

Diga Casalbuono e schema idrico di connessione idraulica ai compresori irrigui del Vallo di Diano, dell'Alto Bussento e della Piana del Sele - 1° lotto

STUDIO DI FATTIBILITÀ DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI



Cliente:



Il direttore esecuzione del contratto:

Ing. Mariano Lucio Alliegro
(Ordine Ingegneri SALERNO n. 2382)

Il responsabile unico del procedimento:

Ing. Domenico Macellaro
(Ordine Ingegneri SALERNO n. 3630)

Mandataria:



Mandati:



Il progettista:

Ing. Carlo Silvestri
(Ordine Ingegneri MILANO n. 20345A)

Codice documento:

2022.0305.002-IDR-R02

Titolo:

RELAZIONE PRELIMINARE DI DAM-BREAK

2					
1					
0	06.02.2024	G. Massera	M. Lora	C. Silvestri	Prima emissione
Rev.	Data	Redatto	Verificato	Approvato	Descrizione

INDICE

1.	PREMESSA	1
2.	DESCRIZIONE DELLE OPERE DI SBARRAMENTO	2
3.	NORMATIVA VIGENTE IN MATERIA DI ANALISI DI DAM-BREAK	3
4.	DESCRIZIONE DEL DOMINIO FLUVIALE E DEL MODELLO IDRAULICO	6
4.1	Dati di input	6
4.2	Criticità connesse al dato di input topografico	6
4.3	Diga A1*: schematizzazione del modello di dam-break	9
4.3.1	Geometria di calcolo	9
4.3.2	Scabrezza	9
4.3.3	Condizioni iniziali e al contorno	10
4.3.4	Condizioni imposte per il dam-break	10
4.4	Diga D: schematizzazione del modello di dam-break	11
4.4.1	Geometria di calcolo	11
4.4.2	Scabrezza	12
4.4.3	Condizioni iniziali e al contorno	12
4.4.4	Condizioni imposte per il dam-break	12
5.	RISULTATI	15
5.1	Profili delle portate defluenti a valle della Diga A1*	15
5.2	Profili delle portate defluenti a valle della Diga D	17
6.	CONCLUSIONI	19
7.	ALLEGATI	20

1. PREMESSA

La presente relazione preliminare di dam-break riporta la descrizione dello studio dell'onda di piena provocata dall'ipotetico collasso, non concomitante, degli sbarramenti previsti nello Studio di fattibilità delle alternative progettuali della Diga di Casalbuono. In particolare, tale studio viene condotto per le opere previste nella seguente alternativa progettuale (Figura 1):

- Alternativa 2: realizzazione di uno sbarramento in hardfill nel sito A sul fiume Tanagro (diga A1*) con la funzione di laminazione delle piene e di opera di captazione per il trasferimento della risorsa idrica in un bacino di accumulo nel sito D sul torrente Porcile (Diga D).

Il presente studio è stato effettuato grazie all'implementazione di un modello numerico idraulico bidimensionale lungo le aste del fiume Tanagro e del torrente Porcile. Il dominio di calcolo considerato si estende dalla sezione che materializza ciascuna diga in progetto fino all'abitato di Polla.

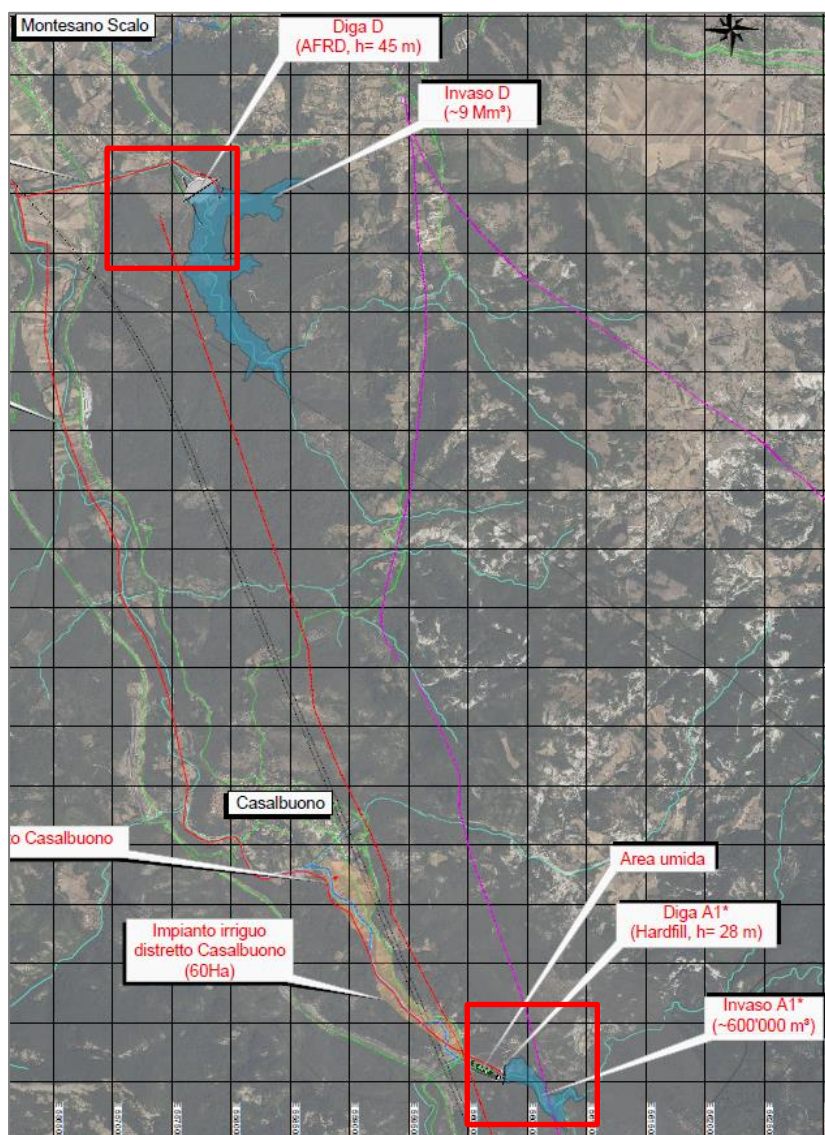


Figura 1: Inquadramento dell'area di studio dell'Alternativa 2 ed evidenza della Diga A1* e della Diga D

2. DESCRIZIONE DELLE OPERE DI SBARRAMENTO

Gli elaborati di progetto dello Studio di fattibilità delle alternative progettuali, che descrivono graficamente le opere di sbarramento sono i seguenti:

- 2022.0305.002-GEN-D11-0 → “Alternativa 2 (A1*+D) - Diga A1*, planimetria”;
- 2022.0305.002-GEN-D12-0 → “Alternativa 2 (A1*+D) - Diga A1*, Profilo longitudinale e sezione tipo”;
- 2022.0305.002-GEN-D14-0 → “Alternativa 3 (A2*+D) - Diga D, planimetria”;
- 2022.0305.002-GEN-D15-0 → “Alternativa 3 (A2*+D) - Diga D, Profilo longitudinale e sezione tipo”.

Il dimensionamento idraulico delle opere di scarico è riportato all'interno dell'elaborato 2022.0305.002-IDR-R01_0 “Relazione idraulica-idrologica preliminare” all'interno del capitolo 6, denominato “Dimensionamento e verifica idraulica delle opere di scarico”.

3. **NORMATIVA VIGENTE IN MATERIA DI ANALISI DI DAM-BREAK**

L'analisi oggetto della presente relazione viene sviluppata con riferimento a quanto riportato nella Circolare PCM 13 dicembre 1995, n. DSTN/2/22806 "Raccomandazioni per la mappatura delle aree a rischio di inondazione conseguente a manovre di scarico o ad ipotetico collasso delle dighe" (di seguito "Circolare").

Dal momento che il presente caso tratta di un'analisi preliminare di dam-break, viene esclusivamente analizzato il fenomeno di ipotetico collasso della diga, considerando che gli effetti del fenomeno risultano più gravosi rispetto all'onda di piena artificiale generata da manovre istantanee degli scarichi di fondo.

Si elencano di seguito le principali linee guida della Circolare prese in considerazione:

- Ipotesi di cedimento (par. 4.1):
 - Dighe murarie (par. 4.1.1):

“La necessità di prefigurare la condizione di rottura più gravosa in relazione alla generazione dell'onda di piena impone che il crollo sia considerato totale, interessante cioè l'intera diga, a meno che la tipologia sia tale da richiedere la verifica di stabilità per ogni singolo elemento strutturale costituente l'opera. In tal caso il crollo può essere ragionevolmente ipotizzato parziale, interessante cioè i soli elementi strutturali di maggiore altezza, in numero comunque tale da fornire un rapporto tra le aree delle sezioni di breccia e diga non minore di 1/3.

L'asportazione della diga, o di una parte della quale si suppone il crollo, è considerata istantanea.”
 - Dighe di materiali sciolti (par. 4.1.2):

“Nelle dighe di materiali sciolti l'asportazione del rilevato avviene con modalità di sviluppo della breccia nel corpo diga dipendenti dall'intensità dell'azione erosiva dell'acqua trascinante lo sbarramento. Da quanto suddetto ne consegue che l'asportazione del rilevato risulta praticamente sempre parziale e progressiva.”
- Condizioni idrauliche alla rottura (par. 4.2):
 - Dighe murarie (par. 4.2.1):

“Per le dighe murarie è ipotizzato che il collasso della struttura non sia legato ad eventi idrologici intensi, cosicché la condizione idraulica iniziale più gravosa da considerarsi è quella di serbatoio pieno fino alla quota massima di regolazione.

Durante il processo di efflusso attraverso la breccia creatasi per rottura della diga, possono essere trascurate le portate in ingresso al serbatoio e le portate eventualmente rilasciate attraverso gli organi di scarico.”
 - Dighe di materiali sciolti (par. 4.2.2):

“Per le dighe di materiali sciolti si ipotizza che il collasso sia dovuto ad una piena di carattere eccezionale, non smaltita dagli organi di scarico della diga, e che causi perciò il completo riempimento del serbatoio ed il sormonto dello sbarramento. Come condizione idraulica iniziale è dunque da assumersi un livello del serbatoio pari alla quota del coronamento della diga.

Salvo casi particolari, riferibili a dighe con invasi di modesto volume o dighe soggette ad onde di piena da rottura di sbarramenti posti a monte, le portate in ingresso al serbatoio durante lo svolgersi del fenomeno di efflusso per brecciatura della diga possono essere trascurate, risultando il loro effetto contenuto nei riguardi del processo di generazione dell’onda di piena artificiale da rottura.

Le portate rilasciate attraverso gli organi di scarico superficiale sono valutate in relazione ai livelli idrici presenti nel serbatoio. Trattandosi di livelli superiori a quelli di progetto, occorre verificare la reale capacità di smaltimento delle portate da parte delle opere di scarico. Le portate rilasciate attraverso gli scarichi di mezzofondo e di fondo possono invece essere trascurate.”

- Metodi di valutazione delle portate uscenti attraverso la breccia (par. 4.3):

- Dighe murarie (par. 4.3.1):

“Per le dighe murarie una prima valutazione dell’onda di piena effluente può essere effettuata assimilando il fenomeno della rottura all’eliminazione istantanea di una paratoia di sezione trasversale pari a quella della diga inserita in un canale prismatico, utilizzando quindi i relativi risultati teorici.

Con un calcolo più accurato, generalmente basato su approcci di tipo numerico, è possibile tenere conto di quegli aspetti presenti nel fenomeno reale e non riprodotti dallo schema di paratoia nel canale.”

- Dighe di materiali sciolti (par. 4.3.2):

“Per le dighe di materiali sciolti l’ideogramma delle portate effluenti va determinato utilizzando modelli matematico-numerici che permettono di riprodurre l’interazione tra la corrente defluente attraverso la breccia ed il materiale solido costituente il rilevato. È raccomandato il confronto tra i risultati forniti dai modelli matematico-numerici con le formule empiriche basate su analisi statistiche dei dati relativi ai casi storici di rottura.

Le Raccomandazioni indicano che il calcolo di propagazione deve essere esteso a tutto il tratto fluviale a valle della diga lungo il quale le massime portate dovute all’onda artificiale si mantengono superiori alle portate naturali considerate nella formulazione dei piani di previsione e prevenzione degli eventi di piena naturali. In mancanza di indicazioni specifiche, può essere assunta una portata di piena naturale associata ad un tempo di ritorno pari a 500 anni.

I valori di portata associata ad un tempo di ritorno pari a 500 anni sono stati reperiti dal documento di piano “Rivisitazione del Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico del Bacino Idrografico del Fiume

Sele” (giugno 2012, allegato N). Per il fiume Tanagro a Polla è stata calcolata una portata $Q_{500} = 734.8$ m³/s, che verrà presa come riferimento.

4. DESCRIZIONE DEL DOMINIO FLUVIALE E DEL MODELLO IDRAULICO

La presente analisi preliminare di dam-break è stata effettuata grazie all'implementazione di un modello numerico idrodinamico bidimensionale a moto vario, lungo le aste del fiume Tanagro e del torrente Porcile. Il software utilizzato è HEC-RAS (v. 6.4.1).

4.1 Dato di input topografico

Il modello idraulico bidimensionale necessita come dato di partenza un modello digitale del terreno, in riferimento alla zona considerata per l'analisi. È stato quindi richiesto ed utilizzato il DTM 1x1 m disponibile dal Ministero dell'Ambiente, effettuato per mezzo di volo Lidar. Tale DTM ricopre la fascia fluviale del fiume Tanagro ed una fascia di larghezza pari a circa 2 – 2.5 km del Vallo di Diano in asse con il corso d'acqua.

Questo DTM comprende quasi completamente il dominio fluviale d'interesse. Tuttavia, per coprire l'intero territorio potenzialmente interessato dalle analisi, esso è stato unito al DTM 10x10 m (INGV) riferito all'area del Vallo di Diano e dell'Alto Tanagro (scaricabile dal sito http://tinality.pi.ingv.it/Download_Area1_1.html).

4.2 Criticità connesse al dato di input topografico

Sono state rilevate alcune criticità connesse al dato di input topografico nella fase di costruzione della geometria di calcolo:

- in corrispondenza del Ponte Calore sulla strada SS517 è presente un vuoto del DTM 1x1 ministeriale. Tale ricade sia lungo il corso d'acqua principale sia sulle aree golenali ed esterne agli argini (Figura 2).

Per questo motivo, il dato topografico proveniente dal DTM 10x10 m (INGV) è stato ricampionato per mezzo di un apposito strumento all'interno del software QGIS e successivamente adattato al DTM 1x1 m ministeriale tramite appositi strumenti di editing, in ambiente HEC-RAS.

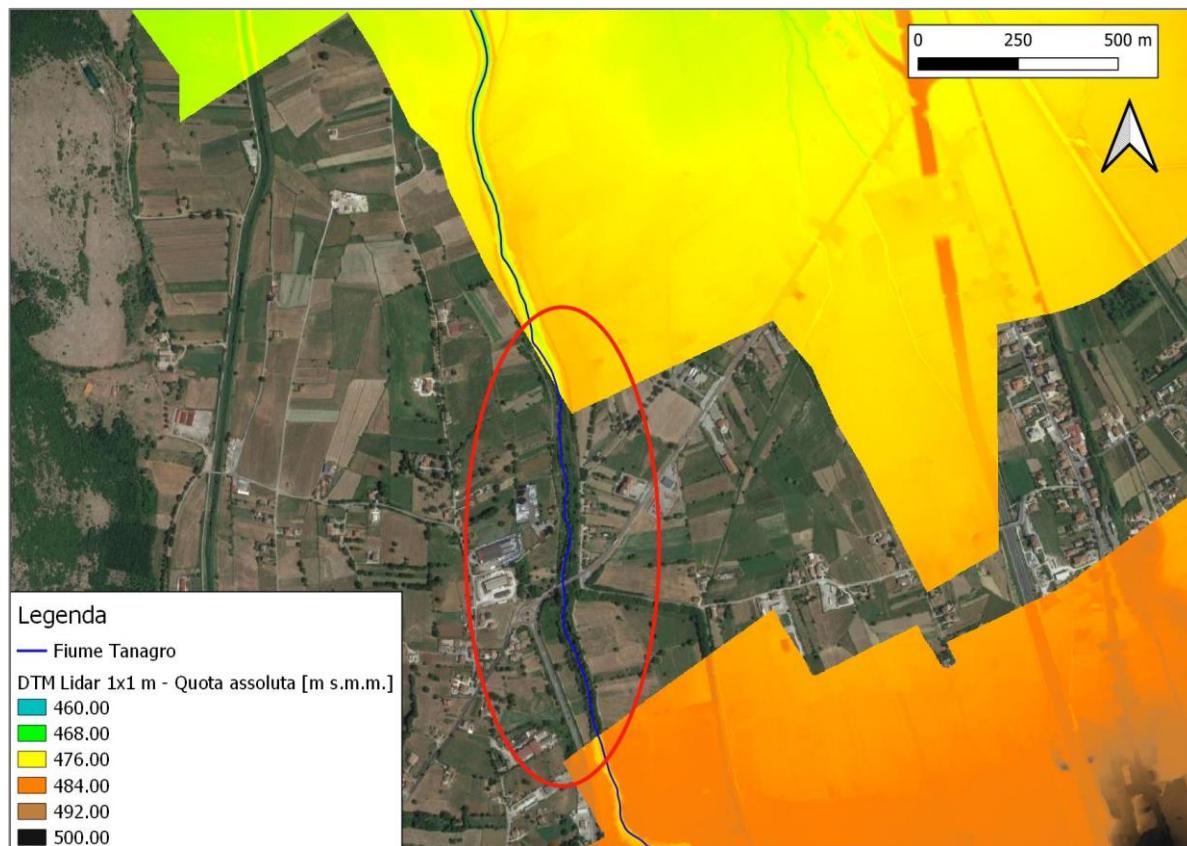


Figura 2: Rappresentazione del vuoto del DTM 1x1 m ministeriale in corrispondenza del fiume Calore

- la copertura del DTM 1x1 m ministeriale non è risultata sufficiente in alcune aree del Vallo di Diano per consentire la completa espansione dell'allagamento causato dall'onda di dam-break. Tuttavia, il tentativo di unione del DTM 1x1 m ministeriale con il DTM 10x10 m (INGV) in queste aree ha evidenziato una rilevante differenza in termini di quote tra i due dati topografici, nell'ordine dei 2 – 3 m.

In Figura 3 viene rappresentato il confronto tra DTM 1x1 m e 10x10 m, in sinistra idraulica del fiume Tanagro in prossimità della confluenza del Canale Lamarelle nei pressi di Padula. Tale confronto viene riprodotto anche in termini di quote altimetriche rilevate su una sezione tracciata in corrispondenza del confine del DTM 1x1 m (Figura 4).

Per questo motivo, in questa fase di analisi preliminare di dam-break la geometria di calcolo è stata estesa fino al confine del DTM 1x1 ministeriale e verranno elencate nei risultati le porzioni di territorio coinvolte da questa criticità.

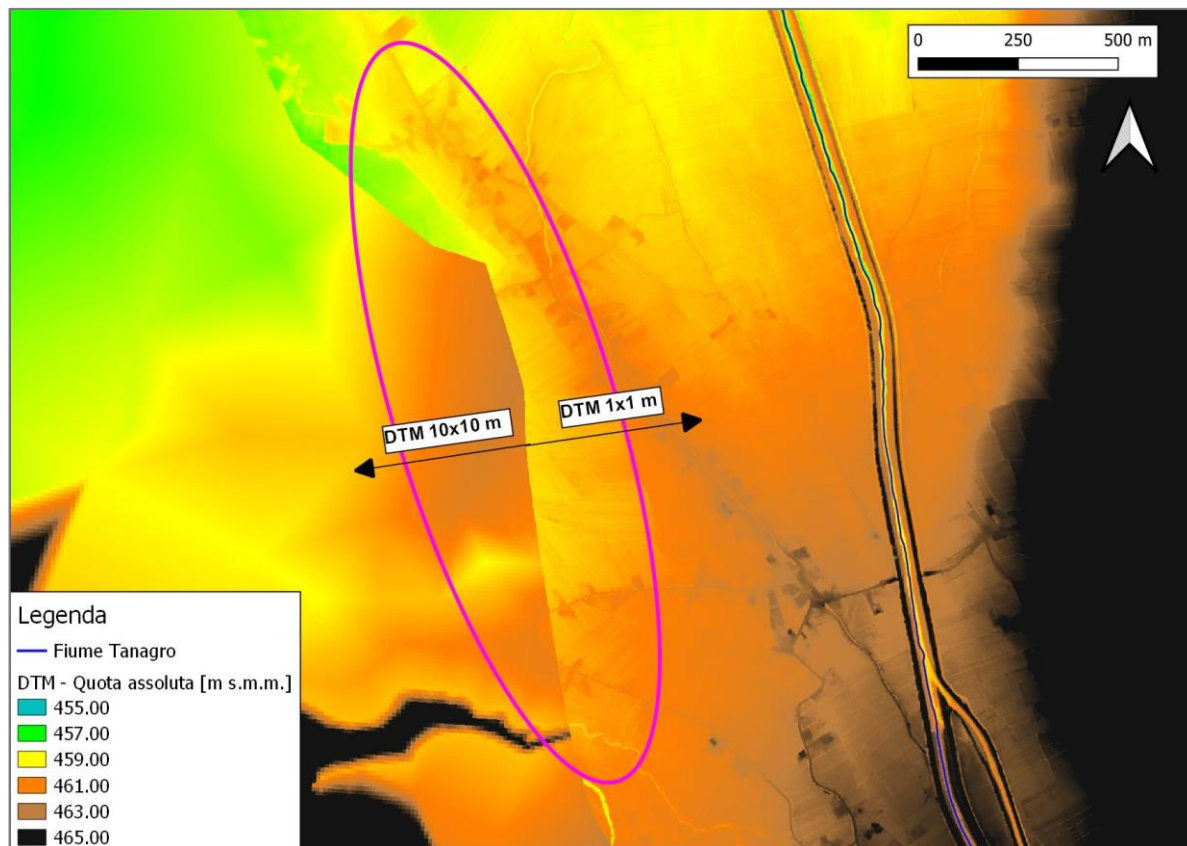


Figura 3: Rappresentazione del confronto tra DTM 1x1 m e 10x10 m, in sinistra idraulica del fiume Tanagro in prossimità della confluenza del Canale Lamarelle nei pressi di Padula

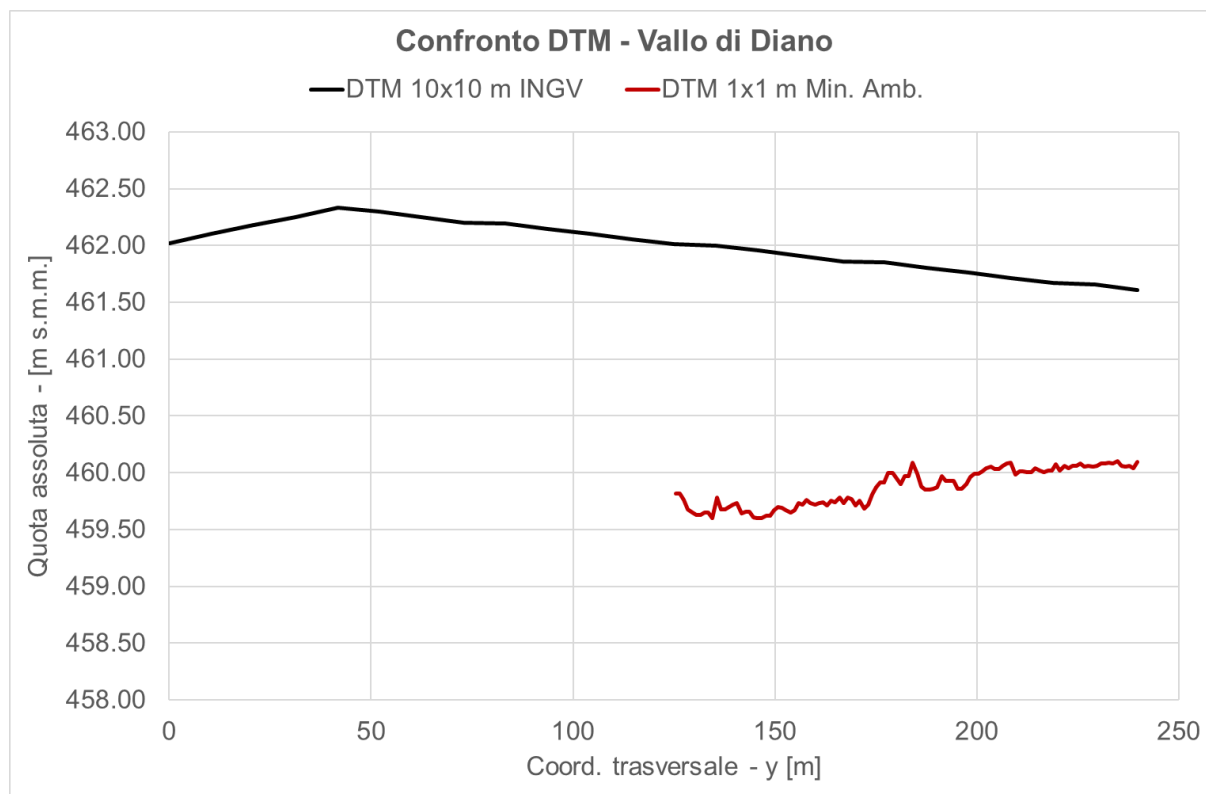


Figura 4: Confronto altimetrico tra DTM 1x1 m e 10x10 m, rilevato su una sezione tracciata in corrispondenza del confine del DTM 1x1 m

4.3 Diga A1*: schematizzazione del modello di dam-break

4.3.1 Geometria di calcolo

La geometria di calcolo implementata ai fini dell'analisi in oggetto si estende dall'invaso della Diga A1*, fino all'abitato di Polla, a circa 47 km dall'opera di sbarramento, includendo la fascia in asse con l'alveo del fiume Tanagro.

Nell'analisi di dam-break l'area dell'invaso della Diga A1* viene definita come una *storage area*; tale elemento della geometria di calcolo è connesso alla area di calcolo bidimensionale (*flow 2D area*) attraverso una *connection*, vale a dire un elemento trasversale che permette di definire la sezione della diga e di descriverne il collasso.

La geometria è stata implementata all'interno del modello idraulico per mezzo di una *mesh* di calcolo di differente risoluzione lungo il dominio:

- nell'area immediatamente a valle della Diga A1*, dalla prog. +0.00 km alla prog. +3.70 km, indicativamente presso Casalbuono, la *mesh* di calcolo è stata forzata attraverso l'utilizzo di *breaklines* in modo da ottenere una maglia quadrata di 2 metri in corrispondenza dell'alveo inciso del fiume Tanagro;
- dalla prog. +3.70 km alla prog. +11.50 km, in corrispondenza di Ponte Calore, la *mesh* di calcolo è stata forzata attraverso l'utilizzo di *breaklines* in modo da ottenere una maglia quadrata di 3 metri in corrispondenza dell'alveo inciso del fiume Tanagro;
- dalla prog. +11.50 km alla prog. +47.30 km, in corrispondenza dell'abitato di Polla, la *mesh* di calcolo è stata forzata attraverso l'utilizzo di *breaklines* in modo da ottenere una maglia quadrata di 5 metri in corrispondenza dell'alveo inciso del fiume Tanagro;
- la *mesh* di calcolo è stata forzata attraverso l'utilizzo di *breaklines* in modo da ottenere una maglia quadrata di 3 metri lungo le seguenti opere arginali:
 - argine in destra idraulica dalla confluenza del torrente Porcile fino al Ponte Calore;
 - argine in destra e sinistra idraulica del fiume Tanagro da Ponte Calore fino a Polla;
 - aree di confluenza degli affluenti Canale Lamarelle (in destra idraulica, nei pressi di Padula) e Canale Zia Francesca (in sinistra idraulica, nei pressi di Silla).
- la *mesh* di calcolo in tutte le aree del dominio esterne a quelle sopra citate presenta una maglia quadrata di 15 metri.

Lungo il corso d'acqua considerato sono presenti ponti stradali che attraversano il corso d'acqua. Il DTM 1x1 m ministeriale rileva la presenza delle eventuali opere in rilevato di approccio a tali ponti ed è "pulito" dagli impalcati. Nella presente analisi preliminare di dam-break non sono state inserite tali opere nel modello bidimensionale.

4.3.2 Scabrezza

I valori di scabrezza sono stati applicati nel seguente modo:

- $n = 0.1 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ ($k_s = 10 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$) in tutte le aree del dominio esterne all'alveo inciso;

- $n = 0.04 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ ($k_s = 25 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$) nell'alveo inciso del fiume Tanagro.

4.3.3 Condizioni iniziali e al contorno

Le condizioni iniziali imposte sono le seguenti:

- livello idrometrico per la *storage area* che rappresenta l'invaso della Diga A1* pari alla quota di massima regolazione, vale a dire $H_{reg,A1^*} = 606.50 \text{ m s. m. m.}$;
- portata ordinaria in alveo a valle diga; tale condizione viene imposta in modo da evitare problematiche numeriche dovute al transito dell'onda di piena da dam-break su celle di calcolo completamente asciutte.

Le condizioni al contorno sono state assegnate nel seguente modo:

- una condizione di monte in ingresso alla *storage area* che rappresenta l'invaso della Diga A1*, costituita da un idrogramma costante con portata pari a $Q_{in,A1^*} = 2 \text{ m}^3/\text{s}$;
- una condizione di valle di moto uniforme nella sezione di valle del dominio. Viene assegnata una pendenza pari a 0.005, approssimativamente pari alla pendenza del fondo alveo.

4.3.4 Condizioni imposte per il dam-break

Per valutare le portate uscenti attraverso la breccia e studiare la successiva propagazione dell'onda di piena a valle della diga, viene utilizzato anche il modello matematico-numerico (HEC-RAS). Tale modello consente di simulare l'onda di piena generata dalla formazione di una breccia nel corpo diga mediante due metodi:

1. *Full Dynamic Wave Routing*;
2. *Level Pool Routing*.

Il primo metodo è il più accurato in quanto simula la propagazione dell'onda all'interno dell'invaso, calcolando il profilo idrico e il profilo di velocità della corrente nell'invaso. Il secondo metodo non simula l'idrodinamica all'interno dell'invaso, bensì schematizza quest'ultima con un elemento fittizio caratterizzato da una curva dei volumi, collegato a valle e/o a monte ad un tratto fluviale, simulandone lo svuotamento o il riempimento. Nel presente caso si utilizza il secondo metodo.

Nella simulazione dell'ipotetico collasso della Diga A1* si seguono le indicazioni della Circolare espresse al par. 4.1.1, 4.2.1 e 4.3.1 (si veda Capitolo §3), in merito alle dighe murarie.

A tal proposito, in Figura 5 viene riportato il prospetto della diga, da monte: l'area di ingombro totale è di circa 3'500 m², conteggiata fino alla quota di massima regolazione. Al fine di considerare il collasso di una porzione non minore di 1/3 di tale area, è stata scelta la porzione di sbarramento in corrispondenza dello scarico di superficie e dello scarico di fondo. Tale porzione è caratterizzata da un'area pari a circa 1'700 m².

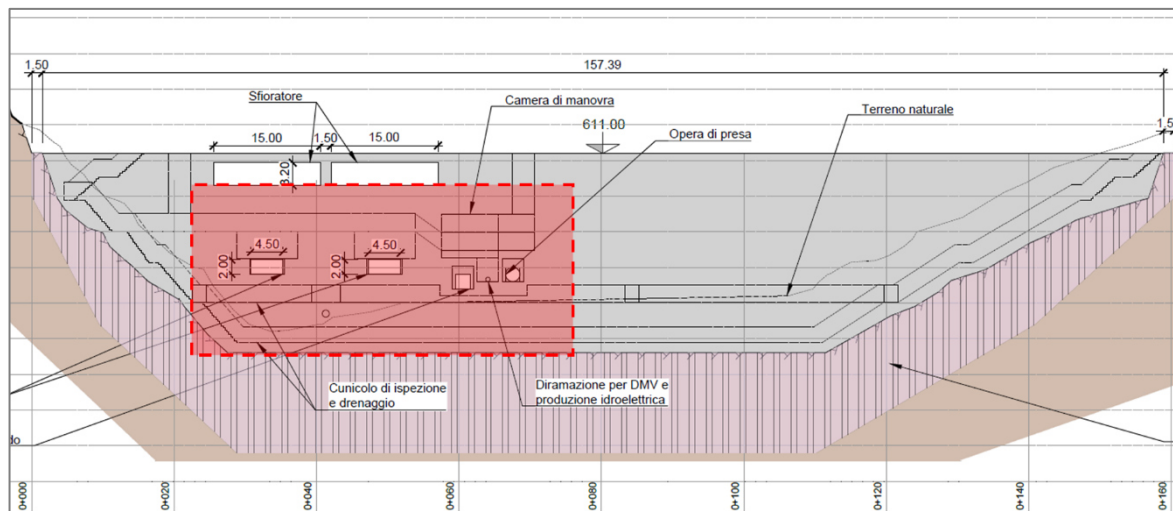


Figura 5: Prospetto di monte del corpo della Diga A1* con evidenza della porzione di sbarramento di cui si considera il collasso

4.4 Diga D: schematizzazione del modello di dam-break

4.4.1 Geometria di calcolo

La geometria di calcolo implementata ai fini dell'analisi in oggetto si estende dall'invaso della Diga D, fino all'abitato di Polla, a circa 38 km dall'opera di sbarramento, includendo la fascia in asse con l'alveo del fiume Tanagro.

Nell'analisi di dam-break l'area dell'invaso della Diga D viene definita come una *storage area*; tale elemento della geometria di calcolo è connesso alla area di calcolo bidimensionale (*flow 2D area*) attraverso una *connection*, vale a dire un elemento trasversale che permette di definire la sezione della diga e di descriverne il collasso.

La geometria è stata implementata all'interno del modello idraulico per mezzo di una *mesh* di calcolo di differente risoluzione lungo il dominio:

- nell'area immediatamente a valle della Diga D, dalla prog. +0.000 km alla prog. +1.700 km, in corrispondenza della confluenza del torrente Porcile nel fiume Tanagro, la *mesh* di calcolo è stata forzata attraverso l'utilizzo di *breaklines* in modo da ottenere una maglia quadrata di 2 metri in corrispondenza dell'alveo inciso del fiume Tanagro;
- dalla prog. +1.700 km alla prog. +6.100 km, in corrispondenza di Ponte Calore, la *mesh* di calcolo è stata forzata attraverso l'utilizzo di *breaklines* in modo da ottenere una maglia quadrata di 3 metri in corrispondenza dell'alveo inciso del fiume Tanagro;
- dalla prog. +6.100 km alla prog. +38.200 km, in corrispondenza dell'abitato di Polla, la *mesh* di calcolo è stata forzata attraverso l'utilizzo di *breaklines* in modo da ottenere una maglia quadrata di 5 metri in corrispondenza dell'alveo inciso del fiume Tanagro;
- la *mesh* di calcolo è stata forzata attraverso l'utilizzo di *breaklines* in modo da ottenere una maglia quadrata di 3 metri lungo le seguenti opere arginali:

- argine in destra idraulica dalla confluenza del torrente Porcile fino al Ponte Calore;
 - argine in destra e sinistra idraulica del fiume Tanagro da Ponte Calore fino a Polla;
 - aree di confluenza degli affluenti Canale Lamarelle (in destra idraulica, nei pressi di Padula) e Canale Zia Francesca (in sinistra idraulica, nei pressi di Silla).
- la *mesh* di calcolo in tutte le aree del dominio esterne a quelle sopra citate presenta una maglia quadrata di 15 metri.

Lungo il corso d'acqua considerato sono presenti ponti stradali che attraversano il corso d'acqua. Il DTM 1x1 m ministeriale rileva la presenza delle eventuali opere in rilevato di approccio a tali ponti ed è "pulito" dagli impalcati. Nella presente analisi preliminare di dam-break non sono state inserite tali opere nel modello bidimensionale.

4.4.2 Scabrezza

I valori di scabrezza sono stati applicati nel seguente modo:

- $n = 0.1 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ ($k_s = 10 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$) in tutte le aree del dominio esterne all'alveo inciso;
- $n = 0.04 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ ($k_s = 25 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$) nell'alveo inciso del torrente Porcile e del fiume Tanagro.

4.4.3 Condizioni iniziali e al contorno

Le condizioni iniziali imposte sono le seguenti:

- livello idrometrico per la *storage area* che rappresenta l'invaso della Diga D pari alla quota di coronamento, vale a dire $H_{cor,D} = 565.50 \text{ m s. m. m.}$;
- portata ordinaria in alveo a valle diga; tale condizione viene imposta in modo da evitare problematiche numeriche dovute al transito dell'onda di piena da dam-break su celle di calcolo completamente asciutte.

Le condizioni al contorno sono state assegnate nel seguente modo:

- una condizione di monte in ingresso alla *storage area* che rappresenta l'invaso della Diga D, costituita da un idrogramma costante con portata pari a $Q_{in,D} = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$;
- una condizione di valle di moto uniforme nella sezione di valle del dominio. Viene assegnata una pendenza pari a 0.005, approssimativamente pari alla pendenza del fondo alveo.

4.4.4 Condizioni imposte per il dam-break

Per valutare le portate uscenti attraverso la breccia e studiare la successiva propagazione dell'onda di piena a valle della diga, viene utilizzato anche in questo caso il modello matematico-numerico (HEC-RAS). Come anche indicato all'inizio del paragrafo §4.3.4, si utilizza il metodo del *Level Pool Routing*.

Nella simulazione dell'ipotetico collasso della Diga D si seguono le indicazioni della Circolare espresse al par. 4.1.2, 4.2.2 e 4.3.2 (si veda Capitolo §3), in merito alle dighe di materiali sciolti.

Al fine di simulare le portate uscenti attraverso la breccia è necessario stimarne la posizione, le dimensioni ed il tempo di formazione. Tali parametri influenzano direttamente il calcolo del picco di piena scaricato attraverso la breccia e per tale ragione, la loro stima, risulta di estrema importanza.

Per simulare l'onda di dam-break nel caso di breccia causata da sormonto della diga, il modello richiede in input le seguenti caratteristiche geometriche della breccia:

- B_{ave} : larghezza media della breccia;
- t_f : tempo di formazione della breccia;
- W_b : larghezza del fondo della breccia;
- h_b : altezza della breccia;
- h_w : tirante idrico calcolato rispetto al fondo della breccia;
- $H:V$: pendenza delle sponde della breccia.

La stima dei suddetti parametri avviene mediante l'utilizzo di equazioni di regressione ottenute correlando i dati relativi ad eventi storici osservati su dighe con caratteristiche simili a quella in oggetto.

Nel software HEC-RAS sono disponibili 5 diverse equazioni di regressione:

- Froehlich (1995a);
- Froehlich (2008);
- MacDonald and Langridge-Monopolis (1984);
- Von Thun and Gillette (1990);
- Xu and Zhang (2009).

Nella presente analisi di dam-break vengono utilizzate le equazioni di Froehlich (2008), in quanto queste sono state determinate utilizzando il più grande data set di eventi di dam-break (relativo a 74 casi osservati su dighe di materiali sciolti).

I dati utilizzati da Froehlich per l'analisi di regressione sono caratteristici di dighe ricadenti nei seguenti intervalli di altezza e volume d'invaso:

- Altezza della diga compresa tra 3.05 m e 92.96 m, con il 93% < 30 m e l'81% < 15 m;
- Volume d'invaso alla rottura compreso tra 0.0139 e 660.0 x 10⁶ m³, con l'86% < 25.0 x 10⁶ m³ e l'82% < 15.0 x 10⁶ m³.

La Diga D ha un'altezza pari a 45.50 m ed è caratterizzata da un volume idrico alla quota di coronamento pari a circa 12.360 x 10⁶ m³. Entrambe le caratteristiche dell'opera sono comprese nei range sopra riportati.

Le equazioni di Froehlich (2008) per la stima della larghezza media della breccia e del suo tempo di formazione sono le seguenti:

- $B_{ave} = 0.27 \cdot K_0 \cdot V_w^{0.32} \cdot h_b^{0.04}$
- $t_f = 63.2 \cdot \sqrt{\frac{V_w}{g \cdot h_b^2}}$

dove:

- B_{ave} : larghezza media della breccia (m);
- K_0 : costante (1.3 per rottura per sormonto);
- V_w : volume d'invaso al momento della rottura (m^3);
- h_b : altezza finale della breccia (m);
- g : accelerazione gravitazionale (m/s^2);
- t_f : tempo di formazione della breccia (s);

La pubblicazione di Froehlich (2008) assume, inoltre, che:

- la pendenza media delle sponde della breccia sia pari a 1:1.
- l'altezza finale della breccia sia pari all'altezza della diga; nel presente caso si impone che la quota del fondo della breccia sia pari a 523.00 m s. m. m., indicativamente pari alla quota del piano campagna esterno all'alveo inciso del torrente Porcile. Di conseguenza, l'altezza finale della breccia viene calcolata pari a 42.50 m.
- il processo di formazione della breccia sia lineare.

Applicando le formule sopra esposte al caso in oggetto, si ottengono i seguenti parametri:

- $B_{ave} = 75.84 \text{ m}$;
- $t_f = 0.46 \text{ h}$.

In Figura 6 viene illustrata la breccia determinata utilizzando le equazioni riportate sopra. La breccia ha forma trapezoidale con base minore pari a 33 m, base maggiore pari a 118 m e altezza pari a 42.50 m.

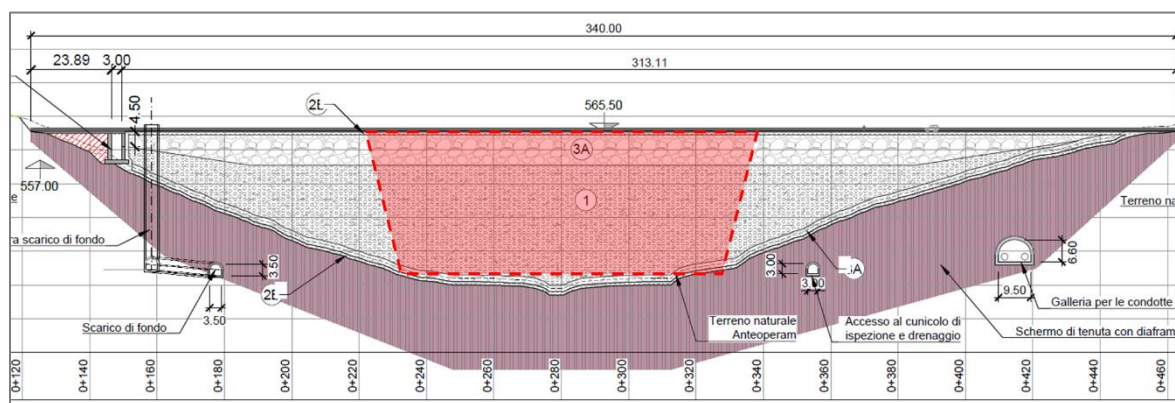


Figura 6: Prospetto di monte del corpo della Diga D con evidenza della porzione di sbarramento di cui si considera il collasso

5. RISULTATI

I risultati della presente analisi preliminare di dam-break sono costituiti da:

- profili delle portate defluenti in sezioni ritenute notevoli lungo l'asta fluviale a valle diga;
- mappatura dei massimi tiranti idraulici a valle diga, riportati in allegato alla presente relazione.

5.1 Profili delle portate defluenti a valle della Diga A1*

Si riportano in Figura 7 gli andamenti delle portate defluenti durante il tempo della simulazione e calcolate in alcune sezioni ritenute d'interesse lungo il dominio. In Tabella 1 sono riportati i valori di massima portata al colmo e del tempo di arrivo di tale colmo nelle sezioni considerate.

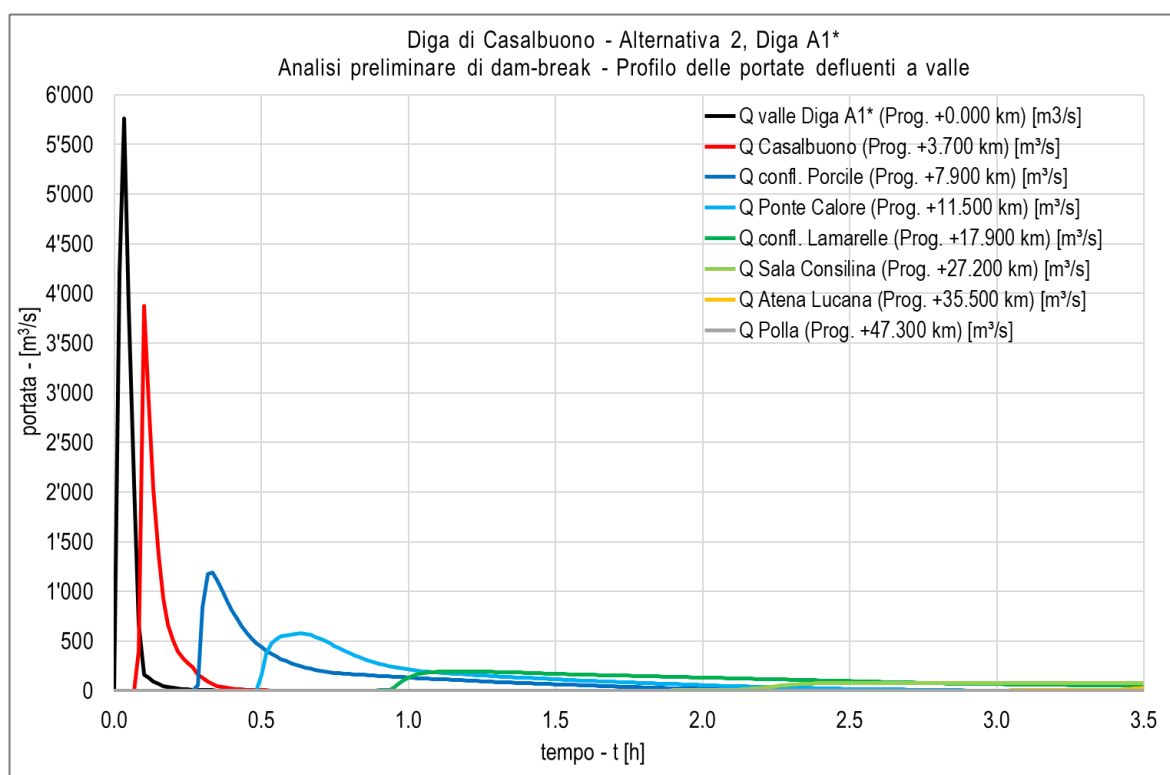


Figura 7: Profilo delle portate defluenti nel tempo ai fini dell'analisi di dam-break per la Diga A1*

	Sez. valle diga (Prog. +0.000 km)	Sez. Casalbuono (Prog. +3.700 km)	Sez. confl. Porcile (Prog. +7.900 km)	Sez. Ponte Calore (Prog. +11.500 km)	Sez. confl. Lamarelle (Prog. +17.900 km)	Sez. Sala Consilina (Prog. +27.200 km)	Sez. Atena Lucana (Prog. +35.500 km)	Sez. Polla (Prog. +47.300 km)
Q_{max} [m³/s]	5760.96	3876.32	1191.86	579.01	196.69	80.82	28.55	2.00
t_a [s]	120.00	360.00	1200.00	2280.00	4140.00	9360.00	-	-

Tabella 1: Valori di massima portata al colmo e del tempo di arrivo di tale colmo in sezioni ritenute di interesse nel dominio ai fini dell'analisi di dam-break per la Diga A1*

La portata massima che è stata calcolata immediatamente a valle della Diga A1* è pari a 5'761 m³/s. La laminazione che si verifica lungo il dominio a valle dello sbarramento determina una riduzione della portata al colmo nella sezione di sala Consilina ad un valore di 81 m³/s. Si evidenzia che tale portata,

misurata indicativamente a 20 km di distanza dall'abitato di Polla, risulta inferiore di quella cinquecentennale espressa per il fiume Tanagro a Polla, pari a $Q_{500} = 734.8 \text{ m}^3/\text{s}$ nella "Rivisitazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino Idrografico del Fiume Sele".

Tale effetto di laminazione è determinato dagli allagamenti diffusi localizzati nelle aree limitrofe il corso d'acqua dalla sezione dello sbarramento fino al Ponte Calore. L'opera infrastrutturale principale che viene interessata da tali allagamenti è il Ponte del Re e l'omonimo ponte della SS 19 delle Calabrie, situato a poche centinaia di metri dallo sbarramento.

Altri allagamenti di minore entità sono localizzati:

- In sinistra idraulica in prossimità del serbatoio rio Freddo;
- In destra idraulica nelle aree agricole tra il fiume Tanagro e lo svincolo autostradale "Buonabitacolo-Padula";
- In sinistra e destra idraulica all'altezza degli abitati di Bagno e Caiazzano;
- In sinistra idraulica a monte in corrispondenza della confluenza del Canale Zia Francesca, in prossimità di Silla.

Si evidenzia inoltre un aspetto di particolare interesse per quanto riguarda l'abitato di Casalbuono: le aree allagate dell'evento di collasso simulato si estendono perlopiù nel fondovalle del fiume Tanagro, occupando aree agricole.



Figura 8: Dettaglio della mappatura delle aree allagabili in corrispondenza dell'abitato di Casalbuono

5.2 Profili delle portate defluenti a valle della Diga D

Si riportano in Figura 9 gli andamenti delle portate defluenti durante il tempo della simulazione e calcolate in alcune sezioni ritenute d'interesse lungo il dominio. In Tabella 2 sono riportati i valori di massima portata al colmo e del tempo di arrivo di tale colmo nelle sezioni considerate.

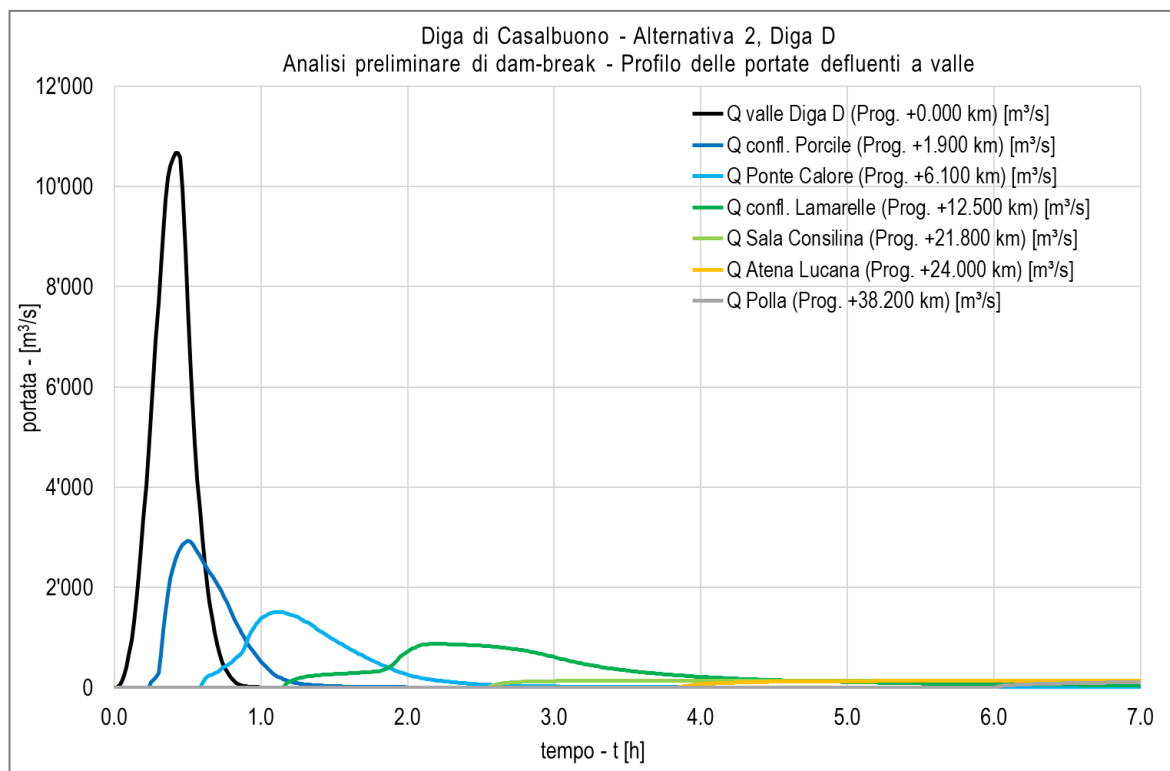


Figura 9: Profilo delle portate defluenti nel tempo ai fini dell'analisi di dam-break per la Diga D

	Sez. valle diga (Prog. +0.000 km)	Sez. confl. Porcile (Prog. +1.900 km)	Sez. Ponte Calore (Prog. +6.100 km)	Sez. confl. Lamarelle (Prog. +12.500 km)	Sez. Sala Consilina (Prog. +21.800 km)	Sez. Atena Lucana (Prog. +24.000 km)	Sez. Polla (Prog. +38.200 km)
Q_{max} [m³/s]	10673.77	2930.16	1509.59	870.65	140.62	136.40	108.48
t_a [s]	1560.00	1800.00	4020.00	7920.00	16380.00	23940.00	-

Tabella 2: Valori di massima portata al colmo e del tempo di arrivo di tale colmo in sezioni ritenute di interesse nel dominio ai fini dell'analisi di dam-break per la Diga D

La portata massima che è stata calcolata immediatamente a valle della Diga D è pari a 10'674 m³/s. La laminazione che si verifica lungo il dominio a valle dello sbarramento determina una riduzione della portata al colmo nella sezione di Polla ad un valore di 108 m³/s. Si evidenzia che tale portata risulta inferiore di quella cinquecentennale espressa per il fiume Tanagro a Polla, pari a $Q_{500} = 734.8$ m³/s nella "Rivisitazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino Idrografico del Fiume Sele".

Si evidenzia che, come visibile negli allegati raffiguranti la mappatura dei massimi tiranti, l'onda di piena si espande fin da subito al di fuori del torrente Porcile e delle aree limitrofe e procede inondando

l'alto Vallo di Diano, anche a notevole distanza dall'alveo del torrente Tanagro. Di conseguenza, vengono interessate dall'allagamento le seguenti infrastrutture e centri abitati:

- SS 19 delle Calabrie in prossimità della confluenza del torrente Porcile con il fiume Tanagro;
- Autostrada A2 – E45, in modo diffuso, dalla galleria “Cerreta” fino allo svincolo “Buonabitacolo-Padula”;
- Parte dell'area industriale di Montesano Scalo;
- SS517, in modo diffuso, da Ponte Calore fino allo svincolo “Buonabitacolo-Padula”;
- Aree in sinistra idraulica tra gli abitati di Bagno, Caiazzano, Ascolese;
- Aree in sinistra idraulica limitrofe all'abitato di Silla.

Si evidenzia, come esplicitato nel paragrafo §4.2, che il dominio di calcolo in questa analisi preliminare è stato esteso fino al limite della copertura del DTM 1x1 m ministeriale: alcuni allagamenti in sinistra idraulica vengono contenuti dal confine del dominio di calcolo.

6. CONCLUSIONI

La presente analisi preliminare di dam-break mostra gli effetti dell'onda di piena generata dall'ipotetico collasso delle opere di sbarramento previste nell'Alternativa 2 dello Studio di fattibilità delle alternative progettuali della Diga di Casalbuono.

I principali risultati sono i seguenti:

- Diga A1* → il colmo di portata che si produce a valle diga a seguito del collasso è pari a 5'781 m³/s. Gli allagamenti diffusi nelle aree agricole limitrofe al fiume Tanagro dalla sezione dello sbarramento fino al Ponte Calore determina una marcata riduzione di portata, fino ai circa 81 m³/s calcolati a Sala Consilina (Ponte Mesole). Tale portata, misurata indicativamente a 20 km di distanza dall'abitato di Polla, risulta inferiore di quella cinquecentennale espressa per il fiume Tanagro a Polla, pari a $Q_{500} = 734.8$ m³/s nella "Rivisitazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino Idrografico del Fiume Sele".

Gli allagamenti si estendono nelle aree limitrofe al corso d'acqua principale, prevalentemente agricole. L'opera infrastrutturale principale che viene interessata da tali allagamenti è il Ponte del Re e l'omonimo ponte della SS 19 delle Calabrie, situato a poche centinaia di metri dallo sbarramento.

- Diga D → il colmo di portata che si produce a valle diga a seguito del collasso è pari a 10'674 m³/s. Gli allagamenti diffusi nelle aree agricole limitrofe al fiume Tanagro dalla sezione dello sbarramento fino al Ponte Calore determina una marcata riduzione di portata, fino ai circa 108 m³/s calcolati a Polla. Tale portata risulta inferiore di quella cinquecentennale espressa per il fiume Tanagro a Polla, pari a $Q_{500} = 734.8$ m³/s nella "Rivisitazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino Idrografico del Fiume Sele".

Gli allagamenti si estendono diffusamente nelle aree agricole del Vallo di Diano, indicativamente fino ai territori in prossimità di Atena Lucana. Vengono interessati in parte da tali allagamenti alcuni centri abitati situati in prossimità del fiume Tanagro, tra i quali Montesano Scalo, Bagno, Caiazzano, Ascolese e Silla. Le principali opere infrastrutturali interessate sono l'Autostrada A2 – E45, la SS19 delle Calabrie e la SS517.

7. ALLEGATI

Alla presente relazione sono allegati i seguenti elaborati grafici per l'analisi di dam-break preliminare rispettivamente relativa alla Diga A1* e alla Diga D:

- **“Inquadramento generale”:**

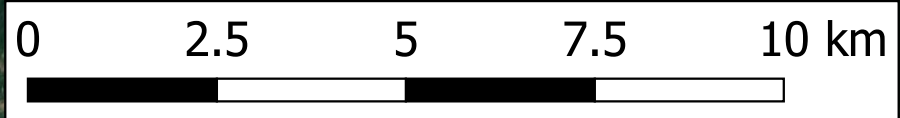
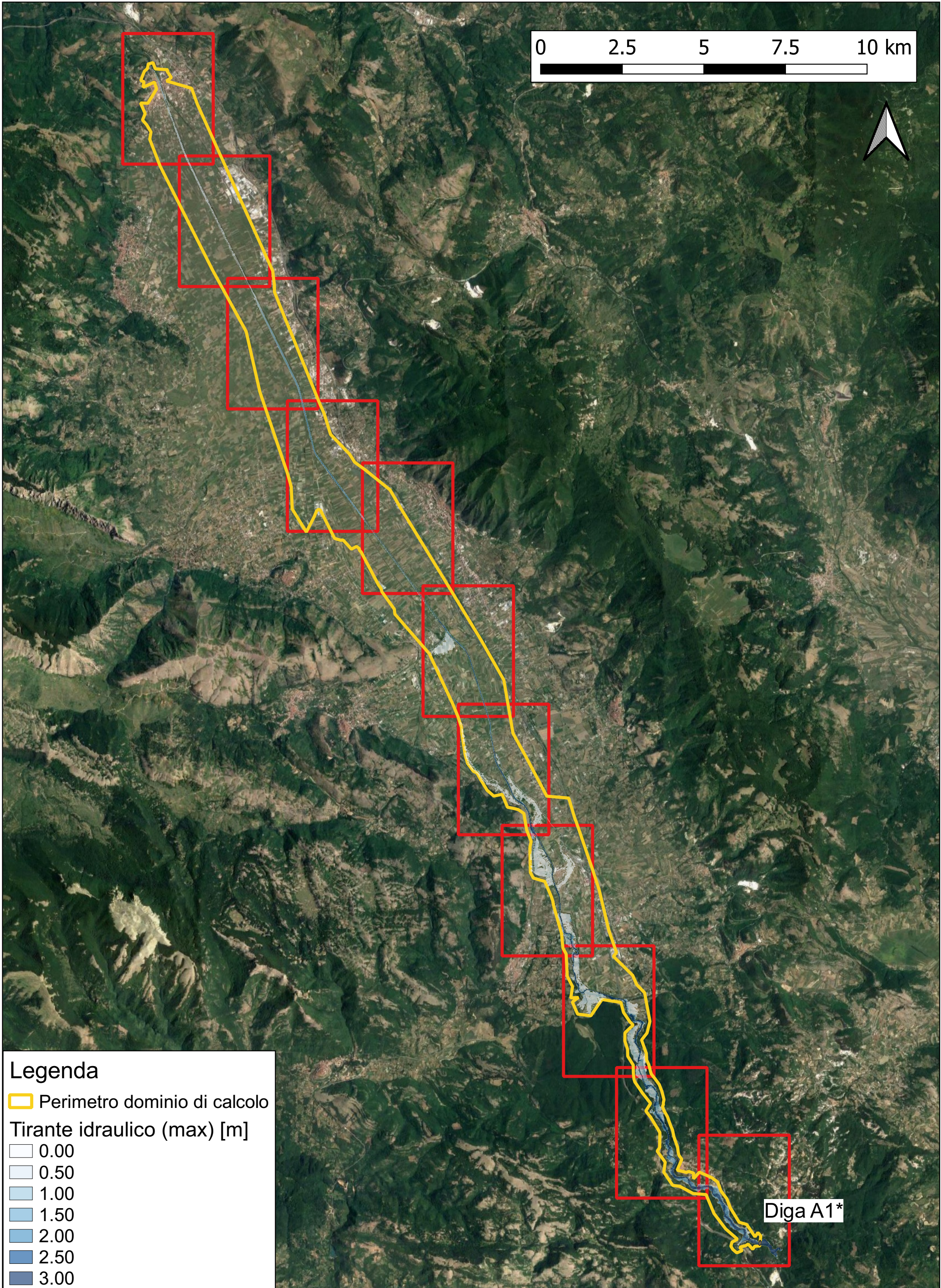
Mappa di inquadramento dell'intero dominio di calcolo, che mostra gli n. 11 riquadri (per l'analisi della Diga A1*) e gli n. 10 riquadri (per l'analisi della Diga D), in scala 1:100'000 e su sfondo satellitare. Viene riportato in questa mappa anche il perimetro del dominio di calcolo;

- **“Mappa dei massimi tiranti idraulici”:**


Mappa dei massimi tiranti idraulici, suddivisa nei n. 11 riquadri (per l'analisi della Diga A1*) e n. 10 riquadri (per l'analisi della Diga D), in scala 1:10'000 e su sfondo satellitare.

Viene riportato in questa mappa anche il perimetro del dominio di calcolo e le sezioni ritenute di interesse per l'analisi dei risultati, inclusa per ciascuna la propria etichetta recante la progressiva in km dalla sezione dello sbarramento.








Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga A1* - Analisi di dam-break preliminare
Inquadramento generale



Legenda

 Perimetro dominio di calcolo

Tirante idraulico (max) [m]

-  0.00
-  0.50
-  1.00
-  1.50
-  2.00
-  2.50
-  3.00

Diga A1*

Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga A1* - Analisi di dam-break preliminare
Mappa dei massimi tiranti idraulici lungo il fiume Tanagro



Legenda

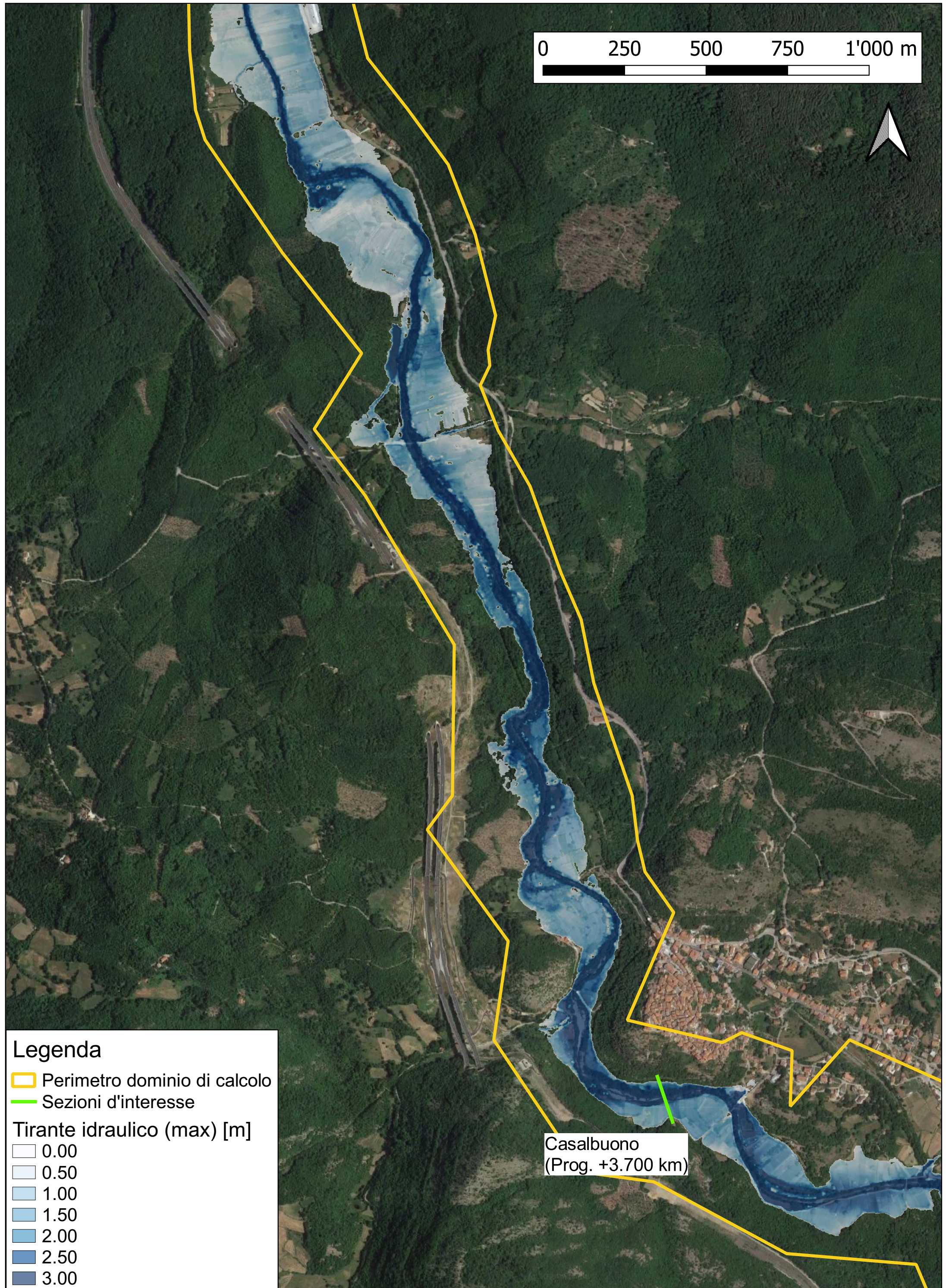
- Perimetro dominio di calcolo
- Sezioni d'interesse

Tirante idraulico (max) [m]

- 0.00
- 0.50
- 1.00
- 1.50
- 2.00
- 2.50
- 3.00

Diga A1*

Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga A1* - Analisi di dam-break preliminare
Mappa dei massimi tiranti idraulici lungo il fiume Tanagro



Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga A1* - Analisi di dam-break preliminare
Mappa dei massimi tiranti idraulici lungo il fiume Tanagro



Legenda

- Perimetro dominio di calcolo
- Sezioni d'interesse

Tirante idraulico (max) [m]

- 0.00
- 0.50
- 1.00
- 1.50
- 2.00
- 2.50
- 3.00

Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga A1* - Analisi di dam-break preliminare
Mappa dei massimi tiranti idraulici lungo il fiume Tanagro



0 250 500 750 1'000 m

Ponte Calore
(Prog. +11.500 km)

Legenda

- Perimetro dominio di calcolo
- Sezioni d'interesse

Tirante idraulico (max) [m]

- 0.00
- 0.50
- 1.00
- 1.50
- 2.00
- 2.50
- 3.00

Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga A1* - Analisi di dam-break preliminare
Mappa dei massimi tiranti idraulici lungo il fiume Tanagro



Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga A1* - Analisi di dam-break preliminare
Mappa dei massimi tiranti idraulici lungo il fiume Tanagro



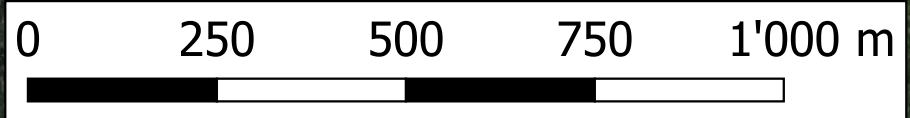
Legenda

- Perimetro dominio di calcolo
- Sezioni d'interesse

Tirante idraulico (max) [m]

- 0.00
- 0.50
- 1.00
- 1.50
- 2.00
- 2.50
- 3.00

Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga A1* - Analisi di dam-break preliminare
Mappa dei massimi tiranti idraulici lungo il fiume Tanagro



Legenda

- Perimetro dominio di calcolo
- Sezioni d'interesse

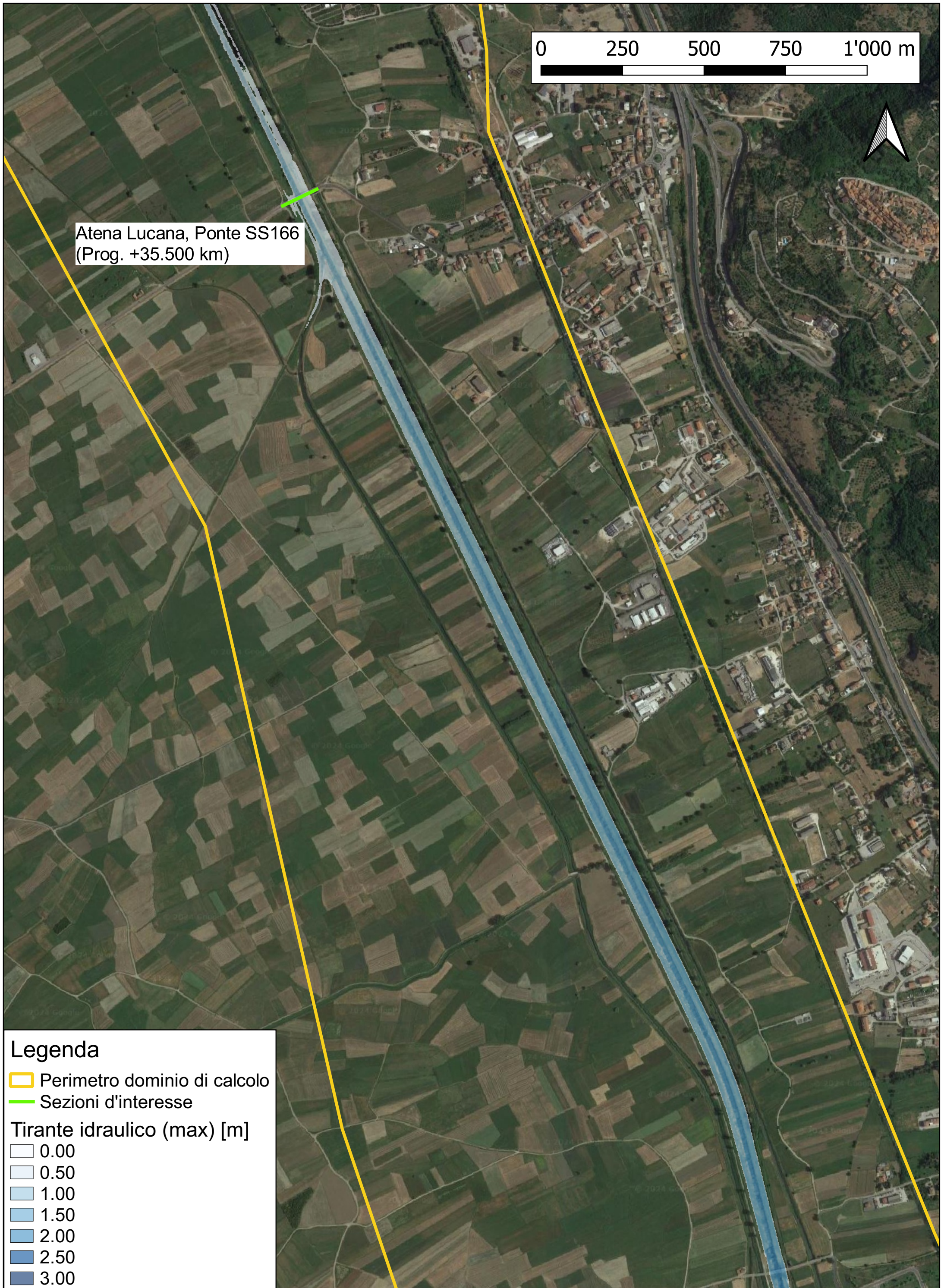
Tirante idraulico (max) [m]

- 0.00
- 0.50
- 1.00
- 1.50
- 2.00
- 2.50
- 3.00

Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga A1* - Analisi di dam-break preliminare
Mappa dei massimi tiranti idraulici lungo il fiume Tanagro



Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga A1* - Analisi di dam-break preliminare
Mappa dei massimi tiranti idraulici lungo il fiume Tanagro



Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga A1* - Analisi di dam-break preliminare
Mappa dei massimi tiranti idraulici lungo il fiume Tanagro



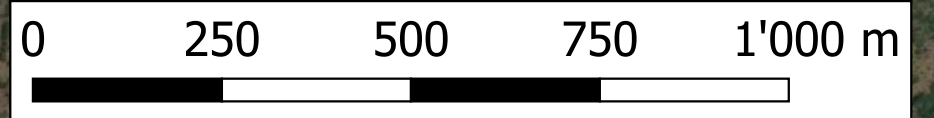
Legenda

- Perimetro dominio di calcolo
- Sezioni d'interesse

Tirante idraulico (max) [m]

- 0.00
- 0.50
- 1.00
- 1.50
- 2.00
- 2.50
- 3.00

Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga A1* - Analisi di dam-break preliminare
Mappa dei massimi tiranti idraulici lungo il fiume Tanagro



Polla
(Prog. +47.300 km)



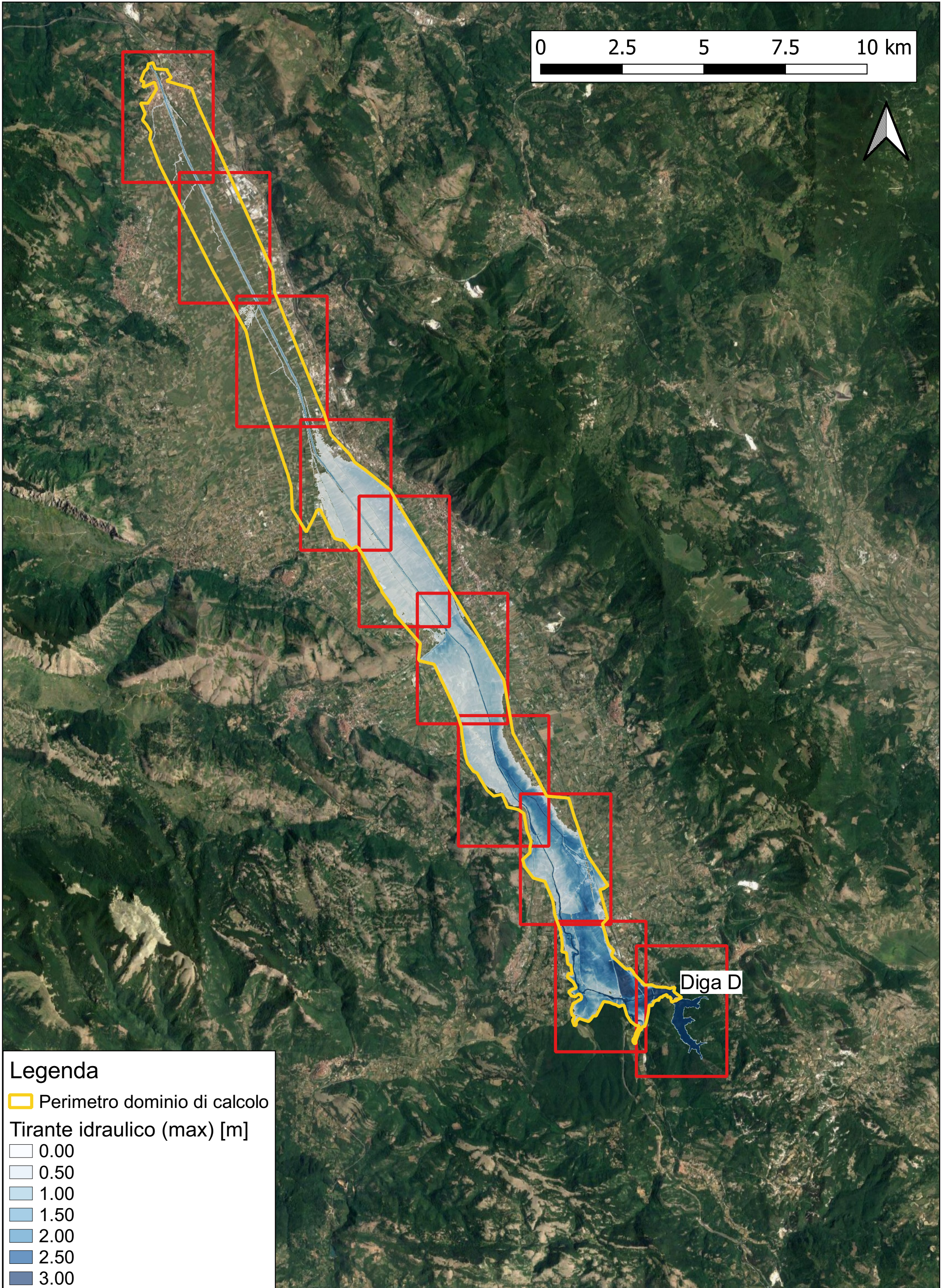
Legenda

- Perimetro dominio di calcolo
- Sezioni d'interesse

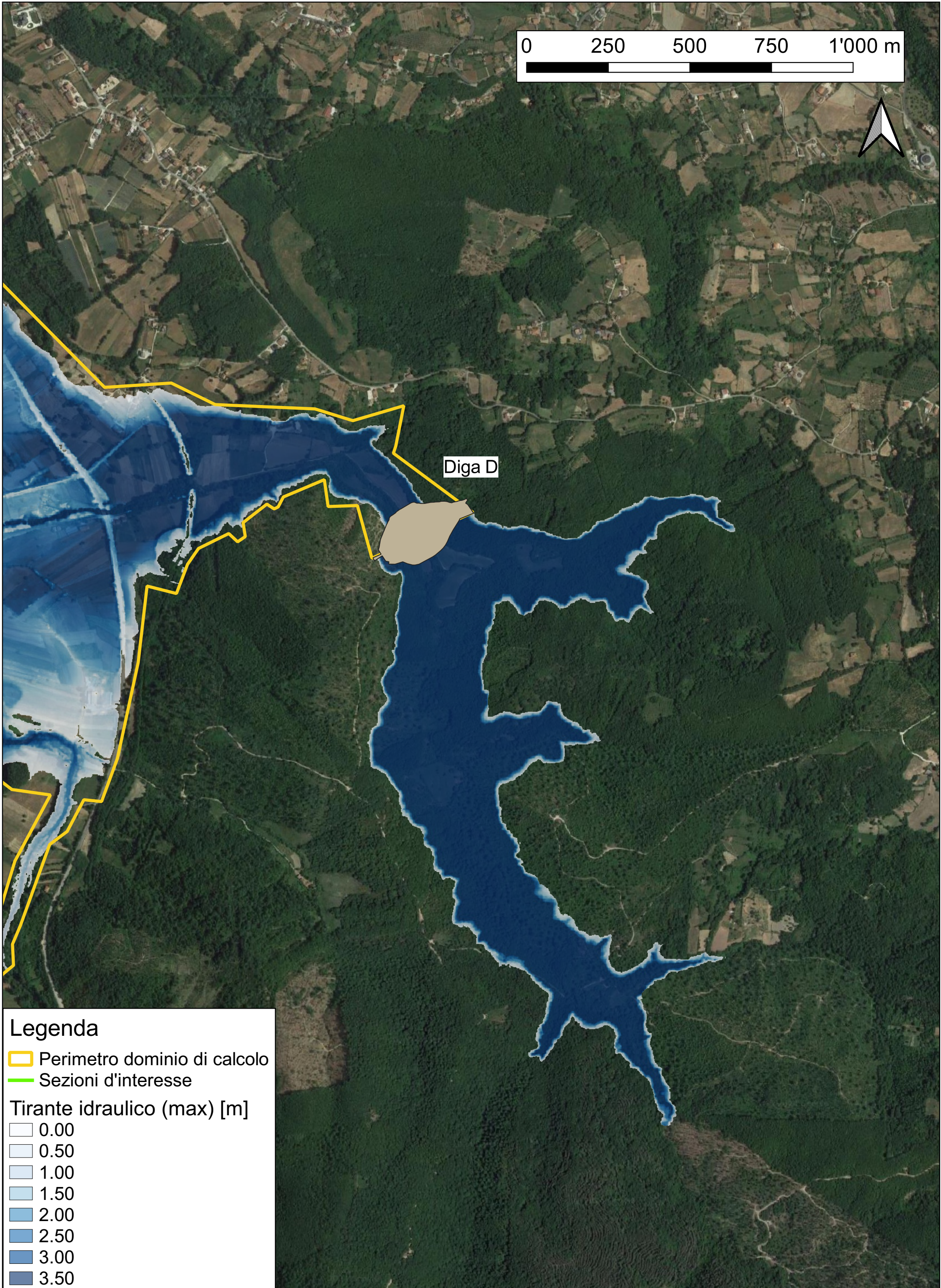
Tirante idraulico (max) [m]

- 0.00
- 0.50
- 1.00
- 1.50
- 2.00
- 2.50
- 3.00

Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga D - Analisi di dam-break preliminare Inquadramento generale



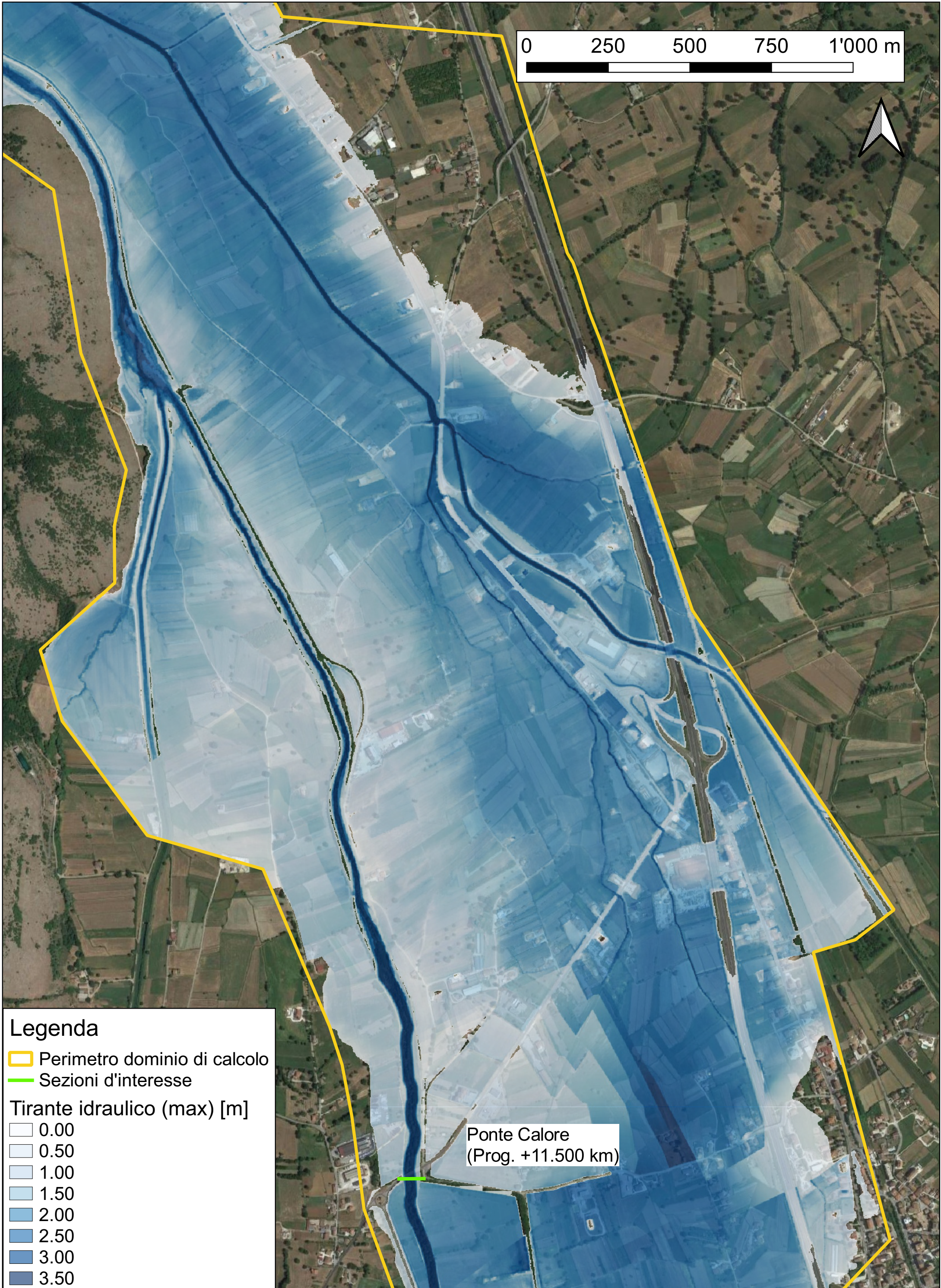
Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga D - Analisi di dam-break preliminare
Mappa dei massimi tiranti idraulici lungo il torrente Porcile ed il fiume Tanagro



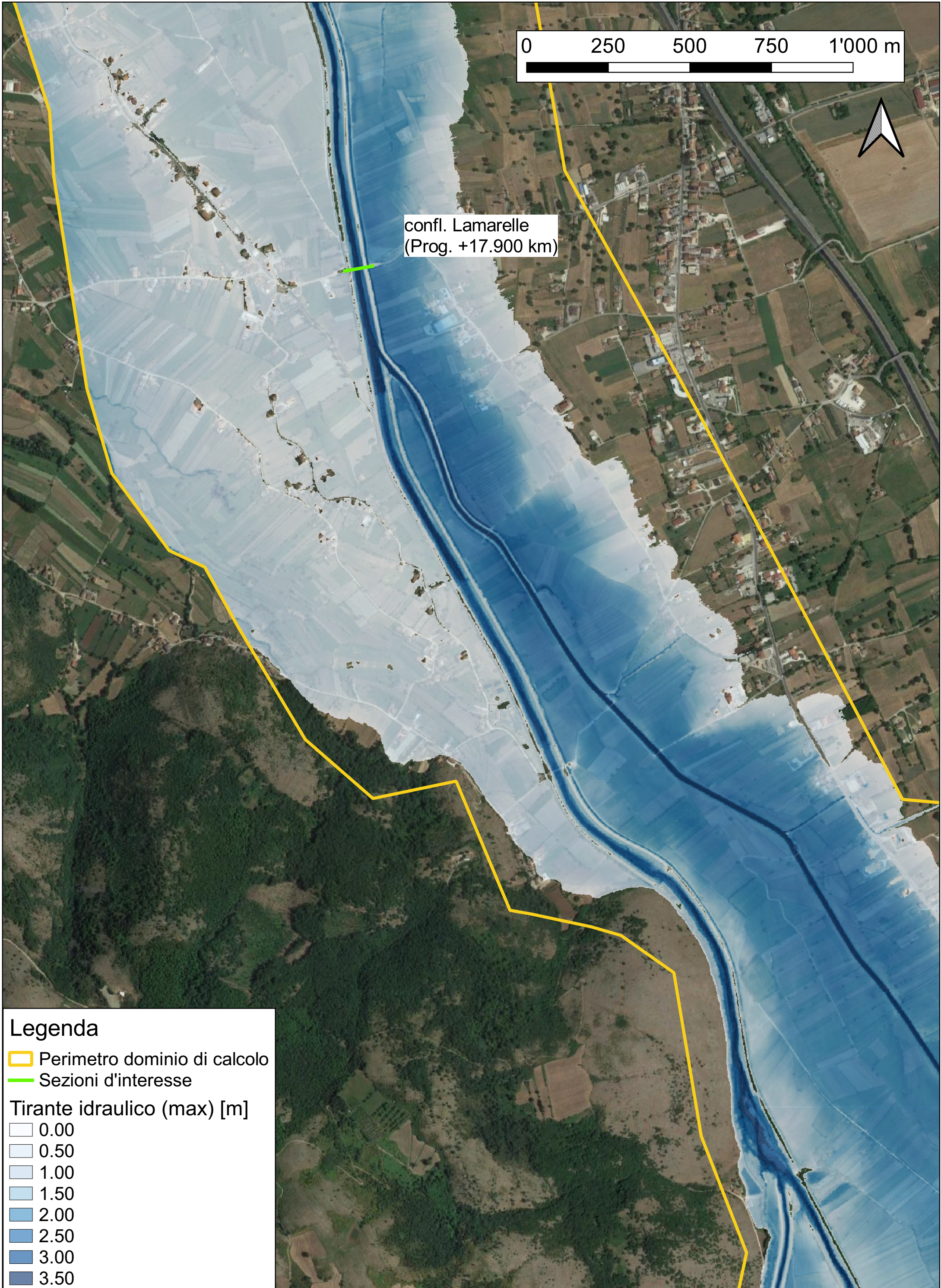
Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga D - Analisi di dam-break preliminare
Mappa dei massimi tiranti idraulici lungo il torrente Porcile ed il fiume Tanagro



Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga D - Analisi di dam-break preliminare
Mappa dei massimi tiranti idraulici lungo il torrente Porcile ed il fiume Tanagro



Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga D - Analisi di dam-break preliminare
Mappa dei massimi tiranti idraulici lungo il torrente Porcile ed il fiume Tanagro



Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga D - Analisi di dam-break preliminare
Mappa dei massimi tiranti idraulici lungo il torrente Porcile ed il fiume Tanagro



Legenda

- Perimetro dominio di calcolo
- Sezioni d'interesse

Tirante idraulico (max) [m]

- 0.00
- 0.50
- 1.00
- 1.50
- 2.00
- 2.50
- 3.00
- 3.50

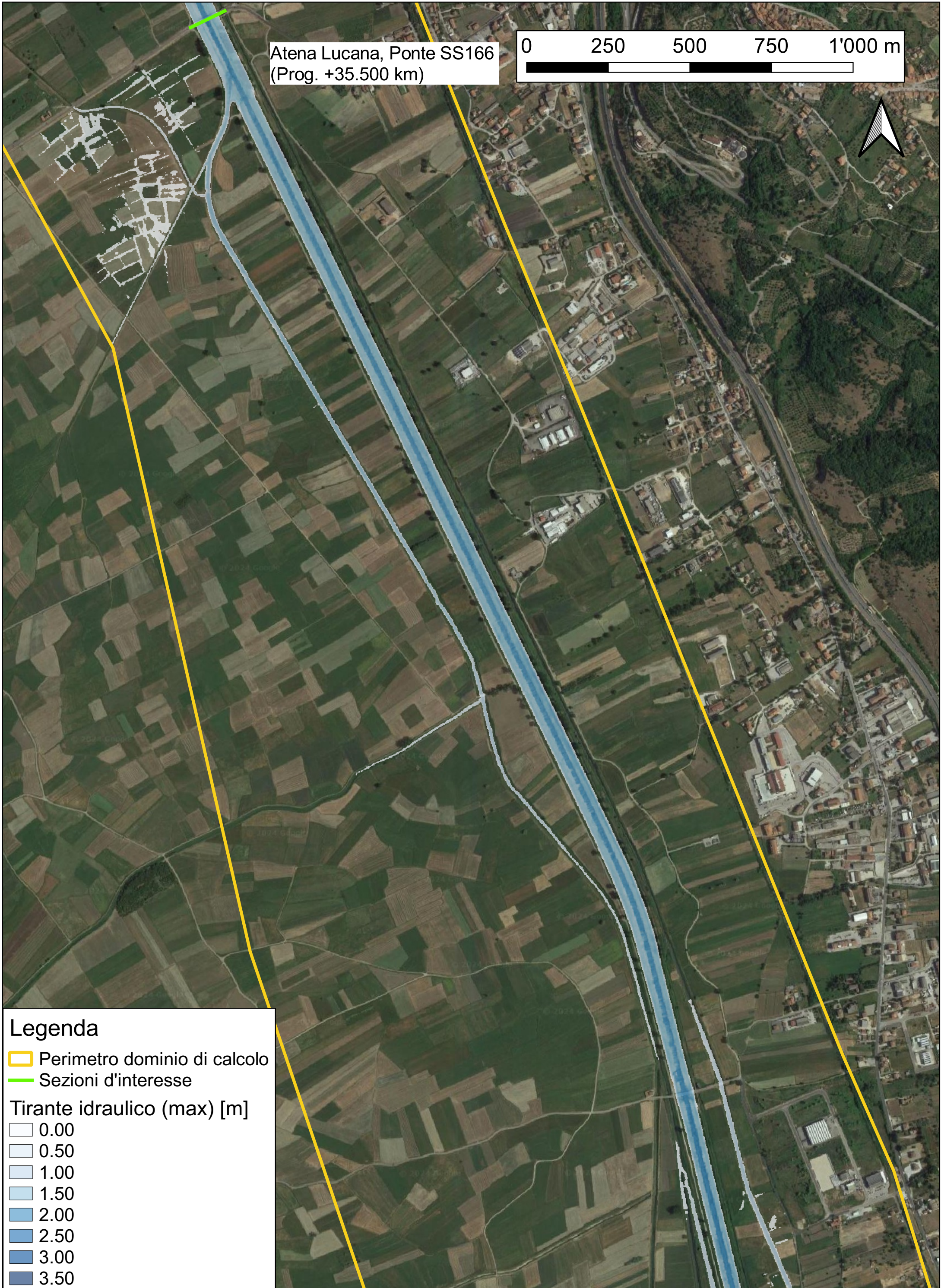
Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga D - Analisi di dam-break preliminare
Mappa dei massimi tiranti idraulici lungo il torrente Porcile ed il fiume Tanagro



Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga D - Analisi di dam-break preliminare
Mappa dei massimi tiranti idraulici lungo il torrente Porcile ed il fiume Tanagro





Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga D - Analisi di dam-break preliminare
Mappa dei massimi tiranti idraulici lungo il torrente Porcile ed il fiume Tanagro





Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga D - Analisi di dam-break preliminare
Mappa dei massimi tiranti idraulici lungo il torrente Porcile ed il fiume Tanagro



Legenda

-  Perimetro dominio di calcolo
-  Sezioni d'interesse

Tirante idraulico (max) [m]

-  0.00
-  0.50
-  1.00
-  1.50
-  2.00
-  2.50
-  3.00
-  3.50

Diga di Casalbuono - Alternativa 2, Diga D - Analisi di dam-break preliminare
Mappa dei massimi tiranti idraulici lungo il torrente Porcile ed il fiume Tanagro



Polla
(Prog. +47.300 km)

0 250 500 750 1'000 m

Legenda

- Perimetro dominio di calcolo
- Sezioni d'interesse

Tirante idraulico (max) [m]

- 0.00
- 0.50
- 1.00
- 1.50
- 2.00
- 2.50
- 3.00
- 3.50