

(AL-E-1790) – INCARICO DI PROGETTAZIONE DEFINITIVA, ESECUTIVA E COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE PER I LAVORI DI ADEGUAMENTO DEI RILEVATI ARGINALI IN CORRISPONDENZA DEL NODO IDRAULICO BORMIDA - ORBA DAL PONTE AUTOSTRADALE A26 A PONTE FERROVIARIO SUL FIUME BORMIDA E SINO ALL'ABITATO DI CASAL CERMELLI NEL TRATTO DI MONTE - 2° LOTTO

CUP B15B18010240001 - CIG 8772035049



Largo 24 Agosto 1942, 33/A - Parma
Tel. 0521-292795 - studiotelotelo@studiotelo.it

IL RESPONSABILE DEL PROGETTO

CONSULENTI ESTERNI

Marini dott. Marco
geologo

Via San Luigi, 8 - Arona (NO)
Tel. 347-2230473 - marcomarini_geologo@fastwebnet.it

DOTT.SSA ARCHEOLOGA
ANNALICE LEONI

Via Elia Capriolo, 4 - Brescia
Tel. 347-8304024 - annalice.leoni@gmail.com

PROGETTO DEFINITIVO

TITOLO ELABORATO

RELAZIONE IDROLOGICA
IDRAULICA

N° ELABORATO

PD.C

SCALA

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Gianluca Zanichelli

AGGIORNAMENTI:

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLL.	APPROV.
0	GIUGNO 2023	EMISSIONE	Ing. Cappato	Ing. Telò	Ing. Telò

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E QUADRO CONOSCITIVO DEL BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE ORBA	5
2.1. DESCRIZIONE SINTETICA DEL BACINO DEL TORRENTE ORBA	5
2.2. MORFOLOGIA E TENDENZE EVOLUTIVE	6
2.3. VINCOLI IDRAULICI.....	8
2.3.1. PAI.....	8
2.3.2. PGRA	9
2.4. QUADRO CONOSCITIVO TOPOGRAFICO	10
3. RICOSTRUZIONE DELL'EVENTO ALLUVIONALE DEL 3-5 OTTOBRE 2021	11
4. DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO	14
4.1. DIRETTIVA PAI	14
4.2. IMPATTO DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLE PORTATE DI RIFERIMENTO	15
5. ANALISI IDRAULICHE	18
5.1. IL MODELLO IDRODINAMICO COSTRUITO PER LE SIMULAZIONI.....	18
5.1.1. DESCRIZIONE DEL SOFTWARE UTILIZZATO.....	18
5.1.2. GEOMETRIA DEL MODELLO MATEMATICO	20
5.1.3. SCENARI MORFOLOGICI MODELLATI	22
5.1.4. CONDIZIONI AL CONTORNO	22
5.2. RISULTATI DELLE ANALISI IDRAULICHE	24
5.2.1. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE N°1: Scenario morfologico allo stato di fatto con idrogramma TR200 PAI	24
5.2.2. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE N°2: Scenario Morfologico Allo Stato Di Fatto + Brecce con idrogramma TR200 PAI	26
5.2.3. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE N°3: Scenario morfologico allo Stato di Progetto + Brecce con idrogramma TR200 PAI	28
5.2.4. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE N°4: Scenario morfologico allo Stato di Progetto con idrogramma TR200 ST16	30
5.2.5. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE N°5: Scenario morfologico allo Stato di Progetto con idrogramma TR200 ST21.	32

1. PREMESSA

Questa Relazione Idrologica - Idraulica è parte integrante del Progetto Definitivo relativo a "Incarico di progettazione definitiva, esecutiva e coordinamento della sicurezza in fase di progettazione per i lavori di adeguamento dei rilevati arginali in corrispondenza del nodo idraulico Bormida - Orba dal ponte autostradale A26 a ponte ferroviario sul fiume Bormida e sino all'abitato di Casal Cermelli nel tratto di monte - 2° Lotto", commissionato da AIPO allo Studio scrivente. In particolare, l'intervento oggetto di studio riguarda la materializzazione della Fascia B di Progetto situata in destra idraulica del torrente Orba nel tratto omogeneo "OR02100: PORTANUOVA – PONTE DI CASAL CERPELLI" definito nel Decreto 283/2019 (Variante al PAI del 2019).

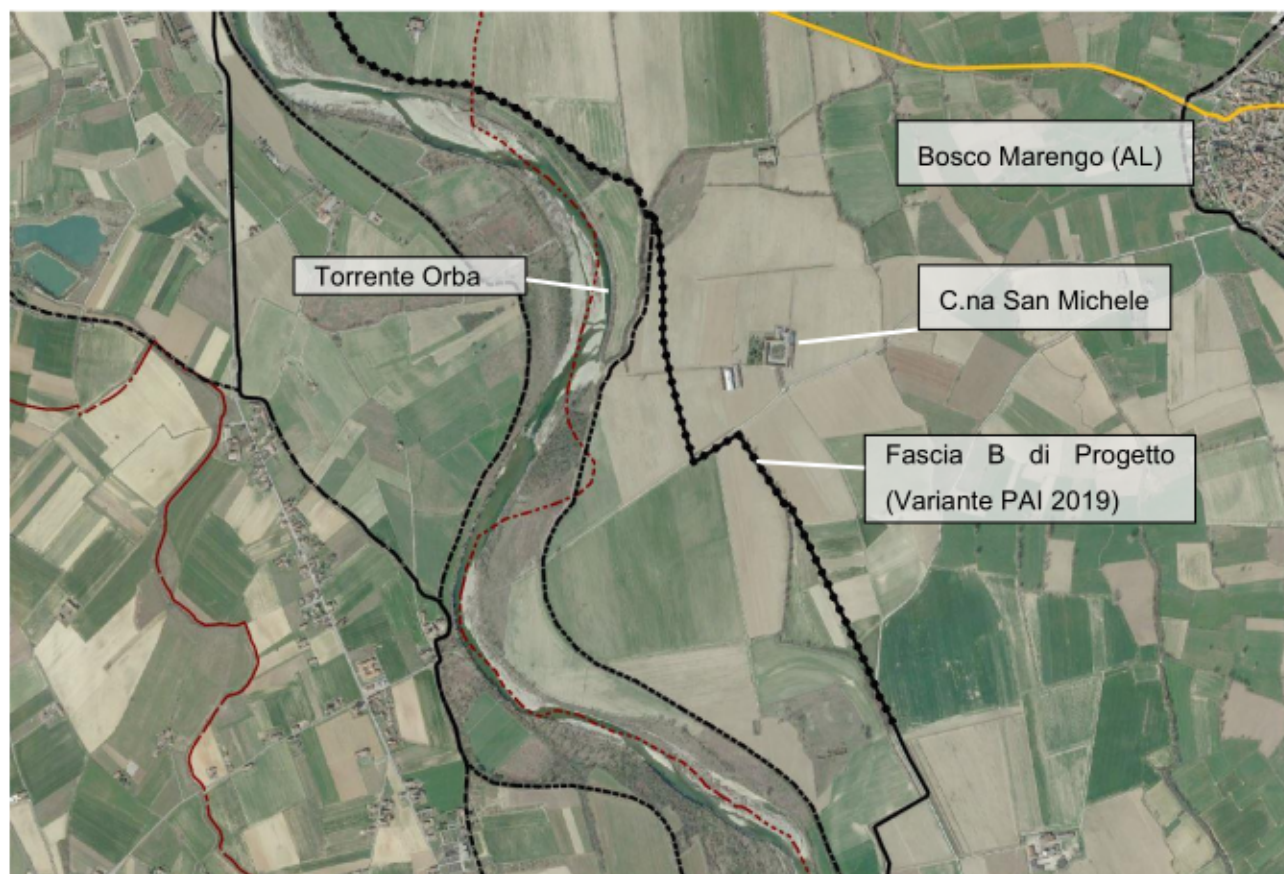


FIGURA 1-1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE ED INDIVIDUAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI DEFINITE NELLA VARIANTE AL PAI DEL 2019

Con queste analisi e verifiche si prosegue un percorso modellistico che parte dalla confluenza in Bormida per poi proseguire fino a Silvano d'Orba e già implementato fino alla confluenza col Torrente Lemme nell'ambito dei progetti dell'intervento "AL-E-143: Lavori di somma urgenza per ripristino funzionalità argine strategico in sinistra torrente Orba in località Pedaggera del Comune di Capriata D'Orba".

Ne è derivato quindi lo sviluppo di una catena modellistica continua del torrente Orba da Silvano d'Orba alla confluenza con il fiume Bormida della quale, il modello realizzato in questa sede, rappresenta il tratto centrale.

Le analisi idrauliche condotte hanno permesso di determinare le grandezze idrauliche salienti (tiranti, velocità, tensioni tangenziali, ecc.) che si instaurano in corrispondenza delle opere oggetto di intervento a seguito del transito di un'onda di piena con tempo di ritorno duecentennale, al fine di verificarne l'effettiva funzionalità idraulica anche a fronte di valori di portata superiori a quelli di riferimento indicati dal PAI.

Le grandezze idrauliche sono state ricavate grazie ad un modello idrodinamico bidimensionale in moto vario del torrente Orba, sviluppato grazie al software HEC-RAS, nel tratto che si estende dal viadotto della A26 nei pressi di Basaluzzo (AL) a monte, poche decine di metri a valle della confluenza con il torrente Lemme, fino alla confluenza del fosso Acquanera a valle del ponte di Casal Cermelli (AL).

La modellazione idraulica bidimensionale mostrato in destra idraulica un'incoerenza tra il tracciato del limite della Fascia B e della Fascia B di Progetto con gli allagamenti che si verificano nell'area a seguito del transito dell'onda di piena di progetto definita dal PAI (TR200 anni). Ciò ha spinto i progettisti, in accordo con AIPO, a ricercare una soluzione progettuale migliorativa, alla quale consegue una proposta di modifica del tracciato del limite della Fascia B e della Fascia B di Progetto rispetto a quello definito nella Variante al PAI del 2019. Tale proposta di modifica appare inoltre in linea con quanto riportato all'interno della "Relazione descrittiva per tratti omogenei" (Variante al PAI 2019) che, per il tratto OR02100 Portanuova – Ponte di Casal Cermelli in destra idraulica, “[...] rimanda agli approfondimenti della fase progettuale la scelta definitiva del tracciato arginale che a sua volta determinerà, ad opera realizzata, il limite della Fascia B”.

La proposta di modifica, riportata in Figura 1-2, prevede di:

- Proseguire il Limite B di Progetto a partire dal Punto A seguendo il tracciato dell'argine golenale esistente fino all'altezza di Cascina San Michele, attraversare il Fosso Acquanera e proseguire lungo lo stradello esistente fino all'altezza del granaio di Cascina San Michele;
- Dal granaio di Cascina San Michele, lo stradello esistente appare a quota sufficiente a trattenere l'allagamento senza ulteriori interventi e si prevede quindi di tracciare da questo punto il Limite della Fascia B percorrendo lo stradello prima e la strada di accesso poi, anch'essa posta ad una quota sufficiente
- Dalla strada di accesso, si propone di tramutare l'attuale limite della Fascia B di Progetto in Limite di Fascia B in quanto le quote del terrazzo fluviale sono sufficienti a contenere gli allagamenti senza la necessità di ulteriori opere.

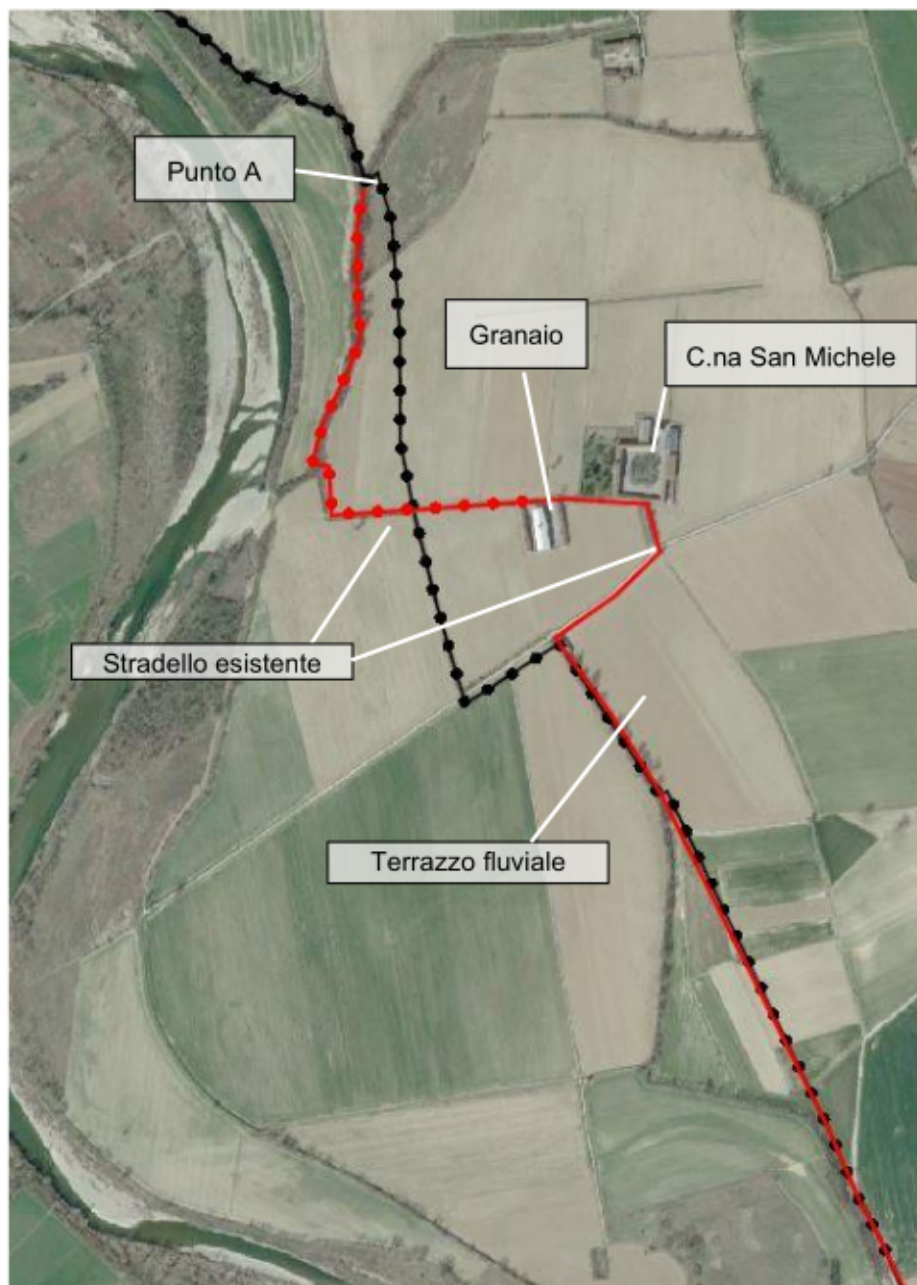


FIGURA 1-2 PROPOSTA DI MODIFICA (IN ROSSO) DEL LIMITE DELLA FASCIA B E B DI PROGETTO RISPETTO ALLA CONFIGURAZIONE ATTUALE (IN NERO) – AREA DI CASCINA SAN MICHELE

L'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po, esaminate le risultanze modellistiche fornite in merito alla proposta di modifica presentata, ha espresso parere preliminare positivo ai sensi dell'art.5 del Regolamento Attuativo "Adempimenti necessari ai fini dell'adozione della deliberazione di presa d'atto del collaudo delle opere programmate per la difesa del territorio e indicate con segno grafico denominato "limite di progetto tra la Fascia B e la Fascia C – art.28 delle N.A. del PAI" con nota del 22/08/2022 (Prot. 6793/2022).

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E QUADRO CONOSCITIVO DEL BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE ORBA

2.1. DESCRIZIONE SINTETICA DEL BACINO DEL TORRENTE ORBA

Il torrente Orba ha origine nell'Appennino Ligure occidentale dal versante settentrionale Monte Reixa e scorre per 71 km con direzione principale NO fino a confluire nel fiume Bormida poco a monte della città di Alessandria. I suoi affluenti principali, tutti in destra, sono la Stura di Ovada, che confluisce in Orba in corrispondenza della città di Ovada (AL), il Piota poco a monte della città di Silvano d'Orba ed il Lemme, il principale, che si getta nel torrente Orba nei pressi di Basaluzzo (AL).

Il suo bacino idrografico complessivo si estende per 798 km² e si sviluppa nella quasi totalità in ambiente montano-collinare con pendenze significative. Il tratto di interesse in questo studio si estende dal viadotto dell'Autostrada A26, poco a valle della confluenza con il torrente Lemme, alla confluenza del fosso Acquanera per un'estensione complessiva di circa 10 km .

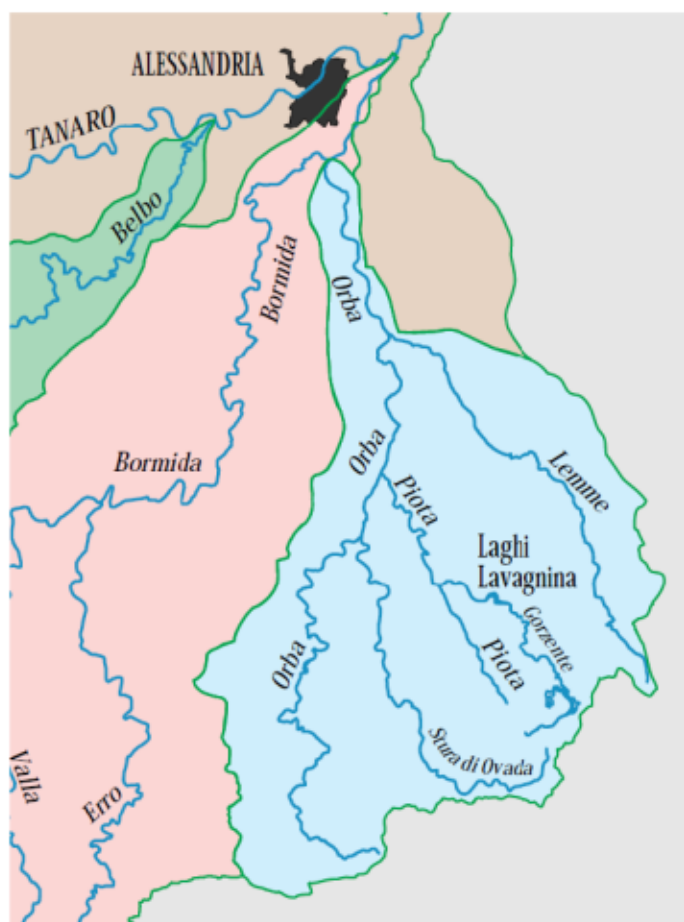


FIGURA 2-1 INDIVIDUAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE ORBA (PAI, ADBPo)

Il bacino del torrente Orba si configura come un tipico "bacino di tipo appenninico del settore piemontese", caratterizzato quindi da una generale scarsità di precipitazione nevose a causa della modesta altitudine media ed una decisa tendenza a manifestare eventi alluvionali nei mesi di ottobre, novembre e dicembre, sebbene questi siano possibili anche durante la quasi totalità dell'anno.

La particolare posizione del bacino idrografico del torrente Orba lo rende particolarmente soggetto a fenomeni piovosi intensi in quanto le correnti umide provenienti dal Golfo di Genova incontrano l'Appennino Ligure nel loro percorso verso Nord.

2.2. MORFOLOGIA E TENDENZE EVOLUTIVE

Riassumendo quanto riportato nello "Studio di Fattibilità per la definizione dell'assetto di progetto – interventi di gestione sedimenti, recupero morfologico e sistemazione idraulica – del fiume Bormida e del Torrente Orba" del 2011, di seguito per brevità chiamato "Studio di Fattibilità", il tracciato del torrente Orba si presenta sostanzialmente stabile a livello planimetrico in quanto oggetto, probabilmente nel secondo dopoguerra, di una massiccia e diffusa operazione di stabilizzazione delle sponde in erosione tramite realizzazione di difese in massi e prismi in calcestruzzo.

A valle della confluenza con il torrente Piota, il corso dell'Orba si presenta globalmente come sinuoso con un discreto sviluppo di barre ghiaiose alternate sebbene, a causa dell'alterazione antropica introdotta dalla presenza di numerose traverse di derivazione, la morfologia sia localmente piuttosto variabile con tratti unicursali.

A causa della storica stabilità planimetrica dell'asta dell'Orba, la sezione fluviale tipica (Figura 2-2) si presenta generalmente con un alveo fortemente inciso, con una sponda ripida fissata da una prismata vegetata ed una sponda opposta a minor pendenza, raccordata con il livello principale della pianura circostante e caratterizzata per lo più da una barra ciottolosa e con la presenza di alcuni cespugli. Frequentemente le piane alluvionali ospitano cave di ghiaia ed impianti di lavorazione di inerti abbandonati e spontaneamente rinaturati anche grazie alla presenza di ex laghi di cava, come avviene ad esempio poco a valle di Capriata d'Orba (Figura 2-3).

Dal punto di vista dell'andamento altimetrico dell'asta torrentizia, l'Orba, così il Bormida, è stato oggetto negli ultimi decenni di un globale inasprimento dell'incisione dell'alveo con un abbassamento del thalweg di circa 2-3 m. Tuttavia, anche grazie ai frequenti eventi alluvionali dell'ultimo decennio, parrebbe che tale tendenza sia in fase recessiva con alcuni tratti che mostrano segni di sovralluvionamento.

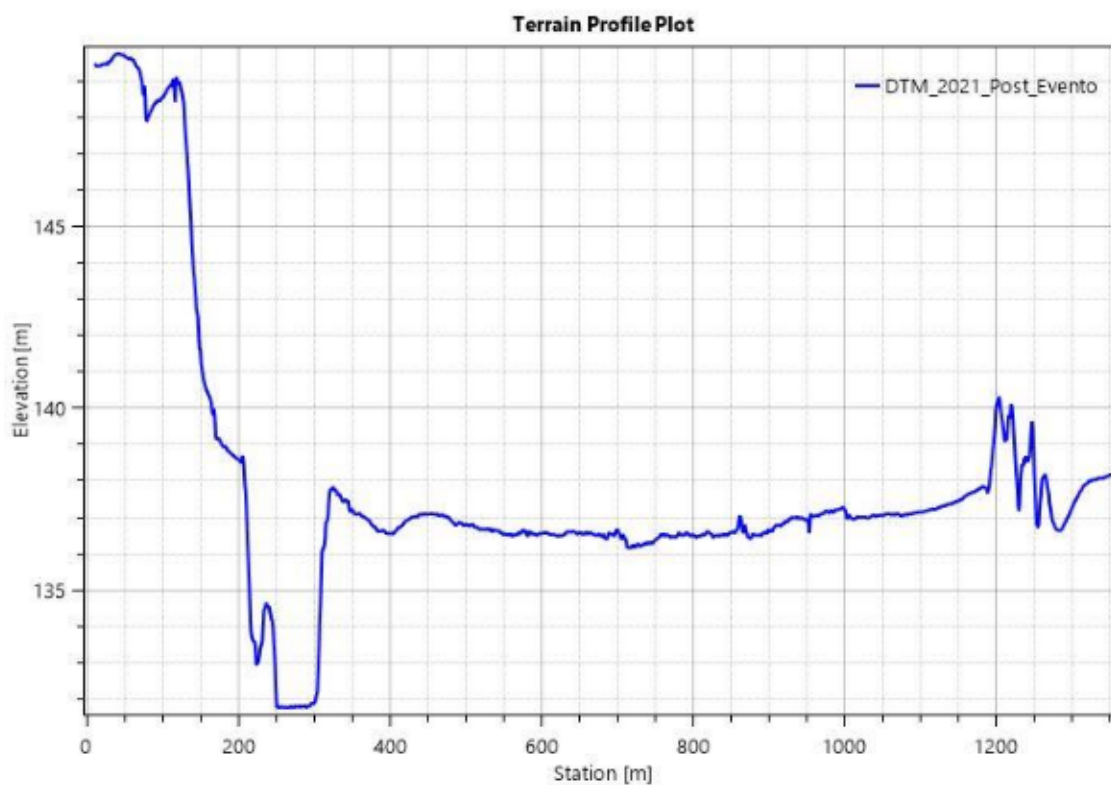


FIGURA 2-2 ESEMPIO DI SEZIONE FLUVIALE TIPICA DEL TORRENTE ORBA ESTRATTA DAL DTM 2021



FIGURA 2-3 ESEMPIO DI EX LAGHI DI CAVA RINATURATI NEI PRESSI DEL COMUNE DI CAPRIATA D'ORBA (AL)

2.3. VINCOLI IDRAULICI

2.3.1. PAI

Il torrente Orba è soggetto alla vincolistica idraulica derivante dal PAI (fasce fluviali) dalla sua confluenza con il fiume Bormida per un tratto che si estende fino a Silvano D'Orba (AL), immediatamente a valle della confluenza con il t. Piota. Gli argini oggetto di analisi in questo studio ricadono interamente all'interno della Fascia B di esondazione. Attualmente vige sul territorio la Variante al PAI del 2019, la quale, come riportato in Premessa, è stata ulteriormente modificata sulla base delle risultanze modellistiche propedeutiche alla progettazione delle opere in oggetto.

Si ricorda brevemente il significato dei tre limiti di pertinenza fluviali definiti dal PAI dell'AdBPo:

- **Fascia di deflusso di piena (Fascia A):** costituita dalla porzione di alveo che consente, per la piena di riferimento (TR 200 anni), l'intero deflusso della corrente (alveo di piena straordinaria), ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili in piena.
- **Fascia di esondazione (Fascia B):** esterna alla precedente, costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione in relazione alla piena di riferimento (TR 200 anni) e che svolge funzioni di laminazione. Il limite di tale fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento, ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento). Il PAI indica con apposito segno grafico, denominato **"limite di progetto tra la Fascia B e la Fascia C"**, le opere idrauliche programmate per la difesa del territorio. Allorché dette opere saranno realizzate, i confini della Fascia B si intenderanno definiti in conformità al tracciato dell'opera idraulica eseguita e la delibera del Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino di presa d'atto del collaudo dell'opera varrà come variante automatica del PAI per il tracciato di cui si tratta.
- **Area di esondazione per piena catastrofica (Fascia C):** costituita dalla porzione di territorio interessata da una piena storicamente registrata se corrispondente ad un TR superiore a 200 anni, o in assenza di essa, la piena con TR di 500 anni.

L'attuale delimitazione delle fasce fluviali del torrente Orba è quella riportata nella Variante al PAI del 2019 ed è riportata in Figura 2-4. L'unica differenza significativa per il tratto di interesse rispetto a tale documento consiste nella modifica proposta a seguito delle analisi idrauliche propedeutiche alla progettazione delle opere oggetto di questo incarico, come indicato nella Premessa di questo documento.

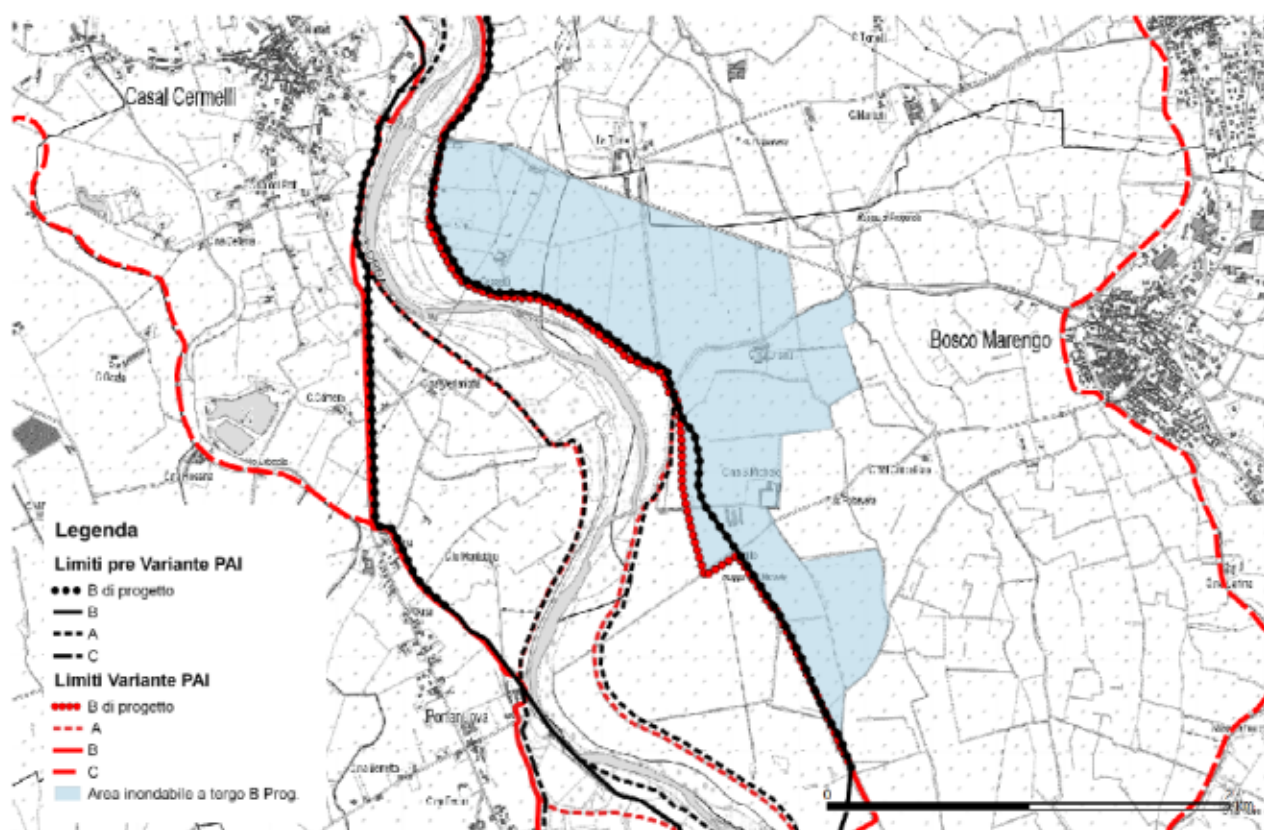


FIGURA 2-4 LIMITI FASCE FLUVIALI VIGENTI PRIMA (NERO) E DOPO (ROSSO) LA VARIANTE AL PAI – TRATTO OR02100 PORTANUOVA – CASAL CERMELLI

2.3.2. PGRA

Gli scenari di **pericolosità** individuati dal PGRA sono di 3 tipi, visualizzati con tonalità di blu differenti dal più chiaro al più scuro in funzione della maggiore frequenza dell'evento di riferimento che, per il reticolo nel quale ricade il fiume Serio, assume le seguenti specifiche:

- **Alluvioni rare di estrema intensità (P1):** il limite esterno è individuato sulla base delle aree interessate dalla piena catastrofica ovvero generata da un evento con tempo di ritorno pari a 500 anni (bassa probabilità);
- **Alluvioni poco frequenti (P2):** il limite esterno è individuato sulla base delle aree interessate dalla piena generata da un evento con tempo di ritorno pari a 200 anni (media probabilità);
- **Alluvioni frequenti (P3):** il limite esterno è individuato sulla base delle aree interessate dalla piena generata da un evento con tempo di ritorno pari a 20-50 anni (elevata probabilità).

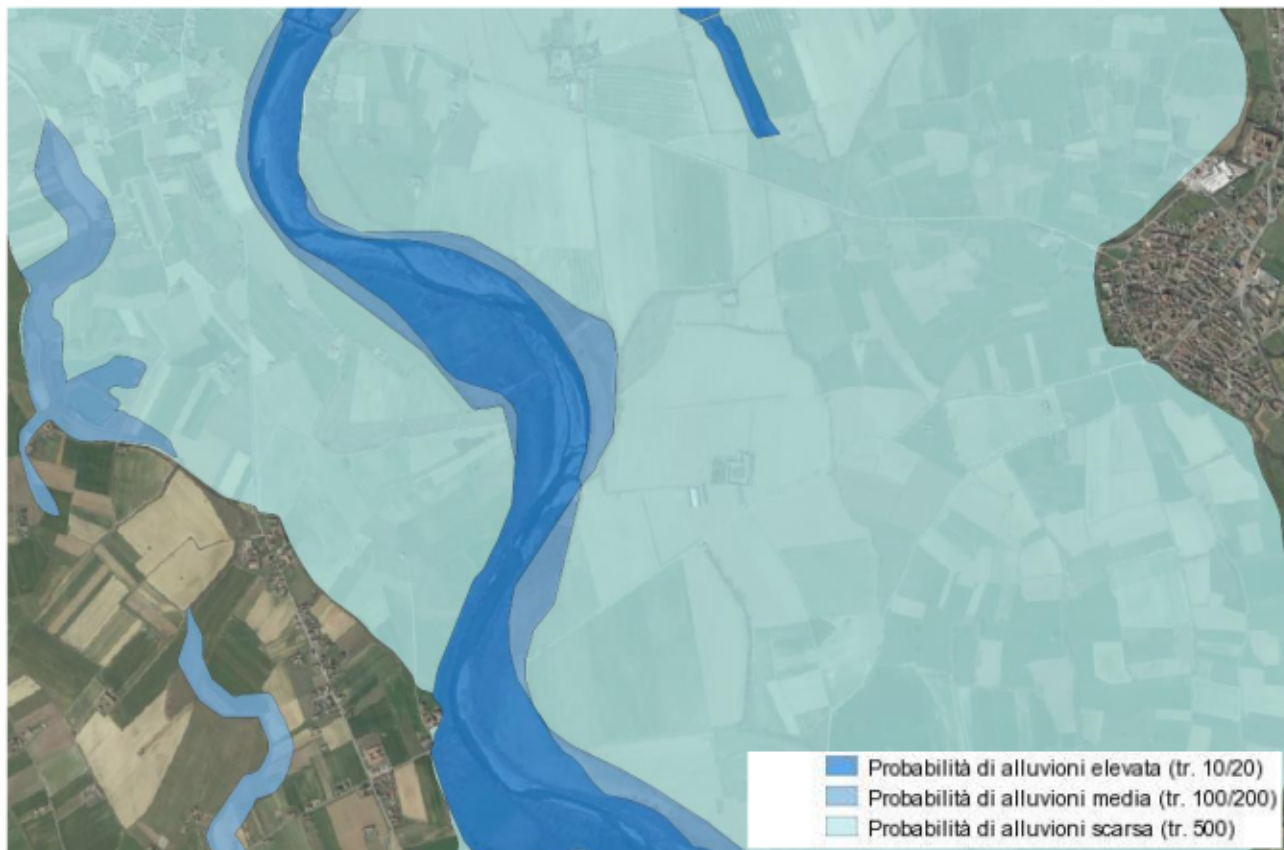


FIGURA 2-5 MAPPA DELLA PERICOLOSITÀ DI ALLUVIONI NELL'AREA OGGETTO DI STUDIO DA PGRA

2.4. QUADRO CONOSCITIVO TOPOGRAFICO

I dati morfologico-topografici utilizzati per lo studio in oggetto sono i seguenti:

- Ortofoto catturate a seguito dell'evento alluvionale del 4 Ottobre 2021;
- Rilievo topografico dell'argine golenale in destra idraulica realizzato da AIPO ad Aprile del 2022;
- Censimento delle chiaviche presenti lungo il torrente Orba fornito da AIPO;
- Modello Digitale del Terreno (DTM) ricavato da volo LIDAR eseguito a seguito dell'evento alluvionale di Ottobre 2021 contestualmente alla cattura delle ortofoto;
- Ortofoto catturate a seguito dell'evento alluvionale del 21-23 Ottobre 2019;
- Sezioni fluviali del torrente Orba, rilevate nel 2007 da AIPO.

3. RICOSTRUZIONE DELL'EVENTO ALLUVIONALE DEL 3-5 OTTOBRE 2021

L'evento eccezionale che ha colpito, tra gli altri, il bacino del torrente Orba del 3-5 Ottobre 2021 è stato provocato da una struttura temporalesca del tipo V-Shaped (Figura 3-1) che ha interessato per più di 24 ore lo spartiacque Ligure-Piemontese facendo registrare i valori massimi storici in diverse stazioni, tra le quali si menziona quella di Rossiglione (GE) con 926 mm in 24 ore, Montenotte Inferiore (SV) con 350 mm in 3 ore e Ponzone Bric Berton (AL) con 472 mm in 12 ore. **Precipitazioni cumulate associate a tempi di ritorno superiori ai 200 anni sono state registrate in 5 stazioni pluviometriche del bacino per tutte le durate (1, 3, 6, 12 e 24 ore).** Le precipitazioni si sono concentrate principalmente nel settore Occidentale del bacino dell'Orba causando piene eccezionali del torrente Erro e dello Stura di Ovada, oltre che dell'Orba stesso. La maggior parte di questi dati sono derivanti dal Rapporto Evento redatto da ARPA Piemonte ed al quale si rimanda per eventuali approfondimenti

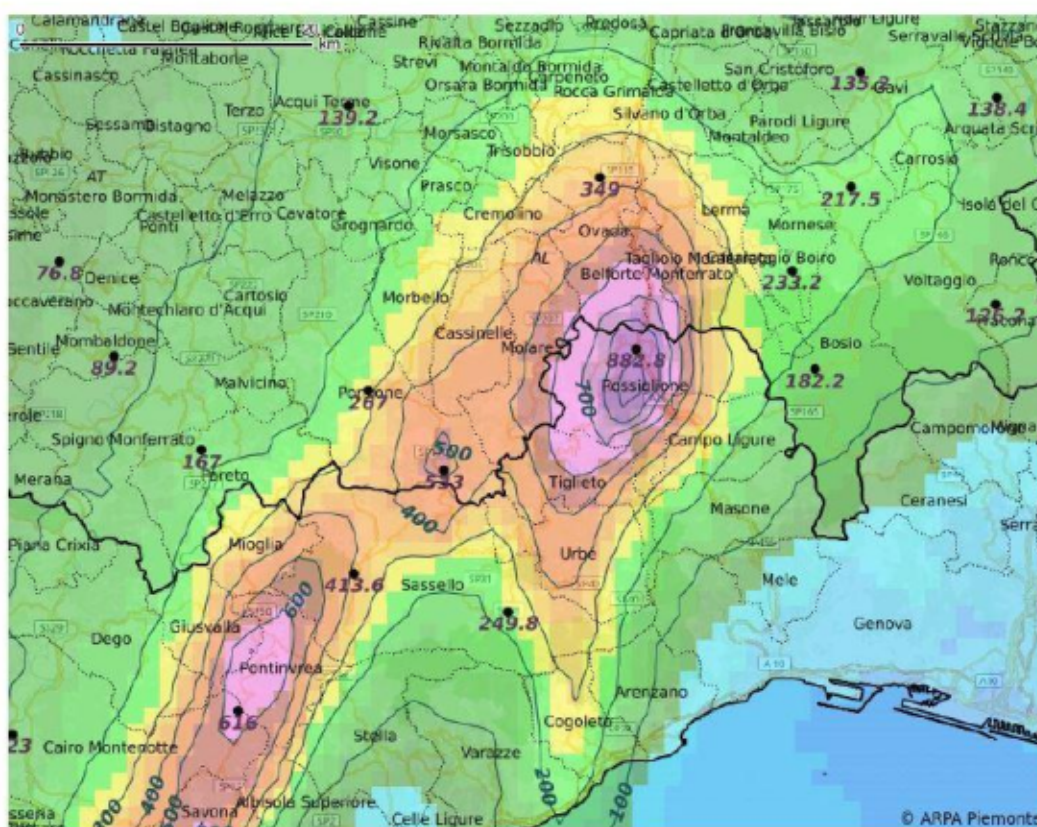


FIGURA 3-1 DETTAGLIO DELLA DISTRIBUZIONE SPAZIALE DELLE PRECIPITAZIONI NELL'AREA APPENNINICA AL CONFINE TRA PIEMONTE E LIGURIA IL 4 OTTOBRE 2021

L'evento meteorico di straordinaria intensità ha determinato un idrogramma di piena il cui colmo è stato calcolato di circa 2390 m³/s raggiunto dopo circa 12 ore alla sezione Casal Cermelli (AL) come mostrato in Figura 3-2.

Questo valore è associabile ad un tempo di ritorno duecentennale indicato dal PAI (2001). In realtà nel Capitolo 4 viene condotta un'analisi statistica che tiene conto anche degli accadimenti degli ultimi venticinque anni e che quindi aggiorna la curva di durata delle piene indicata nel PAI.

Il carattere impulsivo dell'evento risulta in linea con i fenomeni meteorici estremi che si registrano sempre più di frequente sul territorio italiano a causa del cambiamento climatico.

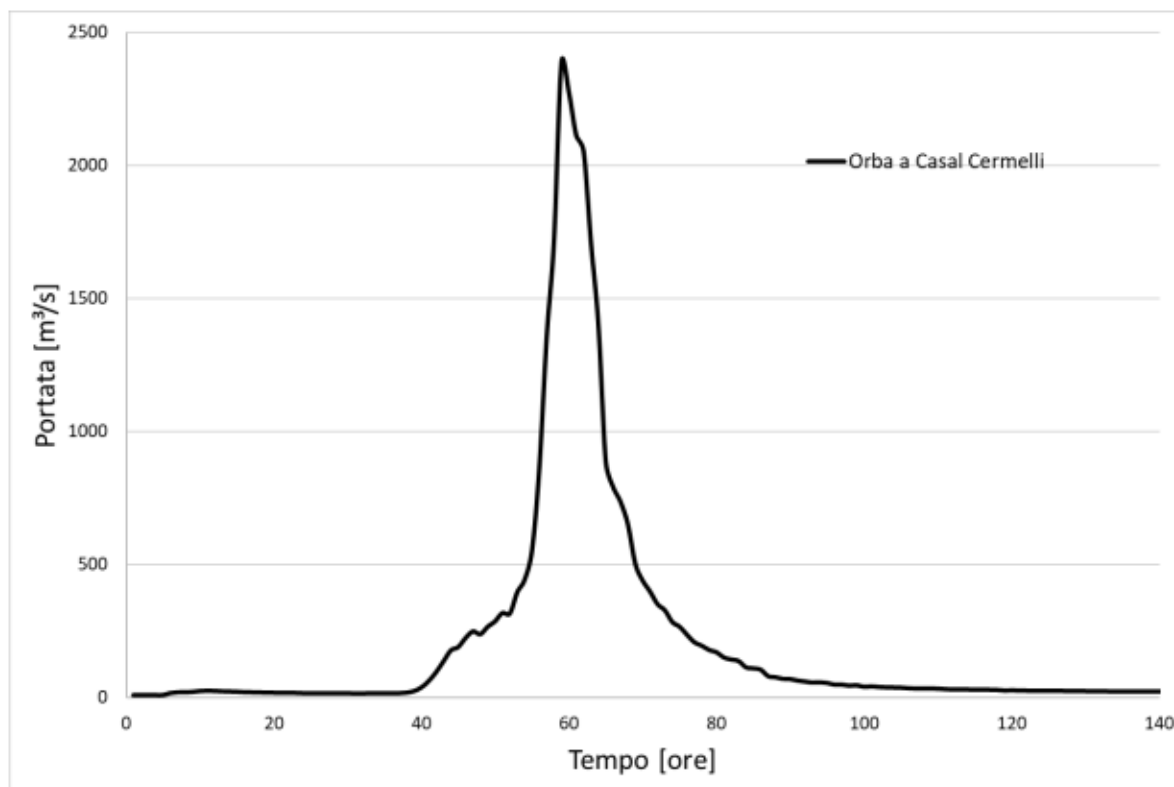


FIGURA 3-2 IDROGRAMMA DELLE PORTATE REGISTRATO ALL'IDROMETRO DI CASAL CERPELLI (AL) DURANTE L'EVENTO ALLUVIONALE DEL 3-5 OTTOBRE 2021

Durante il transito dell'onda di piena si sono verificate due distinte brecce arginali nell'argine strategico posto immediatamente a valle del viadotto dell'Autostrada A26 come mostrato in Figura 3-3. Queste brecce hanno causato l'allagamento di vaste aree coltivate ed alcune cascine, interessando anche il corso del fosso Acquanera che ha guidato le acque verso valle. Le acque fuoriuscite dalle brecce si sono successivamente unite all'allagamento che si è verificato alcune centinaia di metri più a valle e che ha aggirato l'argine golenale esistente ed incanalandosi in un paleoalveo, replicando una dinamica già verificatasi nel 2011. Le acque esondate si sono infine adagiate alle spalle dell'argine golenale alcune centinaia di metri più a valle.

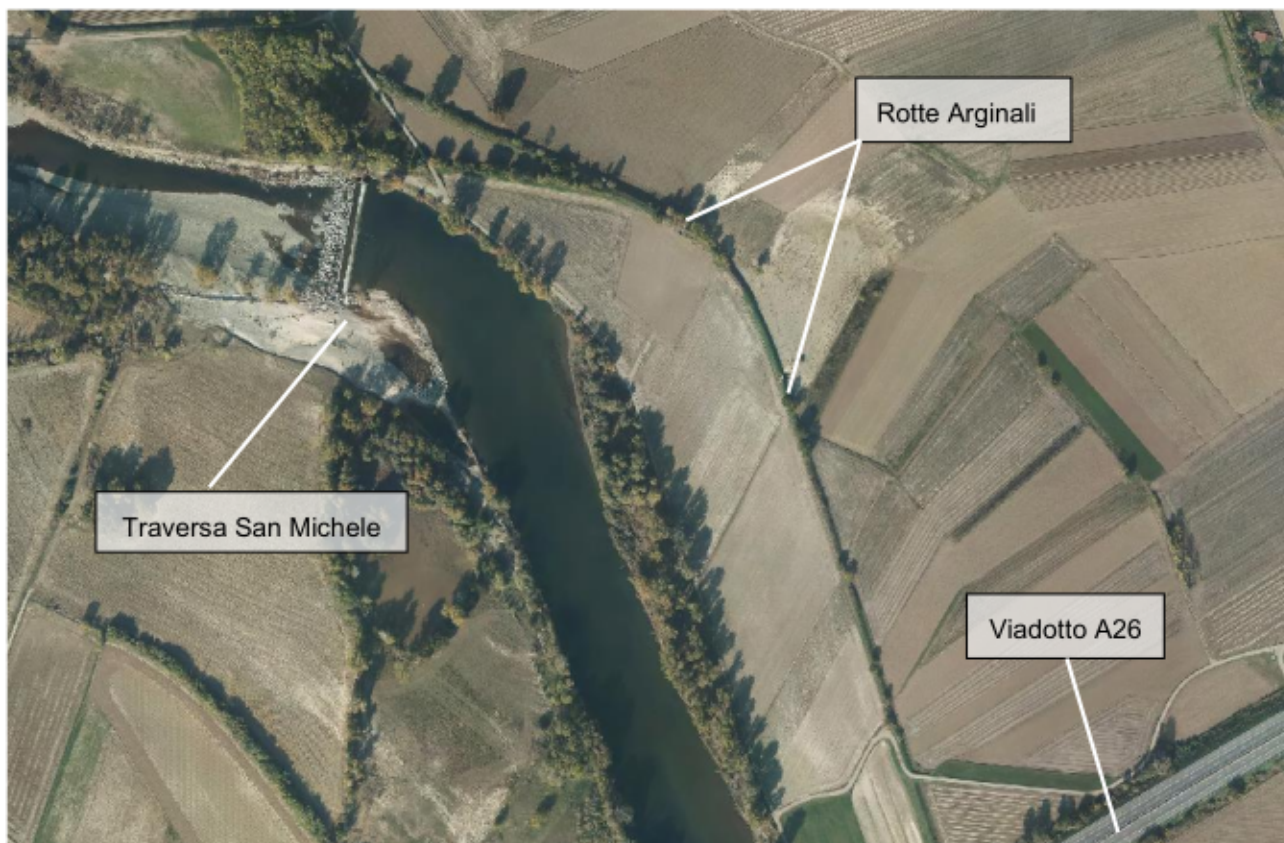


FIGURA 3-3 ROTTE ARGINALI VERIFICATE SI DURANTE L'EVENTO ALLUVIONALE DEL 4 OTTOBRE 2021 – FOTO AEREE OTTOBRE 2021

4. DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO

4.1. DIRETTIVA PAI

Per la determinazione delle portate di riferimento da assumere per il torrente Orba nel tratto di asta fluviale considerato si è fatto riferimento agli studi idrologici condotti per la stesura dello Studio di Fattibilità del 2011 e della Variante al PAI del 2019, basati sulle serie storiche delle stazioni pluviometriche ed idrometriche disponibili per il bacino del torrente.

L'onda di piena di riferimento per questo studio è quella rappresentativa della sollecitazione idraulica associata ad un tempo di ritorno pari a 200 anni, coincidente con quella assunta per la delimitazione della Fascia B del torrente Orba.

In immediatamente a valle della confluenza con il torrente Lemme nei pressi del viadotto della A26.

TABELLA 1 sono riportati i valori delle portate al colmo per il torrente Orba indicate dal PAI comprensive delle integrazioni proposte all'interno dello Studio di Fattibilità. Queste integrazioni consistono nell'inserimento delle portate per i tempi di ritorno 2, 5, 10 e 50 anni calcolate per estrapolazione con l'espressione di Gumbel e nell'aggiunta per interpolazione delle portate al colmo per le sezioni intermedie di Predosa e Fresonara in funzione dell'area di bacino idrografico sottesa.

Il modello idraulico si estende dal viadotto dell'Autostrada A26 nei pressi di Basaluzzo, a valle della confluenza con il torrente Lemme, fino alla confluenza del Fosso Acquanera. Si è quindi deciso di utilizzare come valore di portata al colmo per il tratto modellato quello associato alla sezione di Fresonara (Basaluzzo) pari a 2380 m³/s, posta immediatamente a valle della confluenza con il torrente Lemme nei pressi del viadotto della A26.

**TABELLA 1 PORTATE AL COLMO DI RIFERIMENTO NELLE SEZIONI IDROLOGICHE DEL FIUME BORMIDA E DEL TORRENTE ORBA PER
ASSEGNATI TEMPI DI RITORNO (DA DIRETTIVA PAI)**

Corso d'acqua	Sezione	Superficie	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500
		km ²	(m ³ /s)							
Bormida	Acqui Terme	1355	490	1060	1440	1740	2270	2720	2980	3360
Bormida	Strevi	1457	730	1250	1600	1900	2360	2740	3010	3390
Bormida	Cassine	1513	910	1390	1720	2010	2420	2750	3020	3400
Bormida	Sezzadio	1607	1010	1490	1810	2110	2520	2840	3110	3500
Bormida	Castellazzo B.	1693	1100	1580	1900	2200	2600	2900	3180	3580
Bormida	Alessandria	2566	1240	1790	2160	2510	2970	3310	3640	4100
Orba	Albereto	143	510	730	870	—	—	—	—	—
Orba	Belletto	176	540	770	930	—	—	—	—	—
Orba	Confl. Stura di O. (V)	323	650	930	1110	—	—	—	—	—
Orba	Silvano d'Orba	434	700	1010	1210	1410	1670	1860	2050	2300
Orba	Prelosa	543	750	1080	1300	1510	1780	1990	2190	2460
Orba	Fresonara	723	810	1170	1410	1640	1940	2170	2380	2680
Orba	Confl. Bormida	798	830	1210	1450	1690	2000	2230	2450	2760

4.2. IMPATTO DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLE PORTATE DI RIFERIMENTO

Il susseguirsi di eventi alluvionali straordinari sul torrente Orba nell'arco dell'ultimo decennio impone una riflessione in merito all'impatto che il cambiamento climatico sta avendo sull'idrologia del bacino.

Negli ultimi 10 anni si sono infatti verificati ben quattro eventi associati a tempi di ritorno centenari e bicentenari con riferimento ai valori indicati dal PAI per la sezione di Casal Cermelli (AL) come riportato in Tabella 2.

TABELLA 2 PORTATE AL COLMO REGistrate ALL'IDROMETRO DI CASAL CERPELLI (AL) NEGLI EVENTI ALLUVIONALI DELL'ULTIMO DECENNIO

Evento	Portata	Fonte
2011	2010 m ³ /s	ARPA
2014	2135 m ³ /s	ARPA
2019	2340 m ³ /s	ARPA
2021	2390 m ³ /s	AIPO

Si è quindi deciso di eseguire un'analisi statistica utilizzando la serie storica dei valori di portata al colmo registrati all'idrometro di Casal Cermelli (AL) 1997-2016 (Tabella 3), disponibile pubblicamente sul sito di ARPA Piemonte.

È stata quindi ricalcolata la curva di durata delle piene attraverso la distribuzione di probabilità Gumbel dei valori di portata al colmo in funzione del tempo di ritorno aggiornata ad una serie storica più recente.

**TABELLA 3 PORTATE AL COLMO DEL TORRENTE ORBA REGistrate ALL'IDROMETRO DI CASAL CERMELLI (AL) DAL 1997 AL 2016
 (FONTE ARPA PIEMONTE)**

Anno	Portata al colmo (m ³ /s)	Anno	Portata al colmo (m ³ /s)
1997	900	2007	220
1998	770	2008	530
1999	310	2009	970
2000	1260	2010	745
2001	430	2011	2010
2002	1280	2012	410
2003	780	2013	1205
2004	410	2014	2135
2005	590	2015	205
2006	920	2016	870

Successivamente, si è proceduto ad inoculare i valori di portata al colmo registrati nel 2019 e nel 2021 alla serie storica riportata in Tabella 3 per avere dati aggiornati agli ultimi eventi straordinari ed è stata quindi calcolata nuovamente la curva di durata delle piene applicando l'espressione di Gumbel.

Il risultato di queste operazioni statistiche è riportato in Tabella 4 ed in Figura 4-1. Si nota chiaramente come l'impatto del cambiamento climatico sia inequivocabile e sempre più accentuato con il passare del tempo. **Il valore della portata duecentennale per la sezione di Casal Cermelli (AL) ha subito un incremento del 19% considerando il periodo 1997-2016 passando da 2380 m³/s a 2838 m³/s e del 46% considerando anche gli eventi del 2019 e del 2021, arrivando al valore di 3.464 m³/s.**

TABELLA 4 CONFRONTO TRA VALORI DI PORTATA AL COLMO IN FUNZIONE DEL TEMPO DI RITORNO PER IL TORRENTE ORBA ALLA SEZIONE DI CASAL CERVELLI (AL)

TR [Anni]	Direttiva PAI	1997-2016	1997-2016 + 2019 + 2021
	Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]
1.05	0	35	98
2	810	728	875
5	1170	1216	1470
10	1410	1554	1864
20	1640	1857	2242
50	1940	2250	2732
100	2170	2545	3098
200	2380	2838	3464
500	2680	3225	3946

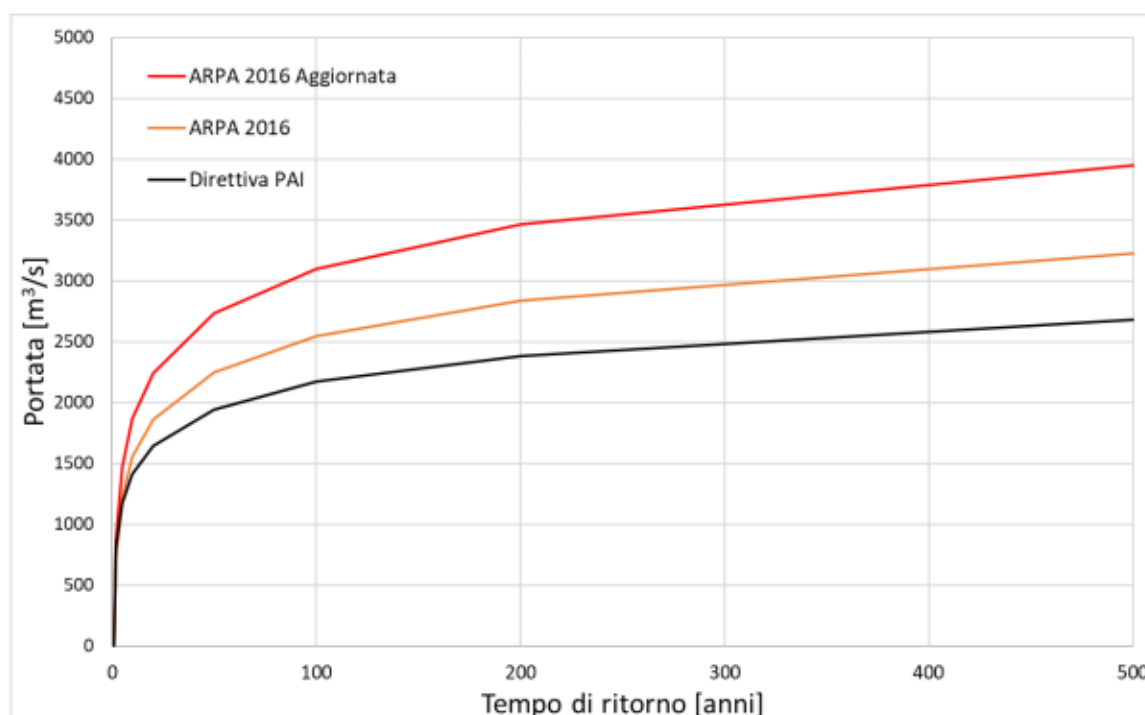


FIGURA 4-1 CONFRONTO TRA CURVE DI DISTRIBUZIONE DI PROBABILITÀ DI GUMBEL DELLE PORTATE AL COLMO IN FUNZIONE DEL TEMPO DI RITORNO PER IL TORRENTE ORBA ALLA SEZIONE DI CASAL CERVELLI (AL)

Alla luce dei risultati di questa analisi statistica, si è cautelativamente deciso di valutare la funzionalità delle opere progettate anche a fronte di sollecitazioni idrauliche caratterizzate da valori di portata al colmo superiori rispetto a quello indicato dal PAI. Tali valori sono **2838 m³/s** e **3464 m³/s** e corrispondono ad un valore di portata al colmo associato ad un evento di piena duecentennale secondo le curve di durata delle portate mostrate in Figura 4-1.

5. ANALISI IDRAULICHE

5.1. IL MODELLO IDRODINAMICO COSTRUITO PER LE SIMULAZIONI

La verifica della funzionalità delle opere in oggetto è stata effettuata con il supporto di un modello idrodinamico bidimensionale in moto vario appositamente creato che consente di propagare un'onda di piena lungo l'asta fluviale, schematizzata attraverso una mesh a maglie di dimensione variabile, e di determinare puntualmente le grandezze idrauliche di riferimento (tiranti idraulici, campo delle velocità, tensioni tangenziali, ecc.) sia nell'alveo inciso che nelle aree golenali. Grazie allo schema di calcolo bidimensionale, è possibile valutare nel dettaglio anche il moto dell'acqua in direzioni che divergono da quella principale della corrente, permettendo una rappresentazione decisamente superiore degli allagamenti rispetto ad un modello monodimensionale.

5.1.1. DESCRIZIONE DEL SOFTWARE UTILIZZATO

Il modello utilizzato per la propagazione delle onde di piena nel corso d'acqua analizzato è: "HEC-RAS River Analysis System", elaborato dall' Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers degli U.S.A. Si tratta di uno strumento di applicabilità molto ampia, largamente utilizzato presso Enti Pubblici e Privati negli Stati Uniti e in oltre 40 nazioni, ed ormai adottato anche da molti Enti Pubblici Italiani.

Il modello contiene quattro componenti di analisi idraulica quali: analisi di moto permanente monodimensionale, simulazioni 1D e 2D in moto vario, simulazioni del trasporto solido, modellazione della temperatura dell'acqua e del trasporto dei costituenti.

Il modello bidimensionale di propagazione della piena, diversamente dal modello monodimensionale, è in grado di valutare la velocità della corrente lungo due direzioni principali, assi x e y appartenenti al piano orizzontale. Le equazioni di base per la propagazione della piena sono l'equazione di conservazione della massa e l'equazione di conservazione della quantità di moto:

$$\frac{DM}{dt} = 0$$

$$\frac{D\bar{Q}}{dt} = \int_V \bar{f} dV + \int_A \bar{\sigma} dA$$

Si tratta di un'equazione differenziale scalare (massa) e di un'equazione differenziale vettoriale (quantità di moto). Esplicitando le due equazioni si ricavano le espressioni di *Navier-Stokes*. Tuttavia, poiché le equazioni di *Navier-Stokes* descrivono il moto dei fluidi in tre dimensioni, sono state introdotte delle semplificazioni e, pertanto, le equazioni che sono di seguito riportate sono definite "*Shallow Water (SW) Equations*". Le semplificazioni prevedono che il fluido sia incomprimibile, la densità uniforme, la distribuzione delle pressioni idrostatica, che ci sia un'approssimazione del moto turbolento usando la viscosità turbolenta e che la

lunghezza della scala verticale sia molto minore rispetto a quella orizzontale; quest'ultimo elemento implica che la velocità verticale sia molto piccola.

Equazione di continuità:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0$$

Dove u e v sono le componenti della velocità, $\mathbf{V}=(u,v)$, rispettivamente in direzione x e y ;

H e h sono rispettivamente la quota piezometrica e il tirante idrico.

L'equazione della conservazione della quantità di moto, proiettata in direzione x e y , facendo le semplificazioni descritte precedentemente, si presenta come:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f v$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + f u$$

Dove:

g è l'accelerazione gravitazionale;

v_t è la viscosità turbolenta in direzione orizzontale;

c_f è il coefficiente d'attrito sul fondo dell'alveo;

f è il parametro che tiene conto dell'accelerazione di Coriolis.

Le equazioni possono essere risolte nella loro forma completa, *Full Momentum*, oppure, in condizioni ben specifiche, ovvero quando i termini legati alla gravità e all'attrito sono dominanti (si trascurano i termini non stazionari, gli sforzi tangenziali interni e l'effetto di Coriolis) le equazioni del moto possono essere sostituite da un'unica equazione la cui forma è definita "*Diffusion-Wave Form*". La diretta sostituzione di quest'ultima nell'equazione di conservazione della massa permette di ottenere la "*Diffusion Wave Approximation of the Shallow Water Equations*".

Il modello bidimensionale è costituito da una griglia che prende il nome di mesh computazionale e che rappresenta la topografia per mezzo di celle interconnesse. La costruzione della mesh origina definendo i punti che rappresentano il centro della cella, si procede poi con la triangolazione di Delaunay e con la decomposizione di Voronoi come mostrato in Fig. 4-1. La griglia non può avere più di 8 facce.

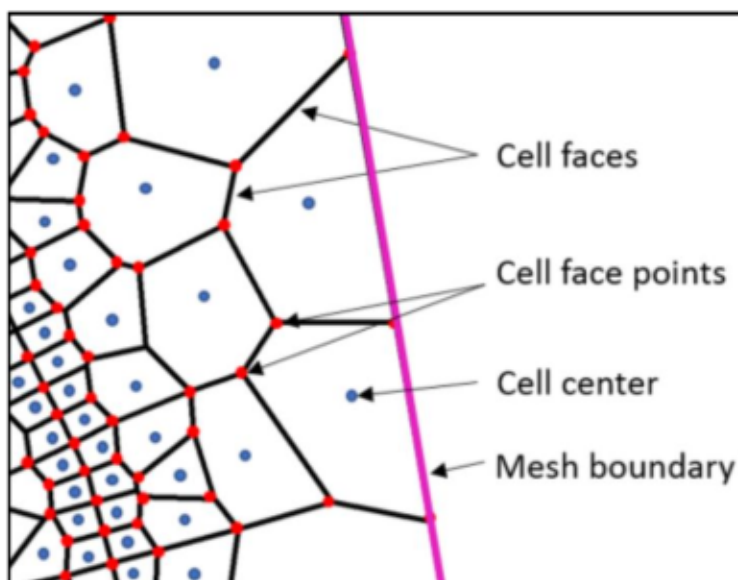


FIGURA 5-1 ESEMPIO DI UNA MESH DI CALCOLO IN AMBIENTE HEC-RAS

Una corretta scelta delle dimensioni della mesh di calcolo comporta una risoluzione migliore delle equazioni. Oltre a scegliere le dimensioni della mesh di calcolo viene definito anche il *time step di calcolo* tramite la condizione di Courant:

$$c = \frac{vel \Delta t}{\Delta x} \leq 1 \qquad \Delta t \leq \frac{\Delta x}{vel} \quad (c = 1)$$

Infine, la risoluzione delle equazioni sopra descritte, richiede anche la conoscenza delle condizioni al contorno e delle condizioni iniziali. Come condizioni al contorno è possibile inserire un idrogramma delle portate, un idrogramma dei livelli idrometrici o una scala delle portate. Come condizione iniziale si può assegnare il livello idrometrico (come condizione di default area asciutta).

5.1.2. GEOMETRIA DEL MODELLO MATEMATICO

Il tronco fluviale preso in esame per questo studio idraulico (parte integrante del modello generale) origina dal viadotto dell'Autostrada A26 nei pressi di Basaluzzo (AL), immediatamente a valle della confluenza con il torrente Lemme, e si estende per circa 10 km per concludersi poche decine di metri a valle della confluenza del Fosso Acquanera.

La geometria dell'asta fluviale e delle aree golenali è topograficamente descritta nel dettaglio da un DTM avente precisione 1x1 m realizzato alla fine di Ottobre del 2021 e che tiene quindi conto dei danni arrecati dall'evento alluvionale occorso all'inizio dello stesso mese. Grazie alle funzionalità dello strumento "RAS- Mapper" del software HEC-RAS utilizzato per l'implementazione del modello, il DTM è stato aggiornato, inserendo tutti gli interventi di ripristino delle brecce arginali effettuati immediatamente dopo l'evento. Successivamente, il DTM è stato ulteriormente integrato inserendo manualmente tutti quegli elementi morfologici e geometrici puntuali non rilevati dal sensore LIDAR ma direttamente sul posto, come ad esempio le pile in alveo delle opere di attraversamento.

Come accennato in precedenza, la geometria dell'asta del torrente Orba è schematizzata per mezzo di una mesh bidimensionale formata da celle di calcolo di dimensioni variabili e mutualmente interconnesse. Per questo studio è stata implementata una mesh di calcolo costituita da celle quadrate della dimensione di 10x10m, opportunamente infittita (da 5x5m fino a 1x1m a seconda dei casi) in corrispondenza di elementi morfologici che necessitano di maggior dettaglio, come ad esempio rilevati arginali o le pile in alveo degli attraversamenti, come mostrato in Figura 5-2.

I valori di scabrezza utilizzati per il tratto considerato sono stati valutati sulla base dei valori di letteratura ed è stato utilizzato un coefficiente di Strickler pari a circa $18 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ per l'alveo e per le aree golenali, mentre per le aree vegetate è stato utilizzato un valore di $12 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Tali valori sono stati tarati e validati confrontando le risultanze del modello idraulico con gli eventi realmente accaduti nel 2019 e 2021 e dei quali si dispone di foto aeree ad alta risoluzione delle aree allagate. Il modello idraulico si è rivelato in grado di riprodurre gli allagamenti con ottima approssimazione.

Infine, per tenere cautelativamente in considerazione la tendenza dell'alveo dell'Orba al ripascimento riscontrata negli ultimi anni, il DTM utilizzato per la modellazione non è stato modificato nella batimetria, che riporta quindi il livello dell'acqua al momento del rilievo.

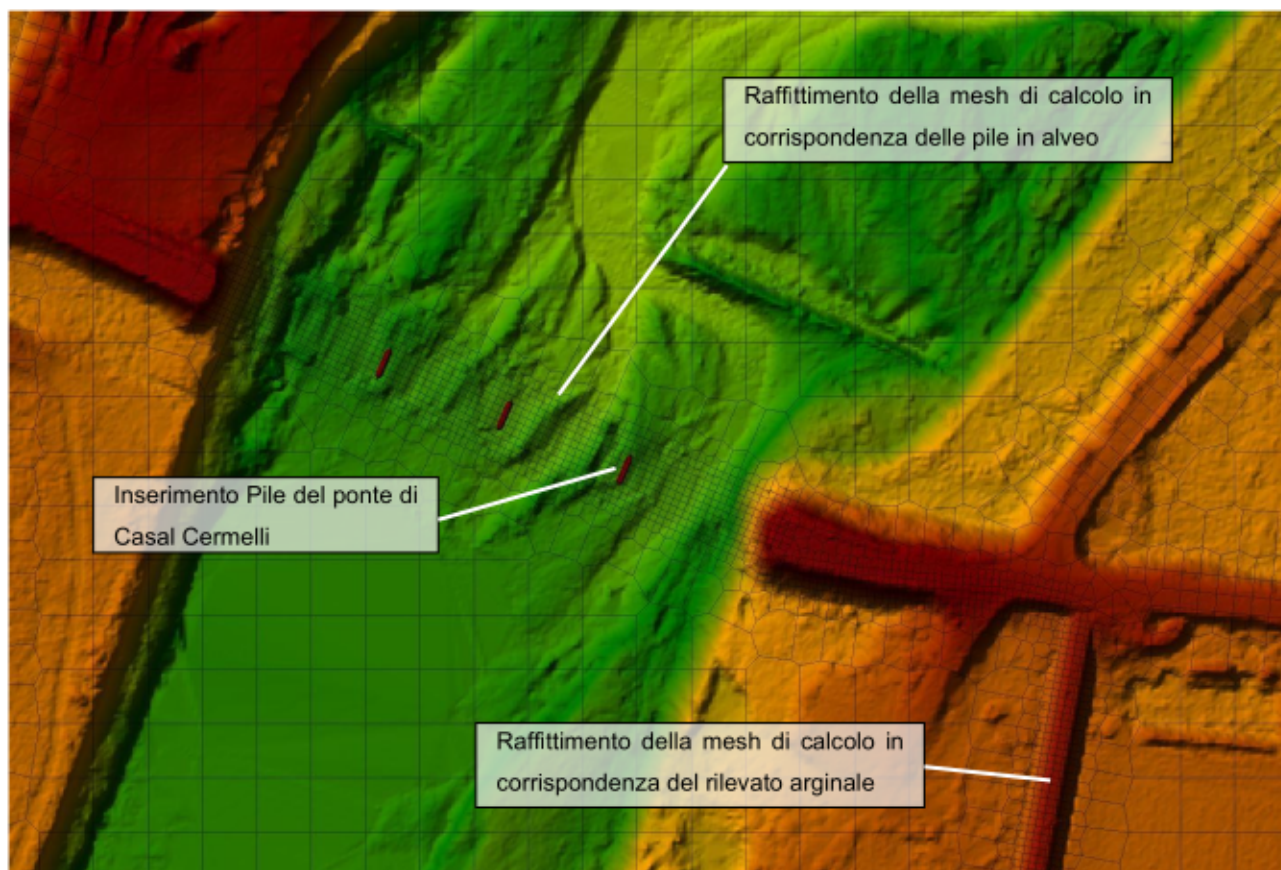


FIGURA 5-2 ESTRATTO DELLA MESH DI CALCOLO UTILIZZATA

5.1.3. SCENARI MORFOLOGICI MODELLATI

Gli scenari morfologici presi in considerazione per lo studio sono i seguenti:

1. **Scenario morfologico allo Stato di Fatto:** questo scenario morfologico è rappresentativo dello stato di fatto dei luoghi allo stato attuale. Il DTM rilevato ad Ottobre 2021 è stato quindi integrato secondo quanto descritto nel paragrafo precedente;
2. **Scenario morfologico allo Stato di Fatto + Brecce:** questo scenario morfologico è analogo allo Scenario 1, ma viene simulata la presenza delle due brecce arginali verificatisi nel 2019 e nel 2021 sull'arginatura strategica in destra idraulica poco a valle del viadotto dell'Autostrada A26;
3. **Scenario morfologico allo Stato di Progetto:** questo scenario morfologico è derivato da quello allo Stato di Fatto al quale sono stati aggiunti gli interventi oggetto di progettazione in questa sede;
4. **Scenario morfologico allo Stato di Progetto + Brecce:** questo scenario coincide con lo Scenario 3 ma vengono simulate le brecce descritte nello Scenario 2.

5.1.4. CONDIZIONI AL CONTERNO

Il modello idraulico realizzato prevede l'inserimento di due condizioni al contorno: una condizioni di monte ed una di valle. Per la condizione di monte è stato utilizzato l'idrogramma di portata del torrente Orba uscente dal modello idraulico del tratto di monte, a garanzia della continuità della catena modellistica di cui questo modello rappresenta il tratto centrale. Per la condizione al contorno di valle, è stata invece scelta la pendenza del profilo in condizioni di moto permanente (Normal Depth). Tale condizione viene imposta ad una sezione posta 2.5 km a valle del tratto oggetto di studio, in modo da rendere trascurabile la sua influenza sui risultati.

L'idrogramma di piena del torrente Orba utilizzato per la simulazione dell'evento di progetto ha la stessa forma di quello ricavato all'interno del *"Modello matematico della risposta idrologica del fiume Tanaro (chiuso ad Alessandria)"* realizzato dall'Università di Padova e che espone un valore al picco di 2.380 m³/s e volume di piena circa pari a 80 Mil. m³ per l'evento TR=200 anni (PAI).

Tale idrogramma coincide con quello dell'evento utilizzato come riferimento anche per la delimitazione delle fasce fluviali della Variante al PAI del 2019, nel seguito definito idrogramma "TR200 PAI" (Figura 5-3 in colore nero).

Oltre a lanciare l'idrogramma di progetto in questione, sono stati utilizzati ulteriori due idrogrammi di piena per verificare l'efficacia idraulica delle opere oggetto di progettazione anche a fronte di eventi di piena con valori di portata al picco superiori a quelli previsti dal PAI e che tengono quindi conto degli effetti del cambiamento climatico sull'idrologia dei bacini appenninici:

- 1) Forma dell'idrogramma uguale a quello calcolato dallo studio della Università di Padova ma scalato omoteticamente verso l'alto in modo da raggiungere un picco di 2838 m³/s e conseguentemente un volume di piena circa pari a 100 Mil. m³ (Figura 5-3 in colore arancione), nel seguito definito idrogramma "ST16";

- 2) Forma dell'idrogramma analogo a quello dell'evento impulsivo del 4 Ottobre 2021 ma scalato omoteticamente verso l'alto in modo da raggiungere un picco pari a 3464 m³/s e conseguentemente un volume di piena pari a circa 80 Mil. m³ (Figura 5-3 in colore rosso) nel seguito definito idrogramma "ST21".

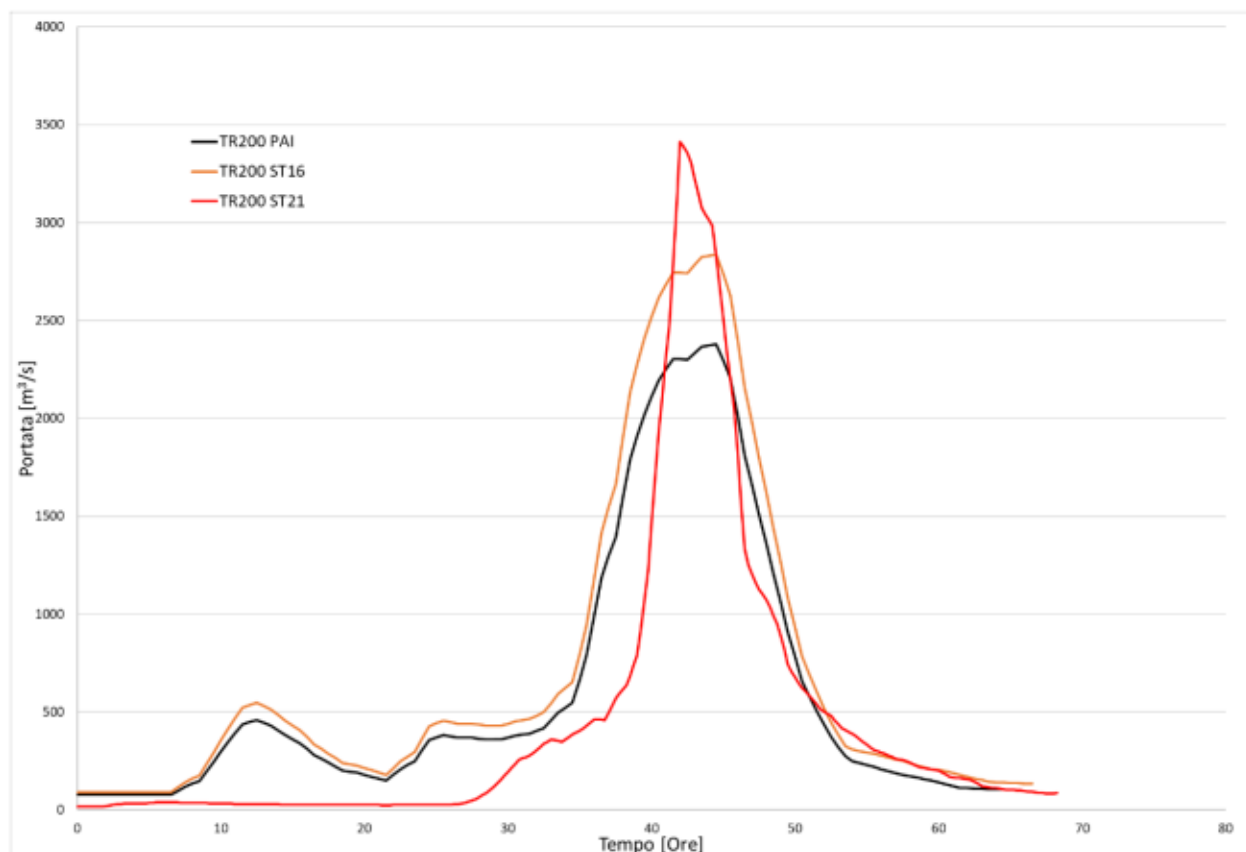


FIGURA 5-3 IDROGRAMMI DI PIENA UTILIZZATI NELLA MODELLAZIONE PER IL TORRENTE ORBA

5.2. RISULTATI DELLE ANALISI IDRAULICHE

In questa Sezione vengono riportati brevemente i risultati salienti delle simulazioni idrauliche condotte per la verifica della funzionalità idraulica degli interventi in progetto.

Sono state eseguite in totale cinque simulazioni:

- **Simulazione N°1:** Scenario morfologico Stato di Fatto con idrogramma TR200 PAI;
- **Simulazione N°2:** Scenario morfologico allo Stato di Fatto + Brecce con idrogramma TR200 PAI;
- **Simulazione N°3:** Scenario morfologico allo Stato di Progetto + Brecce con idrogramma TR200 PAI;
- **Simulazione N°4:** Scenario morfologico allo Stato di Progetto con idrogramma TR200 ST16;
- **Simulazione N°5:** Scenario morfologico allo Stato di Progetto con idrogramma TR200 ST21.

I risultati completi della modellazione idraulica per ognuna delle simulazioni citate, sia in riferimento ai tiranti idrometrici che del campo delle velocità, sono raccolti nel Documento

5.2.1. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE N°1: Scenario morfologico allo stato di fatto con idrogramma TR200 PAI

In questa simulazione è stato simulato il transito dell'onda di piena di progetto (TR200 PAI) nel torrente Orba con uno scenario morfologico rappresentativo dei luoghi allo stato di fatto. La morfologia è tratta dal DTM 2021, integrato con l'aggiunta delle pile in alveo degli attraversamenti e con gli interventi di ripristino arginale successivi al rilievo LIDAR.

La dinamica dell'allagamento risultante dalla modellazione si mostra in linea con quanto realmente accaduto durante i più recenti eventi di piena. Sebbene l'argine golenale mostrato in Figura 5-4 non venga sormontato, esso viene aggirato dalle acque provenienti da monte che, anche in assenza di brecce, si insinuano alle spalle dell'opera attraverso il Fosso Acquanera. Superato l'argine, le acque proseguono verso valle seguendo un percorso ben marcato dalla presenza del paleoalveo e che guida l'esondazione parallelamente all'alveo principale fino a raggiungere nuovamente l'argine golenale, causando in diverse occasioni delle brecce di rientro. In assenza di brecce nell'arginatura nei tratti più a monte tuttavia, l'allagamento si arresta nei dintorni di Cascina San Michele, senza interessare i territori antropizzati più a valle (Figura 5-6).

Dai risultati della modellazione idraulica emerge inoltre come il tratto di arginatura esistente a valle di Cascina San Michele, del quale si prevede l'adeguamento, risulta interessato dall'allagamento solamente in modo marginale. Tale dinamica è con ogni probabilità causata dal progressivo fenomeno di incisione del letto fluviale rispetto alle golene, sia al danneggiamento della traversa posta immediatamente a valle del ponte della SP181.

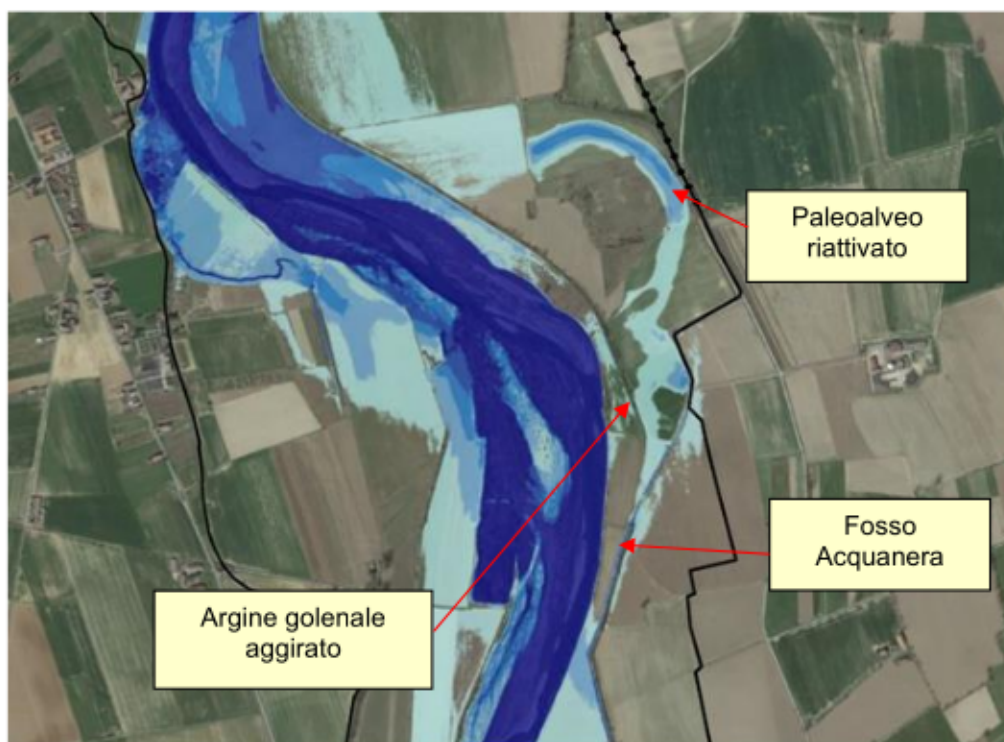


FIGURA 5-4 DETTAGLIO DELLA DINAMICA DI AGGIRAMENTO DELL'ARGINE GOLENALE E COINVOLGIMENTO DEL PALEOALVEO

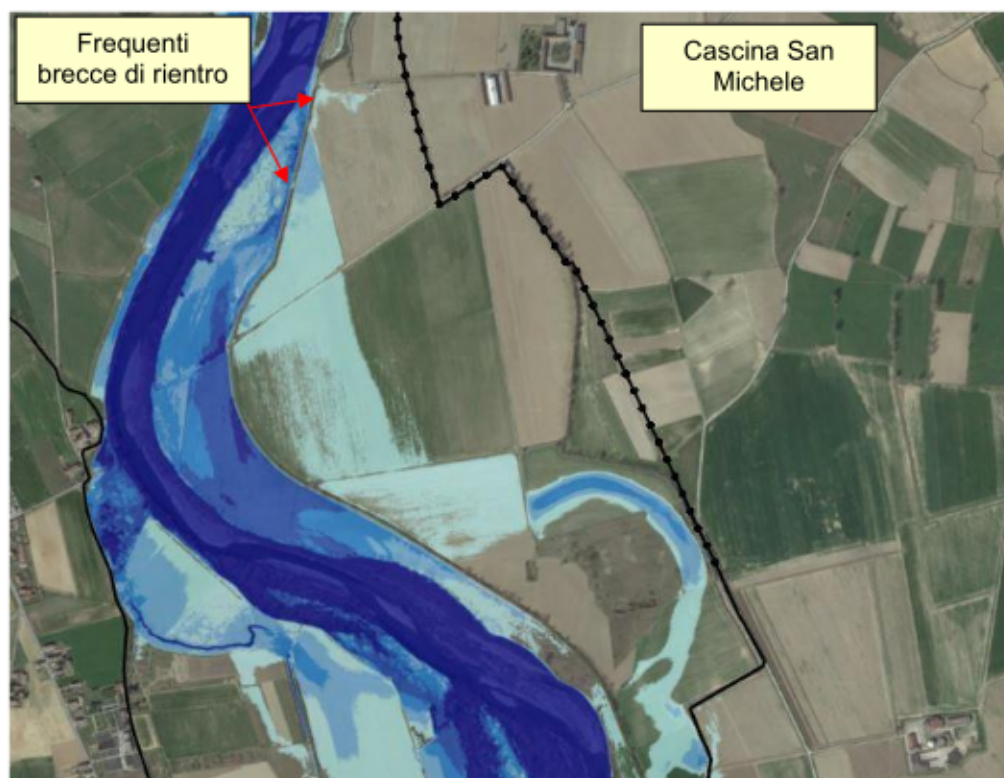


FIGURA 5-5 TIRANTI IDRAULICI MASSIMI CHE SI INSTAURANO NEL TRATTO A MONTE DI CASCINA SAN MICHELE A SEGUITO DEL TRANSITO DELL'ONDA DI PIENA DI PROGETTO (TR200 PAI) NELLO SCENARIO MORFOLOGICO 1

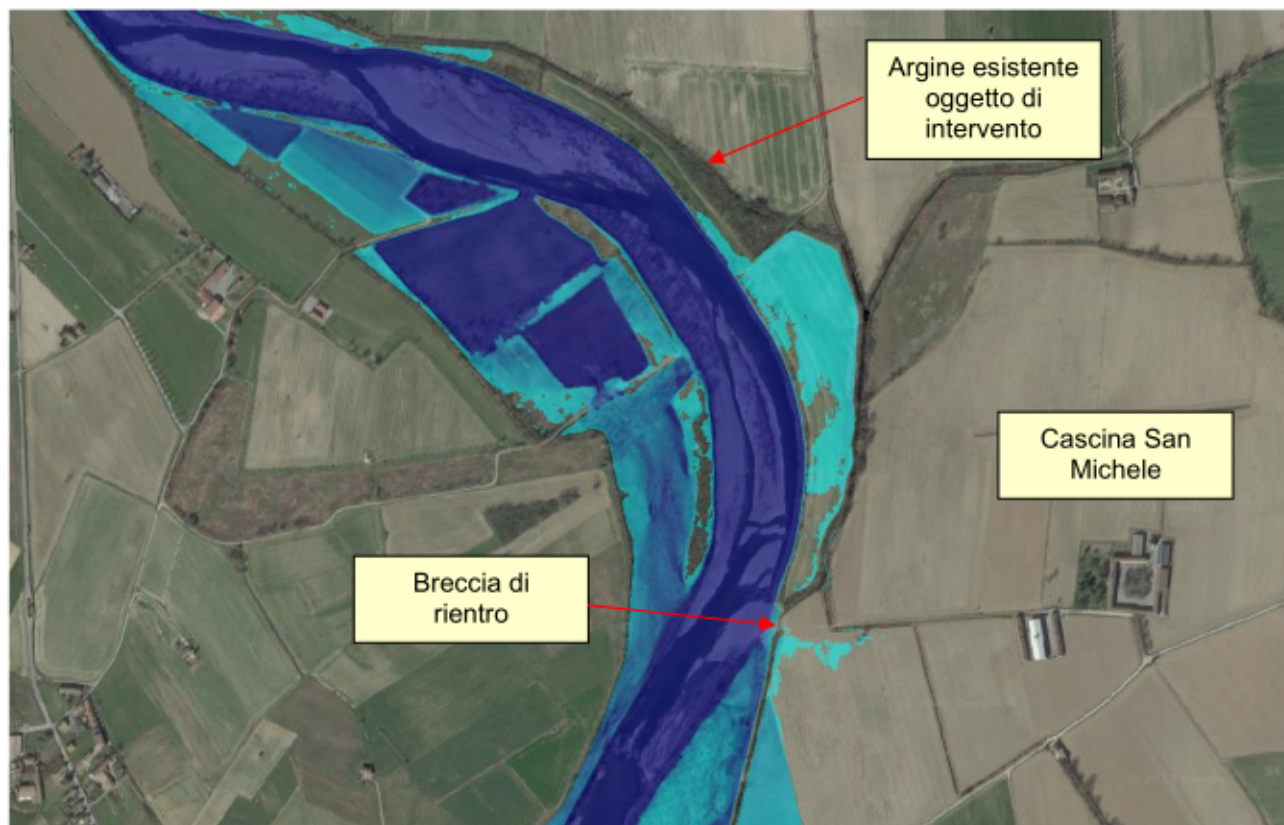


FIGURA 5-6 TIRANTI IDRAULICI MASSIMI CHE SI INSTAURANO NEL TRATTO A VALLE DI CASCINA SAN MICHELE A SEGUITO DEL TRANSITO DELL'ONDA DI PIENA DI PROGETTO (TR200 PAI) NELLO SCENARIO MORFOLOGICO 1

5.2.2. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE N°2: Scenario Morfologico Allo Stato Di Fatto + Breccie con idrogramma TR200 PAI

Questa simulazione è analoga alla precedente per quanto riguarda le condizioni al contorno e lo scenario morfologico (stato di fatto), ma viene simulata la formazione di due breccie nell'argine strategico compreso tra la Traversa San Michele ed il ponte dell'autostrada A26 (Figura 5-7). La posizione delle breccie è quella dell'evento del 4 Ottobre 2021 ed è stata desunta dal DTM e dalle ortofoto successive all'evento, ed è rappresentativa delle breccie che storicamente si sono qui verificate durante eventi di piena.

La presenza delle breccie sull'argine strategico di monte comporta un significativo sversamento di acqua che va ad acuire il fenomeno di aggiramento dell'argine golenale descritto nel paragrafo precedente. La maggior portata che aggira l'argine golenale e scorre parallelamente all'Orba a tergo del rilevato determina la prosecuzione dell'allagamento a valle di Cascina San Michele attraverso il fosso Acquanera. La sezione del fosso non è sufficiente a contenere le acque di esondazione che straripano, andando ad arrestarsi contro il rilevato della SP181 per poi proseguire oltre, come paventato dalla Valutazione del Rischio Residuo del Comune di Frugarolo (Figura 5-8).



FIGURA 5-7 DETTAGLIO DELLA DINAMICA DI ALLAGAMENTO CONSEGUENTE ALLA FORMAZIONE DELLE BRECE SULL'ARGINE STRATEGICO A VALLE DELL'AUTOSTRADA A26 (EVIDENZIATE IN ROSSO)

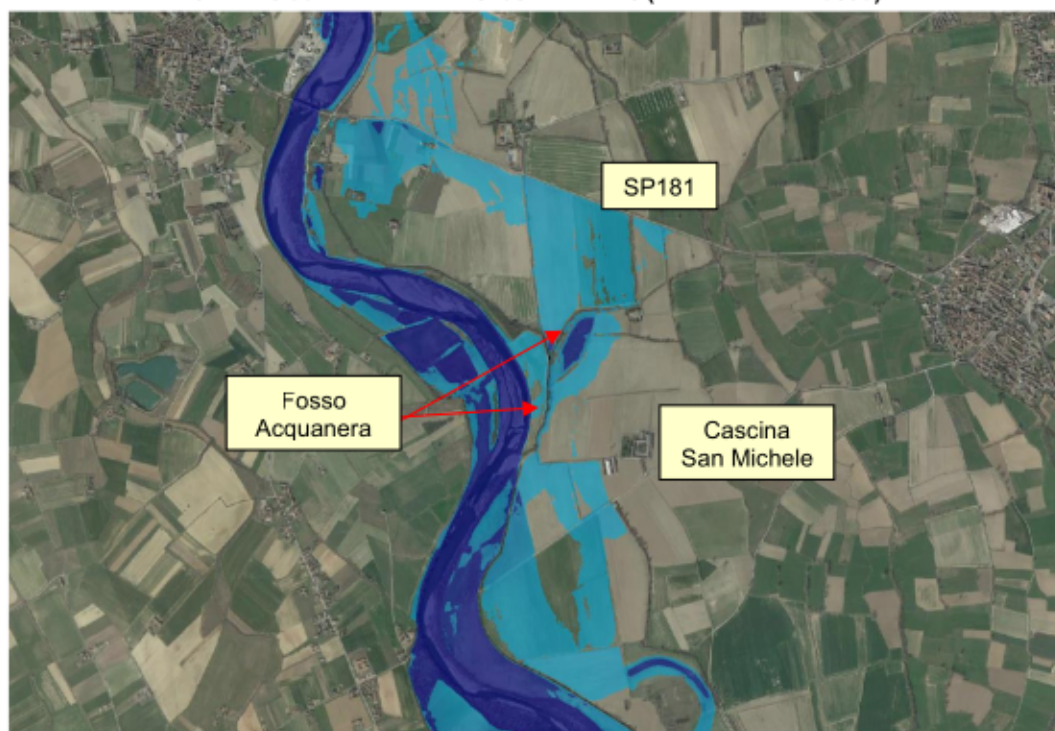


FIGURA 5-8 TIRANTI IDRAULICI MASSIMI CHE SI INSTAURANO NEL TRATTO A VALLE DI CASCINA SAN MICHELE A SEGUITO DEL TRANSITO DELL'ONDA DI PIENA DI PROGETTO (TR200 PAI) NELLO SCENARIO MORFOLOGICO 2

5.2.3. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE N°3: Scenario morfologico allo Stato di Progetto + Breccie con idrogramma TR200 PAI

In questa simulazione il torrente Orba è stato sollecitato con l'onda di piena di progetto (TR200 PAI) nello scenario morfologico allo stato di progetto con formazione delle due breccie nell'argine strategico mostrate nel paragrafo precedente (Scenario Morfologico 4). Lo scenario di progetto consiste nella realizzazione dei seguenti interventi (Figura 5-9):

- **Intervento 1:** Ringrosso in sagoma e in quota dell'arginatura esistente (L=1600m);
- **Intervento 2:** Ringrosso in quota ed in sagoma dello stradello di servizio della Cascina San Michele (L=450m) e realizzazione di un manufatto chiavicale sul fosso Acquanera;
- **Intervento 3:** Realizzazione di una soglia stramazzabile nell'argine esistente (L=40m).

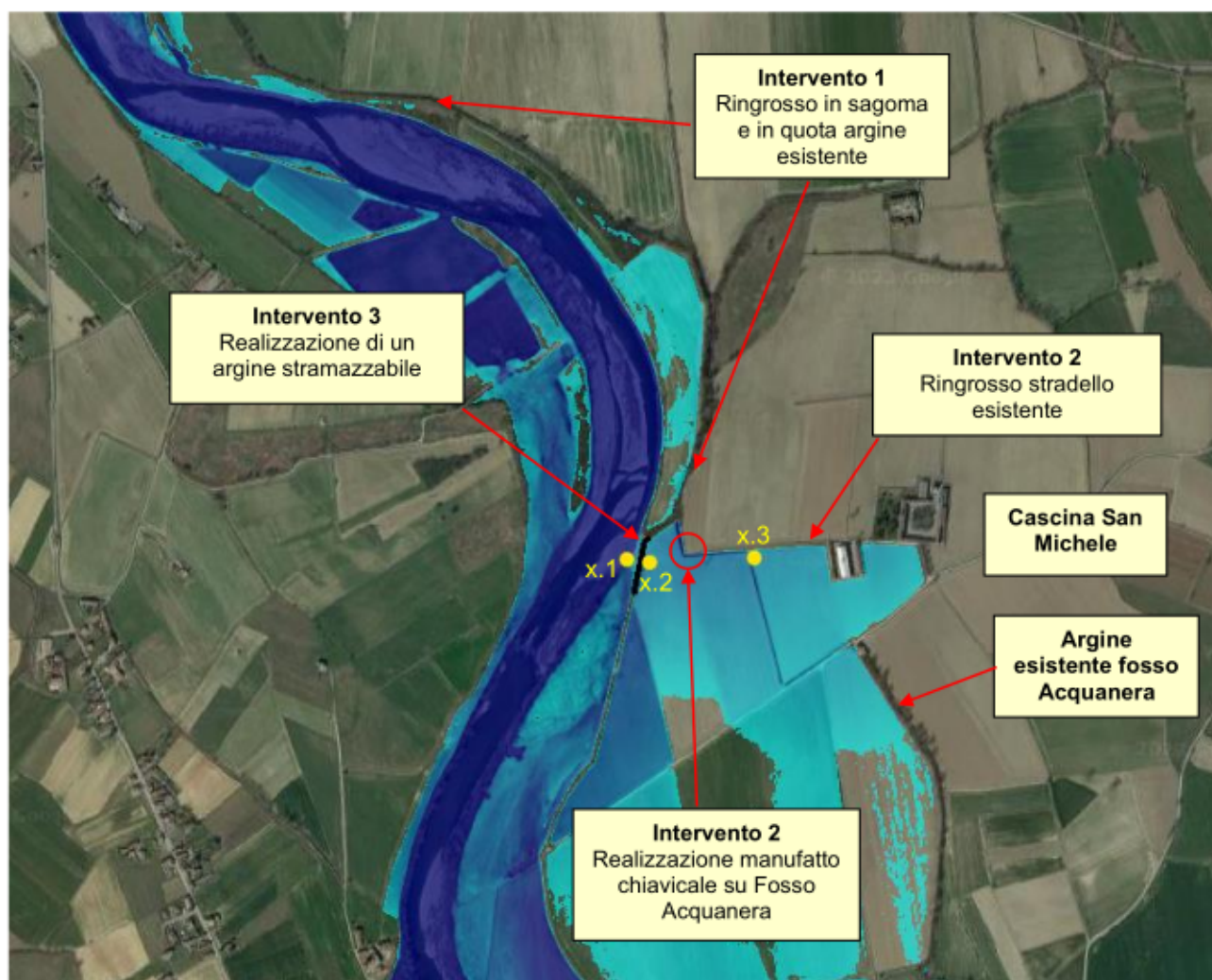


FIGURA 5-9 TIRANTI IDRAULICI MASSIMI CHE SI INSTAURANO NEL TRATTO IN CORRISPONDENZA DI CASCINA SAN MICHELE A SEGUITO DEL TRANSITO DELL'ONDA DI PIENA DI PROGETTO (TR200 PAI) NELLO SCENARIO MORFOLOGICO 4

Il sovrizzo dello stradello esistente e la realizzazione del manufatto chiavicale, le cui paratoie andranno serrate in occasione del transito di eventi di piena straordinari, impediscono all'acqua proveniente da monte di proseguire verso valle, a differenza di quanto accadrebbe allo stato di fatto (vedasi Simulazione N°2). Più a monte, l'argine sinistro del fosso Acquanera a monte del Residence Il Mansio si presenta continuo e sufficientemente alto da garantire il contenimento dell'allagamento con un franco idraulico pari a circa 1 metro.

L'acqua che esonda da monte aggirando l'argine golenale viene quindi confinata tra lo stradello, l'argine golenale in sinistra e l'argine del fosso Acquanera in destra. Al termine dell'evento le paratoie del manufatto chiavicale posto sul fosso Acquanera verranno aperte, consentendo il deflusso in sicurezza delle acque non ancora assorbite dal terreno attraverso la tubazione avente diametro $\Phi 1000$ mm.

Al fine di evitare che il livello idrico all'interno di quest'area si innalzi inaspettatamente oltre ai livelli di progetto del sovrizzo dello stradello, vanificando i vantaggi idraulici dell'intervento, è prevista la realizzazione di una soglia sfiorante sull'argine golenale del torrente Orba. La quota di innesco della soglia è stata posta a 111.20 m s.l.m. ed è stata calcolata in modo da permettere l'allontanamento delle acque in eccesso, ma sufficiente ad impedire alle acque del torrente Orba di sormontarla (Figura 5-10). Con riferimento a Figura 5-9, si registrano infatti a valle e a monte dell'argine stramazzabile i seguenti livelli idrometrici massimi: $h_{x,1} = 110.35$ m s.l.m. e $h_{x,2} = 111.17$ m s.l.m.

Il livello idrometrico massimo che si instaura a ridosso dello stradello sovrizzato è pari a $h_{x,3} = 111.17$ m s.l.m. e, per tale motivo, si decide di imporre come quota di progetto dello stradello il valore di 112.00 m s.l.m. in modo da garantire un adeguato franco idraulico.

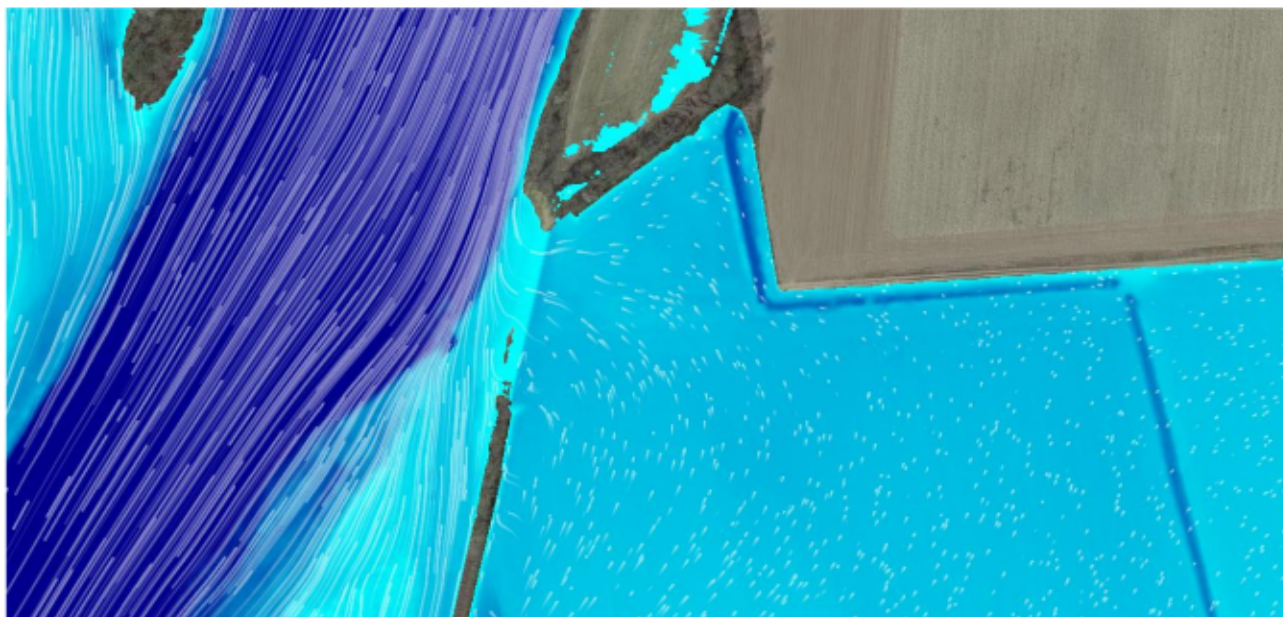


FIGURA 5-10 DETTAGLIO DEL FUNZIONAMENTO DELLA SOGLIA STRAMAZZANTE PREVISTA SULL'ARGINE GOLENALE

5.2.4. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE N°4: Scenario morfologico allo Stato di Progetto con idrogramma TR200 ST16

La simulazione N°4 qui descritta e la successiva simulazione N°5 sono state condotte al fine di verificare l'efficacia degli interventi previsti anche a fronte di onde di piena con portate al colmo superiori a quelle previste dal PAI e che tengono conto dei recenti eventi, certamente influenzati dagli effetti del cambiamento climatico.

Lo scenario morfologico considerato (Scenario Morfologico 3) è quello di progetto e prevede la tenuta degli argini strategici a valle del viadotto della A26, diversamente da quanto fatto per la simulazione N°3 nel quale sono state considerate le brecce verificatesi nel 2021. L'idrogramma di piena utilizzato per questa simulazione è quello denominato TR200 ST16 (Capitolo 4), caratterizzato da un valore al picco di 2838 m³/s e forma identica all'idrogramma TR200 PAI.

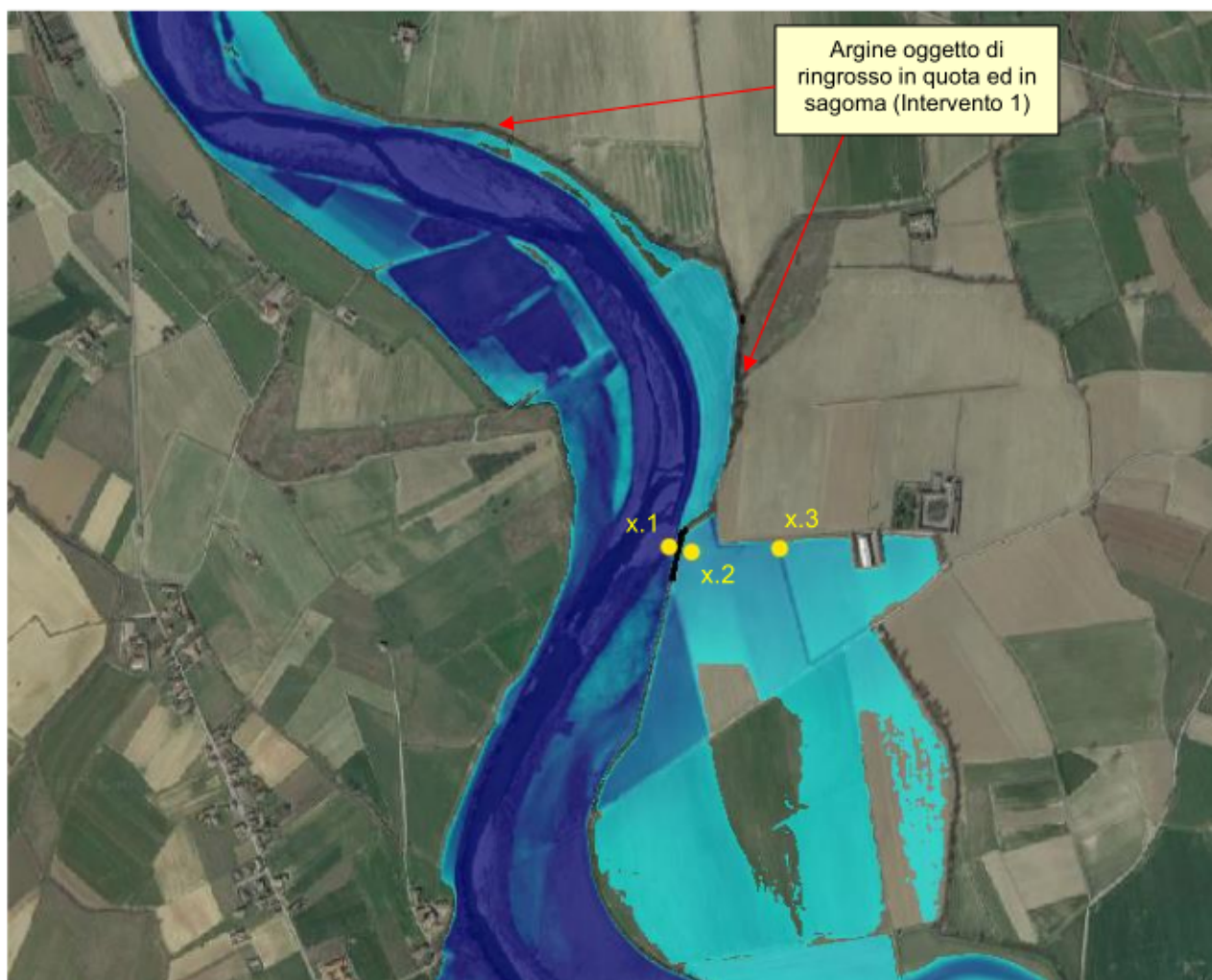


FIGURA 5-11 TIRANTI IDRAULICI MASSIMI CHE SI INSTAURANO NEL TRATTO IN CORRISPONDENZA DI CASCINA SAN MICHELE A SEGUITO DEL TRANSITO DELL'IDROGRAMMA DI PIENA DI TR200 ST16 NELLO SCENARIO MORFOLOGICO 3

A causa della mancanza degli afflussi derivanti dalle brecce tra la Traversa San Michele ed il ponte dell'autostrada A26, il volume di acqua che aggira l'argine golenale e che raggiunge lo stradello risulta inferiore rispetto a quanto si riscontra nella simulazione N°3, nonostante la portata al picco in Orba sia maggiorata del 19% rispetto al valore indicato dal PAI (2380 m³/s). I livelli idrometrici massimi che si registrano a tergo dell'argine golenale nei punti X2 ed X3 (Figura 5-11) sono pertanto inferiori rispetto alla simulazione N°2 ed entrambi pari a 111.09 m s.l.m. (-8cm) mentre valle della soglia, il livello massimo registrato in Orba è pari a $h_{x,1} = 110.70$ m s.l.m. (+35cm).

Si registra inoltre come il rilevato arginale del quale si prevede ringrosso in quota ed in sagoma all'interno dell'Intervento 1 sia ora raggiunto dall'allagamento nella quasi totalità del suo sviluppo lineare, contrariamente a quanto si verifica in occasione del transito dell'idrogramma TR200 PAI di progetto (Simulazione N°2 e N°3). Tuttavia, i tiranti idraulici che si registrano a ridosso dell'opera (poche decine di centimetri rispetto al piano golenale) sono tali da garantire un franco idraulico abbondantemente superiore al metro lungo tutto il tratto oggetto di intervento.

5.2.5. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE N°5: Scenario morfologico allo Stato di Progetto con idrogramma TR200 ST21.

Questa simulazione è analoga alla precedente (Simulazione N°4), ma viene simulato il transito dell'idrogramma di piena TR200 ST21 (Capitolo 4) che espone un valore al picco pari a 3464 m³/s (+45% rispetto al valore al picco indicato nel PAI) ma ha una forma più sottile ed impulsiva, analoga a quella registrata all'idrometro di Casal Cermelli (AL) durante l'evento di piena di Ottobre 2021 e fornito da AIPO.

La dinamica di allagamento che si verifica nell'arco della simulazione è del tutto analoga a quella riscontrata nella Simulazione N°4, ma i livelli idrometrici che si registrano sono superiori in virtù delle maggiori portate transistanti. Con riferimento ai punti X1, X2 ed X3 di Figura 5-12, si registrano a monte e a valle dell'argine stramazzabile i seguenti tiranti: $h_{x,1} = 111.5$ m s.l.m.; $h_{x,2} = 111.05$ m s.l.m., mentre a ridosso dello stradello il massimo livello idrometrico registrato è pari a $h_{x,3} = 111.35$ m s.l.m. Si noti come il massimo livello idrometrico registrato in questa simulazione nel punto X1, posto immediatamente a valle della soglia stramazzante, sia in questo caso leggermente superiore alla quota di innesco della soglia stramazzante pari a 110.90 m s.l.m. Ciò comporta un lieve stramazzo di rigurgito da parte dell'Orba durante la fase apicale dell'onda di piena. Ciononostante, tale fenomeno ha breve durata (1 ora circa) ed il volume di acqua stramazzato rimane contenuto in sicurezza all'interno delle opere in progetto. Inoltre, l'impulsività che caratterizza l'onda di piena simulata fa sì che l'allagamento golenale proveniente dall'aggiramento dell'argine golenale più a monte arrivi a lambire le opere in progetto quando ormai l'idrogramma del torrente Orba è in fase calante, pertanto il funzionamento della soglia stramazzante rimane inalterato rispetto a quanto descritto nei paragrafi precedenti.

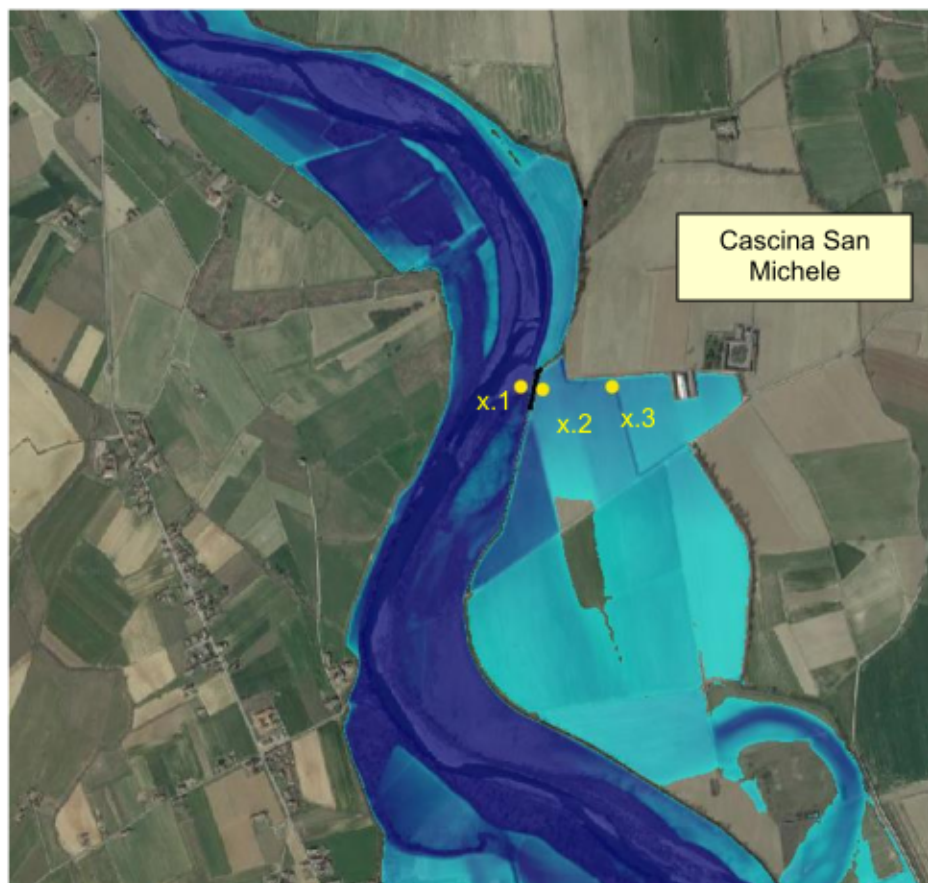


FIGURA 5-12 TIRANTI IDRAULICI MASSIMI CHE SI INSTAURANO NEL TRATTO IN CORRISPONDENZA DI CASCINA SAN MICHELE A SEGUITO DEL TRANSITO DELL'IDROGRAMMA DI PIENA TR200 ST21 NELLO SCENARIO MORFOLOGICO 3