



Felice Daniele Pacia^(a), Teresa Pizzolla^(b), Domenico Berterame^(c), Giuseppe Galante^(d), Salvatore Manfreda^(a)

PIANIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO SUL FIUME BRADANO

PLANNING FLOOD MITIGATION INTERVENTIONS ON THE BRADANO RIVER

I recenti fenomeni di piena generati dal fiume Bradano hanno provocato ingenti danni nelle aree della piana del Metapontino evidenziando la necessità di programmare interventi e azioni orientate alla mitigazione delle piene. Al fine di ricercare l'insieme di interventi idraulici utili a contenere il rischio associato alle esondazioni, sono ipotizzate e testate diverse combinazioni di interventi che opportunamente combinati siano in grado di contenere l'impatto dei fenomeni di piena. In particolare, sono stati simulati 17 scenari d'intervento tra i quali ricercare quello ottimale grazie alla definizione di un indice caratteristico definito Vantaggio Economico per Unità di Costo (VEUC).

Parole chiave: Mitigazione delle Piene, Pianificazione di opere di ritenzione, Scenari d'intervento, Fiume Bradano.

The recent flood phenomena generated by the Bradano river have caused extensive damage in the areas of the Metapontino plain, highlighting the need to plan interventions and actions aimed at flood mitigation. In order to research the set of hydraulic interventions useful for containing the risk associated with flooding, different combinations of interventions are explored and tested in order to find the right combination of actions useful for containing the impact of flood phenomena. In particular, 17 intervention scenarios were studied in depth by searching for the optimal scenario thanks to the definition of a characteristic index defined as Economic Advantage per Unit of Cost (VEUC).

Keywords: Flood Mitigation Actions, Cost Optimization, Intervention Scenarios, Bradano River.

1. INTRODUZIONE

Le esondazioni rappresentano circa il 50% di tutti i disastri naturali secondo il recente rapporto del Centro di Ricerche su Epidemiologie e Disastri (CRED, 2023). Le inondazioni sono spesso il frutto della infausta combinazione tra eventi idrologici e una inefficace o inadeguata protezione idraulica del territorio (Naso, 2016). Nel corso degli anni si è osservata una continua crescita e un inasprimento delle conseguenze legate alle inondazioni, che non possono essere ascritte esclusivamente ai cambiamenti climatici, ma anche al cambiamento delle destinazioni d'uso del suolo.

In Basilicata, come in molte altre aree del mondo, si sono registrati numerosi fenomeni di piena che hanno prodotto ingenti danni specialmente in alcune aree come, per esempio, la piana del Metapontino. A seguito di tali eventi, l'attenzione delle politiche territoriali si è indirizzata in maniera più fattiva verso la pianificazione di interventi per la mitigazione di fenomeni di piena nelle aree a ridosso dei corsi d'acqua del versante ionico della Basilicata. In quest'ottica nasce la convenzione tra il Commissario Straordinario delegato per la realizzazione degli interventi di mitigazione del rischio idrogeologico per la Regione Basilicata e il Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Ambientale (DICEA) dell'Univer-

^(a)Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Università degli Studi di Napoli Federico II, via Claudio, 21 - 80125 Napoli, Italia. Autore corrispondente felicedaniele.pacia@live.it; ^(b)Dipartimento delle Culture Europee e del Mediterraneo, Università degli Studi della Basilicata, via Lanera, 20 - 75100 Matera, Italia; ^(c)Ufficio infrastrutture e reti, Direzione Generale Infrastrutture e Mobilità, Regione Basilicata, Corso Garibaldi, 139, 85100 Potenza, Italia. ^(d)Soggetto Attuatore Delegato per la realizzazione degli interventi di mitigazione del rischio idrogeologico nella Regione Basilicata, Regione Basilicata, via Annibale Maria di Francia, 40 - 75100 Matera, Italia.

sità degli studi di Napoli Federico II, avente come oggetto il supporto tecnico-scientifico la messa in sicurezza del Fiume Bradano.

Il presente studio ha lo scopo di indirizzare azioni e opere per la mitigazione del rischio idraulico generato dalle esondazioni del Fiume Bradano attraverso una analisi costi-benefici associati ad ampio spettro di interventi possibili. A tale scopo, sono stati analizzati diversi scenari d'intervento combinando soluzioni semplici e soluzioni composte. Gli scenari proposti sono stati confrontati valutando i benefici indotti in termini di riduzione delle aree esondate e di danni economici evitati in relazione di ciascuno scenario. Al fine di fornire un chiaro indirizzo per massimizzare il beneficio associato agli interventi proposti viene suggerito un indice definito come "Vantaggio Economico per Unità di Costo" (VEUC), in grado di quantificare il ritorno economico in termini di danni evitati per ogni euro investito per la realizzazione di ciascuno scenario d'intervento.

2. AREA DI STUDIO

Il Bradano è uno dei principali fiumi della Basilicata con un bacino idrografico di circa 2957 km² (Fig. 1). L'area ha una vocazione prevalentemente agricola, specie nelle zone nei pressi della costa dove sono presenti numerosi insediamenti turistici (Manfreda, 2021).

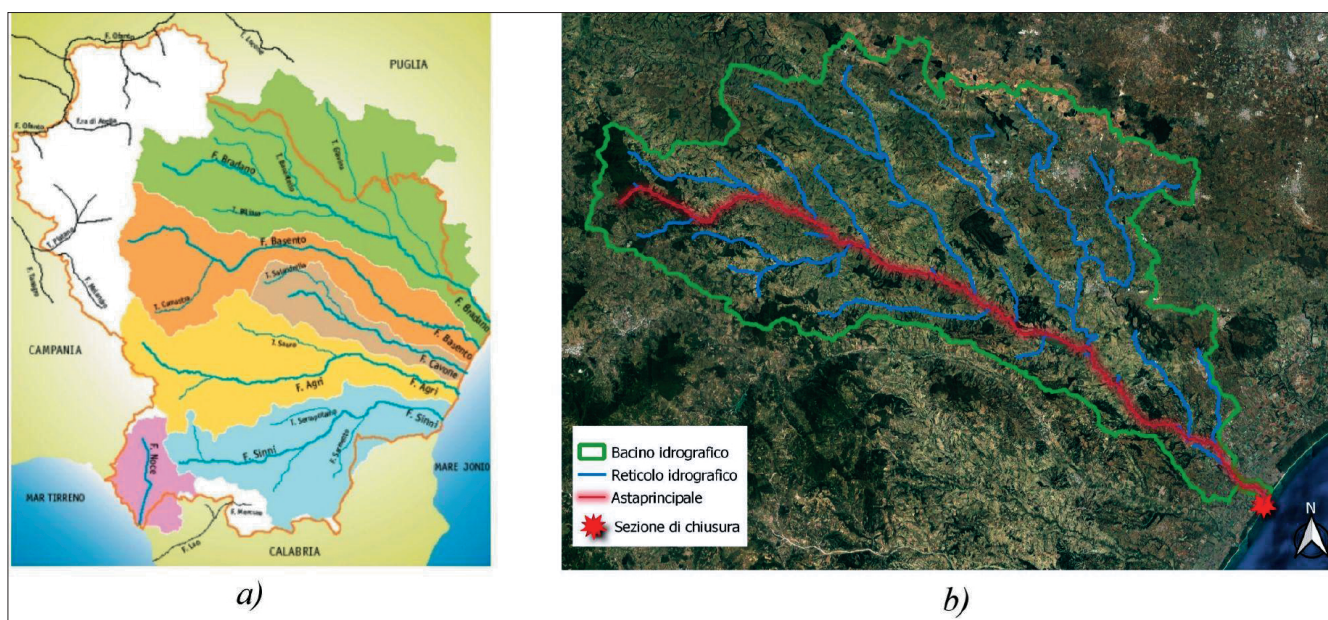


Figura 1 - a) Bacini idrografici ricadenti nel territorio della regione: Bradano, Basento, Cavone, Agri, Sinni e il Noce; b) Bacino e reticolo idrografico del fiume Bradano.

2.1. Analisi delle criticità esistenti

Lo studio degli eventi di esondazione verificatisi nel recente passato nonché gli studi redatti dall'Autorità di Bacino della Basilicata oggi Autorità di Distretto dell'Appennino Meridionale, sono particolarmente utili a identificare le principali criticità insistenti sull'area. In tale ambito, si riportano alcune evidenze ottenute dall'analisi dei fenomeni di esondazione del marzo 2011 e ottobre e dicembre 2013.

Nel marzo 2011, l'esondazione è stata indotta da rotture arginali avvenute a monte dell'attraversamento della SS 106 jonica (E90) ed in aggiunta alcuni canali della rete di bonifica sono stati rigurgitati producendo una esondazione delle aree agricole circostanti. Nel dicembre 2013 le aree maggiormente colpite sono state quelle nei pressi della foce del fiume in cui la capacità idraulica del fiume si è rivelata insufficiente rispetto alla piena registrata.

Gli studi idraulici redatti dall'Autorità di Bacino della Basilicata sul tratto terminale del Fiume Bradano confermano che l'alveo risulta insufficiente a valle della SS 106 già per l'evento di piena con tempo di ritorno di 30 anni sia in destra che in sinistra idraulica (Autorità di Bacino della Basilicata, 2012).

L'area, dunque, presenta una serie di criticità che concorrono ad aumentare il pericolo di esondazione specie nel tratto terminale del corso d'acqua. Le motivazioni sono legate a: 1) limitate pendenze dell'area; 2) la presenza di una fitta rete di canali di bonifica che diventano vie di espansione per le acque du-

rante le piene; 3) la presenza di alcuni attraversamenti e sottopassi che favoriscono fenomeni di rigurgito e/o di diffusione del flusso idrico.

2.2. Analisi idrologica

Le portate al colmo di piena utilizzate nelle modellazioni idrauliche svolte per il presente studio, sono dedotte ricorrendo alla metodologia proposta nello studio Valutazione delle Piene in Basilicata (Claps & Fiorentino, 2001) e tenendo conto delle registrazioni recenti di portata al colmo di piena secondo quanto riportato nel rapporto redatto dall’Autorità di Bacino della Basilicata (Autorità di Bacino della Basilicata, 2012). I valori di portata vengono riportati nella seguente *Tabella I*.

TABELLA I - Portate al colmo di piena calcolate per la sezione alla foce del Fiume Bradano

T anni	5	10	30	50	100	200	300	500
Portata [m ³ /s]	1101	1497	2241	2623	3156	3696	4012	4412

Inoltre, tenendo conto dell’effetto operato dalla diga di San Giuliano che presenta un volume di 20 Mm³ destinato alla laminazione statica delle piene, si ottiene una riduzione dei valori di portata al colmo di piena come descritto in *Tabella II*. L’effetto di laminazione è stato dedotto dallo studio redatto dall’Autorità di Bacino della Basilicata (Autorità di Bacino della Basilicata, 2012).

TABELLA II - Portate al colmo di piena assumendo un volume di 20 Mm³ per la laminazione statica nella diga di San Giuliano

Q _{30Anni} [m ³ /s]	Q _{200Anni} [m ³ /s]	Q _{500Anni} [m ³ /s]
1770	3375	4070

A partire dai valori di portata al colmo di piena di progetto sono stati costruiti i relativi idrogrammi sintetici utilizzando la formulazione proposta da Fiorentino (1985) che propone un idrogramma simmetrico con rami con andamento esponenziale.

3. SCENARI DI INTERVENTO

Come evidenziato nella sezione 2, le principali criticità del Fiume Bradano insistono sul tratto terminale del corso d’acqua. Per tale ragione tutti gli interventi proposti e le analisi effettuate hanno interessato l’asta principale del fiume nel tratto a valle della diga di San Giuliano fino alla foce. Le tipologie di opere ipotizzate per mitigare i fenomeni di piena sono rispettivamente casse di espansione laterali e ringrossi arginali distribuite lungo l’asta principale del fiume in aree opportunamente identificate attraverso un’analisi preliminare delle caratteristiche del territorio. Le diverse opzioni sono state considerate come interventi singoli (scenario semplice), o combinati (scenario combinato).

Le diverse soluzioni analizzate sono sinteticamente descritte nella *Tabella III*, dove sono anche riportate delle valutazioni sui costi associati a ciascuna combinazione. Gli scenari semplici proposti sono cinque, quattro dei quali (*Fig. 2 a,b,c,d*) riguardano la realizzazione di una cassa di espansione e uno riferito al

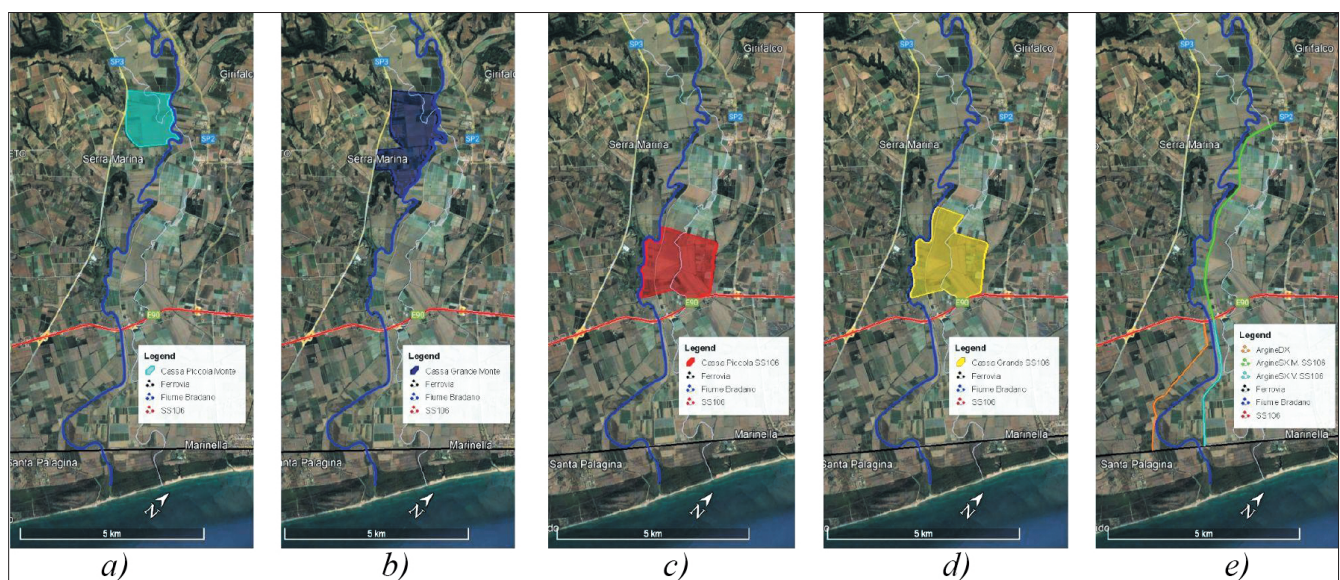


Figura 2 - Ubicazione ed estensione degli interventi previsti negli scenari semplici proposti: a) cassa di espansione n.1, b) cassa n.2, c) cassa n.3, d) cassa n.4, e) ringrosso delle arginature.



ringrosso arginale associato all'inserimento di organi di controllo delle immissioni dei canali di bonifica (e.g., chiaviche). Tali scenari differiscono per il posizionamento e per l'estensione della superficie della cassa; il quinto scenario semplice (*Fig. 2 e*) prevede, invece, il ringrosso delle arginature con innalzamento fino ad un massimo 1.5 m in sinistra idraulica nel tratto a monte dell'attraversamento della SS 106 e in sinistra e destra idraulica nel tratto compreso tra la SS 106 e la rete ferroviaria. La *Figura 2* mostra graficamente l'estensione e l'ubicazione dei singoli interventi previsti negli scenari semplici e utilizzati successivamente negli scenari composti.

Per la realizzazione degli scenari composti sono stati combinati più scenari semplici (due o tre) per generarne uno nuovo che potesse garantire un buon grado di adattabilità e affidabilità.

Definiti gli scenari sono state effettuate alcune stime preliminari di costo per la realizzazione degli stessi che hanno riguardato unicamente i costi di esproprio delle aree e di realizzazione delle arginature per le casse di espansione, mentre per la realizzazione del ringrosso arginale sono stati computati anche i costi per la realizzazione di uno strato anti-erosivo e l'idrosemina di ricoprimento, oltre a quelli propriamente costruttivi (si veda *Tab. III*).

TABELLA III - Descrizione degli scenari considerati e dei costi associati alla loro realizzazione

ID Scenario	Tipologia	Descrizione dell'intervento	Costo [€]
0	Attuale	Nessun intervento	-
1.1	Semplice	1 cassa piccola a monte	8,485,401.90
1.2	Semplice	1 cassa grande a monte	13,975,612.70
1.3	Semplice	1 cassa grande SS106	13,971,066.00
1.4	Semplice	1 cassa piccola SS106	12,476,669.10
1.5	Semplice	Ringrosso arginale di h=1.5 m	9,891,668.33
1.6	Composto	1 cassa piccola a monte + 1 cassa piccola SS106	20,962,071.00
1.7	Composto	1 cassa piccola a monte + 1 cassa grande SS106	22,456,467.90
1.8	Composto	1 cassa grande a monte + 1 cassa grande SS106	27,946,678.70
2	Composto	1 cassa grande a monte + 1 cassa piccola SS106	26,452,281.80
2.1	Composto	Ringrosso arginale di h=1.5 m + 1 cassa piccola a monte	18,377,070.23
2.2	Composto	Ringrosso arginale di h=1.5 m + 1 cassa piccola a monte + 1 cassa piccola SS106	30,853,739.33
2.3	Composto	Ringrosso arginale di h=1.5 m + 1 cassa grande SS106	23,862,734.33
2.4	Composto	Ringrosso arginale di h=1.5 m + 1 cassa piccola a monte + 1 cassa grande SS106	32,348,136.23
2.5	Composto	Ringrosso arginale di h=1.5 m + 1 cassa piccola SS106	22,368,337.43
2.6	Composto	Ringrosso arginale di h=1.5 m + 1 cassa grande a monte	23,867,281.03
2.7	Composto	Ringrosso arginale di h=1.5 m + 1 cassa grande a monte + 1 cassa grande SS106	37,838,347.03
2.8	Composto	Ringrosso arginale di h=1.5 m + 1 cassa grande a monte + 1 cassa piccola SS106	36,343,950.13

3.1. La modellazione degli scenari

Le analisi idrauliche sono state condotte con l'impiego del software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System). Le analisi sono state condotte sviluppando un modello rappresentativo dello stato di fatto (nel seguito definito scenario "0") a cui sono state apportate successive modifiche per descrivere l'effetto degli interventi proposti.

Le analisi sono state svolte sfruttando una modellazione bidimensionale in condizioni di moto non stazionario.

Il modello che descrive lo stato di fatto ha considerato come dato di input il modello digitale del terreno (DEM) all'interno del quale è stata perimetrata l'area di studio con una griglia di calcolo di dimensione 50 x 50 m. Quest'ultima è stata infittita (20 x 20 m) in prossimità dell'alveo, delle arginature e delle infrastrutture di attraversamento. Per la definizione del coefficiente di scabrezza, sono state considerate due regioni, le aree all'interno dell'alveo (savanella) e quelle esterne all'alveo (aree golenali). Alle prime è stato associato un coefficiente di Manning pari a $0.033 \text{ s} / \text{m}^{1/3}$, alle seconde un valore del coefficiente pari al $0.045 \text{ s} / \text{m}^{1/3}$. A monte e a valle dell'area di calcolo sono state definite le condizioni al contorno impiegando rispettivamente l'idrogramma di piena e la pendenza.

Il modello che descrive gli scenari di intervento è stato realizzato in maniera analoga con la differenza che le casse di espansione sono state modellate inserendo le "Storage Area", mentre i ringrossi arginali sono stati inseriti apportando modifiche direttamente al modello digitale del terreno utilizzando il tool "Terrain Modification" presente all'interno del software.

4. ANALISI DELLE SIMULAZIONI E LA STIMA DEI DANNI

Le simulazioni numeriche effettuate grazie ai modelli idraulici costruiti hanno prodotto in output tre tipologie di mappe che descrivono, nel tempo, i tre parametri caratteristici del fenomeno idraulico: la mappa dei tiranti (*Depth*), la mappa della quota del pelo libero (*WSE - Water Surface Elevation*), la mappa delle velocità (*Velocity*).

Da queste mappe è stata estratta la massima estensione del perimetro bagnato per la definizione delle carte di pericolosità connessa ai fenomeni di piena associata ai tre periodi di ritorno considerati. Il numero totale di simulazioni svolte è stato pari a 54 per fornire una descrizione del comportamento degli interventi ai vari periodi di ritorno.

4.1. Scenario "0"

Per lo scenario "0" le simulazioni effettuate con i tre idrogrammi di progetto hanno mostrato che il tratto a valle della diga di San Giuliano per una lunghezza di circa 25 km risulta ben confinato anche per valori di portata con periodo di ritorno di $T=500$ anni; più a valle, invece, si verificano fenomeni esondativi. Per il tratto a monte della SS106, le aree inondate sono quelle immediatamente adiacenti al corso d'acqua e quella alle spalle delle arginature mentre la superficie delle aree inondate è nettamente più estesa sia in destra che in sinistra idraulica per il tratto a valle della SS106.

Un'analisi dettagliata delle simulazioni ha evidenziato che le arginature esistenti risultano sormontate per tutti e tre i periodi di ritorno e in maniera più marcata per i periodi di ritorno $T=200$ e $T=500$ anni. Inoltre, si evidenzia che le aree alle spalle delle arginature risultano allagate ancor prima che la piena sormonti quest'ultimi, poiché i canali di bonifica e gli affluenti vengono rigurgitati. In ultimo, si evidenzia la presenza di un sottopasso della rete ferroviaria che favorisce la propagazione verso valle delle piene di maggior rilievo.

4.2. Scenari di intervento

Analizzando le simulazioni degli scenari di intervento, si evidenzia che per tutte le portate simulate le superfici inondate subiscono una riduzione se confrontate con lo scenario "0". Per gli scenari che prevedono la realizzazione delle sole casse di espansione si evince che queste accolgono parte dei volumi di piena ritardando e limitando le esondazioni per tutti i periodi di ritorno considerati, ma le arginature esistenti risultano comunque non adeguate a contenere le piene maggiori; inoltre permane il problema dei canali di bonifica che deviano la piena alle spalle delle arginature.

Le riduzioni maggiori di area inondata si osservano per gli scenari che prevedono il solo ringrosso arginale, tale intervento per il periodo di ritorno di 30 anni permette di contenere quasi totalmente la piena all'interno delle arginature, ma per i periodi di ritorno di $T=200$ e $T=500$ anni il ringrosso previsto non risulta adeguato. Per quanto riguarda gli scenari con casse di espansione e ringrosso arginale i benefici si sommano per tutti i periodi di ritorno considerati.

Nella *Tabella IV* sono riportati in maniera sintetica i risultati ottenuti indicando altresì le superfici inondate in ambito urbano, ottenute a partire dalla mappa di uso del suolo della Basilicata (CLC, 2018) e gli effetti prodotti da tali interventi.



TABELLA IV - Sintesi dei risultati ottenuti in termini numerici e percentuali della riduzione dell'areale esondato totale e in ambito urbano per i periodi di ritorno T=30, T=200 e T=500anni

ID Scenario	T=30 Anni				T=200 Anni				T=500 Anni			
	Area esondata [km ²]	% di riduzione	Arete Urbane [km ²]	% di riduzione	Area esondata [km ²]	% di riduzione	Arete Urbane [km ²]	% di riduzione	Area esondata [km ²]	% di riduzione	Arete Urbane [km ²]	% di riduzione
0	45.99	0.00	1.65	0.00	68.83	0.00	3.82	0.00	72.34	0.00	4.36	0.00
1.1	46.27	-0.01	1.60	0.03	69.05	0.00	3.81	0.00	72.74	-0.01	4.21	0.03
1.2	45.43	0.01	1.17	0.29	64.10	0.07	2.42	0.37	72.44	0.00	3.27	0.25
1.3	44.55	0.03	1.13	0.31	64.53	0.06	2.49	0.35	71.18	0.02	3.09	0.29
1.4	44.61	0.03	1.09	0.34	64.44	0.06	2.45	0.36	71.58	0.01	3.14	0.28
1.5	45.07	0.02	1.20	0.27	63.94	0.07	2.43	0.36	72.13	0.00	3.30	0.24
1.6	41.82	0.09	1.19	0.28	69.52	-0.01	3.81	0.00	73.18	-0.01	4.38	-0.01
1.7	40.86	0.11	0.92	0.44	64.63	0.06	2.40	0.37	72.58	0.00	3.24	0.26
1.8	41.18	0.10	0.94	0.43	65.03	0.06	2.45	0.36	72.84	-0.01	3.28	0.25
2	29.40	0.36	0.73	0.56	44.23	0.36	1.07	0.72	56.10	0.22	1.87	0.57
2.1	29.97	0.35	0.72	0.56	44.34	0.36	1.06	0.72	56.14	0.22	1.86	0.57
2.2	32.20	0.30	0.73	0.56	46.13	0.33	1.05	0.73	56.36	0.22	1.60	0.63
2.3	31.80	0.31	0.72	0.56	46.05	0.33	1.03	0.73	56.26	0.22	1.57	0.64
2.4	32.23	0.30	0.71	0.57	46.24	0.33	1.03	0.73	56.25	0.22	1.56	0.64
2.5	31.64	0.31	0.73	0.55	45.77	0.34	1.06	0.72	56.21	0.22	1.62	0.63
2.6	28.44	0.38	0.66	0.60	48.58	0.29	1.24	0.68	58.60	0.19	2.04	0.53
2.7	30.67	0.33	0.64	0.61	47.92	0.30	1.03	0.73	56.41	0.22	1.33	0.70
2.8	30.52	0.34	0.65	0.60	47.96	0.30	1.03	0.73	56.81	0.21	1.38	0.68

4.3. Stima dei danni

Per la stima dei danni sono stati considerati esclusivamente quelli arrecati agli edifici tralasciando i terreni agricoli, le colture e le infrastrutture, seguendo una versione semplificata della procedura proposta da Naso (2016), in cui il danno all'edificio viene valutato in relazione alla qualità del materiale impiegato, al tirante idrico e alla durata dell'evento di piena.

Nel nostro caso sono state definite 4 classi di tirante idrico a ciascuna delle quali veniva associato un range di valori: $0 < C_1 \leq 0.5m$; $0.5 < C_2 \leq 1m$; $1 < C_3 \leq 2m$; $2 < C_4 \leq 3m$. Sono state successivamente incrociate le informazioni relative alle aree urbanizzate (estensione) con gli areali appartenenti alle classi *i-esime* di tirante. L'output prodotto rappresenta la superficie edificata (A_j) di cui stimare il danno da esondazione (C_i), usando la (1)

$$C_i = \sum_{j=1}^4 (c_j \cdot A_j) \quad (1)$$

dove: C_i è il costo totale dello scenario *i-esimo*; A_j è l'area urbanizzata ricadente nella classe di tirante *j-esima*; c_j è il costo per unità di superficie della classe di tirante *j-esima* (Naso, 2016). La Tabella V riporta una sintesi delle stime economiche dei danni ottenute.

TABELLA V - Stima economica dei danni alle aree urbane per tutti gli scenari di evento al variare del periodo di ritorno

ID Scenario	Stima economica dei danni T=30 anni	Stima economica dei danni T=200 anni	Stima economica dei danni T=500 anni
0	379,117,413.39 €	976,030,959.06 €	1,140,315,008.92 €
1.1	366,960,338.96 €	971,572,170.44 €	1,093,712,179.18 €
1.2	273,451,767.70 €	599,806,155.32 €	829,887,023.75 €
1.3	263,911,621.92 €	620,988,713.07 €	778,804,214.79 €
1.4	253,948,096.02 €	607,679,453.27 €	792,059,622.96 €
1.5	279,352,079.82 €	601,322,316.80 €	834,196,644.00 €
1.6	270,619,654.54 €	970,930,098.45 €	1,147,840,606.69 €
1.7	215,247,133.52 €	595,166,403.76 €	825,417,977.45 €
1.8	218,629,804.10 €	610,593,425.02 €	835,575,013.40 €
2	169,416,776.64 €	259,116,958.95 €	451,274,533.73 €
2.1	167,854,781.12 €	258,864,961.97 €	447,588,460.89 €
2.2	169,933,979.88 €	256,360,289.60 €	387,603,127.74 €
2.3	168,163,442.53 €	252,764,183.27 €	382,061,631.18 €
2.4	164,644,231.06 €	251,747,625.61 €	378,325,284.01 €
2.5	171,499,779.68 €	258,754,176.36 €	392,467,426.70 €
2.6	150,709,485.14 €	296,740,605.05 €	493,818,764.44 €
2.7	149,264,367.31 €	252,923,841.81 €	325,796,527.67 €
2.8	150,949,414.72 €	254,617,162.53 €	337,377,745.97 €

5. LO SCENARIO OTTIMALE

Lo scenario ottimale è stato individuato grazie all'adozione di una procedura che prevede l'assegnazione di un punteggio ad una serie di indicatori rappresentativi dell'impatto e della validità degli scenari d'intervento. Gli indicatori selezionati sono quattro in totale: 2 rappresentativi del rischio idraulico nell'area, 1 dell'efficienza ed efficacia degli scenari e 1 per la valutazione del vantaggio tecnico-economico delle soluzioni proposte. Gli indicatori associati al rischio idraulico sono rappresentati dalla percentuale di riduzione delle aree inondate totali e quella delle aree inondate in ambito urbano; per valutare l'efficacia e l'efficienza degli scenari è stata considerata la tipologia di intervento, penalizzando la tipologia semplice a vantaggio di quella composta considerata più efficace e resiliente. Infine, come indicatore del vantaggio tecnico-economico di uno scenario è stato appositamente definito un indice caratteristico in grado di considerare l'impatto economico dovuto alla realizzazione dello scenario successivamente messo in relazione con i principali vantaggi tecnici ed economici che lo scenario garantisce. L'indice proposto è definito Vantaggio Economico per Unità di Costo (VEUC) ed è valutabile tramite la relazione (2):



$$VEUC_i = \frac{R_i}{C_i} \quad (2)$$

dove: $VEUC_i$ è il vantaggio economico per unità di costo dello scenario i -esimo; R_i il risparmio economico prodotto dallo scenario i -esimo; C_i il costo di realizzazione dello scenario i -esimo. Il punteggio da attribuire agli scenari è stato valutato in funzione del valore assunto dagli indicatori al variare del periodo di ritorno considerato e poi sommato, in questo modo è stato possibile prendere in considerazione un ulteriore aspetto per gli scenari, ovvero la flessibilità e la propensione all'adattamento nei confronti della variabilità degli eventi a cui sono chiamati a rispondere.

Nella *Tabella VI* è riportato un quadro riassuntivo dei punteggi attribuiti agli indicatori per T=30, 200 e 500 anni e quello totalizzato dai singoli scenari, dai dati riportati è facile dedurre che lo scenario "2.8" rappresenta con il punteggio più alto, secondo questa modalità di selezione, la scelta ottimale da realizzare nell'area.

TABELLA VI - Quadro riassuntivo dei punteggi attribuiti agli indicatori e quelli totalizzati dagli scenari d'intervento

ID Scenario	T=30 Anni			T=200 Anni			T=500 Anni			Tipo scenario	Score
	di riduzione area totale %	di riduzione aree urbane %	VEUC	di riduzione area totale %	di riduzione aree urbane %	VEUC	di riduzione area totale %	di riduzione aree urbane %	VEUC		
1.1	0	0	0.14	0	0	0.05	0	0	0.55	-5	-4.25
1.2	0	2	0.50	0	3	1.79	0	2	1.48	5	15.78
1.3	0	3	0.82	0	3	2.54	0	2	3.72	-5	10.08
1.4	0	3	0.56	0	3	1.64	0	2	1.55	5	16.75
1.5	0	2	0.80	0	3	3.00	0	2	2.45	-5	8.26
1.6	0	2	0.78	0	0	0.04	0	0	-0.05	-5	-2.24
1.7	1	4	0.59	0	3	1.36	0	2	1.13	5	18.08
1.8	1	4	0.61	0	3	1.38	0	2	1.15	5	18.14
2	3	5	2.12	3	7	7.25	2	5	6.97	-5	36.33
2.1	3	5	1.15	3	7	3.90	2	6	3.77	5	39.82
2.2	2	5	0.68	3	7	2.33	2	6	2.44	10	40.45
2.3	3	5	0.88	3	7	3.03	2	6	3.18	5	38.09
2.4	2	5	0.66	3	7	2.24	2	6	2.36	10	40.26
2.5	3	5	0.93	3	7	3.21	2	6	3.34	5	38.48
2.6	3	6	0.96	2	6	2.85	1	5	2.71	5	34.51
2.7	3	6	0.61	3	7	1.91	2	6	2.15	10	41.67
2.8	3	6	0.63	3	7	1.98	2	6	2.21	10	41.82

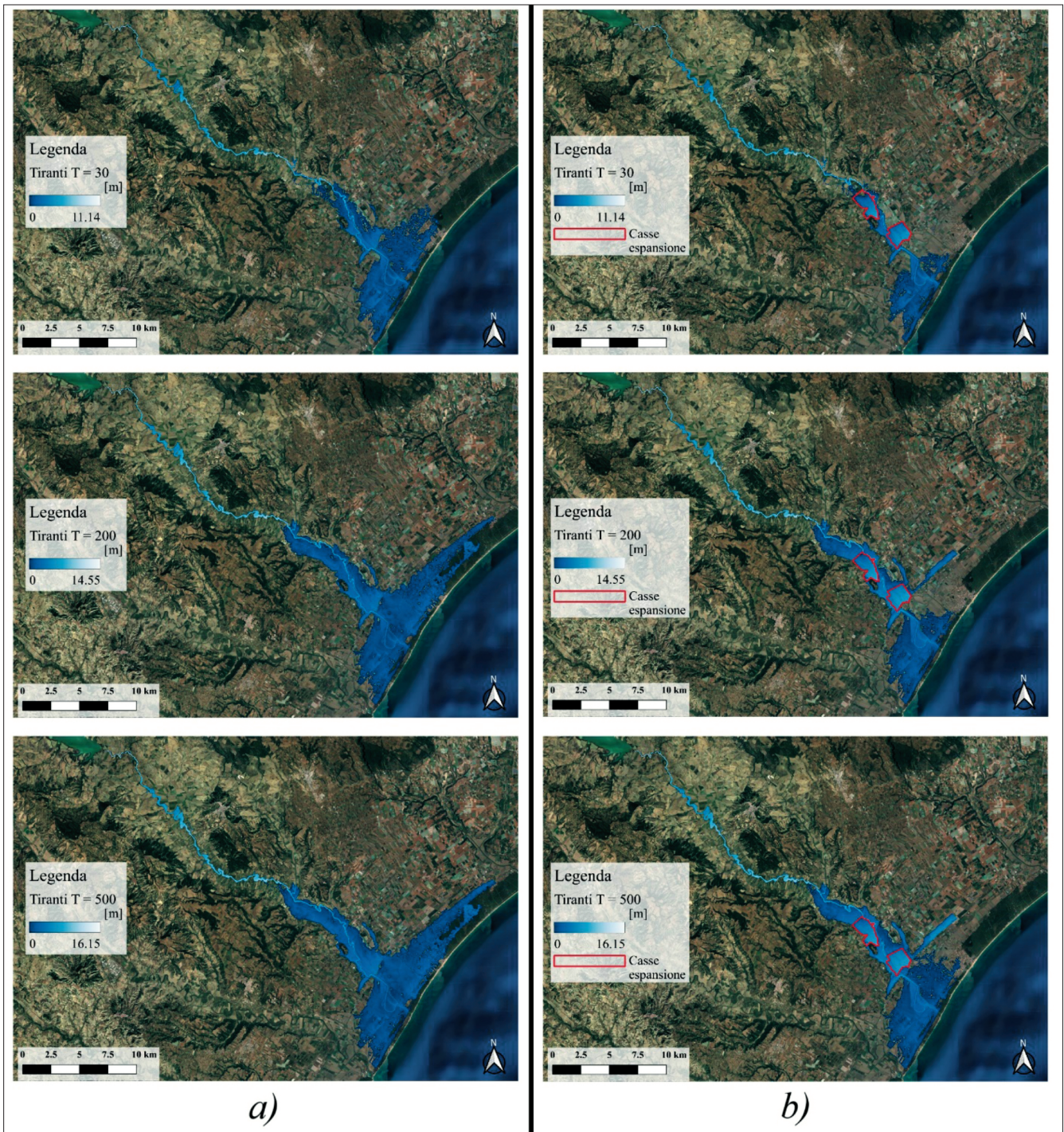


Figura 3 - Confronto tra le mappe dei tiranti idrici, associati a diversi tempi di ritorno, per lo scenario "0" nella colonna a), quelle relative allo scenario ottimale 2.8 nella colonna b).

6. CONCLUSIONI

Il presente studio nasce con l'obiettivo di indirizzare azioni e interventi per la mitigazione del rischio idraulico generato dal Fiume Bradano. A tale scopo, sono stati implementati 17 scenari di intervento possibili al fine di individuare la migliore configurazione delle azioni da porre in essere per contenere il rischio di esondazione. Ciascuna ipotesi progettuale è stata testata e verificata mediante modellazione bidimensionale per la valutazione degli impatti sulle aree interessate dalle esondazioni. Tutte le soluzioni analizzate impattano positivamente sulla riduzione del rischio idraulico, ma esiste una chiara differenziazione tra costi e ritorno economico in termini di aree protette a seguito di ciascun intervento.

Pertanto, è stata implementata una procedura di selezione della combinazione migliore di interventi attraverso l'introduzione di un indice caratteristico che permette di valutare i vantaggi tecnici ed econo-



mici associati a ciascun intervento. Tale indice mette in relazione il costo di realizzazione degli interventi, che rappresenta l'impatto economico dello scenario, e il risparmio economico in termini di danni evitati grazie alla realizzazione delle opere previste. L'analisi di questi fattori ha portato a selezionare lo scenario "2.8" quale scenario che meglio incide sulla riduzione del rischio idraulico nell'area.

Anche se il lavoro svolto può certamente essere affinato e portato ad un livello di dettaglio superiore, la metodologia qui proposta ha integrato valutazioni tecniche ed economiche perseguendo il principio del massimo tornaconto economico nelle scelte progettuali permettendo altresì di definire una soluzione ottimale costituita da più tipologie di interventi, ma anche un ordine di priorità nella loro realizzazione.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Autorità di Bacino della Basilicata, 2012. *Report: Valutazione degli effetti di interventi di mitigazione del rischio idraulico nel tratto finale dei fiumi Bradano e Basento tramite modellazioni idrauliche mono e bidimensionali*.

Claps, P. & M. Fiorentino, 2001. *Rapporto di sintesi per la regione Basilicata (bacini del versante ionico) VALUTAZIONE DELLE PIENE IN ITALIA*, GNDCI - U.O. 1.21.

CRED. 2023 *Disasters in numbers*. Brussels: CRED.

Fiorentino, M., 1985. *La valutazione dei volumi di piena nelle reti di drenaggio urbano*. Idrotecnica, Volume 3, pp. 141-152.

Manfreda, S., D. Pianese, T. Pizzolla, 2021. *Relazione Metodologica finalizzata ad indirizzare l'intervento per: "LAVORI DI RIPRISTINO OFFICIOSITA' IDRAULICA E ADEGUAMENTO ARGINI BACINO DEL FIUME BRADANO"*. Napoli.

Naso, S., 2016. *Novel approaches for flood risk assessment using Exposure-Vulnerability matrices*. Palermo.