

**S.S 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE"**  
**TRATTO SPOLETO - ACQUASPARTA**  
**1° stralcio: Madonna di Baiano-Firenzuola**

**AGGIORNAMENTO PROG. DEFINITIVO**

COD. **PG143**

**PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA**

**IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:**

Dott. Ing. Nando Granieri  
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

**IL PROGETTISTA:**

Dott. Ing. Federico Durastanti  
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni A844

**IL GEOLOGO:**

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini  
 Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

**IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:**

Dott. Ing. Filippo Pambianco  
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

**Il Responsabile di Progetto**

Arch. Pianificatore Marco Colazza

**Il Responsabile del Procedimento**

Dott. Ing. Alessandro Micheli

**IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:**

**MANDATARIA:**

**MANDANTI:**



Dott. Ing. N. Granieri	Dott. Ing. D. Carlacchini	Dott. Ing. V. Rotisciani
Dott. Arch. N. Kamenicky	Dott. Ing. S. Sacconi	Dott. Ing. F. Macchioni
Dott. Ing. V. Truffini	Dott. Ing. G. Cordua	Geom. C. Vischini
Dott. Arch. A. Bracchini	Dott. Ing. V. De Gori	Dott. Ing. V. Piunno
Dott. Ing. F. Durastanti	Dott. Ing. C. Consorti	Dott. Ing. G. Pulli
Dott. Ing. E. Bartolucci	Dott. Ing. F. Dominici	Geom. C. Sugaroni
Dott. Geol. G. Cerquiglini		
Geom. S. Scopetta		
Dott. Ing. L. Sbrenna		
Dott. Ing. E. Sellari		
Dott. Ing. L. Dinelli		
Dott. Ing. L. Nani		
Dott. Ing. F. Pambianco		
Dott. Agr. F. Berti Nulli		



PROTOCOLLO

DATA

**STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO**  
**STUDIO IDRAULICO DI PROPAGAZIONE DELLE PIENE-COLLASSO DIGA**  
**RELAZIONE IDRAULICA**

CODICE PROGETTO			NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00-ID01-IDR-RE01			
D P P G 1 4 3	D	2 0	CODICE ELAB. T 0 0 I D 0 1 I D R R E 0 1		A	-
A	Emissione		30/11/2020	N. Neri	F. Durastanti	N. Granieri
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## Sommarario

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO</b> .....	<b>2</b>
2.1	LA DIGA .....	4
<b>3</b>	<b>DATI ACQUISITI</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>MODELLAZIONE IDRAULICA</b> .....	<b>5</b>
4.1	COSTRUZIONE DEL MODELLO DEL TERRENO .....	6
4.1.1	<i>Pre processing in GIS</i> .....	6
4.1.2	<i>Boundaries</i> .....	7
4.2	IDROGRAMMA IN INGRESSO .....	8
4.3	PARAMETRI DI CALIBRAZIONE .....	9
4.3.1	<i>Scabrezza</i> .....	9
4.3.2	<i>Viscosità cinematica</i> .....	12
4.4	SIMULAZIONI E RISULTATI .....	12
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>24</b>

## **1 Premessa**

La seguente relazione illustra lo studio idraulico condotto sul Torrente Marroggia al fine di individuare le aree di allagamento conseguenti al crollo istantaneo della diga di Arezzo, al confine tra le province di Terni e di Perugia. Lo studio si inserisce nell'ambito del 1° stralcio del progetto di completamento della strada delle tre valli umbre, nel tratto Fiorenzuola-Baiano di Spoleto.

Tale studio venne richiesto nel 2012/2013 in sede di Conferenza dei servizi dal Consorzio di Bonificazione Umbra gestore del sito, con l'aggiornamento del Progetto definitivo lo studio è stato sviluppato anche a seguito dell'incontro con la struttura tecnica del Consorzio, riportata in apposito Verbale.

A seguito dell'acquisizione e della verifica dei dati disponibili è stato implementato un modello idraulico bidimensionale mediante il modulo dedicato, MIKE21, del codice di calcolo MIKE sviluppato dal *Danish Hydraulic Institute* (DHI). Sono state condotte analisi nella configurazione topografica attuale e nella configurazione post operam.

## **2 Inquadramento**

Il Torrente Marroggia appartiene al sistema Timia-Teverone-Marroggia che convoglia le acque di drenaggio della Valle umbra meridionale nel sistema Topino-Chiascio afferente al fiume Tevere umbro. Il deflusso naturale del torrente è stato regolato negli anni '60 con la costruzione della diga di Arezzo sul versante orientale dei Monti Martani, in prossimità della strada provinciale 418 che collega Acquasparta con Spoleto.

Il nuovo tracciato stradale delle tre valli umbre si snoda per circa 4,37 km, di cui 2,66 km su rilevato e 1,7 km su viadotto; prevede l'intersezione con il Torrente Marroggia in località Crocemaroggia a monte dell'attraversamento della SR418.

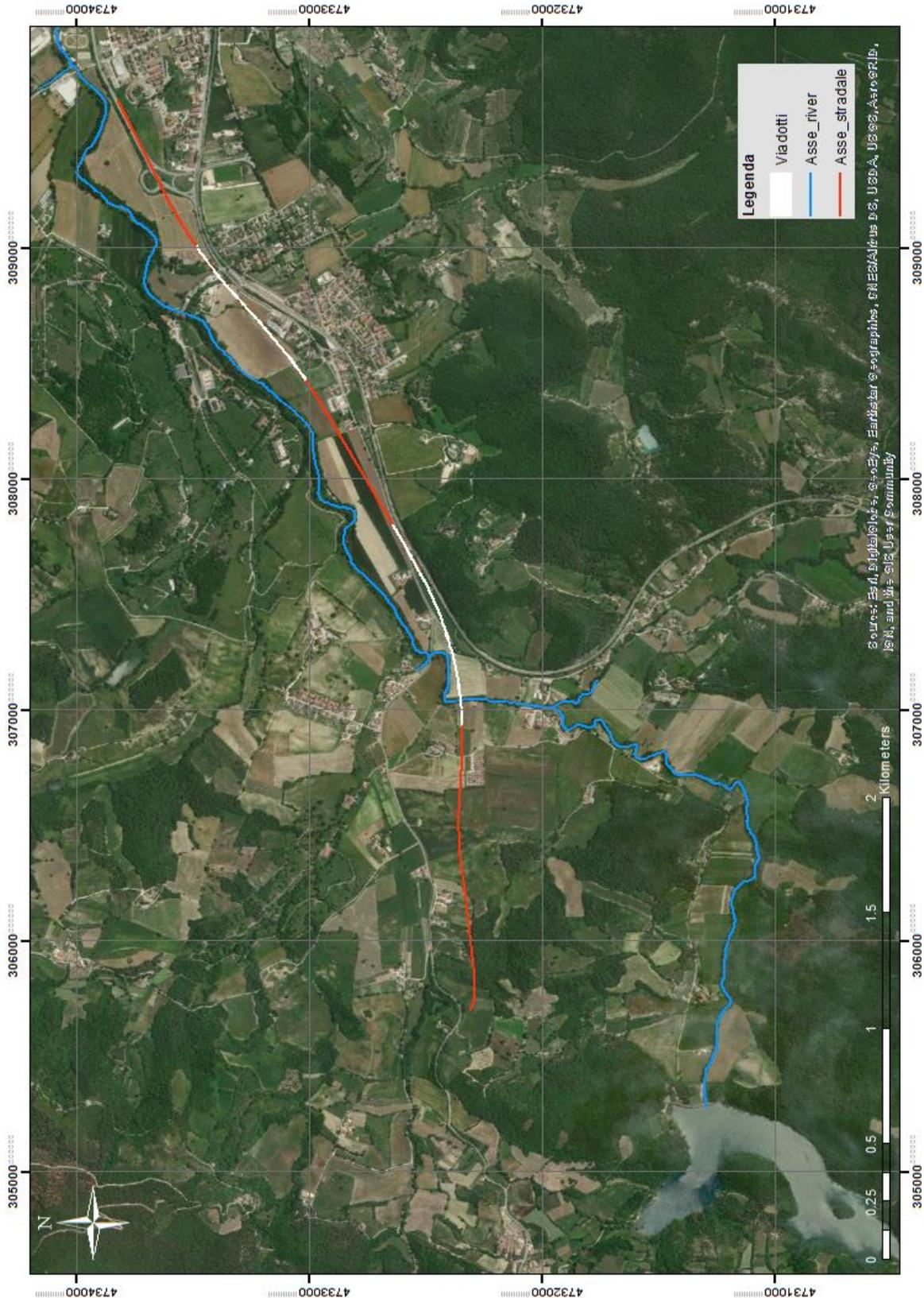


Figura 1. Inquadramento dell'intervento su immagine satellitare

## **2.1 La diga**

La diga di Arezzo è la più importante opera idraulica realizzata negli ultimi 50 anni dal Consorzio di Bonificazione Umbra per la regolazione delle piene. Collaudata nel 1964, a partire dal 1977 assolve la duplice funzione di regolazione delle piene e serbatoio per l'irrigazione.

Si tratta di una diga "a gravità" ovvero resistente alla spinta dell'acqua invasata grazie all'azione del proprio peso e dell'attrito tra i conci e dell'ammasso roccioso di fondazione.

Lo sbarramento ha un andamento planimetrico costituito da tre tratti rettilinei raccordati da due curve circolari di raggio di m 100 e m 130 (tale andamento dà una soddisfacente impostazione dell'opera sia in rapporto alla morfologia che alla costipazione del terreno) ed è suddiviso in 19 conci di m 14 ciascuno con una larghezza massima della fondazione pari a 31 m.

La capienza del serbatoio è pari a circa 6,5 milioni di mc, di cui 3,6 destinati all'irrigazione e 0,5 come franco morto. La capacità residua tra le due quote di circa 2,4 Milioni di mc è destinata alla modulazione delle piene.

Il bacino idrografico captato dalla diga si estende su una superficie di circa 23 kmq su un dislivello che va dai 900 m s.l.m. del Monte Vagliamenti, dove nasce il Torrente Marroggia, ai 410 m s.l.m. del livello di massimo invaso della diga. Il lago artificiale prodotto dallo sbarramento si estende tra i comuni di Spoleto (PG) e Acquasparta (TR) ed è denominato anche come lago di Firenzuola, dal nome del borgo sovrastante.



Figura 2. Vista dello sbarramento da monte (fonte Consorzio di Bonificazione Umbra)

### 3 Dati acquisiti

L'impostazione e dello studio idraulico è stato basato sui seguenti dati:

- Relazione tecnica relativa *all'analisi dei profili di piena a valle della diga di Arezzo sul Torrente Marroggia* redatta nel '92 dal Prof. Ing. Ignazio Becchi dell'Università degli Studi di Firenze;
- Planimetrie delle aree allagate relative ai vari scenari di progetto (collasso diga; apertura degli scarichi);
- Nuvola di punti LiDAR in formato LAS (LiDAR Aerial Survey) dell'area di studio;
- Fogli 335 e 336 della Cartografia Tecnica Regionale in formato dwg;
- Planimetria e modello 3D dell'intervento di progetto.

### 4 Modellazione idraulica

La modellazione idraulica è stata effettuata mediante il software MIKE 21 del *Danish Hydraulic Institute – DHI*, certificato dalla F.E.M.A. (*Federal Emergency Management Agency*).

MIKE 21 è un programma modulare contenente diversi codici per la simulazione di corpi idrici per i quali sia possibile schematizzare il comportamento con l'approssimazione idrodinamica bidimensionale piana, per fluidi verticalmente omogenei: il numero "21" che contraddistingue il codice sta proprio ad indicare la bidimensionalità nel piano ("2") e la monodimensionalità lungo la verticale ("1").

Il modulo idrodinamico risolve le equazioni complete del moto di De Saint Venant in un caso bidimensionale piano non stazionario. Le equazioni del modello sono risolte alle differenze finite utilizzando il metodo ADI (*Alternating Direction Implicit*). Il sistema di equazioni linearizzate che scaturisce dall'algoritmo è risolto con il metodo DS (*Double Sweep, Abbott, 1979*).

Il modulo idrodinamico (HD) consente di simulare le variazioni di livello e di corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate. Il ricorso a una modellazione esclusivamente bidimensionale richiede informazioni topografiche di elevato dettaglio oltre che nelle aree golenali anche all'interno dell'alveo.

I dati di input da implementare nel modello si possono raggruppare nelle seguenti categorie:

- parametri temporali e del dominio (risoluzione della griglia di calcolo, time step, durata simulazione);
- fattori di calibrazione (bed resistance, viscosità turbolenta, ecc.);
- condizioni iniziali (livelli e campi di corrente);
- condizioni al contorno (livelli, portate);

L'utilizzo di un approccio di tipo bidimensionale, permette di indagare non solo l'intensità del fenomeno ma anche direzione e verso del vettore velocità in ogni cella della matrice. Ad esempio per ognuno degli elementi della griglia, sono rappresentate le variazioni temporali delle seguenti variabili:

- profondità e livelli idrici;
- flussi di corrente nelle direzioni principali;
- velocità di corrente e direzione

#### **4.1 Costruzione del modello del terreno**

La prima scelta progettuale prevista nell'approccio 2D consiste nello stabilire le dimensioni del dominio e della maglia con cui discretizzarlo. Tale scelta è di fondamentale importanza in quanto è in grado di influenzare direttamente i tempi computazionali: l'aumentare del passo della griglia determina una diminuzione dei tempi di calcolo a fronte di una minore accuratezza spaziale della soluzione. La scelta deve quindi essere un compromesso tra le due esigenze.

Analizzando l'area di studio si è ritenuto opportuno adottare una maglia quadrata di lato 4 m considerando l'estensione del dato LAS fornito.

##### **4.1.1 Pre processing in GIS**

Dalla nuvola dei punti in formato LAS è stato ricavato, mediante tools dedicati GIS, il dato raster con risoluzione di 1 m congruente a quella del dato rilevato. Si è proceduto poi ricampionando il modello digitale del terreno ottenuto con passo di 4 m per le motivazioni sopra descritte.

Una volta importata l'orografia del terreno, definita batimetria in MIKE 21, sono state effettuate operazioni di elaborazione dei dati al fine di escludere dal computo tutte le celle prive di elevazione o quelle decisamente distanti dall'area di studio.

#### **4.1.2 Boundaries**

La seconda azione in termini di importanza nell'impostazione di un modello idraulico bidimensionale consiste nella definizione delle condizioni al contorno. Il DTM è stato tagliato in modo da avere sul bordo occidentale il coronamento della diga (in corrispondenza del quale sarà assegnato l'idrogramma di piena) e sul bordo orientale in modo tale da intercettare ortogonalmente il deflusso. Ai fini della stabilità del modello è essenziale infatti che il deflusso alle boundaries avvenga perpendicolarmente. Un'altra "finestra aperta" è stata impostata in corrispondenza della valle del Torrente Rio per considerare correttamente l'espansione dei volumi di piena.

E' stata posta particolare attenzione alle celle di bordo, celle che sono state bloccate eccezion fatta per quelle selezionate per la definizione delle condizioni al contorno. In corrispondenza di questi tratti è stata modificata localmente l'elevazione delle celle, abbassandola, per poter assegnare un battente idrico tale assicurare la presenza di acqua durante l'intera simulazione favorendo così la stabilità del calcolo.

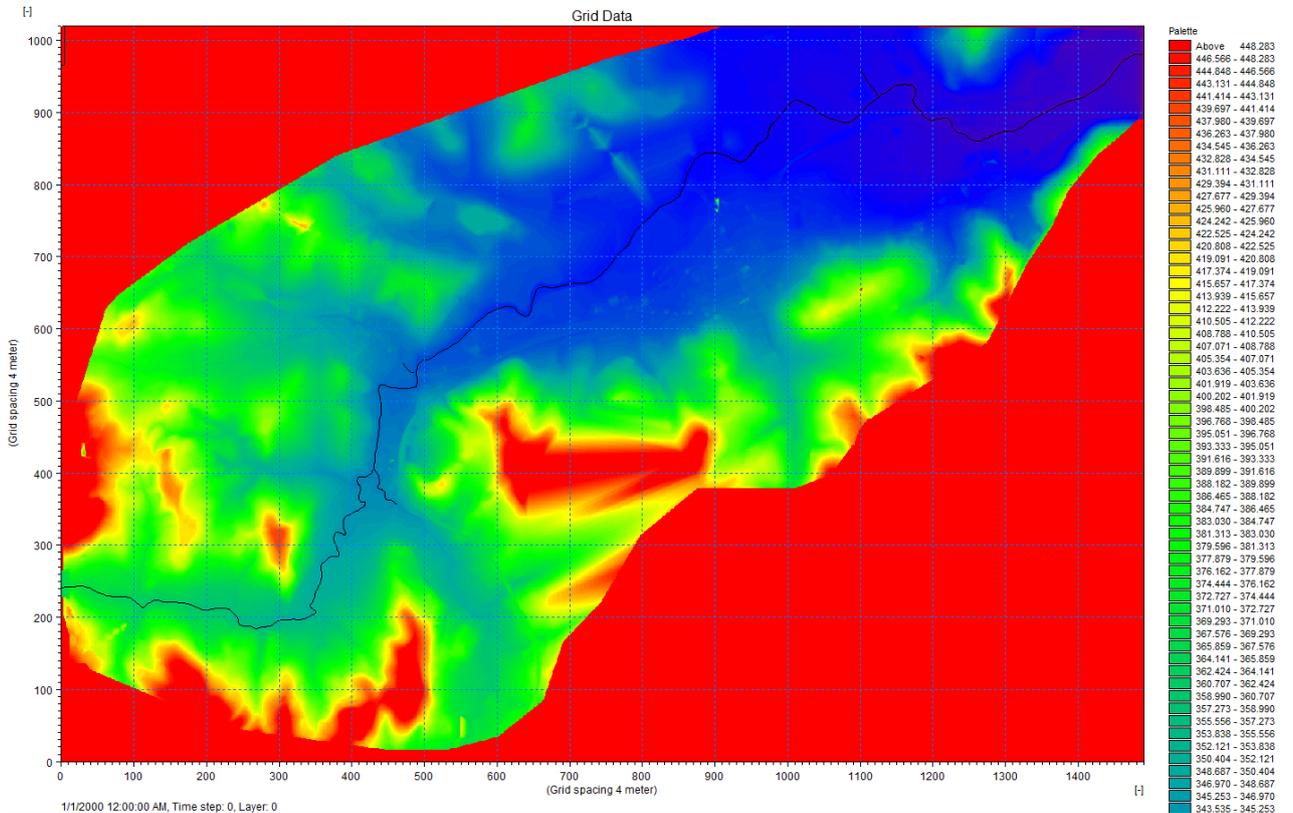
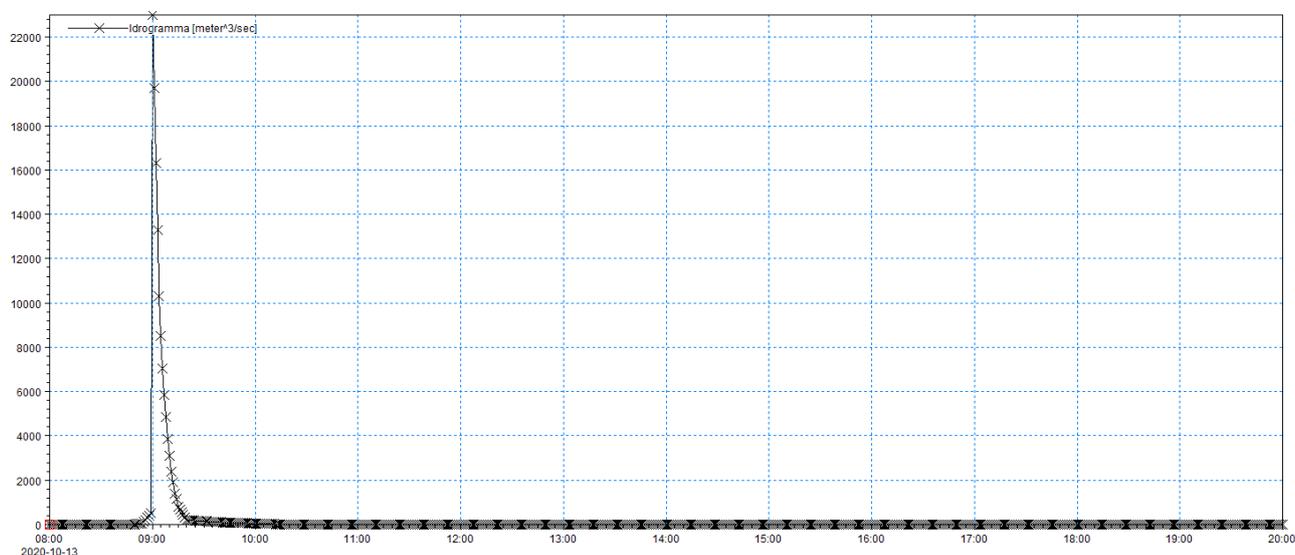


Figura 3. Batimetria- Configurazione Ante Operam

Per la simulazione dello scenario post operam è stata apportata una modifica alla batimetria finora costruita, sovrapponendo il modello digitale dell'opera di progetto. I tratti in viadotto sono stati modellati solo con la presenza delle pile per poter rappresentare correttamente la dinamica del deflusso tra di esse.

#### 4.2 Idrogramma in ingresso

L'idrogramma di progetto è stato desunto dalla relazione tecnica sull'Analisi dell'onda di piena a valle della diga di Arezzo mediante ricostruzione grafica dell'immagine riportata nell'appendice. L'idrogramma presenta un andamento pressoché esponenziale con un picco di 23000 mc/s all'istante  $t_0$  in cui crolla la diga. La curva si esaurisce nell'arco temporale di 40 minuti. Per favorire la stabilità del calcolo è stata inserita una breve curva di crescita visibile nel grafico sotto riportato.



**Figura 4. Idrogramma dovuto al collasso istantaneo dello sbarramento**

### 4.3 Parametri di calibrazione

Il procedimento di taratura del modello idrodinamico MIKE 21 implica la messa a punto di un certo numero di parametri, primi fra tutti la scabrezza (in alveo e fuori alveo) e la viscosità cinematica.

#### 4.3.1 Scabrezza

L'accuratezza con la quale viene definita la scabrezza influenza notevolmente il risultato della simulazione idrodinamica, in termini sia di estensione delle aree inondate, sia di distribuzione dei tiranti idrici e delle velocità di scorrimento.

Il software permette di assegnare ad ogni cella del dominio il coefficiente di Strickler  $k_s$  in base alla nota equazione di Chézy. La caratterizzazione delle condizioni di scabrezza è stata effettuata stimando il coefficiente di Gauckler-Strickler a partire da una stima del coefficiente di Manning, suo reciproco.

Per quanto concerne la scabrezza delle zone fuori alveo, si è fatto riferimento ai valori tabellati del coefficiente di Manning in funzione dell'uso del suolo<sup>1</sup> dai quali si è risaliti ai valori del coefficiente di scabrezza di Strickler. Questi ultimi, nei modelli 2D, devono essere opportunamente incrementati per tener conto del fatto che sono già considerati gli effetti di

<sup>1</sup> Cfr S. Grimaldi et al. "Flow time estimation with spatially variable hillslope velocity in ungauged basins", *Advances in Water Resources* 33(2010) 1216-1223  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.903.3106&rep=rep1&type=pdf>

resistenza al moto indotti da condizioni di moto non monodimensionale come turbolenza e moti vorticosi. Conseguentemente a quanto detto, i valori del coefficiente di Gauckler-Strickler 1D sono stati maggiorati del 10%. Nella tabella seguente si riportano i valori utilizzati in funzione delle classi di uso del suolo estratte in GIS in base alla Carta dell'Uso del Suolo del 2018 disponibile sul portale ISPRA.

ID CLC	Descrizione Corine Land Use	n	Ks 1D	Ks 2D	Ks progetto
		$m^{-1/3} s$	$m^{1/3} s^{-1}$	$m^{1/3} s^{-1}$	$m^{1/3} s^{-1}$
112	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado	0.05	20.00	30.00	35
211	Seminativi in aree non irrigue	0.12	8.33	18.33	15
242	Sistemi colturali e particellari complessi	0.25	4.00	14.00	
243	Colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	0.15	6.67	16.67	
311	Boschi di latifoglie	0.73	1.37	11.37	10
312	Boschi di conifere				
313	Boschi misti di conifere e latifoglie				

Tabella 1 - Valori dei coefficienti di scabrezza in funzione dell'uso del suolo

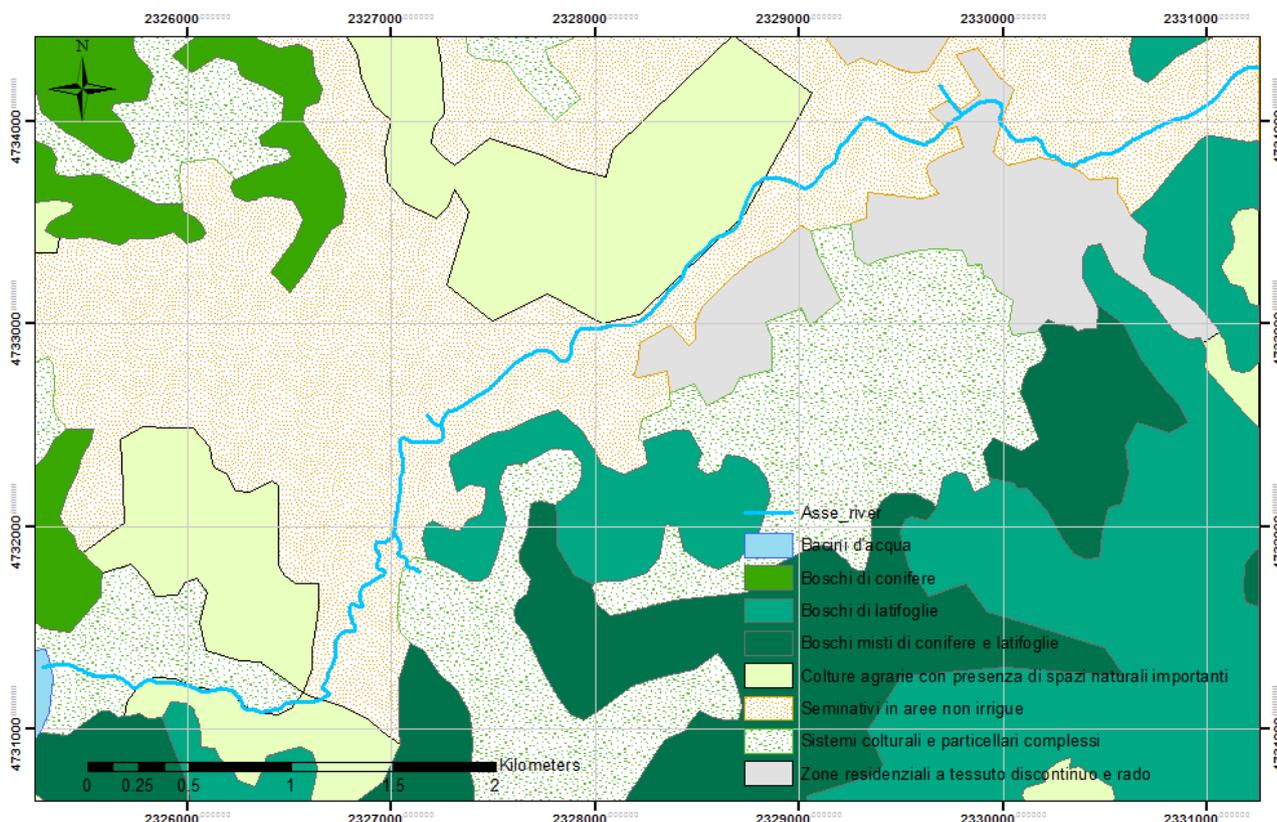


Figura 5. Classi di uso del suolo del CLC 2018

A partire dall'uso del suolo è stato dedotto il substrato informativo della scabrezza aggiungendo il campo della fascia fluviale.

E' stata lanciata una prima simulazione con la configurazione di scabrezza sotto riportata (a) ed una seconda con coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler più alto (b) ( $50 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ) raffigurante la condizione della valle dilavata dall'onda di piena: la prima è utile per avere un quadro cautelativo dell'inviluppo dei tiranti massimi asincroni, la seconda per averne uno analogo delle velocità massime asincrone.

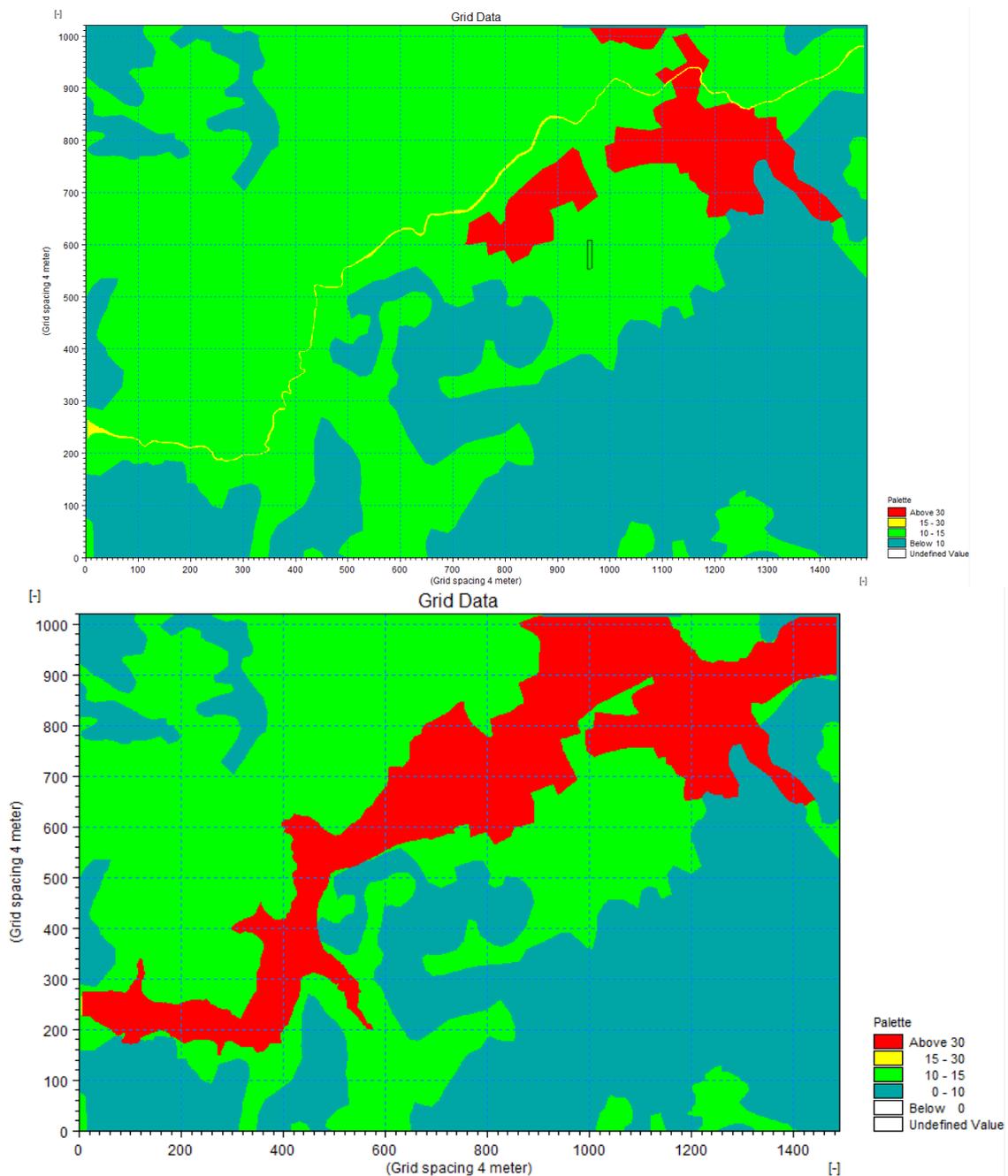


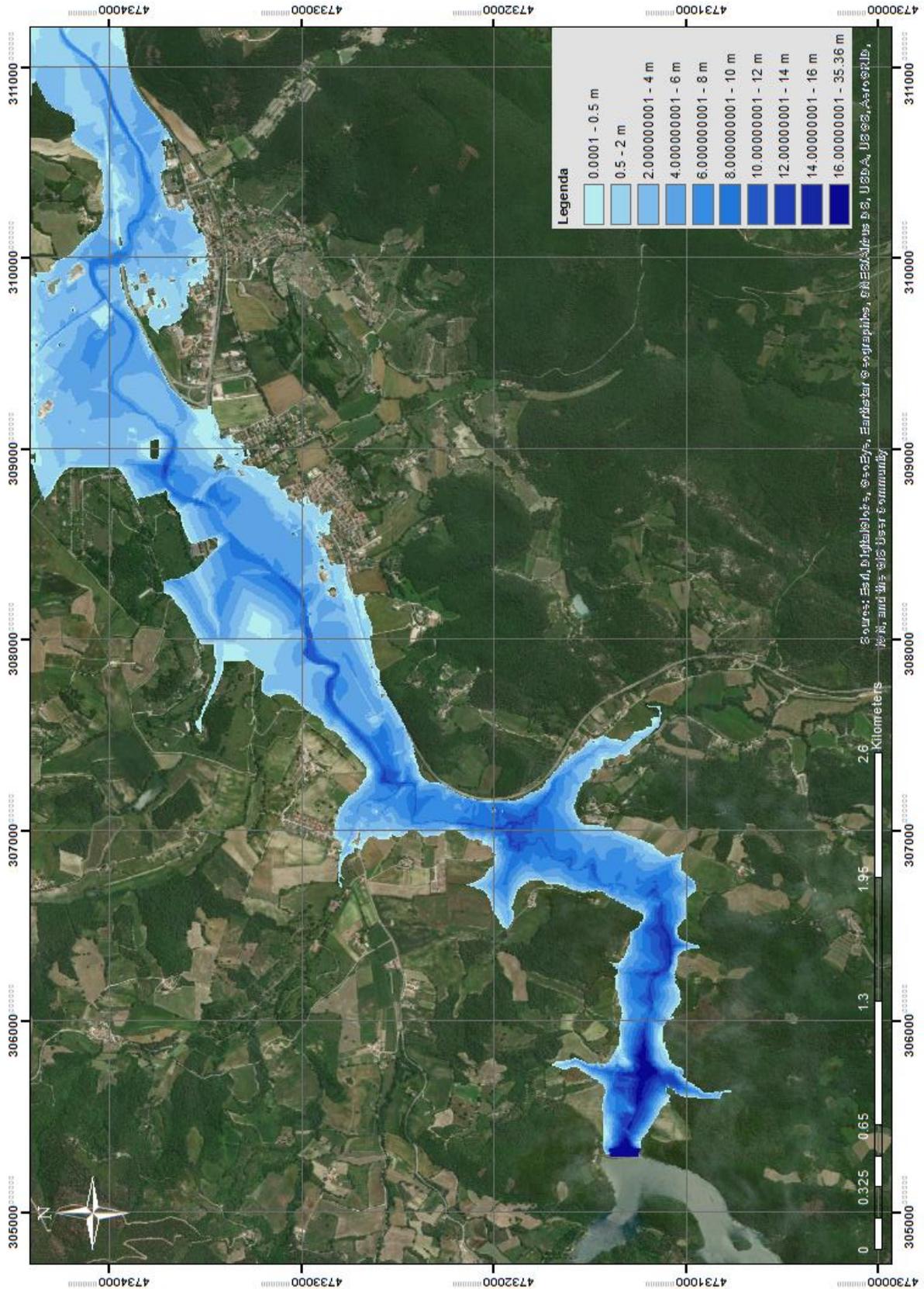
Figura 6. Carta delle scabrezze-Configurazioni a) e b)

#### **4.3.2 Viscosità cinematica**

La viscosità cinematica è stata assegnata in maniera uniforme al dominio considerando un valore costante pari a  $0.5 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$  secondo la formulazione *velocity based*.

#### **4.4 Simulazioni e risultati**

Lo scenario di collasso della diga è stato analizzato sia nell'assetto ante operam che post operam analizzando due configurazioni del coefficiente di scabrezza di Gauckler Strickler, adottando una finestra temporale di 12 ore. Si riportano le mappe dei tiranti e delle velocità massime asincrone ottenute.



**Figura 7. Tiranti massimi asincroni Ante operam -Configurazione a)**

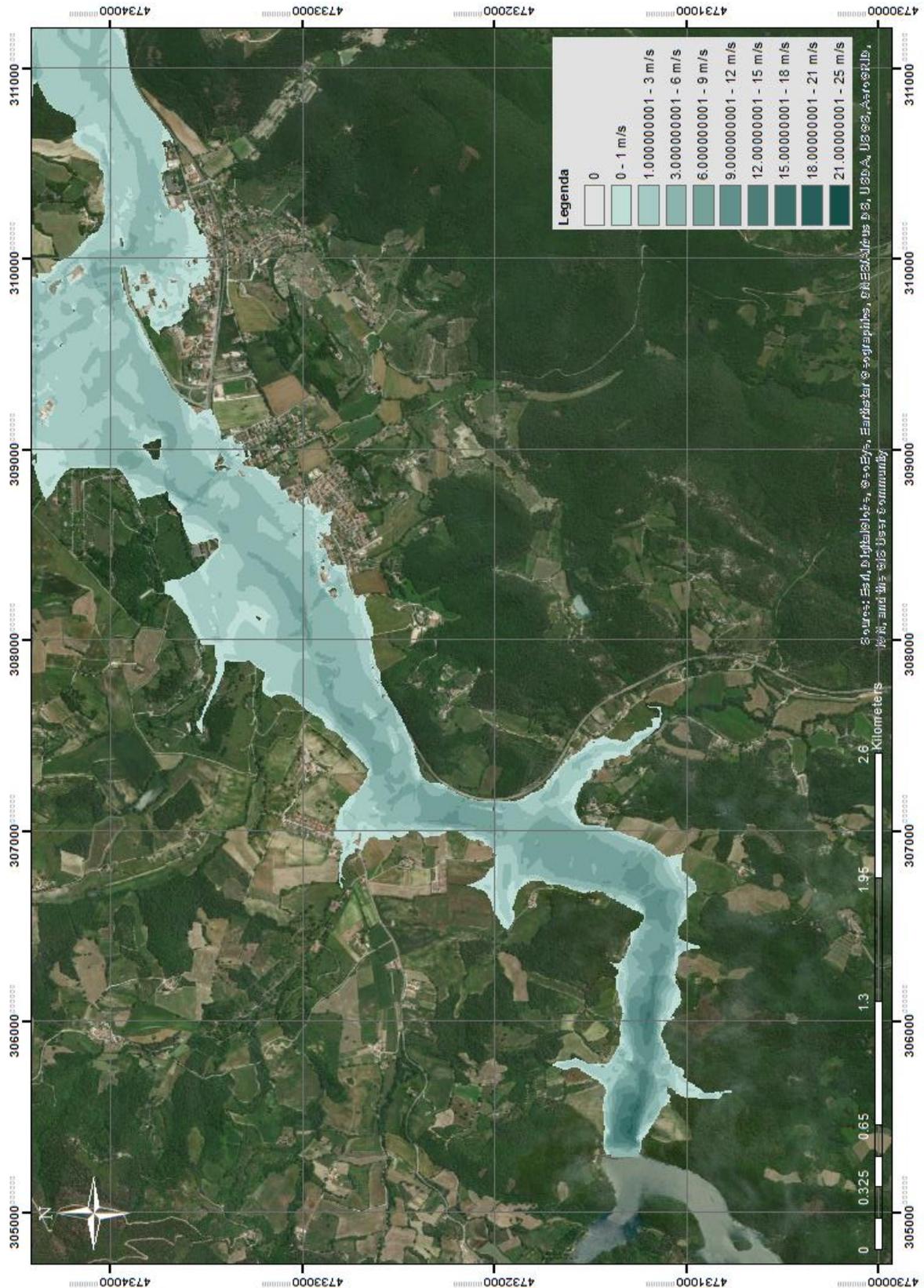


Figura 8. Velocità massime asincrone Ante Operam- Configurazione di scabrezza a)

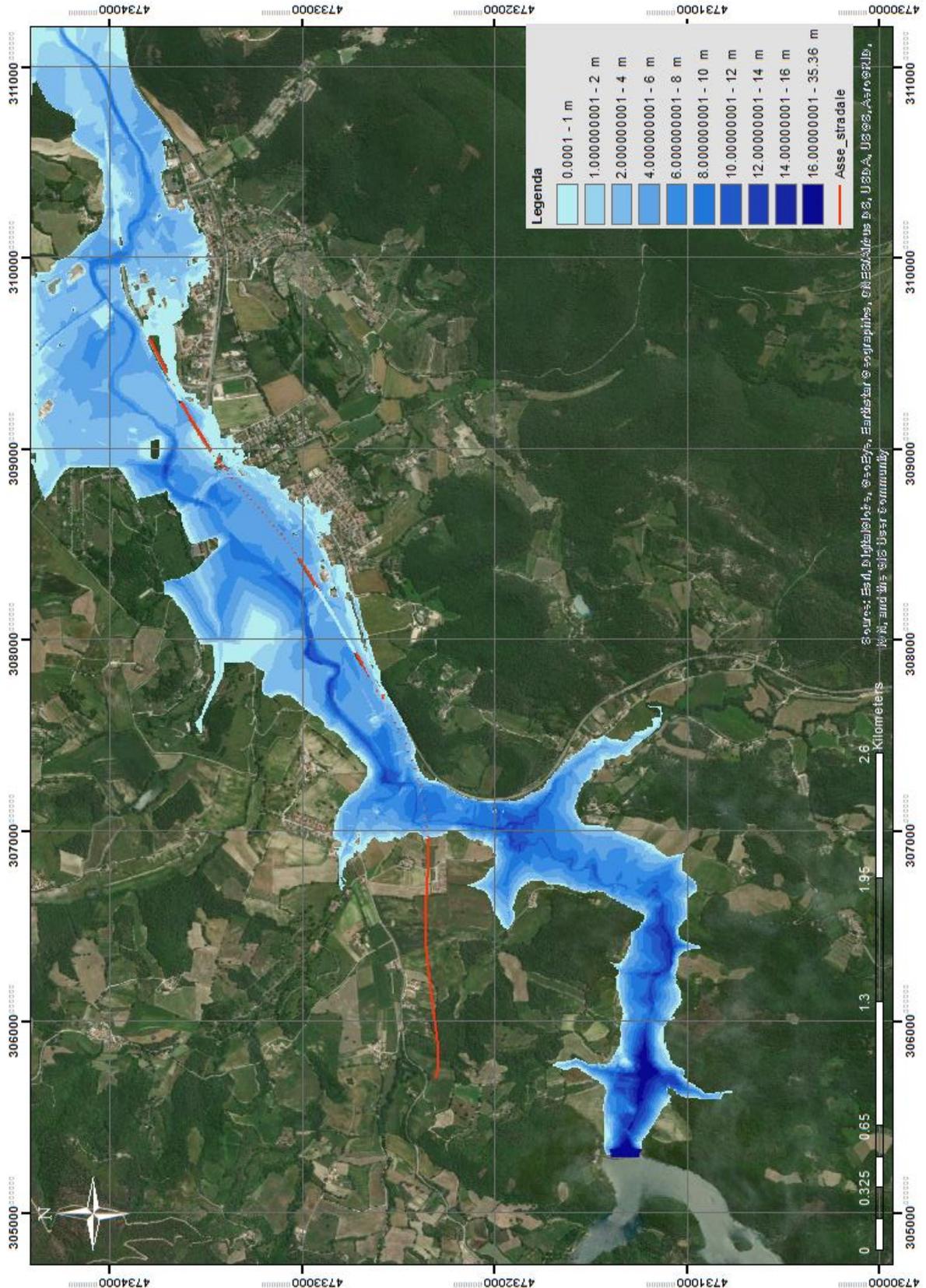


Figura 9. Tiranti massimi asincroni Post operam-Configurazione a)

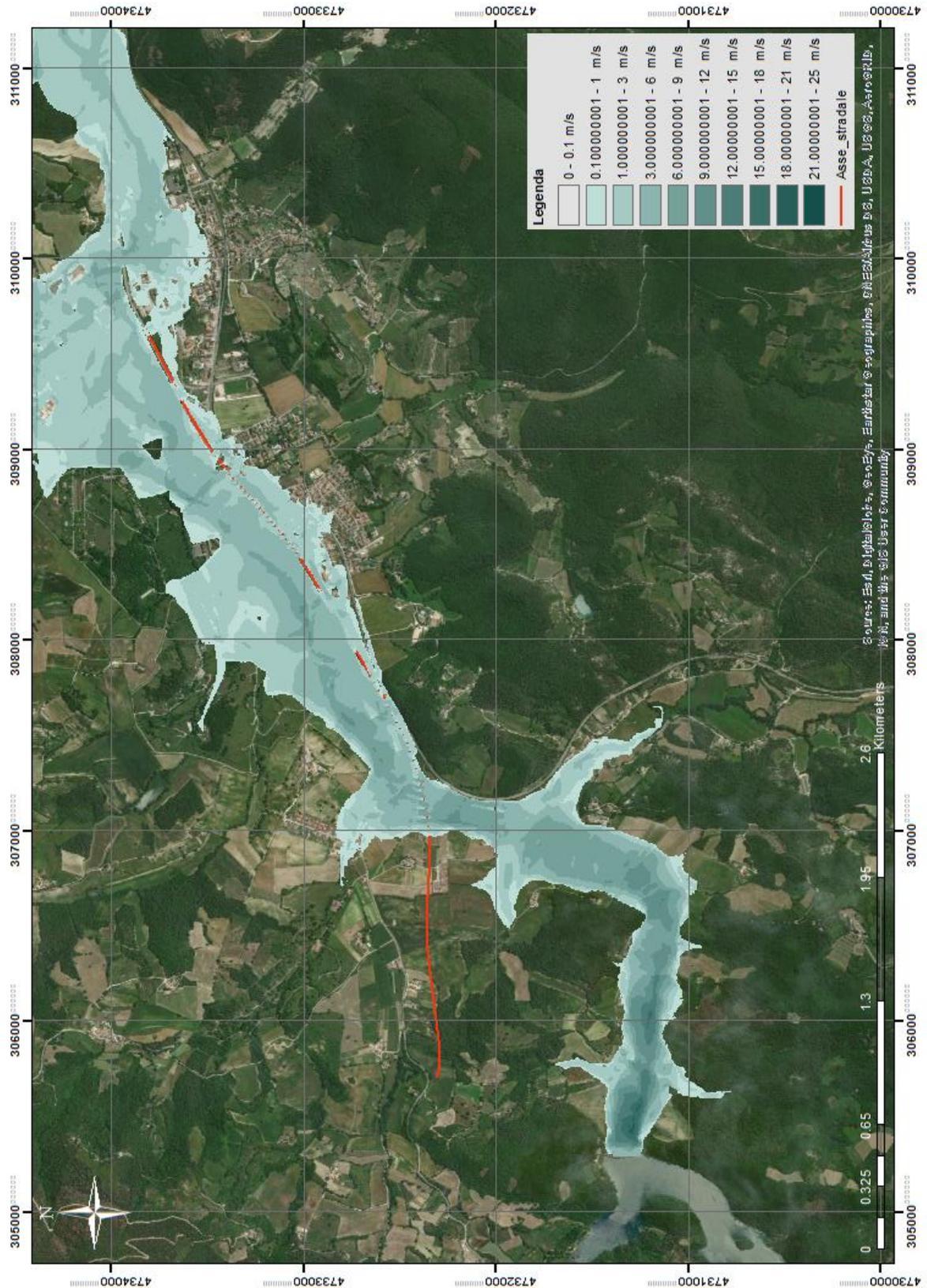


Figura 10. Velocità massime asincrone- Post Operam Configurazione di scabrezza a)

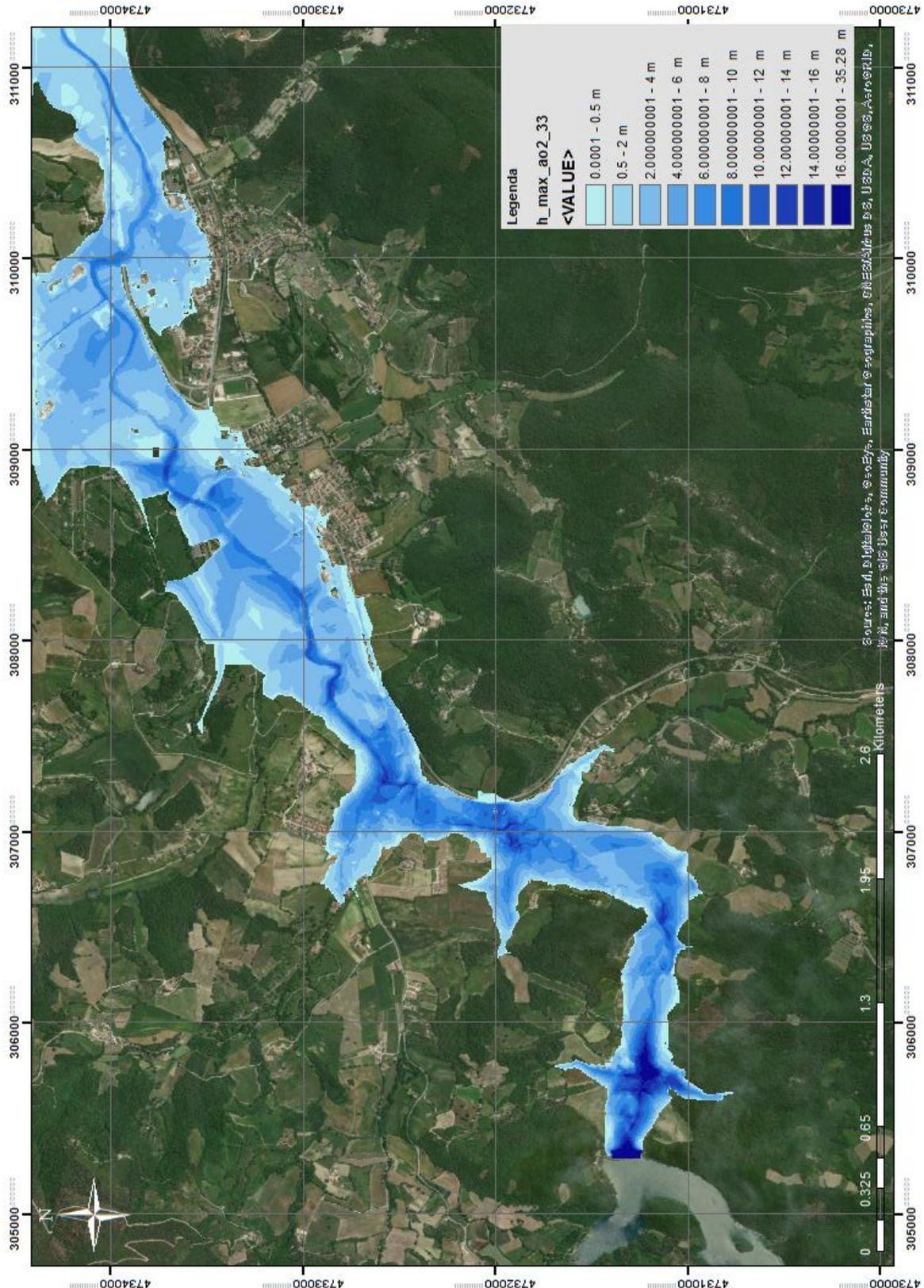


Figura 11. Tiranti massimi asincroni Ante Operam-Configurazione b)

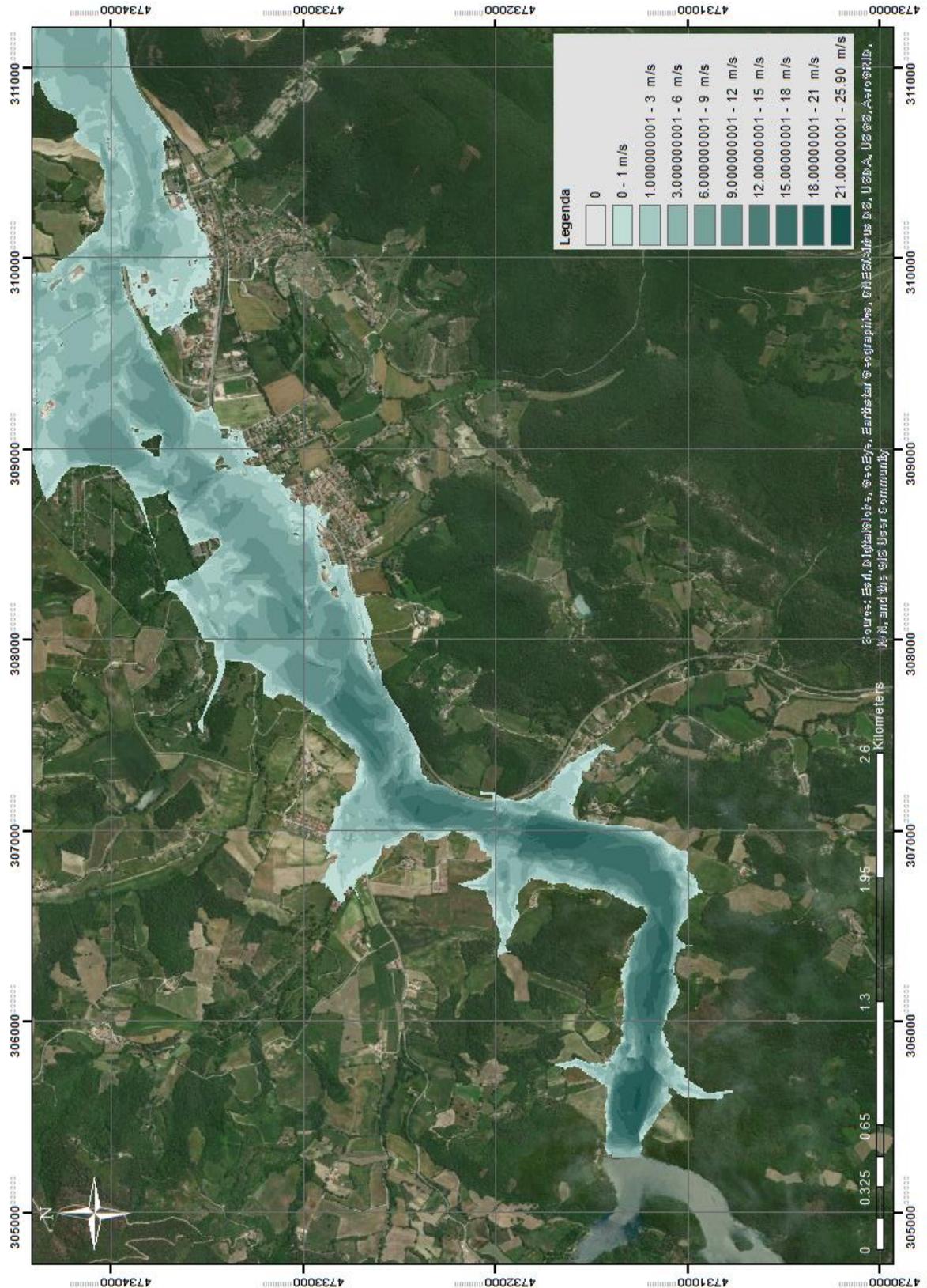


Figura 12. Velocità massime asincrone- Ante Operam Configurazione di scabrezza b)

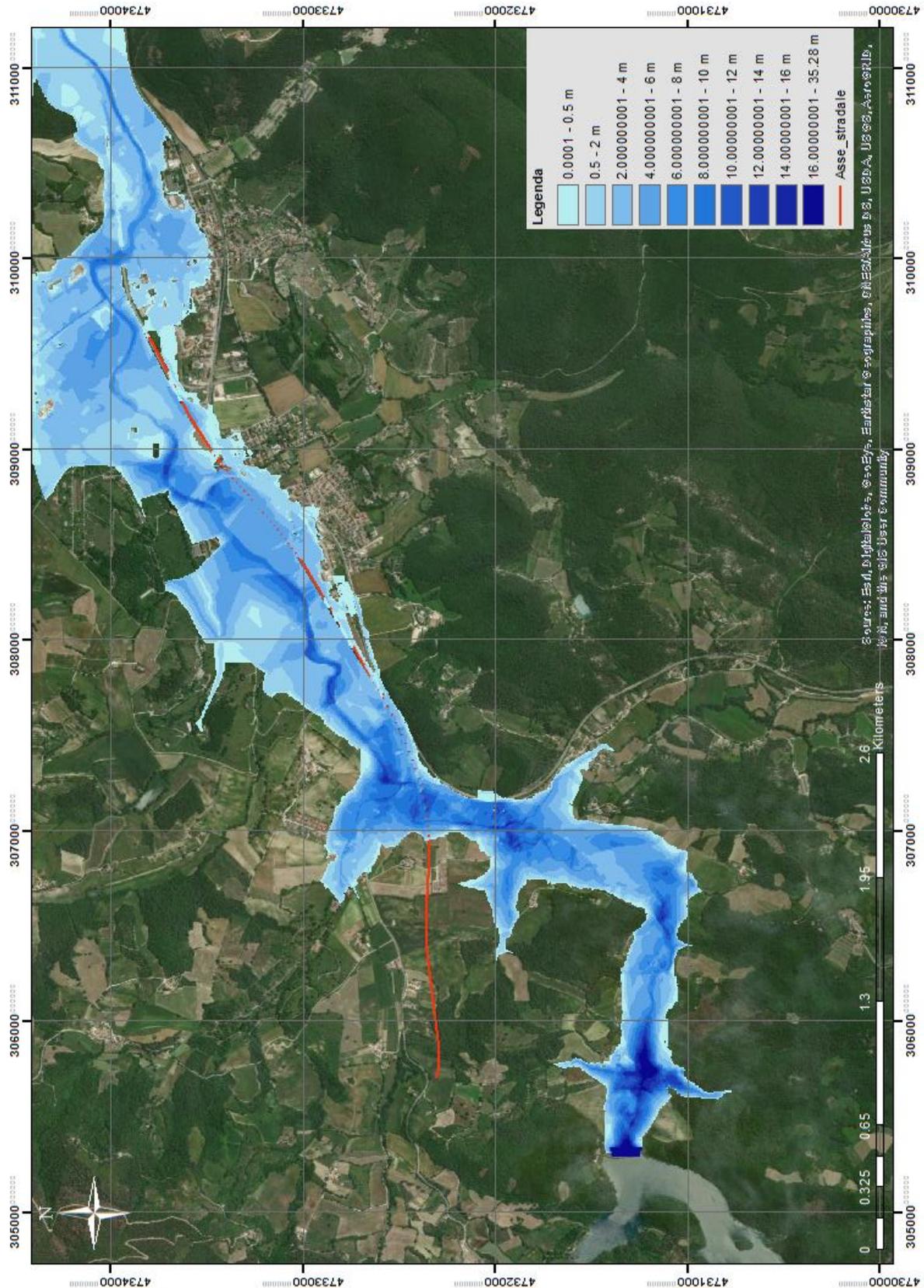


Figura 13. Tiranti massimi asincroni Post operam-Configurazione b)

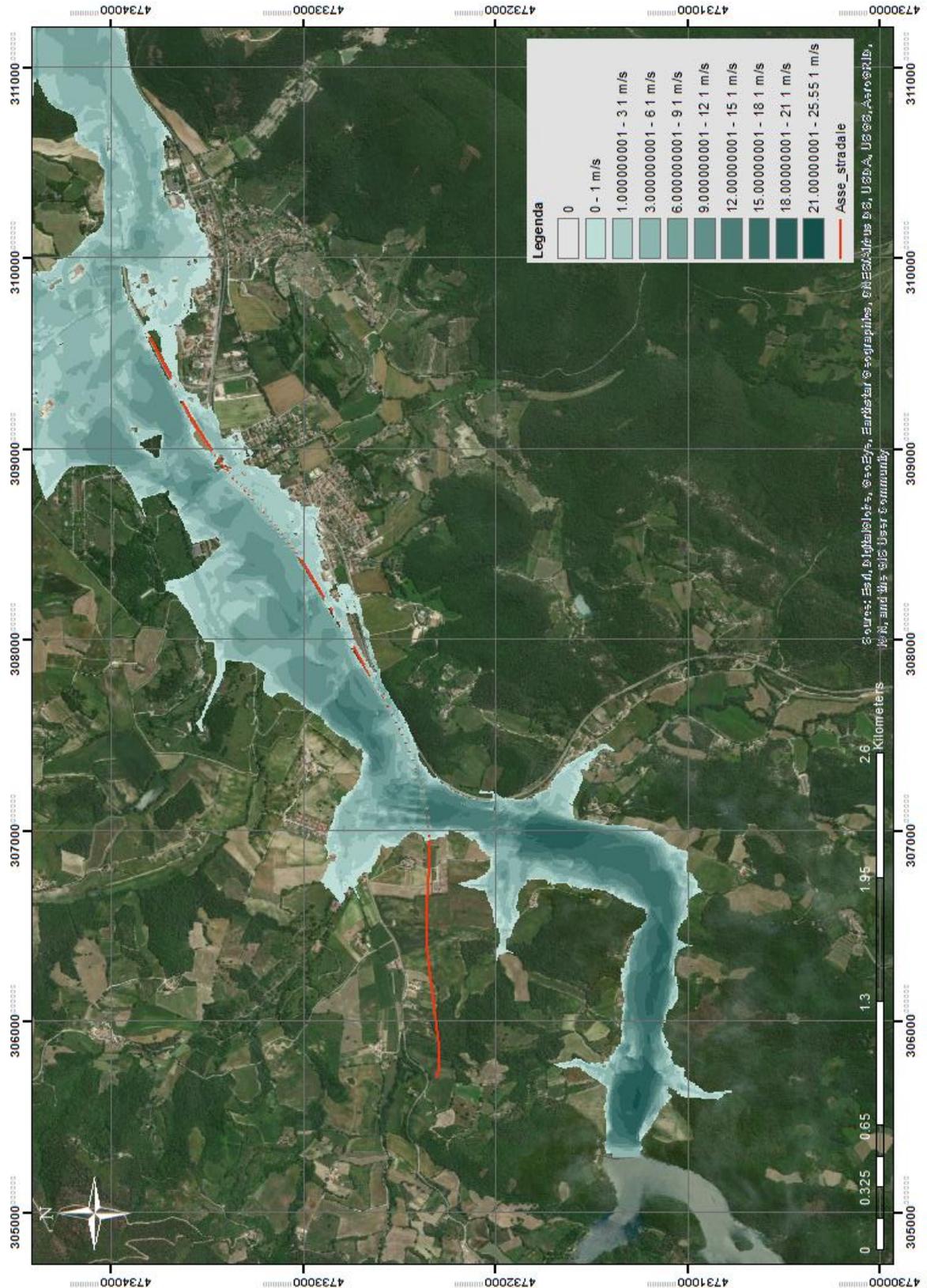
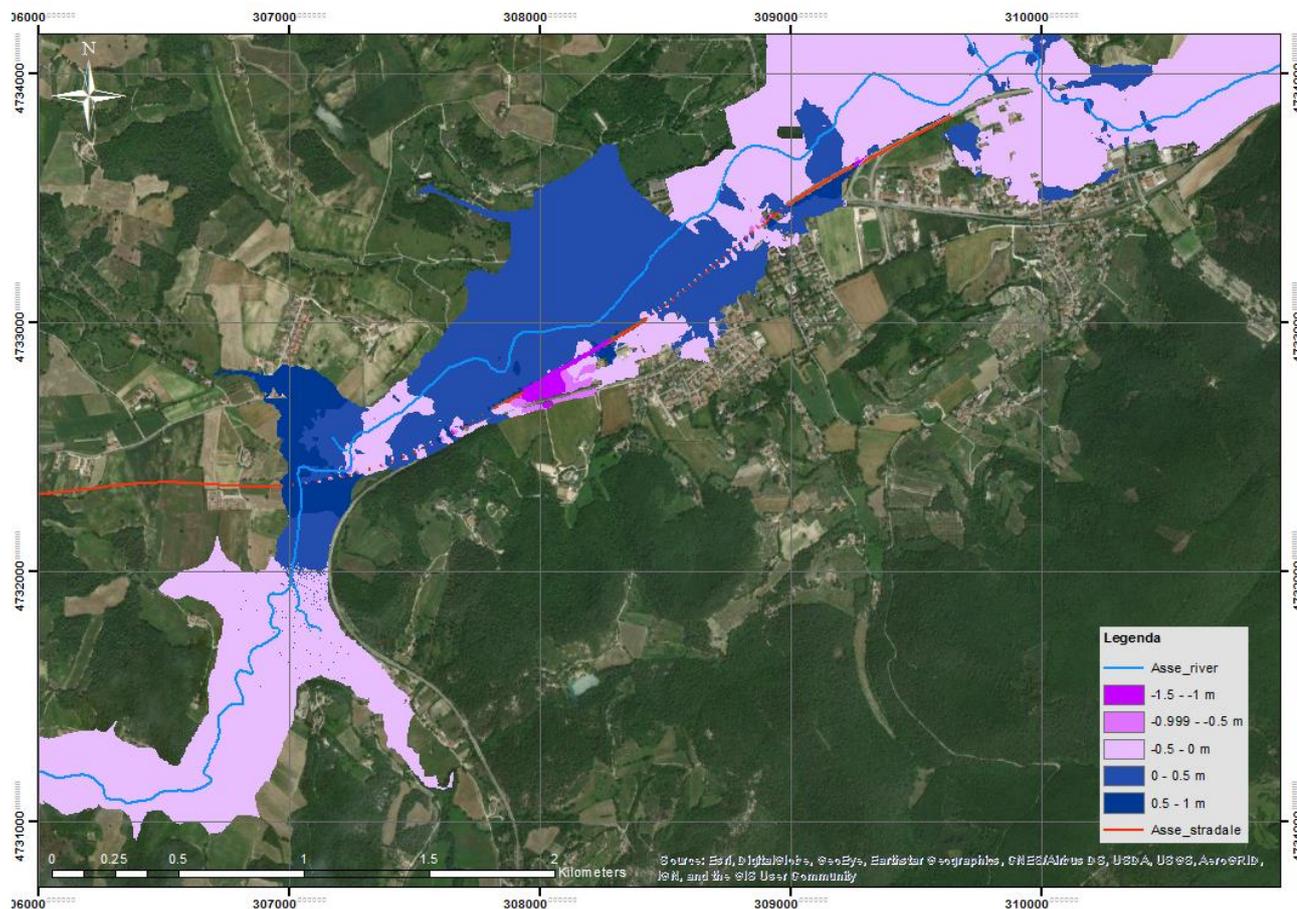


Figura 14. Tiranti e velocità massime asincrone- Post Operam Configurazione di scabrezza b)



**Figura 15. Differenza tra i tiranti max Post Operam e quelli max Ante Operam**

L'immagine precedente rappresenta la differenza tra i tiranti massimi asincroni del post operam e quelli relativi alla simulazione ante operam nella configurazione a): si può osservare come la presenza del primo rilevato nell'area golenale in destra idraulica del Torrente Marroggia provochi un ostacolo al deflusso con conseguente aumento dei livelli idrici massimi a sinistra del tracciato. Come si evince nella figura 9 o meglio nella Tavola allegata i tratti in rilevato sono interessati da allagamento con un tirante massimo di 1 m in qualche cella isolata; il battente idrico mediamente si attesta sui 50 cm.

Per quanto riguarda le velocità lo scenario post operam relativo alla configurazione b) delle scabrezze individua valori più cautelativi per la valutazione dell'impatto dell'onda di piena sulle pile. Il viadotto di attraversamento del Torrente risulta investito da un campo di velocità di 10-20 m/s; valori più bassi, dell'ordine di 5 m/s, interessano invece il tratto in viadotto parallelo al corso d'acqua.

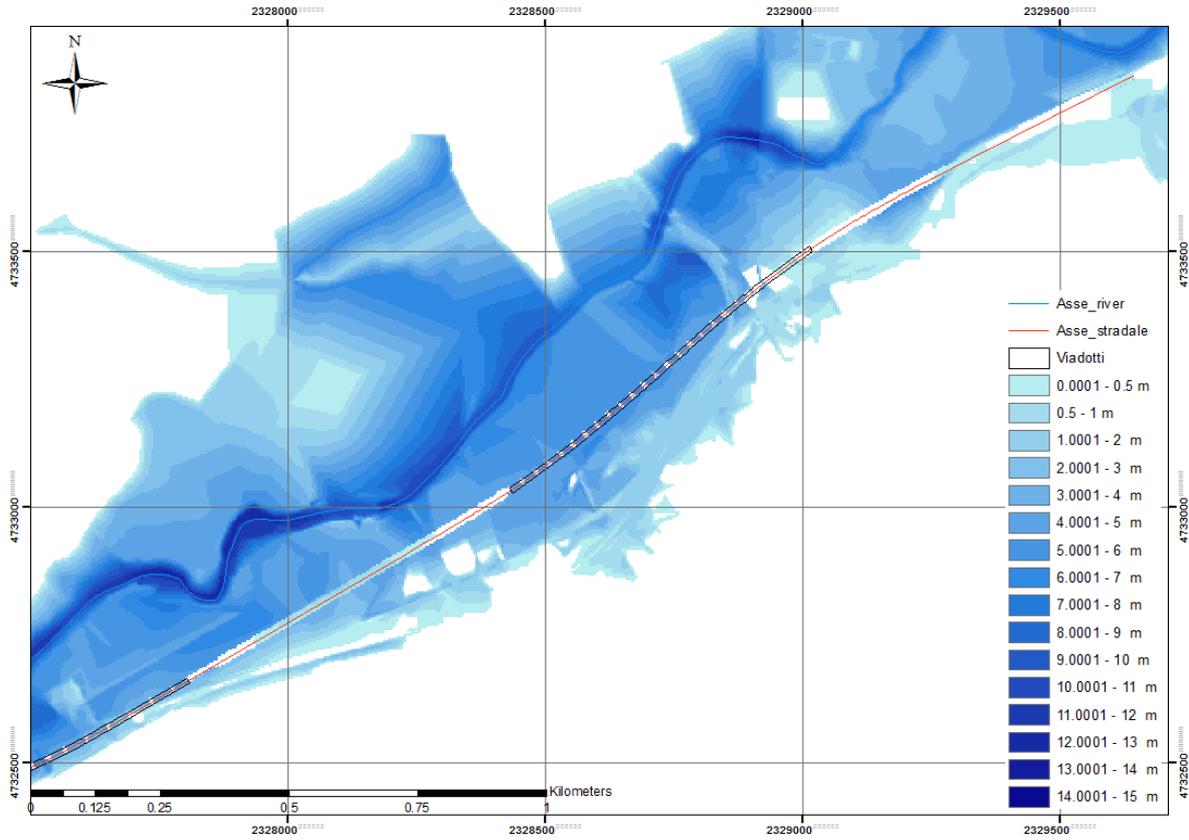


Figura 16. Tiranti massimi asincroni (a)-Dettaglio

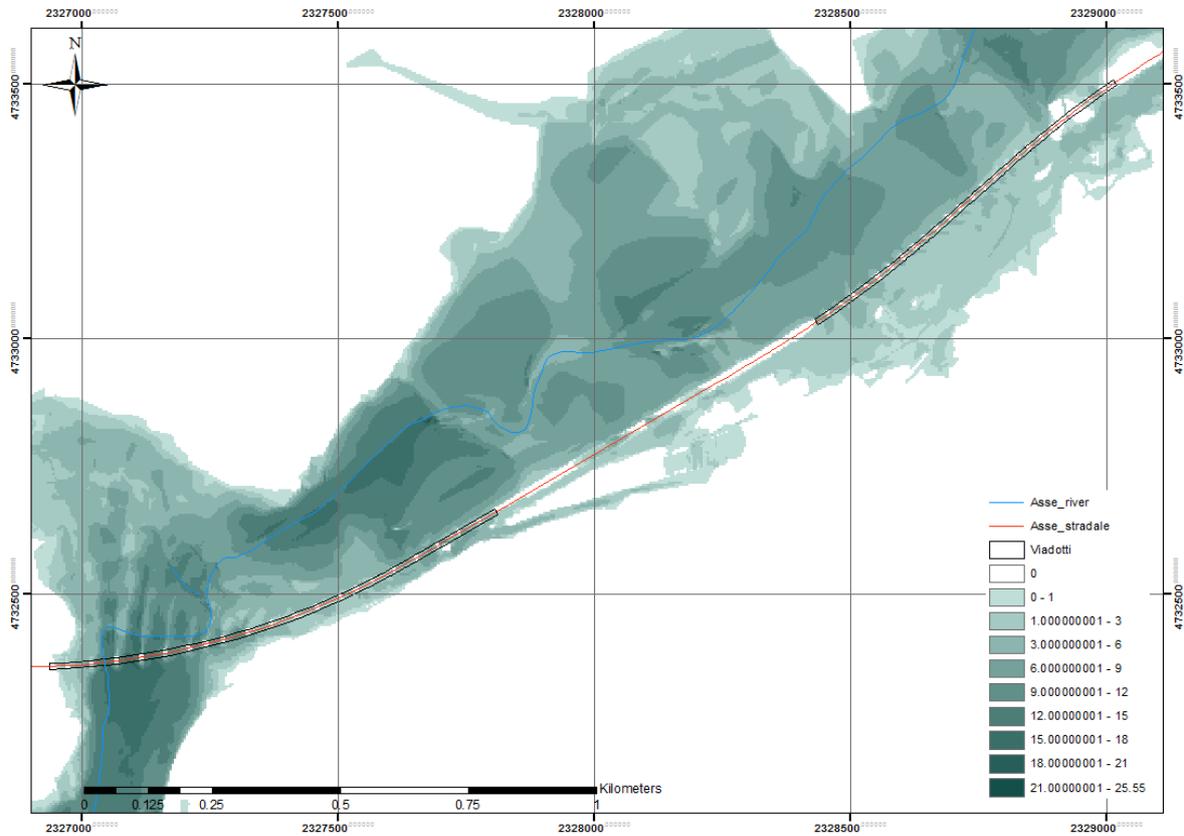
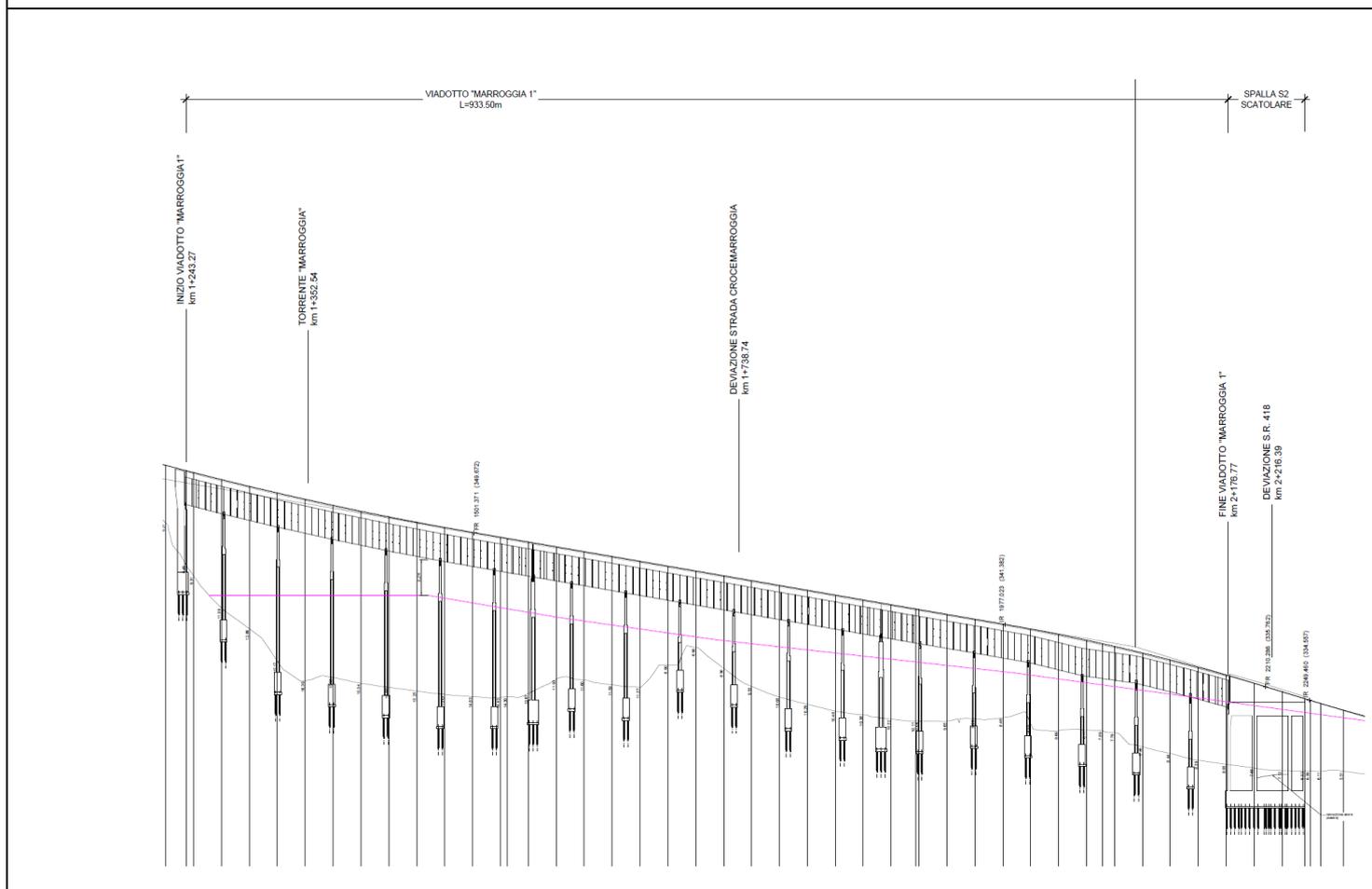


Figura 17. Velocità massime asincrone (b)-Dettaglio

## 5 CONCLUSIONI

In considerazione delle analisi svolte di cui si riporta lo stralcio dei Tiranti Massimi e la proiezione della stessa sul profilo di progetto, si possono trarre le conclusioni sulla compatibilità dell'opera con la rottura dell'argine della Diga.



Al fine della valutazione della sicurezza dell'attraversamento stradale nei pressi dello sbocco della valle del torrente Marroggia si deve considerare che:

- 1- La condizione di verifica si riferisce alle condizioni del tutto eccezionali di rottura dell'Argine della Diga;
- 2- Che il flusso della corrente incide perpendicolarmente il viadotto fra le pile 1 e la pila 8 con franco minimo 3,5 m mentre le altre pile sono interessate dal deflusso marginale del torrente;
- 3- Per tale ragione riteniamo non necessario che il franco da normativa ( 1,5 m) sia mantenuto per tutta la lunghezza del ponte;

Sotto queste condizioni si ritiene l'Opera pienamente Compatibile.



Nella figura riportata in calce si evidenziano le aree in cui la presenza dell'opera in progetto determinerà tiranti idrici superiori allo stato ante Operam per la rottura dell'argine.

Come riportato nella Figura precedente l'aumento del tirante idraulico rispetto all'ante operam è circoscrivibile in massimo 1 m e comunemente inferiore ai 50 cm.

Tale aumento, anche in considerazione della tipologia di occupazione del suolo che è generalmente di tipo agricolo ( seminativo) non comporta significative modificazioni del deflusso complessivo dell'onda di piena né aggravii per ciò che riguarda la sicurezza