quote piezometriche, le altezze idriche e le velocità della corrente relative al sub Scenario 2021_Attuale_3500:

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

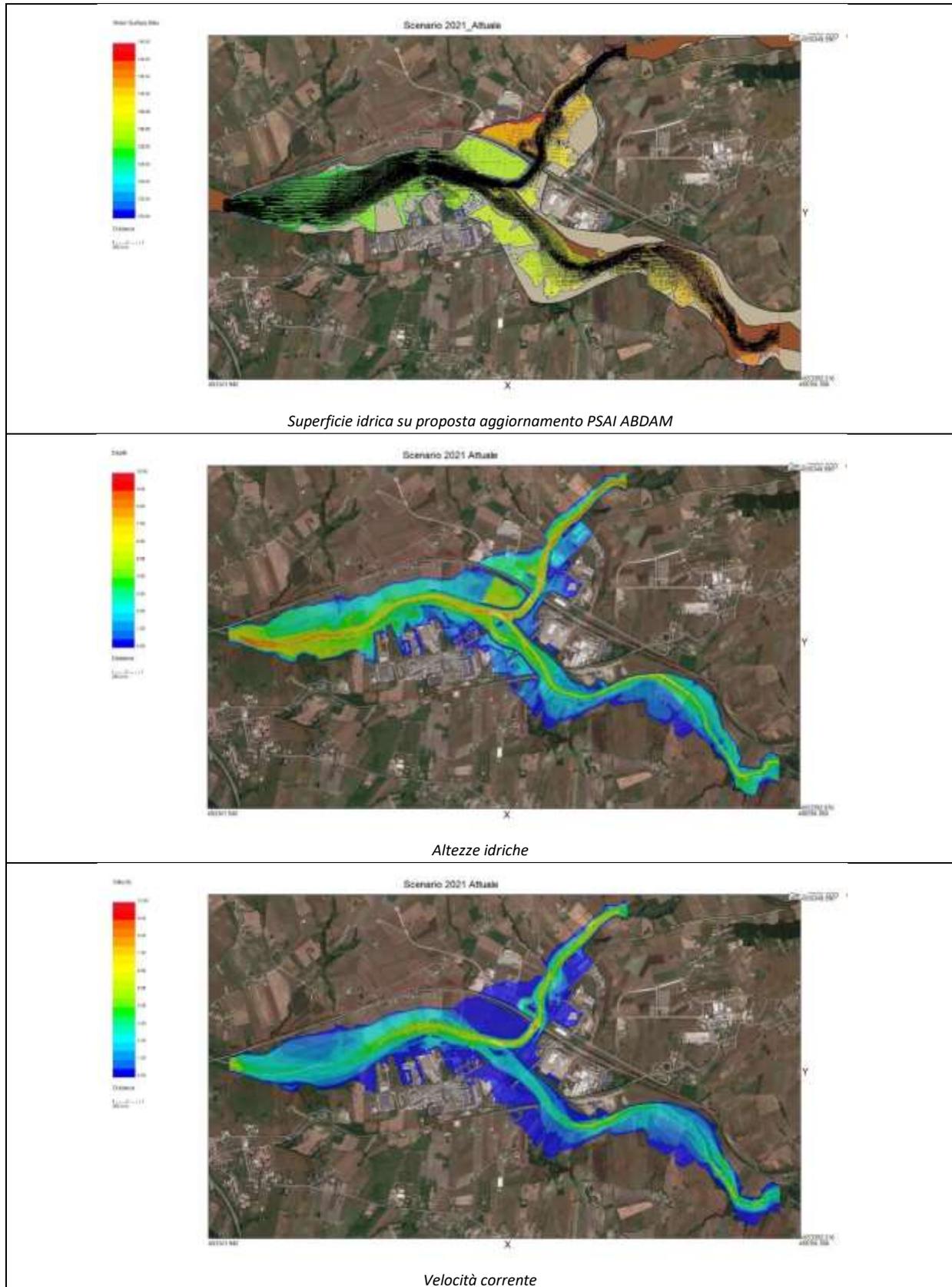


Figura 23 – Modellazione bidimensionale: risultati sub Scenario 2021 Attuale_3000

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

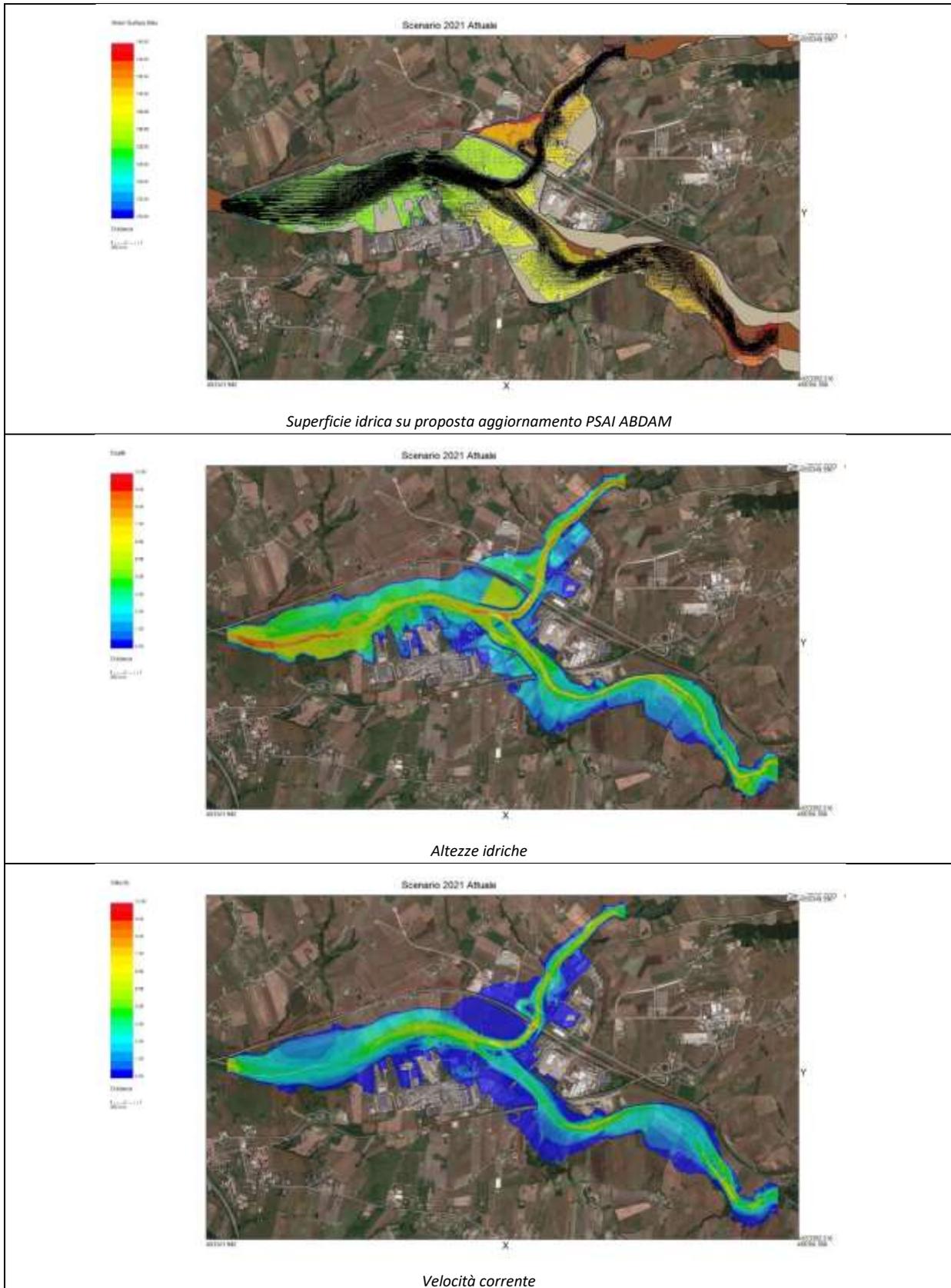


Figura 24 – Modellazione bidimensionale: risultati sub Scenario 2021 Attuale_3500

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

Per maggiore chiarezza di lettura nella Figura 25 è riportato il confronto tra lo Scenario_2015 e lo Scenario 2021_Atтуale.

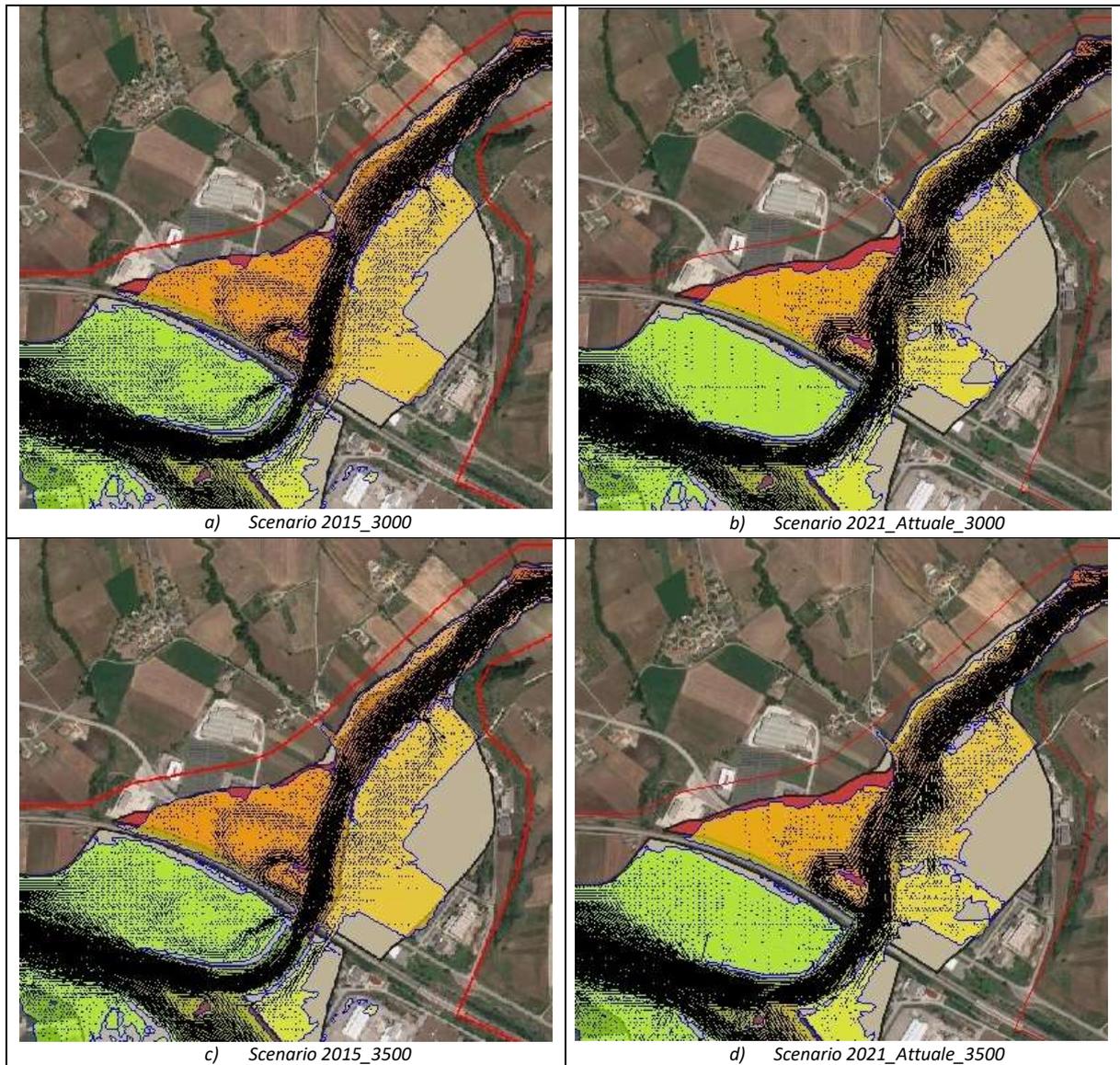


Figura 25 – Modellazione bidimensionale: confronto tra aree allagate lungo il corso del Tammaro tra Scenario 2015 e Scenario 2021_Atтуale su pericolosità ABDAM

Per quanto riguarda l'area latitante il torrente Tammaro, come riportato in precedenza i due scenari coincidono, l'eliminazione del vecchio attraversamento ferroviario comporta una riduzione del livello idrico valutabile in circa 0.50 m.

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

Per quanto riguarda l'area latitante il Calore le uniche differenze significative riguardano sostanzialmente la eliminazione del flusso concentrato evidenziato con il numero 2 nella Figura 19.

L'eliminazione del punto di immissione 2 della Figura 19 comporta che nell'area destinata ad ospitare il rilevato della centrale le velocità sono sostanzialmente prossime a zero, in effetti tale area è riempita da valle per effetto del rigurgito della corrente lenta.

Infine come riferimento per i confronti con lo Scenario Progetto nella Tabella 6 sono riportati i livelli idrici massimi valutati nell'area destinata ad ospitare il rilevato della per gli Scenari 2015 e 2021_Attuale.

<i>portata</i>	<i>Scenario 2015</i>	<i>Scenario Attuale</i>
3000	129.52	129.52
3500	129.93	129.93

Tabella 6 – Quote piezometriche massime in prossimità dell'area di imposta del rilevato della progettanda Centrale elettrica Scenario 2015 e Scenario 2021_Attuale

4.4 Scenario Progetto

Il modello digitale del terreno che definisce lo Scenario Progetto con curve di livello è riportato nella Figura 26.

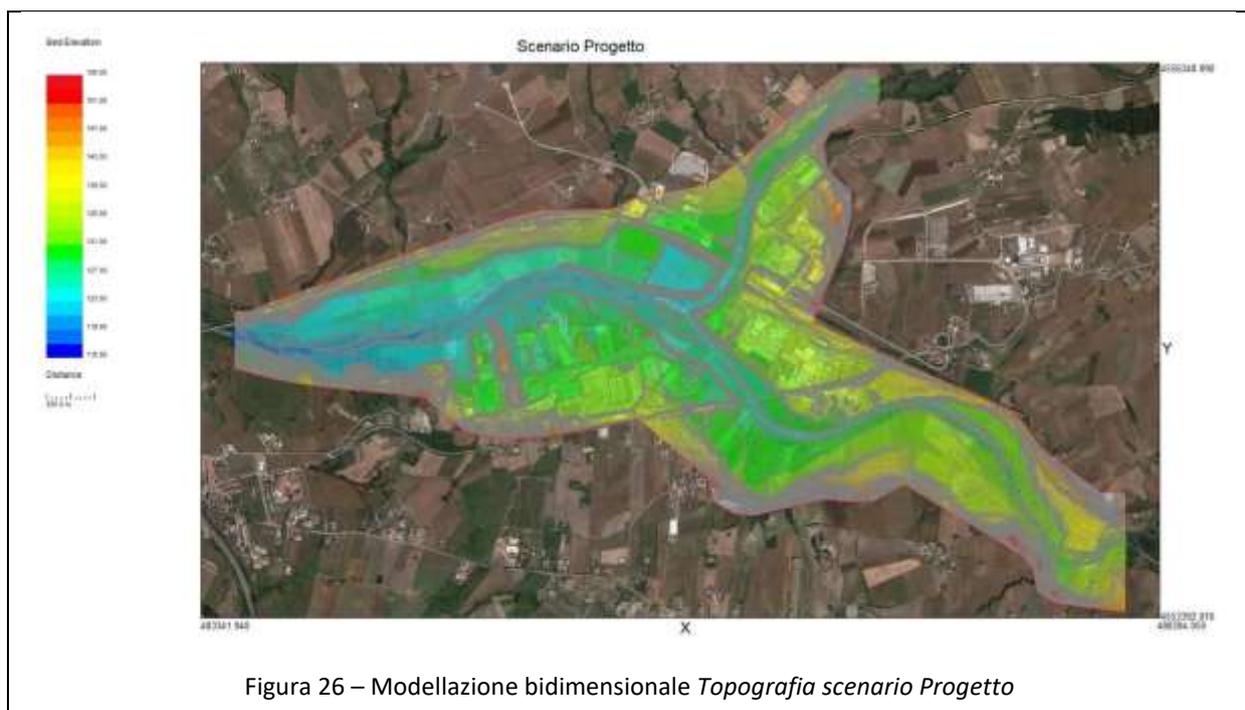


Figura 26 – Modellazione bidimensionale Topografia scenario Progetto

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

I risultati delle simulazioni bidimensionali effettuate con riferimento allo Scenario Progetto sono riportati nelle Figura 27 e Figura 28.

Nella Figura 27 sono riportate le quote piezometriche, le altezze idriche e le velocità della corrente relative al sub Scenario Progetto_3000.

Nella Figura 28 sono riportate le quote piezometriche, le altezze idriche e le velocità della corrente relative al sub Scenario Progetto_3500.

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

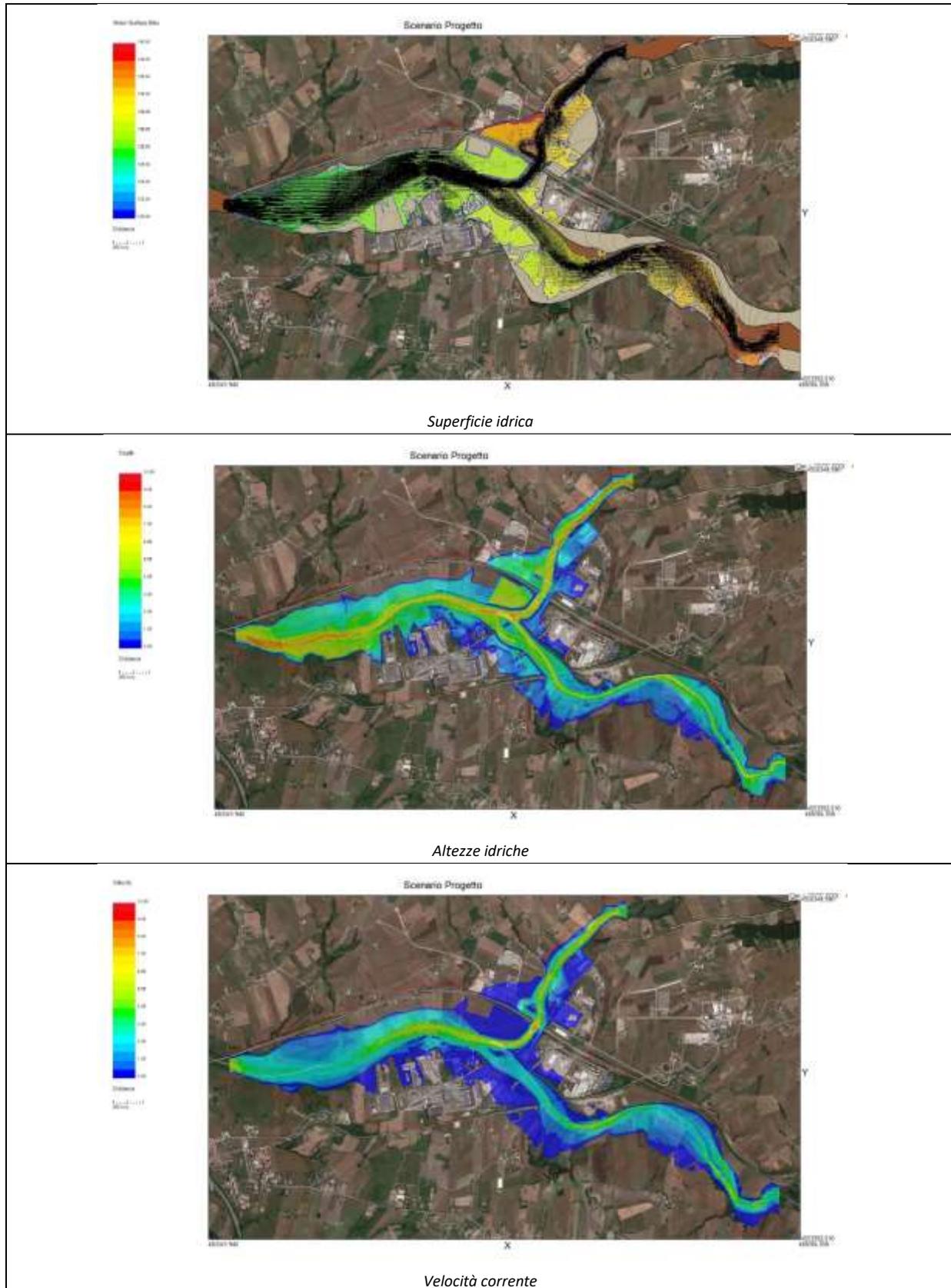


Figura 27 – Modellazione bidimensionale: risultati sub Scenario Progetto_3000

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

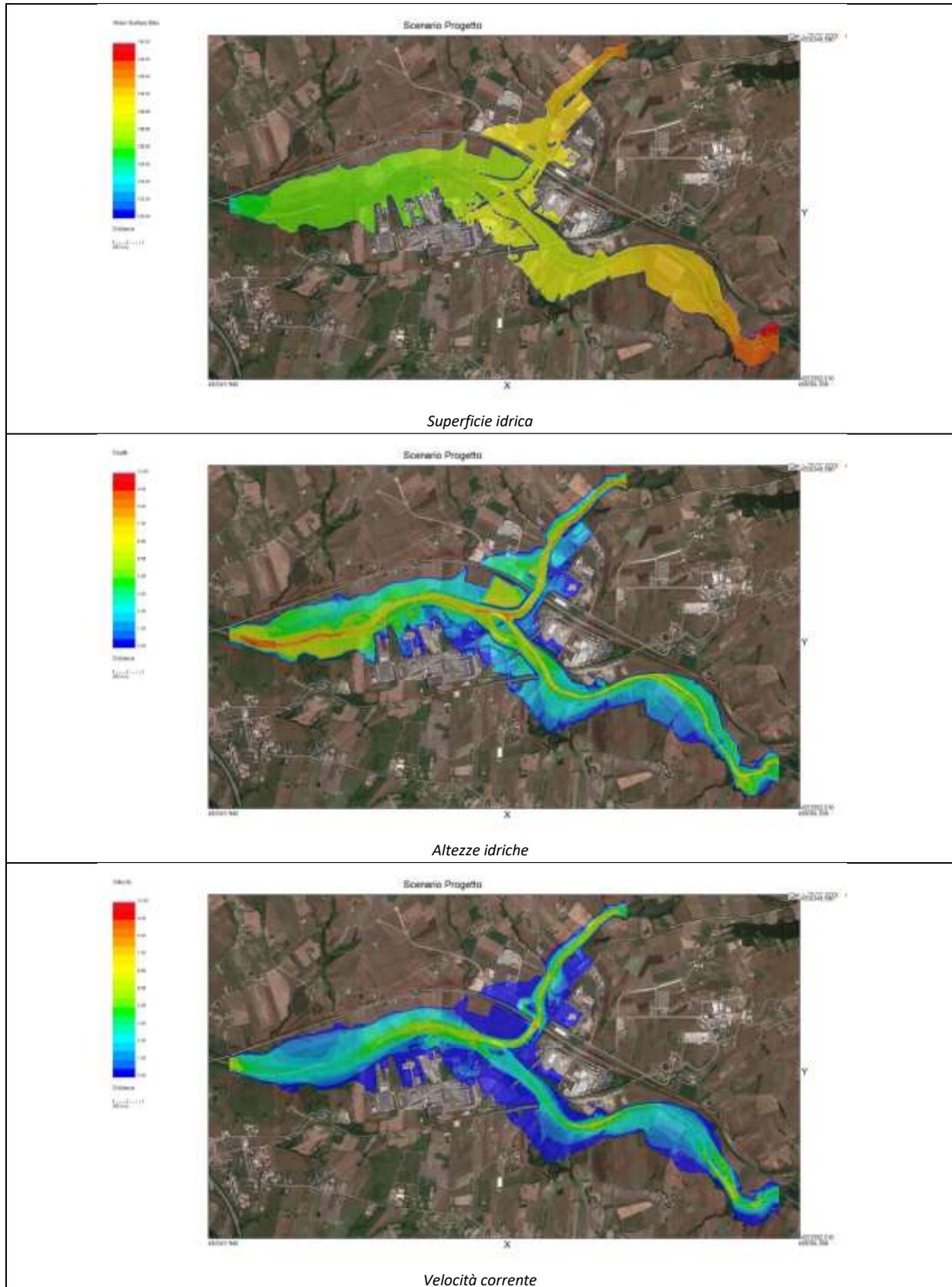


Figura 28 – Modellazione bidimensionale: risultati sub Scenario Progetto_3500

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

Il dettaglio delle intensità delle velocità con vettori per i sub scenari dello Scenario Progetto sono riportati nella Figura 29

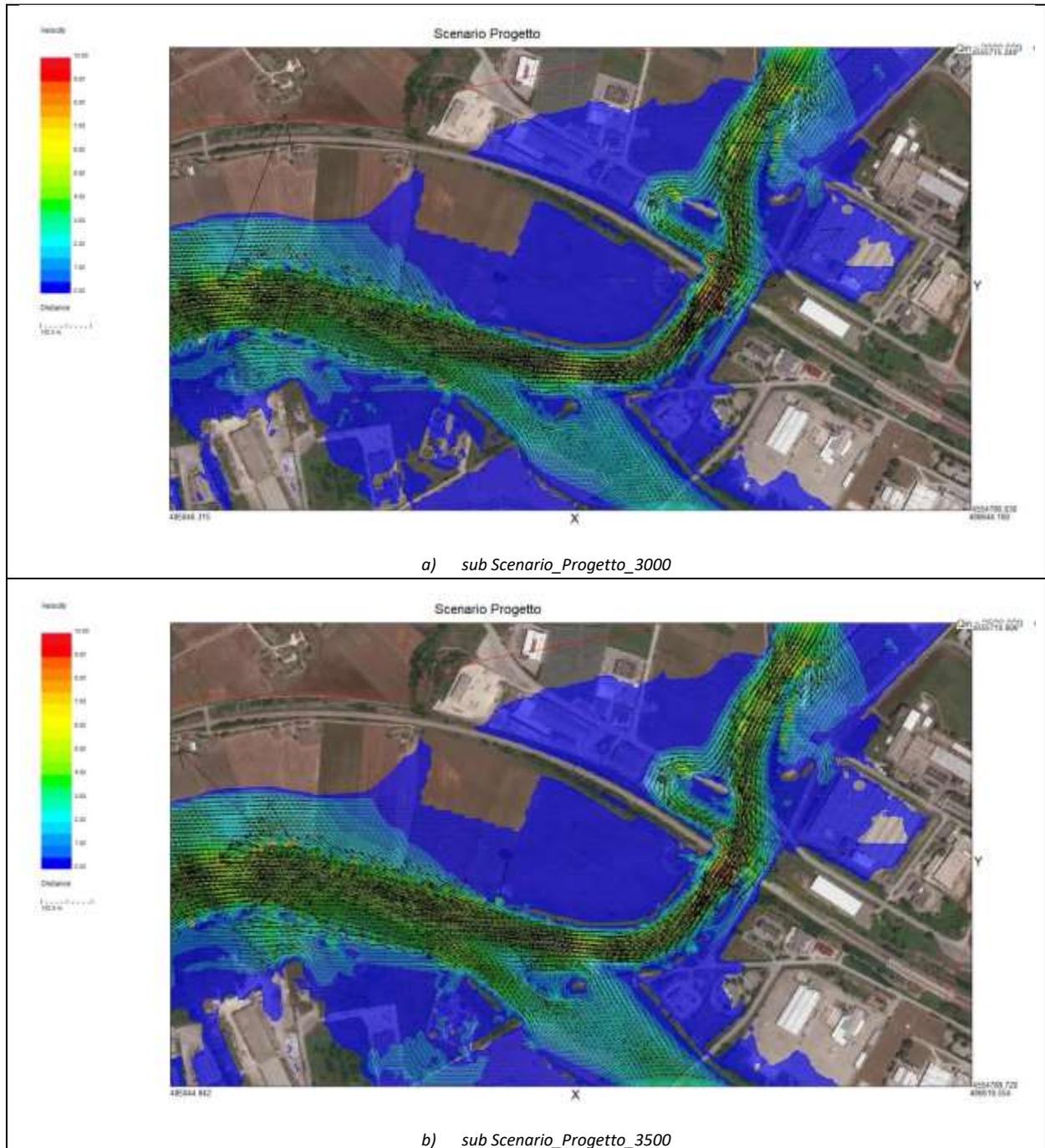


Figura 29 – Modellazione bidimensionale: Scenario Progetto Dettaglio velocità con vettori

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

<i>portata</i>	<i>Scenario 2015</i>	<i>Scenario Attuale</i>	<i>Scenario Progetto</i>
<i>3000</i>	129.52	129.52	129.52
<i>3500</i>	129.93	129.93	129.93

Tabella 7 – Quote piezometriche massime in prossimità dell'area di imposta del rilevato della progettanda Centrale elettrica (tutti gli Scenari)

5. Conclusioni

Lo *Scenario 2015* ha mostrato la capacità di riprodurre, con accettabile precisione, le aree allagate nel corso dell'evento alluvionale del 2015 che ha rappresentato la base fattuale utilizzata dalla ABDAM per le modifiche del PSAI relative alle fasce fluviali ed al relativo livello di pericolosità attualmente in corso di approvazione.

I risultati dello *Scenario 2015* hanno pertanto indirettamente confermato le valutazioni di Bovolin (2021) relative al campo di portate massime che si sono verificate nel corso dell'evento dell'ottobre 2015.

La correttezza dei risultati ottenibili dalla applicazione del modello idraulico bidimensionale implementato è stata confermata anche dalla capacità del modello di individuare due processi morfologici caratteristici che si sono verificati nel corso dell'evento dell'ottobre 2015 e che confermati dalle verifiche post evento.

Lo *Scenario 2021 Attuale* ha consentito di definire il quadro di riferimento di base rispetto al quale valutare le possibili variazioni indotte dalle opere, in particolare dal rilevato di base della Centrale, previste nel Progetto sottoposto nel 2004 alla approvazione dell'allora ABLVG.

I risultati dello Scenario 2021 Attuale hanno evidenziato una significativa riduzione del livello idrico e conseguentemente dell'area allagate adiacenti al torrente Tammaro.

Questa circostanza rappresenta una ulteriore conferma della capacità del modello di riprodurre correttamente gli effetti di modifiche al sistema fisico.

In effetti già Bovolin (2021), aveva indicato gli effetti benefici che sarebbero conseguiti dalla rimozione del restringimento rappresentato dal vecchio attraversamento ferroviario

Nel complesso i risultati degli Scenario 2015 e Scenario 2021 Attuale rappresentano una idonea validazione delle capacità del modello idraulico bidimensionale.

5.1 Aspetti relativi all'impatto delle opere in progetto su livello di pericolosità idraulica dell'area

Lo Scenario Progetto ha preliminarmente chiarito che l'allagamento nella zona nella quale è previsto la realizzazione del rilevato di appoggio della progettanda Centrale è dovuto al

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

rigurgito della corrente di valle e che conseguentemente, per effetto delle velocità estremamente ridotte, la superficie idrica nell'area risulta sostanzialmente livellata.

Come riportato nella Tabella 7 i risultati dello Scenario Progetto indicano che la realizzazione del rilevato previsto nel progetto della nuova Centrale non modifica i livelli idrici in confronto con gli altri Scenari esaminati.

Tale risultato è congruente con le caratteristiche di corrente lenta governata da condizioni idrometriche di valle che si instaura nel tratto di alveo del Calore oggetto del presente studio e della costanza delle caratteristiche planimetriche del tratto stesso nel periodo dal 2015 ad oggi.

Per quanto i possibili effetti che la realizzazione del rilevato possono comportare in termini di riduzione del volume accumulabile, e conseguentemente della capacità di laminazione dell'area, si può osservare quanto segue.

La piena del 2015 è stata caratterizzata da un volume idrico complessivo valutabile in almeno $10 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (Bovolin, 2021), mentre il volume del rilevato è di circa 55750 m^3 ne consegue che esso risulta assolutamente trascurabile rispetto al volume complessivo della piena.

5.2 Aspetti relativi alla sicurezza idraulica delle opere in progetto

Per quanto riguarda la sicurezza idraulica delle opere della Centrale si deve preliminarmente osservare che, anche per lo scenario più cautelativo, la quota del rilevato risulta superiore a quella raggiunta dalla superficie idrica.

In effetti il franco idraulico risulta di circa 0.50 m per il sub Scenario Progetto_3000 m^3/s valore che si riduce a pochi centimetri nel caso del sub Scenario Progetto_3500.

Considerata l'incertezza relativa alla esatta stima del tempo di ritorno effettivo delle massime portate di piena utilizzate nel presente studio e la possibilità che a seguito dei cambiamenti climatici si possa verificare un aumento degli eventi estremi appare opportuno consigliare la realizzazione di un argine perimetrale della altezza di 0.50 m.

La realizzazione dell'argine aumenterebbe il franco idraulico ad 1 m per il sub Scenario Progetto_3000 e porterebbe il franco a 0.50 m per il sub Scenario Progetto_3500.

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

Dal punto di vista dell'incremento della sicurezza idraulica la realizzazione dell'argine, considerata la non linearità della relazione che lega le portate ai livelli idrici, garantirebbe che la sicurezza idraulica per valori delle portate pari ad almeno 4000 m³/s.

Dal punto di vista progettuale si tratterebbe di un'opera destinata ad essere potenzialmente interessata dall'acqua solo in caso di eventi estremi e solo per la fase di picco massimo.

Considerate le caratteristiche temporali della piena del 2015 (Bovolin, 2015) l'argine sarebbe interessato dal livello idrico per una durata che può essere valutata prudenzialmente in circa 3 ore.

Per quanto riguarda la stabilità delle sponde del rilevato si deve porre l'attenzione su due aspetti: l'azione idrodinamica della corrente sulle sponde e la variazione delle pressioni neutre nella parte spondale del rilevato per effetto del ciclo di innalzamento ed abbassamento della superficie idrica.

Per quanto riguarda l'azione idrodinamica della corrente i risultati della modellazione idraulica hanno indicato che le sponde del rilevato non saranno soggette al flusso diretto della corrente, ma che l'aumento del livello idrico è governato dalle condizioni idrometriche di valle.

Ne consegue che, a causa delle ridotte velocità del fluido nell'area di riempimento, la loro azione idrodinamica sarà molto modesta e non pone particolari problemi di erosione delle sponde del rilevato.

Per quanto riguarda la variazione delle pressioni neutre nella parte spondale del rilevato è da evidenziare che il Calore Irpino alla confluenza con il Tammaro presenta alcune specificità che lo differenziano dalla maggioranza degli altri corsi d'acqua appenninici che sono caratterizzati da piene di breve durata.

In effetti, come discusso in Bovolin (2021), le piene che si determinano nel Tammaro e nel Calore Irpino sono sfasate tra di loro: nel caso più comune le precipitazioni pluviometriche interessano prima il bacino del Tammaro e solo successivamente il bacino del Calore.

In effetti quindi nella zona di confluenza i processi di piena vedono arrivare prima i contributi provenienti dal Tammaro che sono seguiti successivamente da quelli del Calore.

Se da un lato tale circostanza riduce il valore massimo delle portate tende a rendere relativamente più lunghi le durate delle piene stesse.

Consulenza scientifica per la rivalutazione idrologica del tempo di ritorno dell'evento di riferimento, caratterizzazione idrodinamica delle Fasce fluviali ed individuazione degli eventuali interventi di mitigazione necessari per garantire la compatibilità idraulica dell'intervento relativo alla realizzazione di una centrale elettrica nell'area industriale di Ponte Valentino (BN)

Con riferimento all'evento del 2015 si può valutare una durata complessiva di circa 6 ore che ai fini di verifica della stabilità delle sponde del rilevato si può suddividere in tre porzioni di durata uguale.

Per quanto riguarda le opere accessorie alla Centrale, ed in particolare la linea di alimentazione del gas, va osservato che già in precedenza esse erano interne alle fasce fluviali riportate nel PSDA del 1999.

I risultati del presente studio, per effetto dell'aumento delle portate defluenti nel sistema rispetto a quelle stimate nel PSDA 1999, comportano un incremento delle sollecitazioni idrodinamiche sulla superficie occupata dalla linea di alimentazione del gas.

A tal riguardo i risultati dello Scenario Progetto 3500 indicano che nelle zone di massima sollecitazione (ad esempio in corrispondenza del tratto del torrente Tammaro dove insistono l'attraversamento ferroviario e il viadotto di accesso all'area industriale) valori massimi della altezza idrica prossimi a 4 m e delle velocità prossimi a 7 m/s.

In definitiva le opere previste per la costruzione della progettanda Centrale elettrica, con gli ulteriori interventi di mitigazione proposti, appaiono idraulicamente compatibili.

6. BIBLIOGRAFIA

Bovolin V. (2021) *Aspetti idraulici delle alluvioni verificatesi nel Calore Irpino a valle della Confluenza con il Tammaro* AreaBlu Edizioni

Pelosi A., Chirico G.B., Furcolo P., Villani P. (2022) *Verso un aggiornamento delle analisi di frequenza regionali delle piogge estreme in Italia. Limiti della procedura VAPI, nuove evidenze e prospettive*, L'Acqua, 1, 1-9

Pelosi A., Furcolo P., Rossi F., P Villani P., (2020) *The characterization of extraordinary extreme events (EEEs) for the assessment of design rainfall depths with high return periods*, Hydrological Processes 34 (11), 2543-2559.