

COMUNE DI ALESSANDRIA

PROVINCIA DI ALESSANDRIA



Area oggetto
di intervento

IL PROGETTISTA:

PROPONENTE:



ESA STUDIO S.R.L.

Galleria Guerci
15121 - ALESSANDRIA



Ethos Engineering s.r.l.

Via San Giacomo della Vittoria n.64
15121 - ALESSANDRIA



DOMUS ING&ARCH s.r.l.

Via Pastrengo 1/c
24068 - SERIATE

CICIEFFE s.r.l.

Via delle Industrie n. 8
30038 - SPINEA (VE)

TITOLO DELL'OPERA:

COSTRUZIONE DI UN EDIFICIO DESTINATO AD ATTIVITÀ DI LOGISTICA E DEPOSITO IN COMUNE DI ALESSANDRIA

FASE 2 : PIANO ESECUTIVO CONVENZIONATO

SOTTOFASE:

PROGETTO DEFINITIVO OPERE DI DIFESA IDRAULICA

OGGETTO ELABORATO:

Relazione idraulica

FASE	ARG.	PROGR.	REV.	NOME FILE	SCALA	DATA
F2	02	02	02	F2_02_02_R02	-	03/09/2021

COMMITTENTE: CICIEFFE s.r.l..

COMMESSA: COSTRUZIONE DI UN EDIFICIO
DESTINATO AD ATTIVITÀ DI LOGISTICA E
DEPOSITO IN COMUNE DI ALESSANDRIA

ELABORATO: INTERVENTI DI ADEGUAMENTO
OPERE ARGINALI
RELAZIONE IDRAULICA

DATA EMISSIONE: 03/09/2021

GRUPPO DI LAVORO: Ing. Andrea Panizza
Ing. Fabrizio Foltran
Geom. Franco Cherubini
Geom. Valerio Guzzon
Ing. Alessandro Cimo

DIREZIONE TECNICA: Ing. Andrea Panizza
Ing. Fabrizio Foltran

REDAZIONE: Ing. Fabrizio Foltran
Ing. Alessandro Cimo



INDICE

1. PREMESSA.....	4
2. STUDI PREGRESSI	8
3. TOPOGRAFIA	9
4. L'INTERVENTO IN PROGETTO	11
5. QUADRO NORMATIVO VIGENTE	17
5.1 Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico.....	17
5.2 Piano per la Valutazione e la Gestione del Rischio di Alluvione (PGRA).....	19
5.3 Progetto di Variante al PAI (11/2020).....	20
6. SCENARI DI RIFERIMENTO.....	23
7. MODELLAZIONE IDRAULICA – GENERALITÀ	24
7.1 Descrizione Modello BASEMENT	24
7.2 Costruzione della mesh di calcolo	25
7.3 Condizioni al contorno.....	27
7.3.1 Condizione al contorno di monte - Portata liquida.....	27
7.3.2 Condizione al contorno di valle.....	29
7.3.3 Parametri di scabrezza – Taratura modello	31
8. SCENARIO ATTUALE	34
8.1 Descrizione.....	34
8.2 Risultati simulazione.....	36
9. SCENARIO DI PROGETTO 1	43
9.1 Descrizione.....	43
9.2 Risultati simulazione.....	45
10. SCENARIO DI PROGETTO 2.....	52
10.1 Descrizione.....	52

10.2	Risultati simulazione	54
-------------	------------------------------------	-----------

11.	DETERMINAZIONE PARAMETRI DI SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE E COMPATIBILITÀ IDRAULICA OPERA IN PROGETTO	61
------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

12.	ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA AI SENSI DELLA DIRETTIVA 2/99 AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO	62
------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

12.1	Impostazione dell'analisi	62
12.1.1	Assetto geometrico dell'alveo	62
12.1.2	Caratteristiche morfologiche dell'alveo	65
12.1.3	Caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo	65
12.1.4	Caratteristiche ambientali e paesistiche della regione fluviale	65
12.1.5	Portate di piena	66
12.1.6	Opere di difesa idraulica	66
12.1.7	Manufatti interferenti	69
12.1.8	Modalità di deflusso in piena	69
12.1.9	Effetti degli interventi in progetto	69
12.2	Compatibilità ai sensi della Deliberazione 2/99	71
12.2.1	Modifiche indotte sul profilo involuppo di piena	71
12.2.2	Riduzione della capacità di invaso dell'alveo (e delle golene)	71
12.2.3	Interazioni con le opere di difesa idrauliche (opere di sponda e argini) esistenti	72
12.2.4	Opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento	72
12.2.5	Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico ed altimetrico dell'alveo inciso e di piena	72
12.2.6	Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale	72
12.2.7	Condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena	73

1. PREMESSA

Nell'ambito delle azioni previste nell'atto di programmazione negoziata tra il Comune di Alessandria e la società CICIEFFE s.r.l. avente per oggetto la costruzione di un edificio destinato ad attività di logistica e deposito, vi è la progettazione degli interventi di adeguamento dell'arginatura sinistra del Fiume Bormida in corrispondenza di tre fornici esistenti lungo la tangenziale di Alessandria; si tratta di tre opere di attraversamento poste immediatamente a valle del ponte ferroviario della linea Alessandria – Genova; due manufatti sono posti a servizio dei due rami di Via del Chiozzetto che, dall'area del quartiere Europa portano alle cascine in golena sinistra del fiume; il terzo manufatto, costruito con funzione di connessione idraulica tra la golena sinistra del Bormida e le aree poste a Nord della tangenziale, è stato chiuso con un'opera arginale.

Allo stato attuale, in corrispondenza dei tre fornici, al fine non permettere l'ingresso di acqua attraverso di essi, verso la città, durante le piene del fiume, sono presenti, lato fiume, rilevati di contenimento dei livelli che risultano collegati lateralmente al rilevato della tangenziale, che, nel tratto, costituisce barriera idraulica per le piene.

Tali rilevati risultano non pienamente adeguati allo svolgimento delle loro funzioni di barriere alle piene straordinarie duecentennali, sia per la loro natura costruttiva che per le loro caratteristiche geometriche.

In molti punti non risultano avere adeguata larghezza e consistenza strutturale e le quote di testa non assicurano un contenimento della piena con adeguato franco.

Il progetto prevede l'adeguamento di tali opere di protezione puntuale dalle piene tramite la realizzazione di rilevati arginali in terra, a protezione delle aree a tergo fornici, adeguati in altezza ad assicurare un franco minimo di 1 m, rispetto al livello di piena duecentennale; tali rilevati, nel caso dei due attraversamenti stradali, avranno forma a C e saranno intestati sull'argine addossato al rilevato della tangenziale; nel caso del terzo fornice l'adeguamento dell'opera di contenimento sarà realizzato invece con il semplice adeguamento altimetrico del rilevato arginale esistente.

La sede stradale delle due viabilità sarà rialzata fino alla sommità arginale, in modo da permetterne lo scavalco ed assicurare il collegamento viario da un lato all'altro dello stesso.

Gli interventi previsti sono indicati in colore rosso in Figura 1.

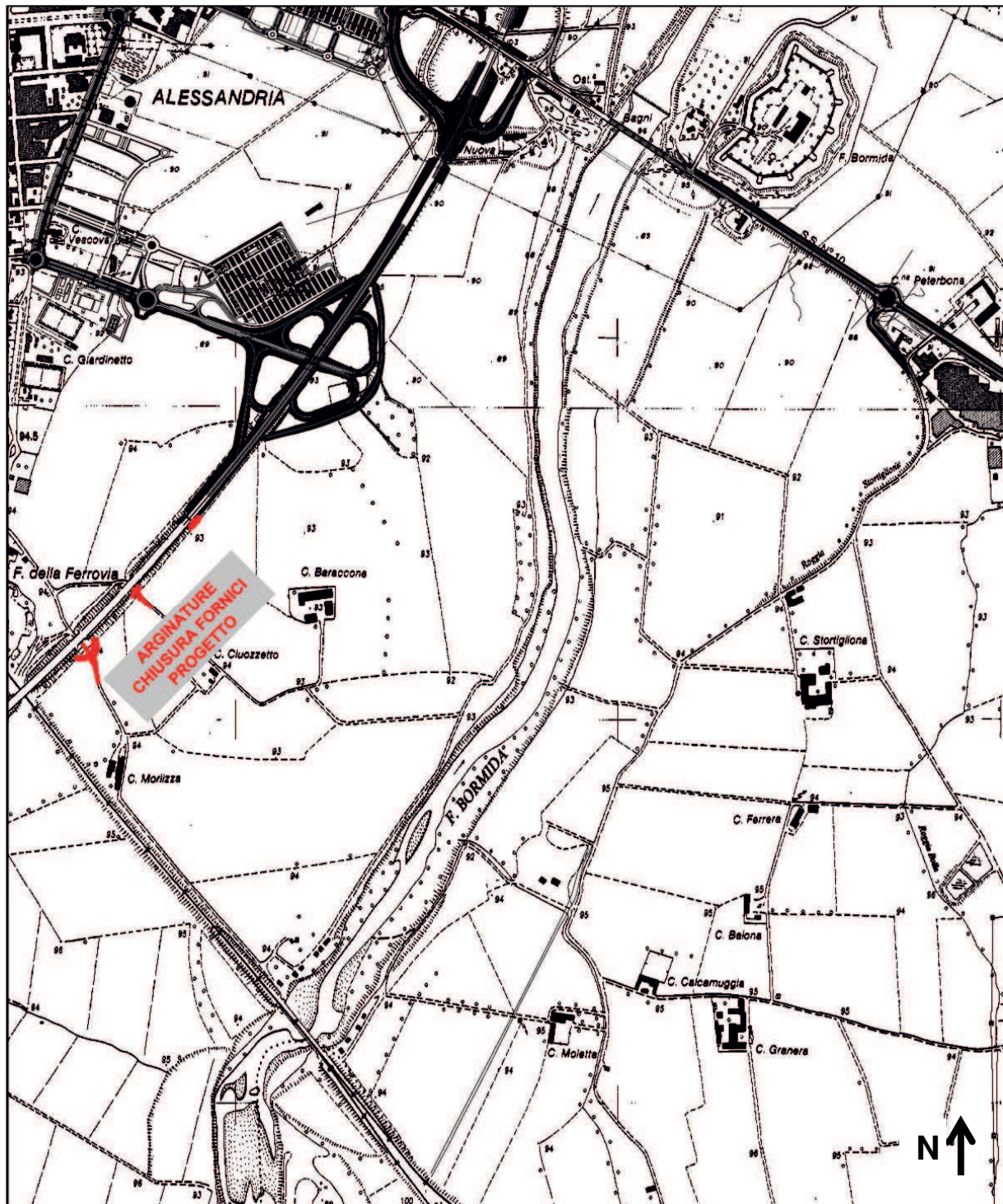


Figura 1 – Planimetria ubicazione intervento

Per la valutazione degli elementi dimensionanti delle opere arginali in progetto, si è realizzata una modellazione idraulica bidimensionale.

La modellazione è stata realizzata con il software BASEMENT (<http://www.basement.ethz.ch/>), ed interessa un tratto di asta del Fiume Bormida compreso longitudinalmente tra il ponte ferroviario della linea Alessandria – Genova e la progressiva a valle della traversa, posta a valle del ponte della S.S. n. 10, per uno sviluppo complessivo di 2.7 km.

Nella presente relazione si analizzano, attraverso la modellazione idraulica bidimensionale, gli aspetti relativi alle eventuali modifiche sull'idrodinamica della corrente di piena, che si verificano, rispetto alla situazione attuale, a seguito dell'inserimento dei nuovi rilevati in progetto, ad adeguamento degli esistenti.

Ai fini della verifica di compatibilità idraulica della nuova opera di attraversamento si analizzeranno gli scenari relativi all'evento di piena duecentennale nelle tre configurazioni seguenti:

- stato attuale;
- stato di progetto 1: realizzazione dell'adeguamento dei rilevati arginali a protezione dei tre fornici, inseriti nel contesto dell'attuale configurazione arginale, prevedendo come limite sinistro e destro del modello i limiti di fascia di progetto B previsti dal PAI; si intende pertanto, cautelativamente, valutare l'adeguatezza degli interventi proposti, nello scenario di avvenuto completamento degli interventi ai adeguamento degli argini previsti dal PAI; lo scenario di progetto include altresì anche la presenza delle pile della passerella ciclo-pedonale prevista a monte del ponte stradale (Progetto Marengo Hub da Periferia a Comunità – n. 7 lotti) "Ponte ciclo-pedonale" Comune di Alessandria);
- stato di progetto 2: realizzazione dell'adeguamento dei rilevati arginali in sponda sinistra secondo i limiti di fascia di progetto B previsti dal PAI; adeguamento delle opere di protezione dei tre fornici in sinistra idraulica, inseriti nel contesto dell'attuale configurazione arginale; in questo scenario, a differenza dello scenario 1, è previsto il mantenimento dell'attuale argine destro del Bormida, nella configurazione planimetrica attuale, ma adeguato altimetricamente come se costituisse barriera idraulica al deflusso; lo scenario di progetto include altresì la presenza delle pile della passerella ciclo-pedonale prevista a monte del ponte stradale (Progetto Marengo Hub da Periferia a Comunità – n. 7 lotti) "Ponte ciclo-pedonale" Comune di Alessandria).

Lo studio è stato realizzato in conformità a quanto stabilito dalla “Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all’interno delle fasce A e B” (Direttiva 4 delle Norme di Attuazione del PAI - Deliberazione n. 2 dell’11 maggio 1999 aggiornata con deliberazione n. 10 del 5 aprile 2006).

2. STUDI PREGRESSI

Gli studi pregressi disponibili nel tratto sono:

- “Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico”, redatto dall’Autorità di Bacino del Fiume Po nel 2001;
- “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”, redatto dall’Agenzia Interregionale per il Fiume Po (AIPO) nell’Ottobre 2011;
- “Piano per la valutazione e la gestione del rischio di alluvioni – Direttiva 2007/60/CE” redatto dall’Autorità di Bacino del Fiume Po, nel marzo 2016 e s.m.i.;
- “Progetto di variante al Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del Fiume Po (PAI): fiume Bormida da Acqui Terme a Alessandria”, redatto da Autorità di Bacino del Fiume Po e Regione Piemonte nell’Ottobre 2019 e s.m.i.;
- Progetto definitivo di “Riqualificazione della zona est del territorio Comunale di Alessandria - Nuovo collegamento viario tra la ex S.S. 30 e la strada della Stortigliona con ponte sul fiume Bormida”, redatto da Progetti e Ambiente S.p.A per Coopsette Soc.Coop. nel Luglio 2006;
- “Modellazione idraulica bidimensionale del tratto di confluenza Fiumi Bormida e Tanaro in Comune di Alessandria”, redatto da Idrostudi S.r.l. per AIPO nel Giugno 2010, e s.m.i.;
- “Progetto di un nuovo impianto idroelettrico denominato ‘Spinetta’ sul Fiume Bormida”, redatto da Noviconsult S.a.s. nel Gennaio 2010 e s.m.i.;
- Progetto preliminare per “Lavori di adeguamento del ponte esistente lungo la S.S. 10 sul fiume Bormida con sezione stradale tipo D - 4 corsie (D.M. 05/11/2001)”, redatto dall’Ing. Andrea Panizza per Coopsette Soc.Coop. e Esselunga S.p.A. nel marzo 2014;
- “Programma straordinario di intervento per la riqualificazione urbana e la sicurezza delle periferie (rif d.p.c.m. 25/05/2016 e s.m.i.) - Progetto Marengo Hub da Periferia a Comunità – n. 7 lotti” “Ponte ciclo-pedonale”, realizzato da A.I. Engineering e G.I.a. Studio per il Comune di Alessandria nel maggio 2018.

3. TOPOGRAFIA

Al fine di eseguire le corrette valutazioni a corredo della presente relazione, sono state utilizzate una serie di informazioni topografiche ricavate da differenti fonti:

- rilievo di profili e sezioni trasversali del Fiume Bormida, realizzato nel febbraio 2021;
- rilievo batimetrico dell'alveo nel tratto compreso fra il ponte FS Alessandria-Genova e la traversa fluviale a valle ponte S.S. n. 10, realizzato nel febbraio 2021;
- rilievo topografico puntuale della sommità arginale degli argini e delle opere accessorie al contenimento delle piene, ove necessario alla corretta definizione del modello;
- DTM Regione Piemonte a maglia 5 m x 5 m (Ripresa aerea ICE 2009-2011 - DTM 5), scaricabile dal Geoportale Geo-Piemonte (<http://www.geoportale.piemonte.it>), per le aree golenali.

La Figura 2 riporta la localizzazione planimetrica della batimetria e dei rilievi puntuali effettuati.

Si rimanda alle planimetrie allegate al progetto per dettagli.



Figura 2 – Rilievi topografici

4. L'INTERVENTO IN PROGETTO

Il progetto prevede l'adeguamento delle opere di protezione puntuale dalle piene in corrispondenza di tre fornici; due di essi sono localizzati lungo i due rami di Via del Chiozzetto, attraversano la tangenziale e collegano il Quartiere Europa alle cascate presenti in area golenale sinistra del Fiume Bormida; il terzo fornice, costruito all'epoca della strada, e concepito con funzione di connessione idraulica tra la golenale sinistra del Bormida e le aree poste a Nord della tangenziale, fu successivamente chiuso con un rilevato arginale.

Si prevede la realizzazione di rilevati arginali in terra, a protezione delle aree a tergo fornice, adeguati in altezza ad assicurare un franco minimo di 1 m, rispetto al livello di piena duecentennale; tali rilevati, nel caso dei fornici stradali, avranno forma a "C" e saranno intestati sull'argine addossato al rilevato della tangenziale; l'opera di adeguamento del terzo fornice sarà costituita dal semplice innalzamento altimetrico della sommità dello stesso.

La sede stradale delle due viabilità sarà rialzata fino alla sommità arginale, in modo da permetterne lo scavalco ed assicurare il collegamento viario da un lato all'altro dello stesso.

I rilevati arginali in progetto seguono la linea di previsione arginale della fascia B di progetto PAI e sono, a meno di piccoli scostamenti verso l'interno, ad essa compatibili.

Le figure seguenti mostrano le planimetrie dell'opera ed i profili delle viabilità in scavalco; si rimanda alle tavole allegate allo studio per ogni dettaglio.

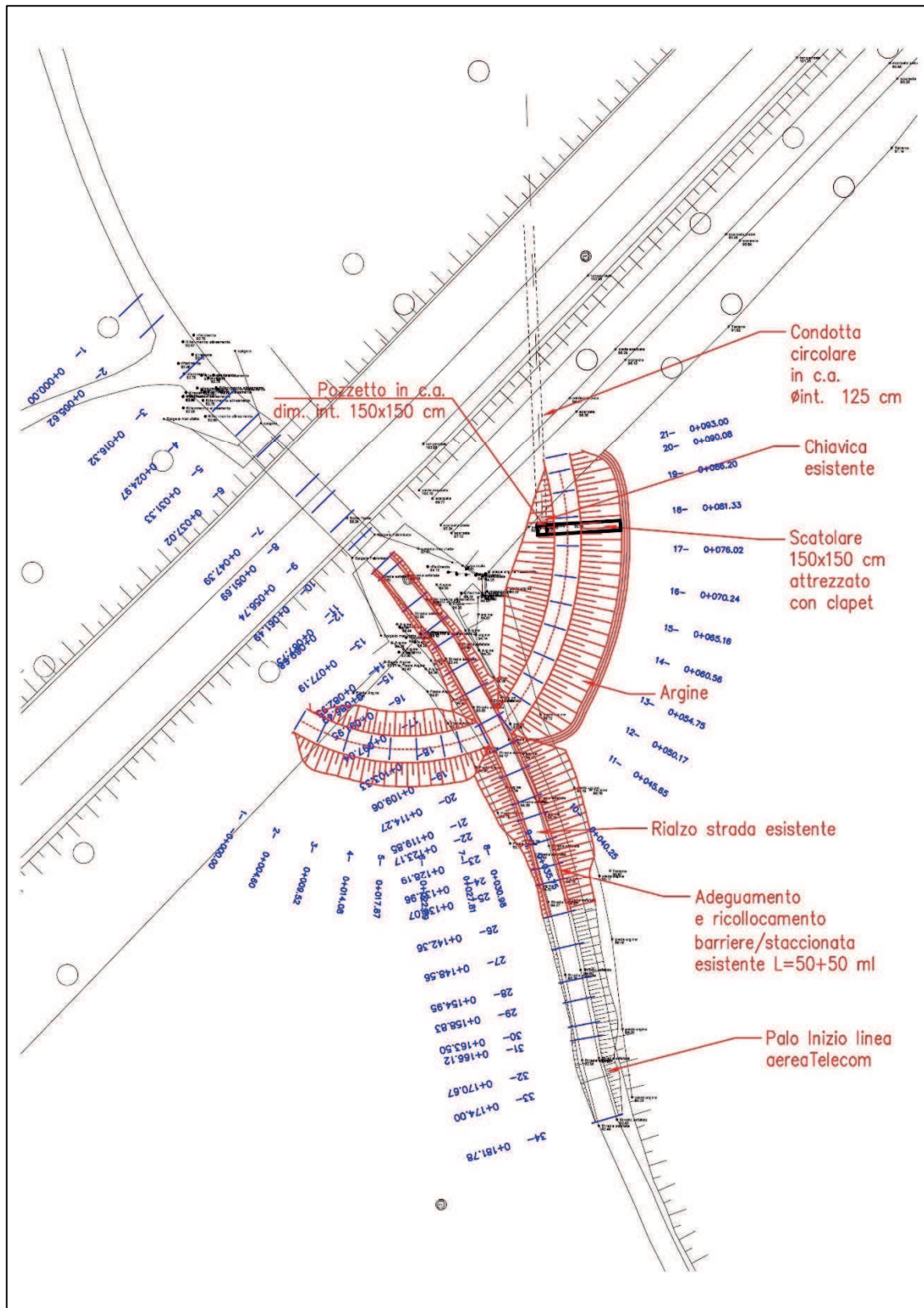


Figura 3 – Arginatura chiusura fornice ramo sud Via del Chiozzetto – Planimetria

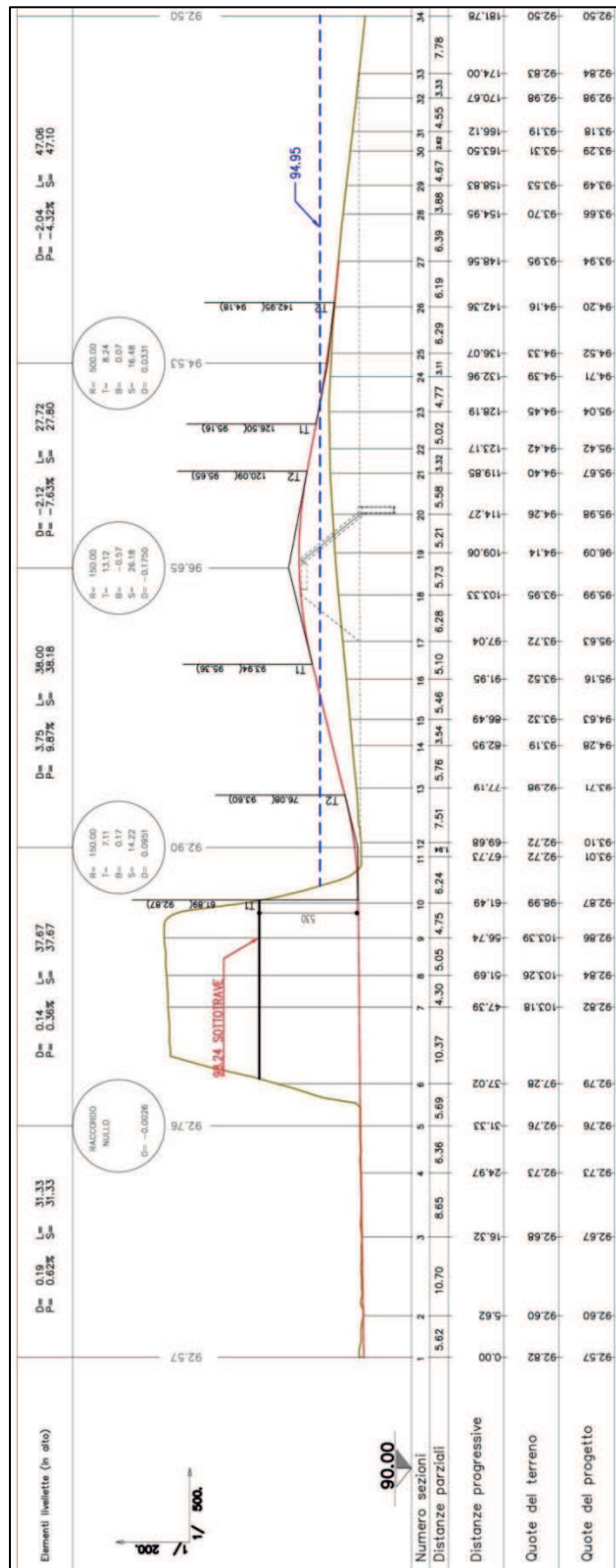


Figura 4 – Arginatura chiusura fornice ramo sud Via del Chiozzetto – Profilo sovrалzo strada

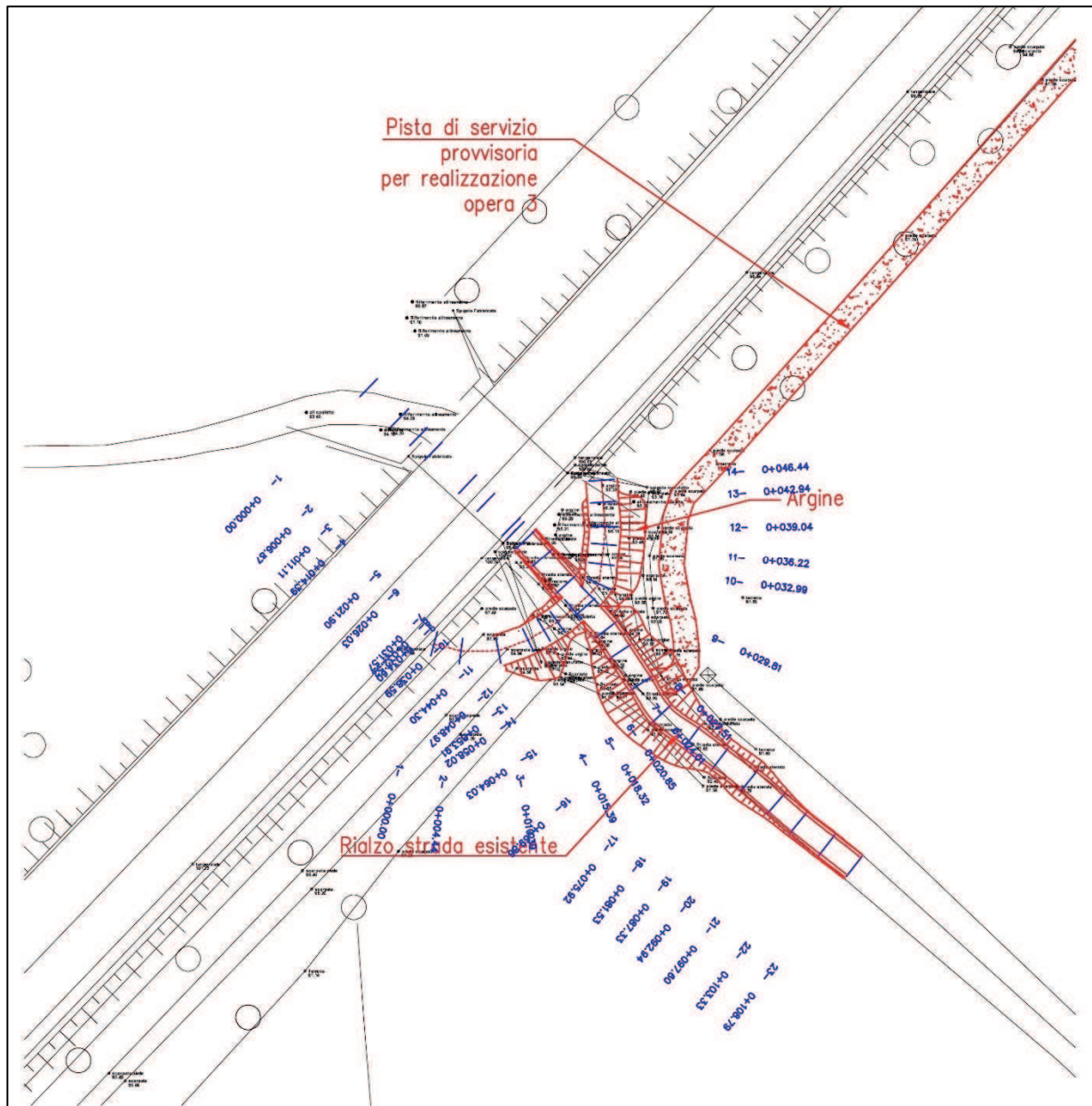


Figura 5 – Arginatura chiusura fornice ramo nord Via del Chiozzetto – Planimetria

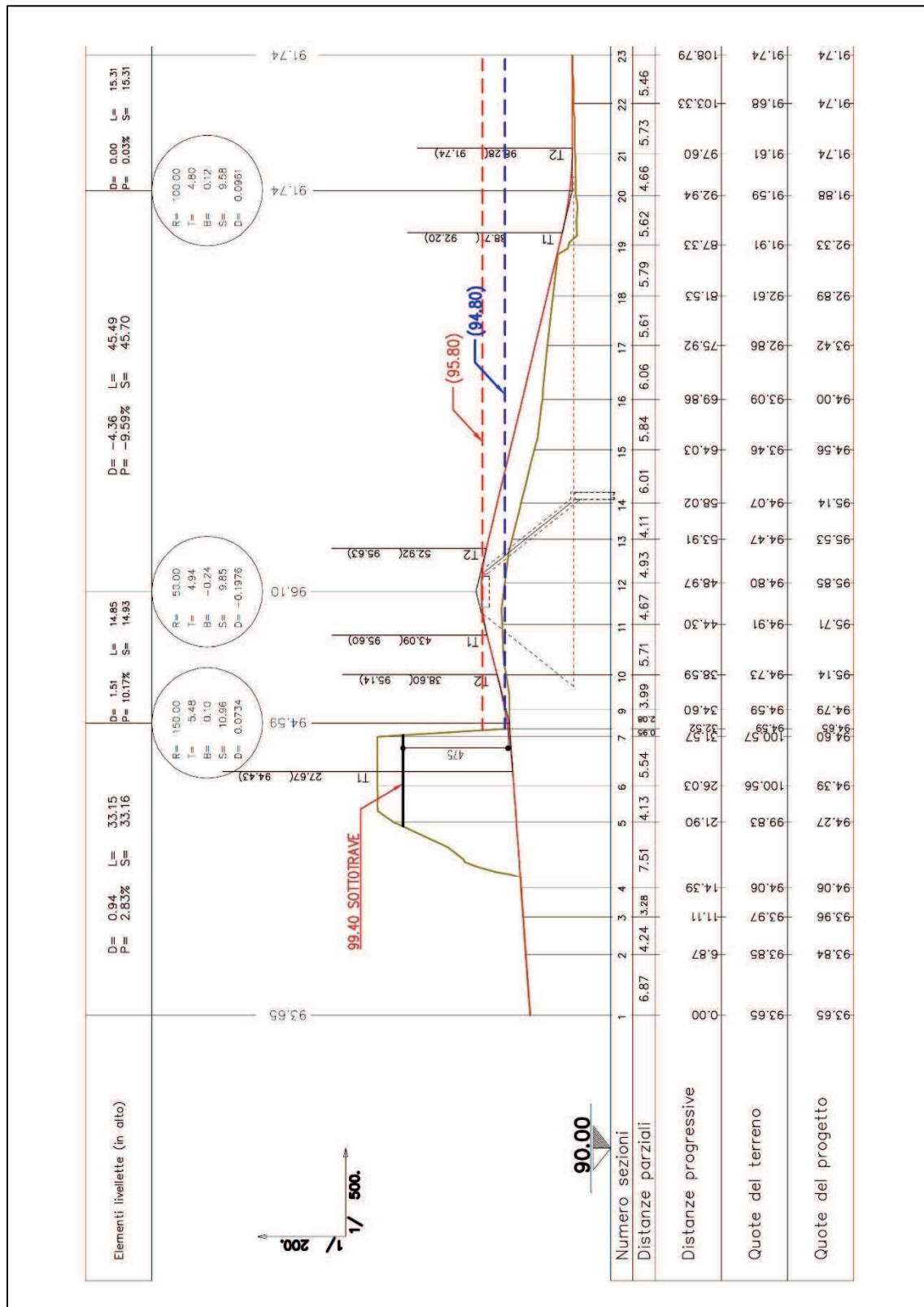


Figura 6 – Arginatura chiusura fornisce ramo nord Via del Chiozzetto – Profilo sovravento strada

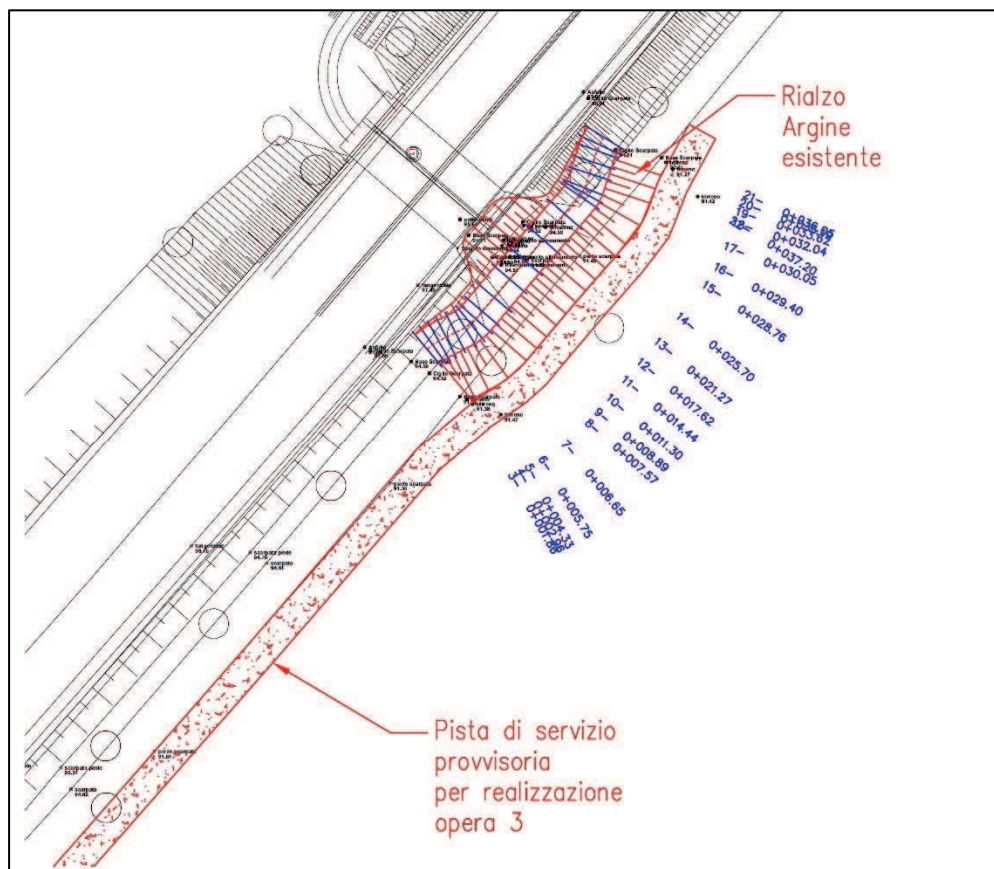


Figura 7 – Arginatura chiusura terzo fornice – Planimetria

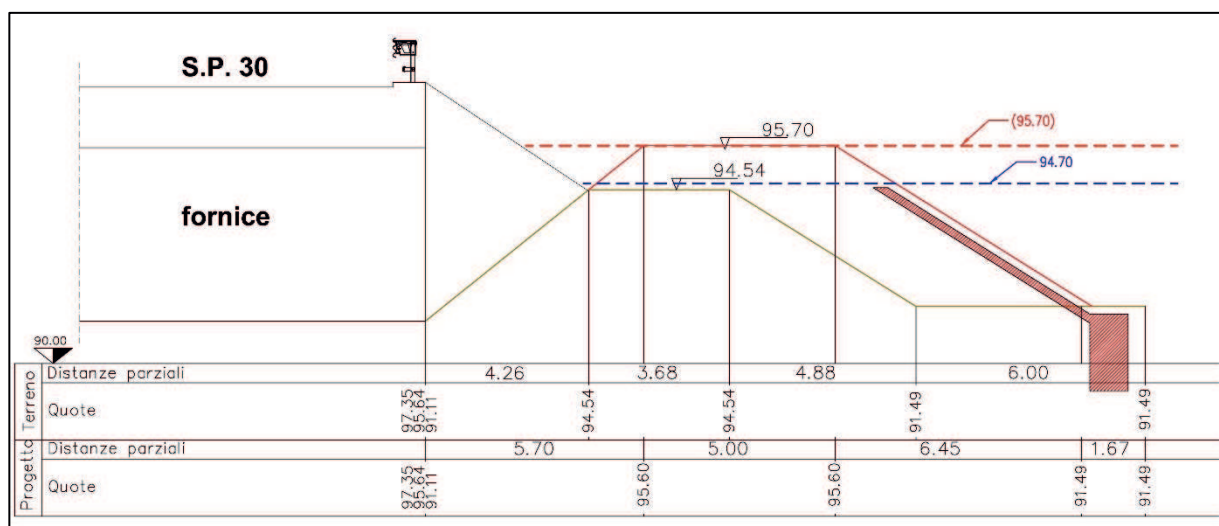


Figura 8 – Arginatura chiusura terzo fornice – Sezione trasversale opera arginale

5. QUADRO NORMATIVO VIGENTE

5.1 Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico

Il tratto di Fiume Bormida in esame è interessato dalla fasciatura del PAI, come riportato nello stralcio del “Foglio 176 Sez. I - Alessandria - Tanaro 03 Bormida 02” (porzione di valle del tratto) e della “Foglio 176 Sez. II - Castellazzo Bormida - Tanaro 04 Belbo 01 Bormida 03 Orba 01” (porzione di monte del tratto) delle Tavole di delimitazione delle fasce.

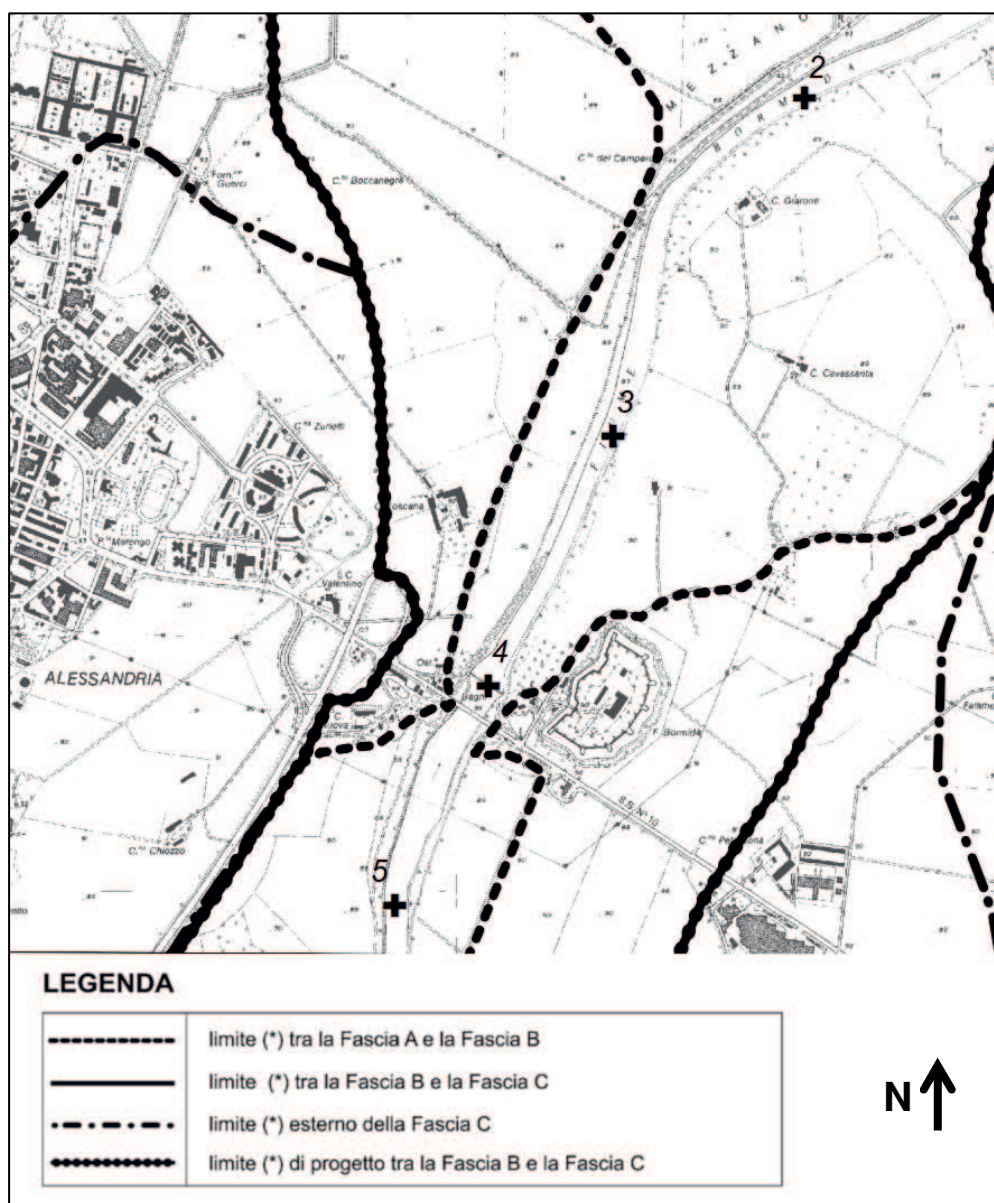


Figura 9 – Stralcio Tavole di delimitazione delle fasce PAI – Foglio 176 Sez. I (Alessandria)

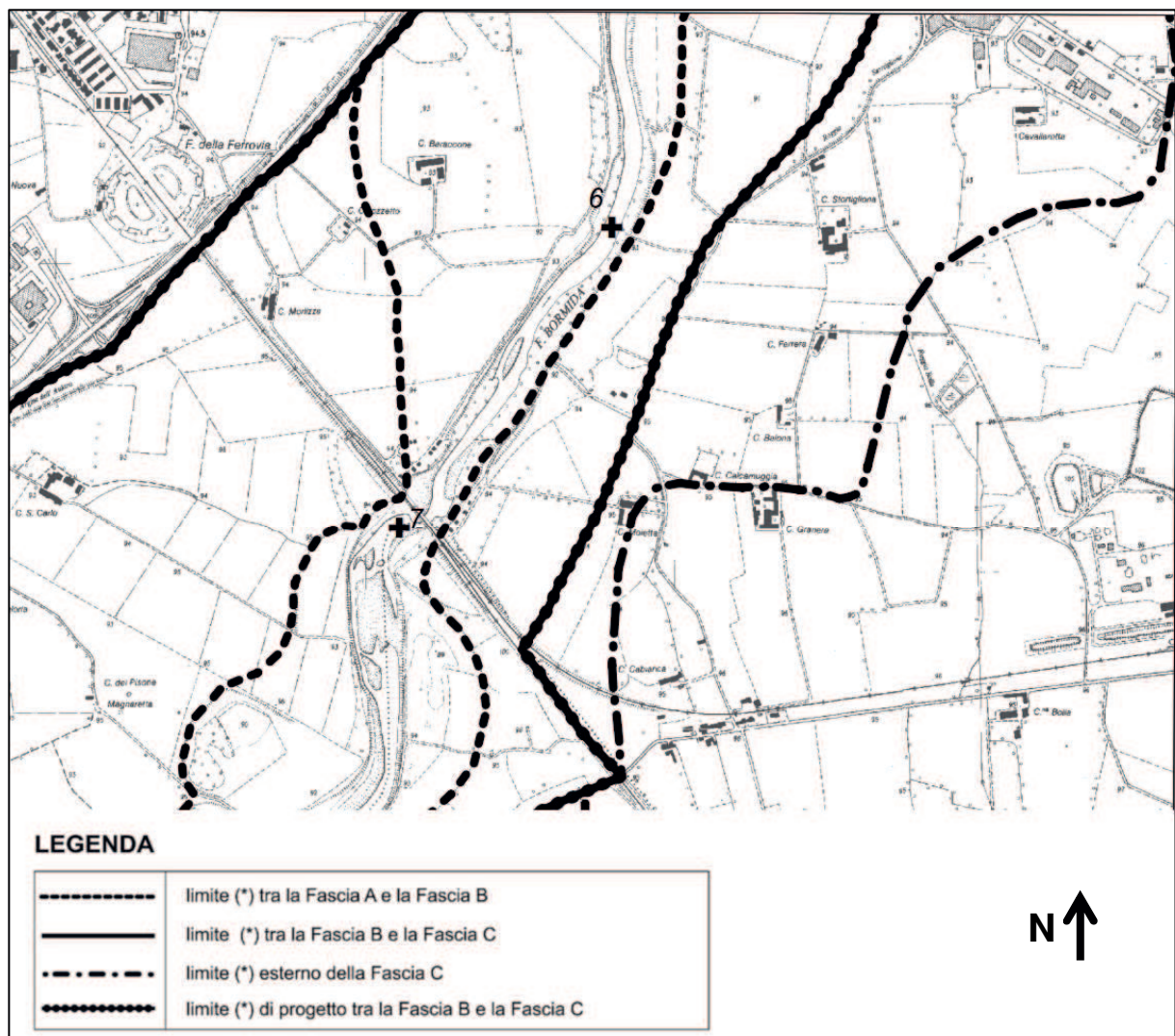


Figura 10 – Stralcio Tavole di delimitazione delle fasce PAI – Foglio 176 Sez. II (Castellazzo B.da)

5.2 Piano per la Valutazione e la Gestione del Rischio di Alluvione (PGRA)

La Direttiva Alluvioni 2007/60 CE – Valutazione e Gestione dei Rischi di Alluvione, nel suo aggiornamento 2015, riporta le aree a diversa probabilità di inondazione.

La figura seguente mostra la Tavola 1 della sezione “Bacino Tanaro - Fiume Bormida” che interessa il tratto in oggetto.

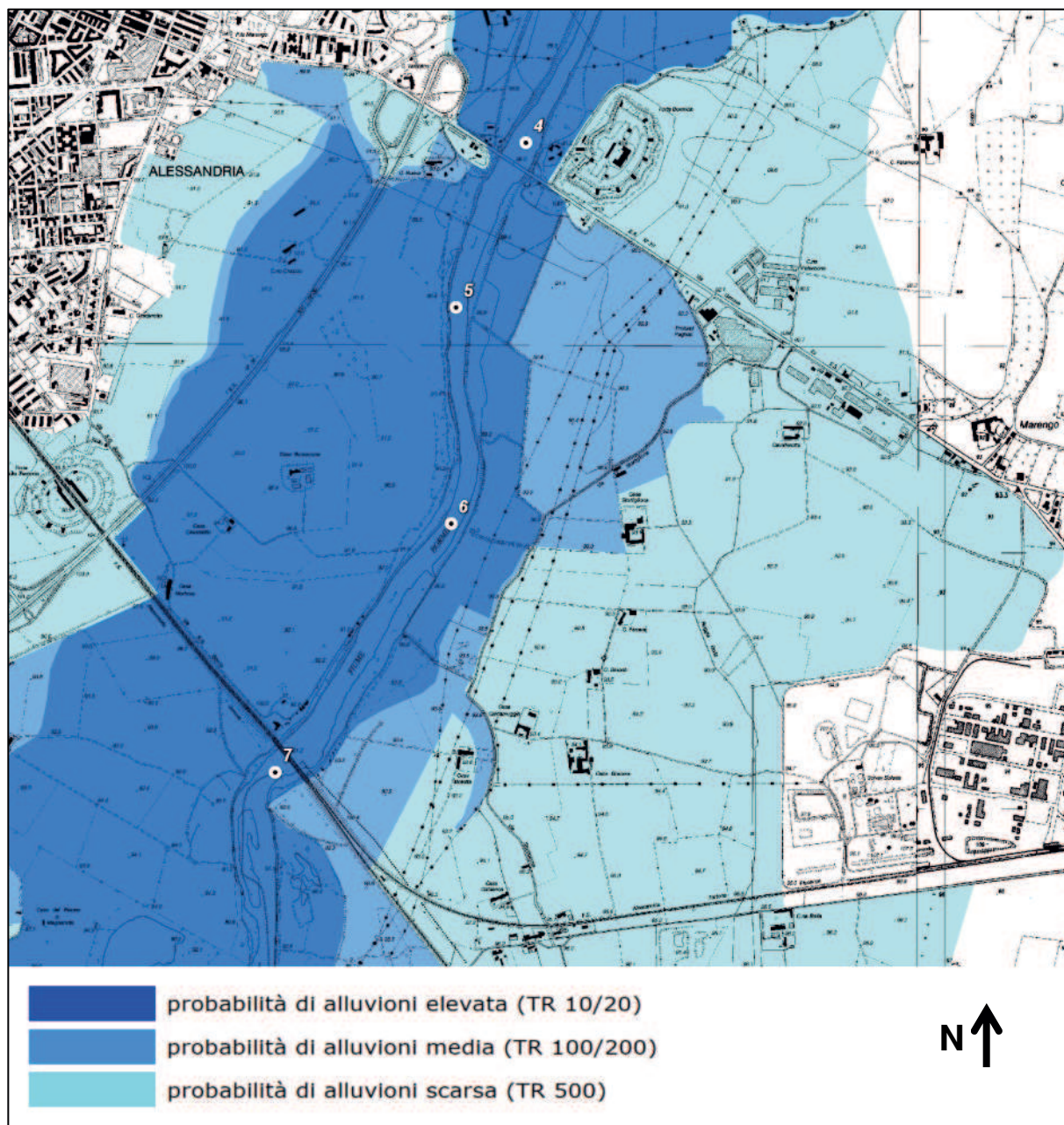


Figura 11 – PGRA – Mappa delle aree inondabili – Fiume Bormida - Tavola 1

5.3 Progetto di Variante al PAI (11/2020)

Il “Progetto di variante al Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del Fiume Po (PAI): fiume Bormida da Acqui Terme a Alessandria”, redatto da Autorità di Bacino del Fiume Po e Regione Piemonte nell’Ottobre 2019 e aggiornata nel Novembre 2020, propone una revisione della fasciatura del PAI, tenendo conto della nuova topografia, indotta dalla nascita di nuove infrastrutture sul territorio, e delle nuove portate di piena di riferimento, frutto di diversi studi effettuati nel corso degli anni dalla data di redazione del PAI al 2019. In particolare, nella variante, le portate idrologiche al picco, alla progressiva “Alessandria” incrementano per tutti i tempi di ritorno, rispetto a quelle indicate dal PAI.

La portata duecentennale, di riferimento per il presente studio, incrementa da 3640 m³/s, indicati dal PAI, a 4015 m³/s, secondo quanto previsto dallo studio dell’Università di Padova, recepito anche dallo “Studio di fattibilità per la definizione dell’assetto di progetto” del T. Bormida.

Lo studio di Variante PAI ha previsto un’analisi idraulica bidimensionale effettuata con modello idrodinamico in moto vario, dai cui risultati sono state estrapolate le nuove fasciature proposte.

Nel tratto in oggetto, la fascia A si allarga, rispetto alla fascia indicata dal PAI, fino a raggiungere i rilevati arginali e gli alti topografici esistenti.

La fascia B, in sinistra si appoggia al rilevato della tangenziale ed ai relativi svincoli esistenti, recependo la presenza dello svincolo di Corso Romita e l’effettiva forma dello svincolo S.S. n. 30; si nota un’area allagata ad Ovest della tangenziale in corrispondenza dei forni, presenti nel suo rilevato, che danno continuità ai due rami di Via del Chiozzetto. In destra, la fascia B si appoggia all’argine destro, esistente tra il rilevato F.S. e la C.na Stortigliona; a valle di essa, si stacca dall’argine e segue il terrazzo morfologico presente lungo Via Stortigliona, allargandosi rispetto alla posizione indicata dal PAI.

La Figura 12 mostra lo stralcio della “Carta dei limiti delle Fasce Fluviali vigenti e della Variante dalla confluenza torrente Bormida alla SP10” (Fig. 31 della Relazione Descrittiva per tratti omogenei) ove è possibile visualizzare le fasce A e B previste dalla variante, nell’aggiornamento novembre 2020.

La fascia sinistra di progetto è addossata alla tangenziale di Alessandria, mentre la fascia destra di progetto si sviluppa lungo l’argine esistente, fino all’altezza di C.na Stortigliona, e, successivamente, contro il terrazzo morfologico in corrispondenza di Via Stortigliona.

La Figura 13 riporta la conseguente proposta di variante al P.G.R.A..

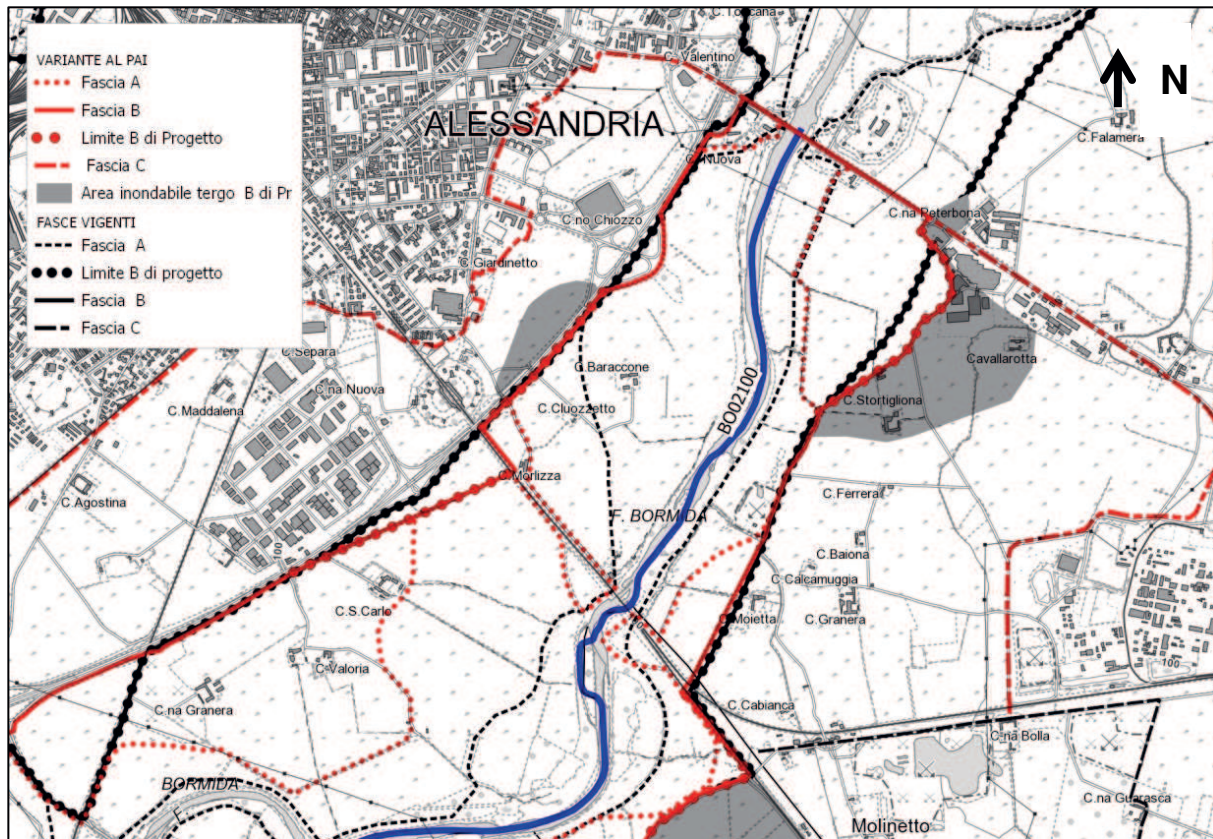


Figura 12 – Variante PAI agg.11/2020 – Stralcio “Carta dei limiti delle Fasce Fluviali vigenti e della Variante dalla confluenza torrente Bormida alla SP10”

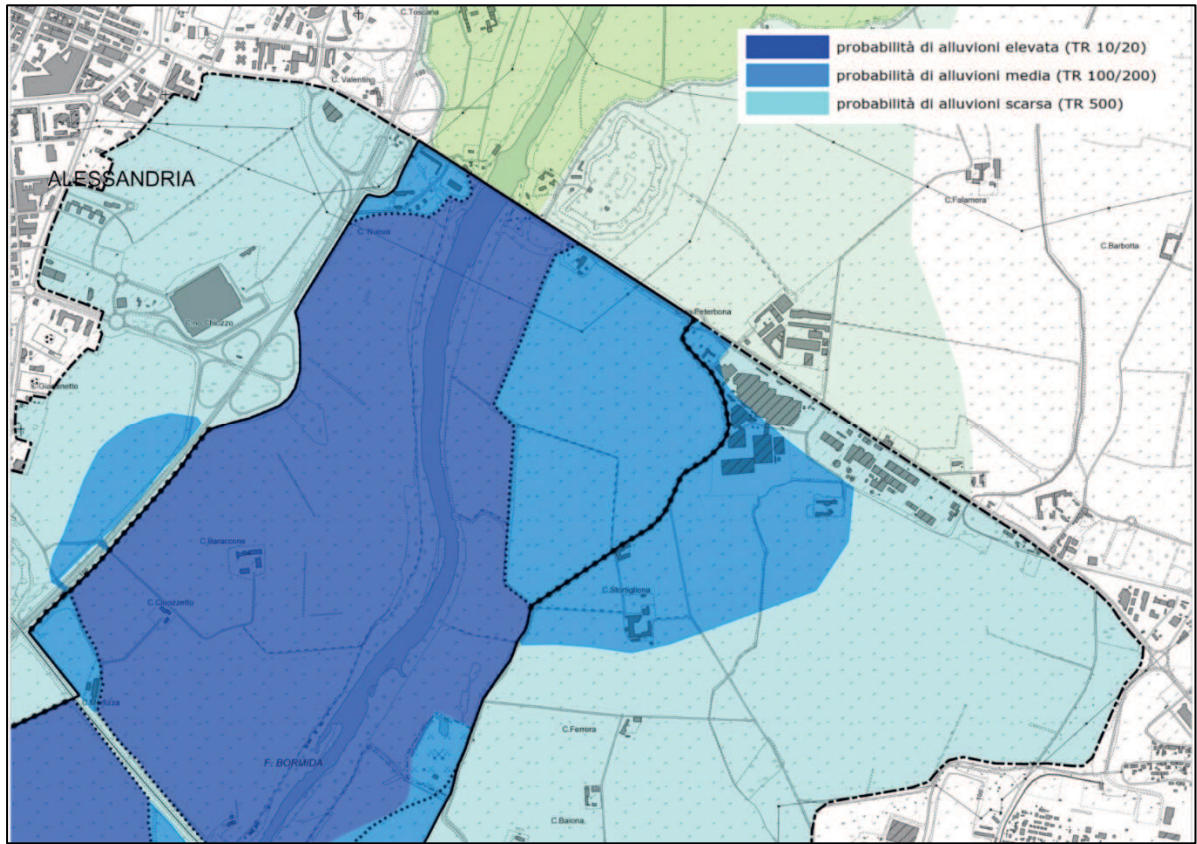


Figura 13 – Variante PAI agg.11/2020 – Stralcio “Modifica mappa della pericolosità relativa al Fiume Bormida del vigente P.G.R.A.”

6. SCENARI DI RIFERIMENTO

Per le valutazioni idrodinamiche relative al tratto in oggetto sono stati sviluppati due scenari:

- Scenario attuale: riporta la situazione attualmente riscontrabile nella porzione di territorio interessata;
- Scenario di progetto 1: analogo all'attuale, con in più la presenza dei nuovi rilevati a protezione dei forni in configurazione di progetto, con caratteristiche tali da assicurare la compatibilità idraulica dell'opera in oggetto, prevedendo come limite del modello i limiti di fascia B di progetto secondo la variante al PAI;
- Scenario progetto 2: corrispondente all'attuale, prevedendo in sinistra idraulica l'adeguamento delle opere arginali secondo le previsioni del PAI e con l'inserimento dei nuovi rilevati a protezione dei forni; in destra idraulica è previsto il mantenimento dell'attuale argine destro del Bormida, nella configurazione planimetrica attuale, adeguato altimetricamente come se costituisse barriera idraulica al deflusso.

In entrambi gli scenari di progetto è inclusa la presenza delle pile della passerella ciclo-pedonale prevista a monte del ponte stradale (Progetto Marengo Hub da Periferia a Comunità – n. 7 lotti) "Ponte ciclo-pedonale" Comune di Alessandria).

La definizione dei livelli idrici in corrispondenza delle arginature è stata estrapolata dalle simulazioni idrauliche bidimensionali dedicate.

Si rimanda ai paragrafi dedicati per maggiori approfondimenti in merito.

7. MODELLAZIONE IDRAULICA – GENERALITÀ

Nel presente paragrafo, si descrivono gli strumenti, le metodologie, ed i parametri di riferimento utilizzati per la modellazione idraulica dei diversi scenari considerati.

La modellazione idraulica è finalizzata alla definizione dei parametri idraulici per il dimensionamento delle opere in progetto.

L'output dei modelli sarà espresso sotto forma di Carte di tirante (allagamento), livello e velocità dell'acqua, dalle quali deriveranno Carte di differenze di livello di confronto fra i vari scenari previsti.

7.1 Descrizione Modello BASEMENT

Il modello BASEMENT (BASic EnvironMENT for simulation of environmental and natural hazard) è stato sviluppato dalla WAV (Swiss Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology) in collaborazione con la ETH (Swiss Federal Technology Laboratory Zurich).

Esso è un modello bidimensionale ai volumi finiti finalizzato al calcolo di scenari fluviali, idraulici e morfologici, liberamente distribuito attraverso Internet.

Le leggi che stanno alla base delle dinamiche fluide e dei sedimenti sono le equazioni della conservazione della massa, del momento e dell'energia applicate ad un volume contenuto all'interno di una superficie.

Al fine di garantire condizioni di stabilità modellistica, si utilizza la forma integrale delle equazioni e non la forma differenziale.

Il metodo ai volumi finiti è concettualmente differente da quello alle differenze finite.

Il campo di flusso (dominio) è suddiviso, come per il metodo agli elementi finiti, in una serie di celle che non si sovrappongono, a coprire il dominio completo all'interno del quale sono applicate le equazioni.

In ogni cella sono applicate le leggi della conservazione per determinare le variabili in punti discreti della cella, denominati nodi, che possono essere definiti come centro della cella oppure come vertice della cella.

7.2 Costruzione della mesh di calcolo

Ai fini della modellazione idraulica si è considerata la porzione di territorio lungo il Fiume Bormida, per il tratto di asta del Fiume Bormida compreso longitudinalmente tra il ponte ferroviario della linea Alessandria – Genova e la progressiva a valle della traversa, posta a valle del ponte della S.S. n. 10, per uno sviluppo complessivo di 2.7 km.

L'estensione trasversale comprende le golene sinistra e destra, tenendo conto delle discontinuità morfologiche significative individuabili, siano esse naturali (alti o terrazzi morfologici) o artificiali (arginatura, rilevato stradale, ecc.).

La *mesh* di calcolo è stata realizzata discretizzando il territorio in una serie di elementi quadrangolari e triangolari; essa è riportata in Figura 14.

La discretizzazione risulta più di dettaglio nelle zone di maggiore variazione topografica (alveo, rilevati e zone limitrofe) e nelle zone dove il comportamento idrodinamico del corso d'acqua risulta più complesso.

Essa è stata costruita con il programma SMS (Surfacewater Modelling System) sviluppato dalla Aquaveo - Water Modeling Solutions.

Le pile dei ponti esistenti sono state implementate nel modello.

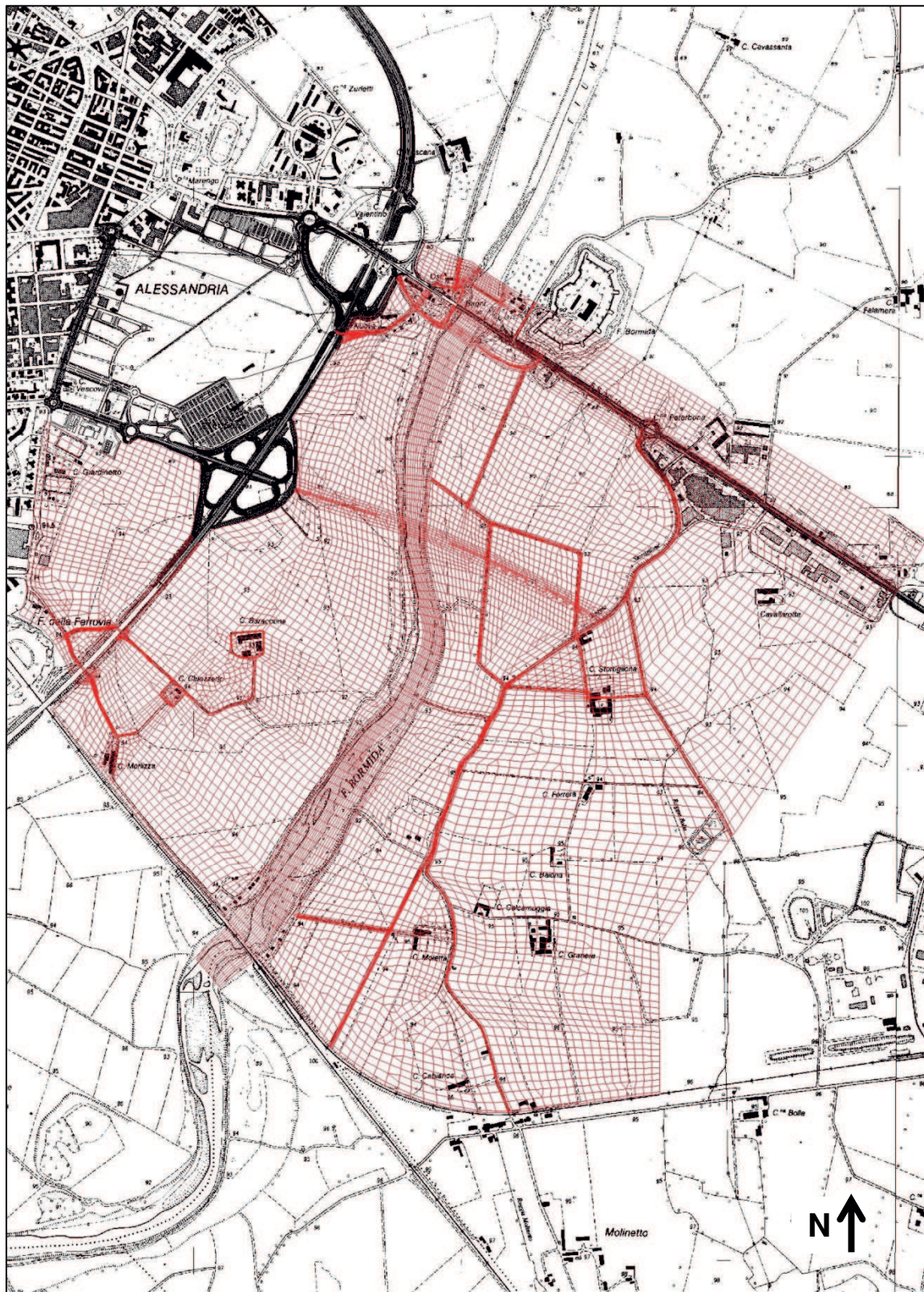


Figura 14 – Mesh di calcolo modello BASEMENT

Ogni nodo della mesh risulta quotato altimetricamente e geo-referenziato.

La *mesh* è costituita da 15500 elementi e 15300 nodi circa.

Le quote dei nodi sono state estratte dal DEM (modello tridimensionale digitale del terreno) appositamente realizzato utilizzando i dati topografici disponibili.

Per l'alveo inciso è stato utilizzato il rilievo batimetrico realizzato nel febbraio 2021 a supporto dello studio.

Per le golene è stato utilizzato il rilievo LIDAR a passo 5 m della Regione Piemonte.

Le arginature ed i punti di particolare interesse sono stati definiti tramite i dati provenienti dai rilievi a terra di dettaglio realizzati nel febbraio 2021 a supporto dello studio.

7.3 Condizioni al contorno

7.3.1 Condizione al contorno di monte - Portata liquida

Le portate di picco di riferimento per il Fiume Bormida per tempo di ritorno 200 anni utilizzate sono state individuate in analogia a quanto indicato nella “Relazione metodologica” del Progetto di variante al PAI.

Alla sezione di chiusura di Alessandria il picco di portata idrologica di riferimento da considerarsi è 4015 m³/s; tale portata è stata utilizzata per le valutazioni relative agli scenari analizzati in quanto scevra di eventuali laminazioni del tratto di monte e dimensionante per quanto riguarda le strutture da realizzarsi in fascia A e B.

Tale portata è la stessa anche considerata nell'ambito dello “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”, di riferimento per il tratto.

Per quanto riguarda la fase di taratura del modello, si è fatto riferimento ai livelli nelle sezioni PAI disponibili nel tratto, riportati nello Studio di fattibilità e riprodotti nella simulazione in moto permanente per TR 200 anni e portata 4015 m³/s di cui nella “Relazione metodologica” del Progetto di variante al PAI.

L'idrogramma utilizzato per la modulazione delle fasi ascendente e discendente della piena è quello idrologico riportato, per la sezione di chiusura di Alessandria, nella “Figura 10: Piena TR200: confronto tra portate idrologiche e risultanti dalla simulazione idraulica in

corrispondenza di sezioni significative” della “Relazione metodologica” del Progetto di variante al PAI.

La portata liquida verrà immessa in corrispondenza dell'alveo principale ad inizio modello, modulandola secondo tale idrogramma.

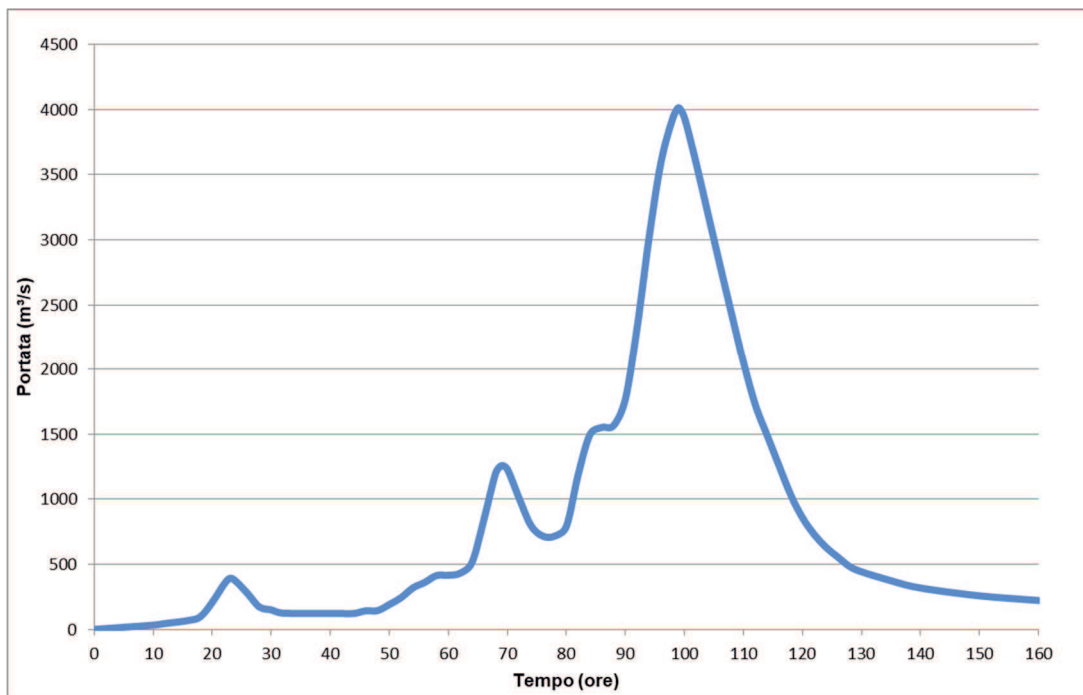


Figura 15 – Idrogramma f. Bormida TR=200 anni (portata idrologica)

7.3.2 Condizione al contorno di valle

Come condizione di valle è stata impostata una scala di deflusso calcolata, alla sezione di chiusura del modello, utilizzando il modello completo del nodo idraulico f. Tanaro – f. Bormida di proprietà della società scrivente, utilizzato nell'ambito dello studio pregresso allegato al progetto preliminare per “Lavori di adeguamento del ponte esistente lungo la S.S. 10 sul fiume Bormida con sezione stradale tipo D - 4 corsie (D.M. 05/11/2001)”, redatto dall'Ing. Andrea Panizza, amministratore delegato della società scrivente stessa.

Tale modello considera l'asta del fiume Bormida dal ponte F.S. Alessandria-Genova alla confluenza in Tanaro e l'asta del Fiume Tanaro dal ponte della Cittadella a Montecastello, come indicato in Figura 16.

La sezione di chiusura del presente modello corrisponde alla sezione PAI 05bis_brigliaV.

La scala di deflusso è stata tarata sui livelli, indicati nella “Relazione metodologica” del Progetto di variante al PAI, per la portata di 4015 m³/s (H=92.89 m s.m.m.), in corrispondenza di tale sezione di chiusura.

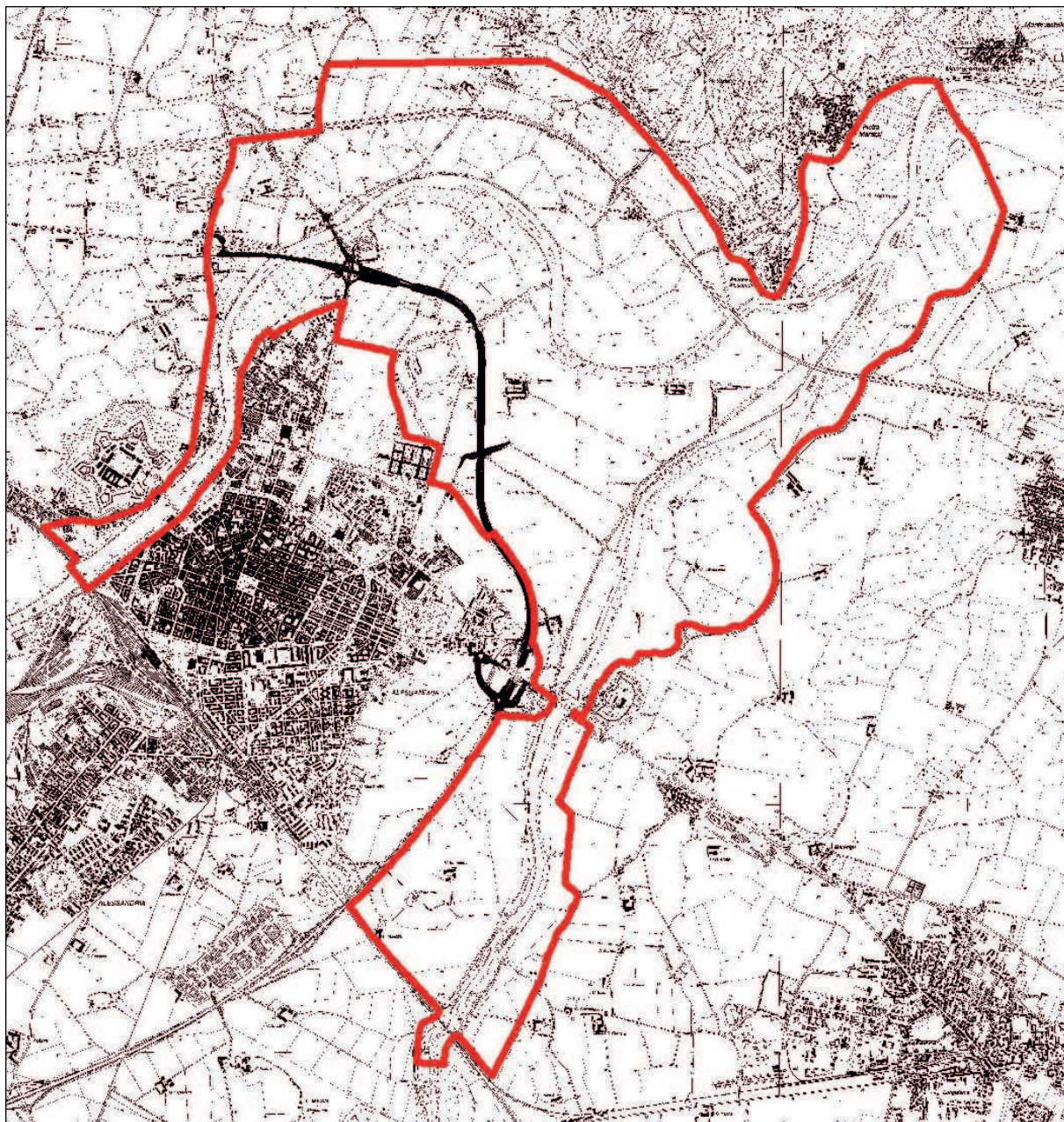


Figura 16 – Modello studio pregresso Ing. Panizza - Estensione Mesh di calcolo modello BASEMENT

7.3.3 Parametri di scabrezza – Taratura modello

Nel modello sono stati implementati i parametri di scabrezza, variandoli a seconda della tipologia di superficie caratterizzante le varie celle.

La Figura 17 mostra la caratterizzazione delle scabrezze nel modello.

Per l'alveo si è utilizzata una scabrezza di Strickler di $28 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, mentre per le golene si è utilizzata una scabrezza di Strickler di $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, in linea con i dati di bibliografia.

Tali valori sono stati tarati al fine di rendere compatibili i livelli idrici determinati dal presente studio con quelli riportati 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”, e replicati nella “Relazione metodologica” del “Progetto di variante al Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del Fiume Po (PAI): fiume Bormida da Acqui Terme a Alessandria”, relativamente all’analisi idraulica in moto permanente, nel tratto interessato, per l’evento con portata di piena idrologica di $4015 \text{ m}^3/\text{s}$.

Si rimanda al paragrafo 8, relativo alle simulazioni in scenario attuale per i dettagli in merito alla taratura.

Tali valori sono in accordo a quanto indicato dalla Direttiva 4 del PAI: “Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all’interno delle fasce A e B” – Tabella 2.

Tabella 1 – Parametri scabrezza (Tabella 2 Direttiva 4 PAI)

CORSI D'ACQUA MINORI (Raggio idraulico \cong 2 m; larghezza in piena < 30 m)	
Corsi d'acqua di pianura	
- alvei con fondo compatto, senza irregolarità	45-40
- alvei regolari con vegetazione erbacea	30-35
- alvei con ciottoli e irregolarità modeste	25-30
- alvei fortemente irregolari	25-15
Torrenti montani	
- fondo alveo con prevalenza di ghiaia e ciottoli, pochi grossi massi	30-25
- alveo in roccia regolare	30-25
- fondo alveo con ciottoli e molti grossi massi	20-15
- alveo in roccia irregolare	20-15
AREE GOLENALI (Raggio idraulico \cong 1 m)	
- a pascolo, senza vegetazione arbustiva	40-20
- coltivate	50-20
- con vegetazione arbustiva spontanea	25-10
- con vegetazione arborea coltivata	30-20
Alveo artificiale in calcestruzzo	
- pavimentazione in cemento	100
- calcestruzzo con casseforme metalliche	100-90
- calcestruzzo con intonaco	95-90
- calcestruzzo liscio	90
- intonaco di cemento intatto	90-80
- calcestruzzo con casseforme in legno, senza intonaco	70-65
- calcestruzzo costipato, superficie liscia	65-60
- calcestruzzo vecchio, superficie pulita	60
- rivestimento in calcestruzzo ruvido	55
- superfici irregolari in calcestruzzo	50



Figura 17 – Modello BASEMENT - Definizione materiali

8. SCENARIO ATTUALE

8.1 Descrizione

Lo scenario di stato attuale oggetto di analisi è stato ricostruito utilizzando i dati topografici a disposizione di cui in § 3.

In questo scenario, sono stati implementati tutti gli elementi caratterizzanti il territorio (rilevati, discontinuità, ecc...), attualmente presenti nella porzione di territorio analizzata.

La presenza del ponte della S.S. n. 10 è stata simulata modellando l'occupazione spaziale delle pile in alveo (eliminazione dei corrispondenti elementi della *mesh*).

Lo scenario prevede la presenza dei rilevati arginali, dei rilevati stradali, delle infrastrutture presenti in alveo e golena nel tratto oggetto di studio.

La Figura 18 riporta il modello tridimensionale del terreno (DEM) di riferimento, prodotto specificamente ed utilizzato per quotare la *mesh* di input del modello idraulico bidimensionale BASEMENT.

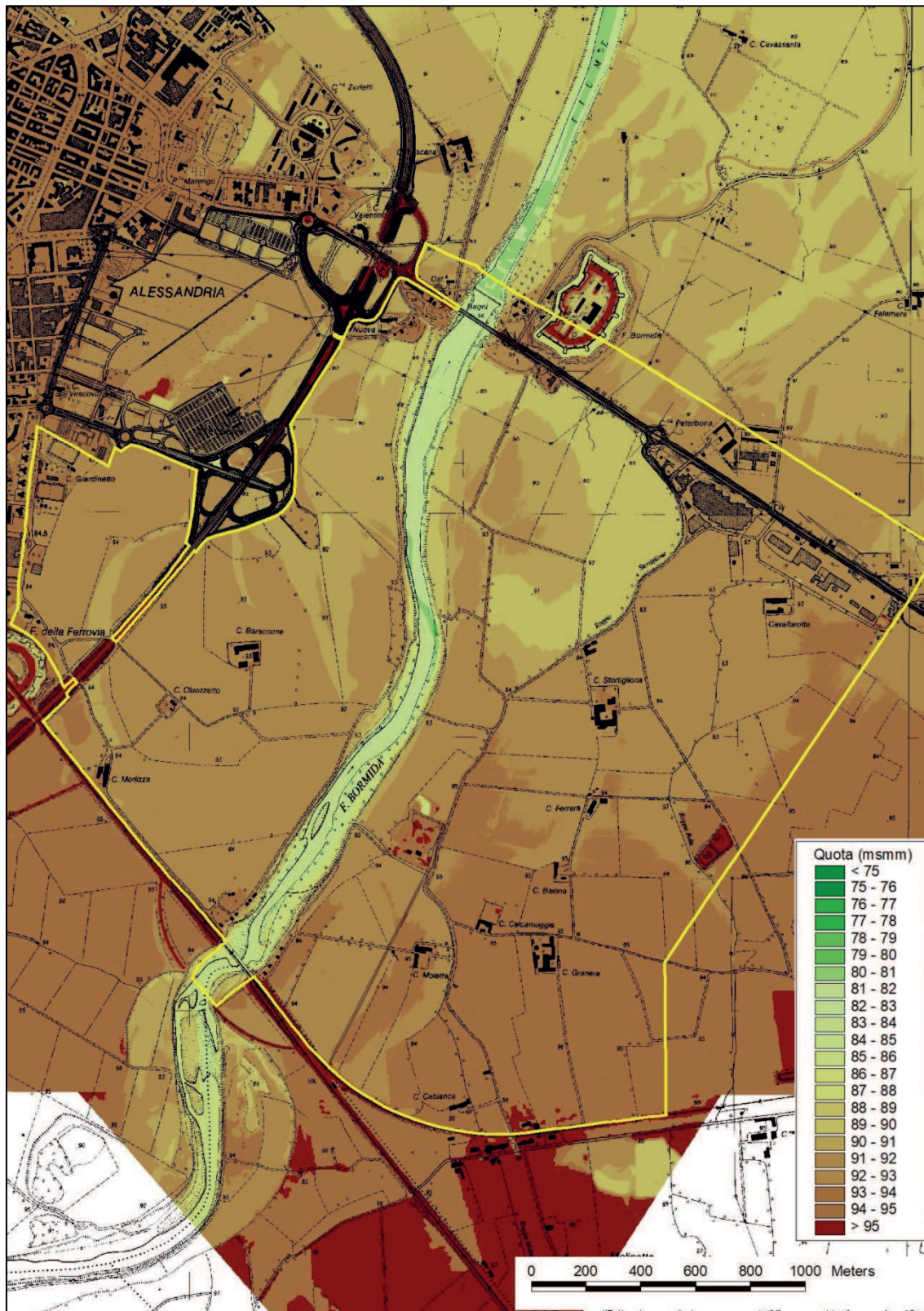


Figura 18 – Stato attuale – Modello terreno 3D (in giallo il bordo mesh)

8.2 Risultati simulazione

La simulazione di stato attuale è servita prima di tutto a valutare i parametri di scabrezza da applicarsi ad alveo e golene, al fine di rendere il presente modello compatibile con quello utilizzato nello Studio di Fattibilità AIPO, riprodotto nella Variante al PAI.

La Figura 20 riporta la Carta dei livelli, che si verificano durante l'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni, con picco a 4015 m³/s, nella porzione di territorio analizzata, ricavati dall'elaborazione dei risultati delle simulazioni.

I livelli risultanti dalla simulazione, alle diverse sezioni di riferimento PAI, sono stati confrontati con i corrispondenti livelli indicati nello Studio di Fattibilità e nella Relazione metodologica della variante al PAI nelle sezioni presenti lungo il tratto, indicate in Figura 19; la Tabella 2 riporta il confronto.

Si riscontra come i livelli del presente studio siano in linea con quelli di riferimento.

Alcuni scostamenti minimi sono da attribuirsi alla diversa natura delle simulazioni confrontate ed all'utilizzo di una batimetria aggiornata al presente: in moto permanente e monodimensionale quella dei documenti PAI e AIPO e bidimensionale la presente.

La taratura del modello idraulico utilizzato nel presente studio risulta pertanto efficace.

Tabella 2 – Taratura livelli su Variante al PAI (Valori Simulazione Q=4015 m³/s)

ID. SEZIONE PAI	LIVELLO VARIANTE PAI [m s.m.m.]	LIVELLO SIMULAZIONE [m s.m.m.]	DIFFERENZA LIVELLO SIMULAZIONE-PAI [m]
07_ponte V	94.93	95.00	0.07
6	94.46	94.55	0.09
05b	93.88	94.08	0.20
05a	93.43	93.70	0.27
05a_ponteM	93.18	93.50	0.32
05a_ponteV	93.00	93.00	0.00
05bis_brigliaM	92.93	92.90	-0.03
05bis_brigliaV	92.89	92.87	-0.02

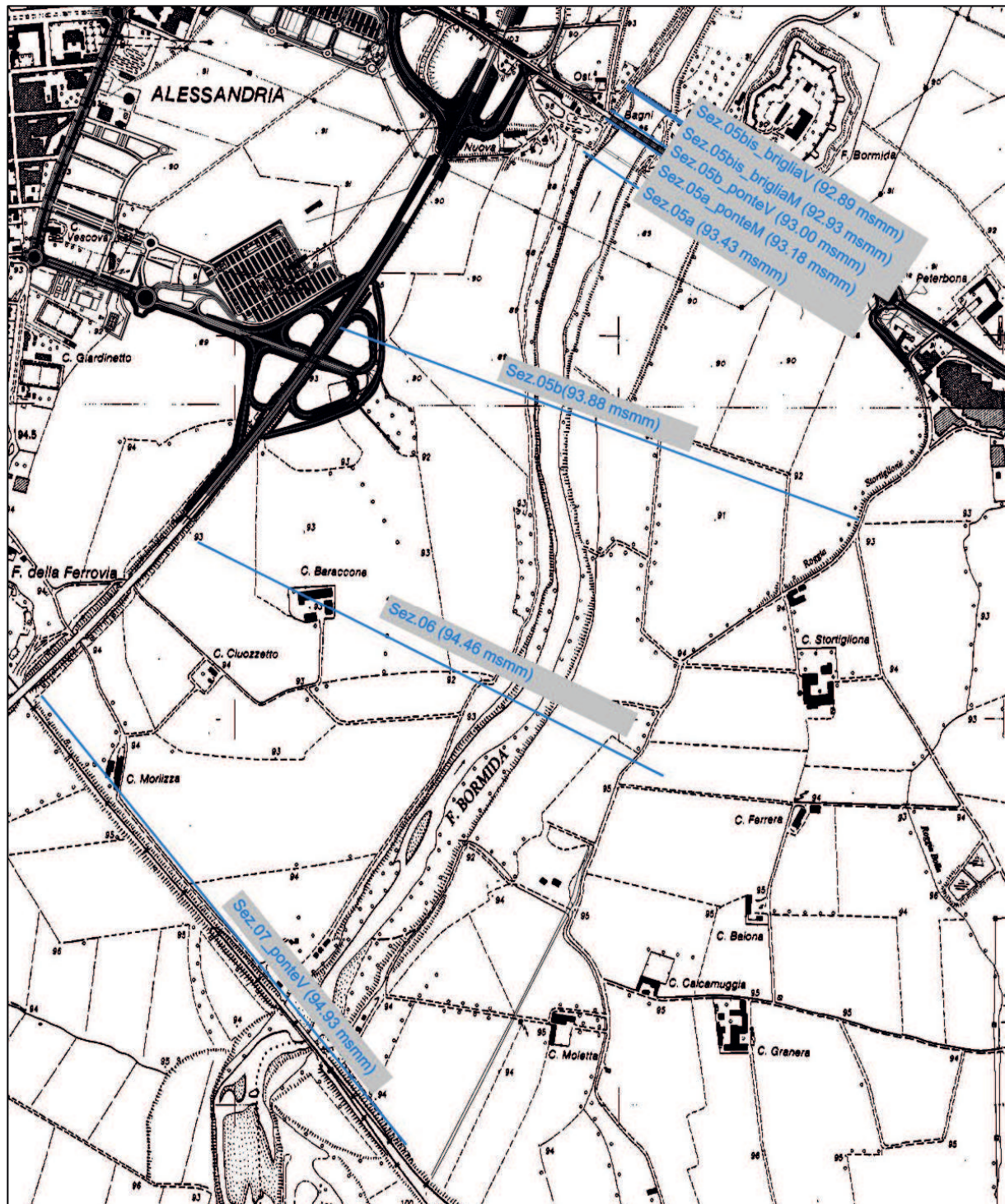


Figura 19 – Ubicazione sezioni Variante PAI con indicazione livelli di riferimento

Nel seguito si riportano le carte dei livelli, dei tiranti e delle velocità massime, nella porzione di territorio analizzata, ricavate dall'elaborazione dei risultati delle simulazioni.

Si noti come gli allagamenti sono, in generale, affini a quelli indicati nella Variante PAI (cfr. Figura 12).

In sinistra, l'allagamento è, in generale, confinato dal rilevato della S.S. n. 30; si possono distinguere tre tratti:

- tratto 1: linea ferroviaria – inizio argine svincolo corso G. Romita;
- tratto 2: argine svincolo corso G. Romita;
- tratto 3: termine argine svincolo corso G. Romita – S.S. n. 10.

Il tratto 1 è caratterizzato da un franco idraulico del rilevato stradale che varia da 8.00 m fino praticamente ad azzerarsi. Questo tratto comprende i tre fornici le cui opere di difesa arginale sono oggetto di adeguamento. In prossimità del fornice del ramo sud di Via del Chiozzetto il livello idrico raggiunge la quota di sommità del rilevato arginale esistente a protezione del fornice stesso; in corrispondenza del fornice nord di Via del Chiozzetto l'allagamento è contenuto anche se con franco esiguo; in corrispondenza del terzo fornice il livello idrico supera per pochi centimetri la quota di sommità del rilevato arginale; di fatto il fornice risulta privo di qualsiasi funzione idraulica, essendo totalmente ostruito dall'opera di difesa arginale costruita da AIPO.

Il tratto 2 è rappresentato dall'arginatura dello svincolo di Corso G. Romita, che fu progettata per portate di riferimento inferiori rispetto al valore di $4015 \text{ m}^3/\text{s}$; in questo tratto il contenimento è garantito, ma con franco inferiore al metro.

Il tratto 3 è caratterizzato da un franco idraulico della sommità del rilevato stradale superiore a 1.00 m; in questo tratto è presente un fornice avente funzione di attraversamento stradale; il fornice è protetto da un sistema di difesa locale avente franco esiguo (circa 0.20 m).

In destra, l'arginatura esistente, progettata per portate di riferimento inferiori, non risulta adeguata a contenere i livelli di piena, determinati dall'evento con picco a $4015 \text{ m}^3/\text{s}$, per la quasi totalità del suo sviluppo. Si riscontrano:

- sormonto locale nel tratto di argine alla progressiva di C.na Moietta, che determina l'allagamento della gran parte della golena destra fino all'orlo di terrazzo in corrispondenza di Via Stortigliona;

- sormonto in corrispondenza dell'accesso all'area di cava limitrofa al Rio Molinetto, ove è evidente una corda molle del profilo dell'argine con un abbassamento della livelletta di 20-30 cm, rispetto allo sviluppo lineare della testa argine; in questo tratto si sviluppa l'allagamento che, ruscellando sopra la viabilità, va ad interessare i campi ad Est di Via Stortigliona fino a raggiungere le C.ne Stortigliona e Cavallarotta;
- sormonto lungo tutto il tratto di argine a valle della progressiva di C.na Stortigliona, fino al piazzale del distributore Esso limitrofo alla S.S. n. 10, che determina l'allagamento di tutta la golena destra fino all'orlo di terrazzo in corrispondenza di Via Stortigliona.

Nei tratti di argine ove non si verifica sormonto, il franco idraulico è esiguo.

Si osserva che, in linea generale, il tratto complessivo di fiume Bormida indagato presenta condizioni di franco idraulico ridotto, anche in corrispondenza delle opere arginali di più recente costruzione (svincolo corso Romita); questo fatto è evidentemente da riferirsi al valore di portata di riferimento adottato che, secondo quanto previsto dallo studio dell'Università di Padova e recepito dallo "Studio di fattibilità per la definizione dell'assetto di progetto" del T. Bormida, è stato assunto pari a $4015 \text{ m}^3/\text{s}$, in sensibile incremento rispetto al valore di $3640 \text{ m}^3/\text{s}$, precedentemente indicato dal PAI ed utilizzato nei dimensionamenti delle opere esistenti.

A tale situazione di criticità generale si vengono poi ad aggiungere locali problematiche di insufficienza delle opere di difesa, tra le quali, in particolare, quelle poste a protezione dei tre forni presenti in sinistra idraulica lungo il c.d. tratto 1.

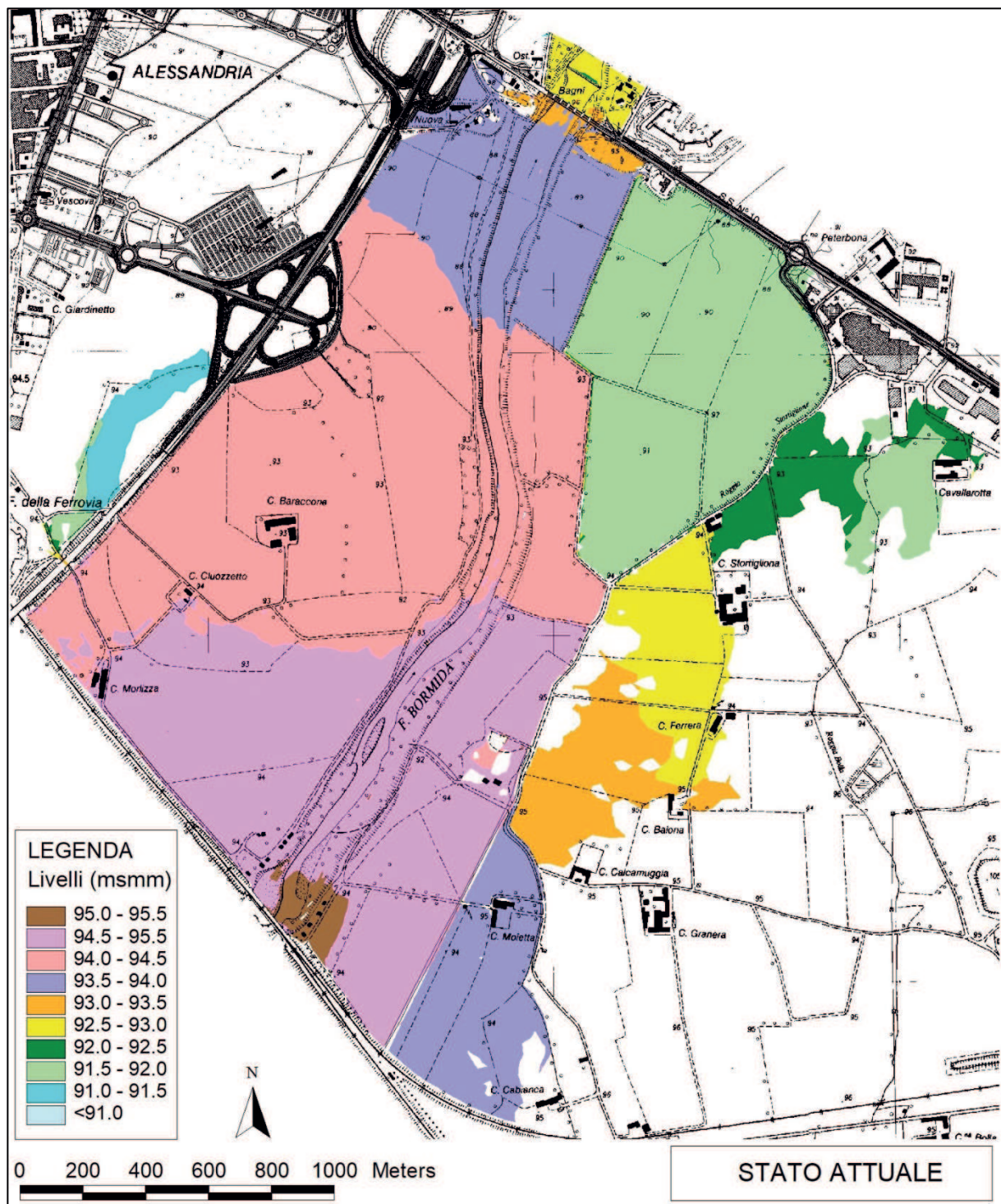


Figura 20 – Scenario Attuale - TR=200 ($Q=4015 \text{ m}^3/\text{s}$) - Carta dei livelli massimi

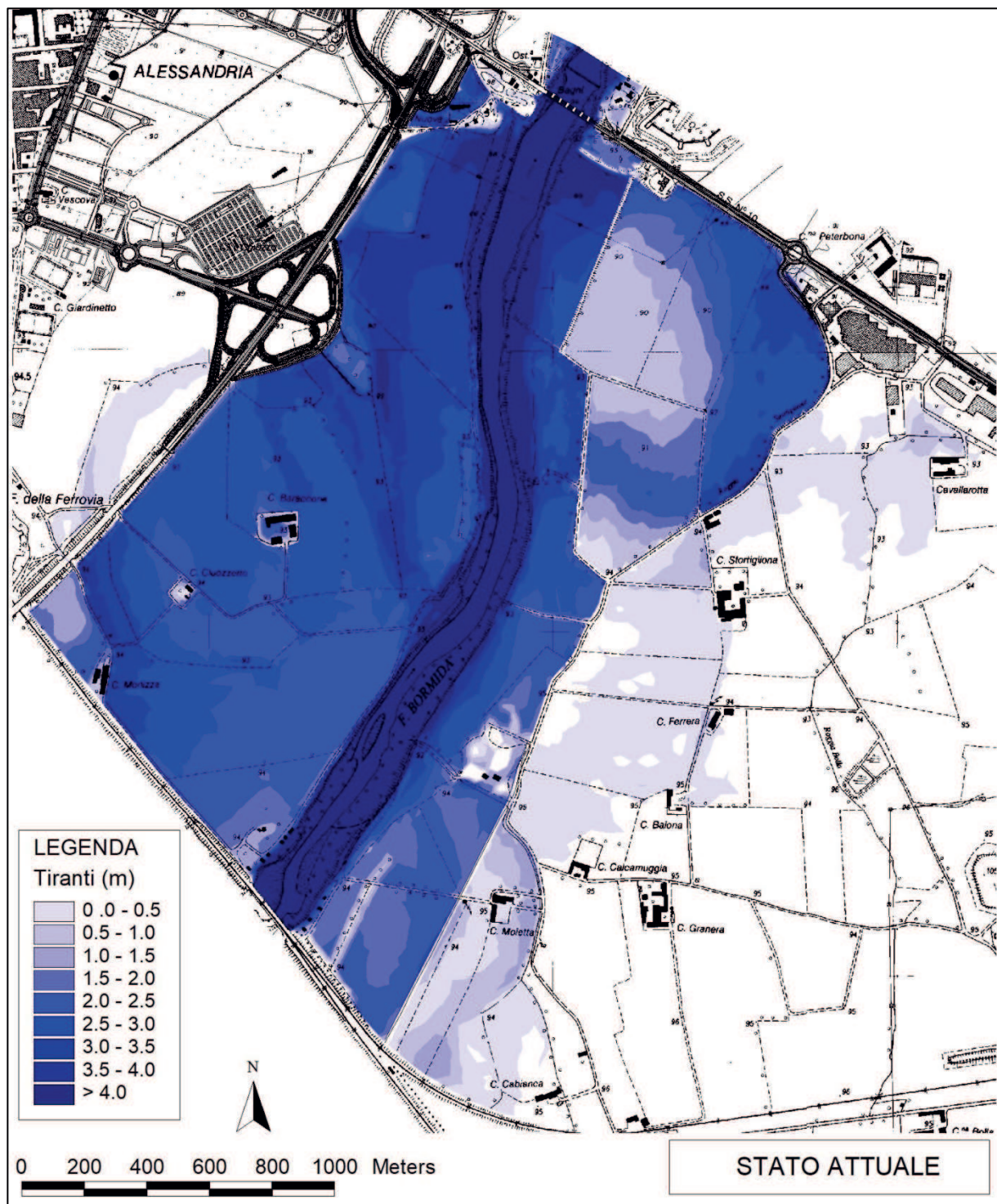


Figura 21 – Scenario Attuale - TR=200 ($Q=4015 \text{ m}^3/\text{s}$) - Carta dei tiranti massimi

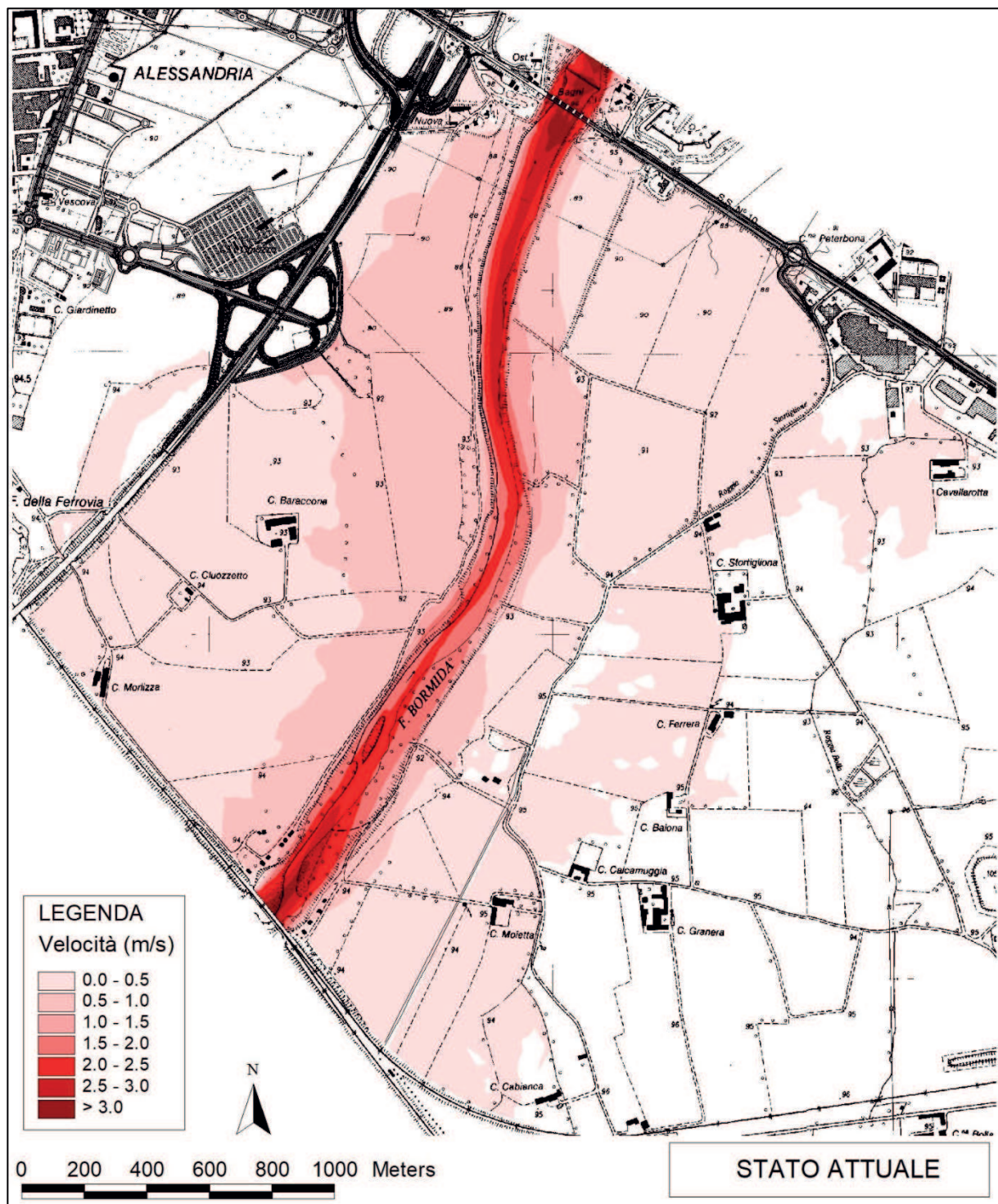


Figura 22 – Scenario Attuale - TR=200 ($Q=4015 \text{ m}^3/\text{s}$) - Carta delle velocità massime

9. SCENARIO DI PROGETTO 1

9.1 Descrizione

Lo scenario di progetto 1 è una configurazione analoga allo scenario di riferimento di stato attuale con l'aggiunta dei nuovi rilevati a protezione dei fornici in configurazione di progetto con caratteristiche tali da assicurare la compatibilità idraulica dell'opera, ed è schematizzato in Figura 23.

Il limite del modello sarà costituito, a differenza dello stato attuale, dai limiti di fascia B di progetto previsti dal PAI: il limite di fascia sinistro è addossato alla tangenziale di Alessandria, ad eccezione dei brevi tratti ove sono previste le arginature in progetto ove si discosta leggermente da essa lato fiume; il limite destro si sviluppa lungo l'argine esistente, fino all'altezza di C.na Stortigliona, e, successivamente, contro il terrazzo morfologico in corrispondenza di Via Stortigliona. Tale scelta è dovuta al fatto che la configurazione di progetto PAI prevede limiti che attualmente non sono presenti e possono comportare innalzamenti di livello, che sono da considerarsi nella valutazione a lungo termine delle caratteristiche progettuali delle opere nel tratto.

Si considererà la presenza delle pile del ponte della S.S. n. 10 esistente, ma anche delle pile della realizzanda passerella ciclo-pedonale a monte di esso; in entrambi i casi la presenza delle pile sarà modellata eliminando gli elementi corrispondenti all'impronta delle pile stesse.

La quota di sommità dei rilevati arginali in progetto a protezione dei fornici è tale da assicurare un franco idraulico di 1 m, rispetto alla piena di riferimento duecentennale.

Il profilo dei due rami di strada di Via del Chiozzetto sarà adeguato in modo da prevedere lo scavalco degli argini previsti alla quota di testa di ognuno di essi.

La quota di testa del rilevato di chiusura del fornice sud è pari a 95.95 m s.m.m..

La quota di testa del rilevato di chiusura del fornice nord è pari a 95.80 m s.m.m..

La quota di testa del rilevato di chiusura del terzo è pari a 95.70 m s.m.m..

Per i dettagli si faccia riferimento al § 4 ed alle tavole di progetto.

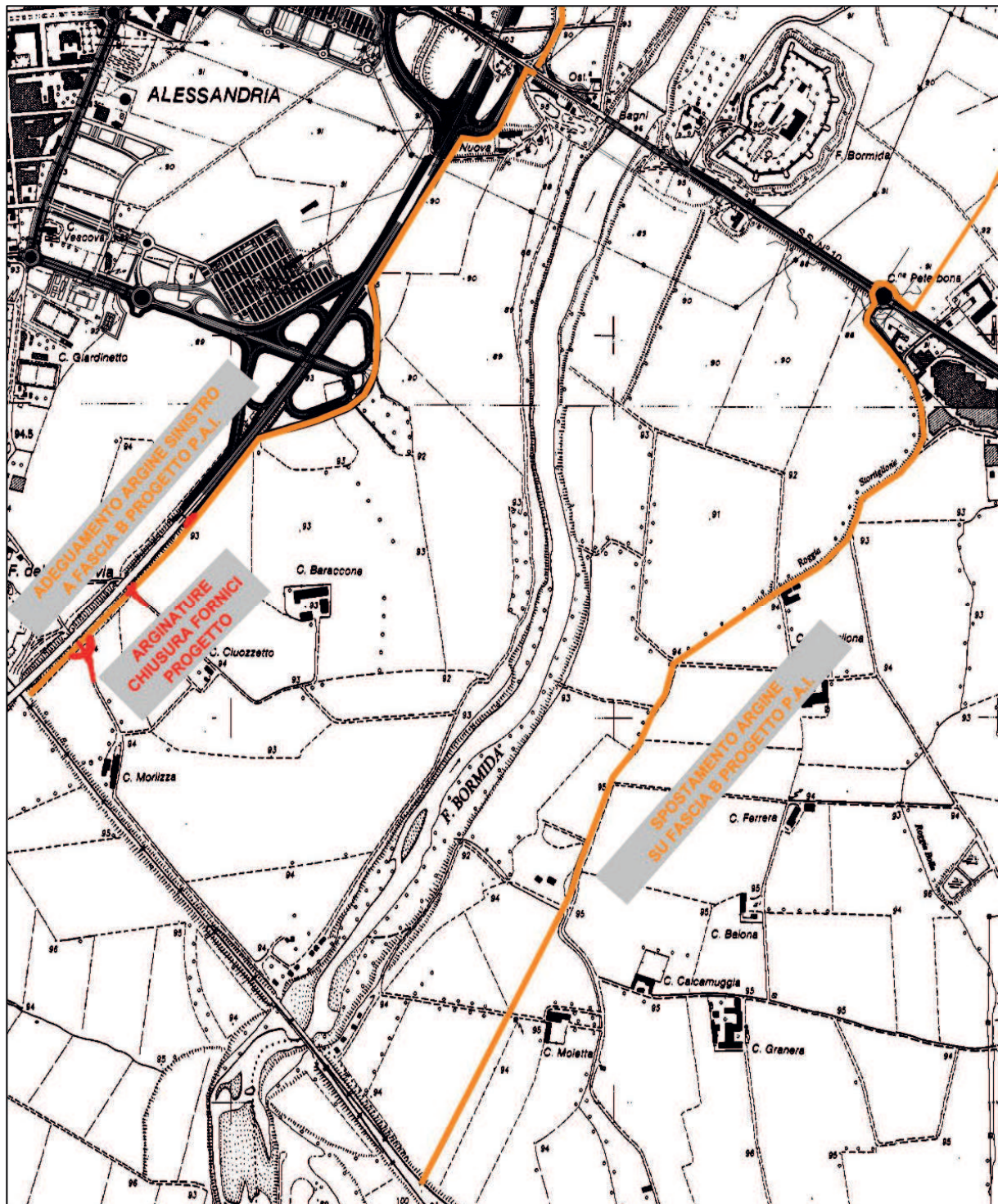


Figura 23 – Scenario di Progetto 1 – Schema

9.2 Risultati simulazione

È stata sviluppata la simulazione per tempo di ritorno 200 anni con idrogramma di riferimento idrologico, con picco a 4015 m³/s, di riferimento in quanto scevra di eventuali laminazioni del tratto di monte e dimensionante per quanto riguarda le strutture da realizzarsi in fascia A e B, nella fattispecie per i rilevati arginali in progetto.

I risultati sono riportati in seguito in termini di Carte di livelli, tiranti e velocità massimi. Al fine di valutare la variazione dei livelli della configurazione di progetto, rispetto a quella di stato attuale, sono state redatte carte della differenza dei livelli e della differenza di velocità.

Rispetto allo stato attuale, gli allagamenti sono limitati entro i limiti di fascia B di progetto previsti; scompaiono gli allagamenti ad Ovest della tangenziale, in sinistra, e lungo la campagna ad Est di Via Stortigliona, in destra.

Come per lo stato attuale, l'acqua non supera il rilevato della S.S. n. 10, seppur il franco idraulico sia esiguo.

La Carta della differenza dei livelli mostra come la variazione di livello che avviene in stato di progetto, rispetto allo scenario attuale, risulta contenuta in pochi centimetri (2-3 cm) lungo tutta la fascia compresa tra la linea dell'arginatura sinistra (adeguata) e la linea dell'arginatura destra adeguata fino alla progressiva di C.na Stortigliona, che prosegue lungo l'arginatura attuale a valle di tale progressiva.

A valle della progressiva di C.na Stortigliona, nello spazio intercluso tra il rilevato arginale esistente, il limite di fascia B di progetto previsto ed il rilevato della S.S. n. 10, si verifica un incremento di livello di 30 cm, dovuto al maggiore volume d'acqua che viene condotto verso valle, a causa dell'adeguamento delle arginature a monte C.na Stortigliona, e che stramazza sull'argine esistente, viene invasato in tale area.

Le variazioni di livello riscontrate, anche nell'intorno delle opere in progetto, sono da attribuirsi alla limitazione del deflusso della piena entro i limiti di fascia B di progetto; tale condizione sottrae, localmente, aree di laminazione presenti nella configurazione di stato attuale.

La Carta della differenza delle velocità mostra come, nell'intorno dei rilevati realizzandi, esse si mantengano sostanzialmente invariate ad eccezione di locali decrementi fino a 0.1-0.2

m/s, in adiacenza ai sovralti arginali previsti che determinano rallentamento della corrente, ed incrementi fino a 0.03 m/s.

Nella rimanente porzione di territorio analizzata, locali incrementi di velocità, fino a 0.10-0.30 m/s si verificano in corrispondenza del rilevato arginale esistente in sponda destra.

In generale, gli incrementi, seppur trascurabili, sono determinati dall'eliminazione delle aree di laminazione oltre limiti di fascia B di progetto, rispetto allo stato attuale, e dalla conseguente variazione della idrodinamica di piena.

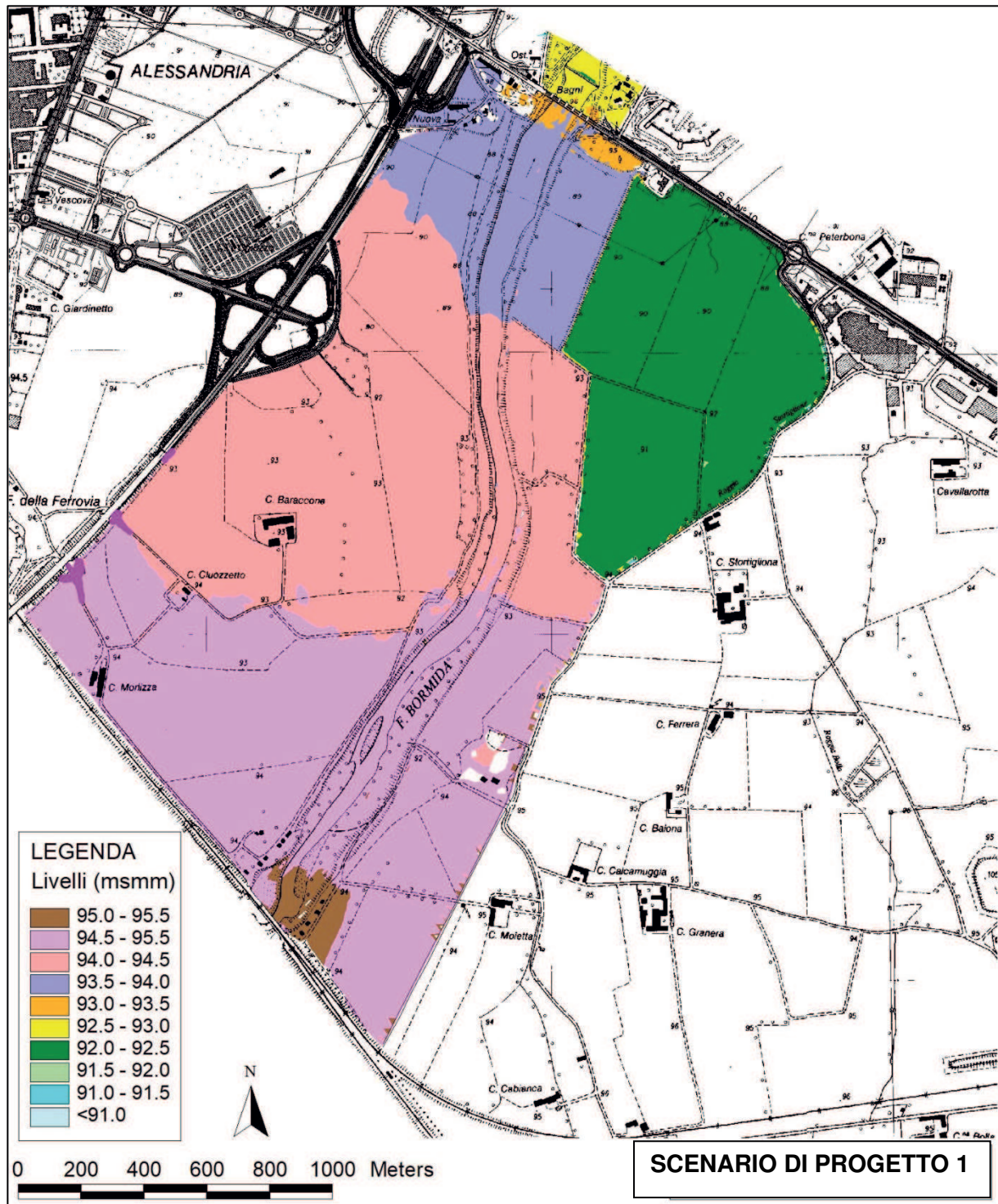


Figura 24 – Scenario di progetto 1 - TR=200 - Carta dei livelli massimi

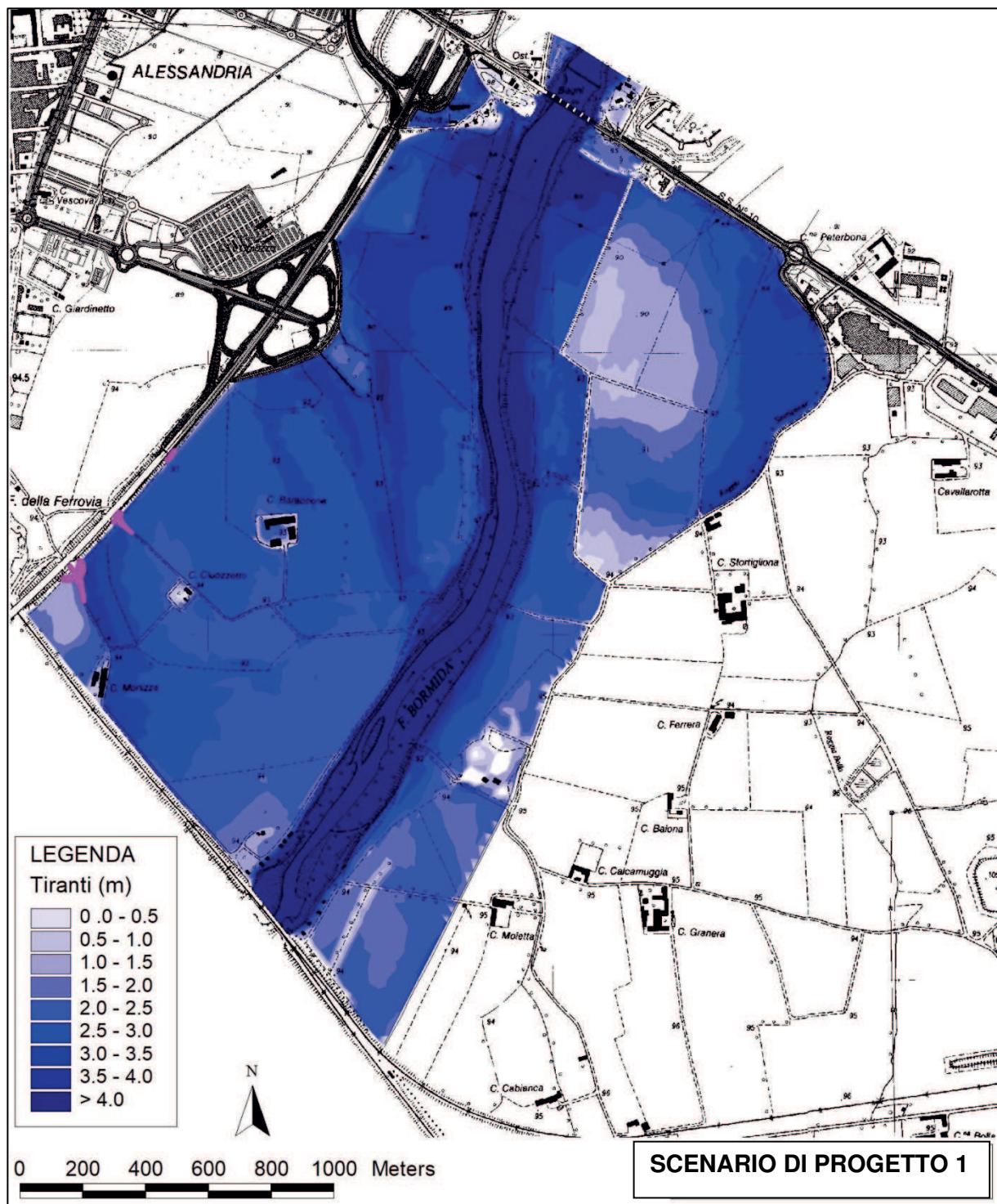


Figura 25 – Scenario di progetto 1 - TR=200 - Carta dei tiranti massimi

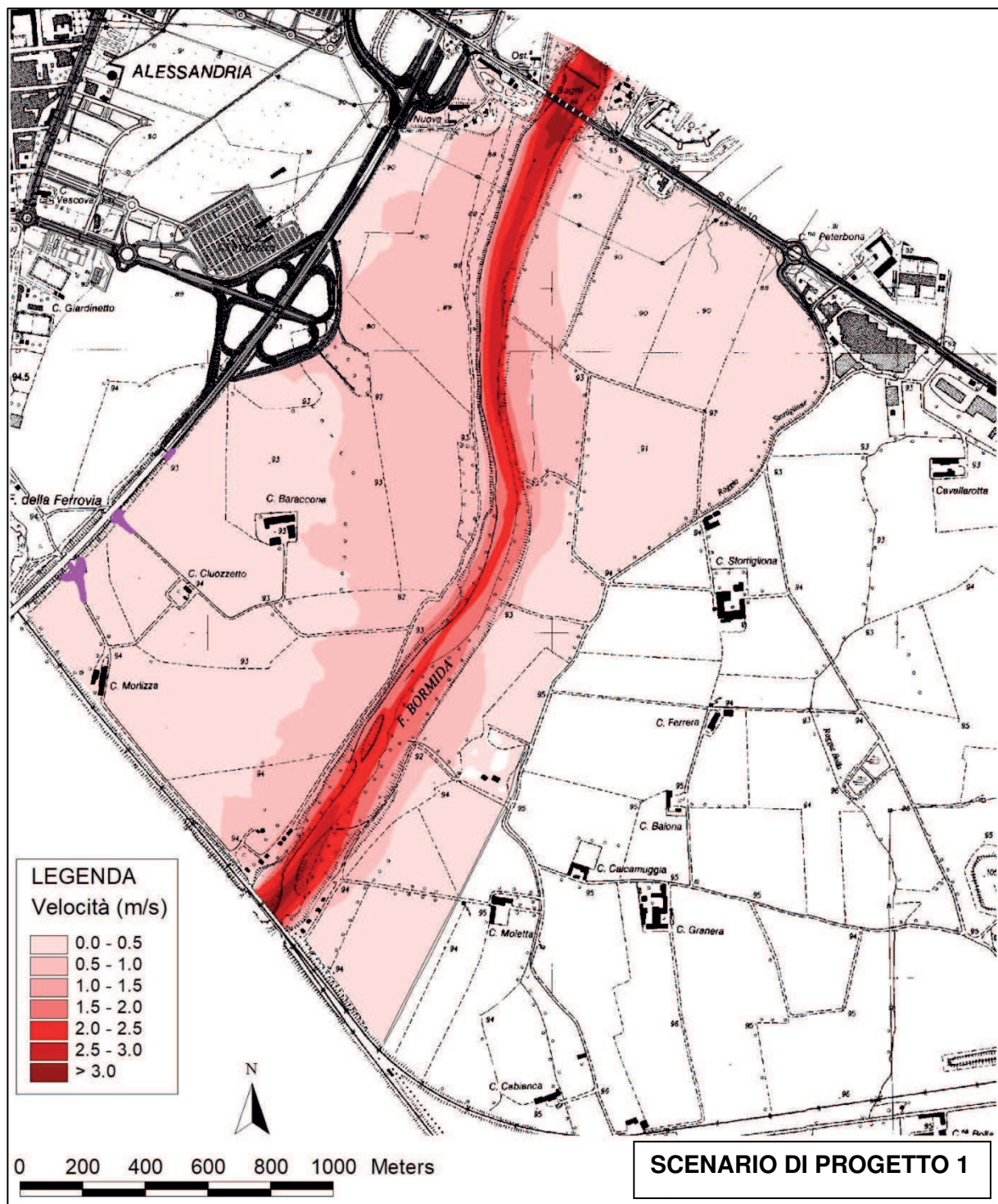


Figura 26 – Scenario di progetto 1 - TR=200 - Carta delle velocità massime

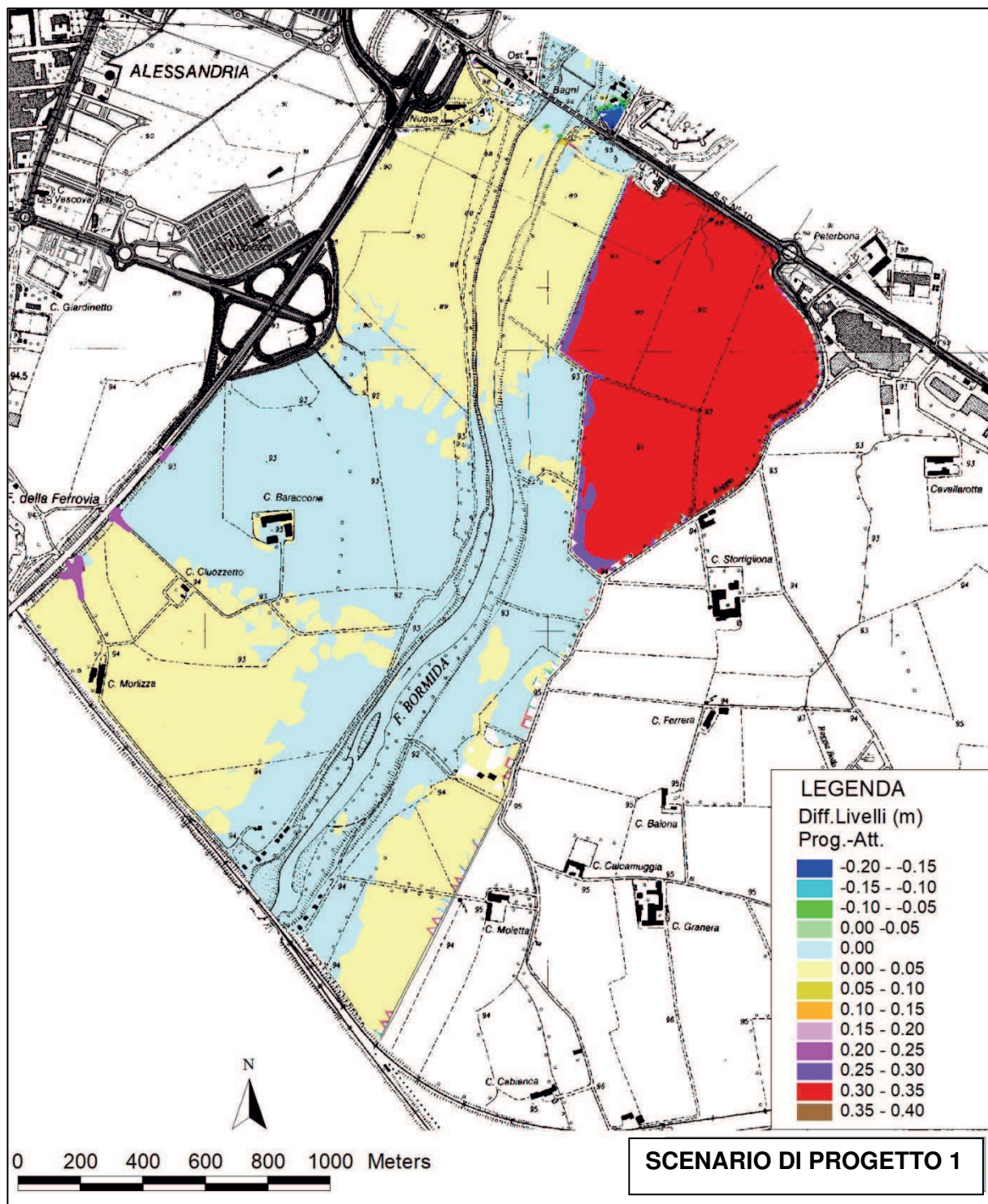


Figura 27 – Carta della differenza dei livelli massimi tra scenario di progetto 1 e attuale – TR=200

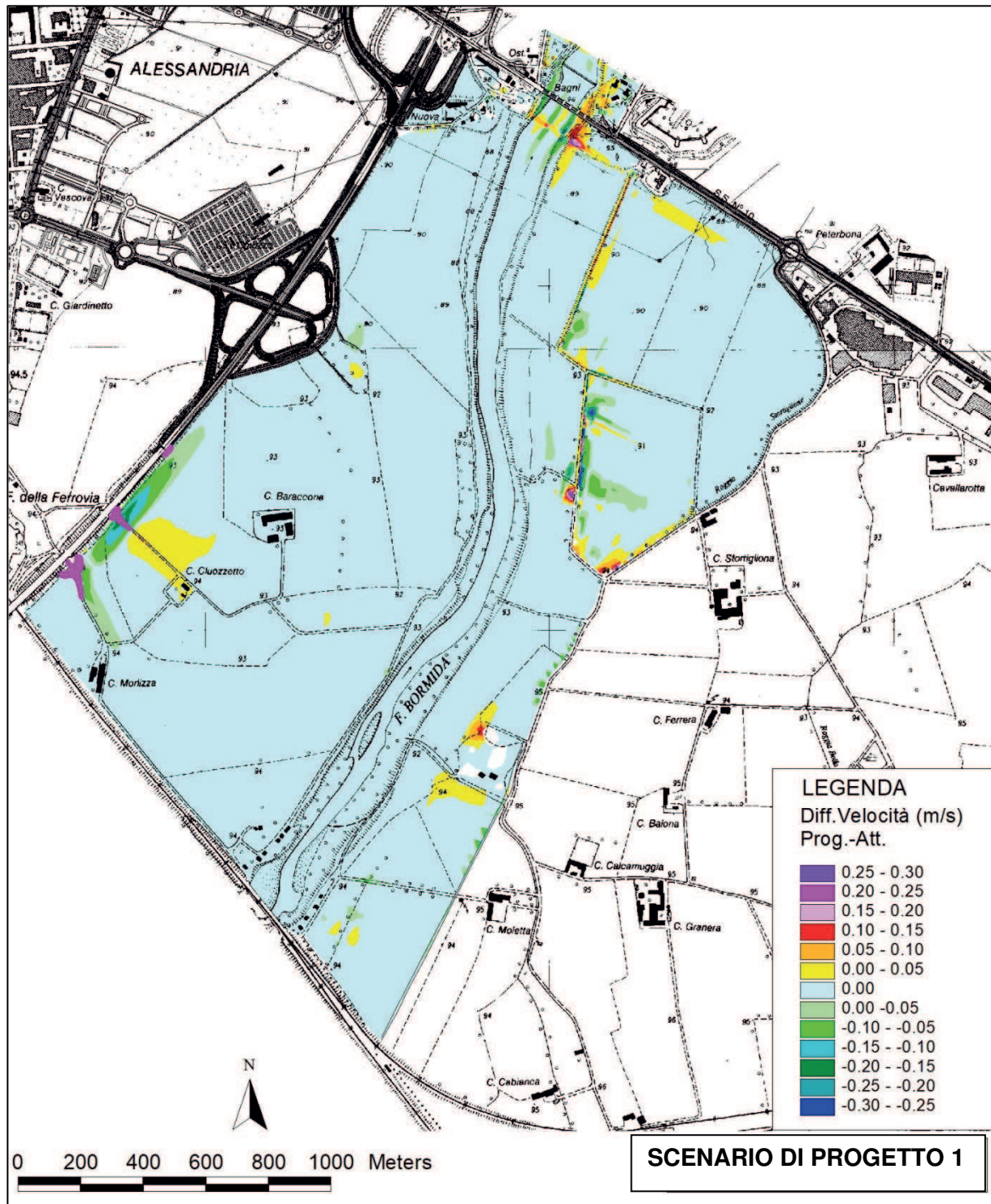


Figura 28 – Carta della differenza delle velocità massime tra scenario di progetto 1 e attuale – TR=200

10. SCENARIO DI PROGETTO 2

10.1 Descrizione

Lo scenario di progetto 2 è una configurazione analoga allo scenario di riferimento di stato attuale con l'aggiunta dei nuovi rilevati a protezione dei fornici in configurazione di progetto con caratteristiche tali da assicurare la compatibilità idraulica dell'opera, ed è schematizzato in Figura 23.

Il modello, a differenza dello scenario 1, prevedrà il mantenimento dell'attuale argine destro del Bormida, nella configurazione planimetrica attuale, ma impostato come se costituisse barriera idraulica al deflusso.

Il limite del modello di fascia sinistra sarà costituito, secondo le previsioni del PAI, dalla tangenziale di Alessandria, ad eccezione dei tre brevi tratti ove sono previste le arginature in progetto; qui la fascia si discosta leggermente dal rilevato stradale verso fiume per permettere lo scavalco della viabilità presente; il limite di fascia destro si sviluppa lungo l'argine esistente.

Si considererà la presenza delle pile del ponte della S.S. n. 10 esistente, ma anche delle pile della realizzanda passerella ciclo-pedonale a monte di esso; in entrambi i casi la presenza delle pile sarà modellata eliminando gli elementi corrispondenti all'impronta delle pile stesse.

La quota di sommità dei rilevati arginali in progetto a protezione dei fornici è tale da assicurare un franco idraulico di 1 m, rispetto alla piena di riferimento duecentennale.

Il profilo dei due rami di strada di Via del Chiozzetto sarà adeguato in modo da prevedere lo scavalco degli argini previsti alla quota di testa di ognuno di essi.

La quota di testa del rilevato di chiusura del fornice sud è pari a 95.95 m s.m.m.

La quota di testa del rilevato di chiusura del fornice nord è pari a 95.80 m s.m.m.

La quota di testa del rilevato di chiusura del terzo fornice è pari a 95.70 m s.m.m.

Per i dettagli si faccia riferimento al § 4 ed alle tavole di progetto.

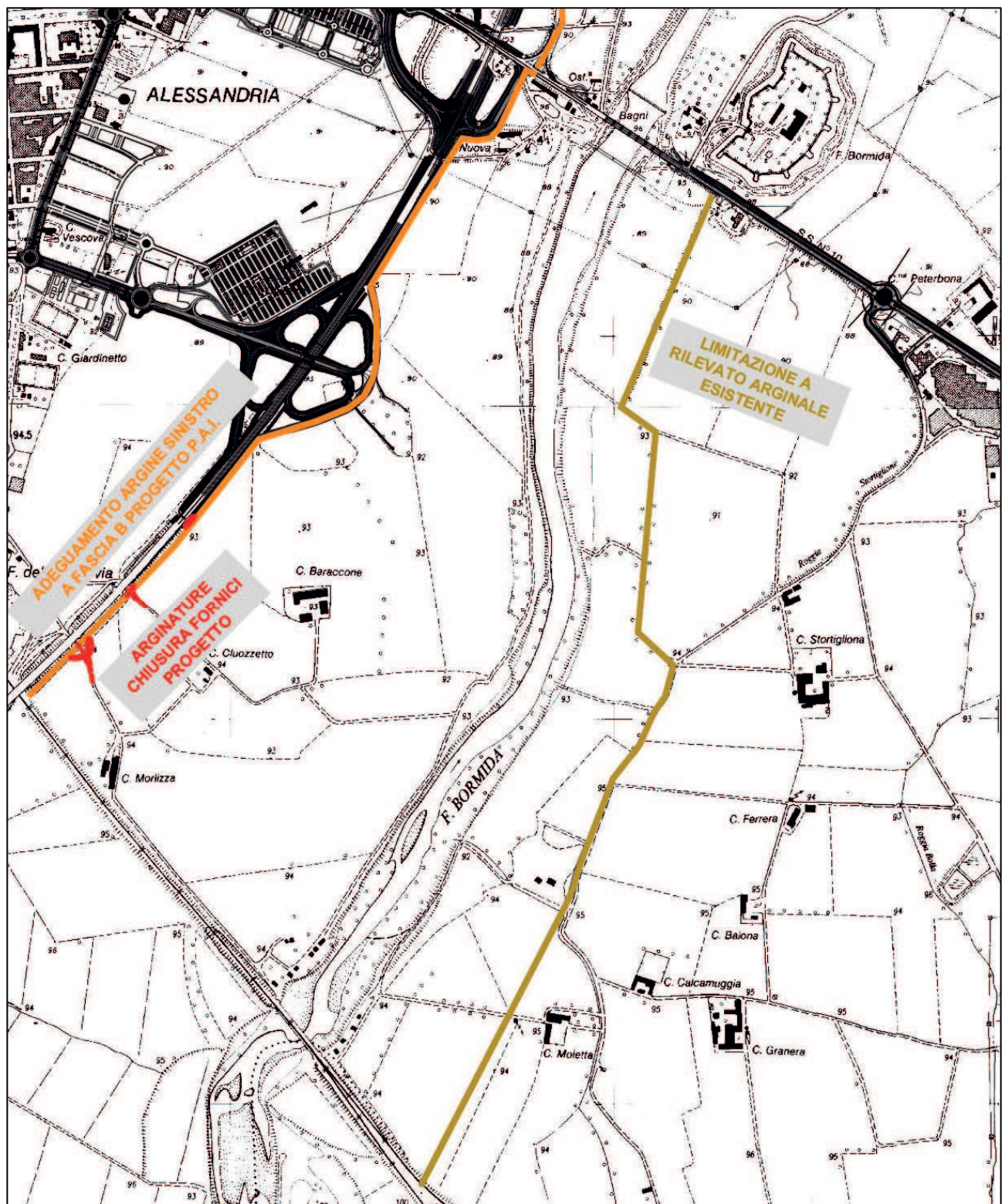


Figura 29 – Scenario di Progetto 2 – Schema

10.2 Risultati simulazione

È stata sviluppata la simulazione per tempo di ritorno 200 anni con idrogramma di riferimento idrologico, con picco a 4015 m³/s, di riferimento in quanto scevra di eventuali laminazioni del tratto di monte e dimensionante per quanto riguarda le strutture da realizzarsi in fascia A e B, nella fattispecie per i rilevati arginali in progetto.

I risultati sono riportati in seguito in termini di Carte di livelli, tiranti e velocità massimi.

Al fine di valutare la variazione dei livelli della configurazione di progetto 2, rispetto a quella di stato attuale, sono state redatte Carte della differenza dei livelli e della differenza di velocità.

Rispetto allo stato attuale, gli allagamenti sono contenuti in destra entro i limiti delle arginature attuali, mentre in sinistra essi sono limitati dalle arginature correnti lungo il rilevato della tangenziale, e dalle opere arginali in progetto. Pertanto scompaiono gli allagamenti al di là della tangenziale, in sinistra, e al di là della linea arginale attuale, in destra.

Come per lo stato attuale, l'acqua non supera il rilevato della S.S. n. 10, seppur il franco idraulico sia esiguo.

La Carta della differenza dei livelli mostra come la variazione di livello che avviene in stato di progetto 2, rispetto allo scenario attuale, risulta contenuta in pochi centimetri (7-13 cm) lungo tutta la fascia compresa tra la linea dell'arginatura sinistra (adeguata) e la linea dell'arginatura destra adeguata impostata come barriera al deflusso.

L'incremento di livello rispetto allo scenario di progetto 1 è dovuto all'ulteriore restringimento in destra, dovuto al limite costituito dalla linea di arginatura esistente, rispetto alla linea prevista dal PAI, che caratterizzava lo scenario 1 e lasciava libere maggiori aree di laminazione alla piena.

La presenza dei nuovi rilevati a protezione dei forni adeguati in quota, ha un effetto del tutto trascurabile sull'idrodinamica di piena, infatti si riscontrano variazioni di livello, nel loro intorno, in linea con le variazioni generali.

Le variazioni di livello riscontrate, anche nell'intorno delle opere in progetto, sono da attribuirsi alla limitazione del deflusso della piena entro il limite di fascia B di progetto, in sinistra, ed il limite della linea dell'arginatura esistente, in destra; tale condizione sottrae, localmente, aree di laminazione presenti nella configurazione di stato attuale.

La Carta della differenza delle velocità mostra come, nell'intorno dei rilevati realizzandi, esse si mantengano sostanzialmente invariate ad eccezione di locali decrementi fino a 0.1-0.2 m/s, in adiacenza ai sovralti stradali previsti che determinano rallentamento della corrente, ed incrementi fino a 0.03 m/s.

Nella rimanente porzione di territorio analizzata, locali incrementi di velocità, fino a 0.10-0.20 m/s si verificano in corrispondenza del rilevato arginale esistente in sponda destra.

In generale, gli incrementi, seppur trascurabili, sono determinati dall'eliminazione delle aree di laminazione oltre limiti di fascia B di progetto, rispetto allo stato attuale, e dalla conseguente variazione della idrodinamica di piena.

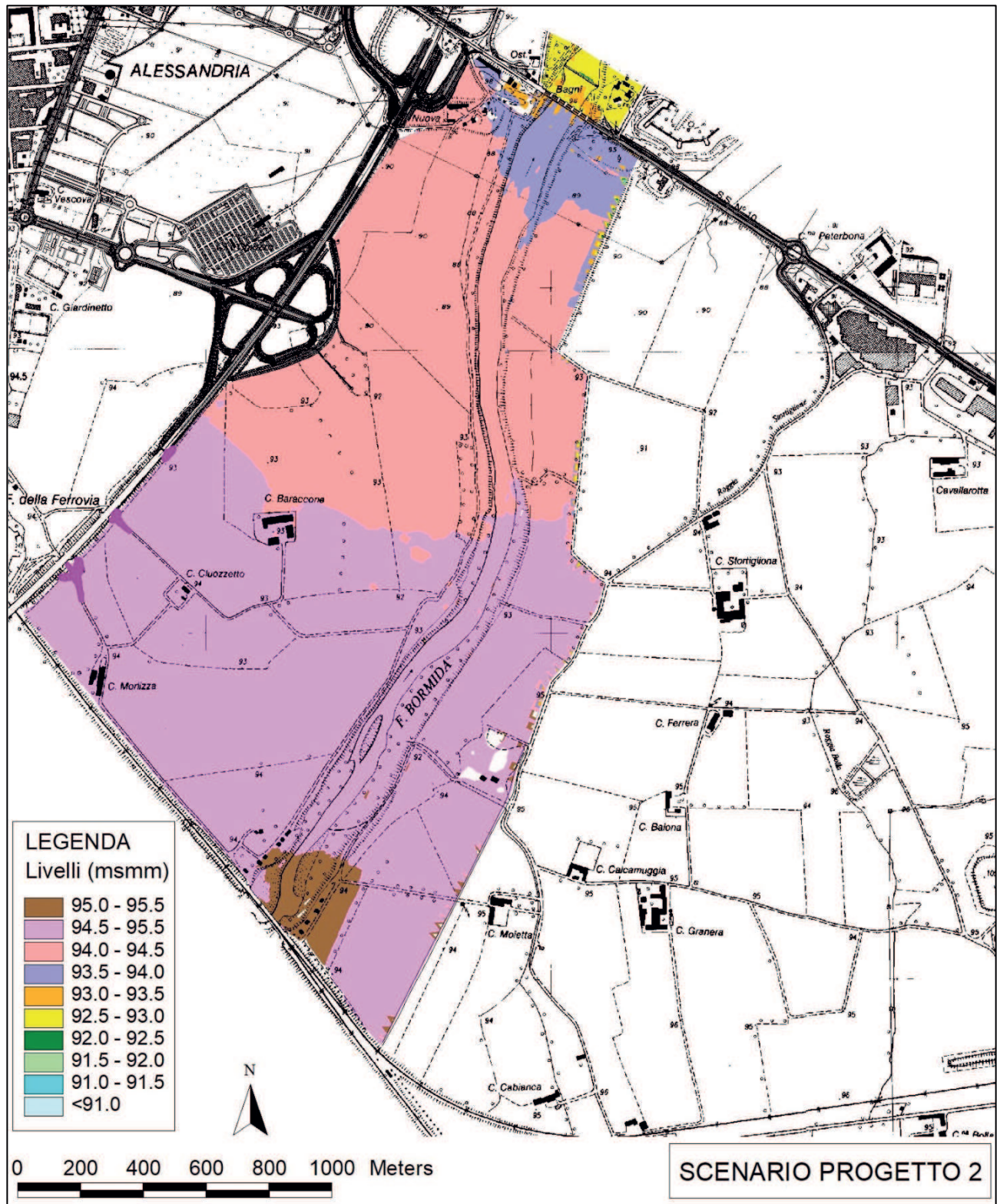


Figura 30 – Scenario di progetto 2 - TR=200 - Carta dei livelli massimi

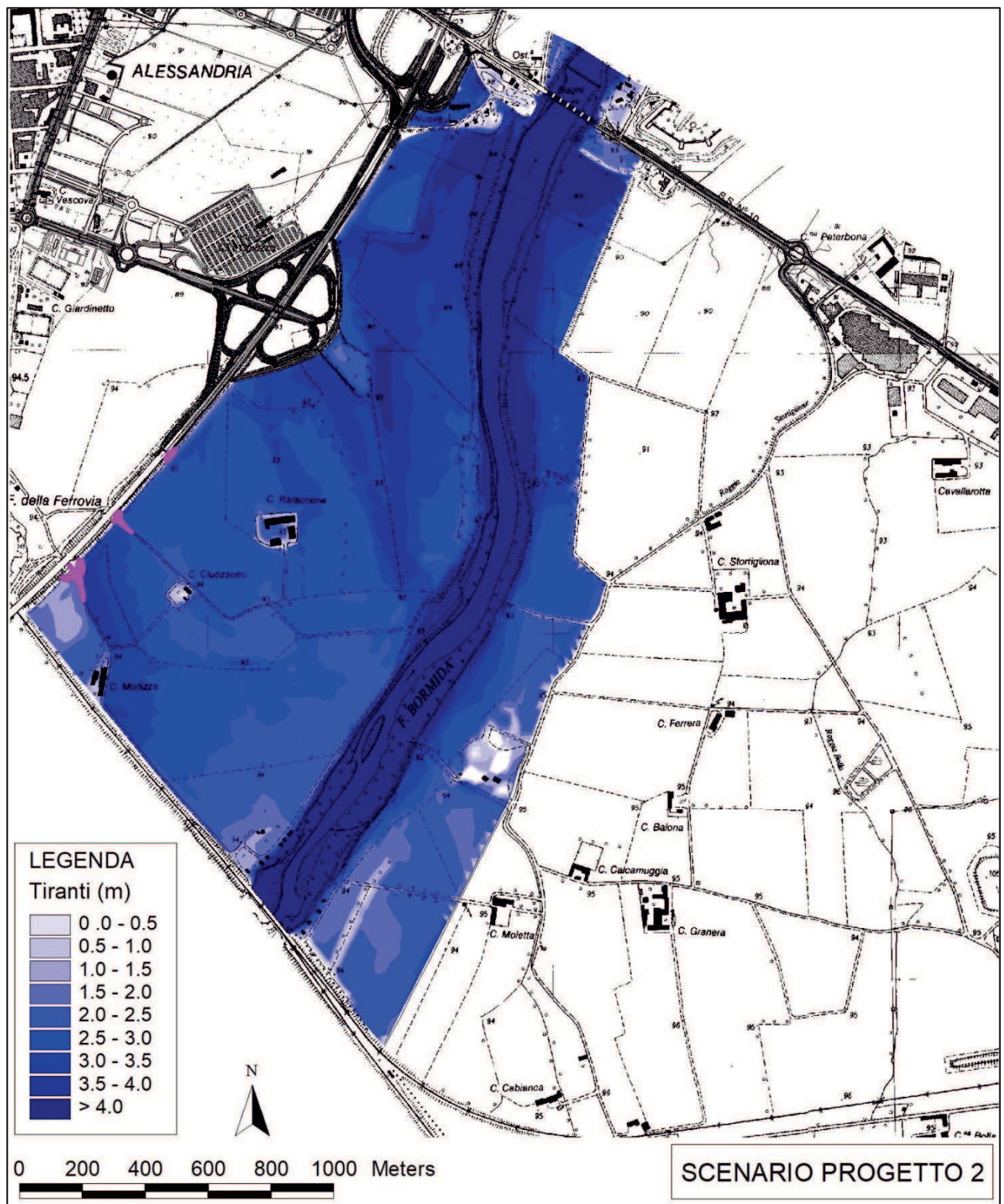


Figura 31 – Scenario di progetto 2 - TR=200 - Carta dei tiranti massimi

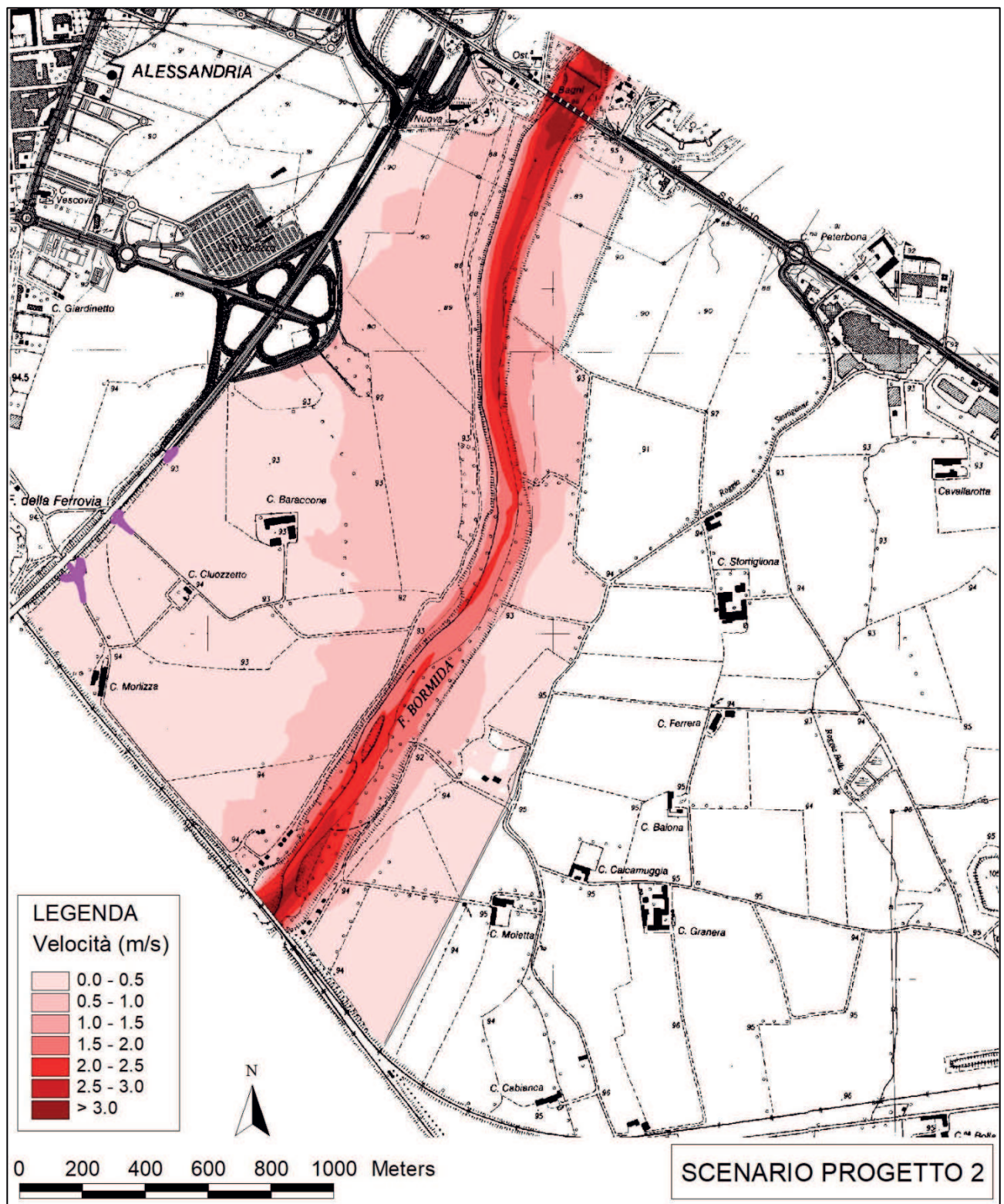


Figura 32 – Scenario di progetto 2 - TR=200 - Carta delle velocità massime

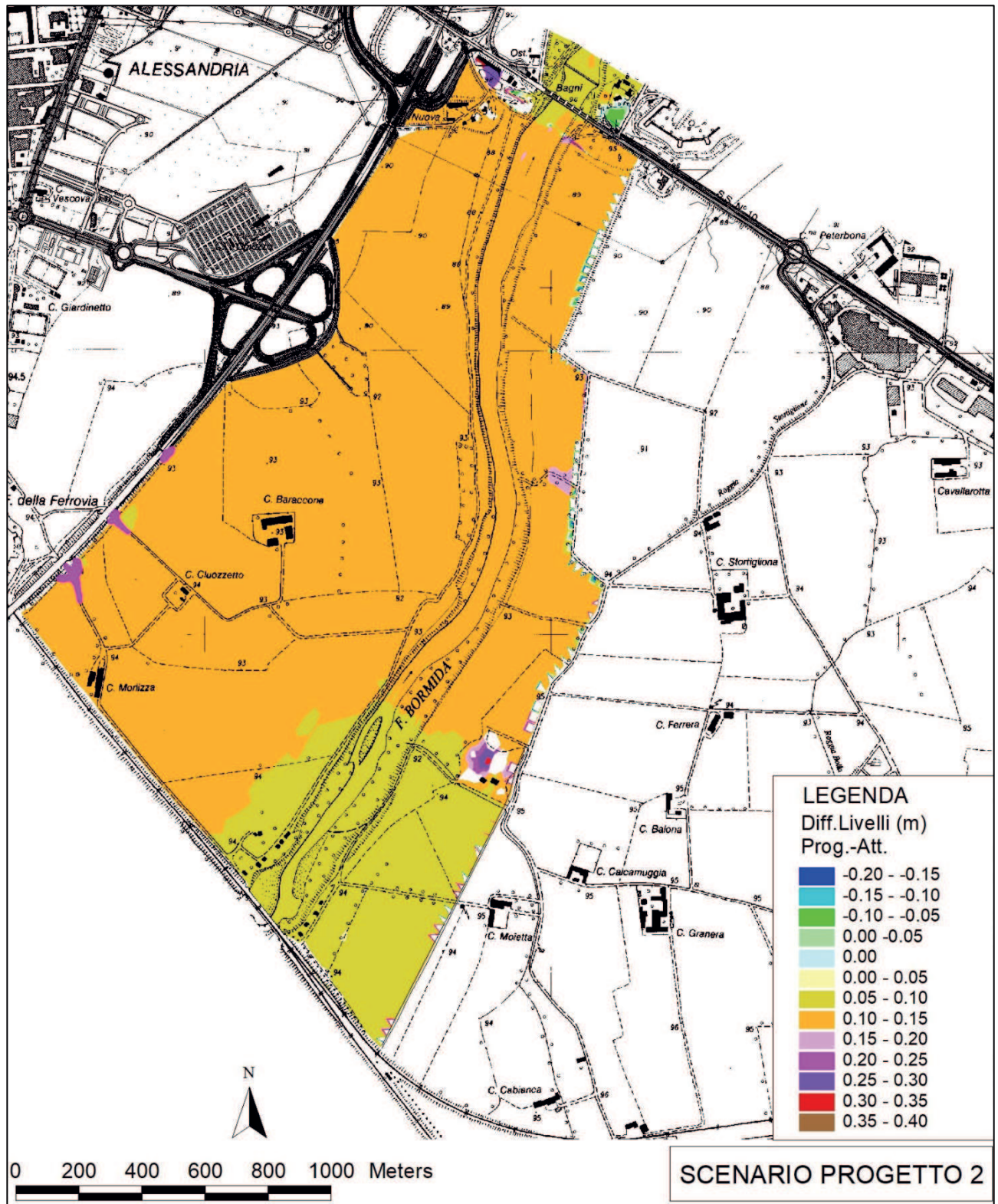


Figura 33 – Carta della differenza dei livelli massimi tra scenario di progetto 2 e attuale – TR=200

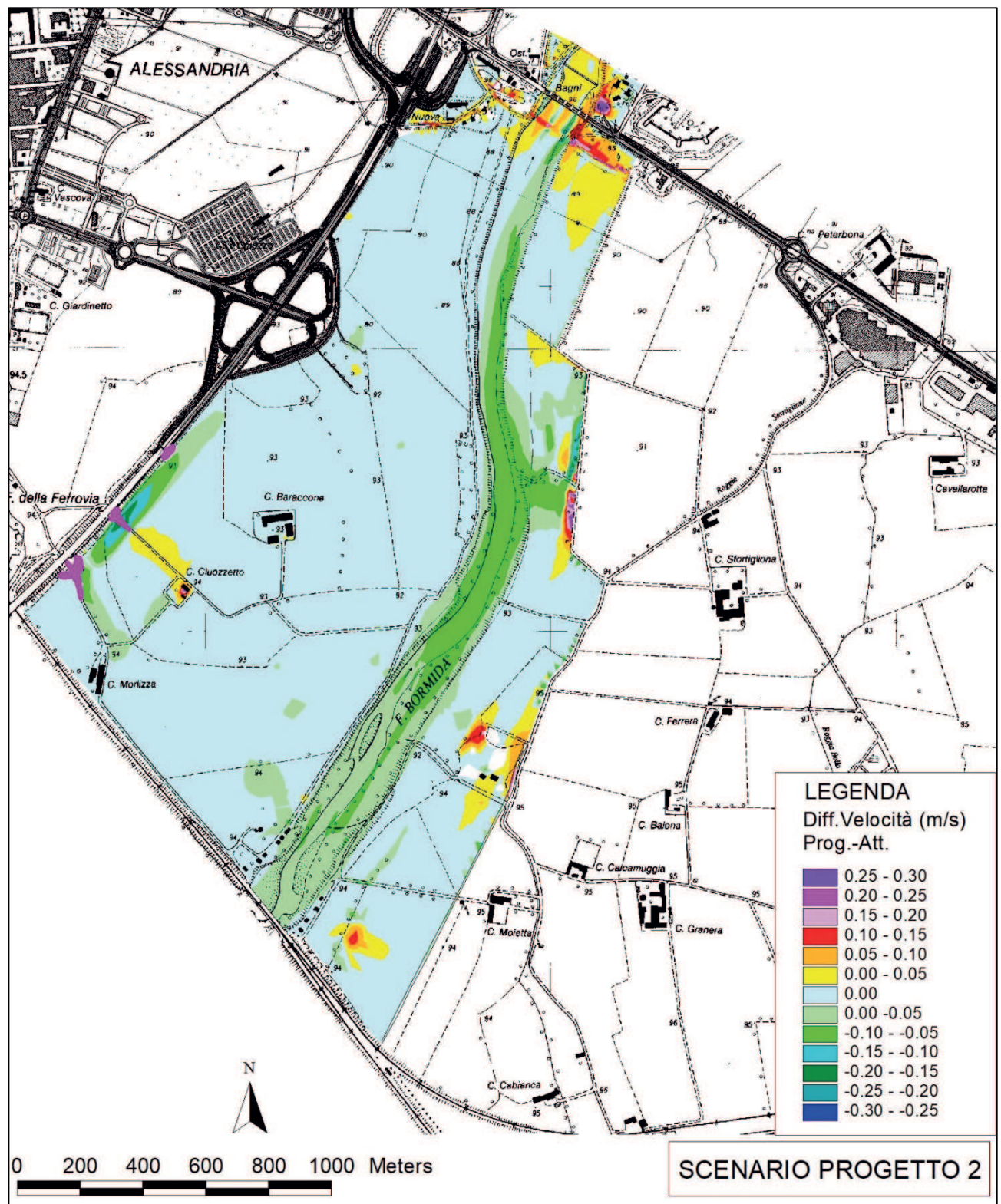


Figura 34 – Carta della differenza delle velocità massime tra scenario di progetto 2 e attuale – TR=200

11. DETERMINAZIONE PARAMETRI DI SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE E COMPATIBILITÀ IDRAULICA OPERA IN PROGETTO

Il livello di riferimento in corrispondenza del rilevato a protezione del fornice sud di Via del Chiozzetto, a centro alveo, derivante dalla simulazione di stato di progetto, è pari a 94.95 m s.m.m.; la testa dell'argine è prevista a quota 95.95 m s.m.m..

Il livello di riferimento in corrispondenza del rilevato a protezione del fornice nord di Via del Chiozzetto, a centro alveo, derivante dalla simulazione di stato di progetto, è pari a 94.80 m s.m.m.; la testa dell'argine è prevista a quota 95.80 m s.m.m..

Il livello di riferimento in corrispondenza del rilevato a chiusura del terzo fornice, a centro alveo, derivante dalla simulazione di stato di progetto, è pari a 94.70 m s.m.m.; la testa dell'argine è prevista a quota 95.70 m s.m.m..

Procedendo lateralmente, verso il limite della golena, il livello si smorza; nonostante questo, a favore di sicurezza, si è considerato come dimensionante, il livello a centro alveo, all'altezza delle opere.

In entrambi i casi, il franco idraulico, rispetto alla piena duecentennale, è pari a 1 m.

La quota di sommità delle strade che scavalcano le opere arginali poste a protezione dei due fornici stradali corrisponde a quella di testa argine.

Alla luce delle condizioni idrodinamiche verificate per la piena straordinaria analizzata, in termini di livello idrico massimo che si verifica durante l'evento, le opere in progetto soddisfano le richieste di franco idraulico di cui alla Direttiva "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po, in quanto il franco è sempre maggiore di 1 m.

12. ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA AI SENSI DELLA DIRETTIVA 2/99 AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO

12.1 Impostazione dell'analisi

La Direttiva PAI "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B", Allegato alla deliberazione n. 2/99 dell'Autorità di bacino del Po, in data 11 maggio 1999 (Pubblicata su Gazzetta Ufficiale n.225 del 24-9-1999) pone come obiettivo dello studio di compatibilità idraulica quello di quantificare gli effetti prodotti dall'intervento in progetto nei confronti delle condizioni idrauliche attuali del tratto di corso d'acqua interessato e di quelle di progetto dello stesso, nel caso siano diverse da quelle attuali.

Lo studio si compone dei seguenti punti, che costituiscono la caratterizzazione conoscitiva del sistema fluviale e la valutazione degli effetti ascrivibili al progetto di intervento:

1. assetto geometrico dell'alveo,
2. caratteristiche morfologiche dell'alveo,
3. caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo,
4. caratteristiche ambientali e paesistiche della regione fluviale,
5. portate di piena,
6. opere di difesa idraulica,
7. manufatti interferenti,
8. modalità di deflusso in piena,
9. effetti degli interventi in progetto.

Si sintetizza, nel seguito, rispetto ai punti elencati, quanto sviluppato nell'ambito del presente lavoro.

12.1.1 Assetto geometrico dell'alveo

Le caratteristiche geometriche dell'alveo sono state indagate per mezzo di rilievi topografici di sezioni trasversali, profili della sommità arginale degli argini e delle opere accessorie al

contenimento delle piene, ove necessario alla corretta definizione del modello, eseguiti nel febbraio 2021.

Dall'analisi delle foto satellitari si nota come le sponde dell'alveo risultano stabili negli anni.



Figura 35 – Foto satellitare – Anno 2011 (fonte Google Earth)



Figura 36 – Foto satellitare – Anno 2020 (fonte Google Earth)

12.1.2 Caratteristiche morfologiche dell'alveo

Nel tratto di interesse compreso tra il ponte ferroviario e la traversa fluviale a valle del ponte della S.S. n. 10, l'alveo inciso del Bormida presenta una forma a "S" molto allungata con una sinuosità molto contenuta.

Dall'analisi della cartografia tecnica, anche di quella storica, non si notano segni evidenti di divagazione fluviale dell'alveo inciso. La presenza della linea ferroviaria e della strada statale, esistenti entrambe già nel XIX secolo, ha di fatto limitato la possibilità di evoluzione morfologica dell'alveo.

La larghezza dell'alveo di magra è di circa 50 m; la larghezza dell'alveo di "bank full" compresa tra le sommità delle sponde di frodo è di circa 120 m; l'estensione trasversale da argine a argine è di circa 1300 m.

12.1.3 Caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo

Il materiale d'alveo e di sponda è costituito prevalentemente da sabbia e ghiaia, mentre le aree golenali presentano uno strato superficiale di sabbia debolmente limosa (da 0 a 4 m di profondità) ed un successivo strato di sabbia e ghiaia (da 4 a 9 m di profondità), come indicato dalle curve granulometriche disponibili dagli studi pregressi.

Le evoluzioni durante gli anni del fondo alveo permettono di affermare il sostanziale equilibrio nel tratto.

12.1.4 Caratteristiche ambientali e paesistiche della regione fluviale

Fatta eccezione per le zone direttamente a contatto con gli attraversamenti ferroviario e stradale la zona dell'alveo presenta condizioni di buona naturalità. La vegetazione spondale naturale appare in buono stato di conservazione.

Le golene sono coltivate e non presentano un particolare pregio naturalistico se non quello direttamente legato alla produzione agricola.

La fascia di golenia sinistra, prossima al tracciato della tangenziale di Alessandria, risente dal punto di vista ambientale della sua presenza.

12.1.5 Portate di piena

Nel paragrafo 7.3.1 si è trattata in modo approfondito l'idrologia di piena del corso d'acqua in esame.

Le portate di picco di riferimento per il Fiume Bormida per tempo di ritorno 200 anni utilizzate sono state individuate in analogia a quanto indicato nella "Relazione metodologica" del Progetto di variante al PAI.

Alla sezione di chiusura di Alessandria il picco di portata idrologica di riferimento da considerarsi è 4015 m³/s; tale portata è stata utilizzata per le valutazioni relative agli scenari analizzati in quanto scevra di eventuali laminazioni del tratto di monte e dimensionante per quanto riguarda le strutture da realizzarsi in fascia A e B.

Tale portata è anche la portata di riferimento dello "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", di riferimento per il tratto.

L'idrogramma utilizzato per la modulazione delle fasi ascendente e discendente della piena è quello idrologico riportato, per la sezione di chiusura di Alessandria, nella "Figura 10: Piena TR200: confronto tra portate idrologiche e risultanti dalla simulazione idraulica in corrispondenza di sezioni significative" della "Relazione metodologica" del Progetto di variante al PAI.

12.1.6 Opere di difesa idraulica

Nella zona di interesse, le opere di difesa idraulica longitudinali esistenti ad oggi sono rappresentate dalle due linee arginali progettate e realizzate da AIPO, le quali prevedevano il contenimento della piena duecentennale del Fiume Bormida, nel tratto oggetto di studio.

L'argine in destra idrografica in progetto si sviluppa lungo la linea della protezione arginale storicamente presente nel tratto, dalla zona immediatamente a valle della massicciata della ferrovia Alessandria-Genova a Sud-Est di C.na Moietta, in direzione Sud - Nord, fino al rilevato della S.S. n. 10 a Sud-Est del Forte Bormida.

L'argine in sinistra idrografica è addossato al rilevato della tangenziale di Alessandria ed allo svincolo di Corso Romita; circa 300 m a monte del ponte S.S. n. 10, l'argine si distacca dalla linea della tangenziale e converge, lungo la linea di alto topografico, verso l'apertura in corrispondenza del ponte stesso.

Ad oggi, in corrispondenza delle aperture dei due forni dei due rami di Via del Chiozzetto, l'argine è interrotto nel suo sviluppo lineare contro la tangenziale per fare spazio alle aperture. Il contenimento dei livelli è effettuato tramite un innalzamento della quota di queste due strade, realizzato lato fiume, tramite opportuno rilevato e rilevati laterali di collegamento con la linea arginale principale. Il terzo fornice presente nel tratto indagato è attualmente chiuso, lato Bormida, da un rilevato arginale.

L'intervento in progetto prevede la realizzazione di due tratti di arginatura di contenimento della piena, in corrispondenza di tali forni, con adeguato franco, ad adeguamento dell'attuale sistema di rilevati e sovralti di contenimento. Il progetto prevede altresì l'adeguamento altimetrico dell'opera arginale posta a chiusura del terzo fornice.

Le arginature erano state progettate secondo una portata di riferimento PAI pregressa, pari a $3640 \text{ m}^3/\text{s}$, inferiore rispetto all'attuale portata di riferimento idrologica nel tratto di Alessandria, valutata a seguito delle nuove valutazioni dell'Università di Padova per conto di AIPO, pari a $4015 \text{ m}^3/\text{s}$.

Per questo motivo, nel modello di stato attuale, tenuto conto della piena di riferimento di $4015 \text{ m}^3/\text{s}$, si registra una generale condizione di mancanza di adeguato franco, con alcuni punti critici laddove gli argini risultano sormontabili.



Figura 37 – Arginature AIPO esistenti

12.1.7 Manufatti interferenti

I manufatti interferenti con la piena attualmente presenti allo stato attuale, nel tratto di interesse, sono il ponte ferroviario di monte, ed il nodo costituito dal ponte stradale della S.S. n. 10 e dalla relativa traversa di valle.

In stato di progetto, oltre ai rilevati di chiusura dei fornici, si è prevista anche la presenza della passerella della pista ciclo-pedonale Alessandria Spinetta M.go, progettata immediatamente a monte del ponte suddetto.

12.1.8 Modalità di deflusso in piena

L'analisi delle modalità di deflusso in piena nello stato attuale e negli scenari di progetto è stata svolta realizzando il modello numerico idraulico bidimensionale con software BASEMENT:

- Scenario attuale: riporta la situazione attualmente riscontrabile nella porzione di territorio interessata;
- Scenario di progetto 1: analogo all'attuale, con in più la presenza dei nuovi rilevati a protezione dei fornici in configurazione di progetto, con caratteristiche tali da assicurare la compatibilità idraulica dell'opera in oggetto, prevedendo come limite del modello i limiti di fascia B di progetto secondo la variante al PAI;
- Scenario progetto 2: corrispondente all'attuale, prevedendo in sinistra idraulica l'adeguamento delle opere arginali secondo le previsioni del PAI e con l'inserimento dei nuovi rilevati a protezione dei fornici; in destra idraulica è previsto il mantenimento dell'attuale argine destro del Bormida, nella configurazione planimetrica attuale, adeguato altimetricamente come se costituisse barriera idraulica al deflusso.

Nei paragrafi 8, 9 e 10 sono riportati i risultati dello studio; ad essi si rimanda per ogni dettaglio in merito.

12.1.9 Effetti degli interventi in progetto

Gli effetti della realizzazione delle nuove arginature a protezione dalle piene dei tre fornici di attraversamento della tangenziale di Alessandria sono stati documentati a mezzo di

un'analisi approfondita dei risultati della modellazione idraulica della porzione di territorio considerata, valutando i campi dinamici di tirante e velocità (cfr. § 9 e 10)

La presenza dei nuovi rilevati a protezione dei fornici adeguati in quota, ha un effetto del tutto trascurabile sull'idrodinamica di piena.

Con riferimento ai risultati dello scenario di progetto 1 non si riscontrano variazioni di livello nel loro intorno, se non centimetriche (2-3 cm) ed in linea con le variazioni generali. Le variazioni di livello riscontrate, anche nell'intorno delle opere in progetto, sono da attribuirsi alla limitazione del deflusso della piena entro i limiti di fascia B di progetto, sia in sponda sinistra che in sponda destra, proprie dello scenario scelto come riferimento; tale condizione sottrae, localmente, aree di laminazione presenti nella configurazione di stato attuale. Le velocità si mantengono sostanzialmente invariate ad eccezione di locali decrementi fino a 0.1-0.2 m/s, in adiacenza ai sovralti stradali previsti che determinano rallentamento della corrente, ed incrementi fino a 0.03 m/s.

Con riferimento ai risultati dello scenario di progetto 2 la variazione di livello, rispetto allo scenario attuale, risulta contenuta in pochi centimetri (7-13 cm) lungo tutta la fascia compresa tra la linea dell'arginatura sinistra (adeguata) e la linea dell'arginatura destra adeguata impostata come barriera al deflusso. L'incremento di livello rispetto allo scenario di progetto 1 è dovuto all'ulteriore restringimento in destra, dovuto al limite costituito dalla linea di arginatura esistente, rispetto alla linea prevista dal PAI, che caratterizzava lo scenario 1 e lasciava libere maggiori aree di laminazione alla piena. La presenza dei nuovi rilevati a protezione dei fornici adeguati in quota, ha un effetto del tutto trascurabile sull'idrodinamica di piena, infatti si riscontrano variazioni di livello, nel loro intorno, in linea con le variazioni generali. Le variazioni di livello riscontrate, anche nell'intorno delle opere in progetto, sono da attribuirsi alla limitazione del deflusso della piena entro il limite di fascia B di progetto, in sinistra, ed il limite della linea dell'arginatura esistente, in destra; tale condizione sottrae, localmente, aree di laminazione presenti nella configurazione di stato attuale. La Carta della differenza delle velocità mostra come, nell'intorno dei rilevati realizzandi, esse si mantengano sostanzialmente invariate ad eccezione di locali decrementi fino a 0.1-0.2 m/s, in adiacenza ai sovralti stradali previsti che determinano rallentamento della corrente, ed incrementi fino a 0.03 m/s. Nella rimanente porzione di territorio analizzata, locali incrementi di velocità, fino a 0.10-0.20 m/s si verificano in corrispondenza del rilevato arginale esistente

in sponda destra. In generale, gli incrementi, seppur trascurabili, sono determinati dall'eliminazione delle aree di laminazione oltre limiti di fascia B di progetto, rispetto allo stato attuale, e dalla conseguente variazione della idrodinamica di piena.

Il franco della sommità arginale rispetto al livello di piena duecentennale è pari a 1 m (§ 11). Conseguentemente, l'opera soddisfa le richieste di franco idraulico di cui alla Direttiva "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po.

12.2 Compatibilità ai sensi della Deliberazione 2/99

In applicazione della normativa, la compatibilità idraulica viene analizzata in riferimento ai temi trattati nel seguito.

12.2.1 Modifiche indotte sul profilo inviluppo di piena

La modellazione bidimensionale eseguita dimostra come, a seguito dell'inserimento delle nuove arginature a protezione dalle piene dei tre forni di attraversamento indagati, l'evoluzione della piena, i tiranti e le velocità non siano oggetto di variazioni significative indotte dalla presenza delle opere.

12.2.2 Riduzione della capacità di invaso dell'alveo (e delle golene)

L'intervento in progetto non determina una riduzione della capacità di laminazione della piena nella zona golenale.

La realizzazione dell'adeguamento dei rilevati arginali a protezione dei forni in oggetto permette di preservare l'efficienza della laminazione nella porzione di territorio interessata; l'effetto della presenza delle opere è del tutto trascurabile, rispetto alla situazione di stato attuale.

La riduzione della capacità di invaso inclusa nello scenario di progetto 2, dipendendo dalla ipotesi di adeguamento altimetrico dell'attuale opera arginale in destra idraulica, ai fini del contenimento dei livelli di piena, non è riferibile alle opere in progetto.

12.2.3 Interazioni con le opere di difesa idrauliche (opere di sponda e argini) esistenti

L'opera in oggetto è costituita, nel caso dei due fornici di attraversamento stradale, da due rilevati arginali in terra, a protezione delle aree a tergo fornice, adeguati in altezza ad assicurare un franco minimo di 1 m, rispetto al livello di piena duecentennale; tali rilevati avranno forma a C e saranno intestati sull'argine addossato al rilevato della tangenziale.

Nel caso del terzo fornice il progetto prevede il semplice adeguamento altimetrico dell'attuale opera di difesa al fine di assicurare un franco minimo di 1 m, rispetto al livello di piena duecentennale.

La sede stradale delle viabilità collegate ai primi due fornici sarà rialzata fino alla sommità arginale, in modo da permetterne lo scavalco ed assicurare il collegamento viario da un lato all'altro dello stesso.

I rilevati arginali in progetto seguono la linea di previsione arginale della fascia B di progetto PAI e sono, nonostante un piccolo scostamento verso l'interno, ad essa compatibili.

12.2.4 Opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento

Non vi è alcuna nuova opera idraulica in progetto nell'ambito dell'intervento, ad esclusione dei tre rilevati di chiusura dei fornici esistenti.

12.2.5 Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico ed altimetrico dell'alveo inciso e di piena

Non vengono apportate modifiche all'assetto morfologico dell'alveo inciso e di piena.

12.2.6 Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale

L'intervento in progetto non determina alcuna modifica delle caratteristiche attuali della regione fluviale.

Le opere sorgono dove già sono presenti rilevati di protezione arginale, che esse andranno ad adeguare.

12.2.7 Condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena

La realizzazione delle nuove arginature a protezione dalle piene dei tre fornici di attraversamento della tangenziale di Alessandria non determina effetti significativi sull'idrodinamica di piena, conservando, di fatto, le attuali condizioni generali di deflusso, come evidenziato in particolare nei paragrafi 9 e 10, dedicati alle simulazioni idrauliche bidimensionali per gli scenari di progetto.

Il franco minimo tra la sommità dei rilevati ed il livello di massima piena è pari a 1 m (§ 11), pertanto le opere soddisfano le richieste di franco idraulico di cui alla Direttiva “Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B” del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po.