



CITTA' DI FOLLONICA  
Provincia di Grosseto

NUOVO PIANO STRUTTURALE  
FOLLONICA \_\_\_\_\_ 2035

**I01  
1B**

**Relazione Idraulica**

aprile 2022

*Sindaco*  
Andrea Benini

*Dirigente*  
Domenico Melone

*Responsabile del  
procedimento*  
Elisabetta Tronconi

*Garante dell'informazione e  
della Partecipazione*  
Noemi Mainetto

*Collaborazioni  
intersectoriali*  
-

*Ufficio edilizia privata*  
Luisa Magliano  
Riccardo Fanti

*Ufficio lavori pubblici*  
Alessandro Romagnoli

*Ufficio di Piano*  
Elisabetta Berti  
Rita Monaci  
Fabio Ticci

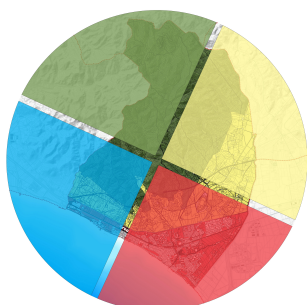
*Valutazione Ambientale  
Strategica (VAS)*  
Soc. NEMO srl  
Viviana Cherici  
Leonardo Lombardi

*Aspetti agronomici*  
Fausto Grandi  
Stefano Bologna

*Aspetti geologici*  
Massimo Marrocchesi

*Aspetti idraulici*  
Ass. Prof. iIDeA  
Lorenzo Castellani  
Antonio Bastianacci

*Aspetti archeologici*  
THESAN - Studio Associato  
di Archeologia



**INDICE**

<b>INDICE.....</b>	<b>1</b>
<b>PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>0.1 NOTA GC PROT. N. 060.020 DEL 09.02.22.....</b>	<b>4</b>
<b>1 ANALISI IDRAULICA.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 CRITICITÀ RESIDUE MANIFESTE.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 DETERMINAZIONI METODOLOGICHE PRELIMINARI E RETICOLO DI ANALISI.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3 MODELLISTICA.....</b>	<b>14</b>
1.3.1 Specifiche essenziali.....	14
1.3.2 Definizione della geometria.....	15
1.3.2.1 Attività di integrazione, validazione e omogeneizzazione rilievi diversi.....	15
1.3.2.2 Modello definitivo adottato.....	27
1.3.3 Condizioni iniziali e al contorno.....	42
1.3.4 Scenari.....	55
<b>1.4 STATO ATTUALE [SA].....</b>	<b>55</b>
1.4.1 Tracciamento delle aree allagabili da alluvione fluviale e definizione degli elementi di pericolosità	56
1.4.2 Precedente QC vs revisione.....	57
1.4.3 Criticità.....	60
1.4.3.1 FLSE.....	60
1.4.3.2 FLCE.....	106
1.4.3.3 FLNO.....	121
<b>2 PERICOLOSITÀ PLUVIALE [E FLASH FLOOD].....</b>	<b>138</b>
<b>3 PERICOLOSITÀ COSTIERA.....</b>	<b>139</b>
<b>4 CONSIDERAZIONI DI SINTESI E PROPOSTA DI REVISIONE DI RET_IDR E PGRA.....</b>	<b>162</b>
4.1 ALEE SPECIFICHE RESIDUE.....	163
4.2 RET_IDR [L.R. N. 79/12].....	163
4.3 PGRA.....	165
<b>5 SINTESI DELLE CRITICITÀ STRUTTURALI E STATO DI PROGETTO.....</b>	<b>171</b>
APPENDICE A.....	A.1



## PREMESSA

La presente analisi idrologico-idraulica è redatta a supporto della **Variante** del quadro conoscitivo e prescriptivo idraulico al **Piano Strutturale** [vps] propedeutica alla redazione del nuovo Piano Operativo [PO] del Comune di Follonica (GR) ai sensi di L.R. n. 65/14 e s.m.i., L.R. n. 41/18, D.P.G.R. n. 5/R/20 (d'ora in poi *Regolamento*) e D.G.R. n. 166/20<sup>1</sup>.

Essendo il reticolo idrografico di analisi interamente ricompreso nell'ambito costiero entro/in *dx* F. Pecora, si farà essenzialmente riferimento a metodiche del *PGRA Appennino Settentrionale UoM Toscana Costa* [All. 3 della *Disciplina di Piano*] [DdP\_PGRA] ed alle procedure ex *Accordo* tra *AddAS* e *RT* [d'ora in avanti *ARS20*] di cui in D.G.R. n. 166/20, in coerenza e conformità con quanto prescritto da L.R. n. 41/18 e *Regolamento*. In particolare, non essendovi nel dominio di analisi aste di reticolo idrografico *principale* ex Art. 5 di *DdP\_PGRA* e, dunque, trattandosi interamente di reticolo *secondario*, in conformità a quanto previsto in *ARS20* e preventivamente sentite le competenti strutture tecniche di *AddAS* e *GC*, le analisi idrologiche e idrauliche sono state svolte secondo il richiesto approccio di massima ri-omogeneizzazione di quanto negli anni stratificato a scala di comprensorio/bacino (*PGRA*, *SSUU*, *CdB5TC*<sup>2</sup>, Comuni di Piombino e Scarlino) e locale (interventi strutturali su F. Pecora, F.so Petraia *et al.* minori) e di ancoraggio ai [pochi e prevalentemente di tipo meteorico urbano] rilievi sperimentali di eventi alluvionali recenti. Per la pericolosità da fenomeni meteomarinari (alluvione costiera) si è fatto direttamente riferimento al *QC* regionale/distrettuale.

La *Relazione* è articolata in 2 Parti, la **A-Idrologia** e la presente **B-Idraulica**.

Gli elaborati complessivi di analisi idrologico-idraulica sono i seguenti, quasi integralmente ri-emessi o variati/integrati [rev. aprile 2022] rispetto alla versione propedeutica all'*Adozione* del *PS*, in ragione degli ulteriori approfondimenti ricognitivi e modellistici effettuati e in conformità alla **Nota GC prot. [...]/N.060.020 del 08.02.22**<sup>3</sup> di cui viene dato puntualmente conto nel **§ 0.1**:

### Documenti [#(1+1)+5]

I01-1**A/B** Relazione Idrologico [Parte **A**]-Idraulica [Parte **B**]

I01-2**A** Risultati Modellazione Idrologica

I01-2**B** Risultati Modellazione Idraulica Corsi d'Acqua - Modello Idraulico Follonica N-O (FLNO)

I01-2**C** Risultati Modellazione Idraulica Corsi d'Acqua - Modello Idraulico Follonica Centro (FLCE)

I01-2**D** Risultati Modellazione Idraulica Corsi d'Acqua - Modello Idraulico Follonica S-E (FLSE)

I01-3 Allegato Rilievi Celerimetrici Integrativi<sup>4</sup> - Planimetrie e Profili; n. 2+2 tavole, scala 1:4.000, 1:100

### Tavole [#34]

I02-1 Bacini e Tratti Idrografici, scala 1:25.000

I03-1 Elementi di Pericolosità Idraulica da Alluvioni: topologia di allagamento e criticità - **Quadro sinottico**, scala 1:15.000

I03-2 Elementi di Pericolosità Idraulica da Alluvioni: topologia di allagamento e criticità - **Torre Mozza** (F.si di Valmaggione, C.li Cervia e Mercatone), scala 1:2.000

I03-3 Elementi di Pericolosità Idraulica da Alluvioni: topologia di allagamento e criticità - Pratoranieri (C.li Cervia e Mercatone), scala 1:2.000

I03-4 Elementi di Pericolosità Idraulica da Alluvioni: topologia di allagamento e criticità - Mare Si (F.si Val Querceta e Valle Onesta), scala 1:2.000

I03-5 Elementi di Pericolosità Idraulica da Alluvioni: topologia di allagamento e criticità - Centro (F.so Valle Onesta, F.so Petraia, Gora e Gorello delle Ferriere), scala 1:2.000

I03-6 Elementi di Pericolosità Idraulica da Alluvioni: topologia di allagamento e criticità - Parco Centrale-Pineta (F.so

<sup>1</sup>Deliberazione 17 febbraio 2020, n. 166 "Schema di Accordo tra l'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale e la Regione Toscana per l'individuazione delle procedure da seguire per l'aggiornamento delle mappe di pericolosità da alluvione".

<sup>2</sup>Consorzio di Bonifica 5 Toscana Costa.

<sup>3</sup>Facente seguito alla *Nota GC prot. n. 432801/N.060.020 del 08.11.21* di sospensione del procedimento nelle more del parere di coerenza dell'*AddAS* anche in ordine agli aspetti geologico-geomorfologici.

<sup>4</sup>Comune di Follonica [geom. M. Ancillotti, 2021].

Petraia, Gora e Gorello delle Ferriere, F.so Fico), scala 1:2.000

I03-7 Elementi di Pericolosità Idraulica da Alluvioni: topologia di allagamento e criticità - Recinto (Gora e Gorello delle Ferriere, F.si Salciaina e Fico), scala 1:2.000

I03-8 Elementi di Pericolosità Idraulica da Alluvioni: topologia di allagamento e criticità - Zona Industriale (Gora e Gorello delle Ferriere, F.so Poggetti, F. Pecora, F.so Fico), scala 1:2.000

I03-9 Elementi di Pericolosità Idraulica da Alluvioni: topologia di allagamento e criticità - Poggetti (F.si Poggetti e Pod. Santa Lucia, Gora e Gorello delle Ferriere), scala 1:2.000

I03-1a Elementi di Pericolosità Idraulica da Alluvioni: battenti  $T_r=30$  anni - **Follonica Ovest** (F.si di Valmaggione, C.li Cervia e Mercatone, F.si di Val Querceta e Valle Onesta), scala 1:5.000

I03-1b Elementi di Pericolosità Idraulica da Alluvioni: battenti  $T_r=200$  anni - Follonica Ovest (F.si di Valmaggione, C.li Cervia e Mercatone, F.si di Val Querceta e Valle Onesta), scala 1:5.000

I03-1c Elementi di Pericolosità Idraulica da Alluvioni: velocità  $T_r=30$  anni - Follonica Ovest (F.si di Valmaggione, C.li Cervia e Mercatone, F.si di Val Querceta e Valle Onesta), scala 1:5.000

I03-1d Elementi di Pericolosità Idraulica da Alluvioni: velocità  $T_r=200$  anni - Follonica Ovest (F.si di Valmaggione, C.li Cervia e Mercatone, F.si di Val Querceta e Valle Onesta), scala 1:5.000

I03-2a Elementi di Pericolosità Idraulica da Alluvioni: battenti  $T_r=30$  anni - **Follonica Sud** (Gora e Gorello delle Ferriere, F.si Poggetti, Salciaina, Fico, F. Pecora), scala 1:5.000

I03-2b Elementi di Pericolosità Idraulica da Alluvioni: battenti  $T_r=200$  anni - Follonica Sud (Gora e Gorello delle Ferriere, F.si Poggetti, Salciaina, Fico, F. Pecora), scala 1:5.000

I03-2c Elementi di Pericolosità Idraulica da Alluvioni: velocità  $T_r=30$  anni - Follonica Sud (Gora e Gorello delle Ferriere, F.si Poggetti, Salciaina, Fico, F. Pecora), scala 1:5.000

I03-2d Elementi di Pericolosità Idraulica da Alluvioni: velocità  $T_r=200$  anni - Follonica Sud (Gora e Gorello delle Ferriere, F.si Poggetti, Salciaina, Fico, F. Pecora), scala 1:5.000

I03-3a Elementi di Pericolosità Idraulica da Alluvioni: battenti  $T_r=30$  anni - **Follonica Est** (Gora e Gorello delle Ferriere, F.si Poggetti, Valle degli Orti, Spianate, C.le San Simone, F. Pecora), scala 1:5.000

I03-3b Elementi di Pericolosità Idraulica da Alluvioni: battenti  $T_r=200$  anni - Follonica Est (Gora e Gorello delle Ferriere, F.si Poggetti, Valle degli Orti, Spianate, C.le San Simone, F. Pecora), scala 1:5.000

I03-3c Elementi di Pericolosità Idraulica da Alluvioni: velocità  $T_r=30$  anni - Follonica Est (Gora e Gorello delle Ferriere, F.si Poggetti, Valle degli Orti, Spianate, C.le San Simone, F. Pecora), scala 1:5.000

I03-3d Elementi di Pericolosità Idraulica da Alluvioni: velocità  $T_r=200$  anni - Follonica Est (Gora e Gorello delle Ferriere, F.si Poggetti, Valle degli Orti, Spianate, C.le San Simone, F. Pecora), scala 1:5.000

PI01-1 Pericolosità Idraulica ex **P.G.R.A.** D.A.S. vigente - Dominio Fluviale - Quadro sinottico, scala 1:15.000

PI01-2 Pericolosità Idraulica ex P.G.R.A. D.A.S. vigente - Dominio Fluviale - Follonica Ovest, scala 1:5.000

PI01-3 Pericolosità Idraulica ex P.G.R.A. D.A.S. vigente - Dominio Fluviale - Follonica Sud, scala 1:5.000

PI01-4 Pericolosità Idraulica ex P.G.R.A. D.A.S. vigente - Dominio Fluviale - Follonica Est, scala 1:5.000

PI02-1 Pericolosità Idraulica ex **D.P.G.R. n. 5/R/20** e proposta di P.G.R.A. D.A.S - Dominio Fluviale - Quadro sinottico, scala 1:15.000

PI02-2 Pericolosità Idraulica ex D.P.G.R. n. 5/R/20 e proposta di P.G.R.A. D.A.S - Dominio Fluviale - Follonica Ovest, scala 1:5.000

PI02-3 Pericolosità Idraulica ex D.P.G.R. n. 5/R/20 e proposta di P.G.R.A. D.A.S - Dominio Fluviale - Follonica Sud, scala 1:5.000

PI02-4 Pericolosità Idraulica ex D.P.G.R. n. 5/R/20 e proposta di P.G.R.A. D.A.S - Dominio Fluviale - Follonica Est, scala 1:5.000

PI03-1 Pericolosità Idraulica ex P.G.R.A. D.A.S. vigente - **Dominio Costiero** - Follonica Costa, scala 1:2.000

PI04-1 **Magnitudo** Idraulica ex L.R. n. 41/18 - Follonica Ovest (F.si di Valmaggione, C.li Cervia e Mercatone, F.si di Val Querceta e Valle Onesta), scala 1:5.000

PI04-2 Magnitudo Idraulica ex L.R. n. 41/18 - Follonica Sud (Gora e Gorello delle Ferriere, F.so Petraia, F.si dei Poggetti, Salciaina, Fico, F. Pecora), scala 1:5.000

PI04-3 Magnitudo Idraulica ex L.R. n. 41/18 - Follonica Est (Gora e Gorello delle Ferriere, F.si dei Poggetti, della Valle degli Orti, C.le San Simone, F. Pecora), scala 1:5.000

Sia dei modelli idraulici sia delle relative elaborazioni GIS ne è inoltre fornito l'archivio digitale completo in formato *opensource* HEC® e QGIS® conforme, per quanto applicabile, agli *standards* AdDAS e Comunali.

Per inquadramento generale, riferimenti a QC e descrizione del modello idrologico assunto, si rimanda alla **I01-1A - Relazione Idrologica** (altrimenti denominata Parte 1A e anch'essa ri-emessa ma soltanto per allineamento formale e dell'elenco elaborati).

### 0.1 **NOTA GC PROT. N. 060.020 DEL 09.02.22**

**Avvertenze preliminari.** Data la profonda revisione di ri-calcolo numerico avvenuta, in particolare, in ragione di ulteriori approfondimenti celerimetrici e funzionali nel frattempo effettuati dal Comune di Follonica causa impreviste lacune/incongruenze nei modelli geometrici acquisiti ed altri relativi a QC (es. variazione PGRA Comune di Scarlino, ...) e condizioni al contorno, la richiesta di evidenziare con testo di diverso colore le modifiche apportate viene ritenuta non utilmente fattibile. Posta la sostanziale invarianza di metodica e modellistica numerica di analisi, vengono, semmai, di seguito elencate le principali variazioni apportate al *setting*:

- dominio idraulico (§ 1.3.2.2), esteso in termini 2-D e ulteriormente dettagliato 1+2-D in tutti i 3 modelli [FLSE, FLCE e FLNO] in modo da meglio neutralizzare (per il territorio di Follonica) gli effetti periferici e recepire gli approfondimenti sopra citati (es. manufatti mancanti nel QC, ...)
- BC al mare (§ 1.3.3), in senso più cautelativo: forma e  $\max WS_{30/200}$  degli idrogrammi di mareggiata contestuali alle sollecitazioni meteoriche di pari frequenza.

**Riscontri puntuali.** Si riportano di seguito considerazioni e riferimenti essenziali di riscontro alle richieste, assumendone la medesima numerazione<sup>5</sup>:

- rilievi topografici:** oltre a quanto ri-elaborato in formato *pdf* in I01-3 vengono allegati il materiale sorgente del tecnico rilevatore in formato editabile *dwg* e *jpg* (fotografie), l'archivio geometrico digitale -completo anche dei rilievi pre-esistenti in formato *pdf* e re-interpretati- in formato HEC-Ras [file FOL21.g00] da cui poter estrarre qualunque altro formato numerico aperto e l'archivio QGIS delle tracce; il tutto omogeneamente georeferenziato EPSG:3003-Monte Mario/Italy Zone 1 ✓
- modellazione idrologica:** i tematismi richiesti sono compresi nell'archivio QGIS, adeguatamente strutturato e popolato; i modelli di calcolo dei parametri idrologici sono allegati in formato *ods*; il modello idrologico è fornito in formato sorgente HEC-Hms con corrispondente archivio *input/output* in formato aperto *dss* standard HEC e esportabile nei formati ASCII ✓
- modellazione idraulica:** tutte le informazioni richieste sono presenti nell'allegato archivio GIS di HEC-Ras, coerente e consistente con quello QGIS, consultabile da Ras-Mapper e esportabile nei più comuni formati *vettoriali* e *grid* ✓
- risultati m. idraulica:** la parte richiesta in *pdf* è contenuta nell'Elab. I01-2B; tutti i tematismi di calcolo sono disponibili in formato sorgente ed esportabili *gtif* via Ras-Mapper. Nell'archivio QGIS sono altresì disponibili le coperture *grid* (formato *gtif*) in involucro  $\max Depth/WS/Vel$  ri-elaborate eliminando frange e isole non significative; da tali coperture sono poi derivati i vettoriali (*shp*) dei limiti allagabili, delle relative classi e della magnitudo ex L.R. n. 41/18; quest'ultima non è, dunque, prodotta in formato *grid* ma vettoriale, in quanto di più facile lettura e intrinsecamente coerente (d'altra parte, la messa a disposizione dell'intero archivio numerico -debitamente codificato e strutturato, i.e. leggibile- permette sempre di verificare il dato alla fonte). Gli *shp* di PGRA sono conformi alle specifiche AddAS; tutti gli archivi (morfologico, HEC-Hms\_Ras e QGIS) sono omogeneamente georeferenziati { $X_E$ ,  $Y_N$ ,  $Z_G$ } EPSG:3003-Monte Mario/Italy Zone 1 ✓
- idem c.s.:** mappe di pericolosità prodotte e rappresentate conformemente; per la classe P1, notoriamente non più oggetto di modellazione numerica è stata mantenuta la perimetrazione già PGRA ✓
- idem c.s.:** la rappresentazione delle aree di soggiacenza arginale è contenuta a varie scale, negli Elabb. serie I03, mentre il c.d. ambito di fondovalle ex D.P.G.R. n. 5/R/20 è riportato a solo livello sinottico (I03-1) quale involucro tra le aree P1 di PGRA e i depositi alluvionali riportati nel database geologico della RT; viceversa, si è ritenuta inutile<sup>6</sup> un'ulteriore perimetrazione dei c.d. ambiti collinare-montani in posizione sfavorevole<sup>7</sup> ✓

<sup>5</sup>Se ne omette per brevità il testo.

<sup>6</sup>Né di competenza.

<sup>7</sup>Informazione notoriamente di scarsa/nulla utilità generale, talvolta fuorviante, spesso mero esercizio GIS con incertezza intrinseca ben superiore ai 2 m.

7. *modello numerico idraulico*: allegato l'intero archivio HEC-Ras con le simulazioni numeriche definitive, debitamente codificato e strutturato ✓
8. *modello numerico idrologico*: allegato l'intero archivio HEC-Hms con le simulazioni numeriche definitive, debitamente codificato e strutturato ✓
9. *reticolo idrografico di riferimento regionale*: l'archivio QGIS contiene specifico shp, chiaramente individuabile, topologicamente corretto e popolato conformemente a regionale (cfr. § 4.2) ✓
10. *elenco elaborati*: l'elenco *Elabb.* è stato ulteriormente rivisto come riportato in *Premessa*; per omogeneità è stata ri-emessa anche I01-1A - *Relazione Idrologica* sostituendone l'analogo elenco ✓
11. I01-1B - *errori generazione pdf*: risolti ✓
12. idem c.s. - *dati mancanti*: inseriti ✓
13. idem c.s. - *aree 2-D*: corretti i refusi (cfr. § 1.3.2.2); non ci sono aree 2-D in comune tra modelli diversi<sup>8</sup> ✓
14. idem c.s. - *dati mancanti*: inseriti i dati mancanti e corretti i refusi ✓
15. *sollecitazioni idrologiche*: le durate di pioggia corrispondenti agli scenari idrologici analizzati sono correttamente riportati nella I01-1A; eliminato in I01-1B l'ambiguo refuso, chiarendo che dopo analisi idrauliche preliminari su più durate, quelle definitivamente selezionate sono, complessivamente per i 3 modelli, 1, 2 e 6 h ✓
16. *Tavv. grafiche*: completate di tutti gli elementi richiesti ✓
17. idem c.s. *aree allagabili*: corretto il refuso circa la *palette* delle classi di pericolosità per  $T_r$  ✓
18. *alluvione costiera*: aggiornati i §§ 3 e 4.3, chiarendo le considerazioni fatte anche in ordine alle BC dei modelli idraulici ma mantenendo senza ulteriore ri-elaborazione -essendo tema esulante la scala di analisi del solo Comune di Follonica- la perimetrazione specifica già di PGRA, debitamente rappresentata negli *Elabb.* I04-1 e PI01/2 ✓.

<sup>8</sup>Viceversa, unico è il modello digitale del terreno utilizzato (c.d. DEM\_k, vd. avanti).

## 1 ANALISI IDRAULICA

L'analisi idraulica è ri-effettuata integralmente per i tre sistemi idraulici **FLSE/CE/NO** [.prj] descritti in § 1.2, adottando condizioni al contorno e approccio modellistico omogenei. Quest'ultimo, in moto vario di tipo 1+2-D su base Lidar<sup>9</sup> ad elevata risoluzione, opportunamente diversificata tra territorio aperto agricolo e urbanizzato e integrando nella geometria d'alveo desunta dagli studi precedenti (opportunamente georeferenziate) gli ulteriori rilievi celerimetrici effettuati nell'ambito del presente lavoro<sup>10</sup> [cfr. § 1.3.2 e *Elab.* I01-3].

Per i dettagli numerici si rimanda direttamente allo specifico *Elab.* I01-2B e ai modelli digitali.

### 1.1 CRITICITÀ RESIDUE MANIFESTE

L'urbanizzazione di Follonica in fascia costiera si estende pressoché senza soluzione di continuità per l'intera estensione comunale E-W, con progressiva estensione verso il retrofronte collinare oltrepassando le storiche lineazioni infrastrutturali di FFS e *Vecchia Aurelia* (Fig. 2). Se la parte centrale dell'abitato soffre problematiche più tipicamente di deflussi superficiali intensi e di rapida formazione, i sistemi afferenti il C.le Cervia a W e, soprattutto, Gora delle Ferriere-F. Pecora a E, rappresentano (e tuttora manifestano) invece la complessità e fragilità della plurisecolare attività di bonifica idraulica (oltre che di utilizzo industriale della risorsa idrica), intrinsecamente più sensibili a fenomeni meteorici più prolungati e di maggior volume e mal sopportanti le progressive espansioni urbanistiche, ormai prossime alla saturazione di tutta la fascia di pianura e pedecollinare.

Ad entrambe le caratteristiche idro-morfologiche di fragilità intrinseca, si sovrappone quella della regimazione fognaria dei deflussi meteorici<sup>11</sup> urbani che assume qui caratteristiche particolari di gravità -i.e. ricorrenze meno che 5-ennali e rischi anche per le persone (es. Fig. 1 tra molti altri)-, avendo tombati i cc.d.a. minori di acque alte con scarico diretto a mare (F.si Val Querceta e Valle Onesta), numerose porzioni urbane di elevato accumulo idrico (sottopassi, ...) ove a scolo intermittente (tra F.so Petraia e F. Pecora) e palesi sovraccarichi (Zona Industriale).



<sup>9</sup>Integrando le coperture base [DSM/DTM] MATTM su volo aereo 2016 [Lidar16] con le altre MATTM del 2008 [Lidar10] e RT del 2010 (residuale) [Lidar10] [<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html>].

<sup>10</sup>Geom. M. Ancillotti per Comune di Follonica, set-ott. 2021 [FOL21].

<sup>11</sup>Sebbene affatto non trascurabili sia per la concreta risoluzione delle criticità alluvionali sia per la maggiore entità dei danni connessi, non si considerano qui le ulteriori problematiche relative ai reflui (fognature miste).











Fig. 1. *Eventi meteorici del 2014-2020 - Follonica [tratte da web].*

Sui sistemi idrografici di pericolosità più elevata -F. Pecora e F.so Petraia (es. alluvioni novembre 1966, 05.10.1995)- sono stati realizzati negli ultimi anni importanti interventi strutturali, certamente rilevanti in termini di mitigazione (cassa degli *Scopaioni* e casse monte *Aurelia Vecchia*, rispettivamente, e opere connesse).

Mentre per il F.so Petraia, gli interventi hanno avuto carattere esaustivo del contenimento della pericolosità entro i valori marginali di normativa ( $T_r=200$  anni), per il F. Pecora, essi risultano non avere effetto definitivamente risolutivo per Follonica, oltre che per difetti localizzati di franco, soprattutto causa criticità residue sul sistema minore di  $dx$  (solo in minima parte afferente direttamente il F. Pecora) e sullo scarico a mare (ristagni e allagamenti indiretti Salciaina-Recinto).

Ulteriori interventi su cc.d.a. minori sono stati soltanto parzialmente realizzati, anche se prevalentemente finalizzati a nuove edificazioni. Analogamente, in corso di progettazione/realizzazione interventi strutturali sul sistema fognario misto  $dx$  e  $sx$  F.so Petraia, con particolare riferimento a Salciaina-Cassarello. Manca, tuttavia, un quadro coerente e intelleggibile della pericolosità idraulica di base e residua (oltre che una disciplina specifica nelle NTA degli SSUU vigenti).

In definitiva, dati la complessità del sistema idraulico complessivo, la elevata esposizione e vulnerabilità urbana e la scarsa disponibilità di aree di compensazione, appare evidente la necessità di un quadro analitico interpretativo unitario, atto a tenere sotto controllo, almeno in ordine di grandezza, le interrelazioni e le pericolosità residue effettive (ai fini sia pianificatori sia di Protezione Civile).

## 1.2 DETERMINAZIONI METODOLOGICHE PRELIMINARI E RETICOLO DI ANALISI

Alla luce del quadro descritto, date le specifiche tecniche di All. 3 DpP PGRA, sostanzialmente richiamate anche in D.G.R. n. 166/20 per il reticolo *secondario*, il dominio di analisi e/o revisione critica ricomprende la totalità dei tratti idrografici regionali ex L.R. n. 79/12 e s.m.i. (peraltro con rettifiche di tracciato e estensioni varie). Secondo i principi di parsimonia proporzionalità e adeguatezza, tale complessiva revisione si è sostanziata in livelli di analisi differenziati per: a) livello di conformità agli *standards* tecnici di riferimento regionale-distrettuale; b) rappresentatività dello stato attuale e idoneità all'utilizzo per scenari previsionali di trasformazioni urbanistiche; c) disponibilità di modelli di calcolo e/o rilievi celerimetrici in formato digitale editabile. Solo *ex post*,



sono state valutate ipotesi di revisione<sup>12</sup> del PGRA vigente, ulteriormente tenendo conto anche delle interazioni con piani, progetti e opere di carattere sovracomunale ufficiali (es. interventi strutturali su F.sì Petraia, Gora delle Ferriere e F. Pecora).

In merito alla qualifica sub *a*), posta datazione, non esaustività (ai fini in oggetto<sup>13</sup>) e indisponibilità del modello sorgente dello studio base [4C02], alcune disomogeneità di sovrapposizione successiva (compreso PSI di Piombino e Campiglia M.ma) e la necessità di riferirsi [almeno<sup>14</sup>] a LSPP\_RT12, si è optato per la ridefinizione totale, metodologicamente omogenea e aggiornata sul più avanzato QC disponibile, degli scenari idrologici di riferimento. Previa analisi di raffronto critico con l'insieme delle stime ufficiali precedenti, esso è stato direttamente utilizzato quale condizione al contorno di monte delle nuove analisi idrauliche, limitandosi, invece, a sole considerazioni sintetiche di rischio residuo ove invariate (es. F.so Petraia).

Poste le suddette valutazioni idrologiche preventive, le condizioni sub *b*) e *c*) hanno sostanzialmente determinato, da una parte, la ripartizione tra analisi idrauliche da rifare/mantenere e, dall'altra, l'impegno della relativa campagna celerimetrica integrativa. Nonostante la pressoché totale indisponibilità dei rilievi in formato digitale e/o certificato, per mera economia (di spesa) si è ri-utilizzato gran parte di quanto acquisito in pdf<sup>15</sup> e/o modello HEC-Ras sorgente<sup>16</sup>. Ciò, evidentemente, ha indotto inaccurately specifiche, della cui entità e significatività, tra le altre<sup>17</sup>, verrà dato conto nel § 1.3.2.

In definitiva, premessa la correzione/integrazione del reticolo di riferimento L.R. n. 79/12 e s.m.i. secondo effettivi tracciati e tipologie (cielo aperto/tombato) attuali<sup>18</sup>, i sistemi oggetto di ri-analisi idraulica numerica sono tutti i potenzialmente interferenti con l'area urbana di Follonica, con la sola esclusione del F.so Petraia (di seguito riportato per mera completezza), i.e. (Fig. 2):

Follonica Sud-Est [FLSE] [ca. 27.8 km]

**F. Pecora** dalla cassa dello Scopaione (valle) all'Argine di Recinto [TC15057+TC15914]<sup>19</sup> [FMPCR]<sup>20</sup>

**C.le delle Valli o F.so c.d. delle Spianate** dalla S.R. n. 439 (monte) alla confluenza nel F.so della Valle dell'Orto [TC14782] [FSPSN]

**F.so della Valle dell'Orto** dalla S.R. n. 439 (monte) alla confluenza nel C.le S. Simone [TC14876+TC15375]<sup>21</sup> [FSVOR]

**F.so c.d. Fusi** da inizio tratto alla confluenza nel C.le Vallino [TC15260] [FSPFS]<sup>22</sup>

**C.le Vallino** dalla S.R. n. 439 (monte) alla confluenza nel F.so della Valle dell'Orto [TC15261+TC15332] [CLVLL]

**F.so c.d. Sant'Anna** dalla S.R. n. 439 (monte) alla confluenza nel C.le San Simone [--] [FSSAN]<sup>23</sup>

**C.le S. Simone** dalla S.R. n. 439 (monte) alla confluenza nel F. Pecora [TC15337+TC15332] [CLSSM]<sup>24</sup>

**Gora delle Ferriere** dalla botte del F. Pecora (valle) alla confluenza nel F.so Petraia [TC14897+TC15753] [GRFFR]<sup>25</sup>

**Gorello delle Ferriere** da inizio tratto (ZI) alla confluenza nella Gora delle Ferriere [TC15678+TC15752] [GLFRR]<sup>26</sup>

**F.so Poggetto** dalla S.R. n. 439 (monte) alla confluenza(?)<sup>27</sup> nel C.le Gorello a valle della ZI [--] [FSPGG]<sup>28</sup>

<sup>12</sup>Comunque intrinsecamente coerente.

<sup>13</sup>Es. idrogrammi per diverse durate di pioggia.

<sup>14</sup>Salvo aggiornamenti puntuali significativi in considerazione anche dei dati registrati nell'ultimo decennio.

<sup>15</sup>Tipicamente allegati di calcolo HEC-Ras (sic).

<sup>16</sup>Praticamente soltanto parte del sistema idrografico F. Pecora.

<sup>17</sup>Es. georeferenziazione altimetrica CTR vs Lidar\_MATM.

<sup>18</sup>Con contestuale istanza formale all'Ufficio regionale competente.

<sup>19</sup>Codici identificativi delle aste di reticolo idrografico di riferimento ex L.R. n. 79/12 e s.m.i., in parte o per intero oggetto di analisi.

<sup>20</sup>Codice identificativo adottato nella modellazione idraulica HEC-Ras (vd. avanti).

<sup>21</sup>Con tracciato parzialmente errato nel reticolo idrografico L.R. n. 79/12 e s.m.i.

<sup>22</sup>Presente nel reticolo idrografico L.R. n. 79/12 e s.m.i., ma non di riferimento e senza nome.

<sup>23</sup>Non censito nel reticolo idrografico L.R. n. 79/12 e s.m.i. e, in effetti, di scarsa significatività.

<sup>24</sup>Alias errati? (Gora delle Ferriere (3), ...).

<sup>25</sup>Alias Borrello delle Ferriere.

<sup>26</sup>Alias senza nome, errato? (Gora delle Ferriere (2)). Per utilità modellistica compreso tratto di fdg FFS a monte della confluenza di FSPGG.

<sup>27</sup>Connessione incerta tramite sistema fognario ZI, schematizzato come unico tombino di diametro pari all'imbocco rilevato lungo la S.P. n. 152 (così già in Pagliara, 2011 e succ.). Per utilità modellistica inserito tratto di fdg [FDG01] S.P. n. 152 a monte del tombino di connessione al GLFRR.

<sup>28</sup>Non presente nel reticolo idrografico L.R. n. 79/12 e s.m.i.

**F.so c.d. San Luigi** dalla S.V. di San Luigi alla confluenza nel F.so Poggetto [–] [FSPSL]<sup>29</sup>

**F.so Fico** da inizio tratto (valle p.te S.P.n. 106 sul F. Pecora) alla confluenza nel F. Pecora [–TC15824+TC16033] [FSFCO]<sup>30</sup>

**F.so Salciaina** da inizio tratto alla confluenza nel F.so Fico [TC15848] [FSSLC]

Follonica Centro [FLCE] [ca. 2.5 km]

**F.so Petraia**<sup>31</sup> dalle casse a monte S.P. n. 152 (valle) allo sbocco a mare [TC15631+TC15788] [FSPTR]

**Rio Casa Valli** da fine area boscata alla confluenza nel F.so Petraia [TC15597+TC15601] [RICVL]

**F.so Casa Valli** da inizio tratto alla confluenza nel Rio Casa Valli [TC15594+TC15596] [FSCVL]<sup>32</sup>

**Rio Martellino** da fine area boscata alla confluenza nel F.so del Vado Coperto [TC15575] [RIMRT]

**F.so del Vado Coperto** da fine area boscata alla confluenza nel F.so Petraia [TC15574+TC15659] [FSVCP]

**F.so del Vado Coperto\_1** da F.so del Vado Coperto al F.so Petraia [TC15630] [FSVC1]<sup>33</sup>

**F.so Valle Onesta** da inizio tratto allo sbocco a mare [TC15586+TC15719] [FSVON]<sup>34</sup>

**F.so Val Querceta** da fine area boscata (valle E80) allo sbocco a mare [TC15753+TC15684] [FSVQT]<sup>35</sup>

Follonica Nord-Ovest [FLNO] [ca. 5.0 km]

**C.le Allacciante Cervia** da Loc. Torre Mozza<sup>36</sup> allo sbocco a mare [TC15538<sup>37</sup>+TC15578] [CLCRV]<sup>38</sup>

**C.le Mercatone** da valle E80 alla confluenza nel C.le Allacciante Cervia [TC15553] [CLMCT]<sup>39</sup>

**F.so di Valmaggione** da fine area boscata alla confluenza nel C.le Allacciante Cervia [TC15372+TC15537] [FSVMA]<sup>40</sup>

**Rio Valmaggione Nord** da fine area boscata alla confluenza nel F.so di Valmaggione [TC15388] [RIVMN]

Ulteriori valutazioni *speditive* saranno fatte per (sistema Follonica Centro):

- A. impluvio tra F.so di Val Querceta e Valle Onesta, afferente specifico tombino FFS e quindi tombato
- B. impluvio tra F.so di Valle Onesta e C.le Mercatone, parzialmente afferente il sistema di laminazione c.d. di via S. Leone (modellato 2-D in FLNO).

Al fine di meglio qualificare l'attuale pericolosità idraulica sostanziale, pur rimanendo qui esclusa la modellazione numerica esplicita dei sistemi fognari meteorici<sup>41</sup>, data la rilevanza che tale problematica riveste per Follonica, considerazioni sintetiche ulteriori sono state introdotte per le aree più fragili, precisandone meglio le correlazioni con il sistema idrografico e distinguendo<sup>42</sup> tale fenomenologia da quella alluvionale<sup>43</sup>.

In ordine all'aggiornamento del PGRA attuale, di concerto con Comune[i], AddAS e GC, per ragioni di chiarezza e omogeneità è stato ritenuto opportuno procedere ad una richiesta di revisione complessiva per l'intero territorio comunale, anche laddove le variazioni di perimetro/classe fossero di scarsa significatività (cfr. Tavv. Serie PI02).

<sup>29</sup> Non presente nel reticolo idrografico L.R. n. 79/12 e s.m.i.

<sup>30</sup> Tratto iniziale non presente nel reticolo idrografico L.R. n. 79/12 e s.m.i. *Alias* Argine del Recinto.

<sup>31</sup> Sistema idraulico del F.so Petraia NON modellato. Elenco riportato per mera esaustività della nomenclatura utilizzata negli archivi.

<sup>32</sup> Senza nome nel reticolo idrografico L.R. n. 79/12 e s.m.i.

<sup>33</sup> Senza nome nel reticolo idrografico L.R. n. 79/12 e s.m.i.

<sup>34</sup> Con tracciato tombato difforme.

<sup>35</sup> Con tracciato tombato difforme.

<sup>36</sup> Inizio tratto con scolo verso Follonica.

<sup>37</sup> Parziale.

<sup>38</sup> *Alias* Allacciante Cervia e Rio Val Maggiore.

<sup>39</sup> Tracciato rimaneggiato e difforme a monte S.P. n. 152.

<sup>40</sup> Tracciato lievemente rimaneggiato a monte S.S. n. 1.

<sup>41</sup> Per i quali, peraltro, sono in corso analisi specifiche e/o progettazioni/attuazione di interventi strutturali significativi (es. ZI e dx/sx F.so Petraia).

<sup>42</sup> Conclusivamente, anche in termini di mappatura e attribuzione della classe di pericolosità con corrispondenti NTA di gestione.

<sup>43</sup> Nell'attuale PGRA si ritrovano, viceversa (indistintamente e in maniera incompleta), anche aree allagabili tipicamente per insufficienza fognaria.

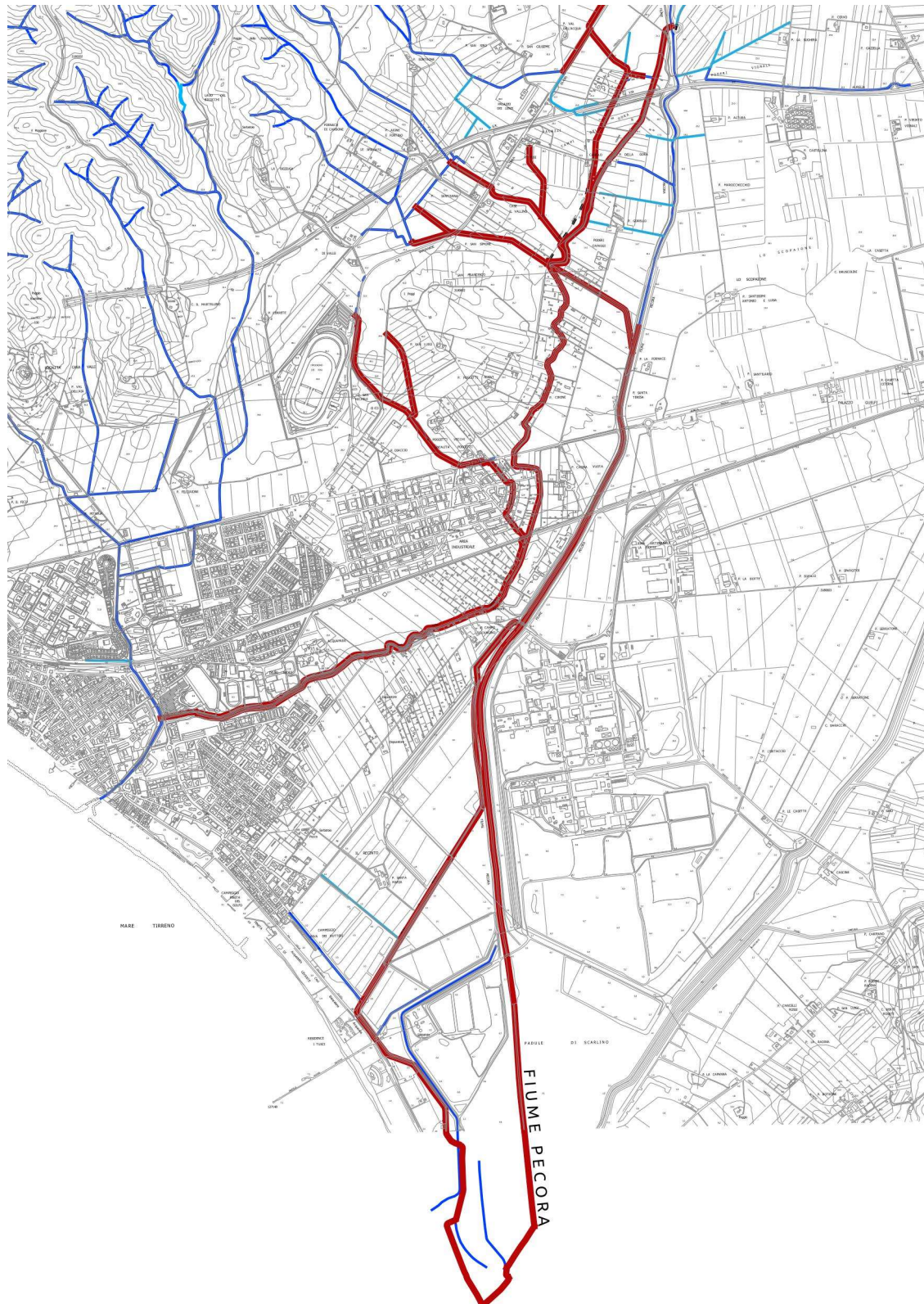






Fig. 2. Tratti idrografici oggetto di studio analitico (in rosso) - Follonica. Ret. Idr ex L.R. n. 79/12 e **secondario** ex PGRA (con integrazioni). Dall'alto in basso, FLSE/CE/NO.

### 1.3 MODELLISTICA

La modellistica numerica adottata per le analisi idrauliche è quella implementata nel programma di calcolo **HEC-Ras**<sup>44</sup> v. **6.1.0**, in regime di moto **vario 1+2-D** di corrente mista, a fondo fisso<sup>45</sup>.

Per *plans*, elementi idraulici -sezioni, sfioratori laterali, aree 2-D, condizioni al contorno e interne, *breaklines*, ... (RS, LS, 2D Flow Area, BC/IC, BKL, ...) - e sollecitazioni idrologiche vengono adottate codifiche omogenee di facile lettura (es. acronimo di c.d.a., da valle a monte, numeri dispari/sx pari/dx, ...). Per le RS viene mantenuto quale attributo secondario anche la codifica dei lavori originario, purché univoca.

Data la complessità dei modelli, la descrizione di seguito riportata riguarderà i soli elementi essenziali, necessariamente rimandando per gli ulteriori dettagli direttamente agli archivi digitali -modellistici sorgente e elaborati GIS - integralmente forniti in allegato alla presente.

#### 1.3.1 SPECIFICHE ESSENZIALI

Rimandando direttamente a <http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/> per le specifiche tecniche di calcolo del noto *software*, si riportano di seguito i soli parametri di settaggio principali.

L'analisi è stata effettuata interamente in modalità unitaria 1+2-D, limitando la parte 1-D alla sola propagazione in alveo inciso e riservando alla modellistica 2-D l'intero territorio esterno, agricolo e urbano. Il collegamento analitico tra i due domini è rappresentato da sfioratori laterali [SL] di connessione, normalmente modellati con la modalità *Normal 2D Equation Domain*, salvo eccezioni di migliore adattamento di quella classica a stramazzone con coefficienti  $\mu$  definiti in accordo alla Tab. 3.1 del *2D Modeling User's Manual* HEC-Ras (Fig. 13).

Per tutte le aree di calcolo bidimensionale si è adottato la modalità **Full Momentum** nella versione più rigorosa **SWE-EM** con modello di turbolenza *Conservative*. Di seguito si riportano i principali settaggi 1-D, 2-D e di connessione<sup>46</sup>.

*Simulation\_Time\_Window*=01APR2030:12:00-01APR2030:16:30 (01H), 01APR2030:12:00-01APR2030:18:00 (02H),  
01APR2030:12:00-02APR2030:02:00 (06H)<sup>47</sup>

*Computation\_Interval*=variabile <1÷3 sec [var] per 1-D con ulteriore *Time slices*=2÷3 per le aree 2-D

*Max\_Iter\_1-2D*=5; *WS Tol*=0.01 m; *Flow Tol*=0.1%

*Mixed\_Flow*<sub>1-D</sub>=Yes

*Exp\_m*<sub>1-D</sub>=16

*Froude\_Thresh*<sub>1-D</sub>=1

*Finite\_Diff\_Method*<sub>1-D</sub>=Skyline/Gaussian

*Theta*<sub>1-D</sub>=0.6

*Theta\_Warmup*<sub>1-D</sub>=0.6

*Water\_Surface\_Tolerance*<sub>1-D</sub>=0.003 m

*Equation\_Set*<sub>2-D</sub>=SWE-EM [*Full Momentum Stricter*]

*Theta*<sub>2-D</sub>=0.6

*Theta\_Warmup*<sub>2-D</sub>=0.6

*Water\_Surface\_Tolerance*<sub>2-D</sub>=0.003 m

*Volume\_Tolerance*<sub>2-D</sub>=0.003 m

*Number\_of\_Time\_Slices*<sub>2-D</sub>=2÷3

*Initial\_Condition\_Time*<sub>2-D</sub>=0.05

*Initial\_Condition\_Ramp\_Up\_Fraction*<sub>2-D</sub>=0.05

*Maximum\_Iterations*<sub>2-D</sub>=20

*Turbulence\_Model*<sub>2-D</sub>=Conservative

*Longitudinal\_Mixing\_Coefficient*<sub>2-D</sub>=0.3

*Transverse\_Mixing\_Coefficient*<sub>2-D</sub>=0.1

*Smagorinsky\_Coefficient*<sub>2-D</sub>=0.05

*Coriolis\_Effect*<sub>2-D</sub>=Yes

*Latitude\_Coriolis*<sub>2-D</sub>=43.0 deg<sup>48</sup>

<sup>44</sup> Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers, settembre 2021.

<sup>45</sup> Assunzione non realistica ma sostanzialmente irrilevante ai fini di caratterizzazione territoriale estensiva; localmente non accettabile ai fini progettuali (es. ponti FF.S.) e/o cc.d.a. minori (vd. assunzioni di calcolo relative, eventuali).

<sup>46</sup> Sono possibili lievi differenziazioni tra i diversi *plans*, per esigenze specifiche di stabilità e/o contenimento dei tempi di calcolo.

<sup>47</sup> Datazione convenzionale per gli scenari di progetto FLSE, FLCE e FLNO, rispettivamente; giuliana per gli eventi reali [eventuali]. Tra parentesi gli scenari idrologici codificati per durata di pioggia.

<sup>48</sup> Di scarsa significatività nel caso in oggetto.

*Detailed\_Output\_Interval=5 min*

Per il dettaglio completo si rimanda direttamente ai *files* di modellazione allegati [.p# #].

### 1.3.2 DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA

La definizione della geometria di calcolo numerico delle analisi idrauliche di SA deriva da laboriose operazioni di ri-utilizzo per quanto possibile del materiale esistente (in qualche modo), esecuzione di rilievi e accertamenti integrativi (difficoltà di accesso, fatiscenze e/o stati interlocutori locali), aggiornamento allo SA (sia in alveo sia esternamente), controlli e correzioni di georeferenziazione (rilievi storici e attuali, CTR, Lidar), elaborazioni di integrazione DSM/DTM con dati a terra (ambito urbano/agricolo) a diversa risoluzione e previo censimento di *by-pass* infrastrutturali (tombini e sottopassi FFS/stradali). Tale approccio deriva da esigenze di contenimento dei costi di rilievo, tenuto conto del livello di accuratezza (vario) del QC e gli obiettivi del lavoro tra cui, in particolare, la ri-omogeneizzazione intelleggibile della congerie attuale.

Della accuratezza geometrica complessiva, già nel QC disponibile inferiore al livello base canonicamente intrinseco alle modellazioni idrauliche di area vasta ( $\pm 10$  cm sulla coordinata Z), verrà dato conto specificatamente, discutendone in via cautelativa i potenziali effetti marginali.

La georeferenziazione adottata nelle elaborazioni numeriche è **Monte Mario/GB Zone 1 EPSG:3003**, mantenuta anche nella restituzione finale dell'archivio GIS; la trasformazione secondo lo *standard* attuale RDN2008/UTM zone 32N (N-E) EPSG:6707 (*Projected*) potrà essere facilmente eseguita direttamente dall'utente.

#### 1.3.2.1 Attività di integrazione, validazione e omogeneizzazione rilievi diversi

L'attività di verifica e integrazione del quadro geometrico esistente -variamente risalente all'ultimo ventennio- ha riguardato sia la parte idrografica vera e propria (profili trasversali di alveo e OOII), sia il dominio esterno delle acque di esondazione (edificato urbano). In entrambi i casi, previa riconduzione ad un'unica georeferenziazione<sup>49</sup>. La metodica adottata non poteva che essere a campione (con sezioni correnti integrative e particolare riferimento ai manufatti stabili nel tempo), preventivamente riconoscendo la scarsa incidenza della dinamica d'alveo naturale di gran parte dei cc.d.a. in oggetto, gli stati modificati *post operam* e le anomalie di assetto locale (tipicamente di origine antropica incompiuta<sup>50</sup>).

I modelli geometrici *in alveo*<sup>51</sup> sono fondamentalmente basati sui rilievi celerimetrici già implementati<sup>52</sup> nei principali lavori elencati in § 1.2 di I01-1A, integrati da FOL21 [Elab. I01-3] secondo le specifiche di estensione preliminarmente riportate in Fig. 3 e adattate in c.d.o. Poiché la modellistica idraulica 1-D è interamente integrata a quella 2-D, la georeferenziazione finale omogeneamente assunta è quella Lidar<sup>53</sup>.

<sup>49</sup>Oltre al fatto che in nessun caso è stato possibile acquisire certificazione specifica su qualità e modalità di rilievo, va tenuto presente anche che restituzioni e riferimenti altimetrici sono sempre asseritamente [più o meno esplicitamente] coerenti con la CTR 10k dell'epoca.

<sup>50</sup>Es. C.le Mercatone *et al.* in zona *Campo da Golf* e F.sì Loc. *Poggetto*.

<sup>51</sup>Ovvero di solo dominio 1-D.

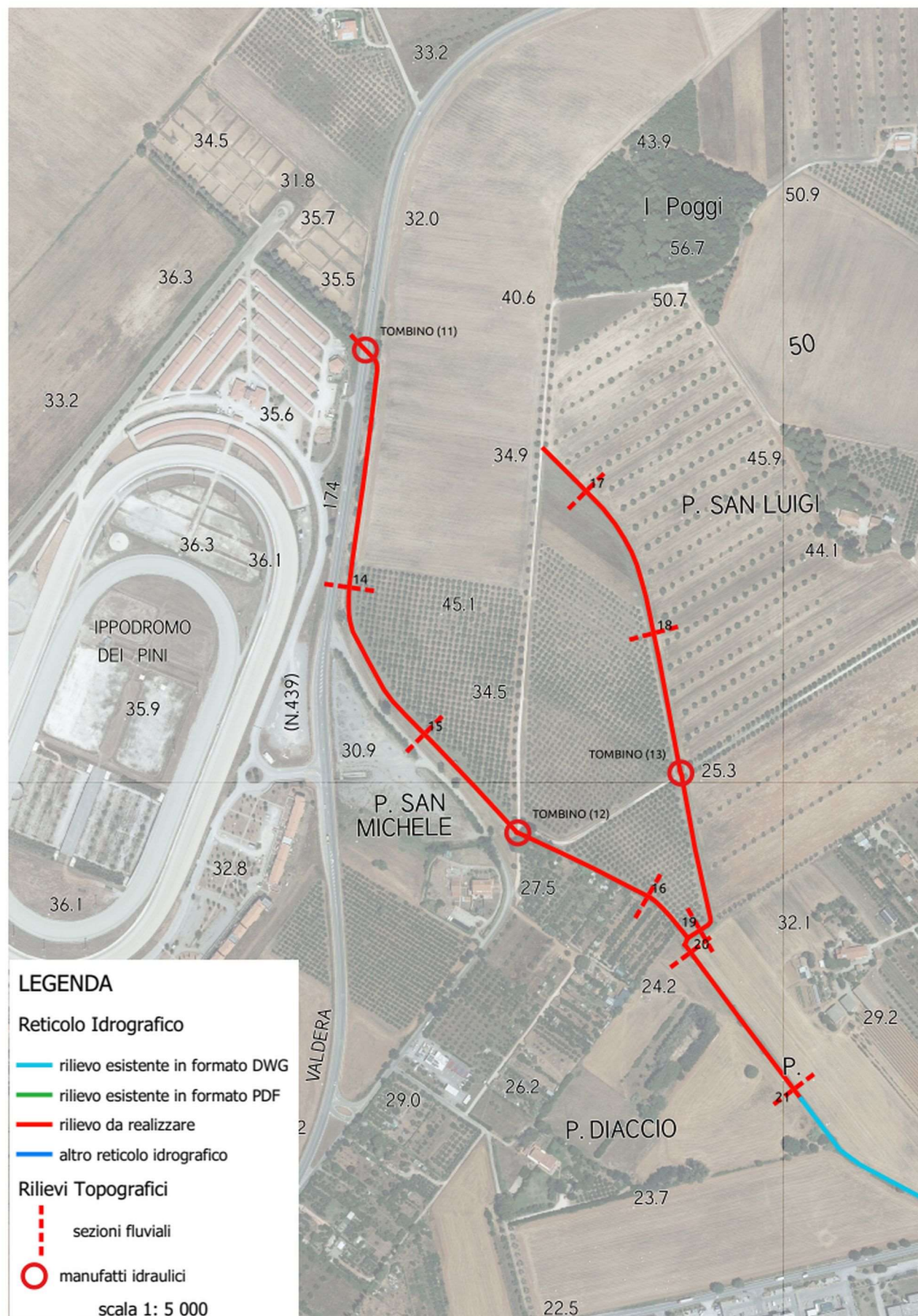
<sup>52</sup>Con ampia analisi di verifica e correzione.

<sup>53</sup>In tal senso, le modifiche plano-altimetriche dei rilievi disponibili riportate nella descrizione delle singole RS (cfr. .g# #). Ovviamente, previa verifica di consistenza con lo SA 2021.

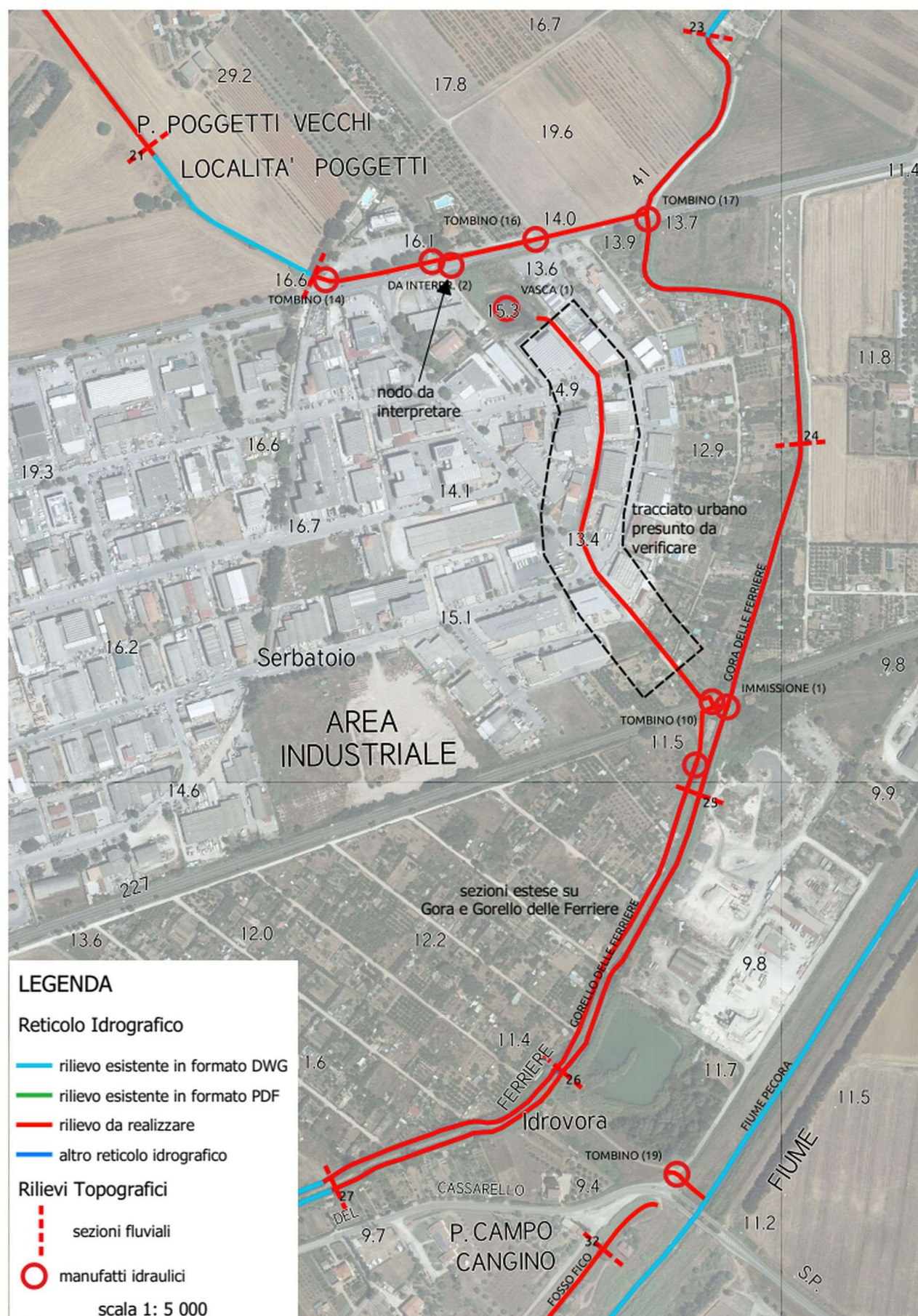




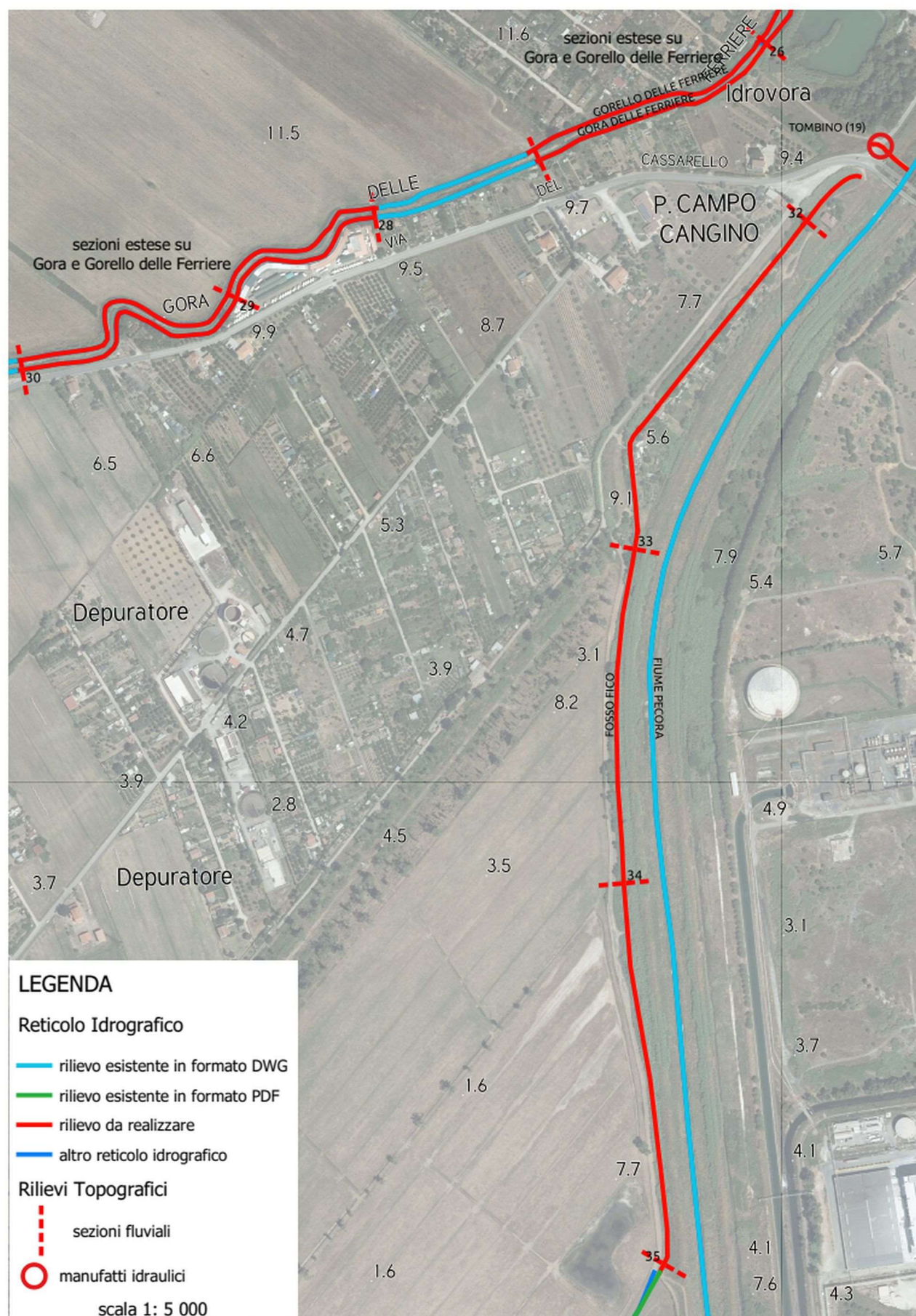






















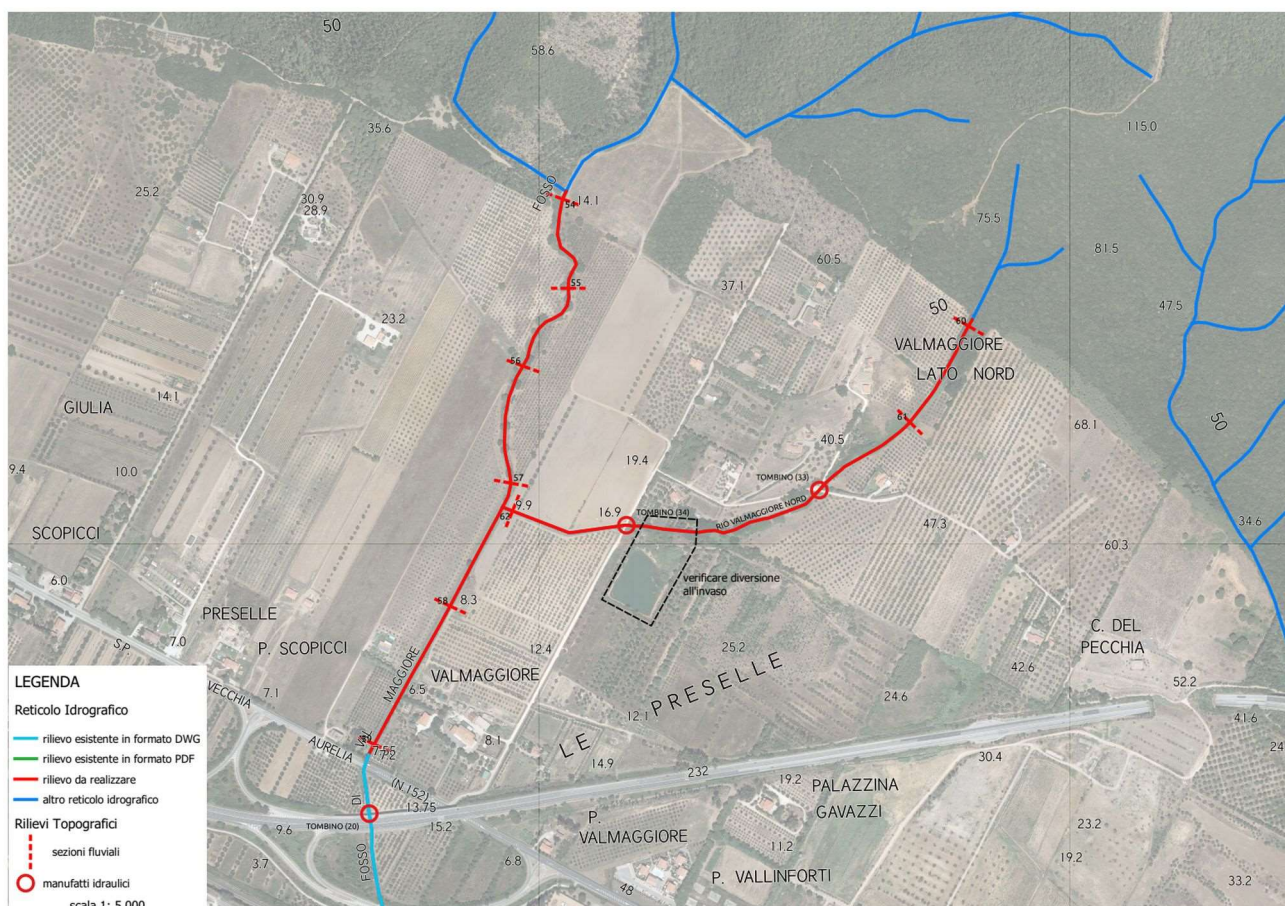






Fig. 3. Progetto base del piano di accertamenti e rilievi celerimetrici a terra integrativi di cui poi, con adattamenti, in FOL21. Sistemi FLSE/CE/NO. QQ. 1÷9.

Più specificatamente, la geometria base dei cc.d.a. (tratti di studio, copertura e codifiche parziali, pdf<sub>H</sub>=HEC-Ras) è stata ripresa da<sup>54</sup>:

*F. Pecora:* Tipo/Tit: dwg/{Geostaff, 2007}<sup>55</sup>; HEC/Progetto\_HECRAS\_v0.g03/8; Aut/Anno\_Ril: NN/20xx; Aut\_Idr/Lav: SP/EC18; Comm: CB5; Fonte: CF e CB5

*F.so Fico:* idem c.s.

*F.so Salciaina:* idem c.s.

*F.so della Valle dell'Orto:* Tipo/Tit: dwg/{tav2-f2; 1, 13÷14, 29÷32}; Aut/Anno\_Ril: NN/20xx; Aut\_Idr/Lav: SP/GF19; Comm: CB5; Fonte: CF

*C.le S. Simone:* Tipo/Tit: dwg/{tav2-f2; 33÷44}; idem c.s.

*Gora delle Ferriere*<sup>56</sup>: Tipo/Tit: dwg/{tav2-f2; 2÷28}; idem c.s.

*Gorello delle Ferriere*<sup>57</sup>: Tipo/Tit: dwg/{tav2-f2; 47, 22÷28}; idem c.s.

*F.so Poggetto:* Tipo/Tit: dwg/{tav2-f2; 45÷46}; idem c.s.

*F.so Poggetto:* Tipo/Tit: dwg/tav2-plan-sez + pdf<sub>H</sub>/PS541.001÷014}; Aut/Anno\_Ril: NN/20xx; Aut\_Idr/Lav: SP/RU11; Comm: CF; Fonte: CF

*F.so Petraia:* Tipo/Tit: pdf/Tav\_1a/b\_planimetrie\_agg\_2018 + verifiche\_idrauliche\_2018}; Aut/Anno\_Ril: NN/20xx; Aut\_Idr/Lav: GB/PT18; Comm: CF; Fonte: CF

*F.so del Vado Coperto:* idem c.s.

*F.so Valle Onesta:* Tipo/Tit: dwg/tav2-plan-sez + pdf<sub>H</sub>/200÷212}; idem c.s.

<sup>54</sup> Tit=denominazione del file così come ricevuto; NN=non noto; SP=prof. ing. S. Pagliara; TS=ing. T. Staiano; GB=ing. G. Bavecchi; AUT=Aut\_Idr; CF=Comune di Follonica; CB5= Consorzio di Bonifica 5 Toscana Costa; GC\_GR=Genio Civile di Area Vasta SI-GR; CS=Comune di Scarlino; CPCM=Comuni di Piombino e Campiglia M.ma.

<sup>55</sup> D'ora in avanti GS07. Rilievo limitato al tratto a monte del ponte di Cannavota.

<sup>56</sup> In GS07 soltanto tratto a monte della botte F. Pecora.

<sup>57</sup> O Controfossa Destra della Gora delle Ferriere (cfr. 4C02).

*F.so Val Querceta: Tipo/Tit:* dwg/tav2-plan-sez + pdf<sub>H</sub>/100÷108}; idem c.s.

*C.le Mercatone: Tipo/Tit:* dwg/tav2-plan-sez + TAV 2 sezioni Valmaggiore/2001÷2009};<sup>58</sup> *Aut/Anno\_Rit:* NN/2002; *Aut\_Idr/Lav:* SP/NF02; *Comm:* CF; *Fonte:* CF

*F.so di Valmaggiore: Tipo/Tit:* dwg/tav2-plan-sez + TAV 2 sezioni Valmaggiore/5001÷5008}; idem c.s.

*C.le Allacciante Cervia: Tipo/Tit:* dwg/tav2-plan-sez+TAV 2 sezioni Valmaggiore/3001÷3004+1001÷1003}<sup>59</sup>; idem c.s.

*F.so di Valmaggiore: Tipo/Tit:* pdf<sub>G/H</sub>/217512531260\_OI.03.1\_Modello\_Idraulico-Inquadrimento\_Sezioni + 217512531270\_OI.03.2\_Modello\_idraulico\_Libretto\_sezioni/00055\_08÷00001PC08}; *Aut/Anno\_Rit:* NN/2019; *Aut\_Idr/Lav:* TS/PSI21; *Comm:* CPCM; *Fonte:* CPCM

*C.le Allacciante Cervia: Tipo/Tit:* pdf<sub>G/H</sub>/217512531260\_OI.03.1\_Modello\_Idraulico-Inquadrimento\_Sezioni + 217512531270\_OI.03.2\_Modello\_idraulico\_Libretto\_sezioni/00016\_08÷00006\_08}; idem c.s.

La documentazione acquisita -salvo GS07- è estremamente farraginoso, disorganica, priva di riferimenti tecnici certi (*Autore*, georeferenziazione, codifica originale, ...), a volte anche improbabile/palesamente errata<sup>60</sup> e spesso disponibile soltanto in *pdf*. Pur essendo possibili errori di interpretazione, in sostanza risultano disponibili i seguenti [parzialmente diversi] rilievi<sup>61</sup>:

1. 4C02, integrativo di un non meglio precisato GCXX<sup>62</sup> [F. Pecora, F.so Fico, Gora delle Ferriere a monte della botte, F.so Petraia]
2. NF02 [sistema C.le Cervia]
3. GS07 [F. Pecora tra Scopaione e Cannavota]
4. RU11 [F.si Valle Onesta, Val Querceta, Poggetti]
5. PT18 [sistema F.so Petraia, integrativo di 4C02]
6. GF19 [sistema Gora delle Ferriere, integrativo di 4C02]
7. PSI21 [F.so Val Maggiore<sup>63</sup>].

I cc.d.a. non citati sono stati oggetto di solo rilievo integrativo FOL21 e/o derivazione da Lidar.

Riportati tutti [quelli di interesse] i rilievi in formato digitale editabile *standard* HEC, verifiche a campione sono state effettuate per confronto con FOL21 e il Lidar nella versione di volo più recente (2016 o 2008), previ sopralluoghi di verifica di corrispondenza con lo SA<sup>64</sup>. La qualità generale del modello geometrico d'alveo complessivamente derivato[bile] non è, evidentemente, elevata; di seguito si riportano le principali inconsistenze riscontrate, i correttivi adottati per la riconduzione a strato coerente con il Lidar, assunto riferimento topografico cardinale, e la stima qualitativa dell'incertezza residua:

- indisponibile la georeferenziazione planimetrica delle tracce di sezione, normalmente essa è stata derivata da tavole in pdf (scala non superiore a 1:5.000), assumendo il tracciato rettilineo; l'accuratezza (di sola riproduzione<sup>65</sup>) può essere valutata medio-bassa dell'ordine di 10<sup>0</sup> m
- sopralluoghi specifici a campione hanno evidenziato difformità varie nei profili di sezione, allo SA normalmente con irregolarità maggiori di quanto rilevato<sup>66</sup>, in parte dovuti anche a fattori manutentivi (depositi, nicchie erosive, ...); salvo tratti pedecollinari più acclivi su matrice sabbiosa (es. Val Querceta, Poggetto, ...) e singolarità ai manufatti, la dinamica fluviale è normalmente bassa e controllata dalle manutenzioni, pertanto tale fattore è stato normalmente trascurato e assunto fisiologico
- la georeferenziazione altimetrica, sedicentemente in quote geoidiche [m s.l.m.] è, salvo GS07 e PSI21, sostanzialmente priva di documentazione, con sporadiche citazioni relative alla strumentazione adottata (GPS ...) e riscontri di coerenza(?) con le CTR utilizzate per la rappresentazione cartografica delle aree allagabili. D'altra parte, in taluni casi le sezioni sono state integrate su Lidar *senza* correzioni specifi-

<sup>58</sup> Disponibile anche in formato pdf<sub>H</sub> di RU11.

<sup>59</sup> Sezioni non rilevate a terra ma derivate da Lidar.

<sup>60</sup> Profili di sezione senza *thalweg*, manufatti di geometria inconsistente, ...

<sup>61</sup> Indicati tutti, salvo GS07 e PSI21, con riferimento ai lavori che li hanno utilizzati, essendo indefiniti gli *Autori*.

<sup>62</sup> *Genio Civile* Grosseto. Es. F. Pecora a valle del p.te di Cannavota; qualità scarsa, non utilizzate in EC18 (Lidar) e, comunque, non corrispondenti allo stato attuale né in quota né in forma.

<sup>63</sup> C.le Cervia derivato da Lidar.

<sup>64</sup> In alcuni casi, i rilievi disponibili sono riferiti allo stato *ante operam*, mancando poi *l'as-built*.

<sup>65</sup> Non nota quella di rilievo originario.

<sup>66</sup> Profili spesso semplicemente trapezi.



che (es. EC18); verifiche a campione sui cc.d.a. con maggiore visibilità *laser* (es. F. Pecora, Gora delle Ferriere, C.le All. Cervia) e manufatti infrastrutturali (es. ponti e tombini stradali e FFS) non hanno evidenziato *drift* sistematici o specifici, salvo PSI21 vs. RU11 su F.so di Valmaggione e C.le Cervia, dovuti alla derivazione (peraltro di scarsa qualità, con improbabili profili *a dente di sega*) direttamente da *Lidar* del primo

- alcuni manufatti sono risultati di geometria errata (es. C.le Mercatone, F.so di Valmaggione) o mancanti (C.le Cervia, F.so Fico, Valle Onesta, ...) e sono stati corretti/integrati; la affidabilità/qualità generale (non per tutti è stata possibile una verifica diretta sul campo e/o su base *Lidar*), soprattutto per i cc.d.a. minori è, pertanto, medio-bassa.

In definitiva, tenendo conto dell'accuratezza intrinseca al modello digitale *Lidar* ( $\pm 0.10$  m), delle variabilità di rilievo/naturali e delle finalità, non è stato possibile apportare affidabilmente alcuna correzione sistematica, piuttosto optando per modifiche puntuali laddove evidentemente significative. Analogamente, per le numerose RS ulteriori necessarie alla modellazione dei deflussi in alveo, oltre/anziché la semplice interpolazione lineare si è adottata la tecnica della estrazione (ponderata) del profilo interno dal DTM *Lidar*, previa verifica di georeferenziazione di asse fluviale e traccia e con successiva ricostruzione del profilo di *thalweg* (*mutatis mutandis* cfr. PSI21 per il Cervia); ciò ha permesso, da una parte, una più robusta caratterizzazione della geometria d'alveo effettiva (al 2008) dei cc.d.a. di dimensioni maggiori e/o significativa sinuosità (F. Pecora e Gora delle Ferriere) e, dall'altra, la costruzione di un archivio GIS intrinsecamente consistente.

La parte *extra* alveo di modellazione *full* 2-D, invece, è fondata su tre diversi strati informativi *Lidar*, tutti in entrambe le versioni filtrate<sup>67</sup> (DTM) e non (DSM)<sup>68</sup> (Fig. 4): DEM\_Lidar2\_08 [MATTM<sup>69</sup> 2008, 2x2 m] per la fascia costiera sin oltre la *Vecchia Aurelia*, DEM\_Lidar1\_08 [MATTM 2008, 1x1 m] per la fascia pedecollinare e la valle di F. Pecora-Gora delle Ferriere e DEM\_Lidar\_16 [MATTM 2016, 1x1 m] per le aree più collinari. La georeferenziazione base è EPSG:3003-Monte Mario/Italy Zone 1, coordinate piane GB [m] e altimetriche geoidiche [m s.l.m.]<sup>70</sup>.

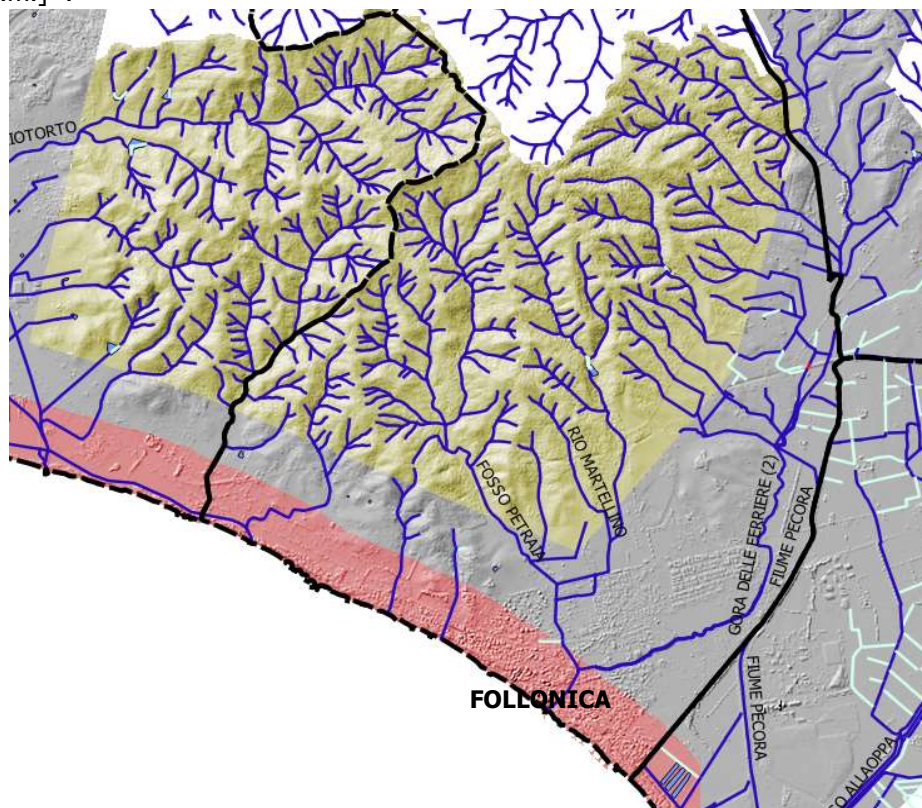


Fig. 4. Hillshade *Lidar* disponibili: DSM\_Lidar1\_08 (grigio), DSM\_Lidar2\_08 (rosa) e DSM\_Lidar\_16 (giallo).

<sup>67</sup> Purtroppo non solo della vegetazione ma anche dei manufatti antropici.

<sup>68</sup> In generale si farà riferimento all'acronimo DEM per indicare modelli digitali del terreno generici, variamente elaborati.

<sup>69</sup> Fonte dei dati: Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare – "Rilievi Lidar".

<sup>70</sup> Originaria *Lidar* Geoscopia RT; tematismi finali poi trasformati in RDN2008/UTM zone 32N (N-E) EPSG:6707 (Projected).



Dunque, la base topografica territoriale qui di maggiore interesse risale al volo 2008, con peraltro risoluzione soltanto 2 m in gran parte dell'area urbanizzata. La successiva dinamica territoriale del perimetro [peri-]urbano di Follonica ha localmente modificato tale assetto, rendendo necessario qualche integrazione al *Lidar* (*patches*). Esse hanno riguardato le sole aree di una qualche significatività per le modellazioni idrauliche in oggetto, eventualmente ricorrendo a ri-elaborazioni comunali in ambito *VPS&PO* (edificato), geometrie progettuali e/o foto aree recenti [tipicamente *GoogleEarth®*] (es. cassa Scopaione, via Don S. Leone, ex Ippodromo, ...), assumendo invece trascurabili le piccole variazioni diffuse 2008-2021. Alla luce del dominio idrografico e territoriale di calcolo definitivamente assunto, l'unica inconsistenza ritenuta significativa<sup>71</sup> è quella dell'area ex Ippodromo (oggi parcheggio/verde), per il quale è stata ricostruita una semplice morfologia di *SA* funzionale allo scopo in base a rilievi parziali disponibili, sopralluoghi e ricostruzioni fotografiche (Fig. 5). Per l'area *Campo da Golf*, ancora in assetto interlocutorio e in assenza di stato di progetto ufficiale approvato, si è mantenuta la morfologia di rilievo *Lidar* 2008.



Fig. 5. Area ex Ippodromo - DSM\_Lidar e DEM\_k.

Il modello morfologico utilizzato in *HEC-Ras* è un'elaborazione specifica di entrambi i prodotti *DSM/DTM* atta a dare la migliore rappresentazione della superficie di scorrimento e della permeabilità idraulica del fronte di inondazione alluvionale con la massima aderenza alla realtà fisica edifici-strade e agricolo-boscato. Il modello

<sup>71</sup>Per altre situazioni non direttamente

base assunto per il 2-D è il DSM, integrato con il DTM ove inadatto<sup>72</sup> (*Patches\_DTM*); elaborazioni particolari, con l'utilizzo di *breaklines* (BKL) hanno riguardato, ad es., i nuclei di maggiore densità edificatoria (continuità idraulica vie e strade), rilevati FFS, sottopassi e viabilità, ...

### 1.3.2.2 Modello definitivo adottato

Il modello geometrico definitivamente adottato per l'intero dominio di calcolo è un'elaborazione complessa della citata congerie dei "dati" disponibili, ri-omogeneizzata su base Lidar. Al costo di appesantire un po' la modellazione numerica idraulica, per semplicità di archivio si è optato per un unico modello base per l'intero dominio di analisi allo SA, c.d. **DEM\_k**, ottenuto per elaborazione di (Fig. 6):

- DSM\_Lidar [MATTM\_2016\_1x1+RT\_2010\_1x1+MATTM\_2008\_2x2] a maglia regolare sorgente [strato base]
- DTM\_Lidar [MATTM\_2016\_1x1+RT\_2010\_1x1+MATTM\_2008\_2x2] a maglia regolare sorgente [*Patches* per strade, fasce ripariali, situazioni specifiche varie]
- XS\_All\_02 a punti regolari passo 0.20 m [alveo fluviale derivato da rilievi a terra e DTM\_Lidar]
- DEM\_VV a maglia regolare [*Patches* varie, relative a morfologie specifiche variare rispetto al 2008].

Filename	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation	Cell Size
DEM_k_vrt	-1.99083507...	470.921875	60.21030744...	69.37321656...	
DEM_k.XS_All_02.tif	-1.99083507...	32.58747863...	9.709476459...	6.297491763...	0.2
DEM_k.Patches_DTM.tif	-0.65625	32.171875	9.733365809...	8.393899008...	1
DEM_k.Patch_ex_lppo.tif	6.453125	12	7.510381186...	0.878707522...	0.998637215...
DEM_k.XS_All_02_CE.tif	3.659227445...	34.50694656...	15.56374955...	8.030751143...	0.200000000...
DEM_k.Patches_DTM_CE.tif	1.0390625	50.4296875	14.52911003...	9.718399816...	1
DEM_k.XS_All_02_NO.tif	-1.14995014...	37.73477172...	6.120060440...	7.338436292...	0.200000000...
DEM_k.Patches_DTM_NO.tif	-0.421875	43.3125	4.744285740...	5.768597084...	1
DEM_k.DSM_16MA_1x1.tif	7.90625	310.7421875	111.6593218...	55.02649013...	1
DEM_k.DSM_10RT_1x1.tif	-0.5625	470.921875	93.38855057...	110.0846814...	1
DEM_k.DSM_08MA_1x1.tif	-0.8671875	185.171875	21.83582930...	19.20032014...	1
DEM_k.DSM_08MA_2x2.tif	-1.765625	172.484375	17.30183367...	26.69182049...	2

Fig. 6. Elenco degli strati utilizzati nella generazione di DEM\_k.

Dunque, la base territoriale è il DSM<sup>73</sup>, opportunamente sostituito da DTM e rilievi a terra laddove idraulicamente incongruo<sup>74</sup>. Ciò, in particolare, significa assumere, in ambito urbano, edifici impermeabili e deflussi concentrati sulle strade, anziché la rimozione degli stessi con adozione di scabrezze "equivalenti"<sup>75</sup>.

La caratterizzazione geometrico-morfologica del dominio di analisi è ulteriormente affinata nella fase di generazione della maglia di calcolo 2-D. A partire dalla generazione di *mesh* a maglie regolari di dimensioni predefinite, vincolata da *breaklines* ove necessarie ad evitare trasposizioni idriche spurie, modifiche puntuali<sup>76</sup> ulteriori si sono rese necessarie soprattutto all'interfaccia 1/2-D e in prossimità delle principali discontinuità per ovviare a persistenti iterazioni di [non] convergenza numerica<sup>77</sup>. Viceversa, le principali connessioni idrauliche ai rilevati (tombini, sottopassi e viadotti) sono stati modellati con oggetti di connessione interna alle aree 2-D [IC].

In Fig. 7 è riportata la immagine complessiva del DEM\_k utilizzato nella analisi di SA<sup>78</sup>, mentre in Fig. 8 alcuni stralci delle aree urbane di Follonica.

<sup>72</sup>Essenzialmente in caso di barriere spurie indotte da dense fasce vegetate.

<sup>73</sup>Es. EC18 utilizza il DTM.

<sup>74</sup>Es. alveo, autoveicoli ingombranti e vegetazione esterna costituente ostruzione fittizia (a tal proposito l'utilizzo dei dati Lidar di 2° impulso generalmente risolve tale problema, ma nel caso specifico tale dato non è disponibile per tutti gli archivi qui utilizzati).

<sup>75</sup>Es.  $n=0.100\div0.500 \text{ s/m}^{1/3}$ ; classici schemi alternativi, ciascuno con specifici pro e contro, dipendenti anche dai corrispondenti criteri di attribuzione della pericolosità di intorno.

<sup>76</sup>In tal senso, le *mesh* di calcolo non sono, in generale, completamente riproducibili in automatico da DEM\_k e *breaklines*.

<sup>77</sup>Per *bugs* e limiti intrinseci del modello di calcolo HEC-Ras v. 6.1.0 si rimanda direttamente alla letteratura specializzata.

<sup>78</sup>Eventuali scenari di progetto [SP] sono demandati al PO e, presumibilmente, dovranno riguardare C.le Mercatone, F.sì Val Querceta, Valle Onesta, Poggetti, Gora&Gorello delle Ferriere e C.le S. Simone.



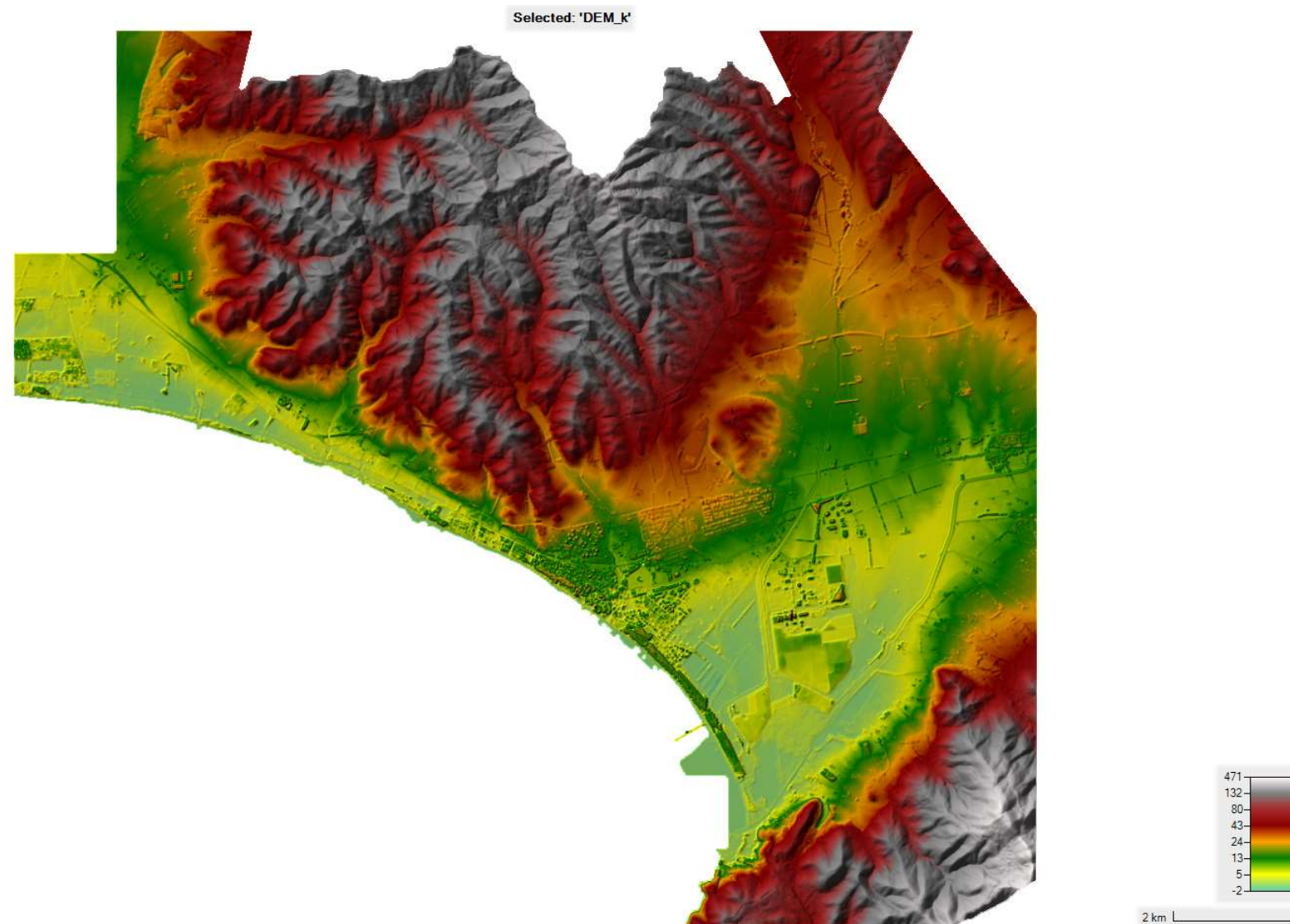


Fig. 7. DEM\_k utilizzato nella modellazione idraulica 2-D di SA. Follonica. **Complessivo.**

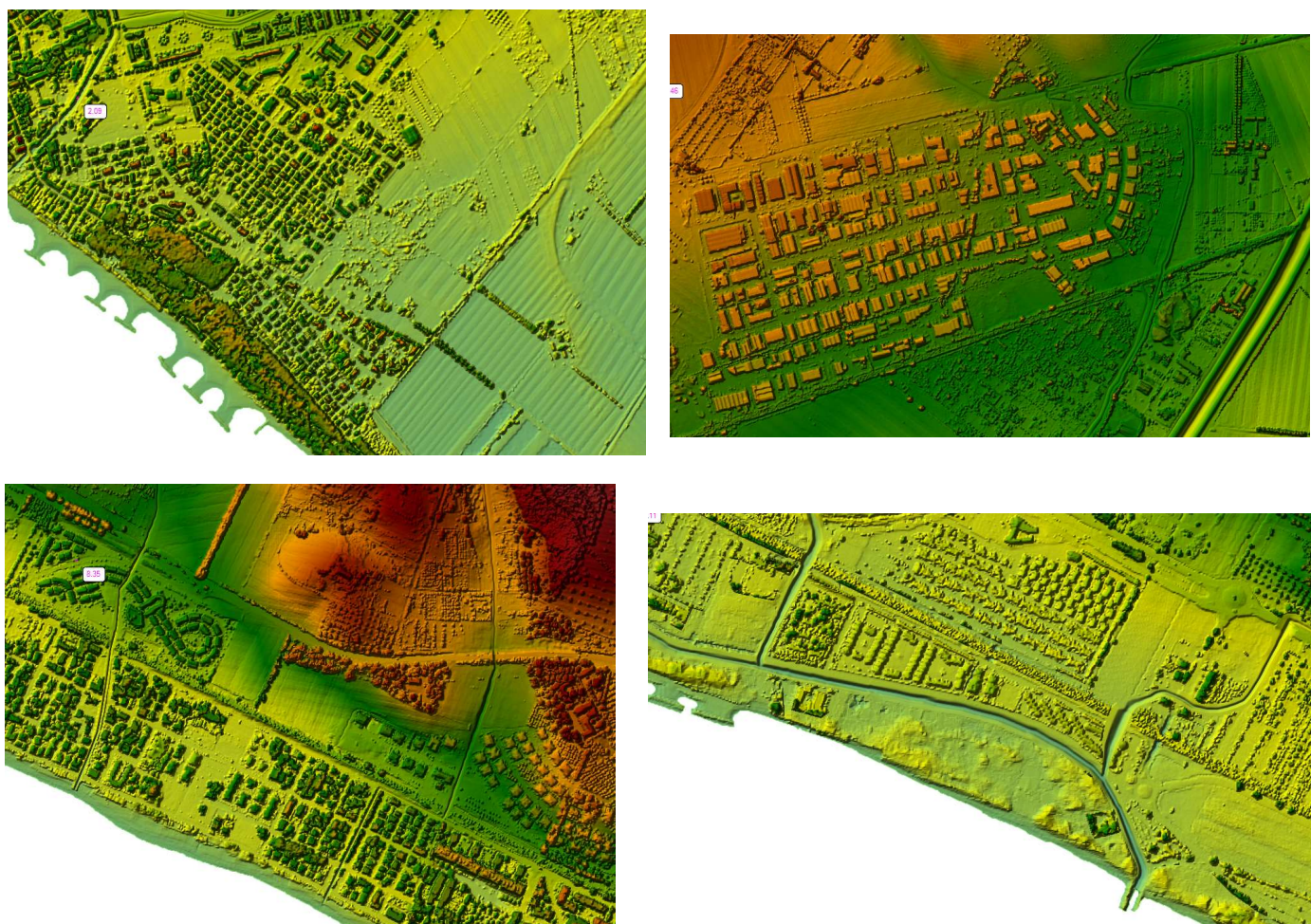


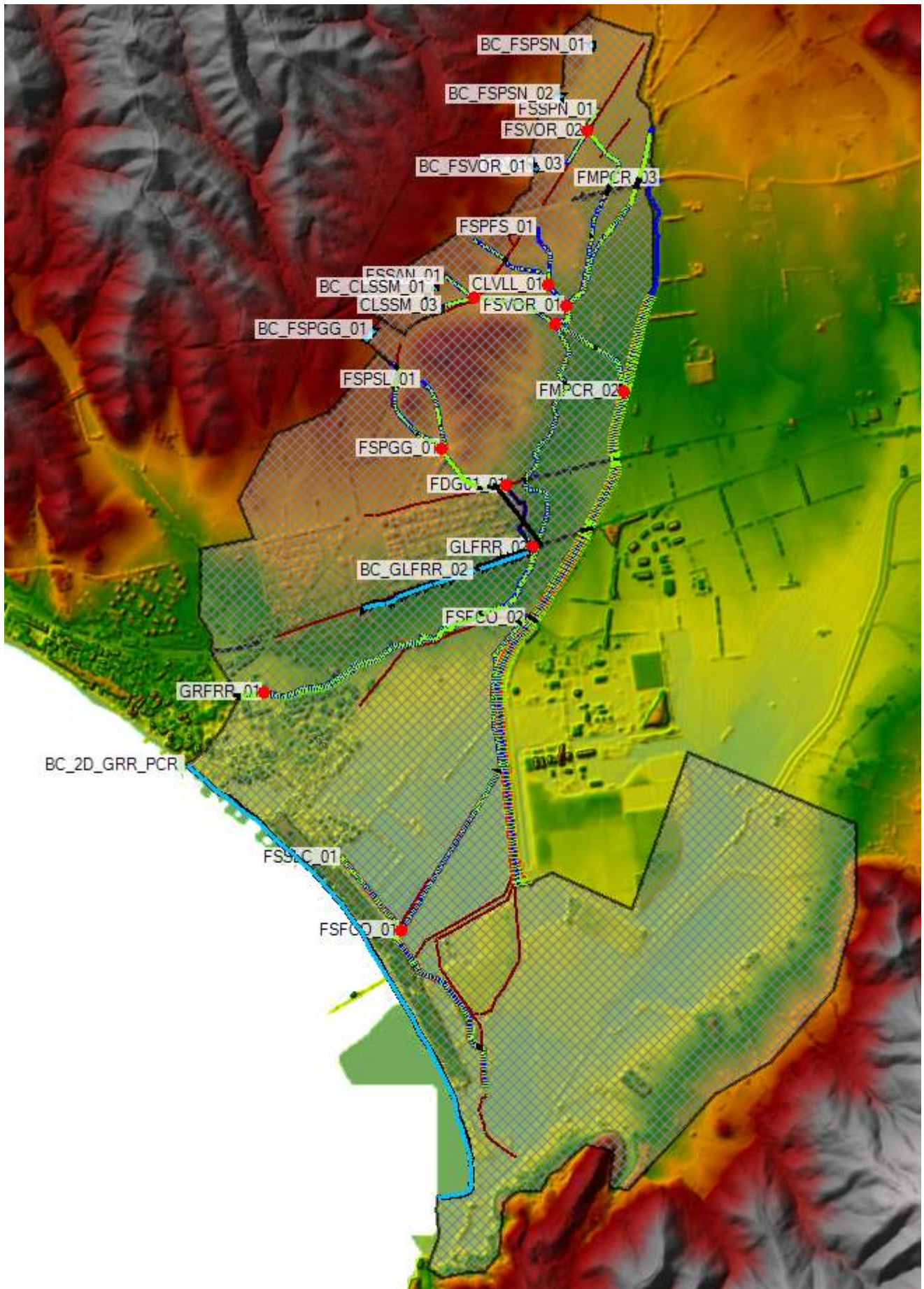
Fig. 8. Modello geometrico DEM\_k utilizzato nella modellazione idraulica 2-D - Stralci **Salciaina, Zona Industriale, Follonica Centro e Pratoranieri**<sup>79</sup>.

Sono state definite n.  $4[FLSE]+2[FLCE]+3[FLNO]=9$  aree 2-D, di maglia base regolare a passo 5 e 10 m, localmente modificate al fine di tenere meglio conto delle discontinuità fisiche di SA (infrastrutture, rilevati, argini, ....) (Fig. 9), riguardanti l'intera area di pertinenza fluviale dei cc.d.a. oggetto di analisi, l'intero territorio comunale di Follonica tra F. Pecora e F.so di Valmaggiora con porzioni ulteriori in Comune di Scarlino e Piombino, i.e.:

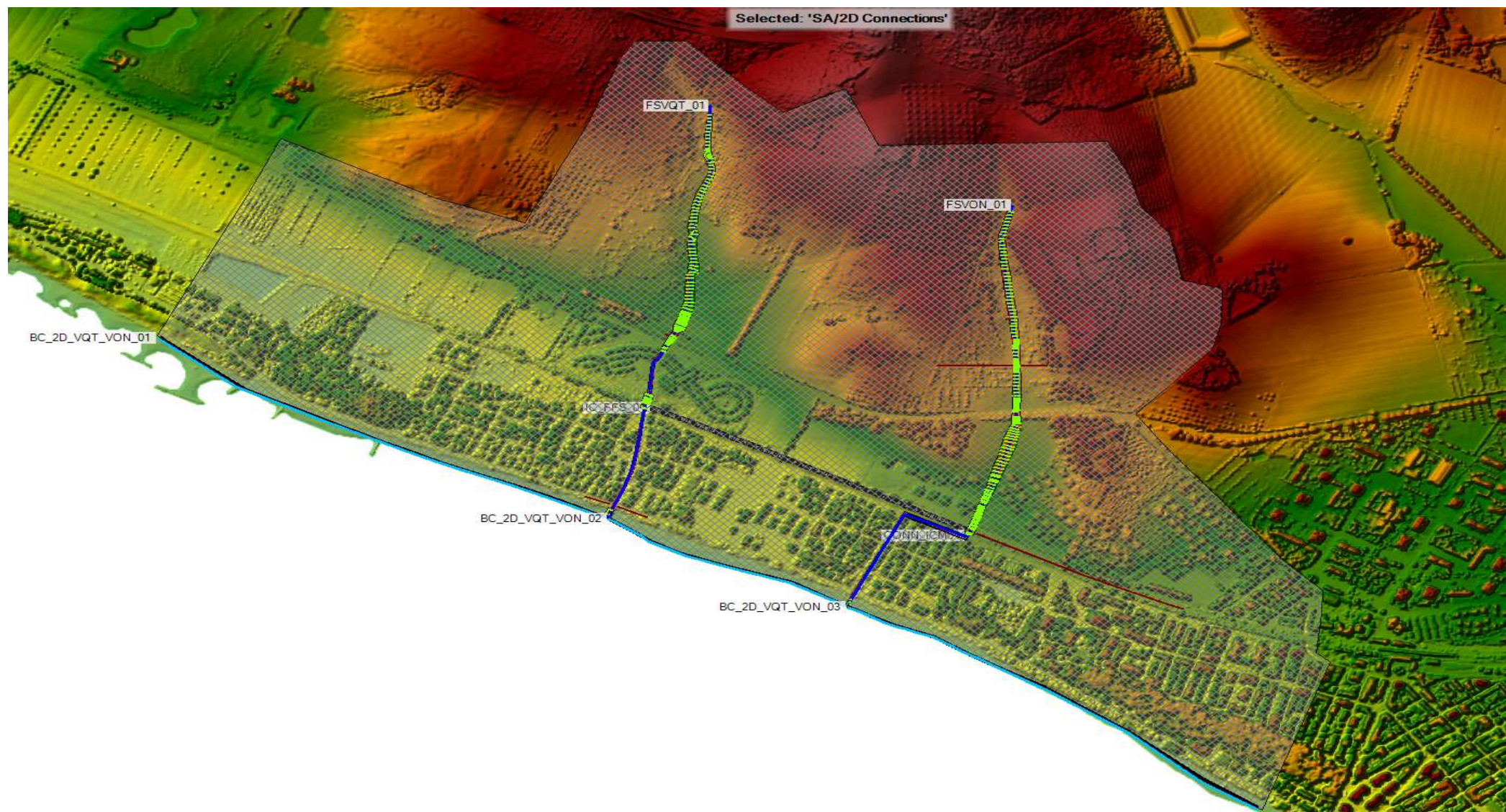
1. 2D\_VOR\_PCR:  $\Delta x=\Delta y=5$  m – tra F.so Valle dell'Orto e F. Pecora [ $1.05 \times 10^5$  celle] (Fig. 10)
2. 2D\_SSM\_GRR:  $\Delta x=\Delta y=5$  m – tra C.le San Simone e Gora delle Ferriere [ $0.63 \times 10^5$  celle]
3. 2D\_PGG\_GRR:  $\Delta x=\Delta y=5$  m – tra F.so Poggetti e Gora delle Ferriere [ $1.61 \times 10^5$  celle]
4. 2D\_GRR\_PCR:  $\Delta x=\Delta y=10$  m – tra Gora delle Ferriere, F. Pecora e mare [ $1.25 \times 10^5$  celle]
5. 2D\_VQT\_VON:  $\Delta x=\Delta y=5$  m – tra F.si Val Querceta e Valle Onesta e mare [ $1.02 \times 10^5$  celle] (Fig. 11)
6. 2D\_VON\_01:  $\Delta x=\Delta y=5$  m – connessione F.so Valle Onesta a valle FFS [ $2 \times 10^1$  celle]
7. 2D\_VMA\_MCT:  $\Delta x=\Delta y=5$  m – tra F.so Valmaggiora e C.le Mercatone [ $1.16 \times 10^5$  celle] (Fig. 12)
8. 2D\_VMA\_CRV:  $\Delta x=\Delta y=10$  m – tra F.so Valmaggiora e C.le Cervia [ $0.20 \times 10^5$  celle]
9. 2D\_CRV\_MAR:  $\Delta x=\Delta y=10$  m – tra C.le Cervia e mare [ $1.5 \times 10^3$  celle]

<sup>79</sup>In questo caso la pineta è stata filtrata.











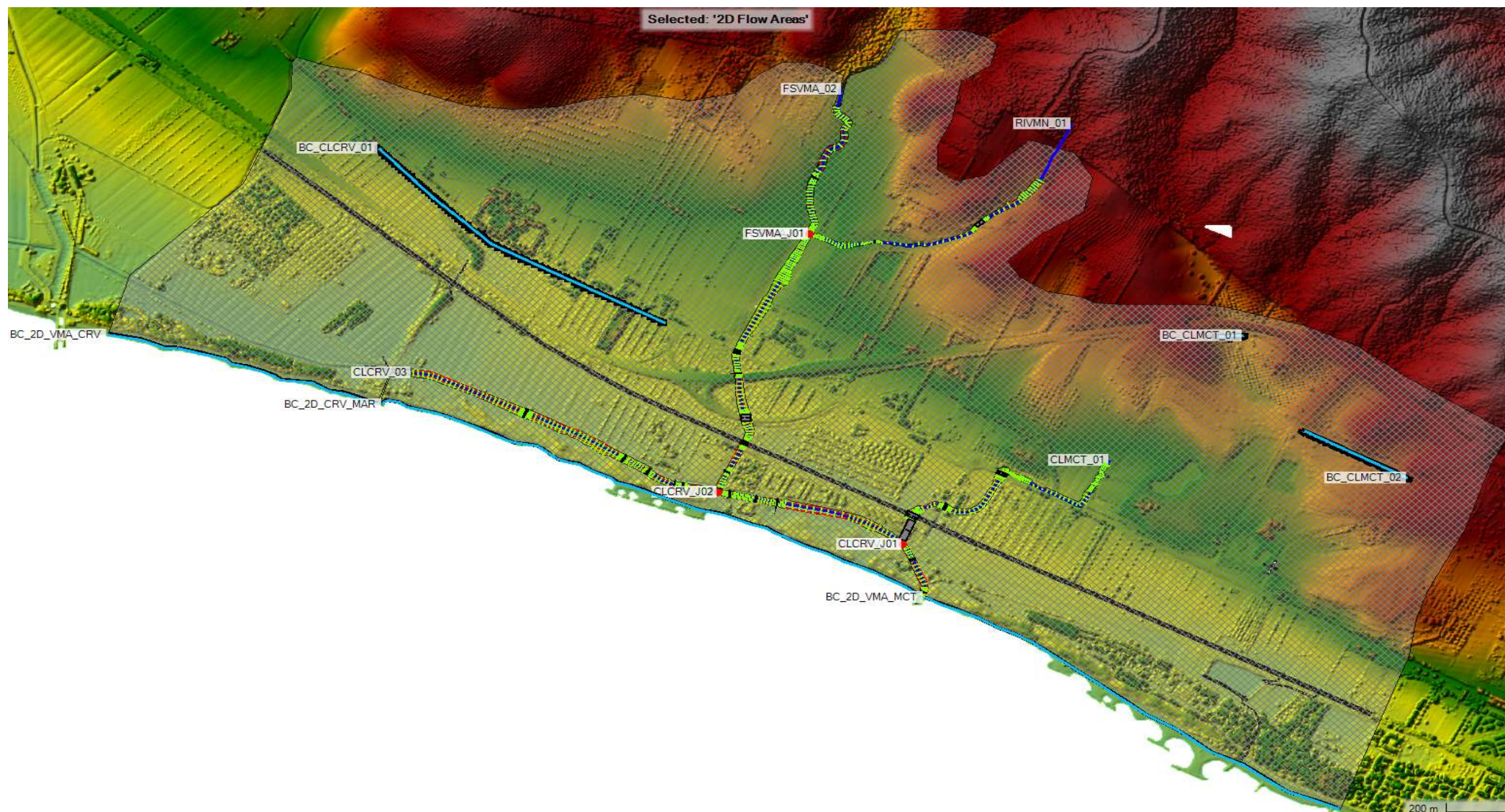
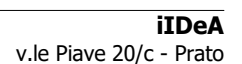
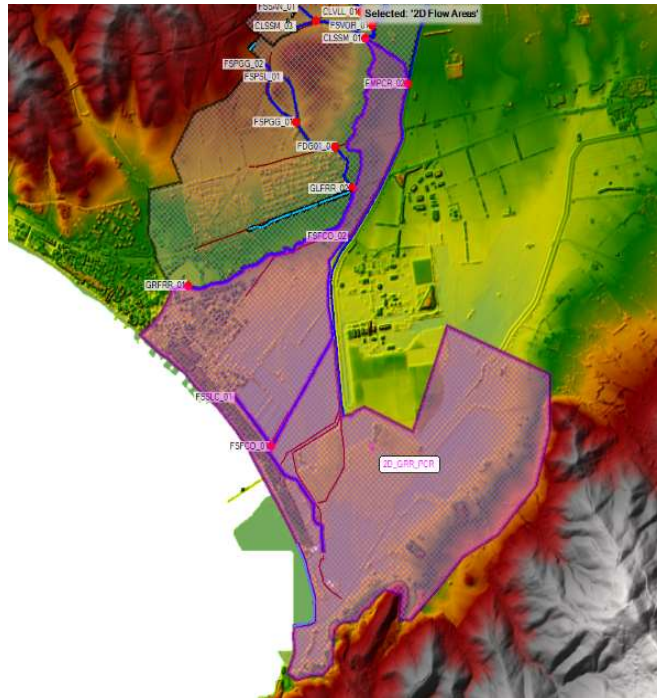


Fig. 9. Schema geometrico complessivo su base DEM\_k utilizzato nella modellazione idraulica 1+2-D di SA. FLSE/CE/NO.









<sup>80</sup>Oggetto di mera connessione.

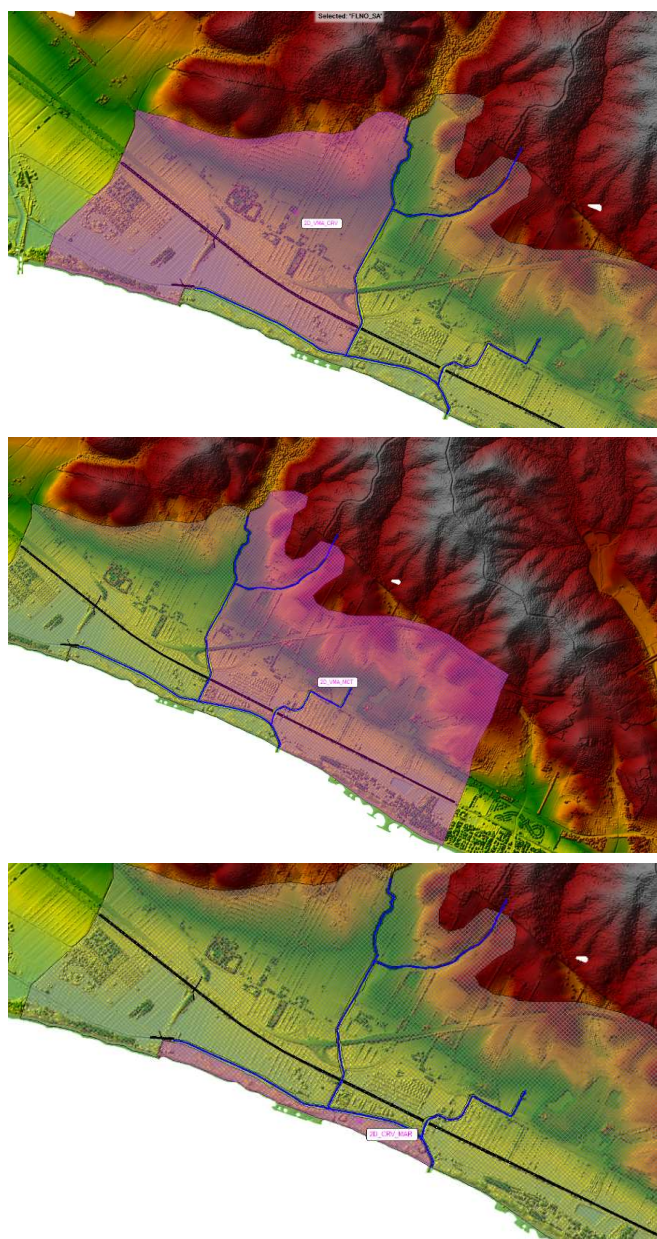


Fig. 12. 2D\_VMA\_CRV, 2D\_VMA\_MCT e 2D\_CRV\_MAR - FLNO.

Il disegno delle aree di deflusso 2-D ha sostanzialmente evitato la necessità di **connessioni** dirette, salvo FLCE ove è stata utilizzato lo sfioratore con coefficiente di stramazzo (parete grossa)  $\mu=0.05$ . Per le numerose connessioni interne [IC con breaklines] si è assunta l'opzione *Normal 2D Equation Domain* nei casi di modesto differenziale di quota e *Weir* con  $\mu=0.11\div 1.71$  altrimenti, conformemente a quanto raccomandato da HEC (Fig. 13) e calibrati sulla specifica dinamica di analisi<sup>81</sup>, normalmente con *Culverts*<sup>82</sup> di *by-pass*. In Fig. 14 sono riportati a titolo esemplificativo i profili di alcune strutture di connessione interna [cod. *std* 2D\_CONN\_### (con eccezioni)].

<sup>81</sup>E' noto che tra le maggiori difficoltà di modellistiche (salvo applicabilità dell'alternativa *Normal 2D Equation Domain*) vi è la coerenza tra il dominio con piena applicazione delle equazioni complete di moto e le strutture singolari con altra legge di deflusso (es. stramazzi, tombini, ...), spesso causa di persistente non convergenza (lungui tempi di calcolo) se non anche di instabilità o inconsistenza (mancato bilancio dei volumi, ...). Il coefficiente di stramazzo è uno dei parametri di maggiore rilevanza ma, essendo invariabile nel tempo, mal si adatta a diverse condizioni di moto che si possono determinare in un'unica simulazione, soprattutto in ambiti di pianura confinati e elevati volumi di esondazione (es. argini con stramazzo libero o rigurgitato alternativamente bi-direzionale). I valori adottati sono, pertanto, in tal senso un compromesso.

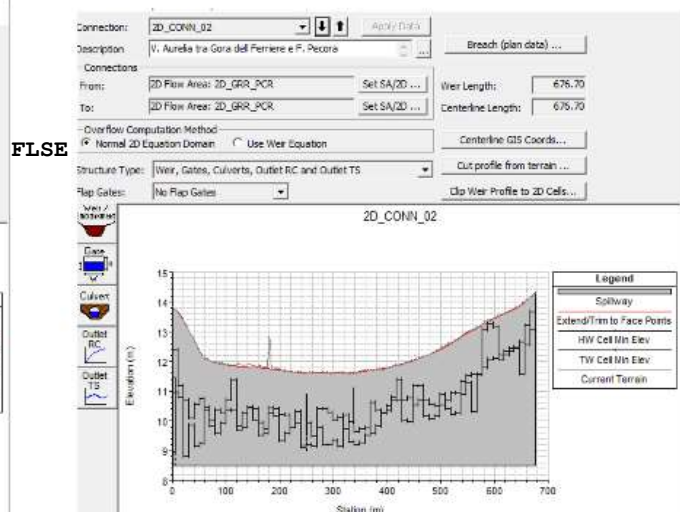
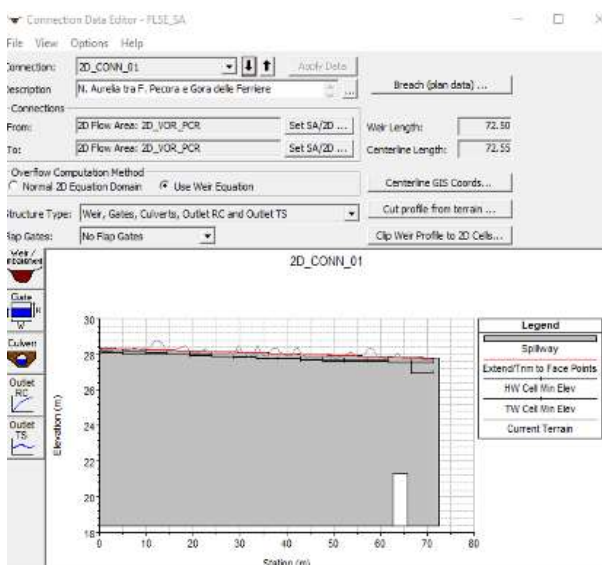
<sup>82</sup>Es. ai rilevati FFS e stradali.

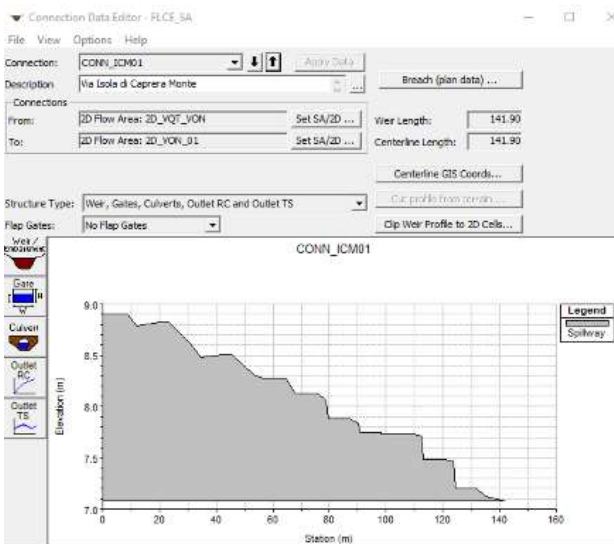
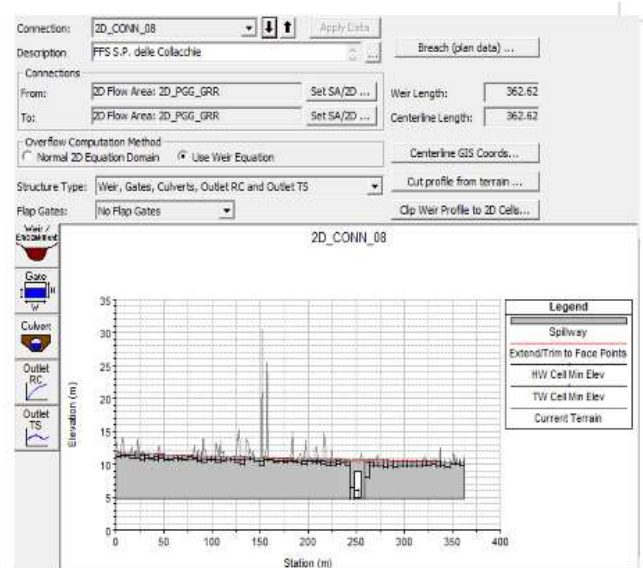
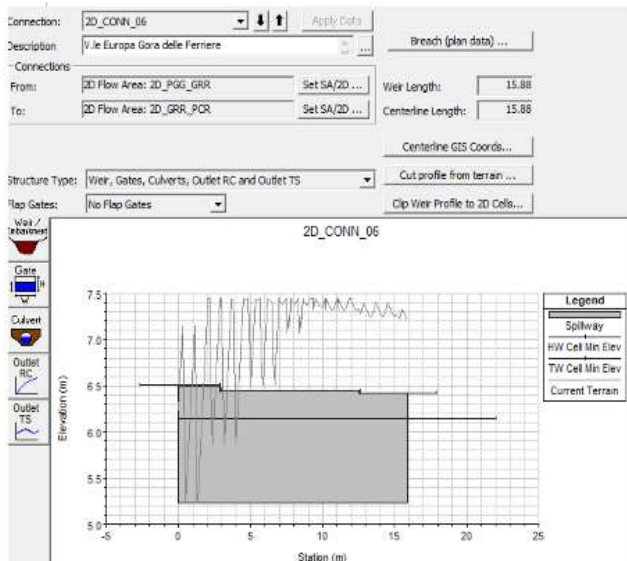


Table 3-1. Lateral Weir Coefficients

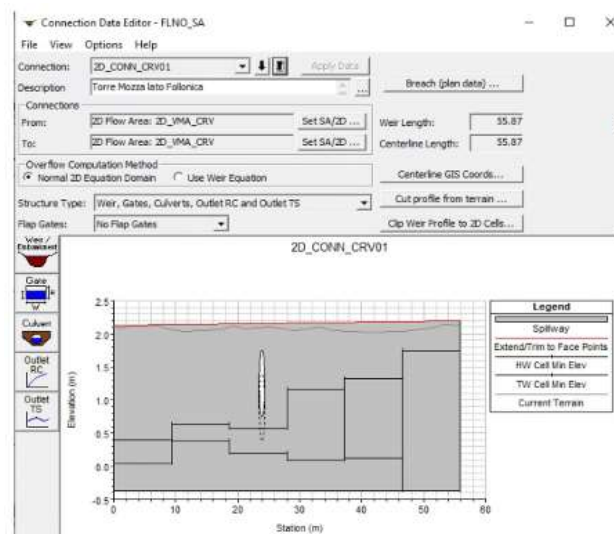
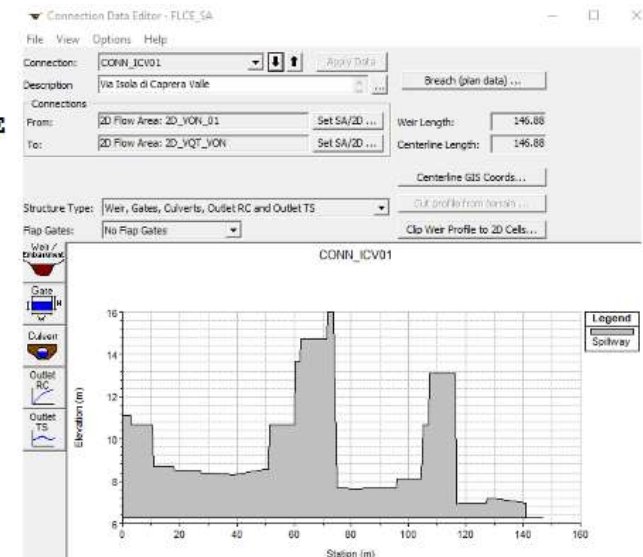
What is being modeled with the Lateral Structure	Description	Range of Weir Coefficients
Levee/Roadway – 3ft or higher above natural ground	Broad crested weir shape, flow over levee/road acts like weir flow	1.5 to 2.6 (2.0 default) SI Units: 0.83 to 1.43
Levee/Roadway – 1 to 3 ft elevated above ground	Broad crested weir shape, flow over levee/road acts like weir flow, but becomes submerged easily.	1.0 to 2.0 SI Units: 0.55 to 1.1
Natural high ground barrier – 1 to 3 ft high	Does not really act like a weir, but water must flow over high ground to get into 2D flow area.	0.5 to 1.0 SI Units: 0.28 to 0.55
Non elevated overbank terrain. Lat Structure not elevated above ground	Overland flow escaping the main river.	0.2 to 0.5 SI Units: 0.11 to 0.28

SA Conn:2D_CONN_01	1.43
SA Conn:2D_CONN_02	1.43
SA Conn:2D_CONN_03	1.43
SA Conn:2D_CONN_04	1.43
SA Conn:2D_CONN_05	1.43
SA Conn:2D_CONN_06	0.28
FLSE SA Conn:2D_CONN_08	1.43
SA Conn:CONN_ICM01	0.05
FLCE SA Conn:CONN_ICV01	0.05
SA Conn:2D_CONN_ACQ01	1.11
SA Conn:2D_CONN_CRV01	1.71
SA Conn:2D_CONN_CRV02	1.71
SA Conn:2D_CONN_FFS01	1.71
SA Conn:2D_CONN_FFS02	1.71
SA Conn:2D_CONN_FFS03	1.71
FLNO SA Conn:2D_CONN_GOLF01	0.11

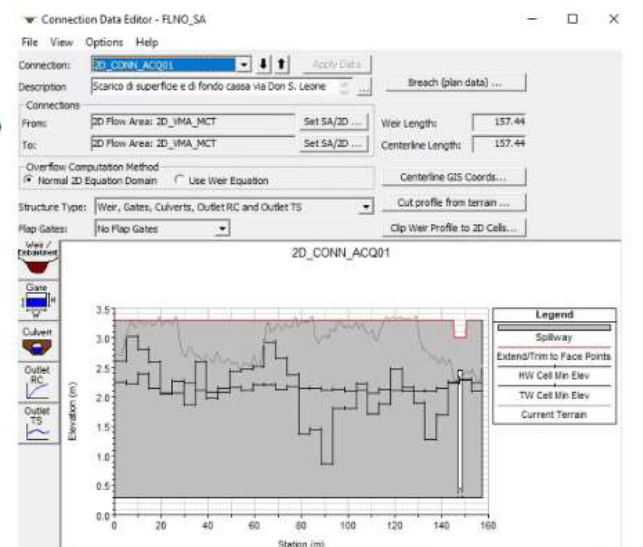
Fig. 13. Coefficienti di stramazzo 2D\_CONN - Valori consigliati HEC [Tab. 3.1 di 2D Modeling User's Manual, 2021] e adottati<sup>83</sup>.

<sup>83</sup> Inutilizzati con l'opzione Normal 2D Equation Domain attiva.



FLCE



FLNO





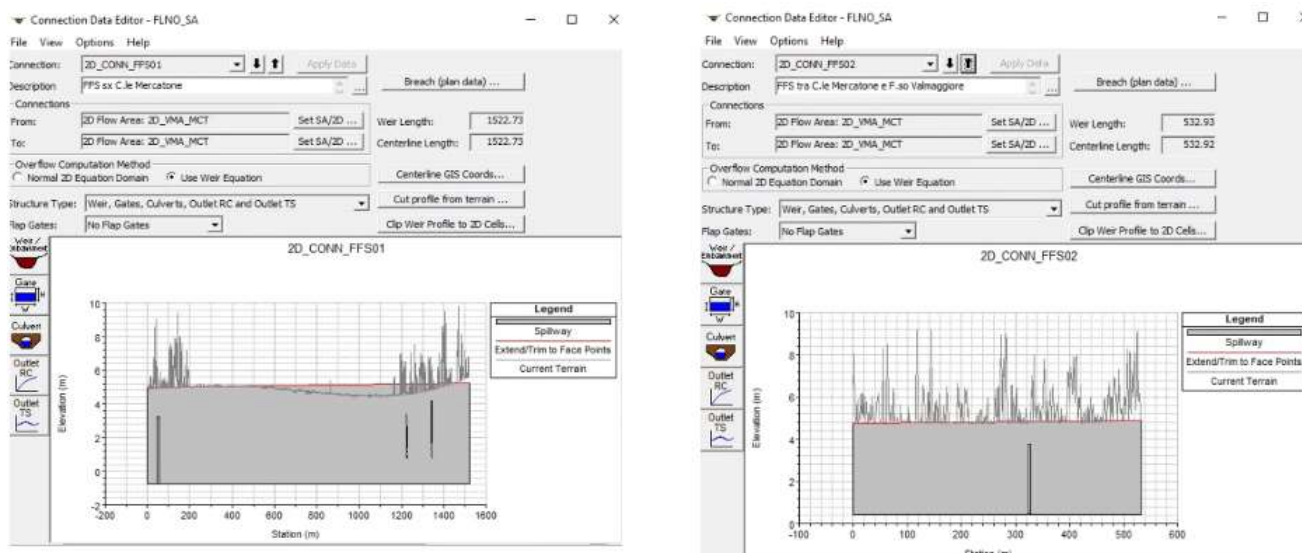


Fig. 14. 2D\_CONN - Esempi.

Per le numerose **connessioni** 1/2-D (alveo-aree bidimensionali)  $\mu=0.11\div0.28$  ove sponda in continuità con il p.c. e  $\mu=0.55\div1.43$ , in presenza di arginature o assimilabili (Fig. 15). In generale, i valori di  $\mu$  sono stati determinati sulla base delle citate indicazioni HEC, ma definite dalle condizioni di stabilità numerica e minimizzazione dell'errore di continuità. Ove affidabilmente stabile -nel caso specifico, nella stragrande maggioranza dei casi-, si è adottata l'opzione alternativa *Normal 2D Equation Domain*. Le  $L_S$  sono poste in prossimità delle *bank stations* o ai limiti estremi di sezione, a seconda della morfologia locale e in funzione della maggiore efficienza numerica.

Summary of the weir/gated structures			
	Location	Overflow Weir Coef	
1	CLSSM CLSSM_03 1758.9 LS	0.11	
2	CLSSM CLSSM_03 1758.8 LS	0.11	
3	CLSSM CLSSM_02 1531.1 LS	0.11	
4	CLSSM CLSSM_02 1531.0 LS	0.11	
5	CLSSM CLSSM_02 1482.4 LS	0.11	
6	CLSSM CLSSM_02 1482.3 LS	0.11	
7	CLSSM CLSSM_02 1146.5 LS	0.11	
8	CLSSM CLSSM_02 1146.4 LS	0.11	
9	CLSSM CLSSM_01 842.2 LS	0.11	
10	CLSSM CLSSM_01 829.2 LS	0.28	
11	CLSSM CLSSM_01 829.1 LS	0.28	
12	CLSSM CLSSM_01 463.7 LS	0.55	
13	CLSSM CLSSM_01 463.6 LS	0.28	
14	CLSSM CLSSM_01 70.5 LS	0.05	
15	CLSSM CLSSM_01 70.4 LS	0.28	
16	CLVLL CLVLL_02 916.4 LS	0.11	
17	CLVLL CLVLL_02 916.3 LS	0.11	
18	CLVLL CLVLL_02 617.9 LS	0.11	
19	CLVLL CLVLL_02 617.8 LS	0.11	
20	CLVLL CLVLL_01 213.8 LS	0.11	
21	CLVLL CLVLL_01 213.7 LS	0.11	
22	FMPCR FMPCR_03 7677.5 LS	1.43	
23	FMPCR FMPCR_03 7677.4 LS	1.43	
24	FMPCR FMPCR_03 7324.3 LS	1.43	
25	FMPCR FMPCR_03 7324.2 LS	1.43	
26	FMPCR FMPCR_03 6926.2 LS	0.11	
27	FMPCR FMPCR_02 6895.3 LS	1.43	
28	FMPCR FMPCR_02 6895.2 LS	1.43	
29	FMPCR FMPCR_02 6550.5 LS	1.43	
30	FMPCR FMPCR_02 6550.4 LS	1.43	
31	FMPCR FMPCR_02 6349.1 LS	1.43	
32	FMPCR FMPCR_02 6349.0 LS	1.43	
33	FMPCR FMPCR_02 6006.9 LS	1.43	
34	FMPCR FMPCR_02 6006.8 LS	1.43	
35	FMPCR FMPCR_02 5741.1 LS	1.43	
36	FMPCR FMPCR_02 5741.0 LS	1.43	
37	FMPCR FMPCR_02 5339.7 LS	1.43	
38	FMPCR FMPCR_02 5339.6 LS	1.43	
39	FMPCR FMPCR_02 4913.8 LS	1.43	
40	FMPCR FMPCR_02 4913.7 LS	1.43	
41	FMPCR FMPCR_02 4470.6 LS	1.43	
42	FMPCR FMPCR_02 4470.5 LS	1.43	
43	FMPCR FMPCR_02 4013.9 LS	1.43	
44	FMPCR FMPCR_02 4013.8 LS	1.43	
45	FMPCR FMPCR_02 3650.0 LS	1.43	

FLSE

46	FMPCR FMPCR_02 3649.9 LS	1.43
47	FMPCR FMPCR_02 3215.3 LS	1.43
48	FMPCR FMPCR_02 3215.2 LS	1.43
49	FSFCO FSFCO_02 5108.6 LS	1.1
50	FSFCO FSFCO_02 5108.5 LS	1.1
51	FSFCO FSFCO_02 5064.0 LS	1.1
52	FSFCO FSFCO_02 5063.9 LS	1.1
53	FSFCO FSFCO_02 4758.6 LS	1.1
54	FSFCO FSFCO_02 4349.8 LS	1.1
55	FSFCO FSFCO_02 3994.6 LS	0.55
56	FSFCO FSFCO_02 3826.3 LS	1.1
57	FSFCO FSFCO_02 3826.2 LS	0.55
58	FSFCO FSFCO_02 3428.2 LS	0.55
59	FSFCO FSFCO_02 3428.1 LS	1.1
60	FSFCO FSFCO_02 3023.6 LS	0.55
61	FSFCO FSFCO_02 3023.5 LS	1.1
62	FSFCO FSFCO_02 2628.8 LS	0.55
63	FSFCO FSFCO_02 2628.7 LS	1.1
64	FSFCO FSFCO_01 2353.0 LS	0.55
65	FSFCO FSFCO_01 2352.9 LS	1.1
66	FSFCO FSFCO_01 1952.8 LS	0.55
67	FSFCO FSFCO_01 1952.7 LS	1.1
68	FSFCO FSFCO_01 1541.7 LS	0.83
69	FSFCO FSFCO_01 1541.6 LS	0.55
70	FSFCO FSFCO_01 1133.3 LS	0.83
71	FSFCO FSFCO_01 1133.2 LS	0.55
72	FSPGG FSPGG_01 307.5 LS	0.11
73	FSPGG FSPGG_01 307.4 LS	0.11
74	FSPGG FSPGG_02 2155.0 LS	0.11
75	FSPGG FSPGG_02 2154.9 LS	0.11
76	FSPGG FSPGG_02 2108.0 LS	0.28
77	FSPGG FSPGG_02 2107.9 LS	0.28
78	FSPGG FSPGG_02 1759.3 LS	0.28
79	FSPGG FSPGG_02 1759.2 LS	0.28
80	FSPGG FSPGG_02 1520.0 LS	0.28
81	FSPGG FSPGG_02 1519.9 LS	0.28
82	FSPGG FSPGG_01 1295.8 LS	0.28
83	FSPGG FSPGG_01 1295.7 LS	0.28
84	FSPGG FSPGG_01 836.8 LS	0.28
85	FSPGG FSPGG_01 836.7 LS	0.28
86	FSPGG FSPGG_01 761.8 LS	0.28
87	FSPGG FSPGG_01 761.7 LS	0.28
88	FSPGG FSPGG_01 718.2 LS	0.28
89	FSPGG FSPGG_01 718.1 LS	0.28
90	FSPGG FSPGG_01 688.9 LS	0.28

91	FSPGG	FSPGG_01	688.8 LS	0.28
92	FSPGG	FSPGG_00	629.8 LS	0.55
93	FSPGG	FSPGG_00	629.7 LS	0.55
94	FSPGG	FSPGG_00	27.9 LS	0.05
95	FSPGG	FSPGG_00	27.8 LS	0.05
96	FSPSL	FSPSL_01	529.5 LS	0.28
97	FSPSL	FSPSL_01	529.4 LS	0.28
98	FSPSL	FSPSL_01	193.1 LS	0.28
99	FSPSL	FSPSL_01	193.0 LS	0.28
100	FSSAN	FSSAN_01	270.8 LS	0.11
101	FSSAN	FSSAN_01	270.7 LS	0.11
102	FSSAN	FSSAN_01	101.6 LS	0.11
103	FSSAN	FSSAN_01	101.5 LS	0.11
104	FSSLC	FSSLC_01	735.5 LS	1.43
105	FSSLC	FSSLC_01	735.4 LS	1.1
106	FSSLC	FSSLC_01	383.3 LS	1.43
107	FSSLC	FSSLC_01	383.2 LS	1.1
108	FSSPN	FSSPN_01	191.4 LS	0.05
109	FSSPN	FSSPN_01	191.3 LS	0.05
110	FSSPN	FSSPN_01	2.4 IS	1.44
111	FSVOR	FSVOR_03	2115.2 LS	0.11
112	FSVOR	FSVOR_03	2115.1 LS	0.11
113	FSVOR	FSVOR_03	1835.0 IS	1.44
114	FSVOR	FSVOR_02	1815.6 LS	0.11
115	FSVOR	FSVOR_02	1815.5 LS	0.11
116	FSVOR	FSVOR_02	1500.3 LS	0.11
117	FSVOR	FSVOR_02	1500.2 LS	0.11
118	FSVOR	FSVOR_02	1205.4 LS	0.11
119	FSVOR	FSVOR_02	1205.3 LS	0.11
120	FSVOR	FSVOR_02	843.4 LS	0.11
121	FSVOR	FSVOR_02	843.3 LS	0.11
122	FSVOR	FSVOR_02	539.4 LS	0.11
123	FSVOR	FSVOR_02	539.3 LS	0.11
124	FSVOR	FSVOR_02	386.3 LS	0.11
125	FSVOR	FSVOR_01	244.4 LS	0.11
126	GLFRR	GLFRR_02	2730.7 LS	0.05
127	GLFRR	GLFRR_02	2730.6 LS	0.05
128	GLFRR	GLFRR_01	2709.4 LS	0.11
129	GLFRR	GLFRR_01	2709.3 LS	0.11
130	GLFRR	GLFRR_01	2686.1 LS	0.28
131	GLFRR	GLFRR_01	2686.0 LS	0.28
132	GLFRR	GLFRR_01	2489.2 LS	0.28
133	GLFRR	GLFRR_01	2176.6 LS	0.28
134	GLFRR	GLFRR_01	1939.6 LS	0.28
135	GLFRR	GLFRR_01	1538.6 LS	0.28

Location				Overflow Weir Coef
136	GLFRR	GLFRR_01	1133.4 LS	0.28
137	GLFRR	GLFRR_01	727.0 LS	0.28
138	GLFRR	GLFRR_01	312.2 LS	0.28
139	GRFRR	GRFRR_02	6809.9 LS	1.1
140	GRFRR	GRFRR_02	6809.8 LS	1.1
141	GRFRR	GRFRR_02	6376.0 LS	1.1
142	GRFRR	GRFRR_02	6375.9 LS	1.1
143	GRFRR	GRFRR_02	6367.9 LS	1.1
144	GRFRR	GRFRR_02	6363.0 LS	1.1
145	GRFRR	GRFRR_02	5886.4 LS	1.1
146	GRFRR	GRFRR_02	5886.3 LS	1.1
147	GRFRR	GRFRR_02	5421.8 LS	1.43
148	GRFRR	GRFRR_02	5421.7 LS	1.43
149	GRFRR	GRFRR_02	5023.4 LS	1.43
150	GRFRR	GRFRR_02	5018.3 LS	1.43
151	GRFRR	GRFRR_02	4681.0 LS	1.43
152	GRFRR	GRFRR_02	4680.9 LS	1.43
153	GRFRR	GRFRR_02	4489.3 LS	1.43
154	GRFRR	GRFRR_02	4489.2 LS	1.43
155	GRFRR	GRFRR_02	4135.2 LS	1.43
156	GRFRR	GRFRR_02	4135.1 LS	1.43
157	GRFRR	GRFRR_02	3792.5 LS	1.43
158	GRFRR	GRFRR_02	3792.4 LS	1.43
159	GRFRR	GRFRR_02	3590.1 LS	1.43
160	GRFRR	GRFRR_02	3590.0 LS	1.43
161	GRFRR	GRFRR_02	3229.5 LS	1.43
162	GRFRR	GRFRR_02	3229.4 LS	1.43
163	GRFRR	GRFRR_02	2928.2 LS	1.43
164	GRFRR	GRFRR_02	2928.1 LS	1.43
165	GRFRR	GRFRR_02	2726.8 LS	1.43
166	GRFRR	GRFRR_02	2726.7 LS	1.43
167	GRFRR	GRFRR_02	2381.0 LS	1.43
168	GRFRR	GRFRR_02	2380.9 LS	1.43
169	GRFRR	GRFRR_02	1981.9 LS	1.43
170	GRFRR	GRFRR_02	1981.8 LS	1.43
171	GRFRR	GRFRR_02	1685.4 LS	1.43
172	GRFRR	GRFRR_02	1685.3 LS	1.43
173	GRFRR	GRFRR_02	1281.9 LS	1.43
174	GRFRR	GRFRR_02	1281.8 LS	1.43
175	GRFRR	GRFRR_02	872.2 LS	1.43
176	GRFRR	GRFRR_02	872.1 LS	1.43
177	GRFRR	GRFRR_02	454.3 LS	1.43
178	GRFRR	GRFRR_02	454.2 LS	1.43
179	GRFRR	GRFRR_01	230.3 LS	1.43
180	GRFRR	GRFRR_01	230.2 LS	0.28

Location				Overflow Weir Coef
1	FSVON	FSVON_01	1347.4 LS	0.28
2	FSVON	FSVON_01	1347.3 LS	0.28
3	FSVON	FSVON_01	1042.6 LS	0.28
4	FSVON	FSVON_01	1042.5 LS	0.28
5	FSVON	FSVON_01	913.4 LS	0.28
6	FSVON	FSVON_01	913.3 LS	0.28
7	FSVON	FSVON_01	773.2 LS	0.28
8	FSVON	FSVON_01	773.1 LS	0.28
9	FSVON	FSVON_01	596.1 IS	1.71
10	FSVON	FSVON_01	595.1 LS	0.28
11	FSVON	FSVON_01	595.0 LS	0.28
12	FSVON	FSVON_01	512.8 LS	0.28
13	FSVON	FSVON_01	512.7 LS	0.28
14	FSVON	FSVON_01	434.0 LS	0.28
15	FSVON	FSVON_01	433.9 LS	0.28
16	FSVQT	FSVQT_01	1146.2 LS	0.11
17	FSVQT	FSVQT_01	1146.1 LS	0.11
18	FSVQT	FSVQT_01	844.7 LS	0.11
19	FSVQT	FSVQT_01	844.6 LS	0.11
20	FSVQT	FSVQT_01	520.8 LS	0.11
21	FSVQT	FSVQT_01	520.7 LS	0.11
22	FSVQT	FSVQT_01	512.8 LS	0.11
23	FSVQT	FSVQT_01	512.7 LS	0.11
24	FSVQT	FSVQT_01	482.7 LS	0.11
25	FSVQT	FSVQT_01	482.6 LS	0.11
26	FSVQT	FSVQT_01	472.7 LS	0.11
27	FSVQT	FSVQT_01	472.6 LS	0.11
28	FSVQT	FSVQT_01	347.1 LS	0.28
29	FSVQT	FSVQT_01	347.0 LS	0.28
30	FSVQT	FSVQT_01	338.1 LS	0.28
31	FSVQT	FSVQT_01	338.0 LS	0.28
32	FSVQT	FSVQT_01	330.6 LS	0.28
33	FSVQT	FSVQT_01	330.5 LS	0.28
34	FSVQT	FSVQT_01	309.3 LS	0.28
35	FSVQT	FSVQT_01	309.2 LS	0.28

FLCE



Summary of the weir/gated structures			
Location		Overflow Weir Coef	
1	CLCRV CLCRV_03 1805.5 LS		1.11
2	CLCRV CLCRV_03 1805.4 LS		0.55
3	CLCRV CLCRV_03 1435.1 LS		1.11
4	CLCRV CLCRV_03 1435.0 LS		0.55
5	CLCRV CLCRV_03 1097.5 LS		0.55
6	CLCRV CLCRV_03 1097.4 LS		0.55
7	CLCRV CLCRV_03 1014.2 LS		0.55
8	CLCRV CLCRV_03 1014.1 LS		1.11
9	CLCRV CLCRV_03 925.1 LS		0.55
10	CLCRV CLCRV_03 925.0 LS		0.55
11	CLCRV CLCRV_03 896.5 LS		1.11
12	CLCRV CLCRV_03 896.4 LS		0.55
13	CLCRV CLCRV_03 808.1 LS		0.55
14	CLCRV CLCRV_03 808.0 LS		0.55
15	CLCRV CLCRV_02 788.0 LS		0.55
16	CLCRV CLCRV_02 787.9 LS		0.28
17	CLCRV CLCRV_02 751.5 LS		0.28
18	CLCRV CLCRV_02 751.4 LS		0.55
19	CLCRV CLCRV_02 674.0 LS		0.55
20	CLCRV CLCRV_02 673.9 LS		0.28
21	CLCRV CLCRV_02 607.2 LS		0.55
22	CLCRV CLCRV_02 607.1 LS		0.11
23	CLCRV CLCRV_01 194.4 LS		0.55
24	CLCRV CLCRV_01 194.3 LS		0.11
25	CLCRV CLCRV_01 132.8 LS		0.55
26	CLCRV CLCRV_01 132.7 LS		0.11
27	CLCRV CLCRV_01 11.8 LS		0.55
28	CLCRV CLCRV_01 11.7 LS		0.28

29	CLMCT CLMCT_01 903.1 LS		0.28
30	CLMCT CLMCT_01 903.0 LS		0.28
31	CLMCT CLMCT_01 725.0 LS		0.28
32	CLMCT CLMCT_01 724.9 LS		0.11
33	CLMCT CLMCT_01 456.0 LS		0.28
34	CLMCT CLMCT_01 455.9 LS		0.28
35	CLMCT CLMCT_01 210.2 LS		0.28
36	CLMCT CLMCT_01 210.1 LS		0.28
37	CLMCT CLMCT_01 96.9 LS		0.28
38	CLMCT CLMCT_01 96.8 LS		0.55
39	FSVMA FSVMA_02 1470.5 LS		0.28
40	FSVMA FSVMA_02 1470.4 LS		0.28
41	FSVMA FSVMA_01 976.7 LS		0.28
42	FSVMA FSVMA_01 976.6 LS		0.28
43	FSVMA FSVMA_01 507.3 LS		0.28
44	FSVMA FSVMA_01 507.2 LS		0.28
45	FSVMA FSVMA_01 436.8 LS		0.28
46	FSVMA FSVMA_01 436.7 LS		0.28
47	FSVMA FSVMA_01 267.8 LS		0.28
48	FSVMA FSVMA_01 267.7 LS		0.28
49	FSVMA FSVMA_01 182.2 LS		0.28
50	FSVMA FSVMA_01 182.1 LS		0.28
51	FSVMA FSVMA_01 74.6 LS		0.28
52	FSVMA FSVMA_01 74.5 LS		0.28
53	RIVMN RIVMN_01 780.9 LS		0.28
54	RIVMN RIVMN_01 780.8 LS		0.28
55	RIVMN RIVMN_01 530.2 LS		0.28
56	RIVMN RIVMN_01 530.1 LS		0.28
57	RIVMN RIVMN_01 204.2 LS		0.28
58	RIVMN RIVMN_01 204.1 LS		0.28

Fig. 15. Coefficienti di stramazzo degli sfioratori di connessione 1/2-D adottati<sup>84</sup>.

La **scabrezza in alveo**, dato lo schema numerico interamente 1+2-D e Full Momentum, assunte *bank stations* di piene rive, considerate dimensioni e modalità di gestione dei corsi d'acqua e viste le assunzioni nei lavori precedenti<sup>85</sup>, viene per semplicità ricondotta a valori unici indipendenti dalla portata e limitati all'intervallo  $0.025 \div 0.040 \text{ s/m}^{1/3}$ , con prevalenza di  $0.025 \div 0.035 \text{ s/m}^{1/3}$  in ambito urbano e periurbano. Solo ove significativo (es. sezioni parzialmente rivestite in c.a., diversa manutenzione ordinaria alveo/sponde) sono state differenziate le scabrezze di *thalweg* da quelle spondali, altrimenti assumendo scabrezza unica per l'alveo inciso. Per chiarezza rappresentativa e flessibilità di modellazione le sezioni 1-D sono mantenute estese oltre le *bank sts*, assumendo per le aree esterne (*over banks*) costantemente  $0.06 \text{ s/m}^{1/3}$ . In particolare (alveo):

CLSSM:  $0.040 \div 0.035 \text{ s/m}^{1/3}$  CLVLL:  $0.040 \text{ s/m}^{1/3}$  FMPCR:  $0.033 \text{ s/m}^{1/3}$  FSFCO:  $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$   
 FSPFS:  $0.040 \text{ s/m}^{1/3}$  FSPGG:  $0.040 \text{ s/m}^{1/3}$  FSPSL:  $0.040 \text{ s/m}^{1/3}$  FSSAN:  $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$   
 FSSPN:  $0.040 \div 0.030 \text{ s/m}^{1/3}$  FSSLC:  $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$  FSVOR:  $0.040 \text{ s/m}^{1/3}$  GLFRR:  $0.040 \text{ s/m}^{1/3}$   
 GRFRR:  $0.040 \div 0.035 \text{ s/m}^{1/3}$   
 FSVON:  $0.040 \text{ s/m}^{1/3}$  FSVQT:  $0.040 \text{ s/m}^{1/3}$   
 CLCRV:  $0.040 \div 0.030 \text{ s/m}^{1/3}$  CLCMT:  $0.040 \text{ s/m}^{1/3}$  FSVMA:  $0.040 \text{ s/m}^{1/3}$  RIVNM:  $0.040 \text{ s/m}^{1/3}$

Per i tombini, i valori assunti dipendono sia dal materiale sia dallo stato manutentivo rilevato<sup>86</sup> e sono normalmente ricompresi nell'intervallo  $0.022 \div 0.030 \text{ s/m}^{1/3}$ .

Per quanto riguarda la scabrezza delle **aree 2-D**, è stata assunta una mappa a valori variabili, funzione delle classi di uso del suolo derivate dalla più recente copertura disponibile a livello regionale<sup>87</sup>. Si sono distinte le seguenti classi fondamentali, relative a [Manning,  $\text{s/m}^{1/3}$ ] (Fig. 16):

- edificato urbano e extraurbano  $\rightarrow n=0.100$
- verde urbano *et sim.*  $\rightarrow n=0.050$
- strade pavimentate *et sim.*  $\rightarrow n=0.025$
- aree agricole non boscate *et sim.*  $\rightarrow n=0.060$
- aree boscate *et sim.*  $\rightarrow n=0.100$ .

Ponti e tombini sono stati classicamente modellati secondo le opzioni *Energy (Low Flow)* e *Pressure*<sup>88</sup> and/or *Weir (High Flow)* e *Highest U.S. EG* a seconda della effettiva configurazione idraulica.

<sup>84</sup>In massima parte inutilizzati (opzione *Normal 2D Equation Domain*).

<sup>85</sup> $0.020 \div 0.033 \text{ s/m}^{1/3}$  in 4C02 per F. Pecora, Gora delle Ferriere, F.so Petraia e F.so Fico;  $0.032 \div 0.035 \text{ s/m}^{1/3}$  in EC18 per F. Pecora,  $0.033 \text{ s/m}^{1/3}$  in GF19 per Gora delle Ferriere e aff.;  $0.022 \div 0.035 \text{ s/m}^{1/3}$  in PT18 per il F.so Petraia;  $0.030 \text{ s/m}^{1/3}$  in RU11 per F.si Valmaggiora, Val Querceta, Valle Onesta, Poggetti, C.li Mercatone e Cervia;  $0.035 \div 0.040 \text{ s/m}^{1/3}$  in PSI21 per C.le Cervia e F.so Valmaggiora.

<sup>86</sup>Spesso determinante la modellazione con una frazione di luce occlusa (dai depositi).

<sup>87</sup>La medesima utilizzata per i CN.

<sup>88</sup>Sui livelli energetici.

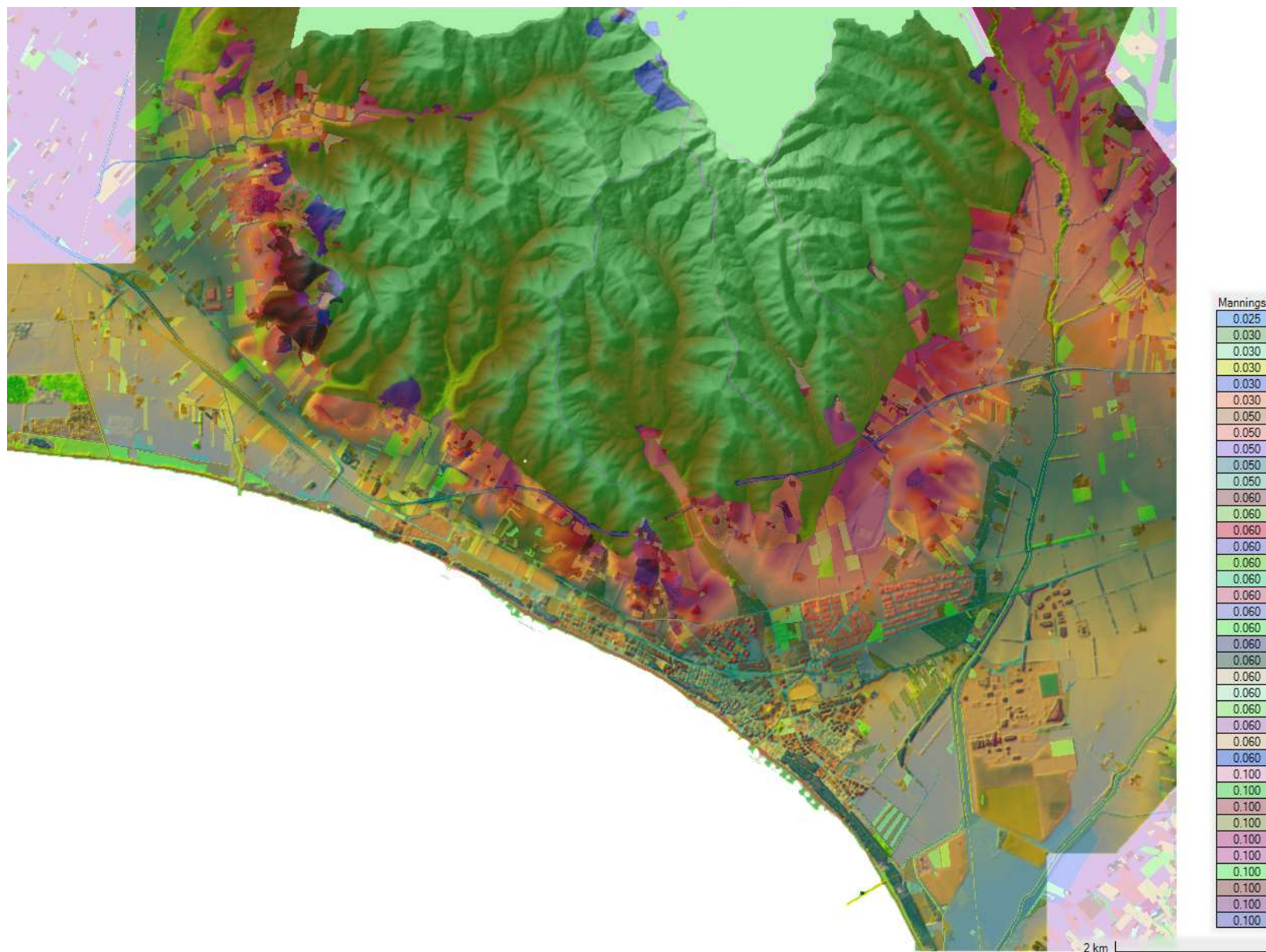


Fig. 16. *Mappa delle scabrezze di territorio aperto modellato 2-D - Follonica.*



Tab. 1. Valori guida adottati del coefficiente di scabrezza secondo Manning. Alveo inciso.

CARATTERISTICHE DEL CORSO D'ACQUA		$n$ [s/m <sup>1/3</sup> ]
Assetto morfologico	Assetto ambientale	
Canale artificiale in calcestruzzo	ghiaia e ciottoli sul fondo	<b>0.025</b>
Canale artificiale in muratura di pietra	ghiaia e ciottoli sul fondo	0.030
Canale artificiale in terra a sezione regolare	vegetazione assente	<b>0.030</b>
Canale artificiale in terra a sezione regolare	vegetazione bassa	0.035
Canale artificiale in terra a sezione regolare	erbacee e arbusti non tagliati	<b>0.040</b>
Canale artificiale in terra a sezione regolare	arbusti non tagliati e vegetazione arborea	<b>0.045</b>
Alveo semi-naturale in ghiaia a sezione irregolare per mobilità del fondo	ciottoli ed erbacee	0.040
Alveo largo naturale in ghiaia e sabbia a sezione irregolare per mobilità del fondo	arbusti non tagliati e vegetazione arborea	0.050
Alveo stretto semi-naturale in ghiaia e sabbia a sezione irregolare per mobilità del fondo	arbusti non tagliati e vegetazione arborea ad alta densità	0.080

In definitiva, il modello geometrico di calcolo 1+2-D:

- **FLSE** comprende 27.8 km di reticolo idrografico, n. 2.150 sezioni in alveo tra rilevate e ricostruite, n. 32 ponti/tombini, n. 4 aree 2-D (20.8 km<sup>2</sup>, 4.55x10<sup>5</sup> celle), n. 7 connessioni in/tra aree 2-D e n. 180 sfioratori laterali di connessione alveo 1-D-aree 2-D
- **FLCE** comprende 2.5 km di reticolo idrografico, n. 300 sezioni in alveo tra rilevate e ricostruite, n. 14 ponti/tombini, n. 1[+1] aree 2-D (2.6 km<sup>2</sup>, 1.02x10<sup>5</sup> celle), n. 2 connessioni in/tra aree 2-D e n. 35 sfioratori laterali di connessione alveo 1-D-aree 2-D
- **FLNO** comprende 5.0 km di reticolo idrografico, n. 550 sezioni in alveo tra rilevate e ricostruite, n. 24 ponti/tombini, n. 4 aree 2-D (5.1 km<sup>2</sup>, 2.86x10<sup>5</sup> celle), n. 7 connessioni in/tra aree 2-D e n. 58 sfioratori laterali di connessione alveo 1-D-aree 2-D.

### 1.3.3 CONDIZIONI INIZIALI E AL CONTERNO

Quali condizioni al contorno [BC] in FLSE/CE/NO -per ciascuna durata di precipitazione- sono stati imposti nei cc.d.a., a monte, gli idrogrammi di portata di piena, isoprobabili e isocroni, e a valle gli idrogrammi di livello in caso sia di confluenza in altro c.d.a. (Gora delle Ferriere nel F.so Petraia) sia di sbocco a mare (tutti gli altri). Nel primo caso<sup>89</sup> si è fatto riferimento alla modellazione PT18 (Fig. 17), acquisendone i maxWS<sub>30/200</sub>; i corrispondenti idrogrammi di livello (al variare anche delle durate di pioggia) sono stati quindi derivati assumendo la medesima forma di quelli di portata ottenuti dalla modellazione idrologica iIDeA<sub>21</sub><sup>90</sup>.

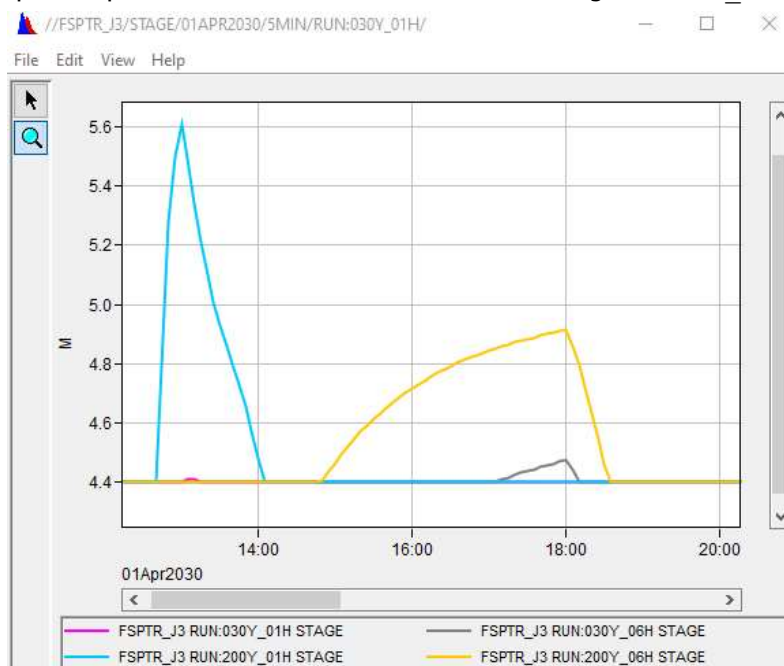


Fig. 17. Condizioni al contorno di valle della Gora delle Ferriere - 030/200Y - 01/06H [maxWS da PT18, RS .....].

<sup>89</sup> F.so Petraia qui non ri-mmodellato idraulicamente.

<sup>90</sup> 4.4 m s.l.m. = valore minimo di stabilità numerica, ca. pari alla quota di sbocco della GRFR (deflussi non condizionati da FSPTR).

Gli idrogrammi di livello al mare (Fig. 18 e Fig. 22), in mancanza di dati ufficiali, sono stati schematicamente assunti di forma lineare con  $\min WS_{30/200} = +0.5/1.0 \text{ m}$  e  $\max WS_{30/200} = +1.0/1.5 \text{ m}$  costante a partire dalle 2 h di simulazione (in Fig. 23, a confronto, le soggiacenze ai livelli +1.0 e + 3.0 m s.l.m., assunte nei precedenti lavori; cfr. anche § 3); i tratti di applicazione comprendono l'intera costa compresa nella modellazione.

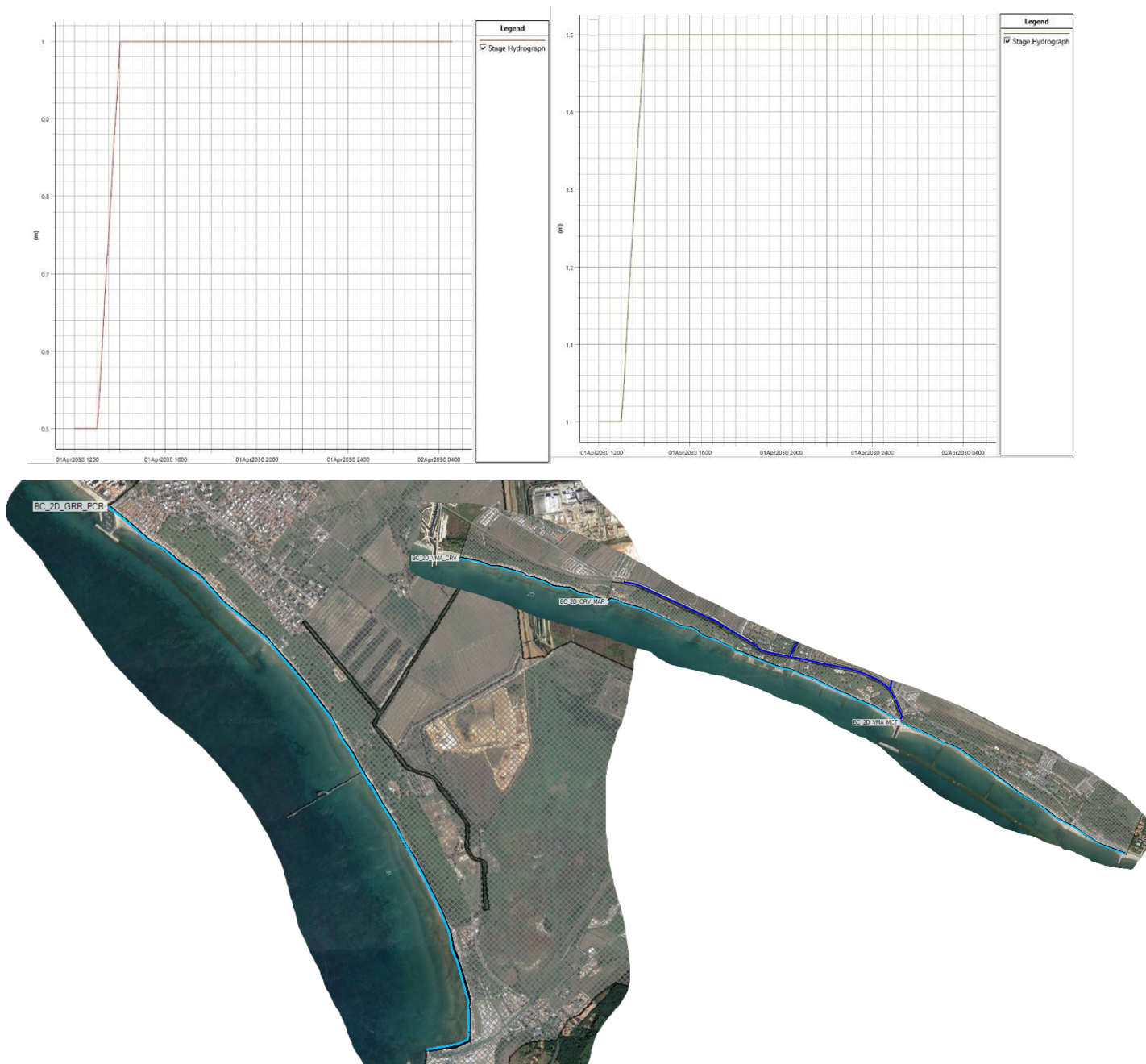


Fig. 18. Condizioni al contorno agli sbocchi a mare - 030/200Y - 01/02/06H [ $\max WS$  da PT18, RS .....]. In basso il tratto di applicazione in FLSE/NO (in celeste).



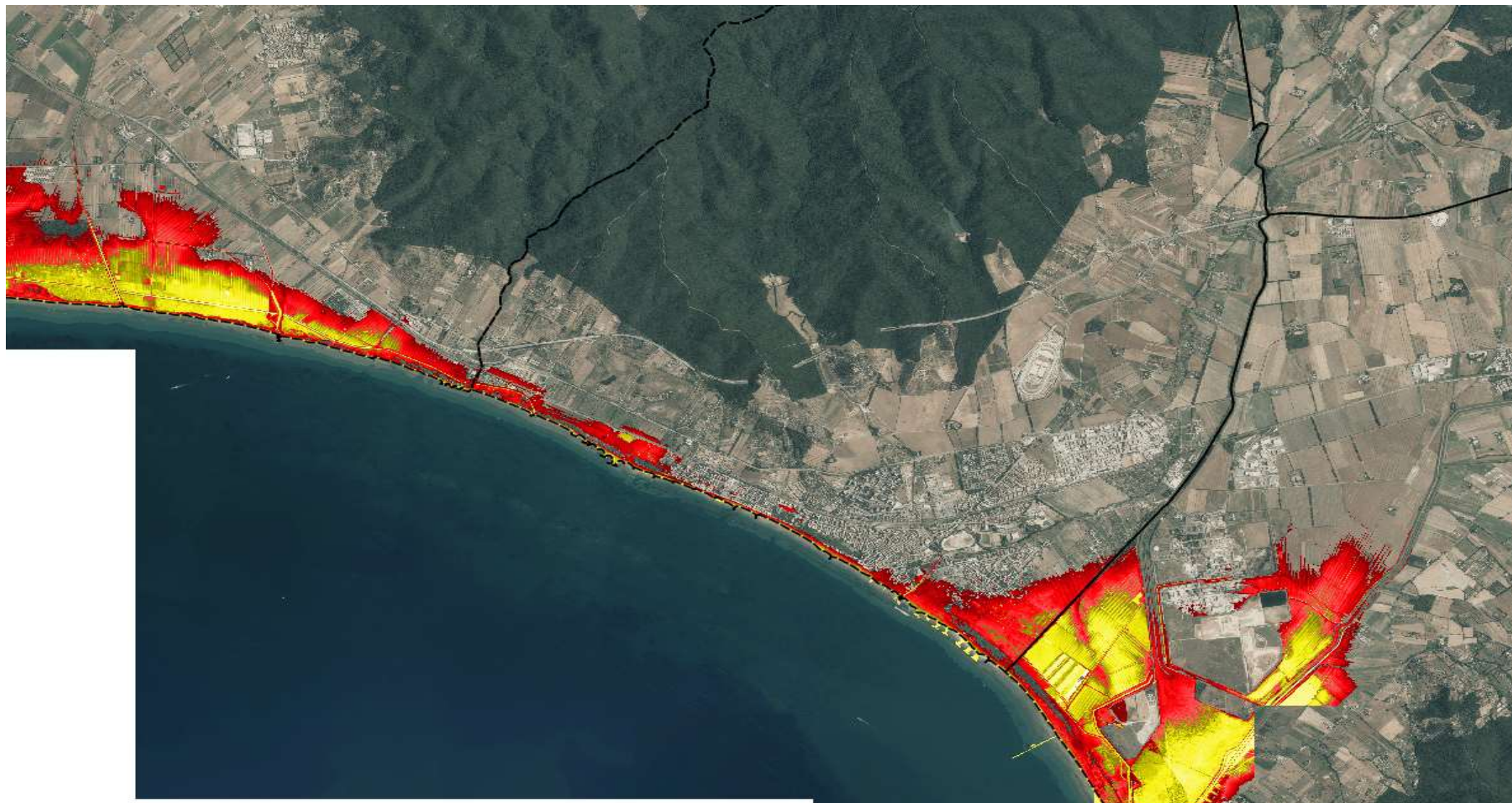
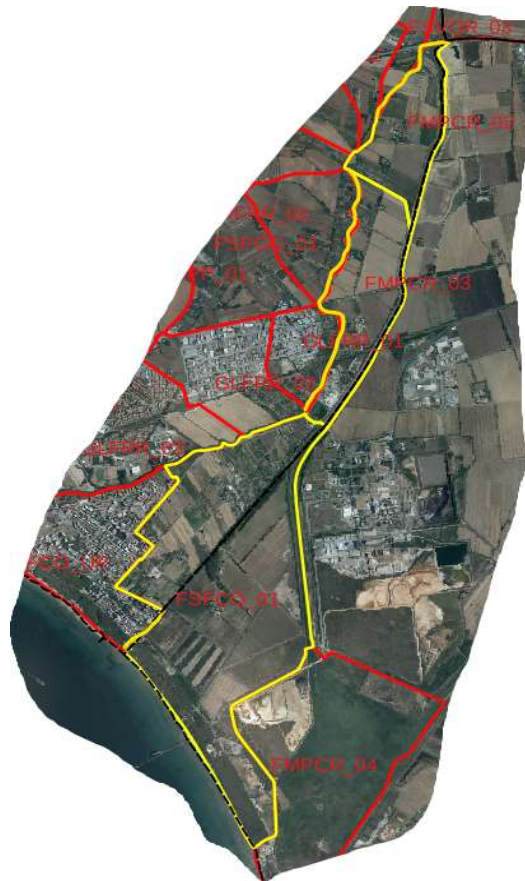


Fig. 19. Aree soggiacenti quote +1.0 m (giallo) e +3.0 m (rosso) [da MATTM\_08].

In generale, gli afflussi laterali sono stati modellati<sup>91</sup> come idrogrammi uniformemente distribuiti per i c.d. interbacini di acque basse in tutto o parte urbani recapitanti su reticolo a cielo aperto (es. ZI su Gorello delle Ferriere); nei casi di aree ricomprese integralmente nel dominio di modellazione distribuita 2-D e di carattere interamente agricolo sono state, invece, direttamente applicate le piogge lorde con decurtazione delle perdite secondo il medesimo metodo SCS-CN già applicato per l'approccio A-D sintetico, ovvero  $\{CN_{III}, \beta=0.2 \text{ e } k_{inf,min}=2 \text{ mm/h}\}$  (Fig. 20); per l'interbacino potenzialmente afferente il C.le Cervia a Torre Mozza (CLCRV\_01) si è cautelativamente<sup>92</sup> applicato l'intero idrogramma di calcolo a monte della E80. I contributi delle aree interamente urbane con fognature connesse a tratti tombati (es. a valle FFS in F.s. Valle Onesta e Querceta, C.le Mercatone, ...) sono stati trascurati.

In alcuni casi, le BC interne alle aree 2-D sono state utilizzate anche per dare maggiore verosimiglianza alle sollecitazioni idrologiche sul territorio, distribuendo aliquote dell'idrogramma teorico sugli impluvi poco a monte (anziché interamente alla prima sezione di modellazione 1-D)<sup>93</sup>. In Fig. 21 e Fig. 22 ne sono riportati elenco, caratteristiche e tracce. Per il C.le Mercatone, ciò è dovuto anche all'attuale rimaneggiamento con obliterazione parziale del reticolo idrografico (*Campo da Golf*).



<sup>91</sup>Corrispondentemente allo schema modellistico idrologico e alla opportunità idraulica.

<sup>92</sup>In tal caso, la connessione idraulica del bacino a monte della E80 (Comune di Piombino) al C.le Cervia lato Follonica è totalmente condizionata dall'unico *by-pass* infrastrutturale esistente.

<sup>93</sup>Ferma restando l'applicazione complessiva dell'intera sollecitazione idrologica teorica.

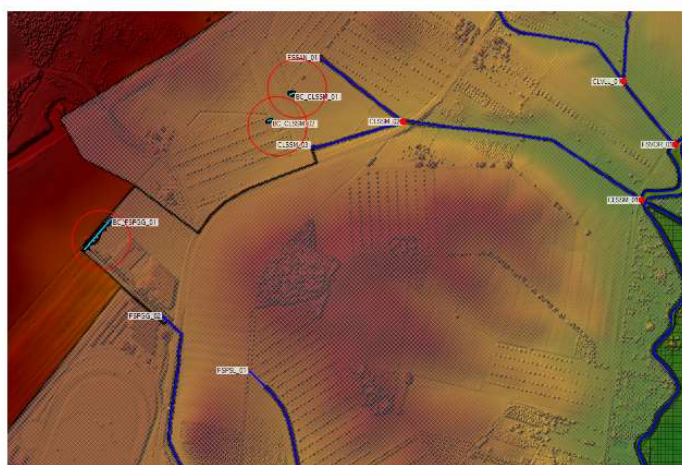
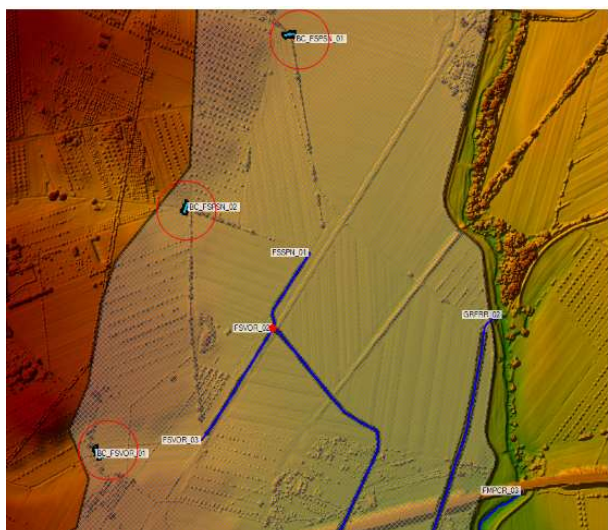




Fig. 20. Aree con sollecitazione meteorica direttamente applicata in 2-D (FLSE sopra e FLNO sotto).

1	BC_FSPSN_02	2D_VOR_PCR	Internal	30% FSSPM_01
2	BC_FSPSN_01	2D_VOR_PCR	Internal	40% FSSPN_01
3	BC_FSVOR_01	2D_VOR_PCR	Internal	50% FSVOR_01
4	BC_FSPGG_01	2D_SSM_GRR	Internal	10% FSPGG_01
5	BC_CLSSM_01	2D_VOR_PCR	Internal	30% CLSSM_01
6	BC_CLSSM_02	2D_VOR_PCR	Internal	10% CLSSM_01
7	BC_GLFRR_02	2D_PGG_GRR	Internal	50% GLFRR_02
8	BC_GLFRR_01	2D_PGG_GRR	Internal	100% GLFRR_01
9	BC_GLFRR_03	2D_PGG_GRR	Internal	50% GLFRR_03
3	BC_CLMCT_01	2D_VMA_MCT	Internal	40% CLCMT_01
4	BC_CLCRV_01	2D_VMA_CRV	Internal	40% FSSPN_01
5	BC_CLMCT_02	2D_VMA_MCT	Internal	10% CLCMT_01

Fig. 21. Elenco delle BC di monte per le aree 2-D (FLSE sopra e FLNO sotto).





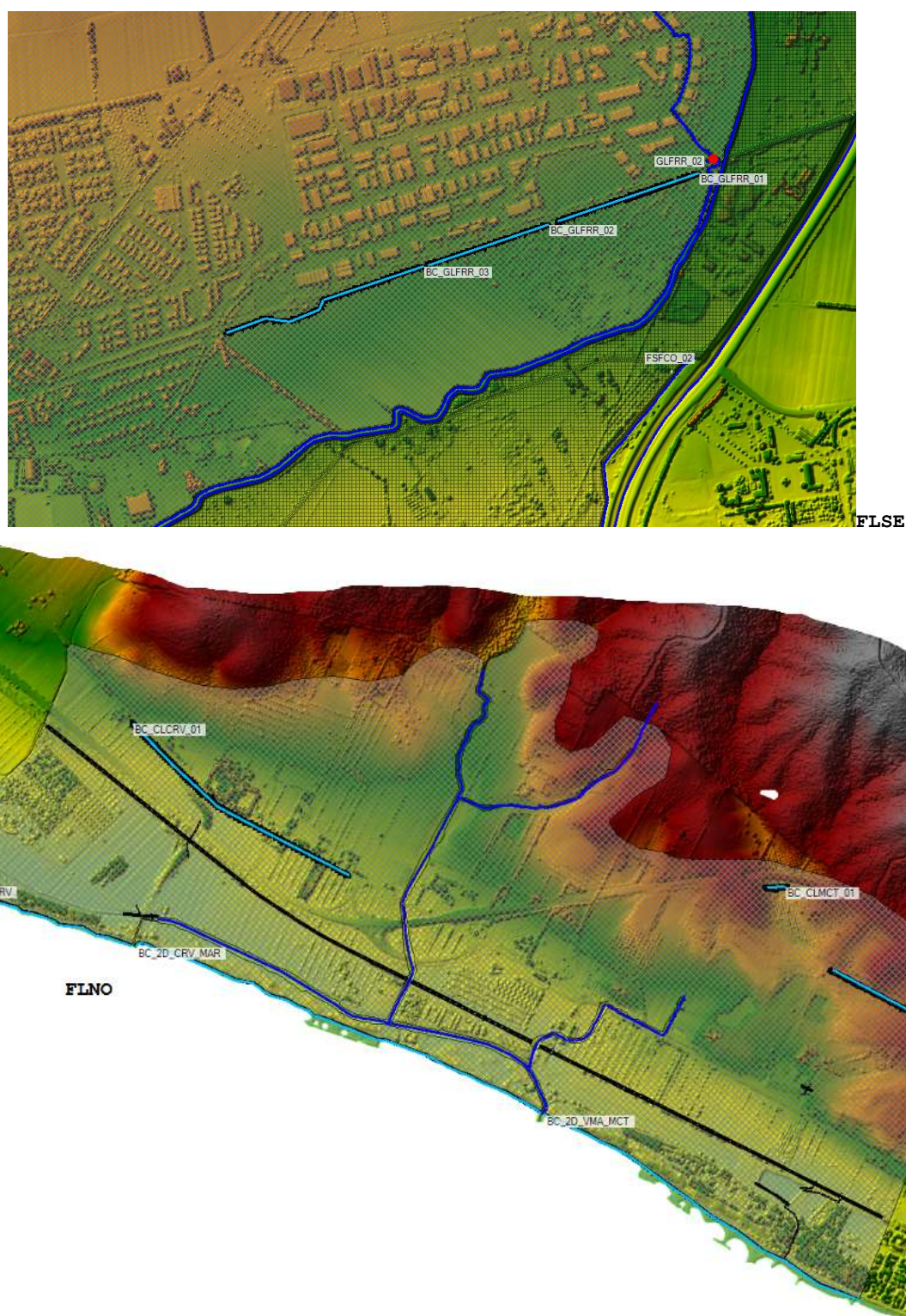


Fig. 22. BC 2-D: idrogrammi di portata a monte e di livello (mare) a valle (FLSE sopra e FLNO sotto).

Nessuna ulteriore specifica condizione iniziale è stata assegnata sia nel dominio 1-D che 2-D, assumendo per quest'ultime lo stato asciutto<sup>94</sup>.

In Tab. 2 e Fig. 23-Fig. 25 sono riportate le caratteristiche idrologiche e topologiche essenziali degli afflussi in ingresso ai sistemi idrografici modellati, mentre per quanto riguarda gli ulteriori dettagli sugli idrogrammi si rimanda alla Parte 1A e/o ai modelli HEC. Per il F.so Salciaina, sostanzialmente privo di un proprio bacino afferente a gravità, sono stati assunti idrogrammi cautelativamente corrispondenti allo SP dei sollevamenti

<sup>94</sup>Salvo l'area costiera soggiacente il livello iniziale posto per il mare.



meccanici a servizio della rete fognaria desumibile dalla documentazione di cui al p. 6 del § 1.2. della Parte 1A.

Tab. 2. *Anagrafica degli afflussi 1-D ai sistemi idraulici FLSE/CE/NO [Foc\_Id=codice HMS foce di calcolo idrologico<sup>95</sup>; RS=codice sezione; Tipo=inflow (I)/uniform lateral flow (L)].*

<b>Foc_Id</b>	<b>Asta_Idr</b>	<b>Cod_Tratto</b>	<b>Tipo</b>	<b>RS</b>	<b>Note</b>
<b>FLSE</b>					
FMPCR_D1 <sup>96</sup>	FMPCR	FMPCR_03	I	7677.3	F. Pecora a valle della cassa Scopaione
GRFRR_D1 <sup>97</sup>	GRFRR	GRFRR_02	I	6810.0	Gora delle Ferriere inizio tratto a valle del diversivo
GRFRR_02	GRFRR	GRFRR_02	L	5003.84-3640.28	Gora delle Ferriere a valle della botte F. Pecora
FSVOR_01	FSVOR	FSVOR_03	I	2115.3	F.so della Valle dell'Orto a monte della S.R. n. 439 (50%) <sup>98</sup>
FSVOR_02+03	FSVOR	FSVOR_02	L	1795.71-511.5	F.so della Valle dell'Orto a valle della S.R. n. 439
FSSPN_01	FSSPN	FSSPN_01	I	191.5	C.le delle Valli o F.so c.d. delle Spianate inizio tratto (30%) <sup>99</sup>
CLVLL_01	CLVLL	CLVLL_02	I	916.5	C.le Vallino inizio tratto (80%) <sup>100</sup>
CLVLL_01	FSPFS	FSPFS_01	I	307.6	F.so c.d. Fusi inizio tratto (20%) <sup>101</sup>
CLSSM_01	CLSSM	CLSSM_03	I	1759.1	C.le S. Simone inizio tratto (55%) <sup>102</sup>
CLSSM_01	FSSAN	FSSAN_01	I	270.9	F.so c.d. Sant'Anna inizio tratto (5%) <sup>103</sup>
FSPGG_01	FSPGG	FSPGG_02	I	2155.1	F.so c.d. Poggetti inizio tratto a monte S.P. n. 152 (30%) <sup>104</sup>
FSPGG_01	FSPGG	FSPGG_02	L	2094.6-1317.15	F.so c.d. Poggetti (15%)
FSPGG_01	FSPGG	FSPGG_01	L	1273.1-703.66	F.so c.d. Poggetti (25%)
FSPGG_01	FSPSL	FSPSL_01	I	529.6	F.so c.d. San Luigi inizio tratto (20%) <sup>105</sup>
--	GLFRR	GLFRR_02	I	2730.8	Gorello delle Ferriere inizio tratto a monte FFS <sup>106</sup>
GLFRR_02	GLFRR	GLFRR_01	L	2628.6-1620.96	Gorello delle Ferriere a valle FFS (50%) <sup>107</sup>
GLFRR_03	GLFRR	GLFRR_01	L	1602.5-22.4	Gorello delle Ferriere a valle FFS (50%) <sup>108</sup>
--	FSFCO	FSFCO_02	I	5108.8	F.so Fico inizio tratto <sup>109</sup>
--	FSSLC	FSSLC_01	I	735.6	F.so Salciaina inizio tratto <sup>110</sup>
<b>FLCE</b>					
FSVON_01	FSVON	FSVON_01	I	1347.5	F.so Valle Onesta al rilevato FFS <sup>111</sup>
FSVQT_01	FSVQT	FSVQT_01	I	1146.3	F.so Val Querceta al rilevato FFS <sup>112</sup>
<b>FLNO</b>					
CLMCT_01	CLMCT	CLMCT_01	I	903.2	C.le Mercatone inizio tratto a monte S.P. n. 152 (50%) <sup>113</sup>
RIVMG_01	RIVMG	RIVMG_01	I	781.0	Rio Valmaggior Nord inizio tratto
FSVMA_01	FSVMG	FSVMG_01	I	1470.6	F.so Valmaggior Nord inizio tratto <sup>114</sup>
--	CLCRV	CLCRV_03	I	1807.6	C.le Cervia inizio tratto a Torre Mozza <sup>115</sup>

<sup>95</sup> Parte A della stringa del corrispondente *record DSS output* di modello idrologico [*file POFL\_out.dss*]. Non riportati afflussi modellati direttamente 2-D (vd. Fig. 21).

<sup>96</sup> Idrogrammi idrologici filtrati per effetto laminazione cassa Scopaione, così come desumibile dalla documentazione di p. 2 § 1.2 di Parte 1A.

<sup>97</sup> Idrogrammi idrologici filtrati per effetto della diversione in cassa Scopaione, così come desumibile dalla documentazione di p. 2 § 1.2 di Parte 1A.

<sup>98</sup> Restante 50% BC 2-D (cfr. Fig. 21).

<sup>99</sup> Restante 70% BC 2-D (cfr. Fig. 21).

<sup>100</sup> Restante 20% su FSPFS (foce di calcolo unica, ripartizione proporzionale all'area).

<sup>101</sup> Restante 80% su CLVLL (foce di calcolo unica, ripartizione proporzionale all'area).

<sup>102</sup> Restante 45% BC 2-D (cfr. Fig. 21) e FSSAN.

<sup>103</sup> Foce di calcolo unica per il C.le San Simone, ripartizione proporzionale all'area.

<sup>104</sup> Restante 70% BC 2-D (cfr. Fig. 21), FSPSL (foce di calcolo unica, ripartizione proporzionale all'area) e uniformemente distribuito nei tratti di valle.

<sup>105</sup> Foce di calcolo unica per il F.so dei Poggetti, ripartizione proporzionale all'area.

<sup>106</sup> A monte di FSPGG privo di significativo bacino proprio e afflussi effettivi modellati direttamente in 2-D. Deflussi minimi di mera necessità modellistica (0.01 m³/s).

<sup>107</sup> Restante 50% BC 2-D (cfr. Fig. 21).

<sup>108</sup> Restante 50% BC 2-D (cfr. Fig. 21).

<sup>109</sup> F.so privo di significativo bacino proprio a monte della sezione di inizio tratto (sconnessione di Cannavota). Deflussi minimi di mera necessità modellistica (0.1 m³/s) e afflussi effettivi modellati direttamente in 2-D con le precipitazioni (Fig. 20).

<sup>110</sup> Idrogrammi di impianto di sollevamento meccanico (Fig. 23).

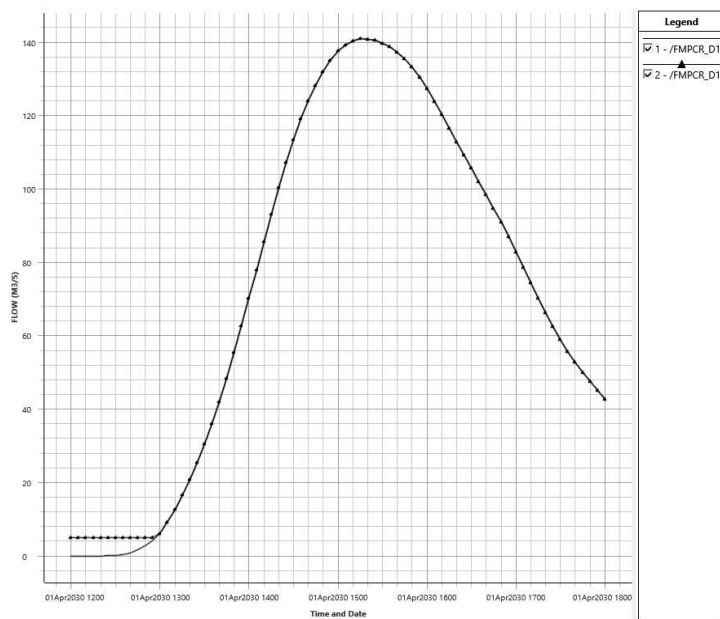
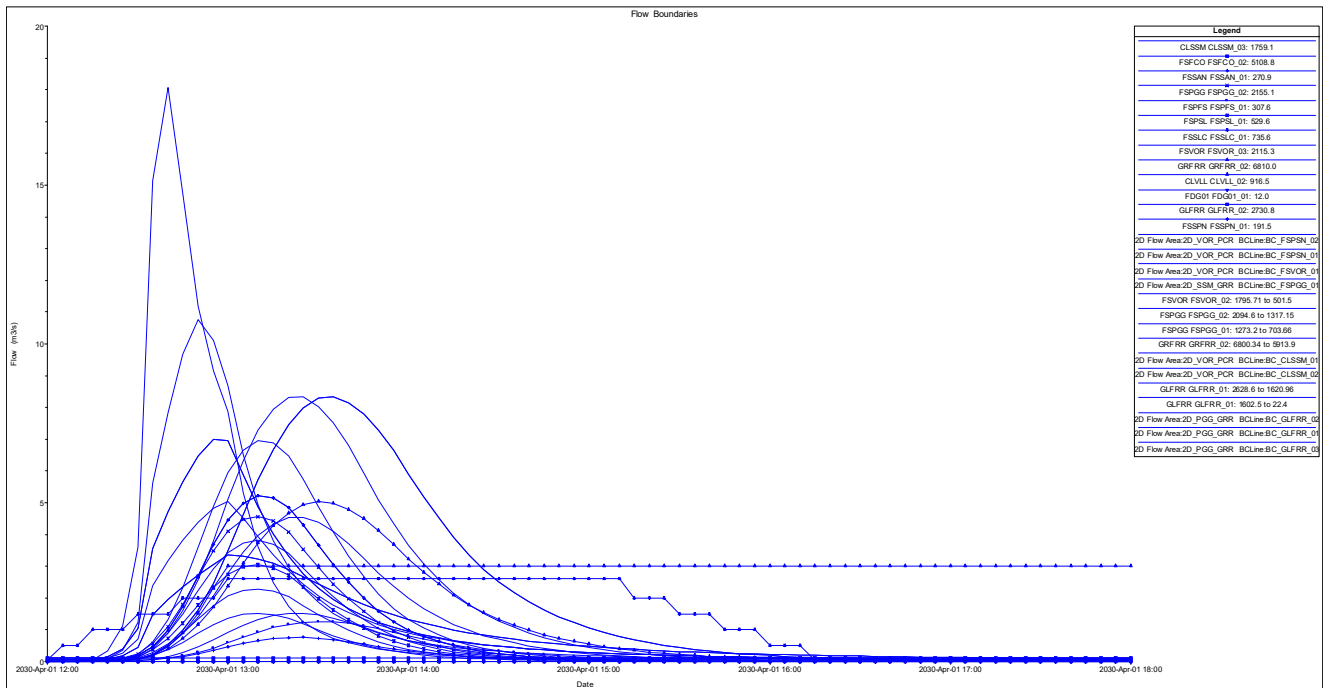
<sup>111</sup> Trascurato il contributo della parte urbana a valle FFS, indefinibile senza l'inclusione della rete fognaria principale (FSVON interamente tombato).

<sup>112</sup> Trascurato il contributo della parte urbana a valle FFS, indefinibile senza l'inclusione della rete fognaria principale (FSVQT interamente tombato).

<sup>113</sup> Restante 50% BC 2-D (cfr. Fig. 21).

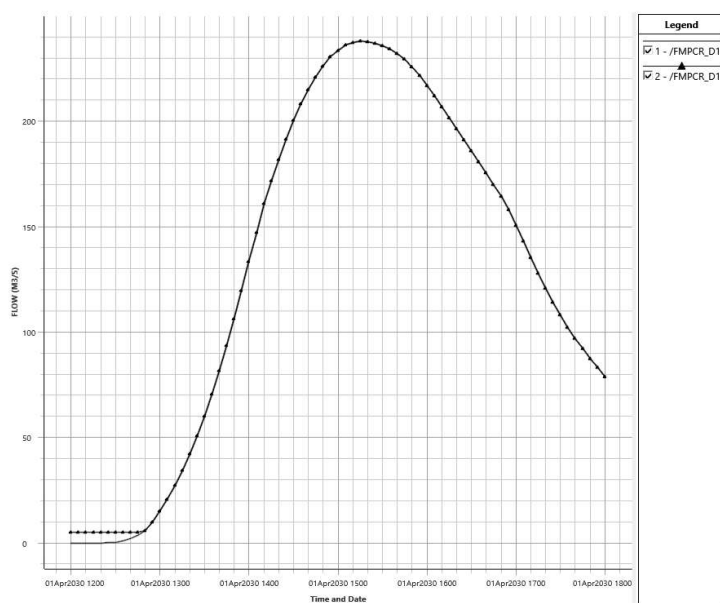
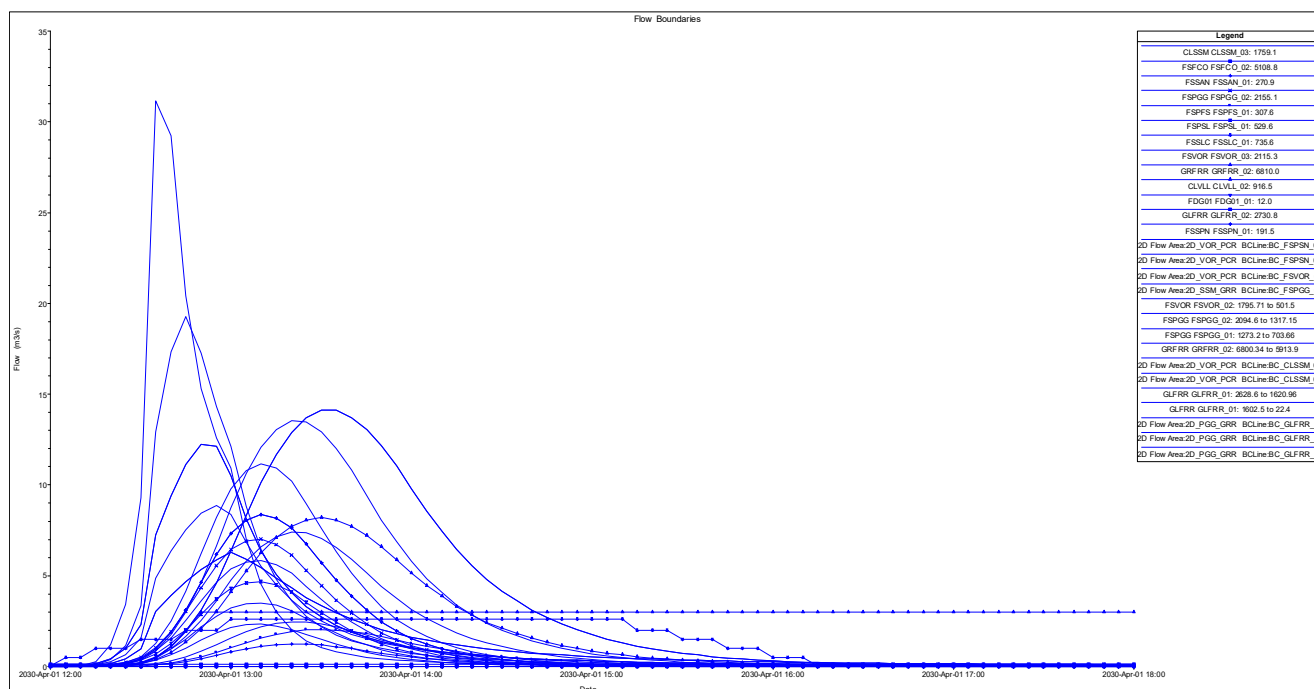
<sup>114</sup> Afflussi intercettati dal fosso di guardia del C.le Cervia modellati direttamente con precipitazione su 2-D.

<sup>115</sup> Canale privo di significativo bacino proprio, sostanzialmente emissario di FSVMA E CLMCT. Deflussi minimi di mera necessità modellistica (0.1 m³/s). Afflussi effettivi modellati direttamente in 2-D.

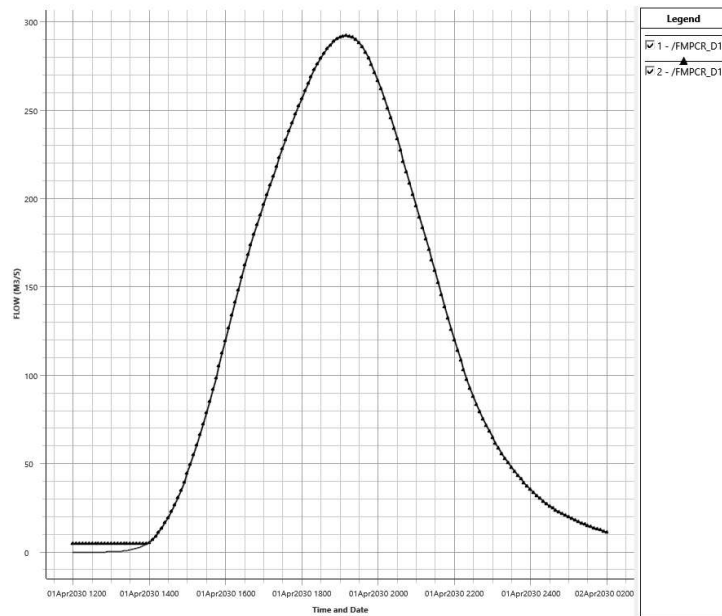
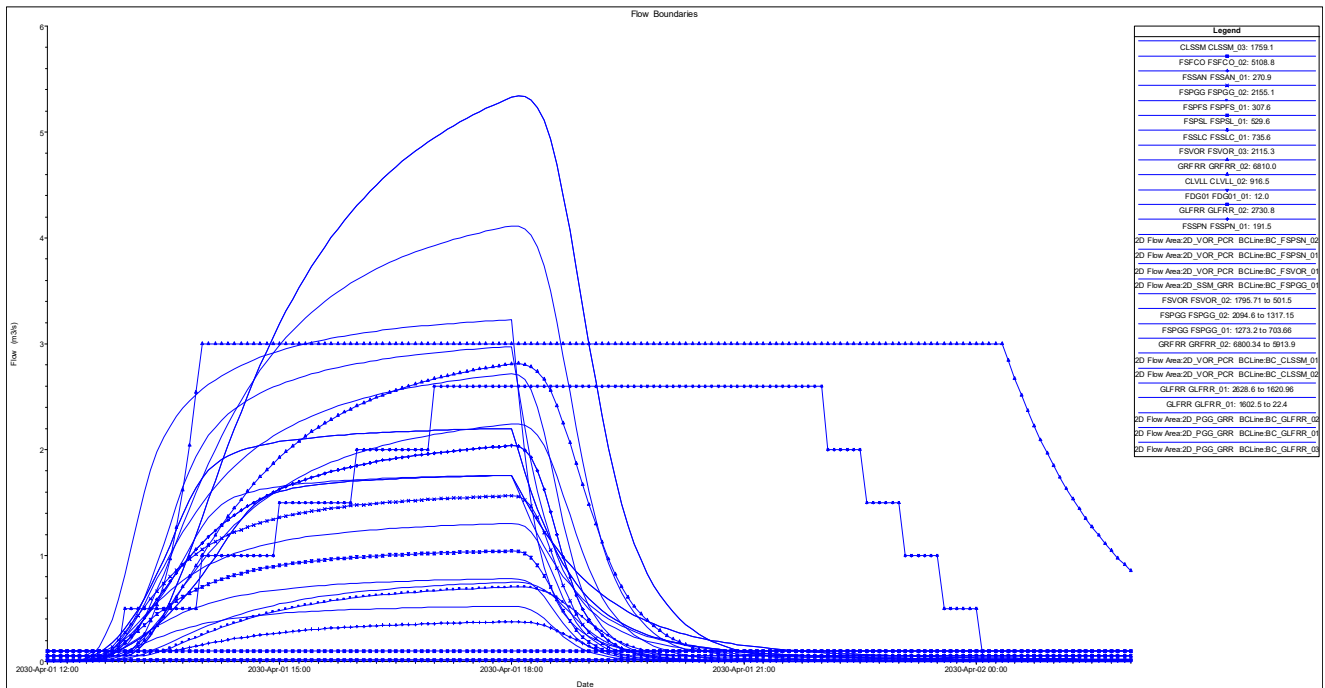


030Y-01H





200Y-01H



030Y-06H



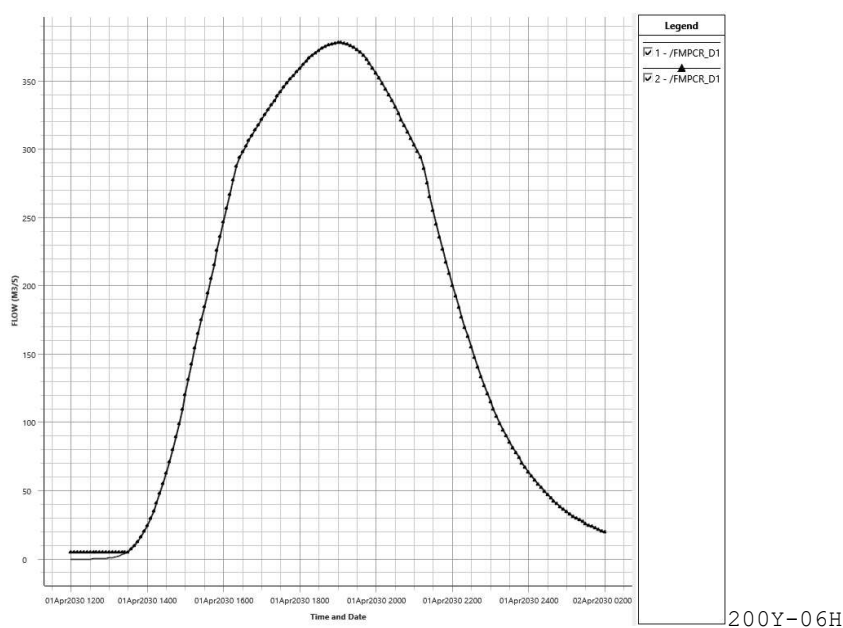
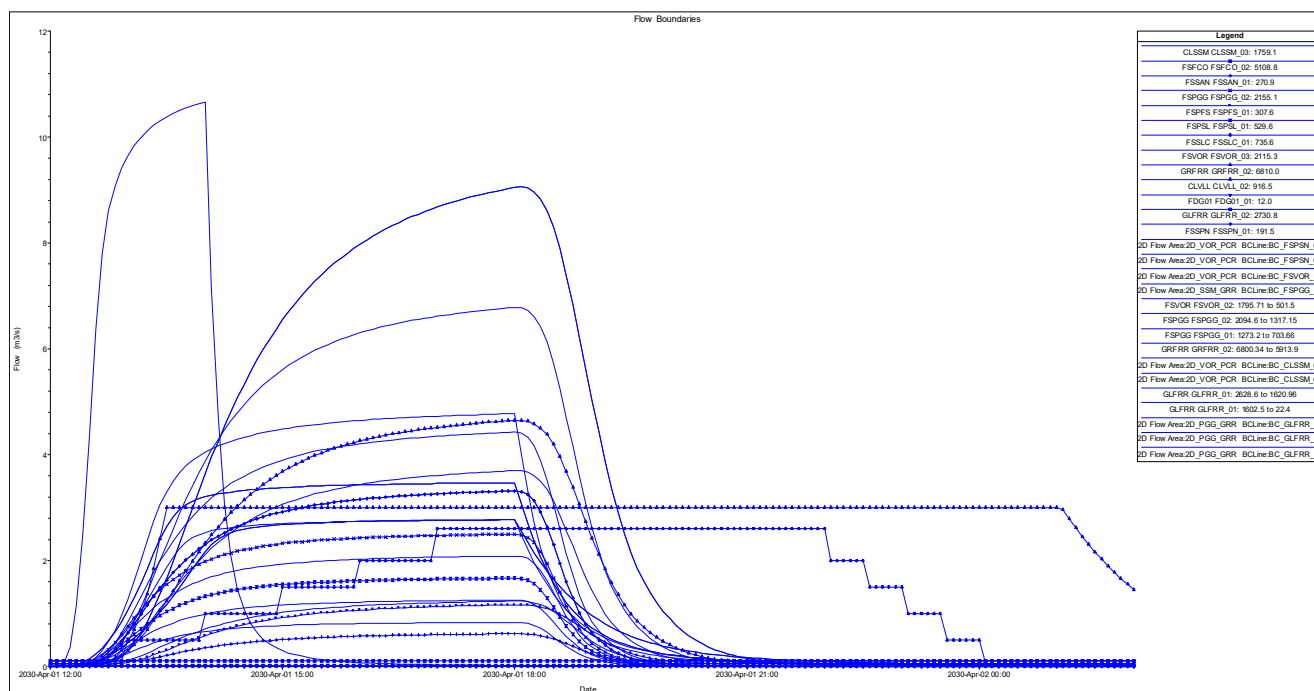


Fig. 23. Idrogrammi di portata alle sezioni iniziali dei tratti idrografici modellati - 30/200Y - 01/06H - FLSE.

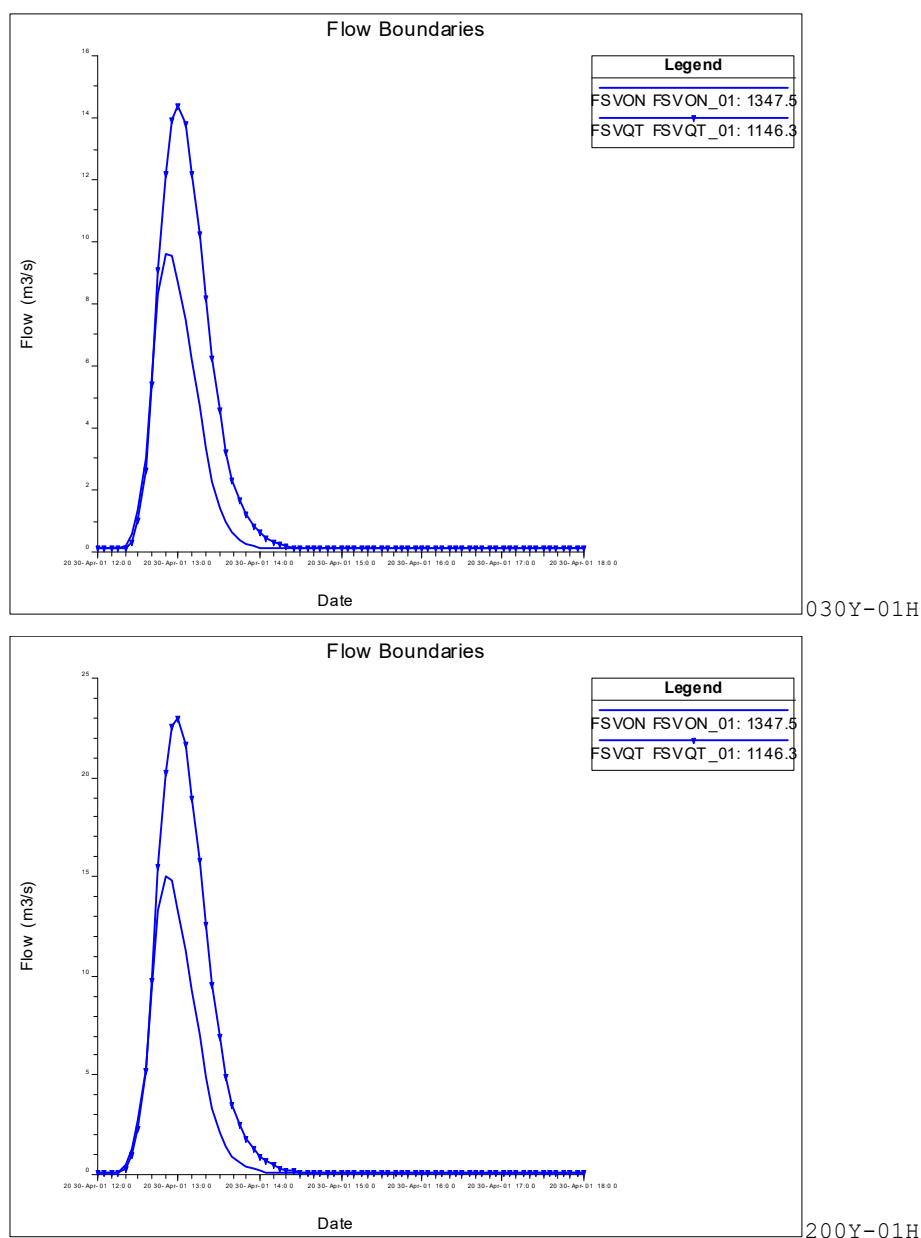
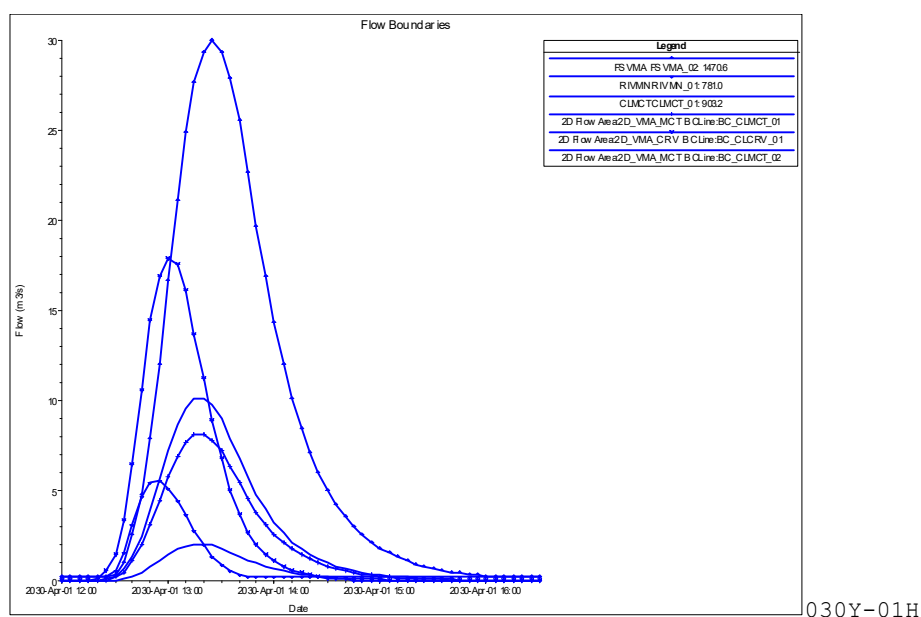


Fig. 24. Idrogrammi di portata alle sezioni iniziali dei tratti idrografici modellati - 30/200Y - 01H - FLCE.





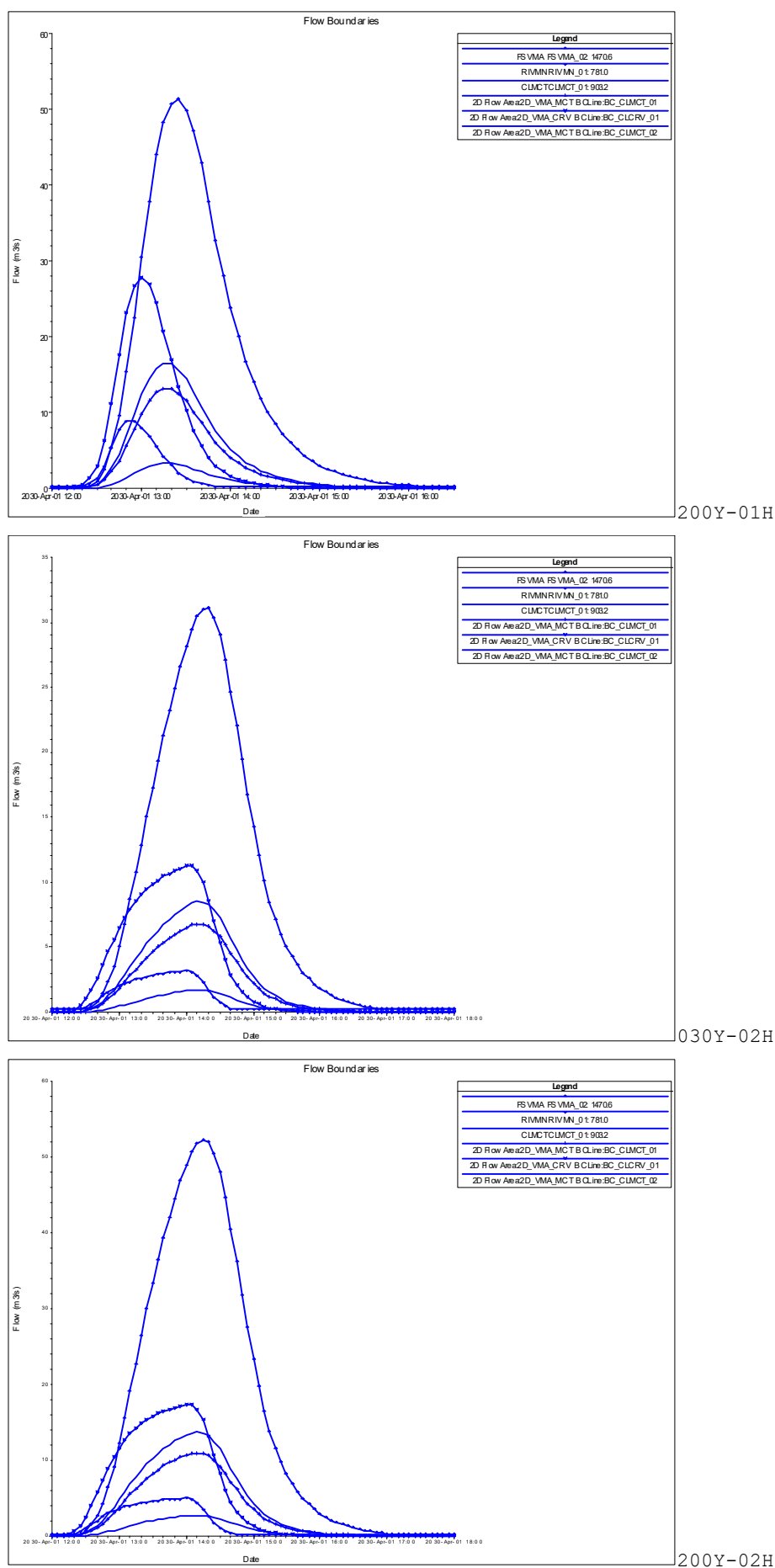


Fig. 25. Idrogrammi di portata alle sezioni iniziali dei tratti idrografici modellati - 30/200Y - 01/02H - FLNO.

### 1.3.4 SCENARI

Gli scenari di analisi sono omogenei per l'intero comprensorio, conformemente alla analisi idrologica definita nella *Parte 1A*. In tutti i casi, essi sono riferiti al solo **SA**, mancando eventi registrati e/o documentati utili di "calibrazione" (EV). Eventuali **SP** sono demandati al **PO**.

Tra tutte le durate di pioggia analizzate in ambito idrologico (vd.), quelle più critiche per gli areali di interesse sono risultate **1** (ietogrammi *Chicago* centrato), **2 e 6** (ietogrammi uniformi) **h**, per  **$T_r=30$  e 200 anni**. Nelle simulazioni numeriche viene convenzionalmente assunto l'istante iniziale 01APR2030 1200. La geometria sia fluviale sia delle aree esterne è unica [.g01]; modello del terreno 2-D DEM\_k e attributi di suolo -Mannings\_n e InfiltrationSCS- sono comuni a tutti i modelli.

Alla luce delle ipotesi di lavoro citate, non sono modellate le alluvioni pluviali in ambito urbano (cfr. § 2), più direttamente collegate all'efficienza del sistema fognario, né le alluvioni prevalentemente da ristagno, tipicamente legate a durate di pioggia più lunghe (12-24 h).

Si riportano in Tab. 3 i **plans** implementati e quelli con **outputs** numerici allegati e ritenuti maggiormente significativi (in grassetto).

Tab. 3. *Elenco e struttura dei plans di FLSE/CE/NO.prj.*

PLAN	GEOM	SOLL_IDR	T_SIM
<b>FLSE</b>			
SA_030Y_01H [.p02]	FLSE_SA [.g01] DEM_k	SA_030Y_01H [.u02]	01APR2030 1200 01APR2030 1800
SA_200Y_01H [.p01]	" "	SA_200Y_01H [.u01]	" "
SA_030Y_06H [.p12]	" "	SA_030Y_06H [.u12]	01APR2030 1200 02APR2030 0200
SA_200Y_06H [.p11]	" "	SA_200Y_06H [.u11]	" "
<b>FLCE</b>			
SA_030Y_01H [.p02]	FLCE_SA [.g01] DEM_k	SA_030Y_01H [.u02]	01APR2030 1200 01APR2030 1630
SA_200Y_01H [.p01]	" "	SA_200Y_01H [.u01]	" "
SA_030Y_01H [.p04]	" "	SA_030Y_02H [.u04]	01APR2030 1200 01APR2030 1800
SA_200Y_01H [.p03]	" "	SA_200Y_02H [.u03]	" "
<b>FLNO</b>			
SA_030Y_01H [.p02]	FLNO_SA [.g01] DEM_k	SA_030Y_01H [.u02]	01APR2030 1200 01APR2030 1630
SA_200Y_01H [.p01]	" "	SA_200Y_01H [.u01]	" "
SA_030Y_02H [.p04]	" "	SA_030Y_02H [.u04]	01APR2030 1200 01APR2030 1800
SA_200Y_02H [.p03]	" "	SA_200Y_02H [.u13]	" "

### 1.4 STATO ATTUALE [SA]

Lo **SA 2021**, dal punto di vista territoriale, è sostanzialmente assimilabile a quello di riferimento del **QC** ufficiale, per F. Pecora e F.so Petraia nelle versioni successive alla realizzazione delle rispettive casse di laminazione e degli interventi collegati. Salvo lievi modifiche di manutenzione straordinaria, anche il **QC** disponibile della geometria fluviale (in gran parte risalente al periodo 2002-2011) è rimasto il medesimo, non risultando nuove o variate opere idrauliche puntuali e/o di attraversamento (viceversa in taluni casi errate nella rappresentazione di **QC**).

Sebbene lo stato di pericolosità del comprensorio di Follonica sia già definito in gran parte analiticamente nell'attuale **PGRA**, il valore aggiunto dell'aggiornamento è la integrazione omogenea, strutturata e intrinsecamente coerente di una prospettiva idrologica aggiornata ( $T_r=30$  e 200 anni) in una modellistica idraulica parimenti consistente e di elevato dettaglio (1+2-D) che comprende l'intero reticolo idrografico LL.RR. nn. 79/12 e 41/18. Gli esiti principali sono la esplicitazione dell'efficacia effettiva (in  $dx$ , compreso reticolo minore) dell'insieme interventi cassa in loc. Scopaione sul F. Pecora e della pericolosità propria dei sistemi C.le S. Simone-F.s Valle dell'Orto e Gora-Gorello delle Ferriere, la definizione della pericolosità dei F.si Valle Onesta e Val Querceta, la revisione critica del sistema C.le Mercatone-F.so Valmaggiore-C.le Cervia alla luce dei rimaneggiamenti attuali e la determinazione di prime indicazioni sulla fragilità del sistema fognario urbano (tuttavia qui non oggetto di analisi specifica e ancora affetto da non trascurabili alee in ordine alla esatta connessione con i tratti tombati dei cc.d.a., con particolare riferimento ai F.si Valle Onesta, Val Querceta e Poggetti).



La conseguente proposta di revisione delle pericolosità dell'attuale PGRA ha, altresì, imposto la considerazione comparativa e critica di tutto il "precedente" QC, di cui si darà sinteticamente conto nei paragrafi successivi.

#### 1.4.1 TRACCIAMENTO DELLE AREE ALLAGABILI DA ALLUVIONE FLUVIALE E DEFINIZIONE DEGLI ELEMENTI DI PERICOLOSITÀ

Il tracciamento delle aree allagabili da cc.d.a.<sup>116</sup> è stato effettuato in maniera semi-automatica grazie all'elevato dettaglio morfologico e idraulico della modellazione 2-D. Cionondimeno, nell'ambito della supervisione esperta, correzioni di dettaglio locale, meglio interpretative dell'effettiva dinamica e stato dei luoghi (in generale in via cautelativa), sono state apportate nella redazione finale in formato vettoriale. Ferma restando la disponibilità integrale dei modelli numerici sorgenti in formato *grid* (risoluzione media non inferiore a 10 m), quale dato sorgente di verifica consistentemente integrato anche nell'archivio GIS allegato, per la definizione dei tematismi principali ex PGRA e L.R. n. 41/18 si è proceduto come segue:

1. revisione critica dell'involuppo (su tutte le durate) delle aree allagabili (*grid*  $\maxDepth/Vel/WS$ ), per ciascun  $T_r$ , filtrando<sup>117</sup>  $\maxDepth < Depth_0 = 0.05$  m e accumuli residuali isolati di origine pluviale<sup>118</sup>, inglobando isole asciutte spurie<sup>119</sup> e, in ambito urbano, associando agli edifici prospicienti strade allagabili le medesime caratteristiche di pericolosità<sup>120</sup>; infine, sono stati opportunamente raccordati, secondo criteri di cautela, i corrispondenti limiti esterni di pericolosità di PGRA (F.so Petraia-Vado Coperto, F.s. Fico-Salciaina e C.le Cervia-F.so Valmaggiora, ...) --> tematismi GIS aree allagabili  $T_r=30/200$  anni - P3/2 PGRA in formato vettoriale
2. nell'ambito del medesimo processamento esperto sopra citato, direttamente in ambito *raster* vengono anche uniformate<sup>121</sup> le mappe delle caratteristiche puntuali di pericolosità --> tematismi GIS  $\maxDepth/Vel/WS$ <sup>122</sup> in formato *grid* regolare
3. sulla base delle coperture *grid* GIS  $T_r=200$  anni di p. 2 -assumendo i valori massimi, anche non sincroni, di battente e velocità- è derivata la *magnitudo* base ex L.R. n. 41/18, quindi definita in forma vettoriale evitando frammentazioni non significative<sup>123</sup> --> tematismo GIS *magnitudo* in formato vettoriale.

A differenza dell'archivio sorgente HEC-Ras, quello GIS elaborato<sup>124</sup> è tagliato sul Comune di Follonica.

Si noti, inoltre, che l'approccio adottato in ambito urbano, in quanto evidentemente convenzionale per gli edifici<sup>125</sup>, sottintende *naturalmente* la possibilità di successive revisioni -sulla base dei tematismi sorgente *grid* e della specifica geometria/morfologia dei luoghi- di carattere locale, non possibili in fase di valutazione di area vasta.

Naturalmente, rimangono esclusi dalle perimetrazioni gli allagamenti indiretti per via fognaria e/o altro manufatto di connessione idraulica non presidiato soggiacente i  $\max WS$ . Tuttavia, anche in coerenza con quanto parzialmente già nel PGRA, vengono mappate con graficismo specifico le pericolosità dei sottopassi e, più in generale, identificati anche tutti i tombini di attraversamento delle infrastrutture stradali e ferroviarie, in quanto vie obbligate dei principali deflussi di allagamento dell'area urbana, peraltro in massima parte modellati.

In definitiva, gli elementi di pericolosità definiti per  $T_r=30$  e 200 anni e riportati nelle specifiche tavole grafiche sono:

<sup>116</sup>Per le alluvioni costiere si vd. il § 3.

<sup>117</sup>Oltre ai valori inferiori al livello di significatività numerica assunti pari a 0.001 m per i battenti e 0.001 m/s per le velocità.

<sup>118</sup>Es. scoline di campo, ...

<sup>119</sup>Es. celle occupate da vegetazione non filtrata, ...

<sup>120</sup>In particolare, viene interamente ricompreso in ambito allagabile un edificio con almeno due lati su strade sede di transito idrico e solo parzialmente altrimenti (cfr. D.P.G.R. n. 5/R/20 e L.R. n. 41/18).

<sup>121</sup>Con semplice ri-campionamento uniforme a 5 m; non utilizzate classiche metodiche di *ZonalFill* poiché con esiti non sistematicamente consistenti in ambito urbano.

<sup>122</sup>Tutti gli altri tematismi (tempo di residenza, potenze, ...) sono forniti esclusivamente in formato *grid* sorgente HEC-Ras.

<sup>123</sup>Tipicamente ai limiti di classe.

<sup>124</sup>L'archivio GIS contiene anche i tematismi originari (i.e. non elaborati).

<sup>125</sup>La definizione della pericolosità per gli edifici in analisi di area vasta include sempre un margine di convenzionalità, con incertezze maggiori nei casi di bassi battenti ed elevate pendenze stradali. L'approccio qui adottato è quello usualmente adottato -cautelativamente- in casi di elaborazione su base DSM ad elevata risoluzione, ovvero ad edifici impermeabili e celle di dimensione comparabile con l'ampiezza della sede stradale. L'approccio alternativo su base DTM -i.e. c.d. ad "edifici ridotti a macerie"- è largamente meno affidabile, in termini sia di direzioni di flusso sia di  $\maxDepth$  (buche spurie).

- limiti di allagabilità [diretta e indiretta, per via superficiale morfologicamente definita] [archivio GIS vettoriale]
- battenti [ $maxDepth$ ] e/o livelli [ $maxWS$ ] [archivio GIS grid]
- velocità [ $maxVel$ ] e direzioni principali di flusso] [archivio GIS grid e vettoriale]
- grado di insufficienza delle capacità di deflusso di sezioni fluviali e ponti [archivio GIS vettoriale]
- altezze dei rilevati arginali e zone di protezione [Direttive Tecniche di cui al D.P.G.R. n. 5/R/20 e L.R. n. 41/18] [archivio GIS vettoriale]
- tombamenti e relativo grado di insufficienza, caratterizzato per tipologia fenomenologica temibile (capacità di deflusso nominale, ostruzione detritica, connessioni fognarie, ....) [*idem* c.s.]
- *magnitudo* [*idem* c.s.].

Per la rappresentazione sinottica e di dettaglio si rimanda direttamente agli elaborati grafici.

#### 1.4.2 PRECEDENTE QC VS REVISIONE

Il confronto metodologico e di risultato con il precedente QC avviene fondamentalmente su base PGRA (e relativi studi alla base), salvo ulteriori analisi effettuate per Enti pubblici ma ivi non acquisiti. Tra questi ultimi, in particolare, RU11 (F.s. Valle Onesta e Val Querceta) e GF19 (sistemi Gora delle Ferriere e C.le S. Simone), qui anche estesi nei tratti di analisi.

Come noto, in generale numerose e non univoche sono le considerazioni critiche che possono essere tratte da un confronto tra diverse metodiche inscindibilmente "idrologico-idrauliche". Della parte idrologica è già stato discusso nella Parte 1A. Idraulicamente, poiché nel caso specifico, la dinamica di propagazione fluviale incide ben poco (cc.d.a. brevi e di piccola dimensione, salvo F. Pecora tuttavia limitato a breve tratto terminale a sezione quasi costante), gli elementi di maggiore sensibilità sono dati dalla estensione dei tratti idrografici di analisi (topologia di esondazione), dalla valutazione dei volumi di piena e di esondazione (moto permanente vs moto vario e dinamica di sfioro), dal dettaglio morfologico del dominio di propagazione 1+2-D e dalla relativa metodica numerica, dalla accuratezza complessiva. Complessivamente meno rilevanti (per il territorio di Follonica) le differenze in termini di BC al mare e, in generale, le scabrezze.

Rimandando ai successivi §§ 1.4.3 e 4.3 per i dettagli di confronto con il PGRA vigente (Fig. 26-Fig. 28), appare subito che la presente analisi idraulica deve risolvere alcune palesi inconsistenze (testimoniate anche dall'attuale disallineamento tra QC degli SSUU e PGRA) relative<sup>126</sup> alla dx F. Pecora a valle della cassa Scopaione, l'intera l'area urbana meridiano-occidentale (F.s. Valle Onesta, Val Querceta e C.le Mercatone) e di ZI, tenendo debitamente conto delle dinamiche di travaso e trasferimento dei volumi idrici, fondamentalmente condizionate dalle infrastrutture ferroviarie e viarie che attraversano il Comune di Follonica.

<sup>126</sup>F.so Petraia non analizzato.



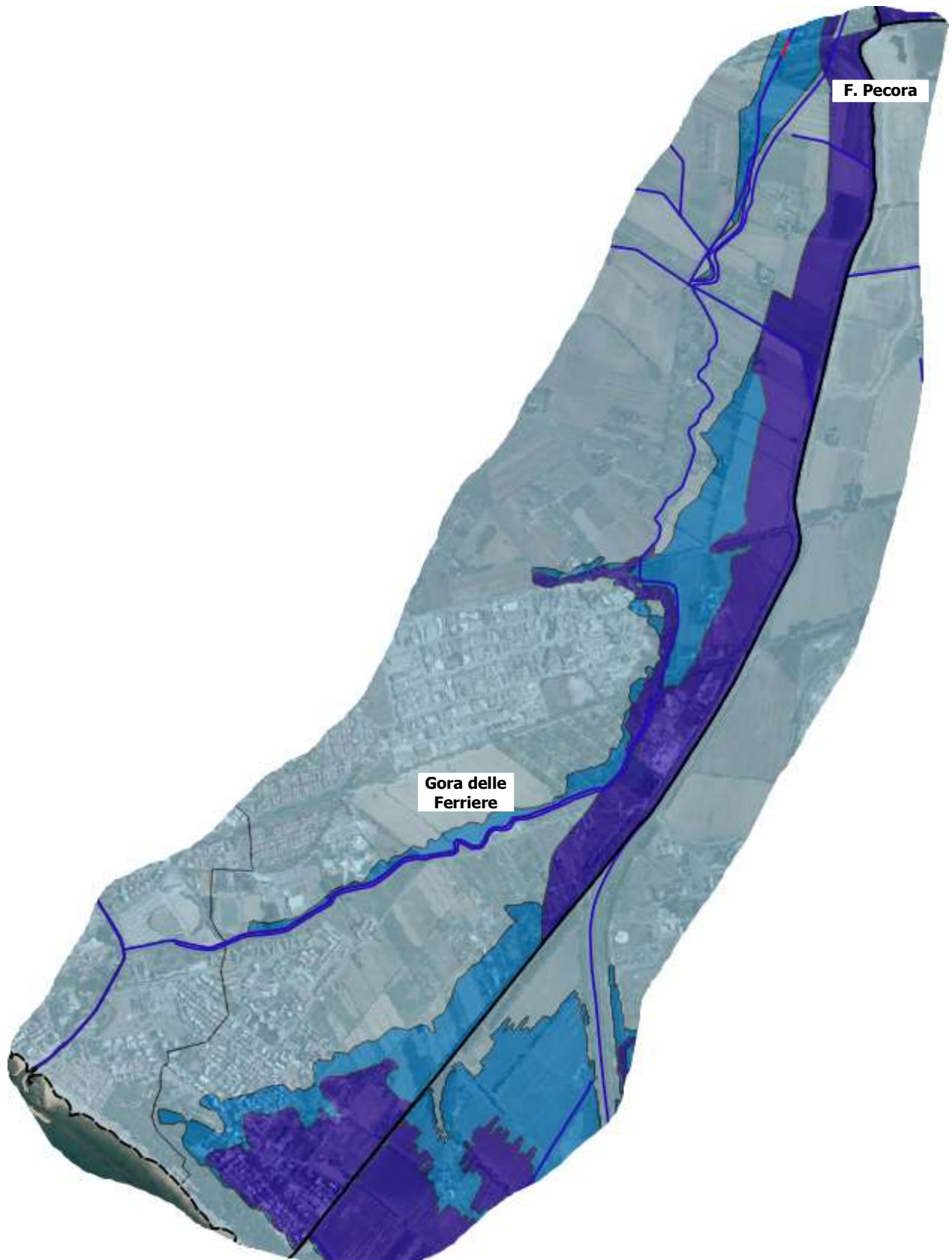


Fig. 26. PGRA (Fluviale) vigente F. Pecora-Gora delle Ferriere et affl.

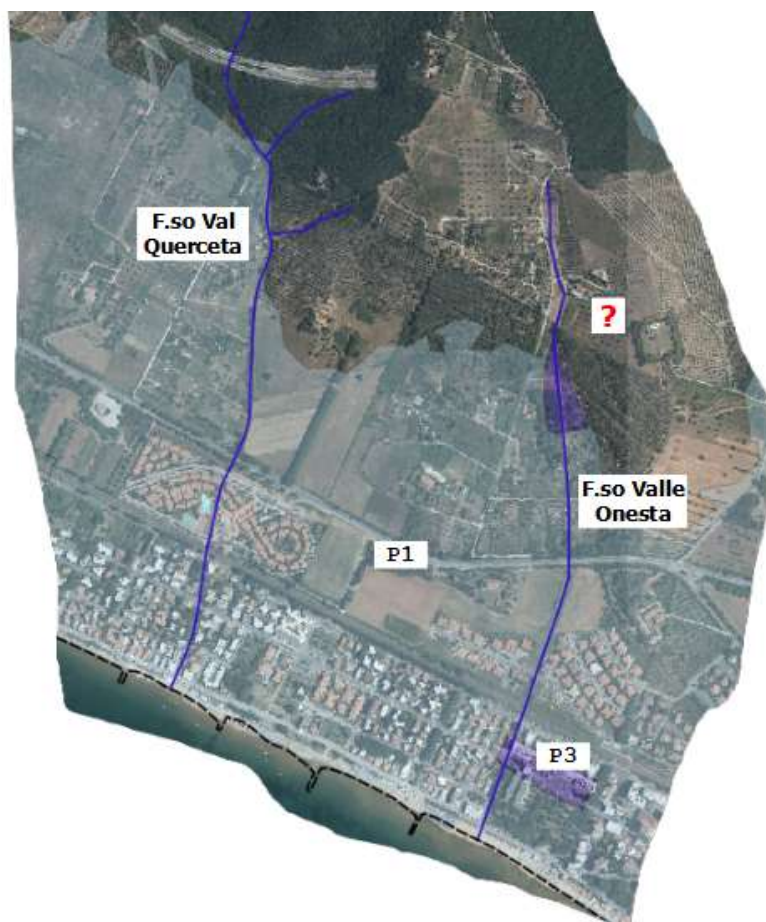


Fig. 27. PGRA (Fluviale) vigente *F.s. Valle Onesta e Val Querceta*.

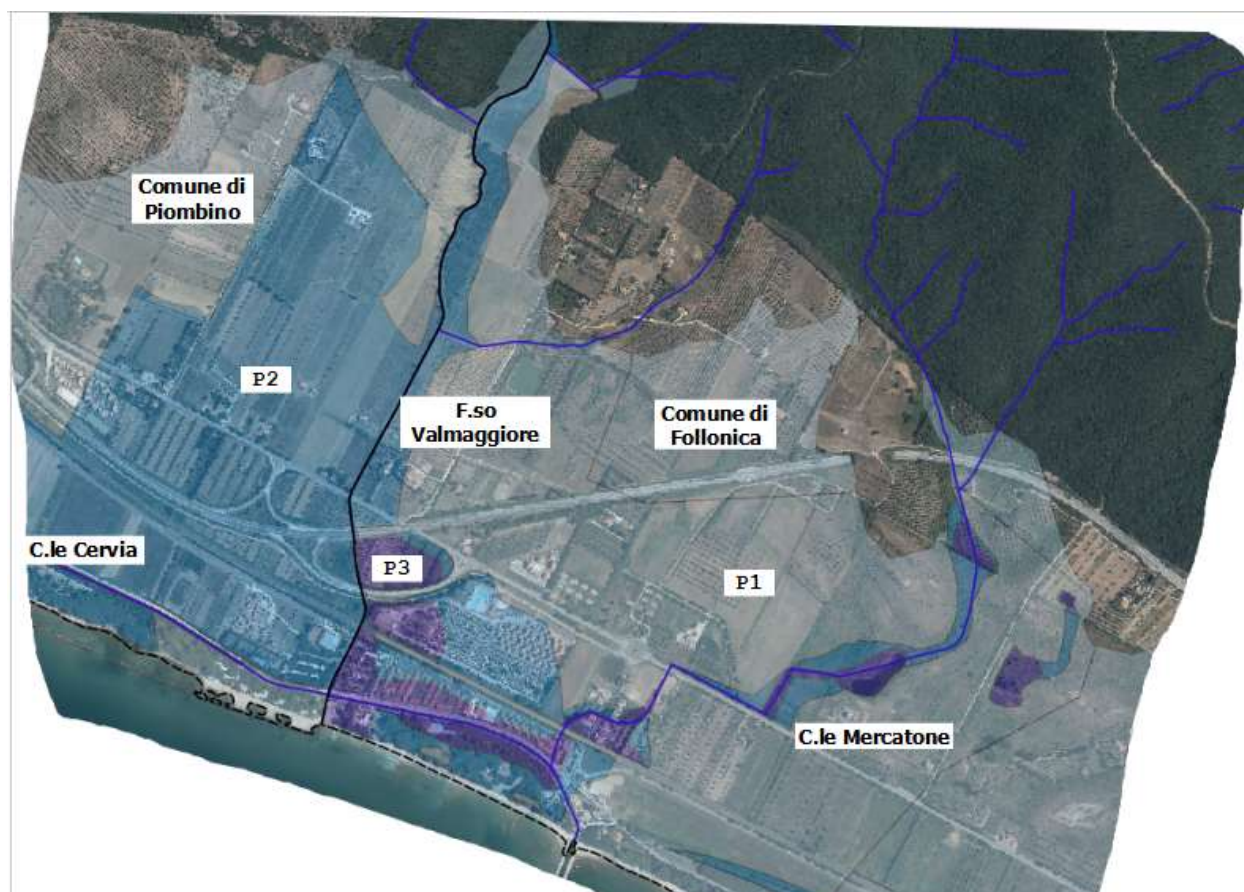


Fig. 28. PGRA (Fluviale) vigente *C.le Cervia et affl.*



### 1.4.3 CRITICITÀ

Per la rappresentazione territoriale completa della dinamica fluviale e di allagamento, si rimanda direttamente agli allegati digitali e alle Tavv. Serie I03.

#### 1.4.3.1 FLSE

Il modello FLSE comprende l'intero areale sud-orientale insistente sul comprensorio di bonifica in dx F. Pecora. Sebbene la pericolosità principale (esondazioni dirette F. Pecora) sia stata fortemente ridotta con gli interventi strutturali dell'ultimo decennio (cassa ed interventi collaterali loc. Scolaioni), su tale comprensorio permangono fragilità intrinseche che, sebbene non gravi in assoluto in quanto in buona parte su territorio agricolo, devono essere correttamente gestite e tenute presenti nella pianificazione territoriale sia per evitare la rottura traumatica dell'assetto attuale sia per evitare esposizioni incongrue (aumento del rischio).

Al di là e prima delle considerazioni numeriche previsionali, vanno in effetti tenute ben presenti le seguenti caratteristiche territoriali intrinseche:

- x la bonifica per colmata da F. Pecora [e F.so Petraia] è rimasta incompiuta nella parte più meridionale in territorio sia di Follonica sia di Scarlino, con il definitivo assetto degli argini fluviali e di recinto; ciò significa che tale area è rimasta particolarmente depressa (cfr. Fig. 23), con intrinseca difficoltà di scolo e naturale ricettore di [quasi] qualunque acqua non incanalata possa provenire da monte
- x parallelamente, sussistono per essa le maggiori pericolosità residue per soggiacenza arginale (del F. Pecora, soprattutto, ma anche Gora delle Ferriere e F.so Petraia)
- x il sovrapporsi nei secoli di interventi antropici sui cc.d.a., a fini multipli, ed urbanizzazione, determina una complessità idraulica non sempre di evidente lettura, soprattutto per la parte tombata.

Di contro, una parte non piccola di tale area è già, nel Comune di Follonica, urbanizzata e densamente edificata (Senzuno, Salciaina, Cassarello).

Si possono distinguere 3 sistemi idrografico-idraulici principali:

1. F. Pecora
2. C.le S. Simone
3. Gora e Gorello delle Ferriere

all'interno dei quali si annidano 2 ulteriori problematiche tipiche di contesti agricoli e di margine agricolo-urbano, ovvero

- A. ristagno del reticolo minore delle acque basse
- B. inglobamento di cc.d.a. minori e/o deflussi collinari non regimati nel reticolo fognario meteorico.

Con l'approccio modellistico adottato, sebbene con diverso grado di affidabilità, elementi di valutazione sono desumibili per l'intera casistica elencata.

Per quanto riguarda il F. Pecora, certamente l'elemento di maggiore pericolosità per l'intero areale, preso atto<sup>127</sup> delle capacità prestazionali della cassa Scolaione (in termini di  $\max Q_{30/200}$  a valle, indipendentemente dalla forma degli idrogrammi a monte) soltanto [molto] parzialmente si conferma (0.6H), la asserita non esondazione in dx finanche  $T_r=200$  anni. Posto che anche in assenza di dinamiche idriche *in/out* i franchi non sempre risultano superiori al metro (oltre che mediamente inferiori rispetto alla *sx*) e il deflusso ai ponti S.P. n. 152 (RS 6353.1) e FFS (RS 5748.1) avviene in pressione (Fig. 31), sono i volumi a giocare il ruolo decisivo, anche per i deflussi nel F. Pecora stesso (e la relativa integrità arginale).

Gli accumuli idrici determinati dai rilevati stradale e ferroviario (tenuto comunque conto dei tombini esistenti), infatti, causano tracimazioni (solo<sup>128</sup>  $T_r=200$  anni) [oltre della S.P.,] anche di rientro sull'argine dx del fiume [non FFS] (Fig. 29 e Fig. 30).

Sebbene i travasi siano di piccola entità (ma nella incerta ipotesi di integrità arginale), ciò evidenzia  $\max WS$  territoriali e nel F. Pecora pericolosamente maggiori di quanto asserito nel QC e particolarmente instabili, dipendentemente dalla effettiva distribuzione dei volumi di deflusso in uscita dalla cassa e dalla efficienza dei tombini di *by-pass*. A tal proposito va peraltro osservato che la citata sottostima nei livelli deriva anche dalla

<sup>127</sup> Documentazione ufficiale di omologa [op. cit.].

<sup>128</sup> Ma  $T_r=30$  anni al limite.

modellazione 2-D (di QC) non adeguatamente tenente conto (tra le altre cose) della reale morfologia territoriale, con particolare riferimento all'impedimento al deflusso verso valle indotto dai rilevati infrastrutturali. Inoltre, poiché tutti i ponti a valle dello Scopaione subiscono deflussi al limite o già in pressione per portata e sono posti ad oltre 2 km, la condizione di valle alla cassa di colmata non ha particolare influenza. Ancor meno (nulla) la BC al mare (a differenza dei colatori di acque basse, *vd.*), causa effetto cuscinetto-volano della cassa medesima; in Fig. 32 è riportato il confronto tra gli scenari 06H nelle diverse ipotesi di massimo livello al mare adottate qui (1.5/1.0 m s.l.m. per  $T_r=200/30$  anni) e nelle analisi progettuali della cassa Scopaione (0.5/0.5 m s.l.m.)<sup>129</sup> [plans SA\_###Y\_##H\_], dal quale si deduce come gli effetti sia sul maxWS che sui volumi di esondazione a monte della S.P. n. 152 siano affatto trascurabili (all'ingresso in cassa di colmata identicamente 4.67/4.62<sup>130</sup> m s.l.m.).

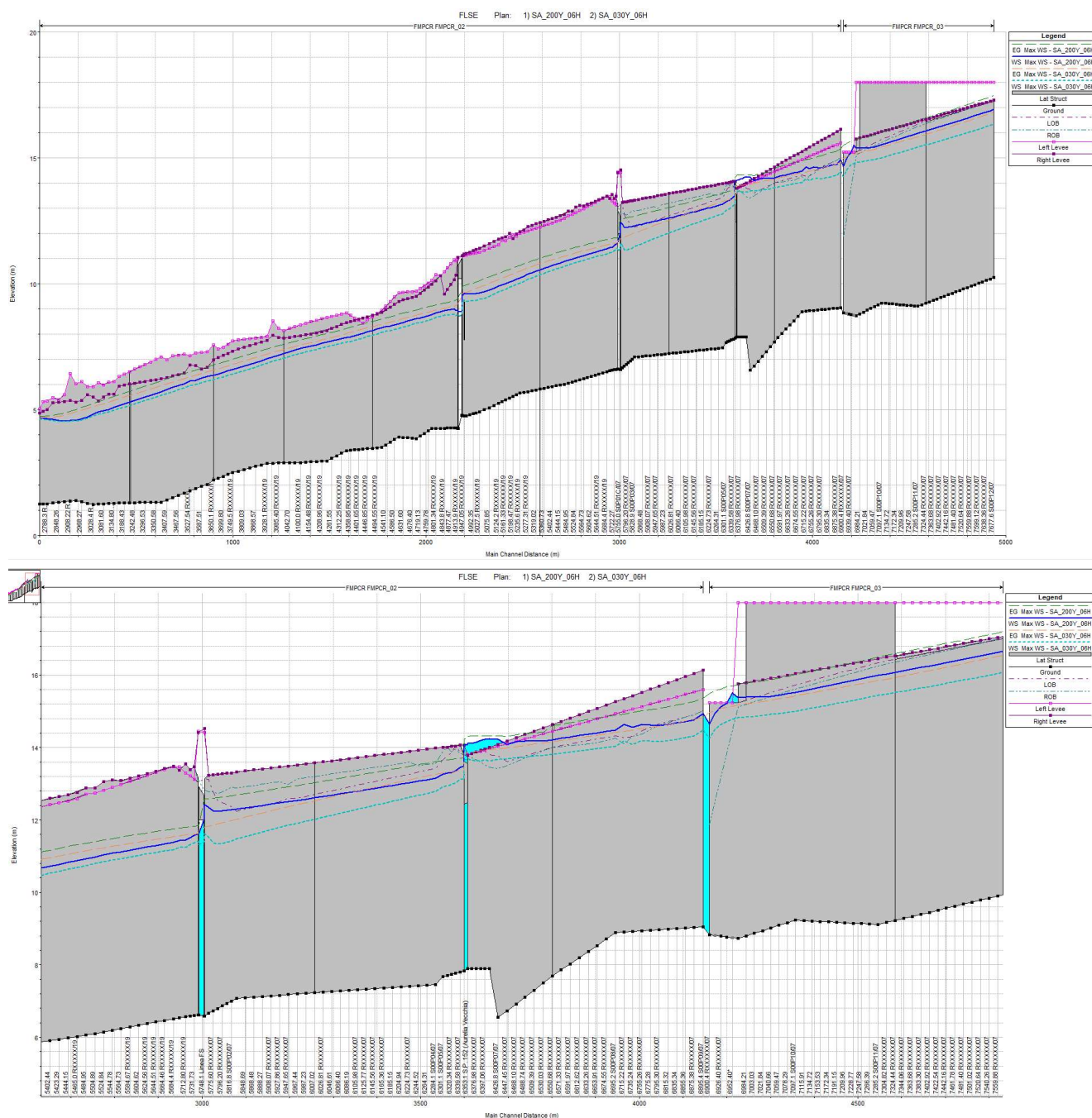


Fig. 29. Profili maxWS del F. Pecora a valle della cassa loc. Scopaione. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_06H.

<sup>129</sup> L'ulteriore differenza in termini di idrogramma è trascurabile. Viceversa, qualche sensibilità è possibile in relazione al diverso dominio di calcolo 2-D, ma anch'esso in prima approssimazione trascurabile, tenendo anche conto del fatto che (in entrambi i casi) non vengono considerati gli ulteriori afflussi a mare in sx F. Pecora.

<sup>130</sup> Non disponibili valori ufficiali di QC; 3.65/3.45? m s.l.m. in una modellazione incompleta per durata di simulazione e assenza dei ponti (*sic*).



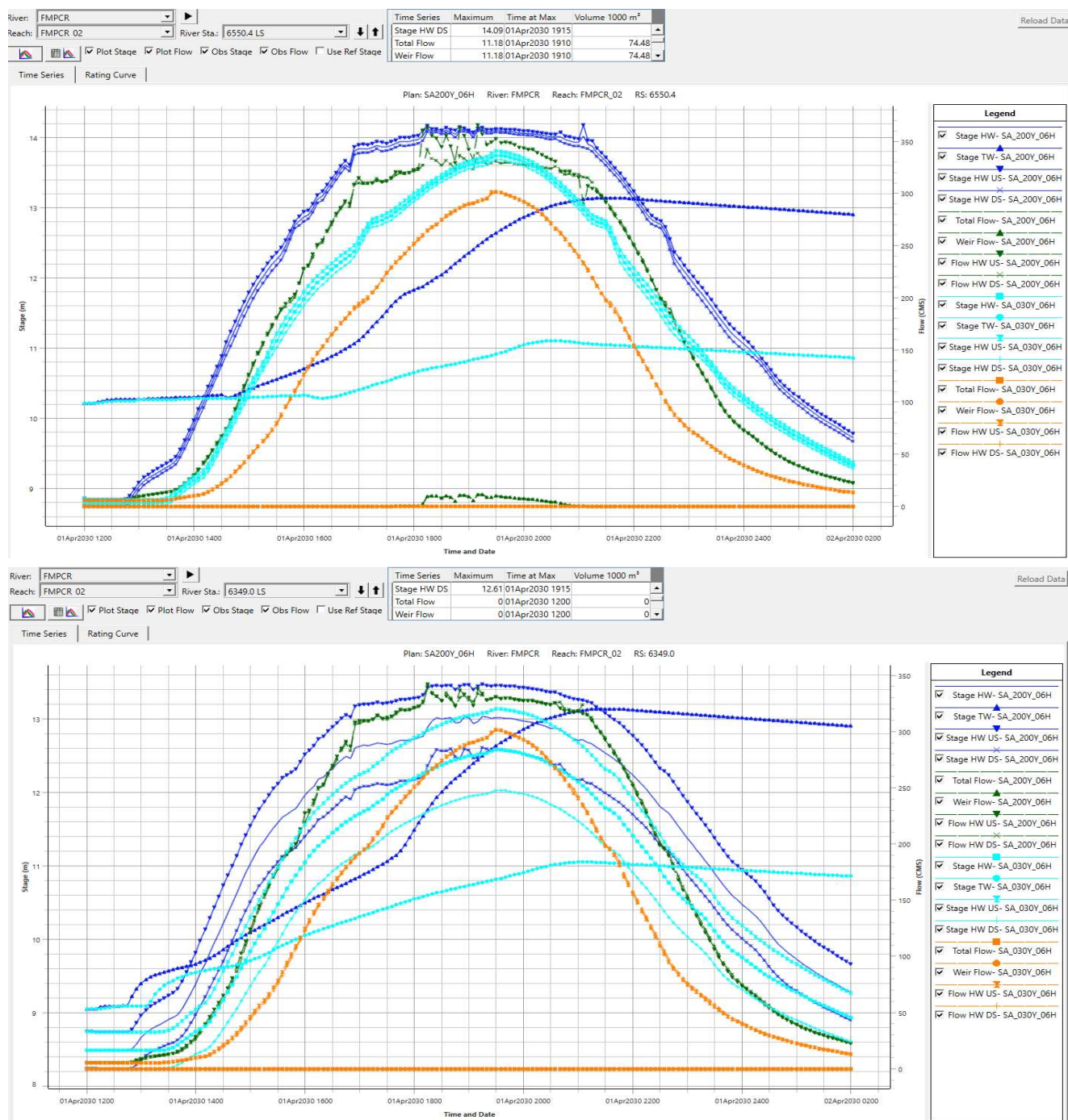
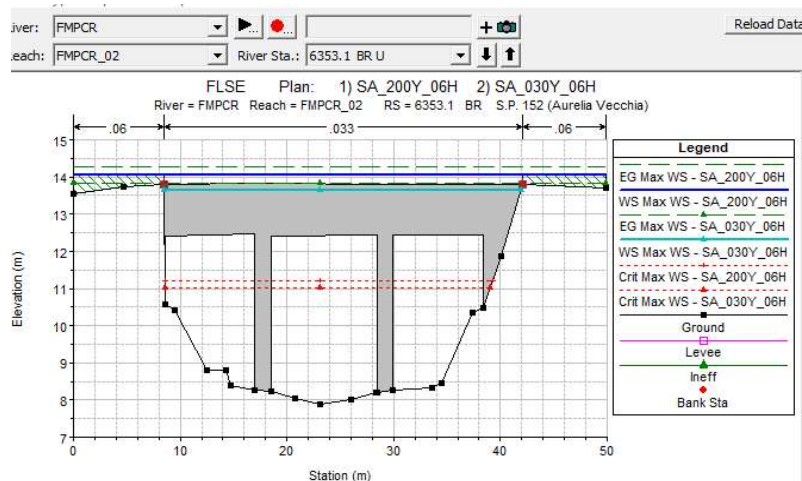


Fig. 30. Idrogrammi LS 6550.4 e 6349.0 in dx F. Pecora, a monte S.P. n. 152 e FFS. 1+2-D. Plan SA\_030/200Y\_06H.



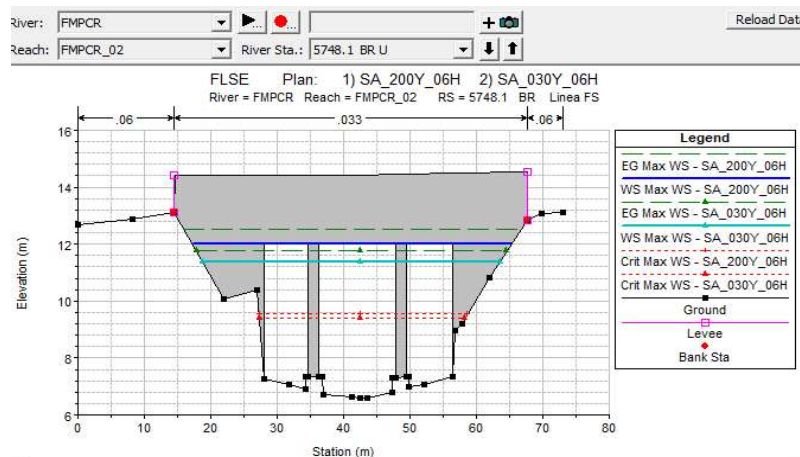


Fig. 31. maxWS ai ponti S.P. n. 152 e FFS. 1+2-D. Plan SA\_30/200Y\_06H.

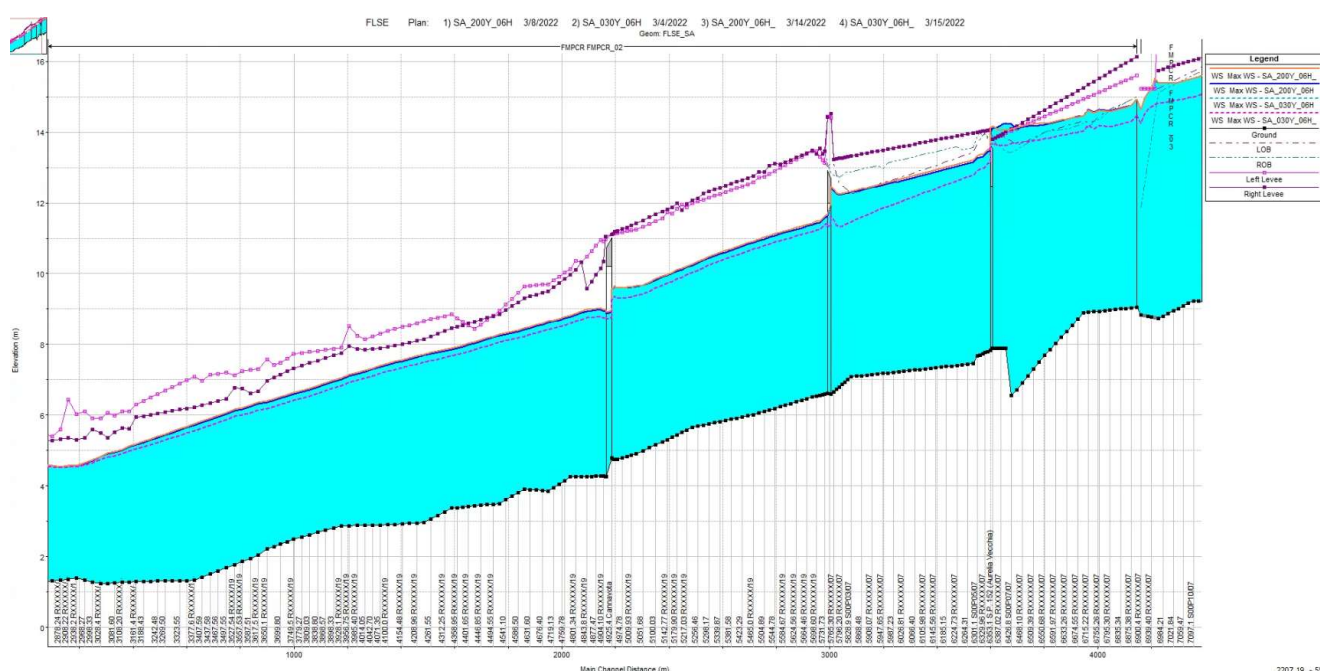


Fig. 32. Profili maxWS del F. Pecora a valle della cassa loc. Scopaione - Cfr. diverse BC al mare. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_06H vs. SA\_030/200Y\_06H.

D'altra parte, la medesima dinamica interagisce con quella di esondazione indiretta dal C.le S. Simone, ultimo sistema idrografico tributario del F. Pecora a valle della cassa. Con l'attuale conformazione, il canale (indipendentemente dai propri deflussi) non riesce a contenere (Fig. 33) neppure le massime portate 30-ennali del F. Pecora, non solo lato sx (come pare strutturalmente impostato (Fig. 34), con servitù idraulica "di fatto" imposta sull'area agricola a monte) ma anche lato Follonica, con conseguente alimentazione dei fenomeni sopra accennati.

Non essendo disponibile con sufficiente dettaglio l'efficacia della cassa al variare degli scenari idrologici, la modellazione qui si è limitata alla durata definita dai Progettisti di maggiore criticità (06H) e a quella critica per il reticolo minore afferente (01H); anche se presumibilmente non tali da modificare significativamente il quadro generale, non si può tuttavia escludere che altre durate (>6 h) possano risultare di maggiore pericolosità (maggiori volumi di esondazione<sup>131</sup>). Il rapporto tra i volumi in gioco e la morfologia del territorio evidenzia, da una parte, la insufficienza della capacità di invaso localmente disponibile (a monte del C.le S. Simone) a delimitare gli allagamenti e, dall'altra, il ruolo non trascurabile di tutti gli aspetti dinamici, sia di esondazione sia di propagazione verso valle (capacità di deflusso ai tombini di S.P. n. 152 e FFS). Data la citata sensibilità, di un qualche impatto a priori non trascurabile pare anche la effettiva dinamica dei deflussi extra alveo dx del F.

<sup>131</sup> Nella modellazione qui adottata, nel F. Pecora al variare del  $T_r$  varia soltanto la forma dell'idrogramma e non il colmo (pari alla massima portata esitabile dalla cassa secondo progetto). La soggiacenza del C.le S. Simone non altera sostanzialmente i picchi di portata nel F. Pecora mentre, viceversa, cambiano sensibilmente i volumi esondati al variare delle durate di pioggia.



Pecora a monte della E80 -eventualmente alimentanti i fronti di allagamento verso valle (*dx/sx* Gora delle Ferriere)- che, viceversa, in questa sede sono stati trascurati (data la mancanza di considerazioni specifiche nel QC e progettuale della cassa).

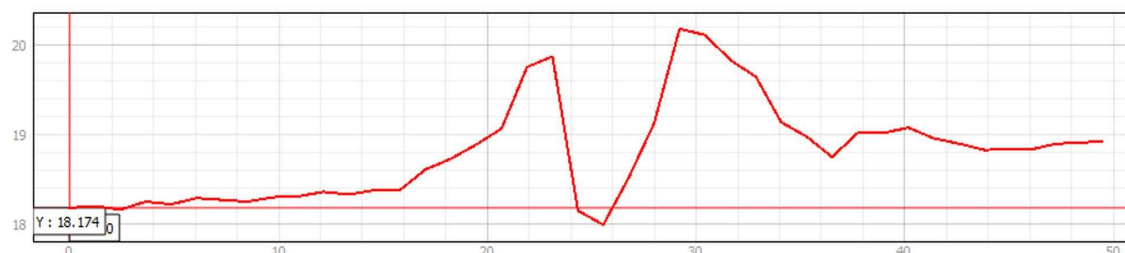
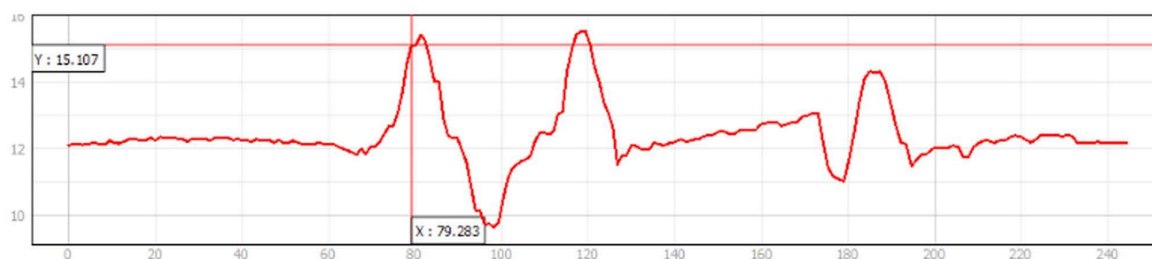
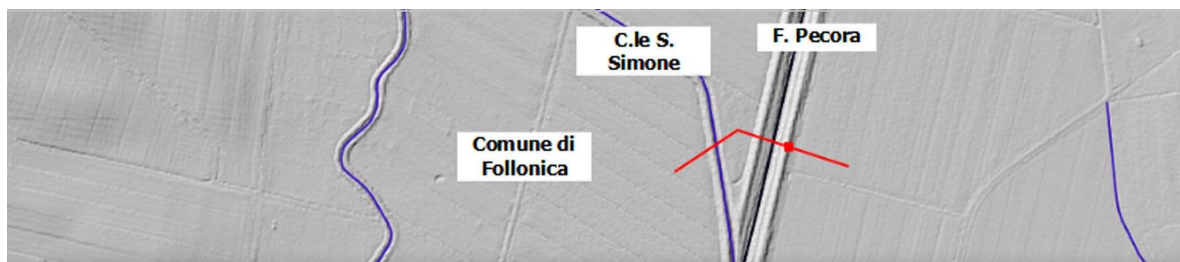


Fig. 33. *Profilo morfologico di F. Pecora e C.le S. Simone alla confluenza* [tratta da DTM MATTM, coerente con FLSE a meno della riprofilatura delle arginature introdotte con i lavori cassa Scaione, inserite nel modello e non visibili in figura].

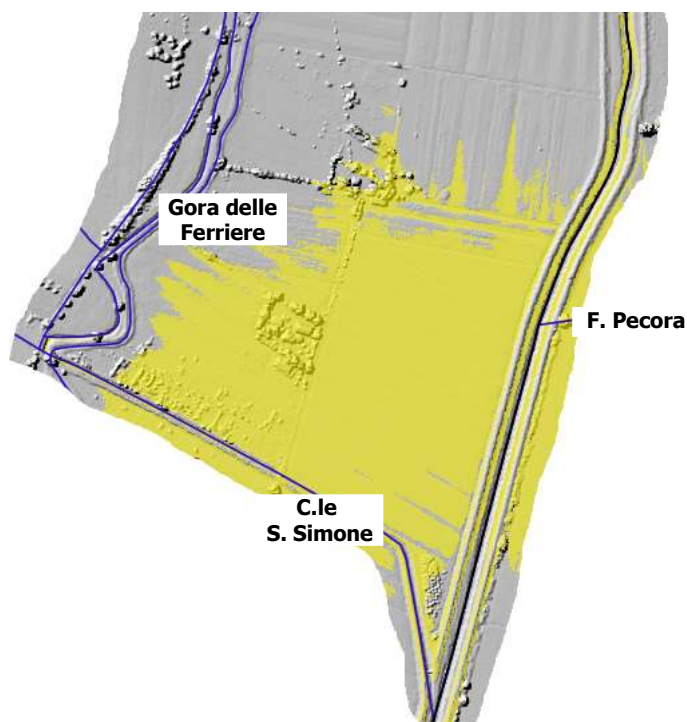


Fig. 34. *Area soggiacente l'argine dx del C.le S. Simone tra Gora delle Ferriere e F. Pecora* [idem c.s.].

In Fig. 35-Fig. 36 sono riportate le  $\max WS$  30/200-*ennali* alle sezioni di confluenza e lungo l'intero tratto rigurgitato, mentre in Fig. 37 gli idrogrammi di esondazione in *dx C.le S. Simone*<sup>132</sup>, dalla cui instabilità numerica risulta evidente la forte dinamica *in/out dx/sx* di rigurgito<sup>133</sup>. Per il C.le risulta evidente la cesura al manufatto di sovrappasso della Gora delle Ferriere.

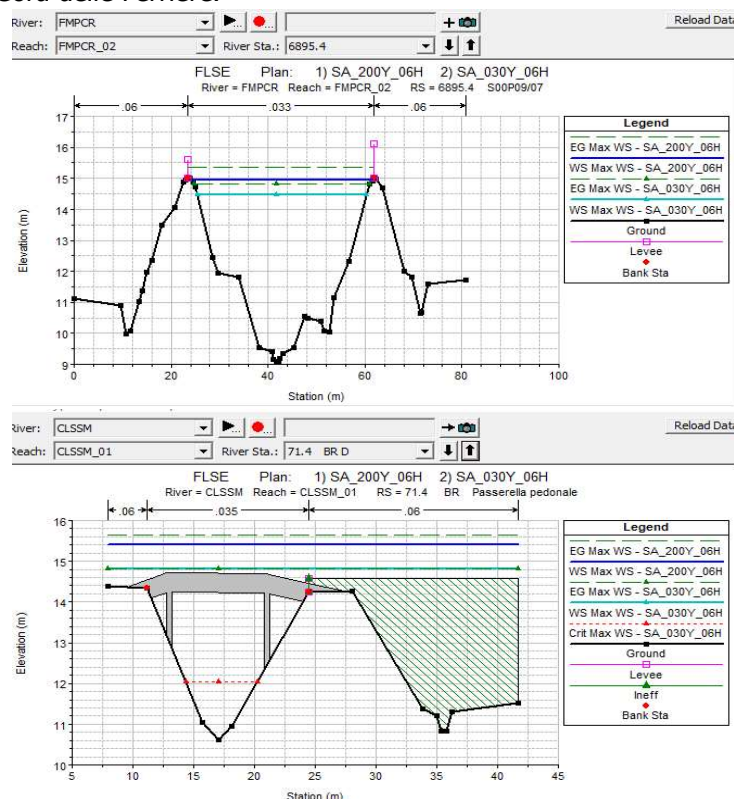


Fig. 35.  $\max WS$  in F. Pecora e C.le S. Simone alla passerella nei pressi della confluenza. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01/06H.

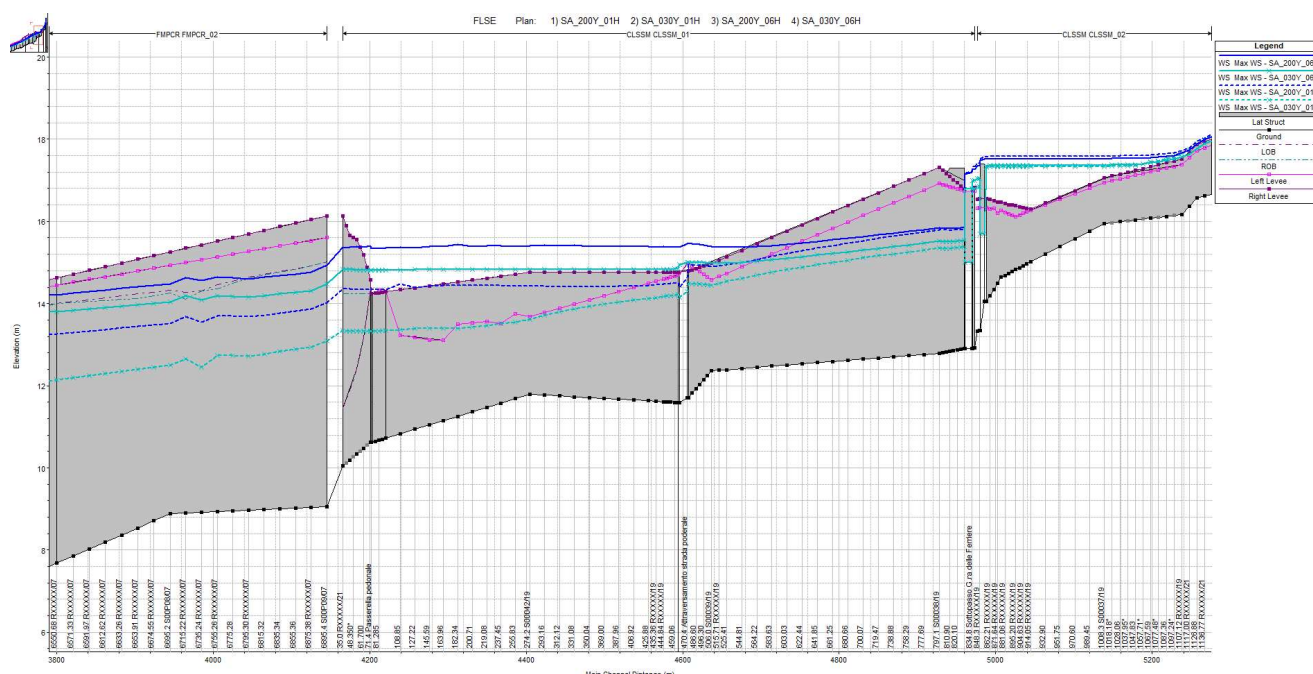


Fig. 36. Profili  $\max WS$  del C.le S. Simone tra confluenza F.so Valle dell'Orto e F. Pecora. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01/06H.

<sup>132</sup> L'argine ulteriore introdotto nella modellazione schematizza la riprofilatura di raccordo alle quote sommitali del F. Pecora modificate nell'ambito degli interventi cassa (successivi al volo Lidar). Conseguentemente, le esondazioni massive avvengono a monte della passerella.

<sup>133</sup> La nota sensibilità generale di HEC-Ras ai settaggi specifici di confluenza e sfioro laterale (tra gli altri, in particolare *Normal 2D* e  $\{Weir, \mu\}$ ) nel bilancio delle portate (variabile derivata nel metodo numerico std) è qui di una certa rilevanza, data la citata importanza degli effetti di saturazione del volume di invaso a monte della S.P. n. 152. Le prove numeriche effettuate hanno mostrato differenziali nei  $\max WS$  in alveo e fuori anche dell'ordine del decimetro ma, complessivamente, non cambia il quadro descritto. Il settaggio qui adottato -per esigenze di stabilità differenziando  $LS\ dx/sx$  C.le S. Simone- tende a definire valori  $\max WS$  lievemente cautelativi nel F. Pecora (e, per rigurgito, nel C.le S. Simone).



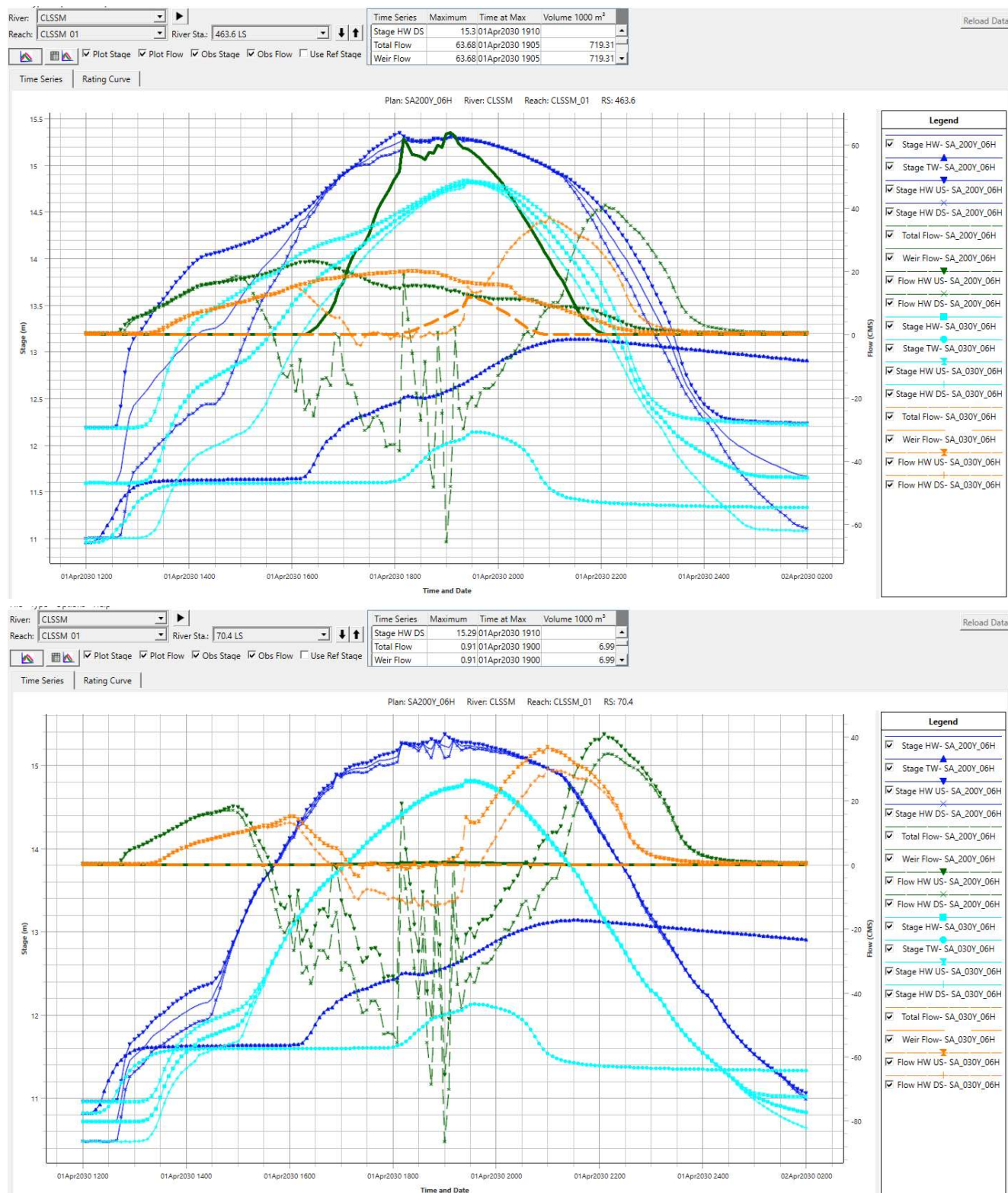


Fig. 37. Idrogrammi di portata in esondazione dall'argine dx del C.le S. Simone alla confluenza. LS 463.6 e 70.4. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_06H.

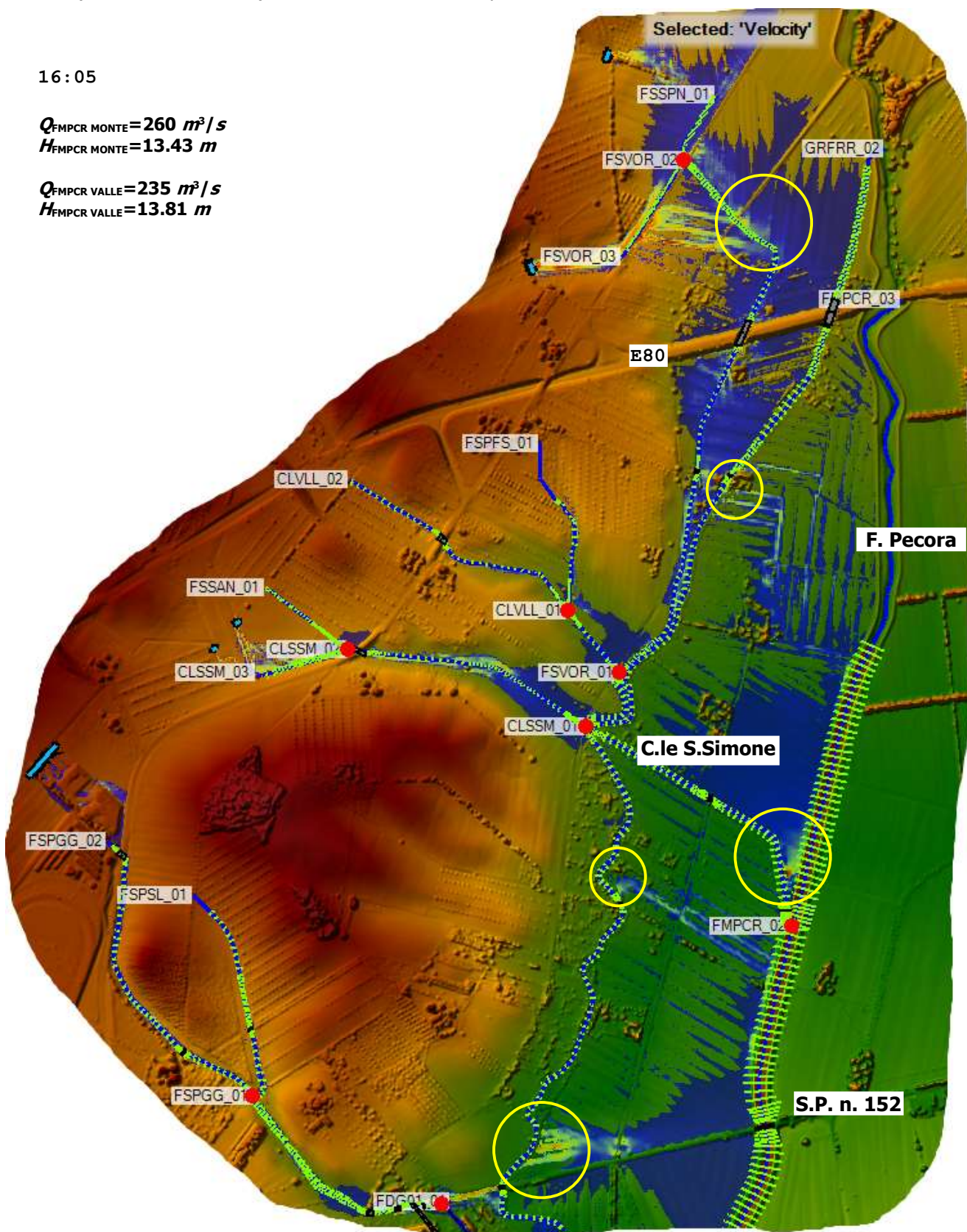
In Fig. 38-Fig. 41 sono riportate alcune mappe istantanee di velocità di propagazione dei fronti di inondazione per lo scenario pluviometrico di 06H e le mappe involucro  $maxDepth$ , da cui ben si evincono la combinata dinamica locale-comprensoriale e le residue pericolosità specifiche del F. Pecora, sussistenti anche per  $T_r=30$  anni. Le esondazioni del F. Pecora avvengono per tracimazione degli argini del C.le S. Simone (anche 30 anni), con residui scambi *in/out* (al limite già 30 anni) alla intersezione con la S.P. n. 152, causa saturazione del volume di invaso disponibile e la scarsa capacità dei tombini stradali. Nello scenario 200-ennale, sebbene a ve-

locità basse, gli elevati e instabili scambi di portata monte/valle e  $dx/sx$  che avverrebbero nell'alveo del C.le S. Simone (300-400 m terminali) lasciano dedurre elevate probabilità di formazione di brecce.

16:05

$Q_{FMPCR\ MONTE} = 260 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $H_{FMPCR\ MONTE} = 13.43 \text{ m}$

$Q_{FMPCR\ VALLE} = 235 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $H_{FMPCR\ VALLE} = 13.81 \text{ m}$





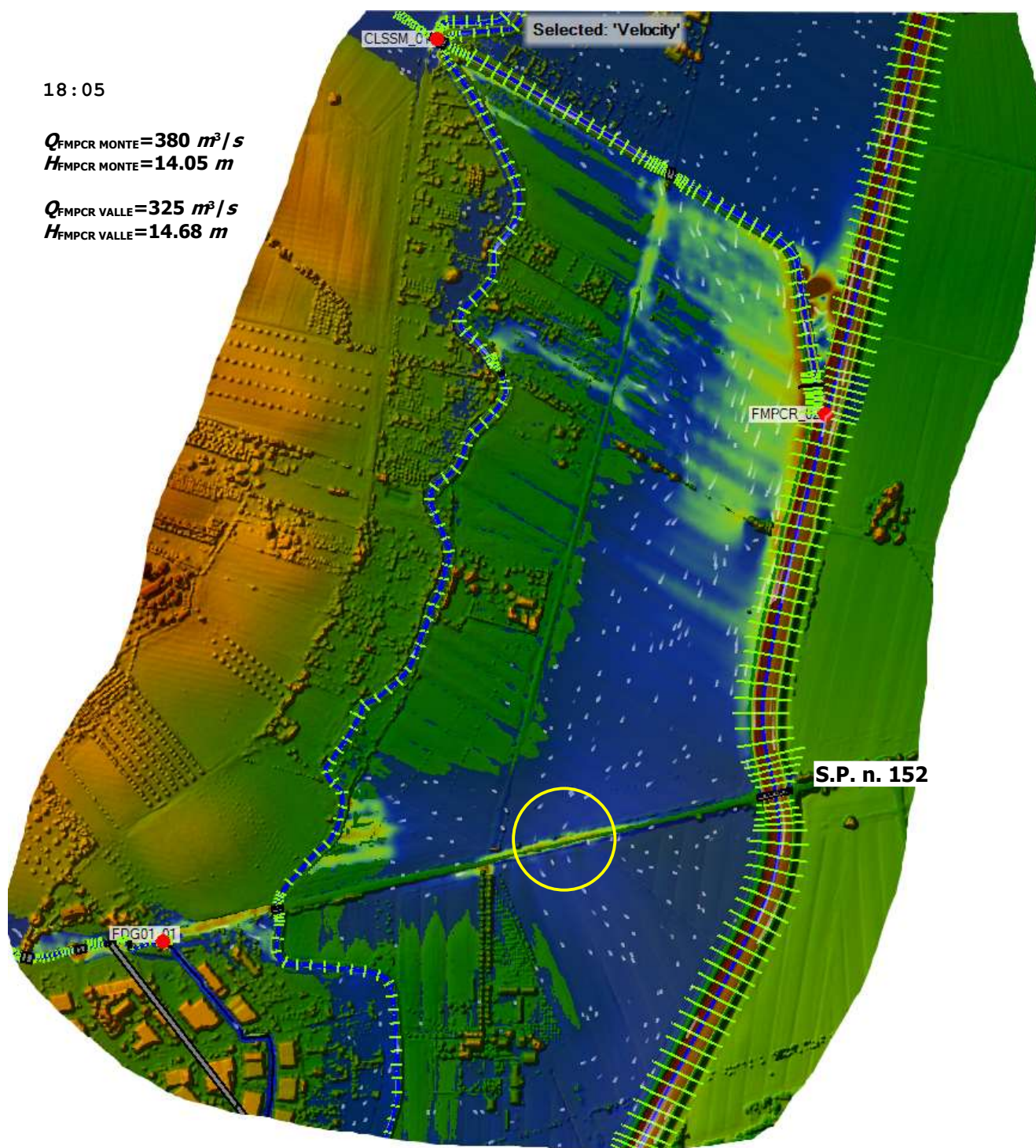


Fig. 38. Mappe istantanee delle velocità dei deflussi fuori alveo tra E80 e S.P. n. 152 e relativa topologia di esondazione.

1+2-D. Plan SA\_200Y\_06H.



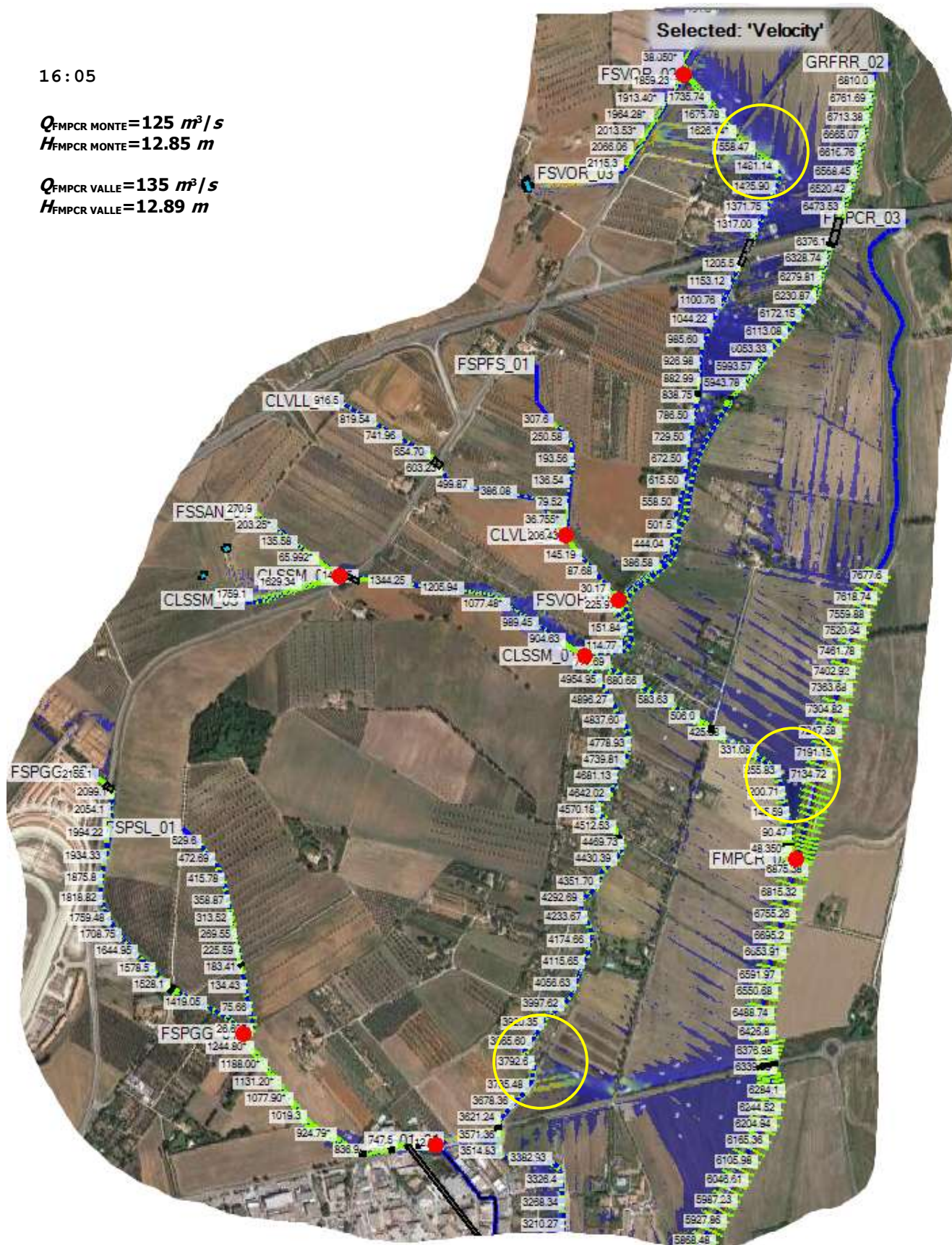
16:05

$Q_{\text{FMPCR MONTE}} = 125 \text{ m}^3/\text{s}$

$H_{\text{FMPCR MONTE}} = 12.85 \text{ m}$

$Q_{\text{FMPCR VALLE}} = 135 \text{ m}^3/\text{s}$

$H_{\text{FMPCR VALLE}} = 12.89 \text{ m}$





18:05

$Q_{\text{FMPCR MONTE}} = 270 \text{ m}^3/\text{s}$

$H_{\text{FMPCR MONTE}} = 13.77 \text{ m}$

$Q_{\text{FMPCR VALLE}} = 260 \text{ m}^3/\text{s}$

$H_{\text{FMPCR VALLE}} = 14.03 \text{ m}$

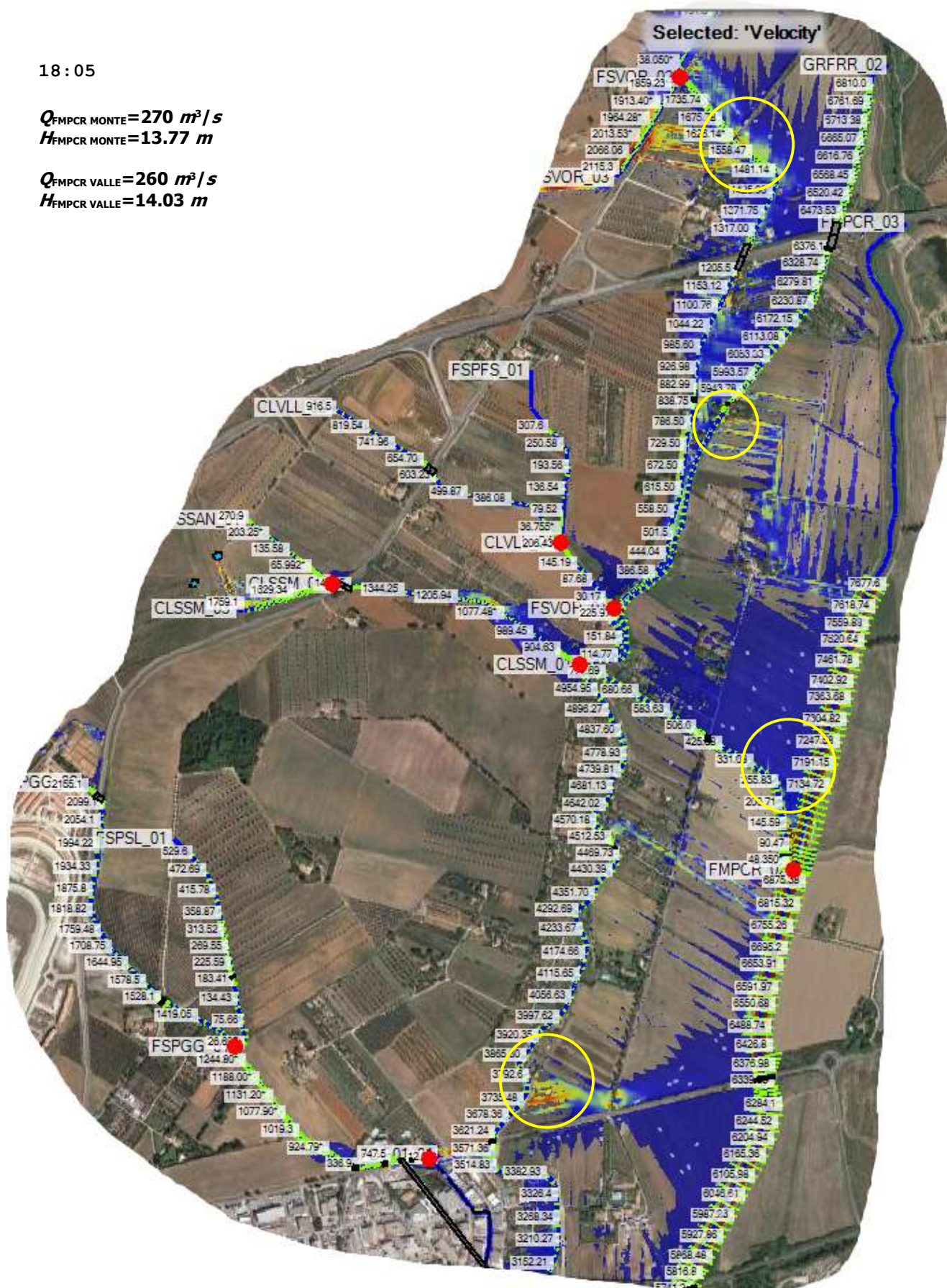


Fig. 39. Mappe istantanee delle velocità dei deflussi fuori alveo tra E80 e S.P. n. 152. 1+2-D. Plan SA\_030Y\_06H.



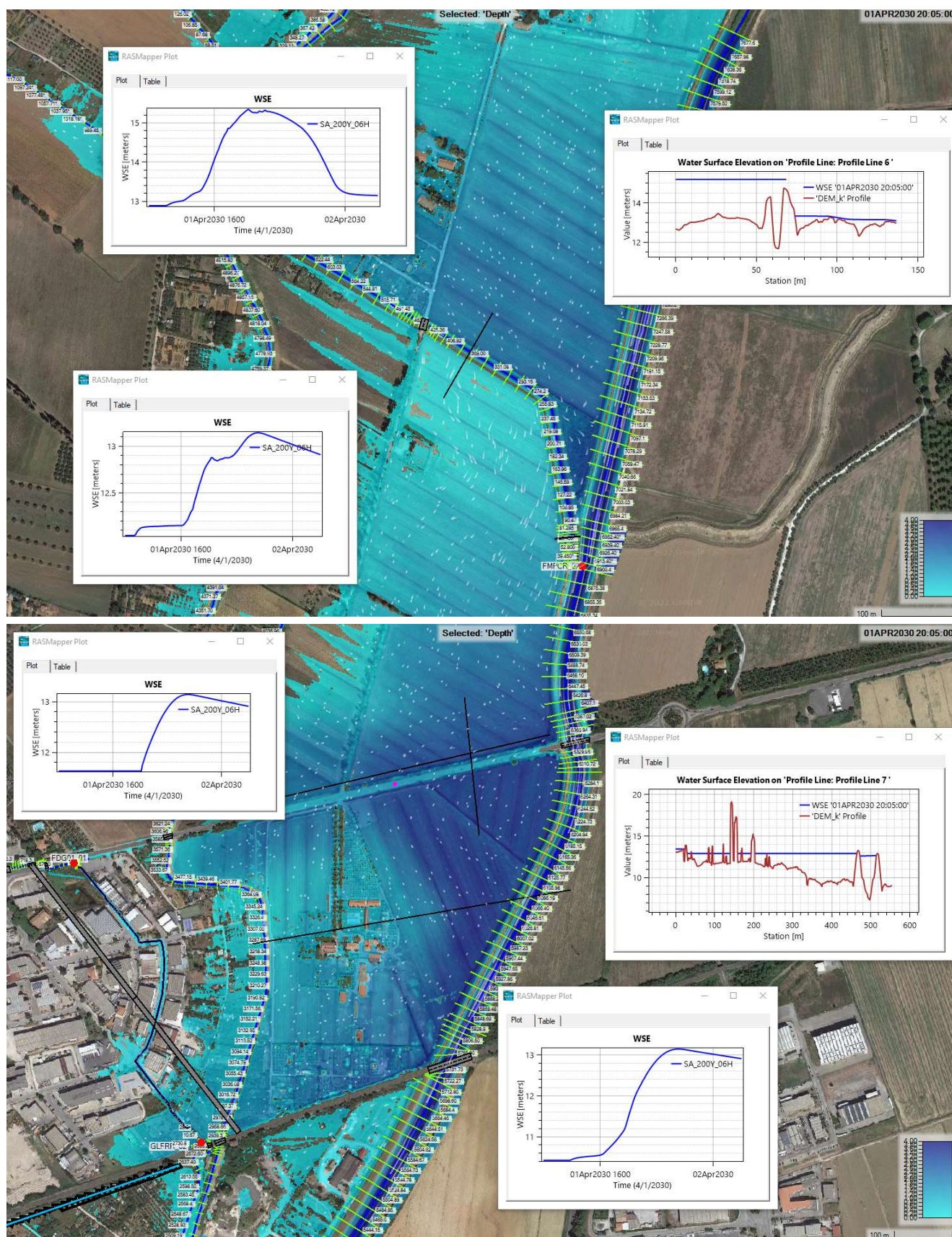


Fig. 40. Mappe istantanee Depth e idrogrammi WS tra E80 e FFS. 1+2-D. Plan SA\_200Y\_06H.



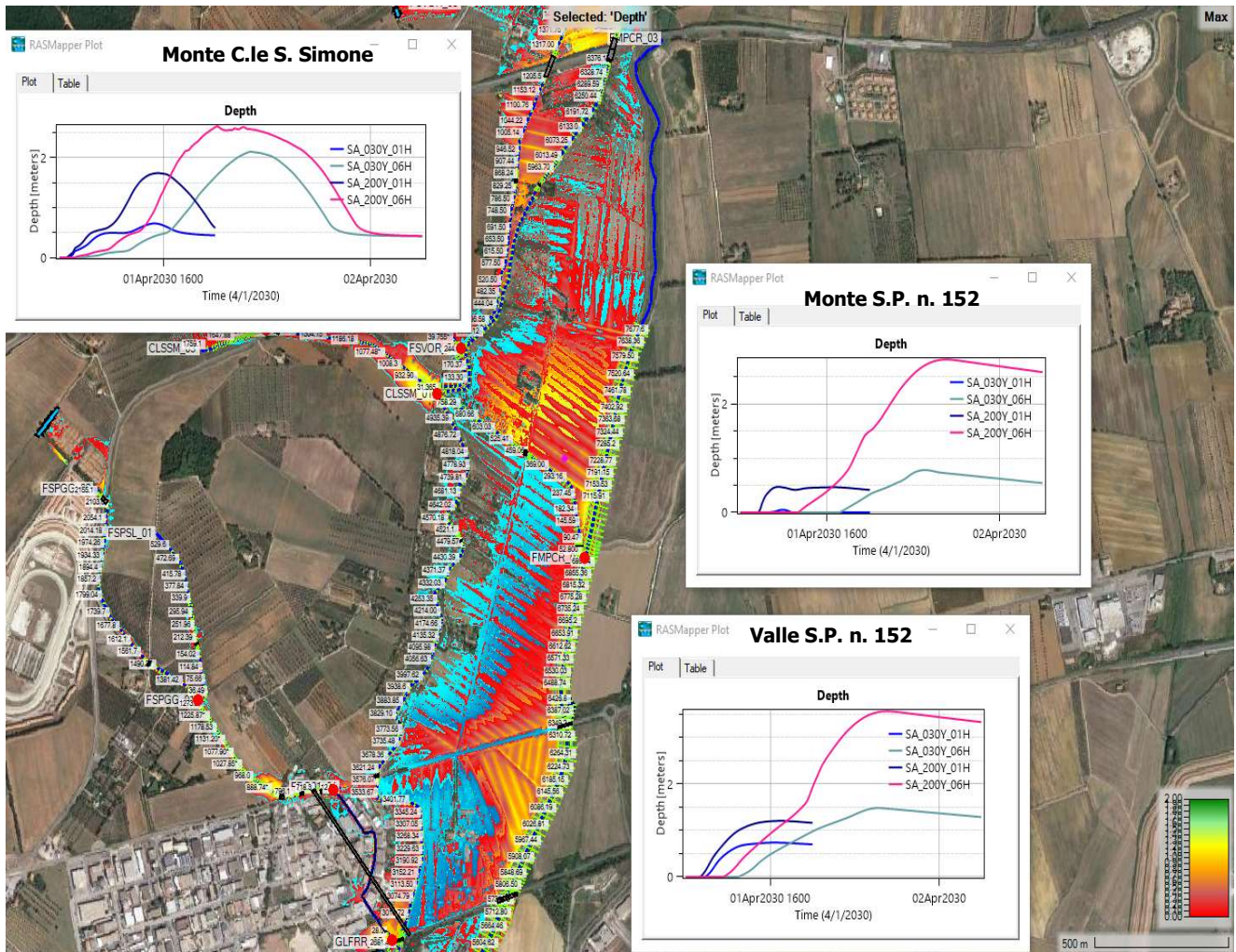
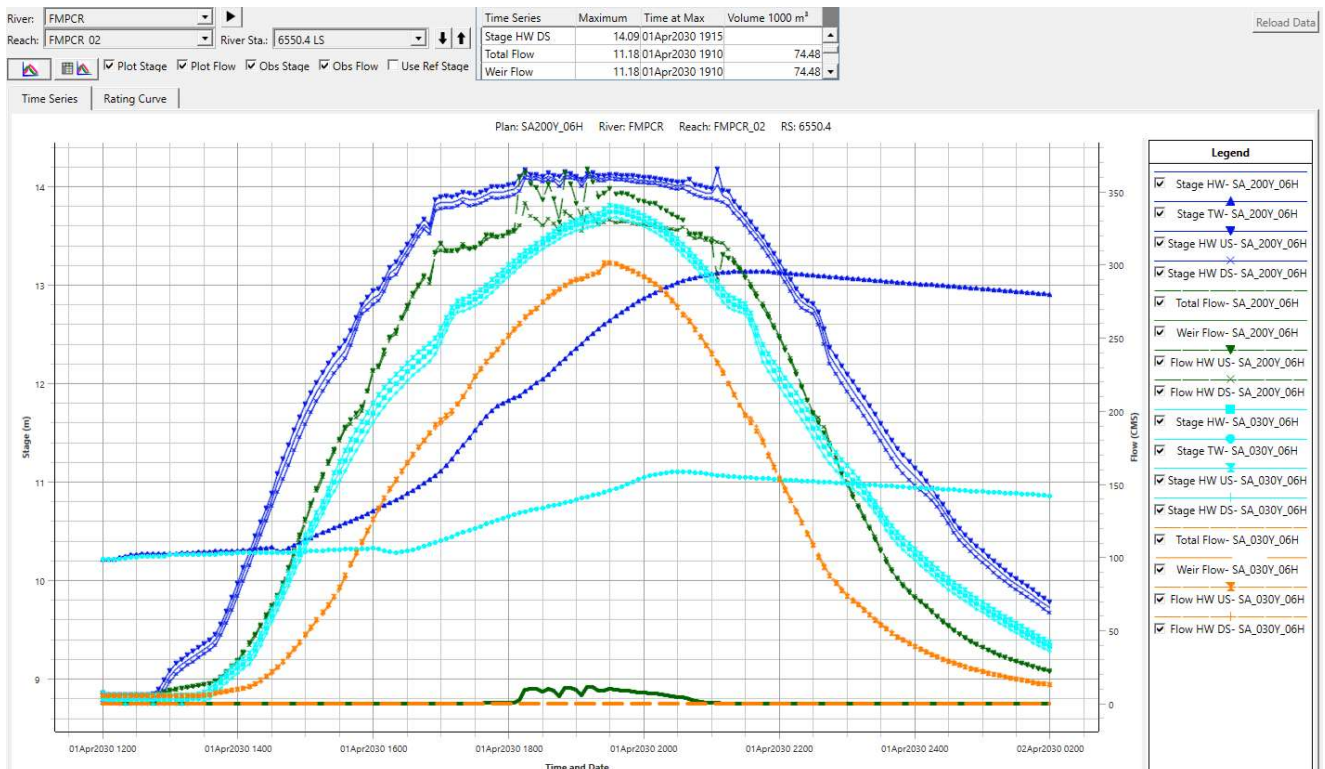


Fig. 41. Mappe di maxDepth tra E80 e FFS. 1+2-D. Plans SA\_030 (rosso)/200 (blu)Y\_#H.



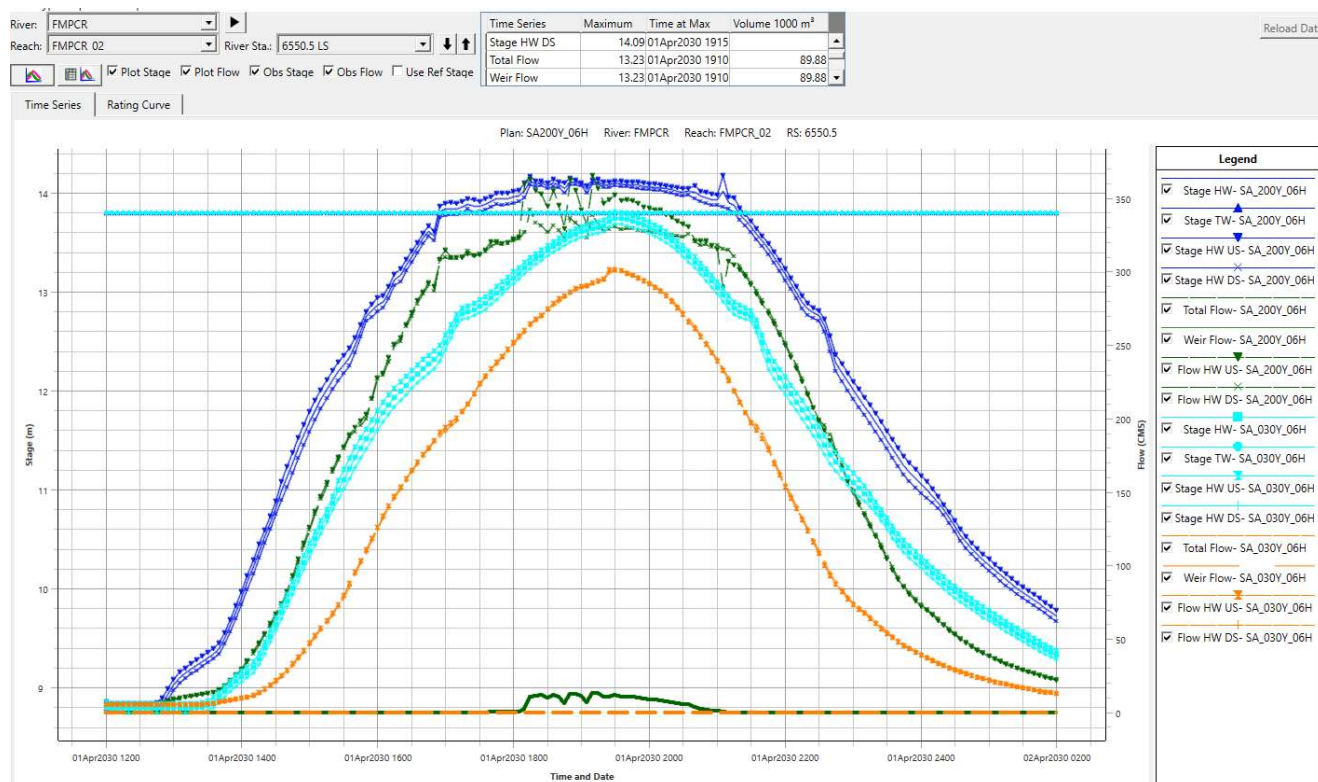


Fig. 42. Idrogrammi ai LS 6550.4/5 sul F. Pecora a monte della S.P. n. 152. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_06H.

La dinamica descritta implica anche tracimazioni arginali del F. Pecora a monte della S.P. n. 152 (Fig. 42), non solo in  $dx$  ma anche in  $sx$ , determinando esondazioni 200-ennali (ca.  $90 \times 10^3 \text{ m}^3$ ) e aree in classe di pericolosità P2 non previste nel PGRA attuale (e qui non mappate in quanto esclusa dal dominio idraulico l'intera  $sx$  F. Pecora in Comune di Scarlino).

Le acque esondate tra Gora delle Ferriere e F. Pecora scorrono (laminando) verso valle, con primo impedimento strutturato indotto dal rilevato S.P. n. 152. I tombini esistenti (rilevati e inseriti nel modello) -già al limite per gli eventi 30-ennali di massimo impegno (volume) per il F. Pecora- non risultano sufficienti (oltre che di incerta efficienza) ad evitare tracimazione su sede stradale e arginature per  $T_r=200 \text{ anni}$  (Fig. 43). Analogamente, a valle, fino all'ulteriore rilevato FFS ove è presente un unico tombino, del canale di gronda delle acque basse, adiacente ponte e argine; diversamente, però, né rilevato né argini verrebbero sormontati (in forza della sopraelevazione degli argini avvenuta in concomitanza della realizzazione della cassa Scopaione<sup>134</sup>), anche se con franco  $<0.50 \text{ m}$  per l'evento 200-ennale (Fig. 44).

<sup>134</sup>Non visibili nei profili RasMapper.



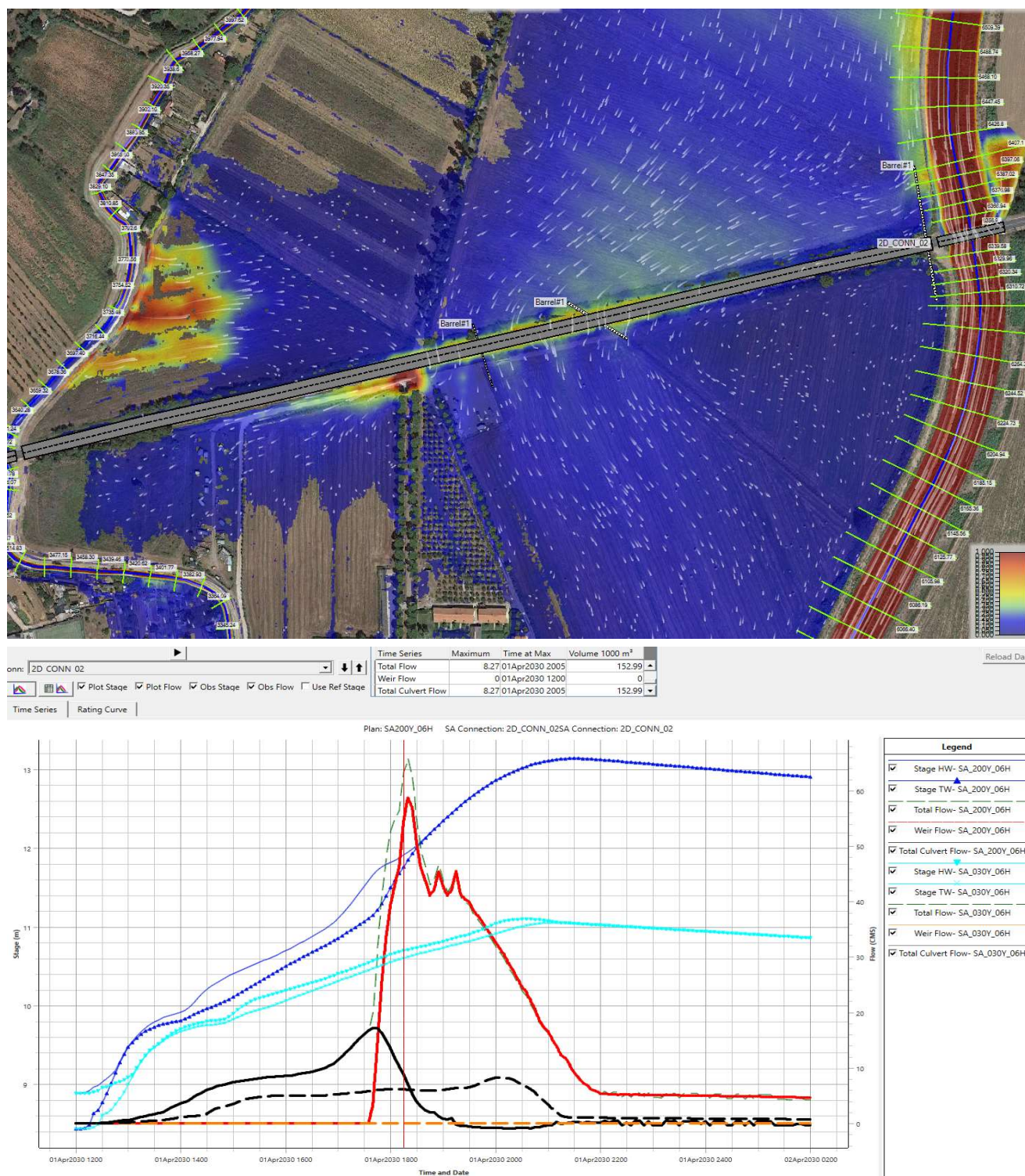
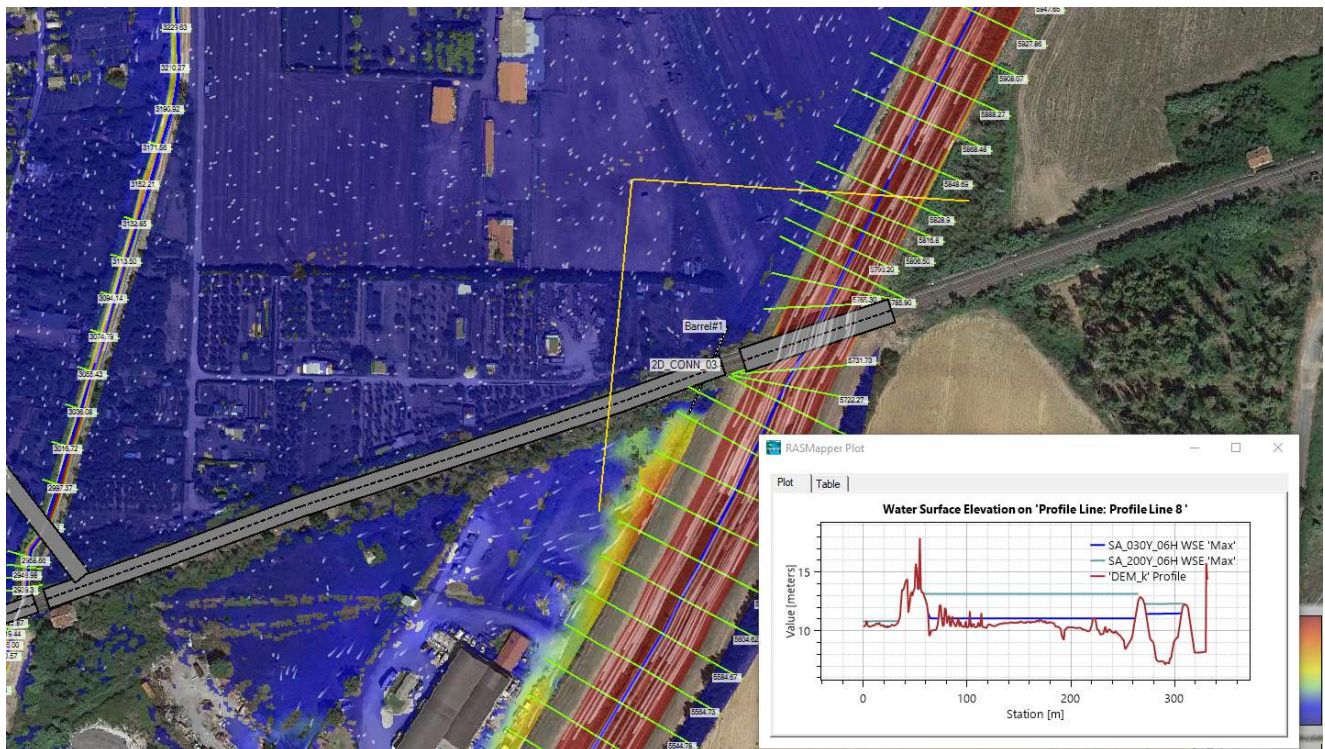


Fig. 43. *Idrogrammi alla S.P. n. 152 [2D\_CONN\_02]* (in rosso/arancione le tracimazioni su sede stradale, in nero i deflussi ai tombini). 1+2-D. *Plans SA\_030/200Y\_06H*.

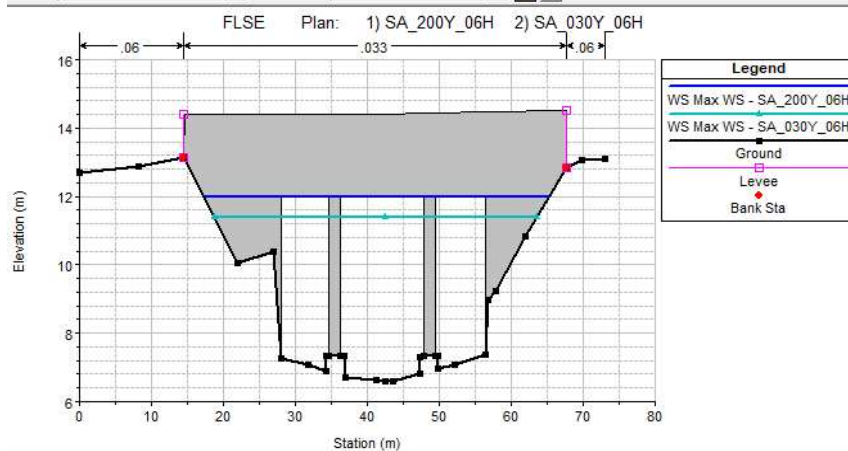
Il filone di corrente a valle di FFS verso l'ultimo rilevato (debole) della S.P. n. 106 di Cassarello è, dunque, molto laminato ( $Q_{\max,200} < 10 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e avviene attraverso un percorso più incerto e confinato in area già urbanizzata, in quanto comunque non contenibile nell'alveo del collettore delle acque basse afferente il F. Pecora a monte del ponte di Cannavota, ove lo scarico è ovviamente condizionato dai livelli nel F. Pecora (Fig. 47); il conseguente accumulo retro rilevato stradale non impedisce un'ulteriore propagazione verso valle con tracimazione della sede stradale nei pressi del piazzale prima del ponte, al limite ma improbabile per  $T_r=30 \text{ anni}$  e più nettamente temibile per  $T_r=200 \text{ anni}$  ( $\max 0.20 \text{ m}$ ) e le durate più lunghe (Fig. 45-Fig. 46). Il volume tracimato verso valle per  $T_r=200 \text{ anni}$  ammonta a ca.  $80 \times 10^3 \text{ m}^3$  nel periodo di simulazione (essendo non ancora esaurita



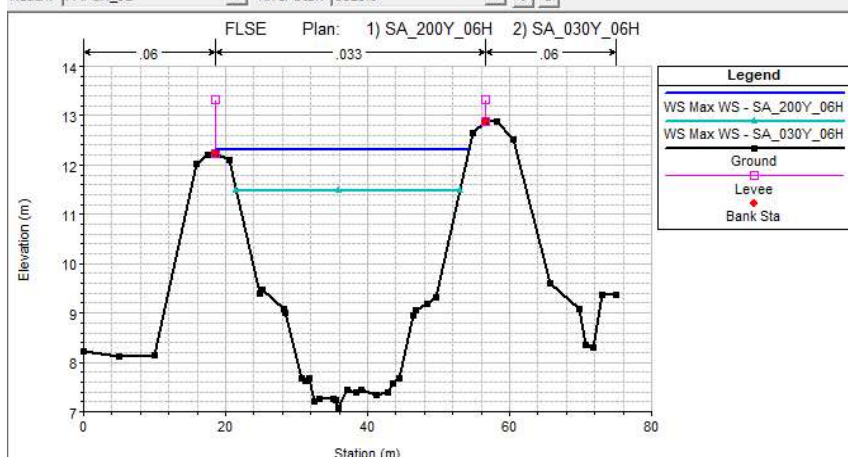
la fase di propagazione, tale volume è una sottostima; salvo i tempi di residenza, ciò è sostanzialmente trascurabile per gli elementi caratteristici di pericolosità a valle).



River: FMPCR  
Reach: FMPCR\_02  
River Sta.: 5748.1 BR.U



River: FMPCR  
Reach: FMPCR\_02  
River Sta.: 5828.9





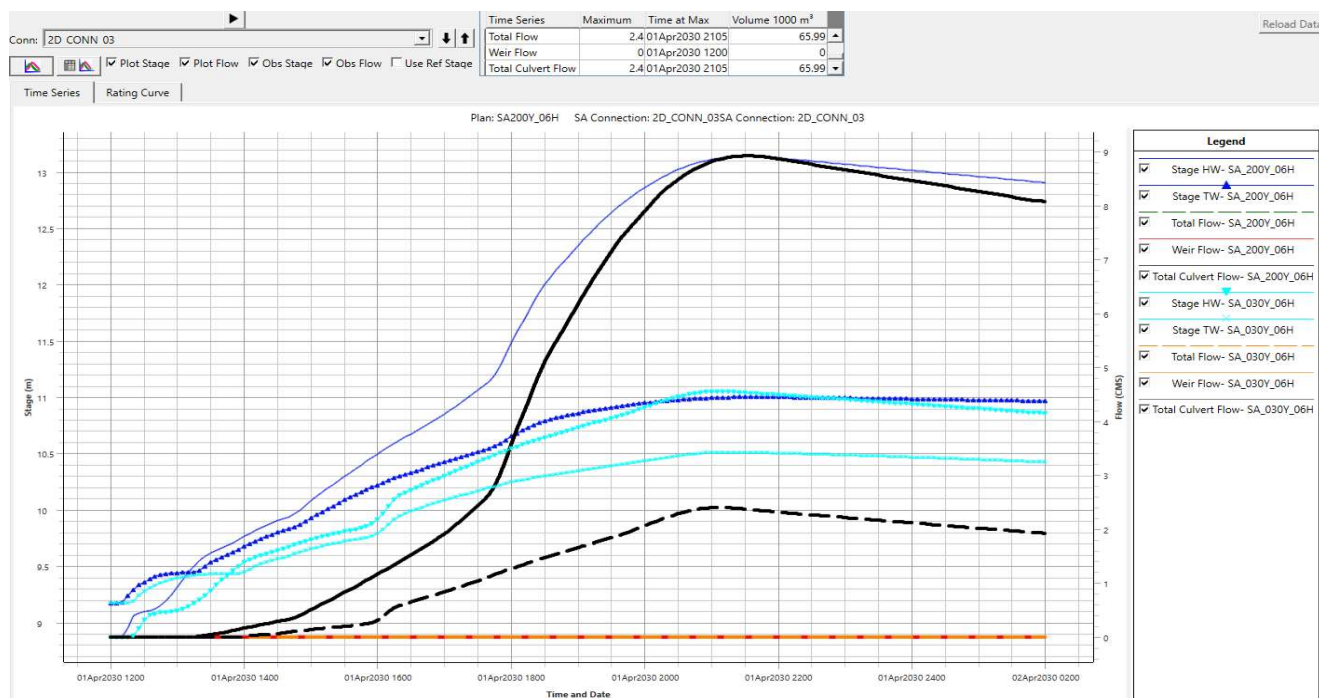


Fig. 44. Sezioni maxWS e idrogrammi alla FFS [2D\_CONN\_03] (in rosso/arancione le tracimazioni su sede stradale, in nero i deflussi al tombino). 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_06H.

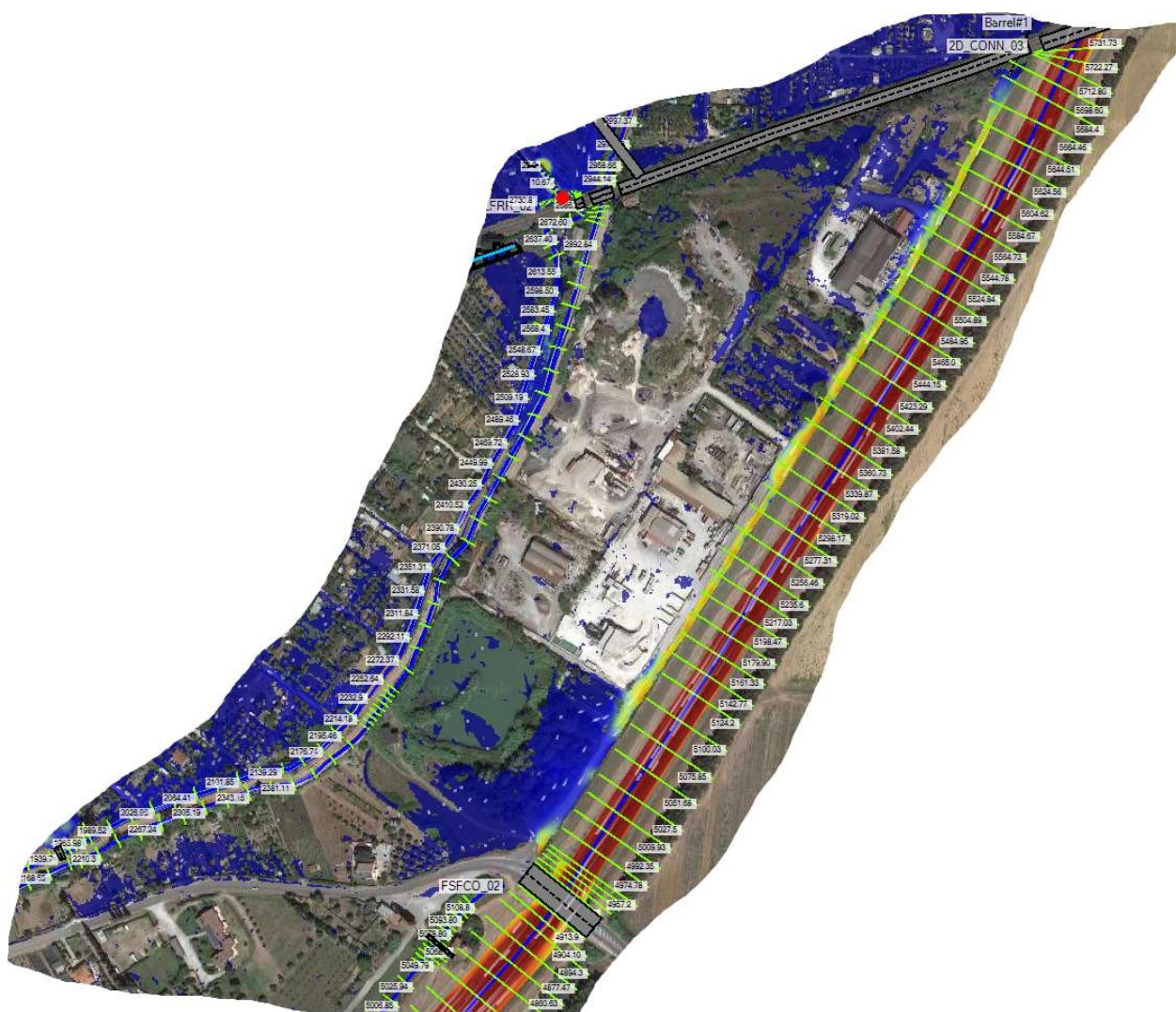


Fig. 45. Mappa istantanea (ca. max) delle velocità dei deflussi fuori alveo tra FFS e S.P. n. 106. 1+2-D. Plans SA\_030Y\_06H.

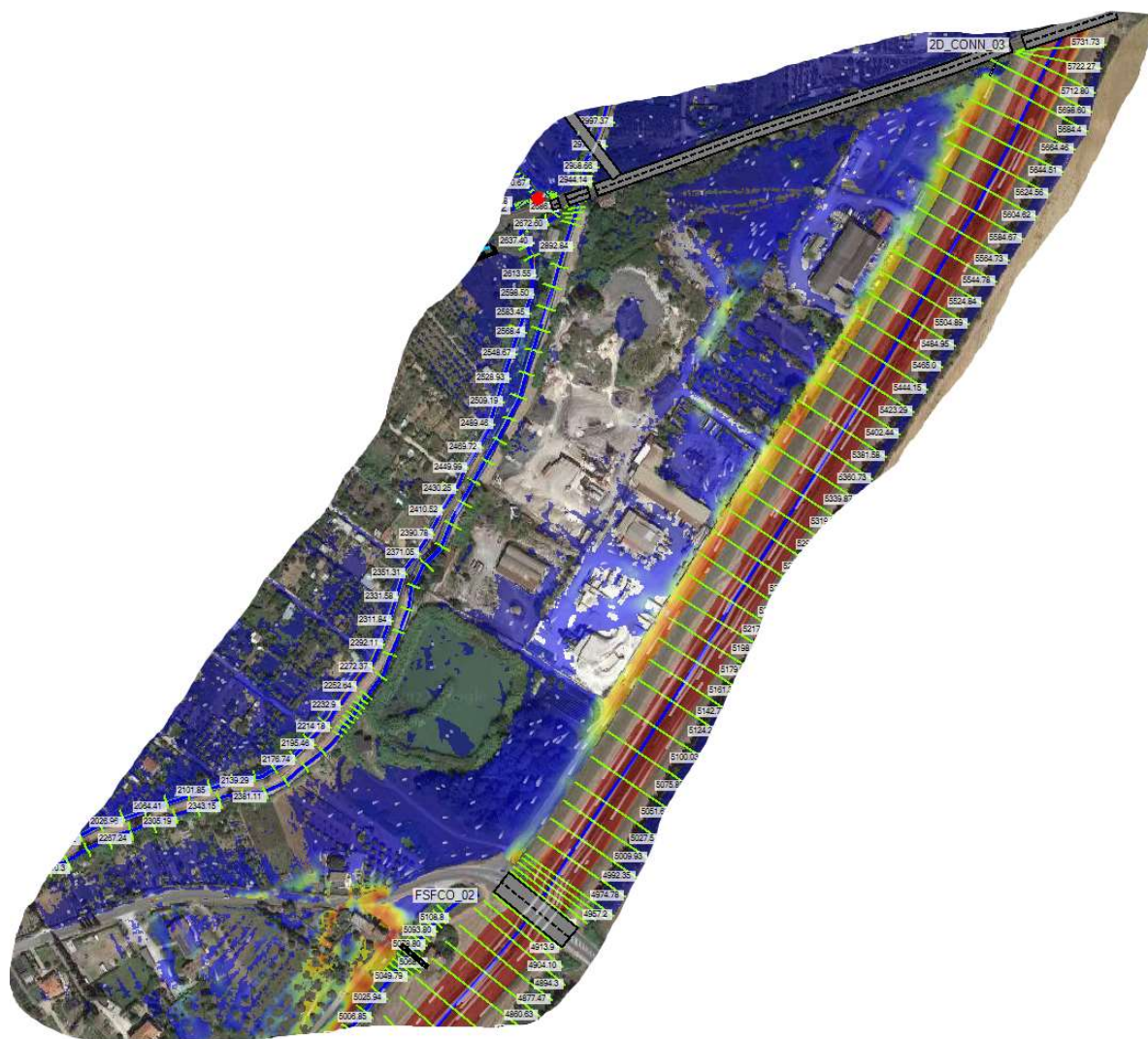


Fig. 46. Mappa istantanea (ca. max) delle velocità dei deflussi fuori alveo tra FFS e S.P. n. 106. 1+2-D. Plans SA\_200Y\_06H.

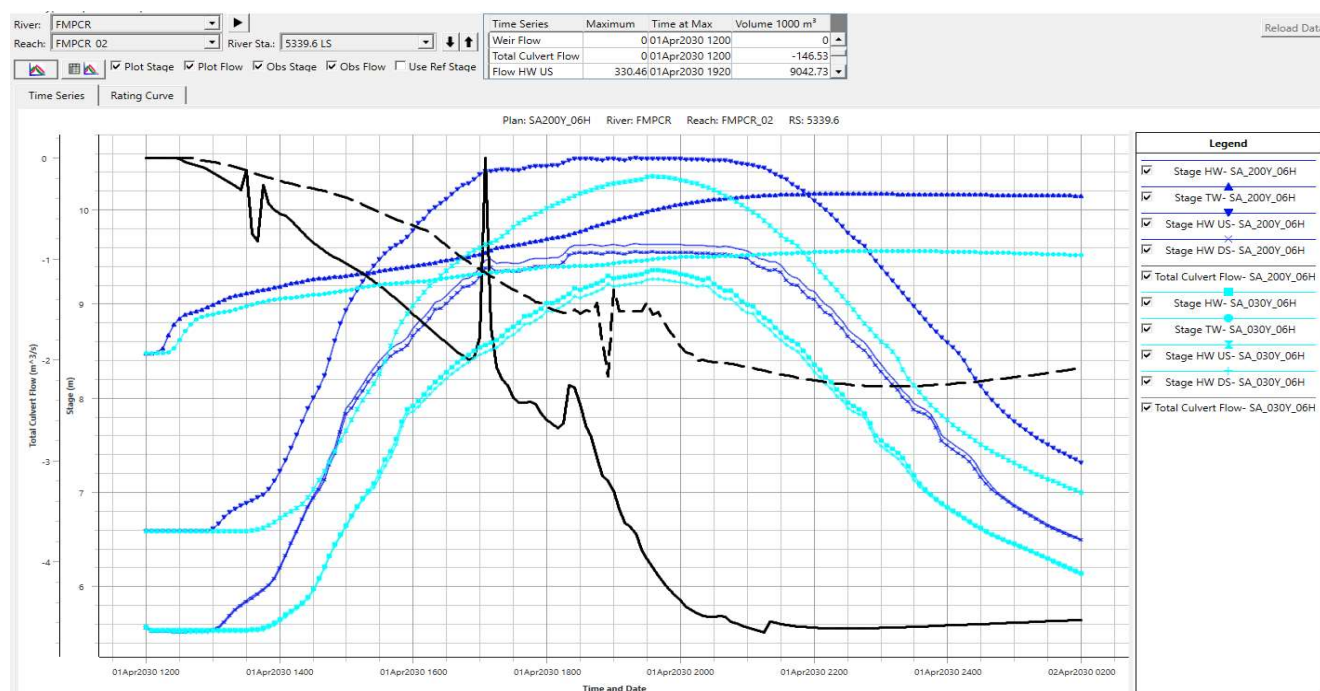


Fig. 47. Idrogrammi al tombino di scarico nel F. Pecora a Cannavota del collettore di acque basse [LS 5339.6]. 1+2-D.

Plan SA\_030/200Y\_06H.



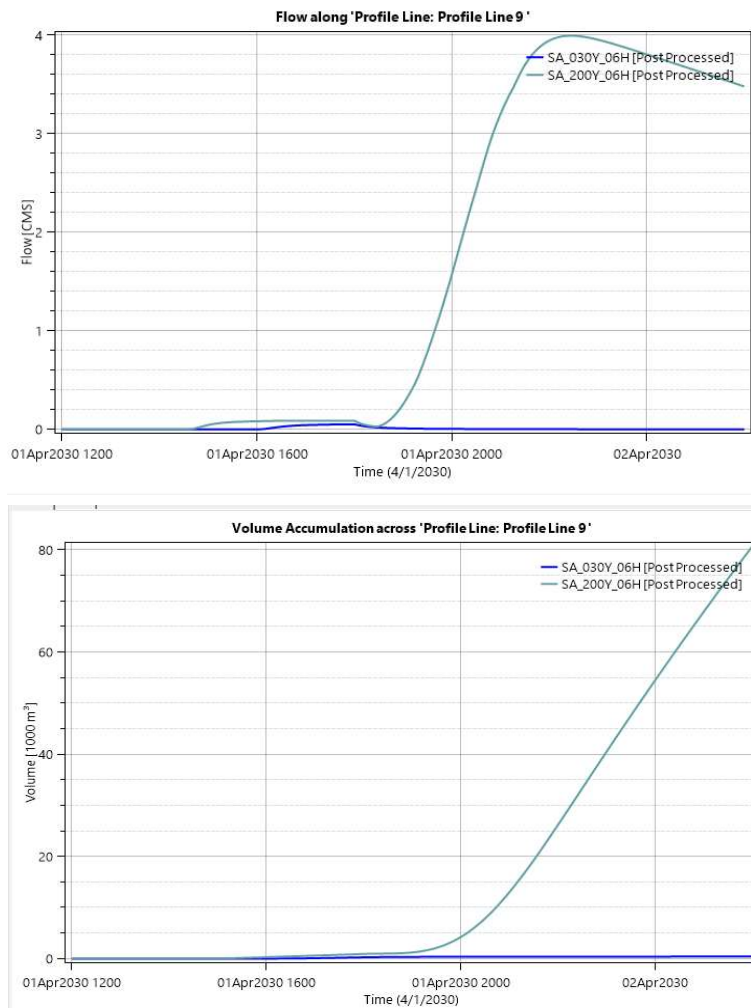


Fig. 48. Idrogrammi di tracimazione S.P. n. 106. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_06H.

La ridotta quantità di volume oltrepassante la S.P. alimenta il debole fronte di monte del potenziale allagamento dei quartieri di Cassarello-Salciaina-Senzuno, rimanendo in  $dx$  del vecchio argine di recinto del F. Pecora (limite comunale tra Follonica e Scarlino) e, sebbene con labilità dovute alla declassificazione idraulica, tendono a ristagnare, unitamente alle acque meteoriche proprie. Inoltre, mentre il F. Pecora a valle di C.le S. Simone-S.P. n. 152 non esonda più, ulteriori afflussi derivano dall'impedimento a mare (+1.0/1.5  $m$  s.l.m. per  $T_r=30/200$  anni) allo scarico della piena con conseguente saturazione dell'intero sistema di scolo del F.sì Fico-Salciaina (Fig. 51), allagamento della zona più depressa in Comune di Scarlino<sup>135</sup> e temibili [deboli] travasi (diretti e/o indiretti<sup>136</sup>) anche a Follonica.

Essi, tuttavia, insistono essenzialmente -e sostanzialmente dipendentemente dalla BC al mare- sul Comune di Scarlino e molto meno su quello di Follonica che, comunque subisce l'impedimento di scolo meteorico dei quartieri depressi. Le durate critiche sono in generale lunghe, via via però maggiormente dipendenti da livello e durata della mareggiata<sup>137</sup> per le aree poste a quota <3.0  $m$  s.l.m. I  $\max WS_{30/200}$  si attestano sui 1.5/2.0  $m$  s.l.m. cui corrispondono  $\max Depth_{30/200}$  mediamente <0.5/1.0  $m$  (Fig. 54). Come è evidente dalla Fig. 49, la pericolosità dei F.sì Salciaina e Fico è  $s'$  direttamente connessa alle condizioni al contorno assunte al mare (soprattutto persistenza, i  $\max WS_{30/200}$  sono simili/al più differenziati di 0.15-0.20  $m$ ), spiegando così in parte le differenze con il PGRA vigente (derivato con BC costante 0.5  $m$  s.l.m. indifferentemente 30/200 anni)<sup>138</sup> nel territorio di Scarlino,  $ma$  risente anche del vincolo indotto dalla botte-sifone che ne limita (con le portate date) i

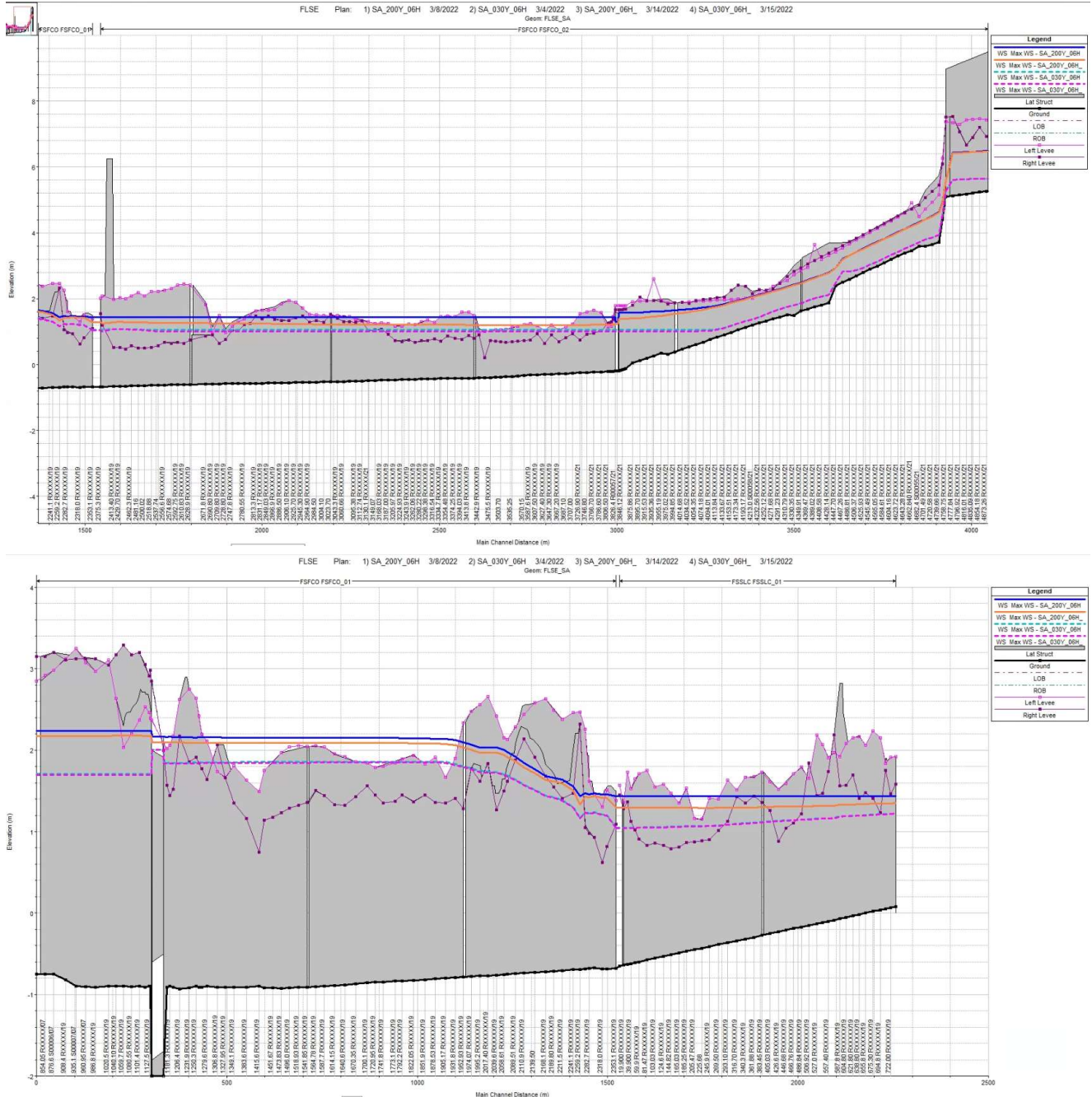
<sup>135</sup>Time non esaustive per limitazione del dominio di calcolo idrografico e idraulico. Non significativa per le valutazioni relative al Comune di Follonica.

<sup>136</sup>Problema, evidentemente, legato sia alla fragilità dell'intero sistema di scolo dei quartieri più depressi, sia alla incertezza/inaffidabilità del vecchio argine di contenimento al confine comunale.

<sup>137</sup>Cfr. anche Fig. 32.

<sup>138</sup>Si ricorda che, invece, lato Piombino il QC riporta 1.0  $m$  s.l.m., anche qui identicamente per 30/200 anni.

differenziali su  $\max WS$ ; dal profilo istantaneo di fase iniziale si può, invece, rilevare come diversi sono le tempistiche di allagamento (soprattutto F.so Fico a valle F.so Salciaina) e relativi volumi/tempi di ristagno. In questo senso, se l'approccio più cautelativo qui adottato ha *comunque* piena ragion d'essere per Follonica (verificandone una scarsa sensibilità) (Fig. 50), esternamente potrebbe (nulla qui rilevando) anche essere ri-valutato con una migliore definizione della geometria di sbocco a mare, degli idrogrammi marini estremi temibili in corso di evento di piena fluviale (oggi non disponibili) e dell'intero dominio idrografico-idraulico di *sx* F. Pecora.





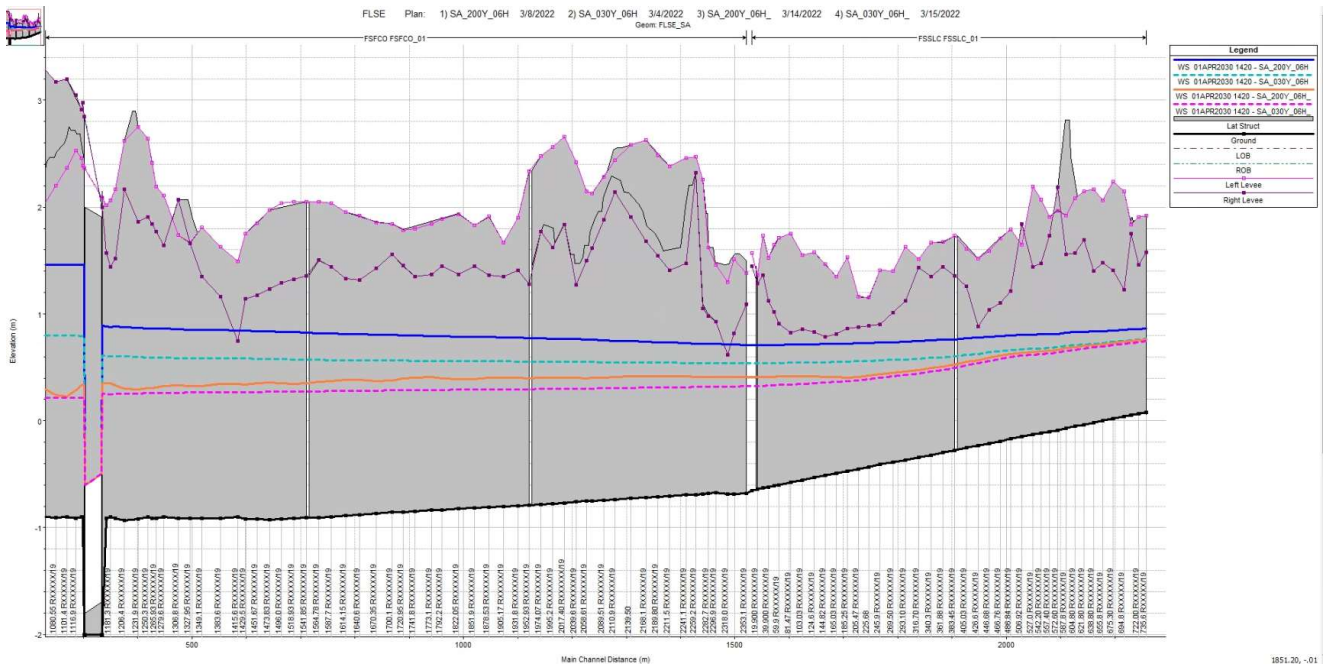


Fig. 49. Profili maxWS e istantaneo fase iniziale di F.so Fico e F.so Salciaina. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_06H vs. SA\_030/200Y\_06H<sup>139</sup>.

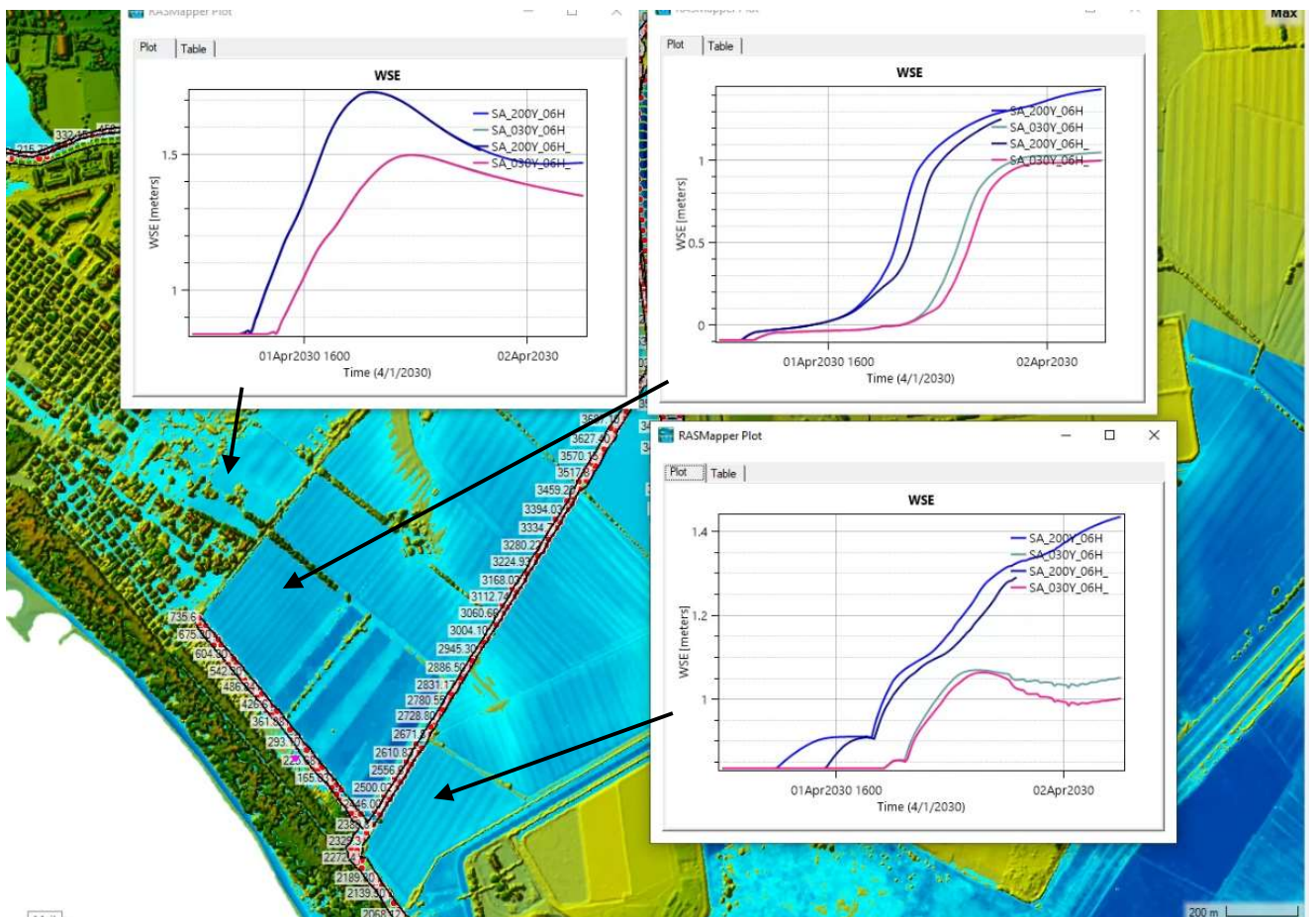
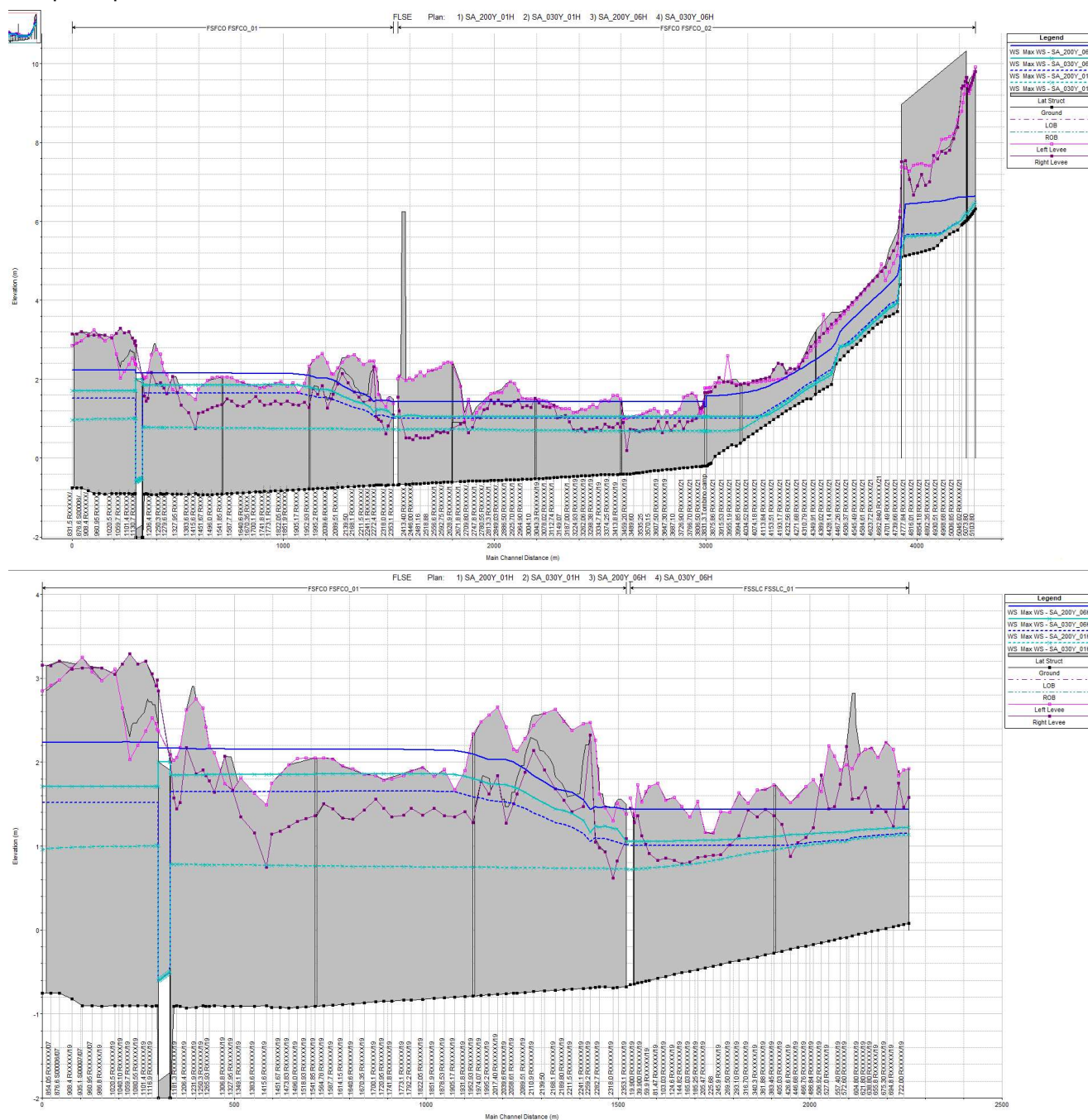


Fig. 50. Idrogrammi Depth puntuali nelle aree allagabili intorno F.so Salciaina. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_06H vs. SA\_030/200Y\_06H<sup>139</sup>.

<sup>139</sup> Plans con BC al mare 0.5 m s.l.m.

Di impatto diretto su Follonica è, invece, un ulteriore contributo dovuto a deboli esondazioni della Gora delle Ferriere (Fig. 52), minori per  $T_r=30$  anni ma comunque pericolosamente direttamente sulla S.P. n. 106 per ca.  $20/85 \times 10^3 m^3$ , rispettivamente per gli eventi 30/200-ennali più lunghi (Fig. 53). Come si vedrà meglio più avanti, acque di ulteriore esondazione della Gora all'ex Ippodromo tenderanno anch'esse a rifluire nei quartieri più depressi sud-orientali di Follonica.





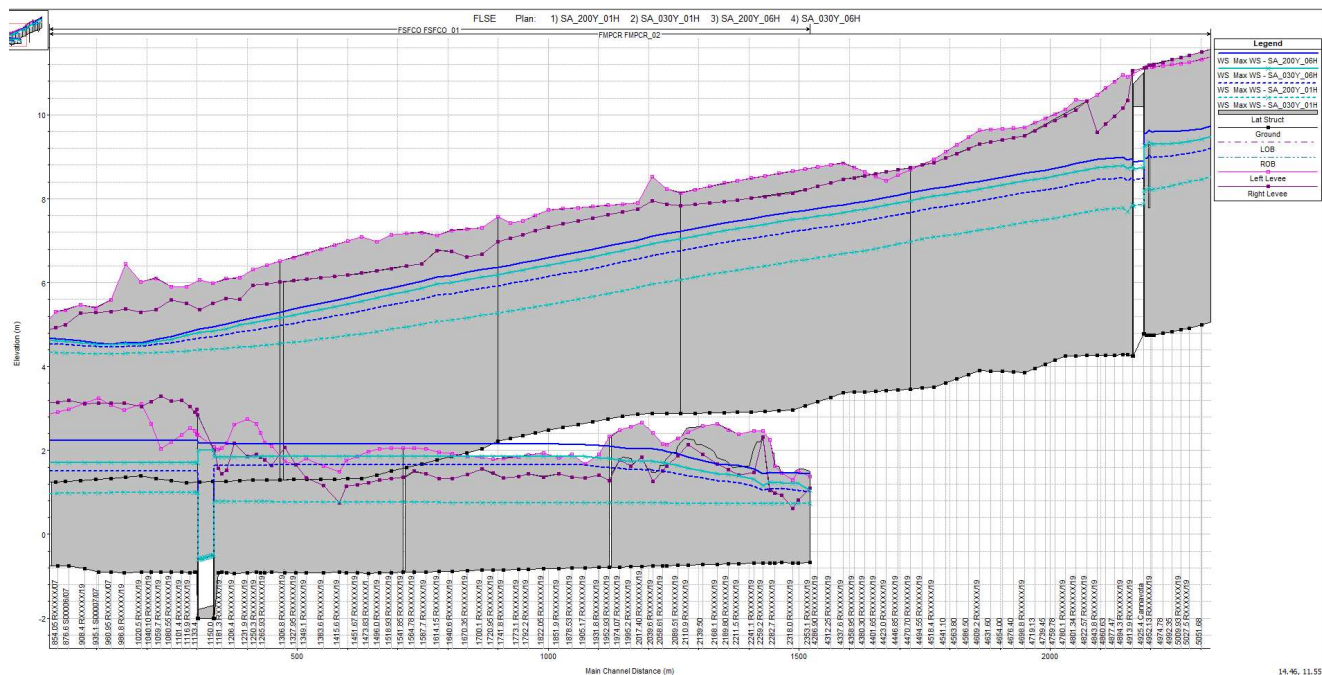
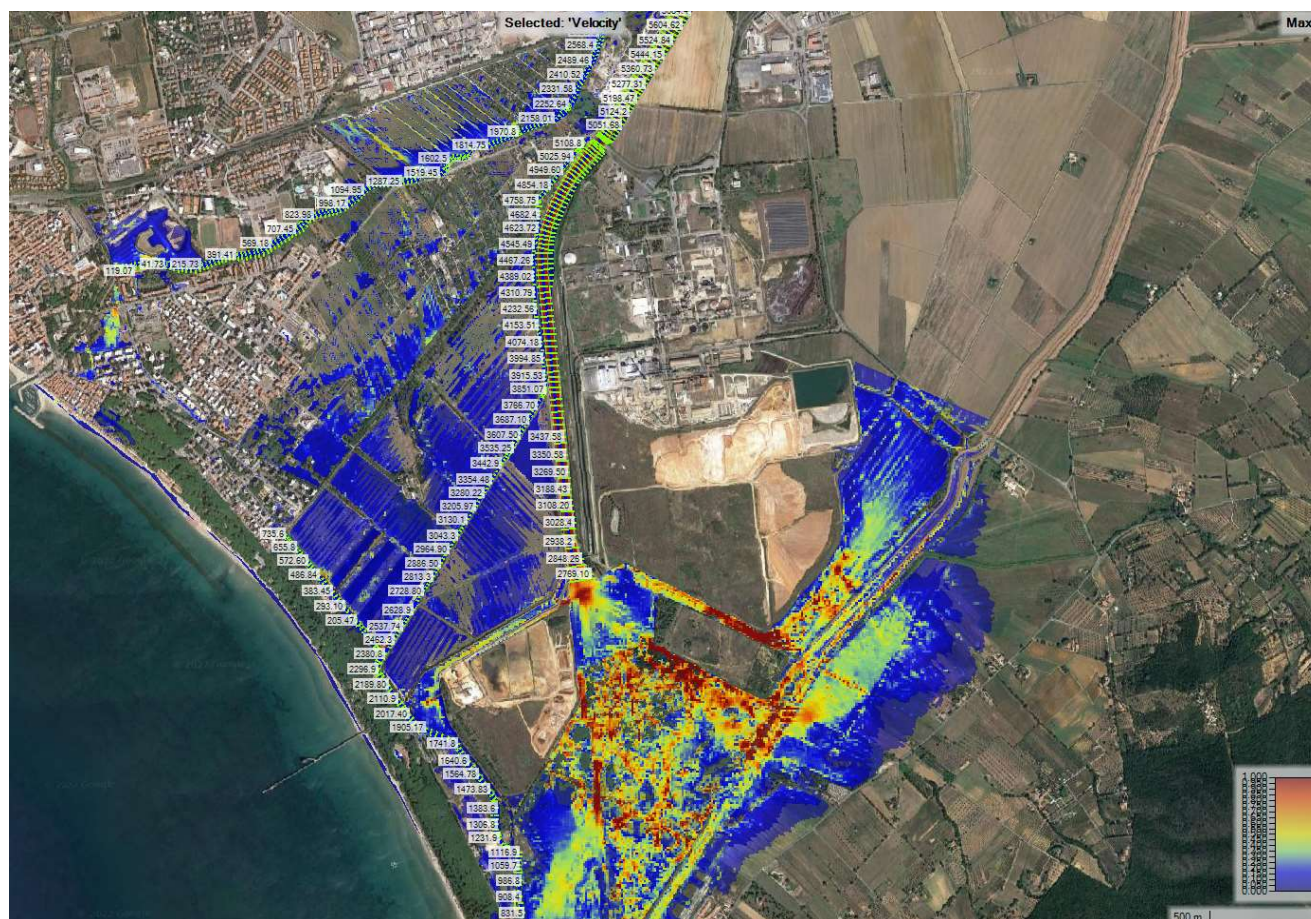


Fig. 51. *Profili maxWS di F.so Fico, F.so Salciaina e F. Pecora a valle di Cannavota. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01/06H.*





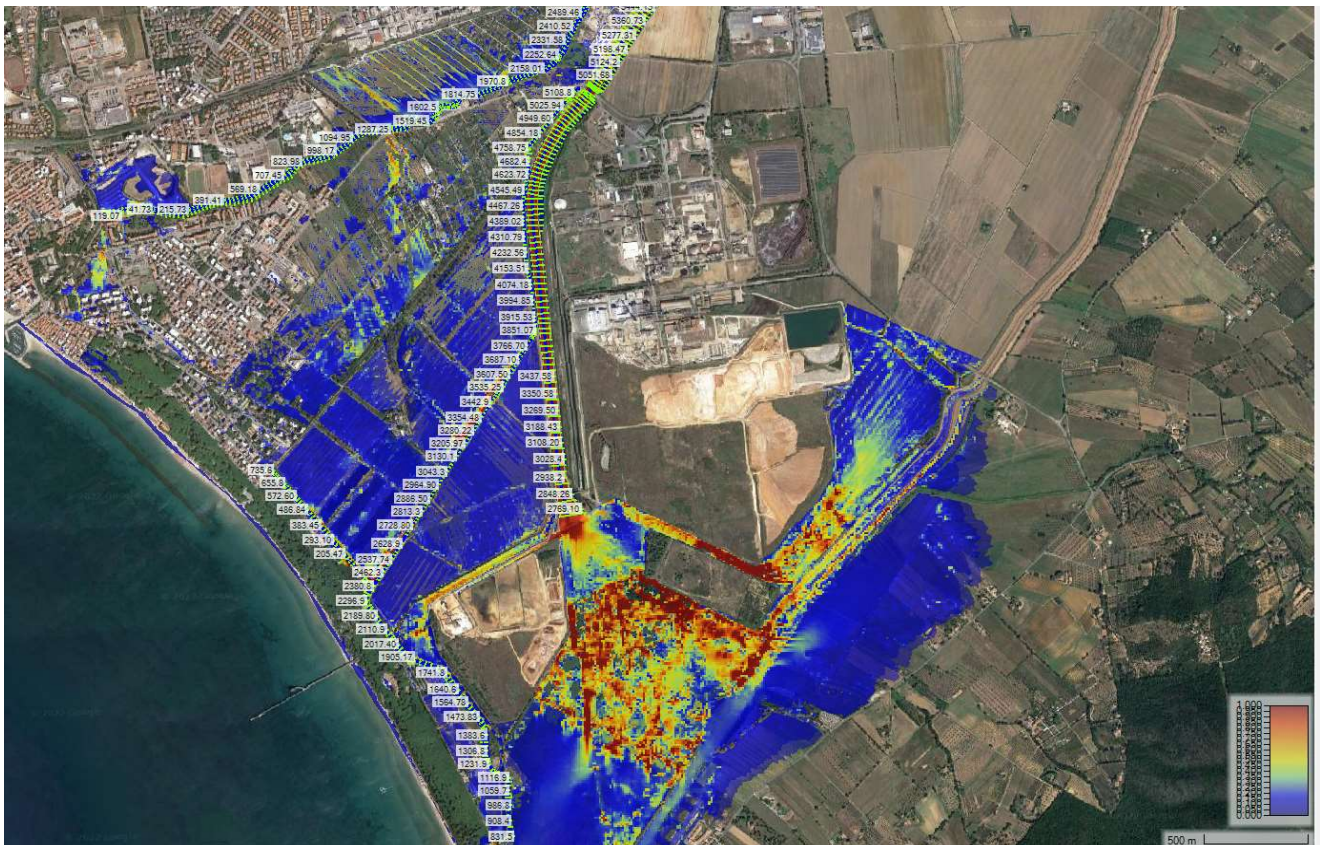
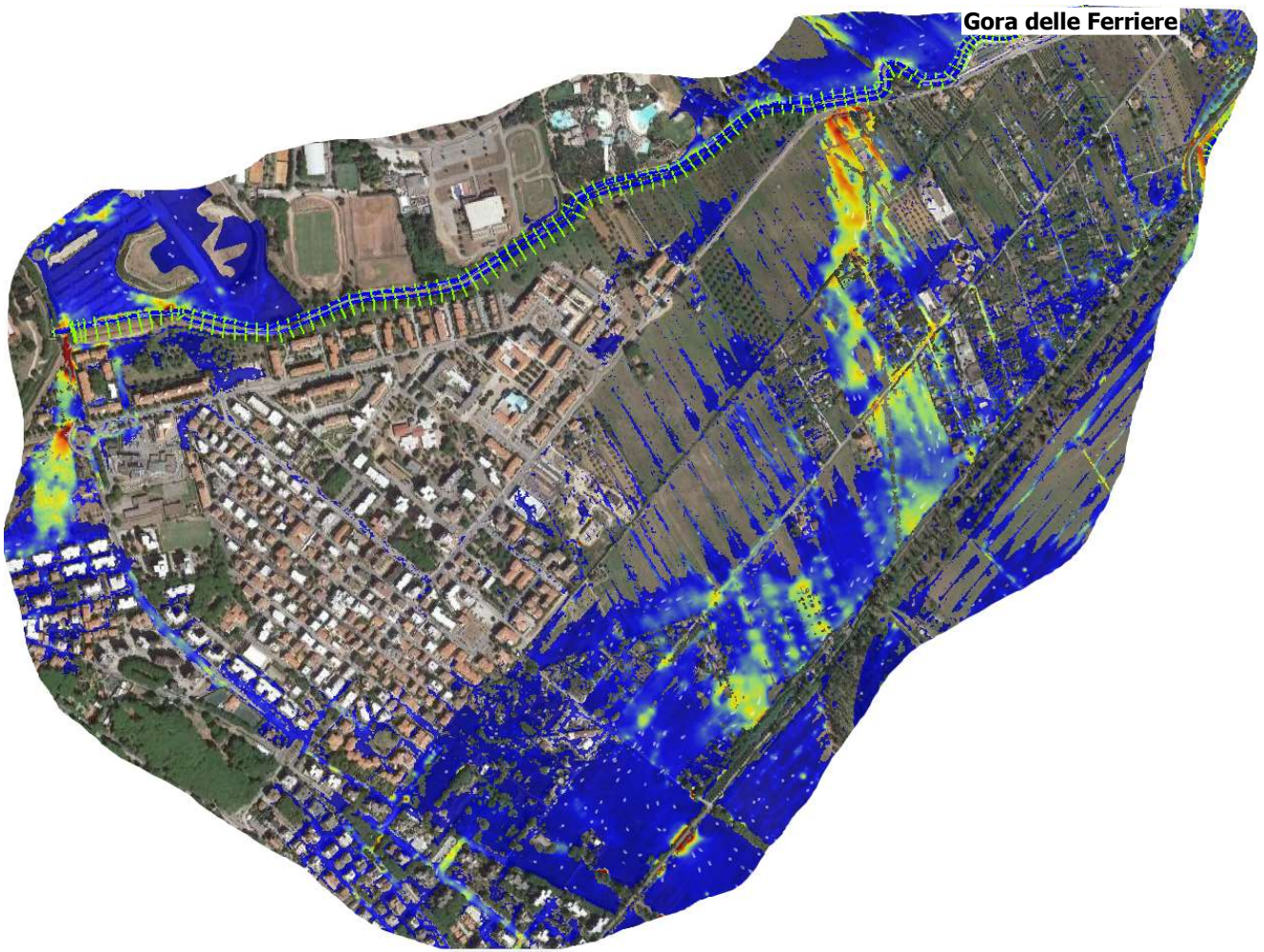


Fig. 52. Mappe inviluppo di  $\max V_{el}$  tra S.P. n. 106 e mare. 1+2-D. Plans SA\_030 (sopra)/200 (sotto)Y\_01/06H.





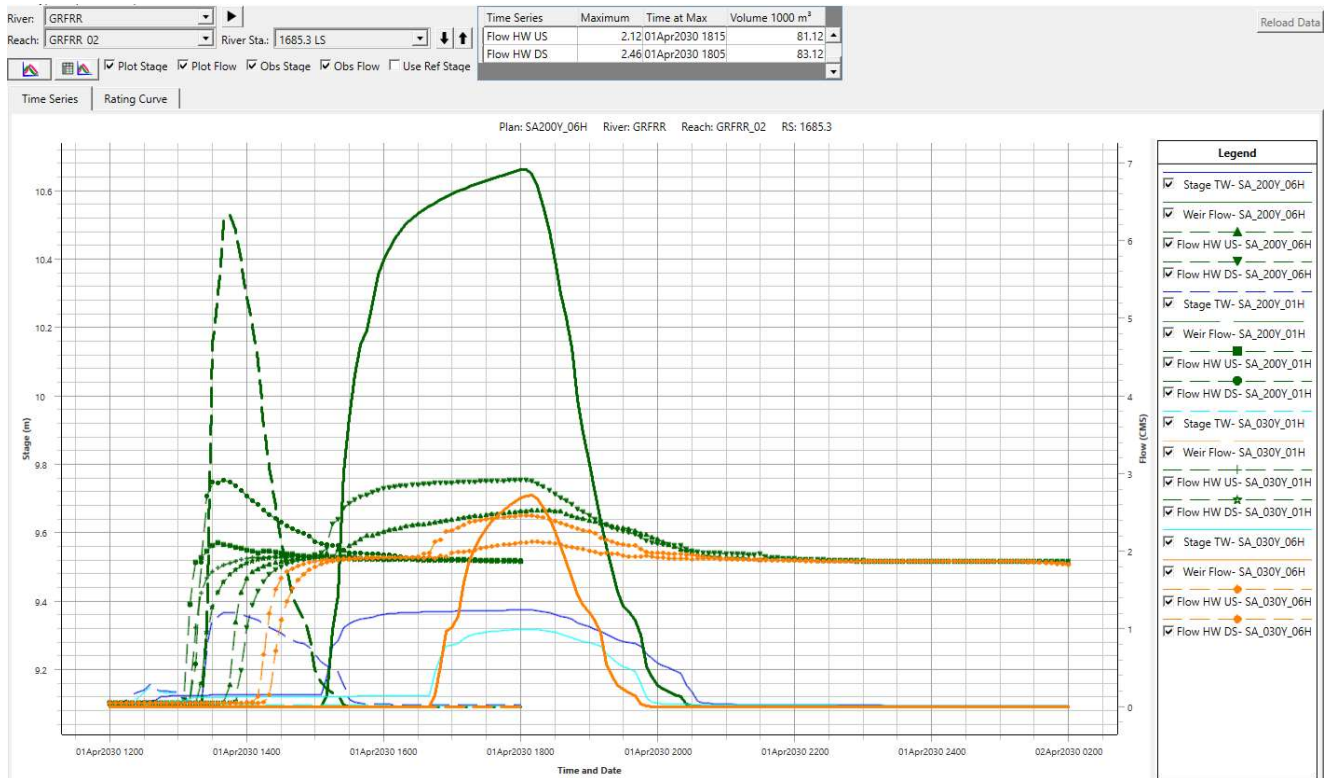


Fig. 53. Mappa istantanea di velocità [200Y\_06H] e idrogrammi al LS 1685.3 sulla Gora delle Ferriere. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01/06H.





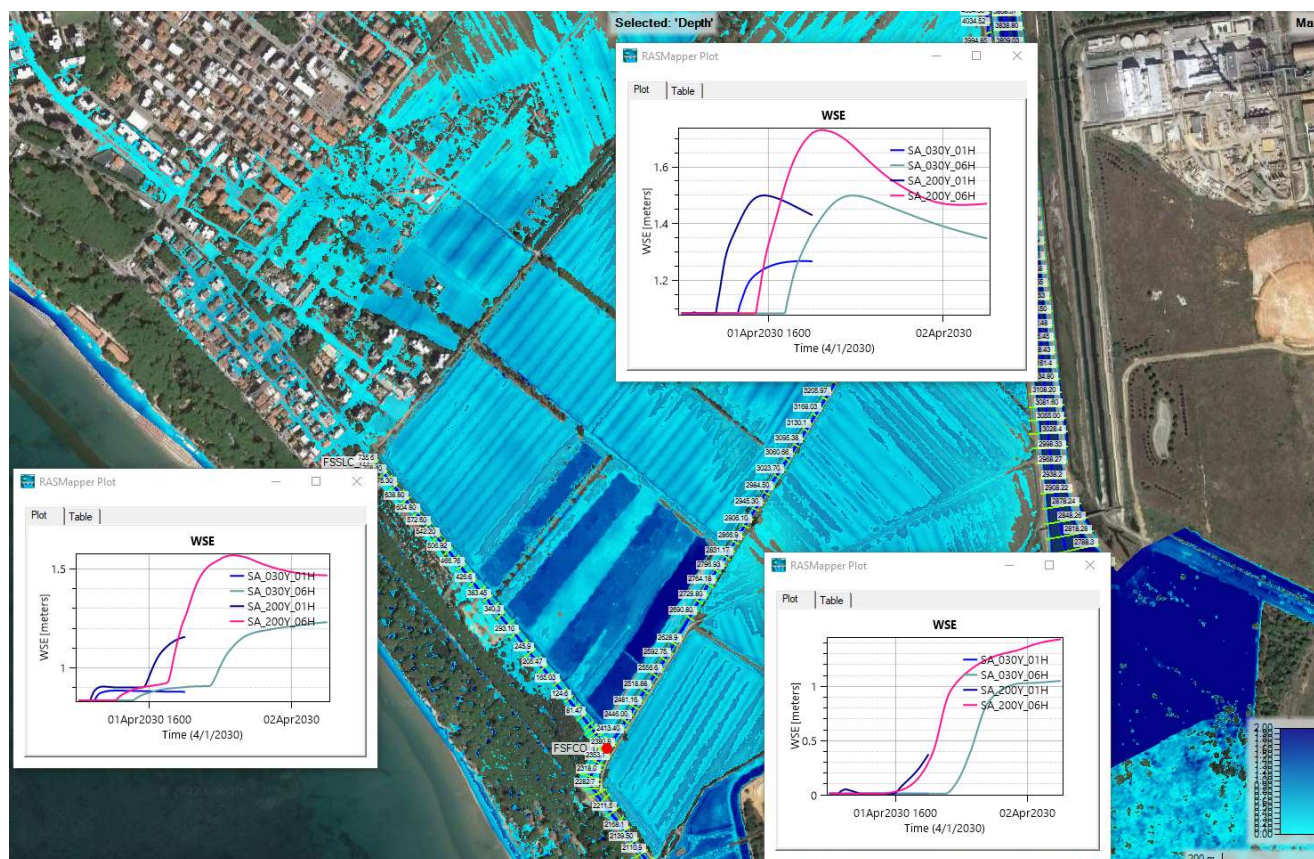


Fig. 54. Mappe di maxDepth e profili WS tra S.P. n. 106 e mare. 1+2-D. Plans SA\_030 (sopra)/200 (sotto)Y\_06H.

Ritornando all'estremità nord del dominio di analisi, si è già visto come l'intera area compresa tra Gora delle Ferriere e F. Pecora a monte del C.le S. Simone sia naturalmente destinata a contenere acque di piena di entrambi i cc.d.a., ma soprattutto del fiume, essendo gli afflussi diretti al canale limitati dalla bocca tarata indotta dal sovrappasso della Gora. Tra i cc.d.a. minori, esemplificativo sia del ruolo fondamentale delle aree agricole della valle alluvionale sia della fragilità complessiva della *dx* F. Pecora è il sistema idraulico del C.le S. Simone [-F.so Valle dell'Orto-C.le Vallino], solo "recentemente" unitariamente ricondotto nel fiume<sup>140</sup>. Il canale emissario a valle della bocca tarata del ponte canale della Gora non è, evidentemente<sup>141</sup>, dimensionato sui massimi valori di portata idrologici ( $T_r=30/200$  anni), "affidandosi" a diffuse esondazioni a monte sia del C.le Vallino (Fig. 56) sia del F.so Valle dell'Orto (Fig. 55). La durata critica propria del sistema idrografico minore ( $\max WS$ ) è tipicamente 01H, ma con transizioni a 06H già prima dei tratti di rigurgito del F. Pecora, per alcuni accumuli fuori alveo ( $\max Vol$ ).

<sup>140</sup> F.so Valle dell'Orto, ancora con un collegamento residuo alla Gora delle Ferriere a monte E80.

<sup>141</sup> Anche alla luce della classificazione in 2<sup>a</sup> cat. ex R.D. n. 523/1904.



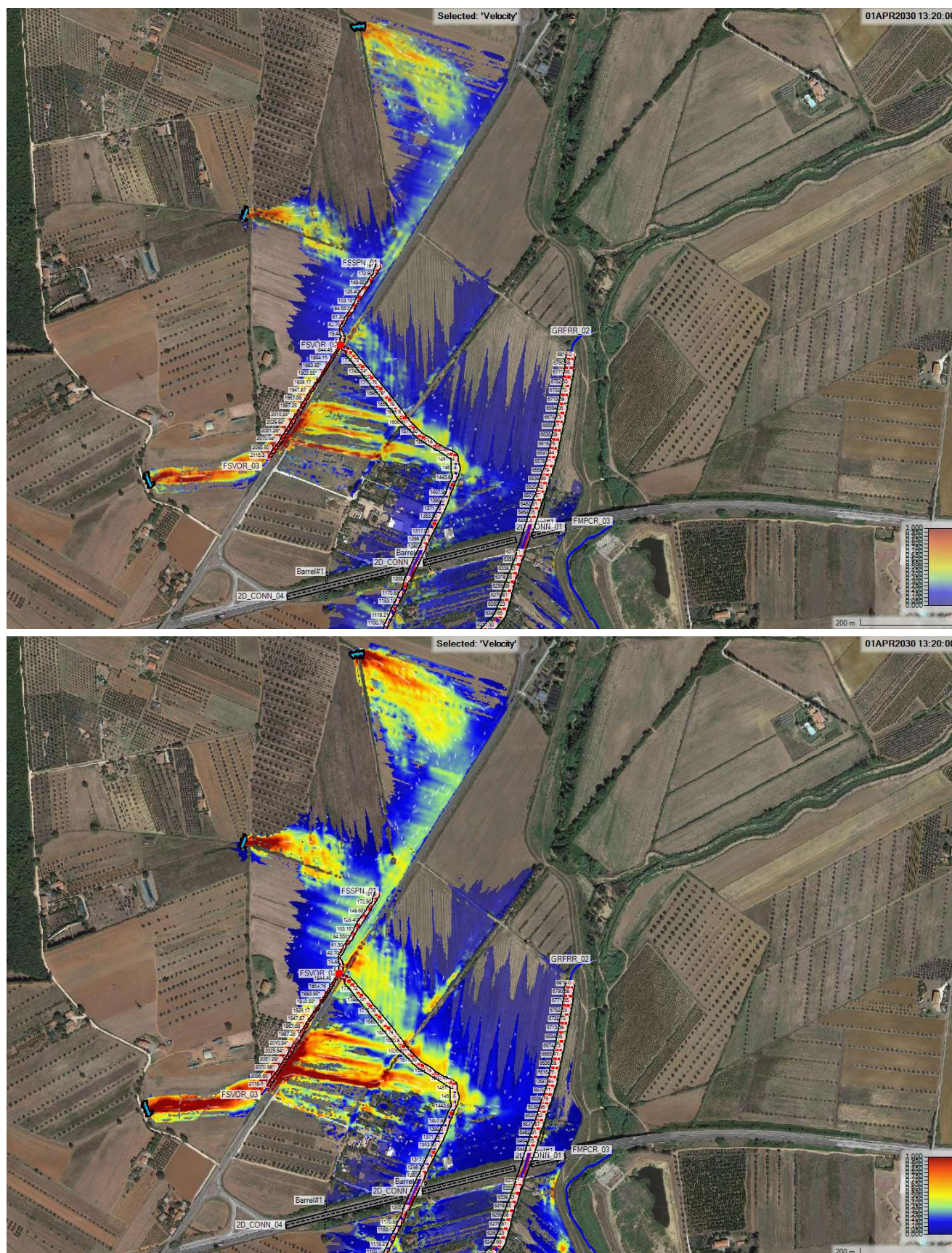


Fig. 55. Mappe maxVel dei deflussi fuori alveo F.so Valle dell'Orto a monte della E80. 1+2-D. Plans SA\_030 (sopra)/200 (sotto) Y\_01/06H (involuppo).



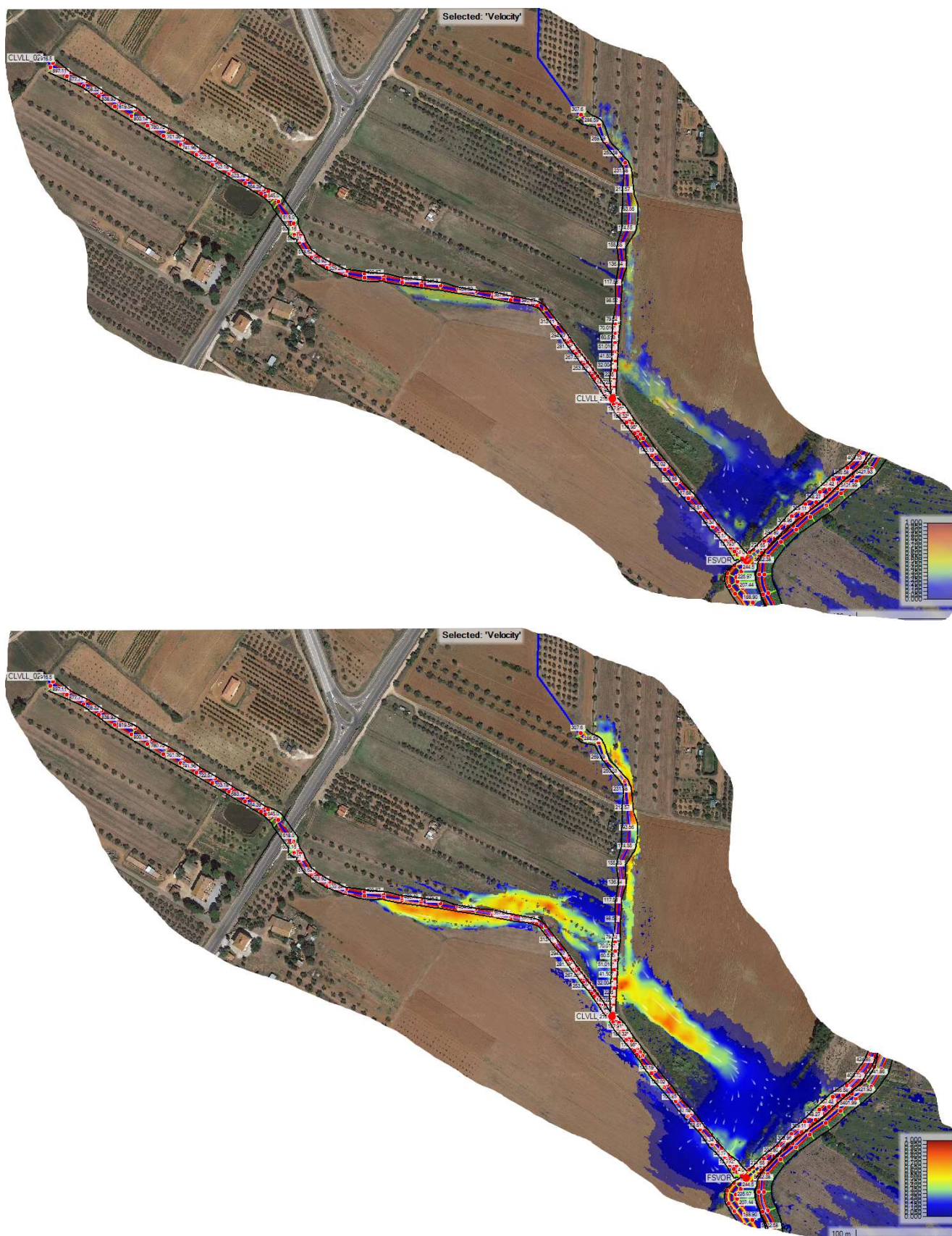


Fig. 56. Mappe  $\max Vel$  dei deflussi fuori alveo C.le Vallino. 1+2-D. Plans SA\_030 (sopra)/200 (sotto)  $\gamma_{01}/06H$  (inviluppo).



La maggior parte delle acque proprie di piena straordinaria del F.so Valle dell'Orto è naturalmente scaricata nell'ampia piana alluvionale a valle della S.R. n. 439 e, a monte, nella parte settentrionale meno acclive (delle Spianate, appunto) sbarrata dal rilevato stradale. In verità, la S.R. si teme<sup>142</sup> venga tracimata (anche  $T_r=30$  anni) in due punti: lungo il ramo di FSVOR costituente *fdg* stradale e in prossimità del tombino. Nel primo caso le tracimazioni su strada (maxDepth 0.20-0.30 m per  $T_r=200$  anni) avvengono per insufficiente capacità di deflusso, mentre nel secondo per accumulo (maggioritari i deflussi delle Spianate), con configurazione dell'imbocco tombino non proprio ottimale (Fig. 57-Fig. 58).

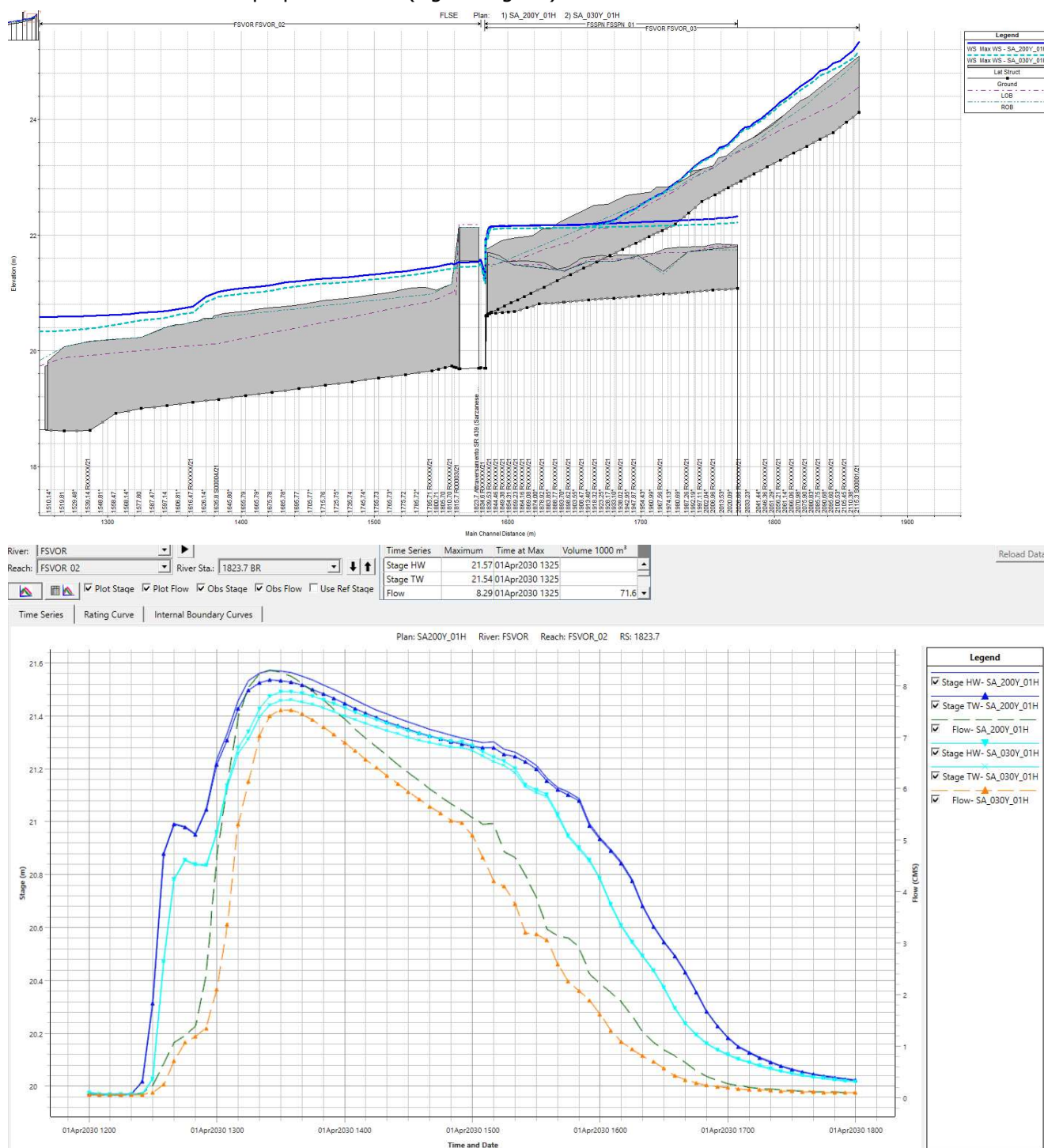


Fig. 57. *Profili maxWS dei F.si Valle dell'Orto e c.d. delle Spianate e idrogrammi al tombino 1823.7 su S.R. n. 439. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01H.*

<sup>142</sup>Soprattutto per il primo caso molto dipende ( $T_r=30$  anni) dall'effettivo stato di manutenzione.

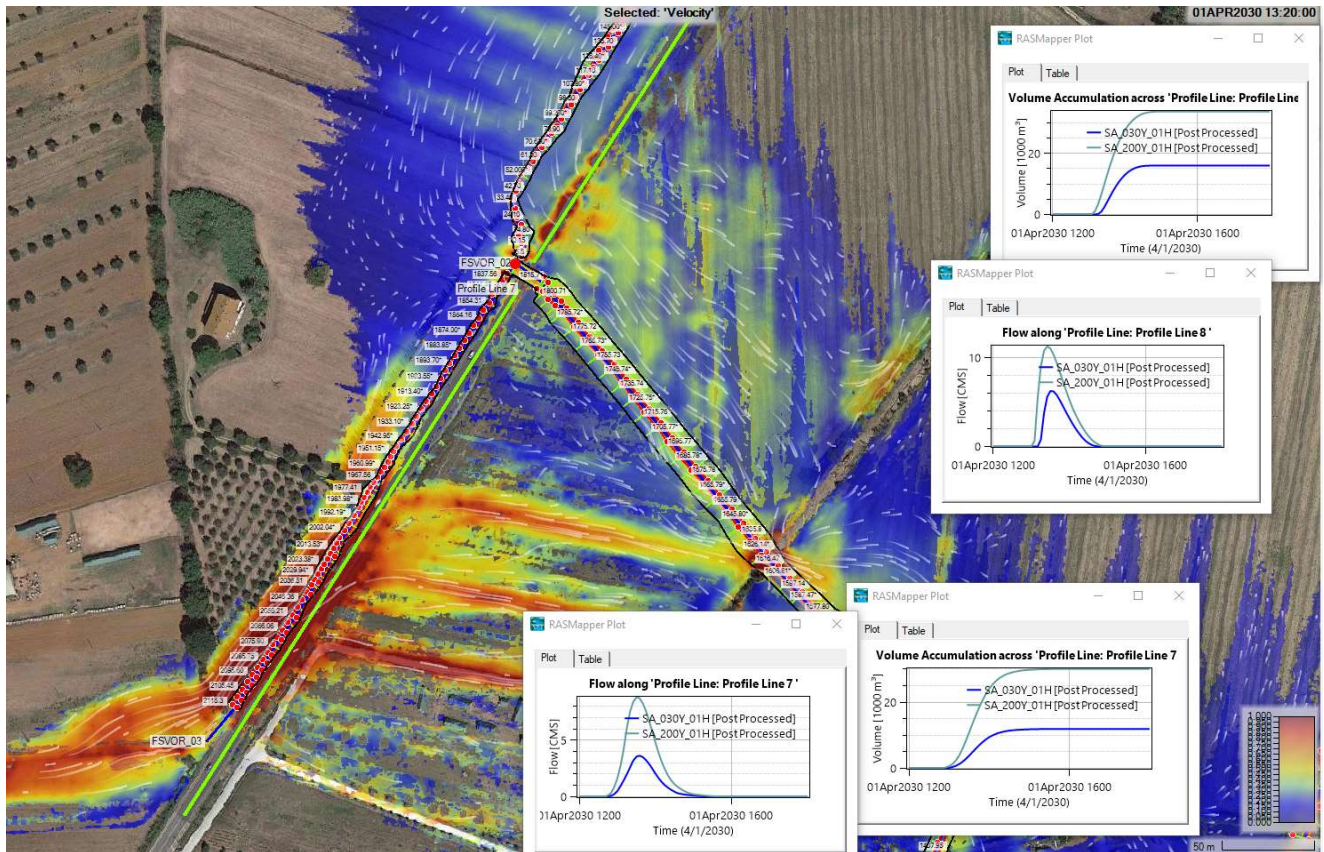


Fig. 58. Mappa istantanea di velocità dei deflussi fuori alveo F.so Valle dell'Orto alla S.R. n. 439 e idrogrammi di portata e volume sulla sede stradale. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01H.

A valle della S.R. n. 439 le esondazioni sono limitate per  $T_r=30$  anni e ancora importanti per  $T_r=200$  anni, ma con volumi di invaso disponibili in territorio agricolo ampiamente sufficienti ad evitare elevati battenti, salvo zone depresse e di accumulo a ridosso dei confinamenti (argine dx Gora delle Ferriere e E80); le velocità sono normalmente inferiori a  $1.0 \text{ m/s}$  e le durate critiche già a valle della E80 si spostano sulle durate più lunghe (06H) proprie del dominante F. Pecora e causa bocca tarata del sottopasso Gora (Fig. 59-Fig. 60).

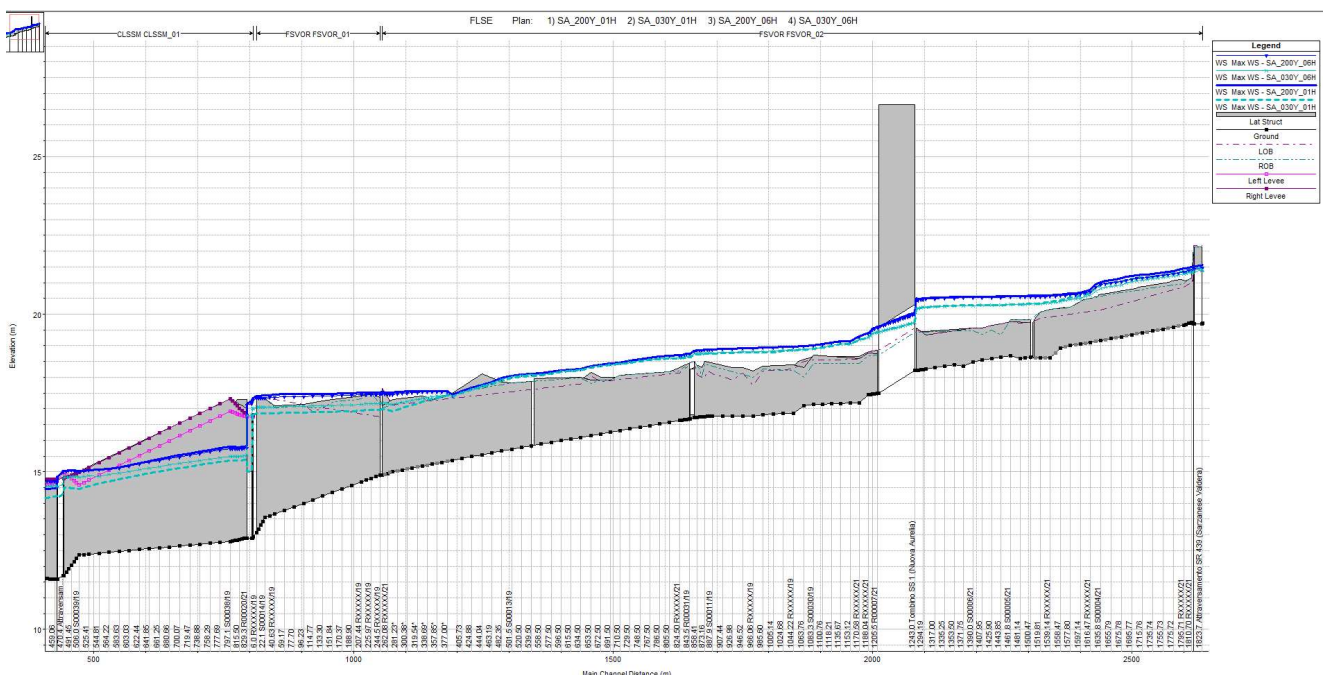


Fig. 59. Profili maxWS del F.so Valle dell'Orto a valle della S.R. n. 439. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01/06H.



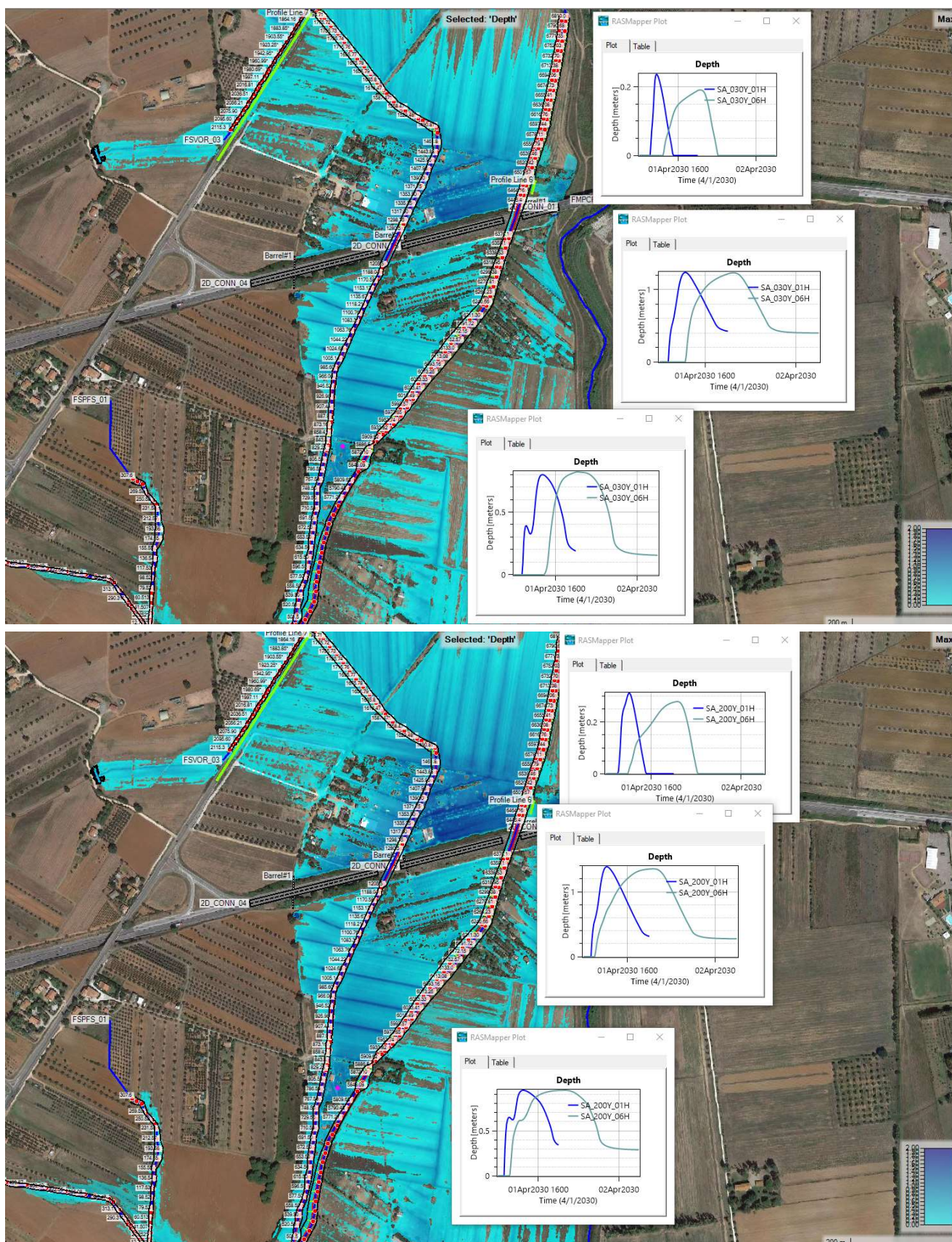


Fig. 60. Mappe maxDepth dei deflussi fuori alveo F.so Valle dell'Orto intorno la E80. 1+2-D. Plans SA\_030 (sopra)/200 (sotto) y\_01/06H.

L'attraversamento della E80 avviene per tombini e sottopassi stradali unitamente ai filoni di corrente [oltre, eventualmente, esondati dal F. Pecora a monte, qui non modellati] più marginali della Gora delle Ferriere



per la quale qualche debole esondazione nel tratto immediatamente successivo alla botte sembra ancora sussistere (indipendentemente dal  $T_r$ ). Il grosso dei deflussi di scorrimento del F.so Valle dell'Orto avviene in dx Gora delle Ferriere, praticamente sino alla confluenza nel C.le S. Simone, con tuttavia alcune possibili labilità nella continuità arginale delle Gora.

Il C.le Vallino scorre entro un'ampia zona agricola, sezionata -senza possibilità di sormonto- dalla S.R. n. 439; il relativo tombino necessita di un po' di carico per il deflusso della  $Q_{200}$  (Fig. 62). L'alveo pare ben strutturato, soprattutto a monte della S.R. (non allagabile con  $f_{200} \approx 0.50$  m), con esondazioni (Fig. 56) maggiori a valle del tributario F.so c.d. Fusi [FSPFS], circoscritte all'ambito agricolo e di volumi relativamente limitati, in propaggine e accumulo verso valle a ridosso del rilevato relitto della vecchia linea FF mineraria e del F.so della Valle dell'Orto; parte terminale soggetta al rigurgito generale indotto dal F. Pecora (Fig. 61), con i travasi attraverso l'alveo e sul territorio volumetricamente più significativi per le durate più lunghe (Fig. 63).

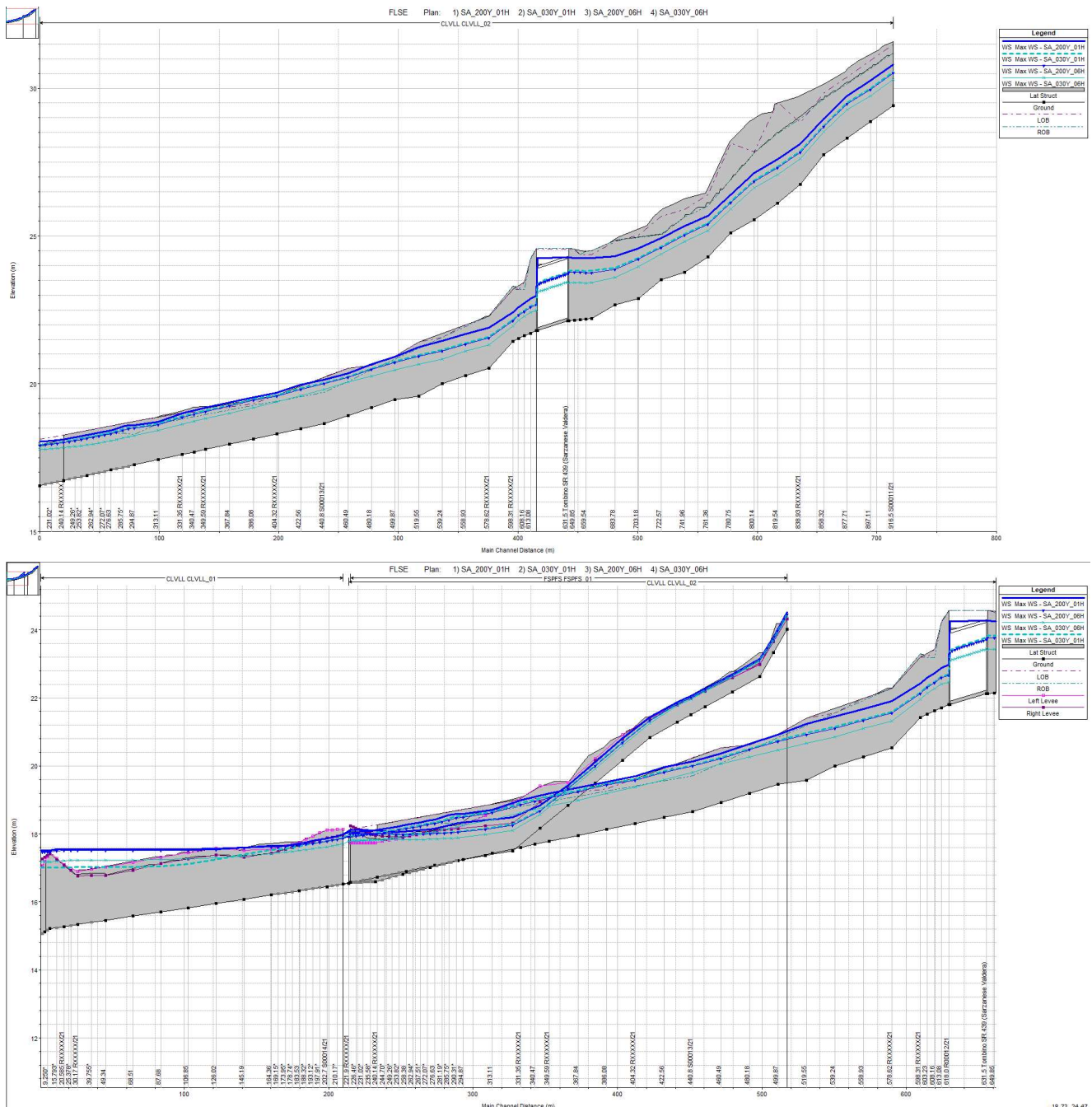


Fig. 61. Profili maxWS del C.le Vallino. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01/06H.



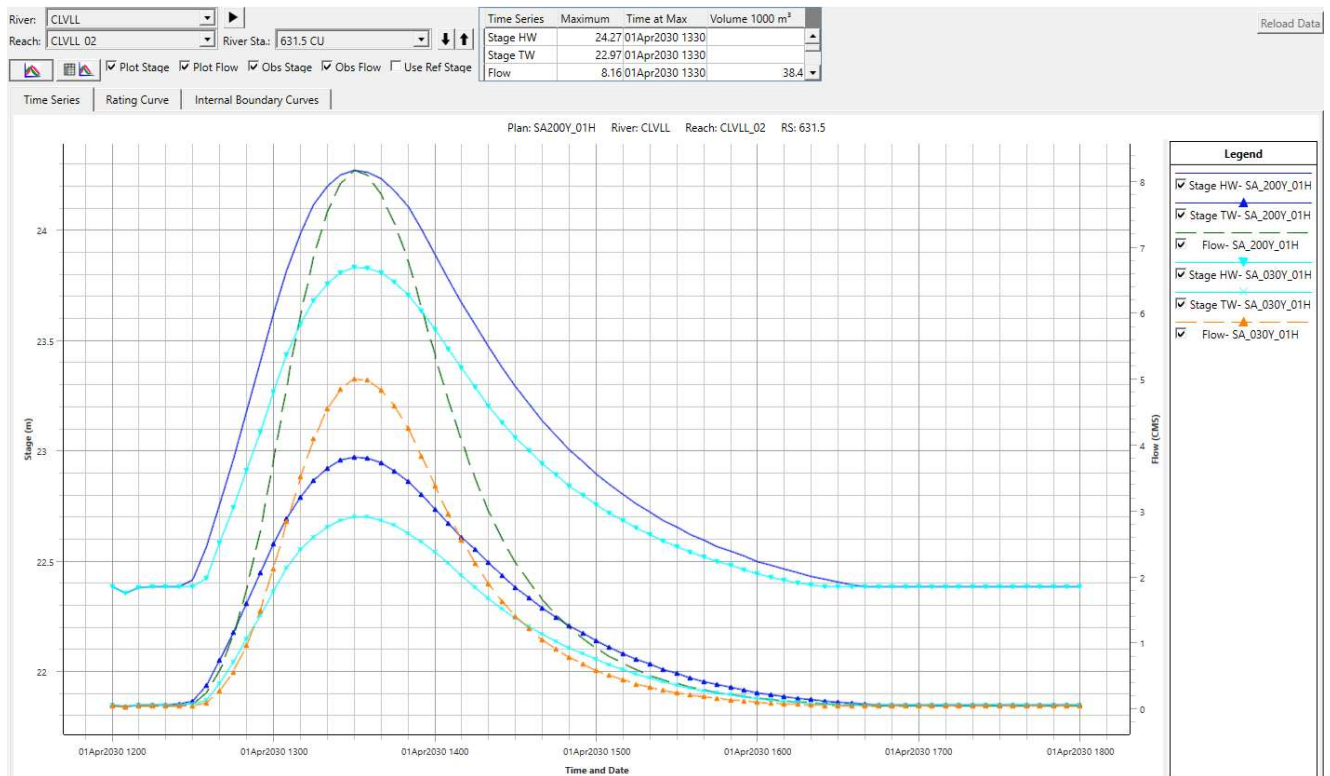
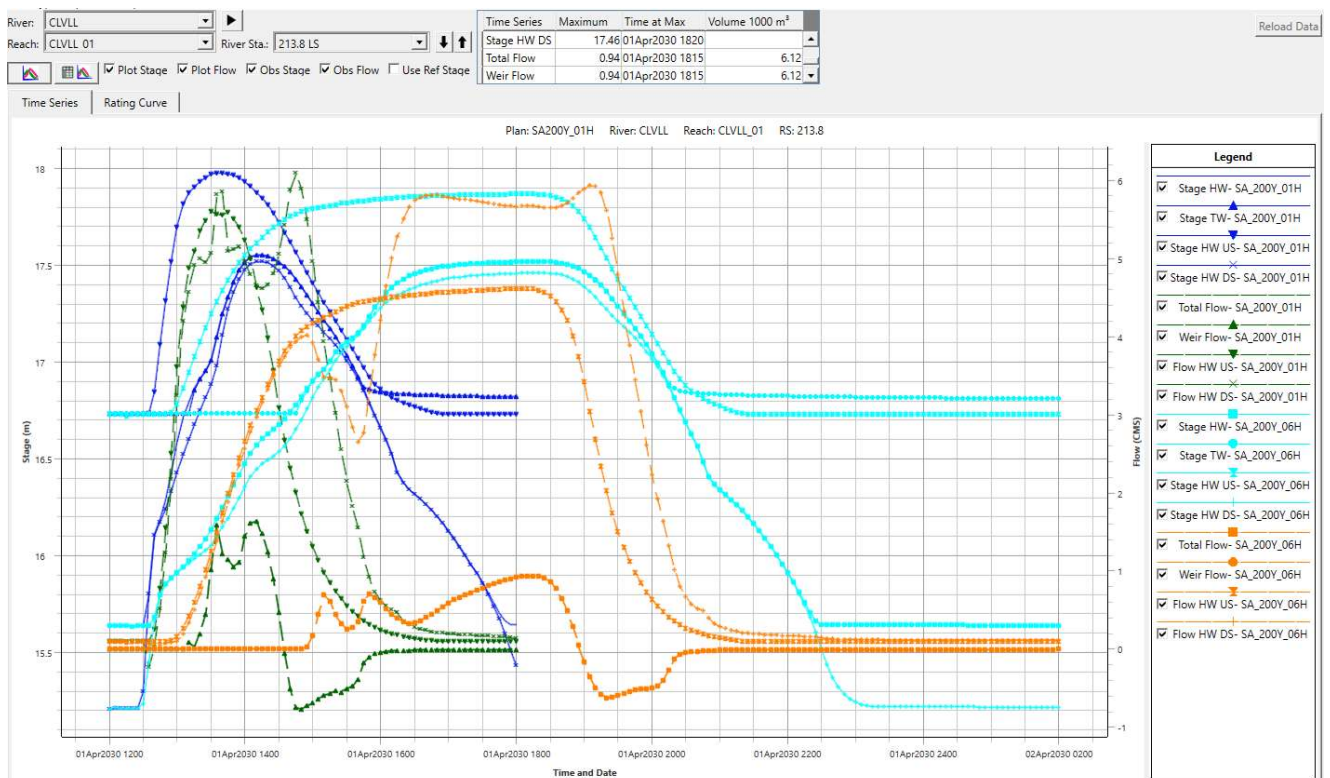


Fig. 62. Idrogrammi al tombino S.R. n. 439 del C.le Vallino. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01H.



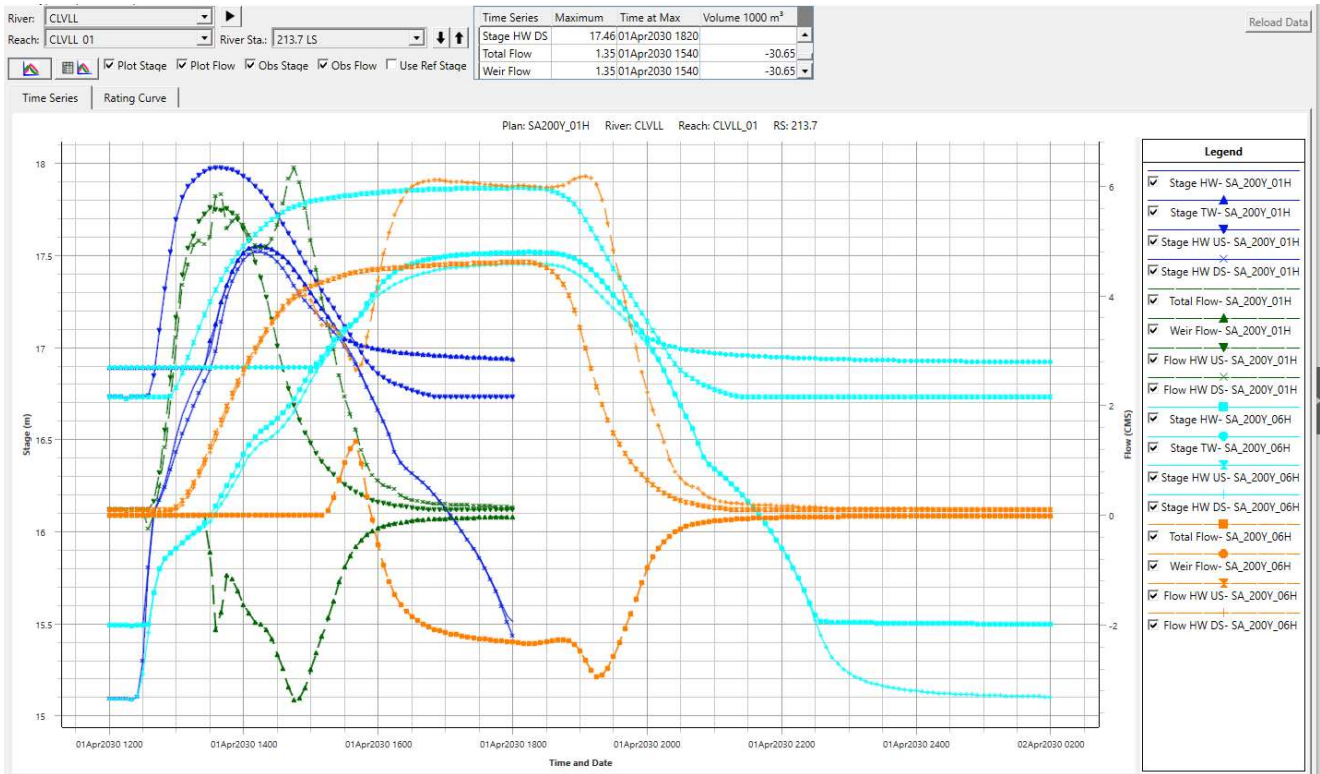


Fig. 63. Idrogrammi ai LS 213.8 e 213.7 nel C.le Vallino alla confluenza nel F.so Valle dell'Orto. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01/06H.

Analoga dinamica avviene anche per il C.le S. Simone, con accumuli ben contenuti ( $f_{200} > 1.0 \text{ m}$ ) dal rilevato S.R. n. 439 a monte del tombino multi canna (Fig. 64), e ulteriori esondazioni per progressiva saturazione dell'alveo, debolmente arginato, in approccio all'intersezione con la Gora delle Ferriere ove il rilevato ferroviario può determinare battenti 200-ennali ben oltre il metro, variabili con la durata di pioggia più che altro in termini di persistenza e poco con il  $T_r$  (Fig. 65).

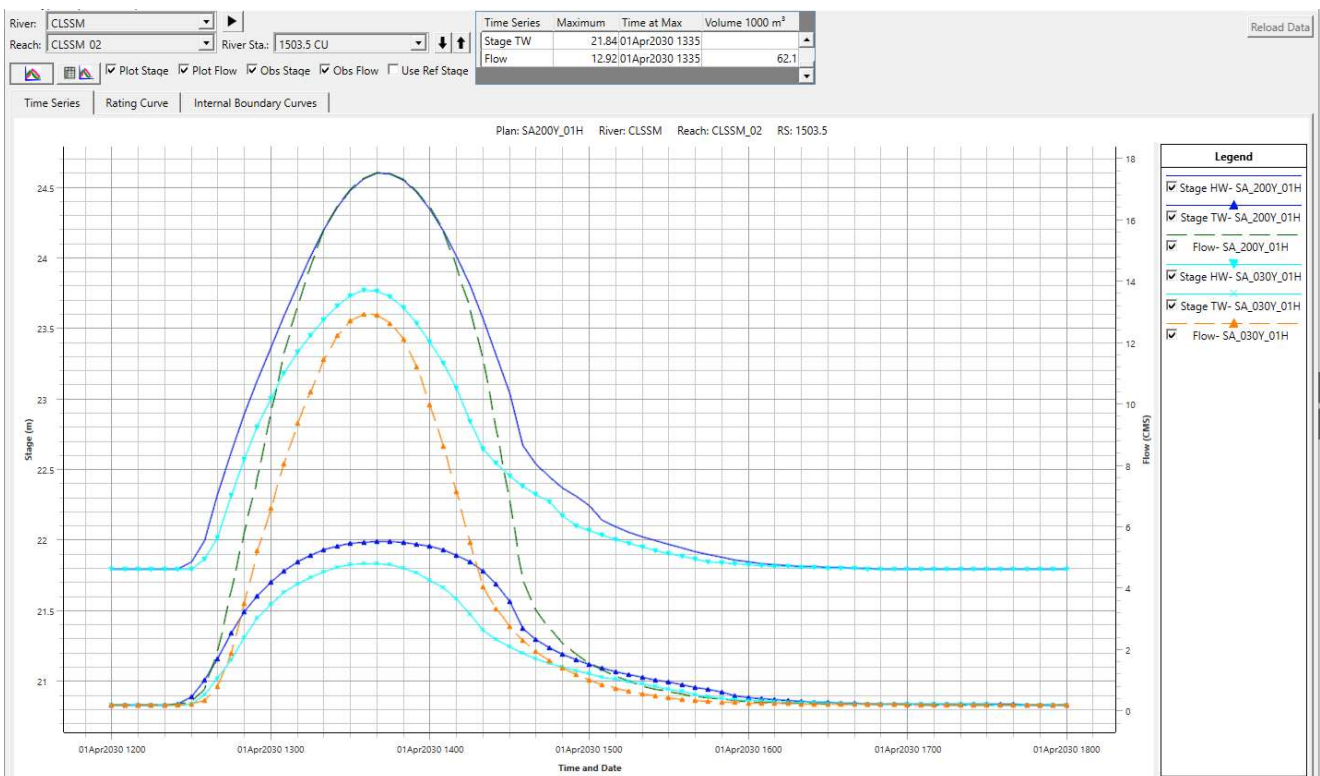




Fig. 64. Idrogrammi al tombino 1503.5 della S.R. n. 439 del C.le S. Simone. Modello idraulico 1+2-D di SA. Plans SA\_030/200Y\_01H.

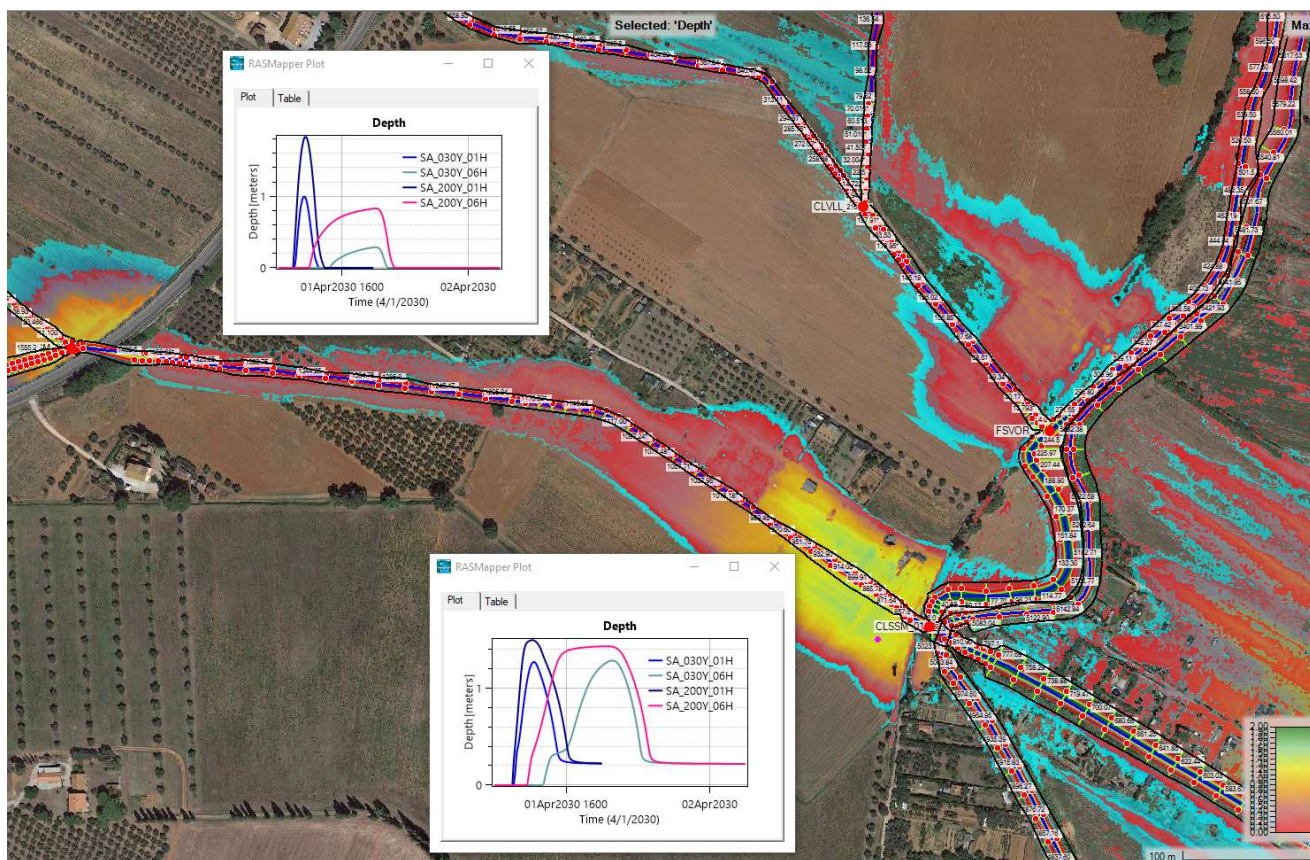


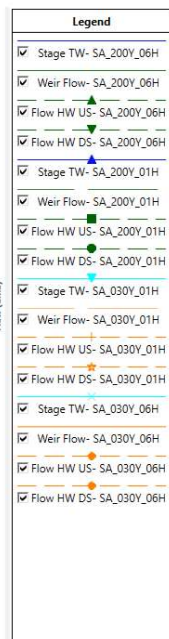
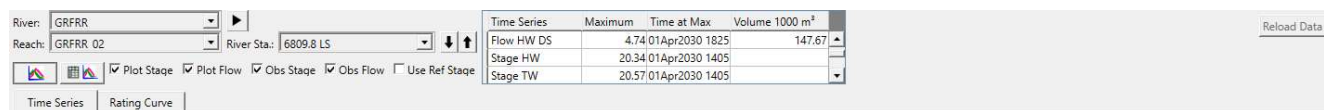
Fig. 65. Mappe maxDepth dei deflussi fuori alveo C.le S. Simone a monte della S.R. n. 439 e dell'intersezione Gora delle Ferriere. 1+2-D. Plans SA\_030 (rosso)/200 (blu)Y\_01/06H.

La Gora delle Ferriere, come già accennato, aumenta la propria potenziale pericolosità (in generale bassa per genesi) scendendo verso valle in quanto ricevente i pur pochi afflussi collinari residui in *dx* F. Pecora (*in primis*, teoricamente, i Poggetti ma allo SA al Gorello, *vd.* avanti), ma anche a causa di banali incongruenze geometriche puntuali, probabilmente dovute ad un ancora incompleto re-inquadramento (*ex* canale di mera adduzione) dimensionale e manutentivo o a difetti di rappresentatività del modello geometrico disponibile. L'assetto attuale della Gora nel tratto di valle è un ibrido frutto della sovrapposizione di molteplici interventi che, artificialmente, l'hanno portata sin dentro Follonica. Salvo le residue funzionalità di adduzione (a fini irriguo-ambientali ma non solo), oggi costituisce una barriera fisica (argini) ai deflussi di acque basse e il canale di gronda degli afflussi collinari.

A monte, infatti, i lavori Scopaione hanno definitivamente deviato gli afflussi di piena nel F. Pecora e quindi in cassa, limitando il rilascio a valle a pochi  $m^3/s$  (3). La presenza delle incongruenze geometriche sopra citate, unitamente agli accumuli retro rilevato generati dalle esondazioni del sistema F.so Valle dell'Orto, determinano la possibilità di deboli travasi *out-in-out dx-sx* poco a monte della E80, transitanti verso valle dal sottopasso adiacente il F. Pecora (Fig. 66).

La maggiore dinamica *in/out* avviene comunque a valle della E80, con assetto arginale a tratti incerto, non sempre sistematicamente impostato (*es.* Fig. 67) a scolmare le acque in eccesso in *sx*, entro la citata fascia alluvionale più depressa adiacente il F. Pecora.







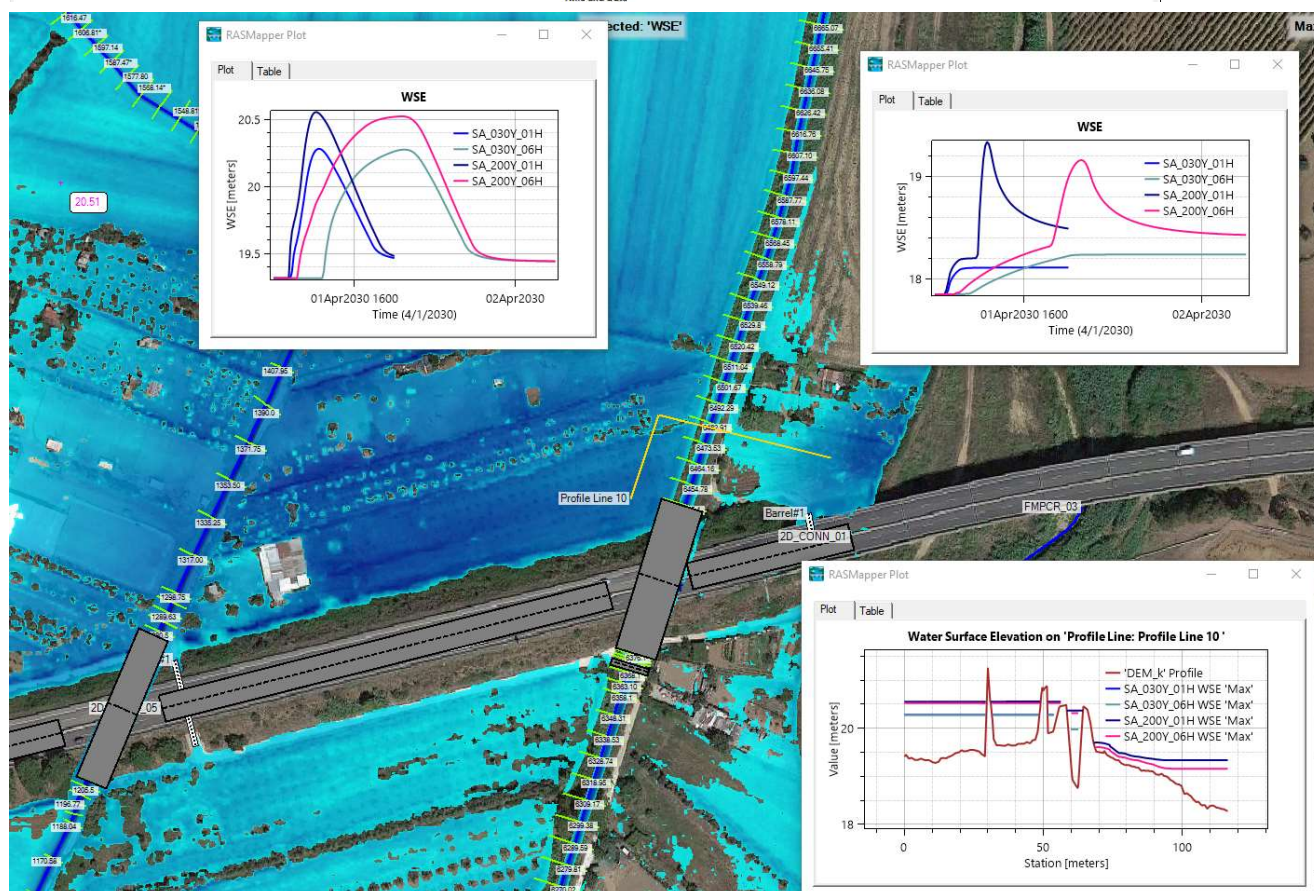
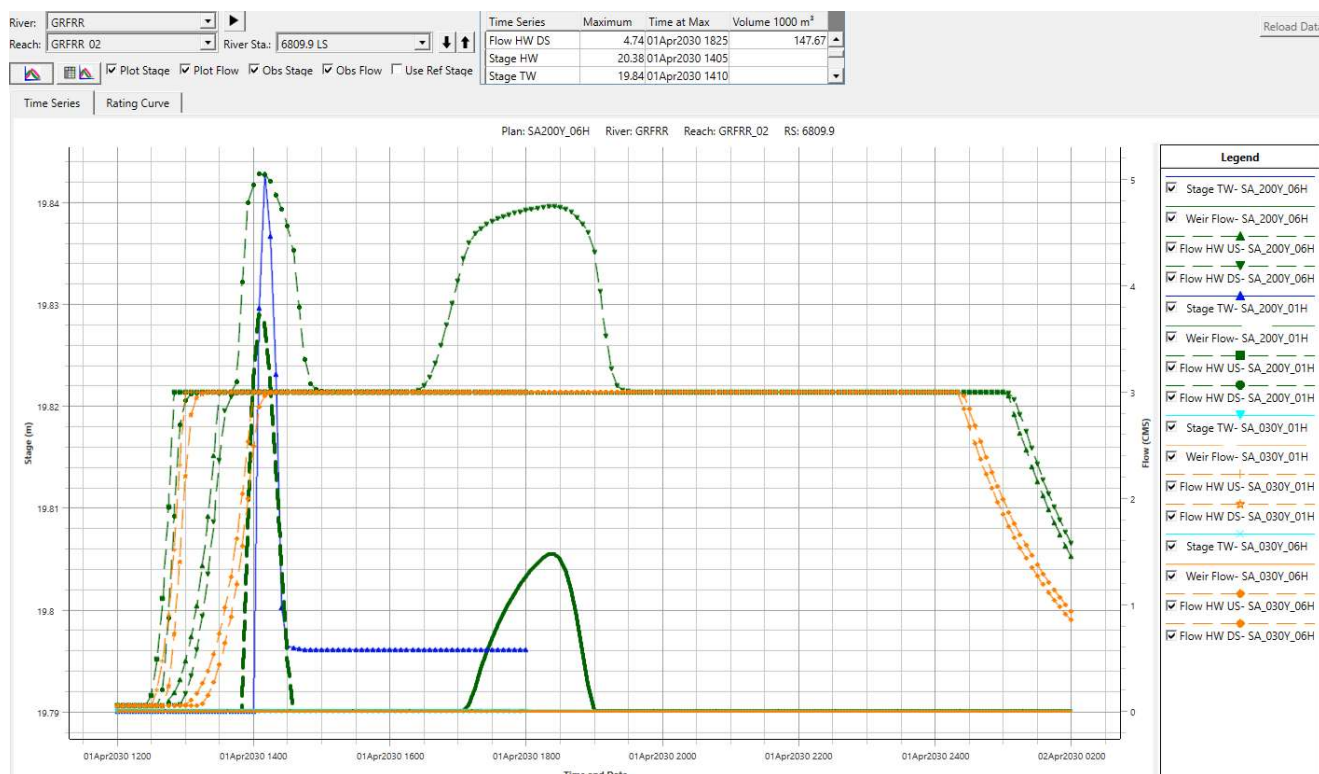


Fig. 66. Mappa istantanea (200Y) di velocità dei deflussi fuori alveo Gora delle Ferriere alla E80, idrogrammi LS 6809.9 e 6809.8, mappa maxDepth, profili maxWS e idrogrammi Depth sul territorio. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01/06H.

Delle criticità locali intorno E80 e Cannavota si è già detto. La capacità di deflusso del tratto terminale a valle del Gorello rappresenta, invece, la criticità principale per il territorio urbanizzato di Follonica.

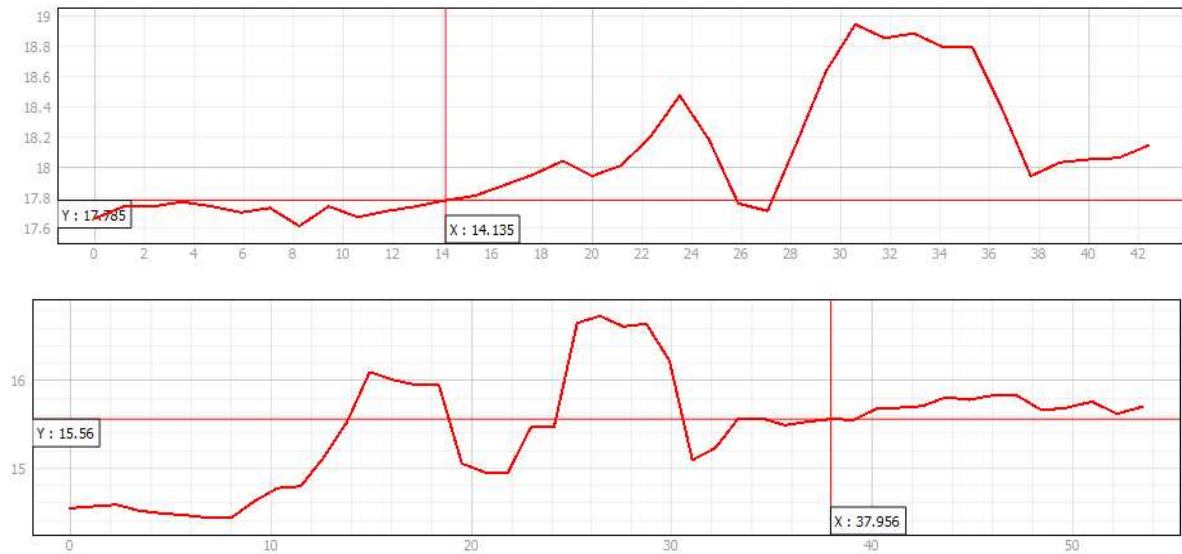
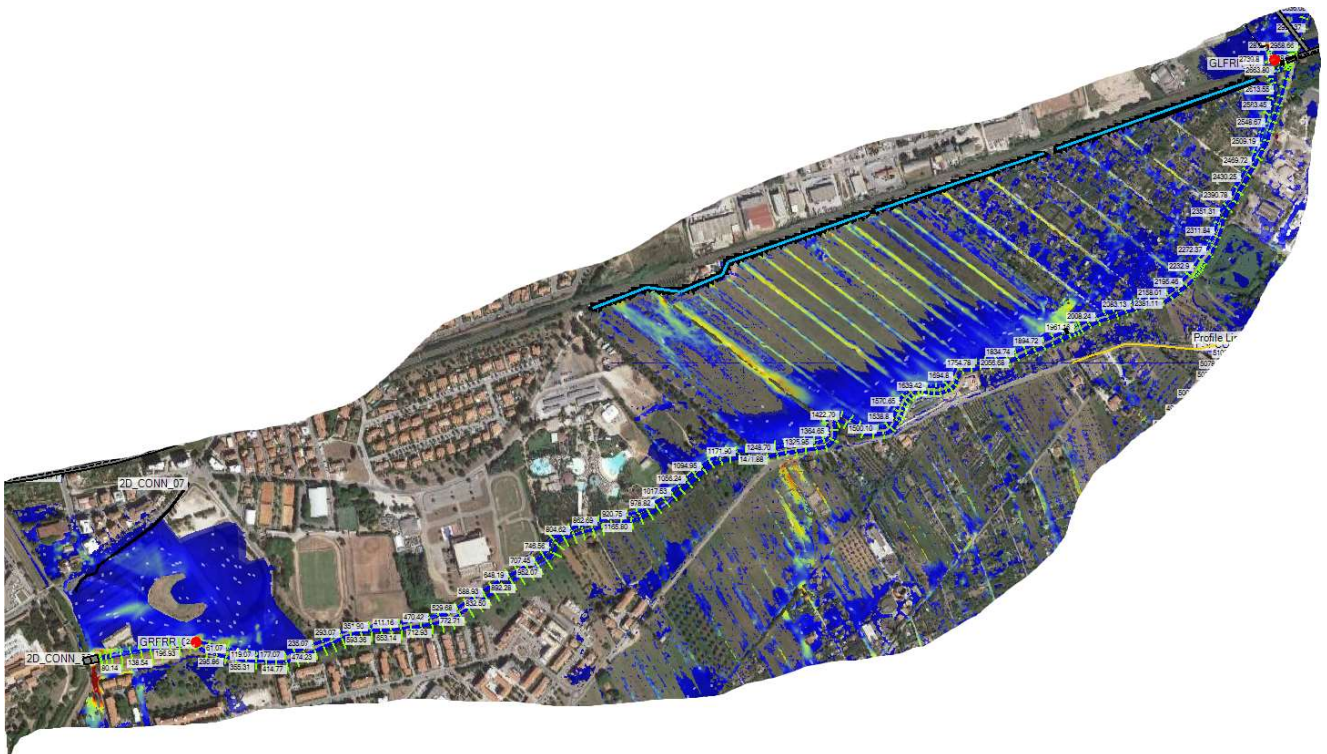


Fig. 67. Profili esemplificativi di Gora delle Ferriere tra E80 e S.P. n. 152 [tratti da DTM MATTM].

L'approccio al nucleo urbano di Follonica della Gora avviene insieme all'adiacente Gorello (fosso di guardia della Gora e collettore delle acque depresse, tra cui tutte quelle urbane a partire dalla ZI), confluyente poco a monte della definitiva immissione nel F.so Petraia. La sezione idraulica non risulta sempre coerente, ma generalmente impostata con sommità arginali differenziate a favore (protezione) delle zone urbane (Fig. 68); le esondazioni sono localizzate per la Gora e più diffuse per il Gorello (come ovvio)<sup>143</sup> e la insufficienza terminale determina  $maxWS$  a valle della confluenza variabili più con la durata che con il  $T_r$  (Fig. 69); i volumi sono intrinsecamente bassi ma tuttavia con qualche pericolosità per qualche edificio isolato, dipendentemente anche dalla efficienza di regimazione della acque meteoriche proprie (allagamenti tipicamente da ristagno) (Fig. 70). Salvo le eccezioni di cui più avanti, i filoni di corrente non sono di particolare potenza, determinando maggiori accumuli in  $dx$  e transito per lunghi tratti a  $sx$  (tracimazioni della Gora a monte della S.P. n. 152 e alla S.P. n. 106 già descritte).



<sup>143</sup> In parte dovuta anche alla ipotesi distributiva degli afflussi idrologici adottata; d'altra parte, il Gorello rappresenta, in un modo o in un altro, l'unico collettore delle acque meteoriche di area.



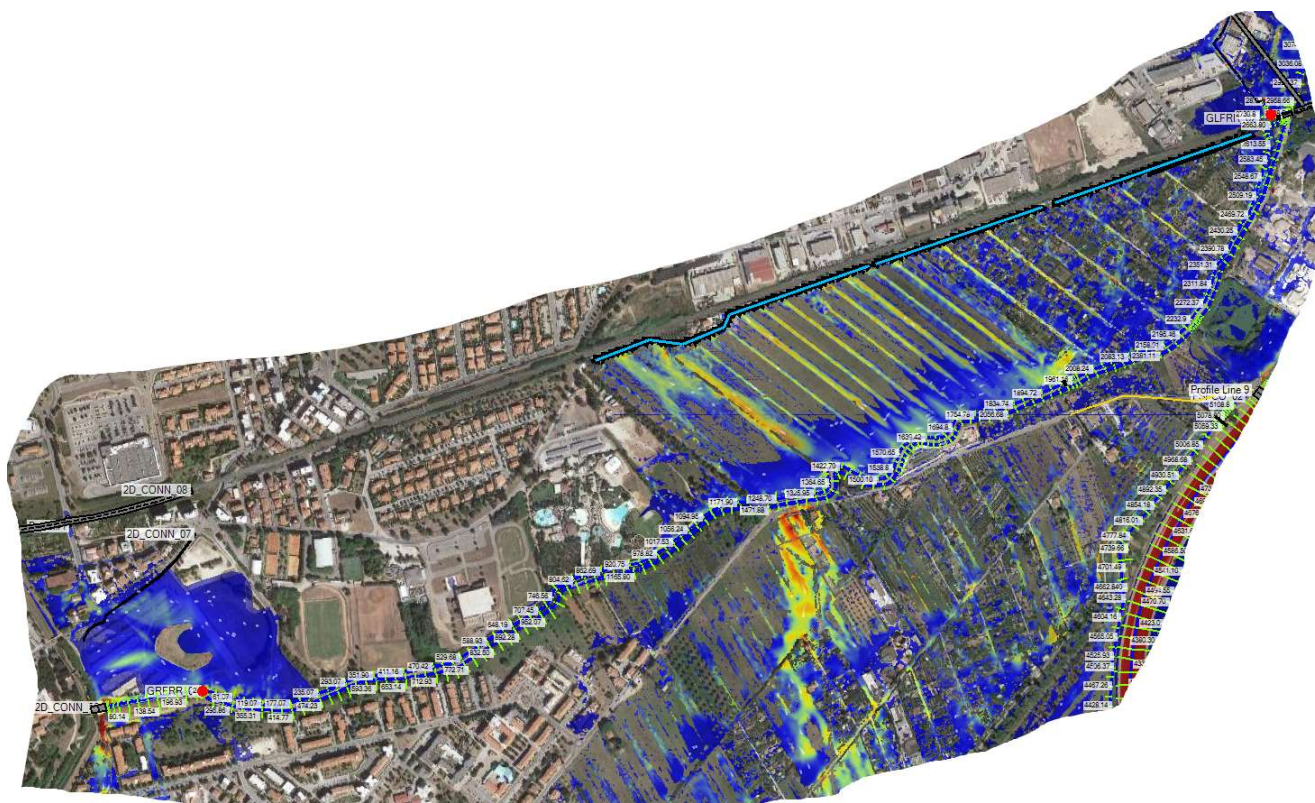
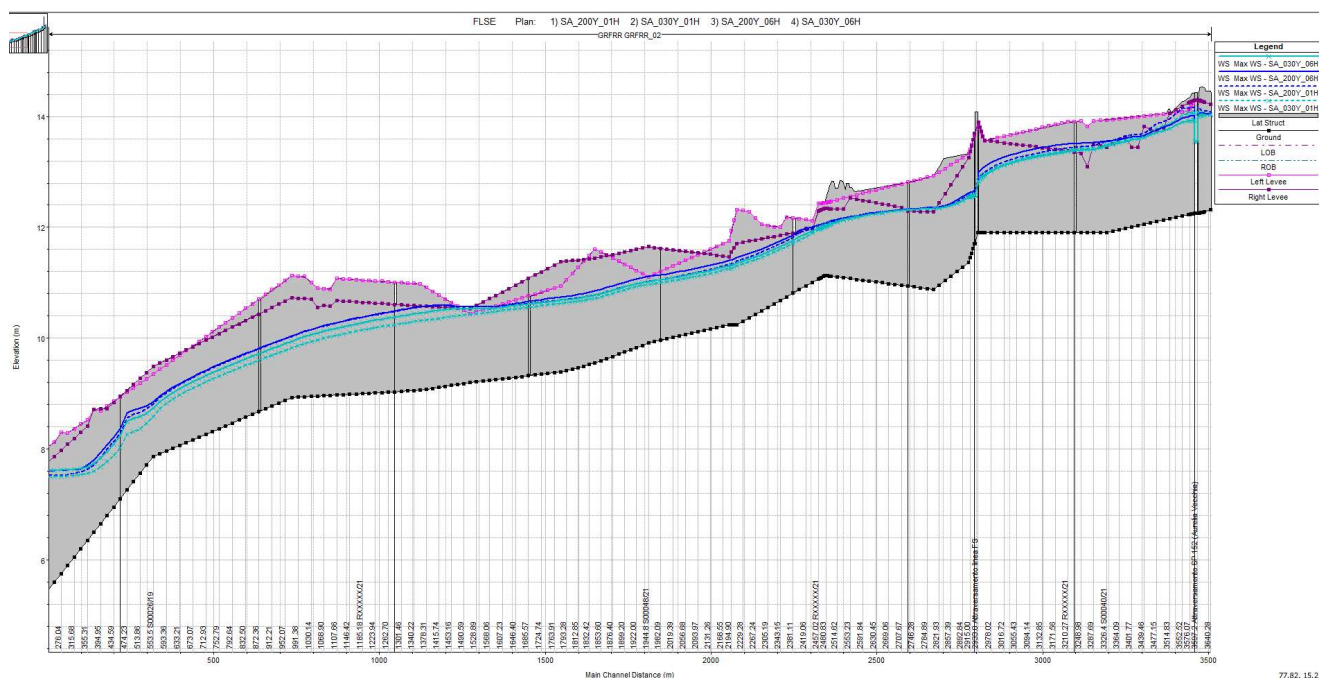


Fig. 68. Mappe maxVel dei deflussi fuori alveo Gora e Gorello delle Ferriere a valle FFS. 1+2-D. Plans SA\_030 (sopra)/200 (sotto)Y\_01/06H.



77.82, 15.21

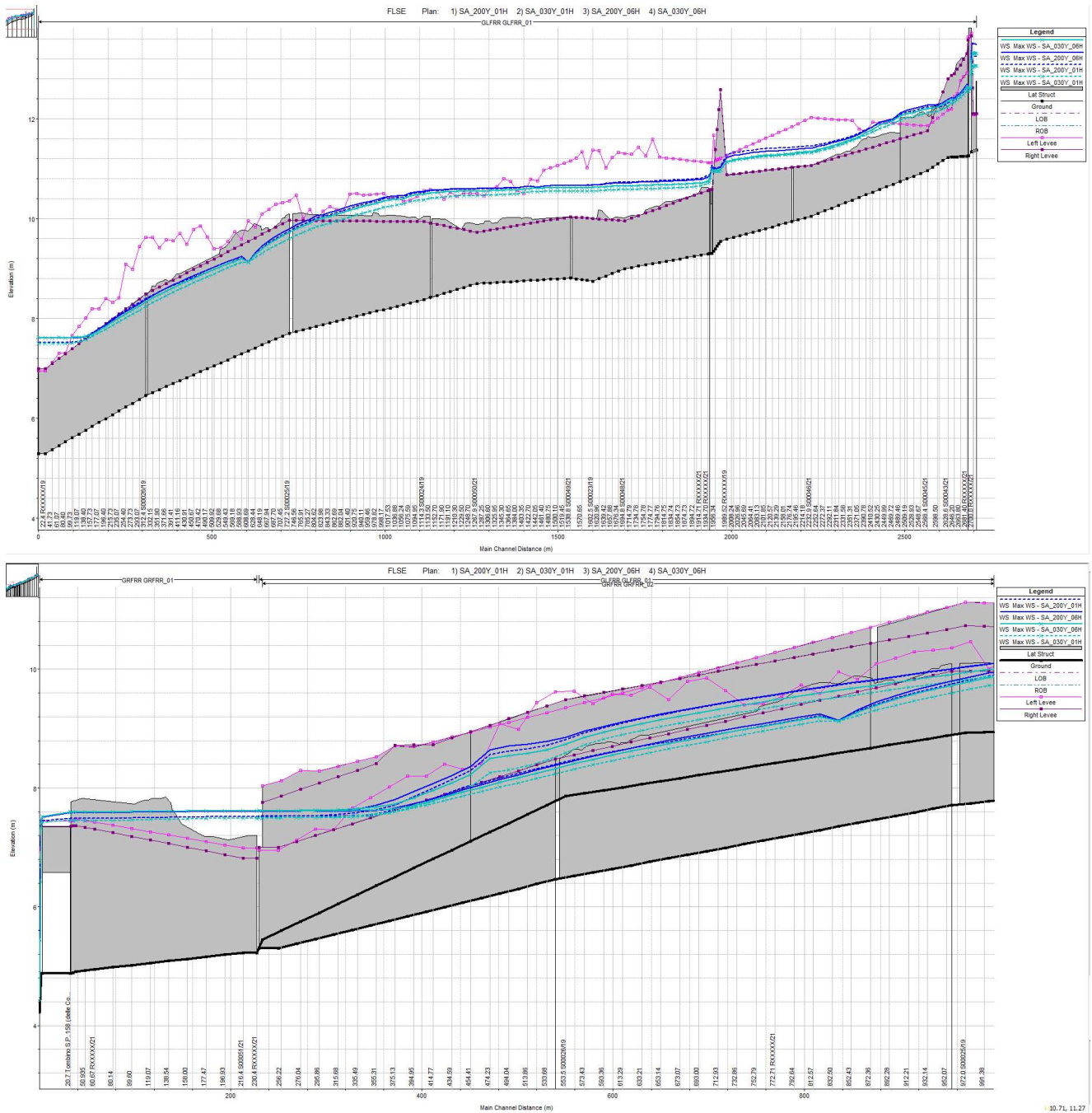


Fig. 69. *Profili*<sub>maxWS</sub> Gora e Gorello delle Ferriere a valle della S.P. n. 152. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01/06H.

In tale quadro generale vi sono tuttavia due eccezioni di rilievo: 1. l'inefficiente collegamento del F.so c.d. dei Poggetti alla ZI e 2. il tratto terminale urbano di adduzione al F.so Petraia (adiacenza ex Ippodromo).

La prima pare una citicità residua legata ad una urbanizzazione obliterativa (e dismissiva dell'ex linea ferroviaria) del già fragile equilibrio idraulico pre-esistente che, probabilmente, sostanzialmente riconduceva il F.so c.d. dei Poggetti alla Gora delle Ferriere in prossimità della prima ansa<sup>144</sup> a valle della S.P. Allo SA le connessioni idrauliche del F.so sono incerte -Gora delle Ferriere e/o Gorello a valle ZI?- necessitando indagini di tracciamento e videoispezione demandate a fasi successive di ulteriore approfondimento (rete fognaria ZI). Tale cricita è la causa dei ricorrenti allagamenti anche della S.P. n. 152. In sostanziale coerenza con il QC pre-esistente il F.so c.d. dei Poggetti è stato connesso (tramite condotta, evidentemente insufficiente, rilevata al fdg della S.P.) al fdg FFS a valle della ZI, recapito ultimo dell'intero sistema fognario meteorico dell'area, e dunque al Gorello.

<sup>144</sup>Qualche manufatto relitto ancora si intravede tra la folta vegetazione.



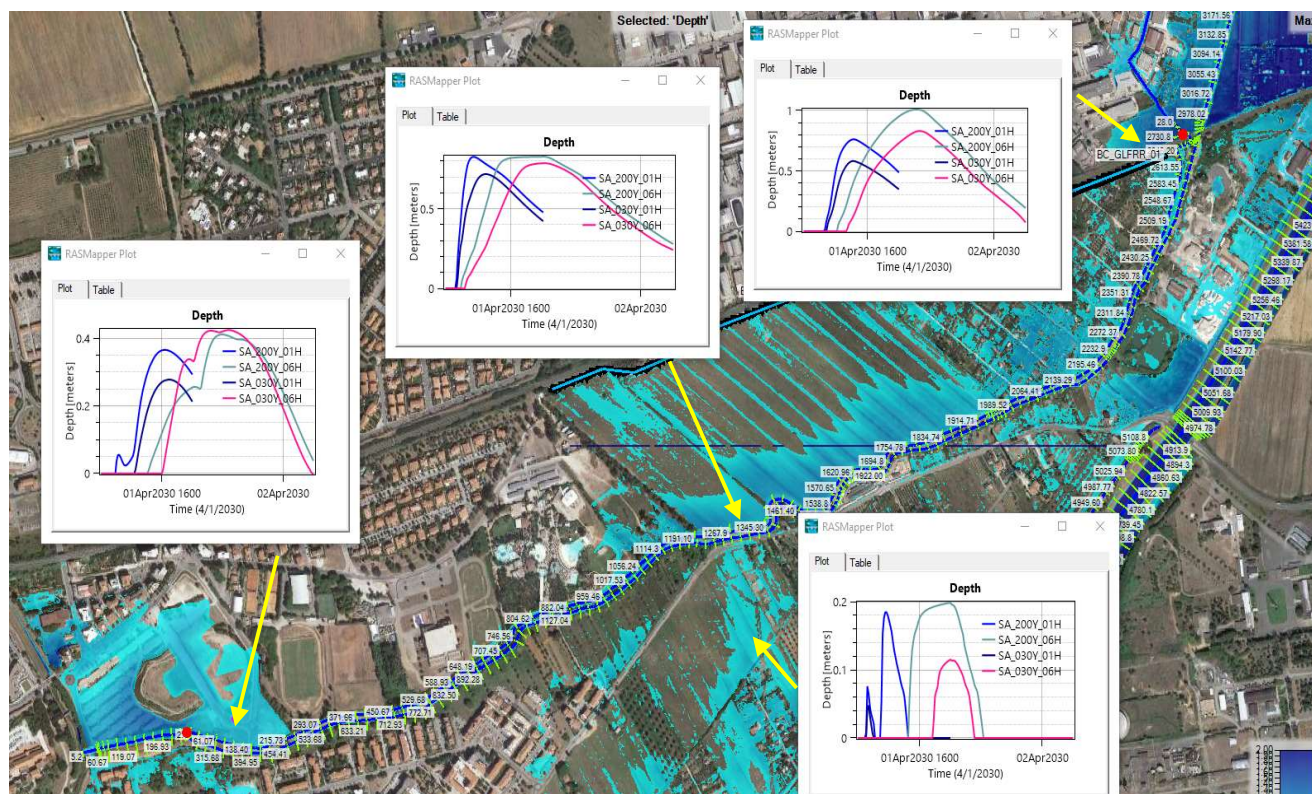


Fig. 70. Mappa maxDepth (200Y) Gora e Gorello delle Ferriere e idrogrammi puntuali. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01/06H.

La dinamica di allagamento risultante è coerente con quanto storicamente noto; il punto più critico è l'approccio del F.so al ponticello (Fig. 71) di connessione alla morfologia di pianura e attraversamento della *ex* ferrovia mineraria<sup>145</sup> (sormontato per  $T_r=200$  anni e al limite per  $T_r=30$  anni) ed il conseguente tratto *lungo e attraverso* la S.P., evidentemente allo SA complessivamente fatiscente<sup>146</sup> (Fig. 72-Fig. 73).

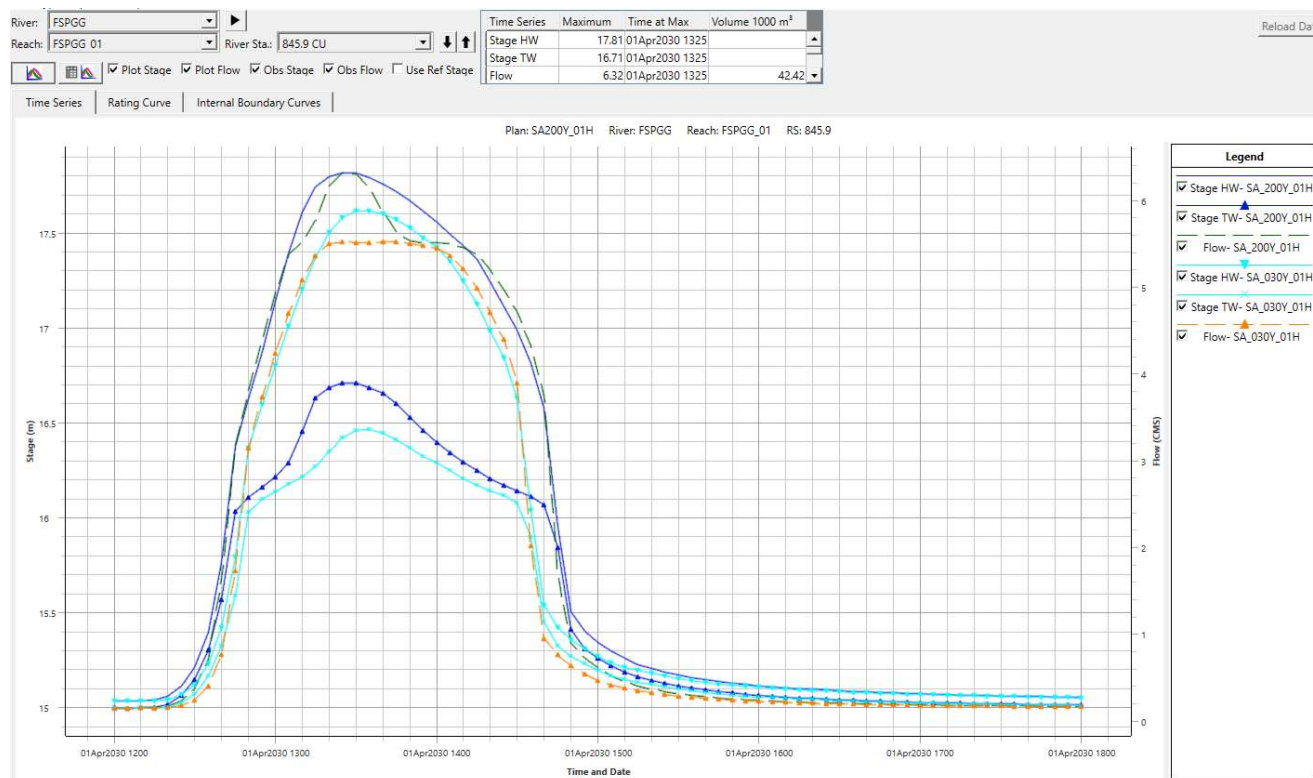
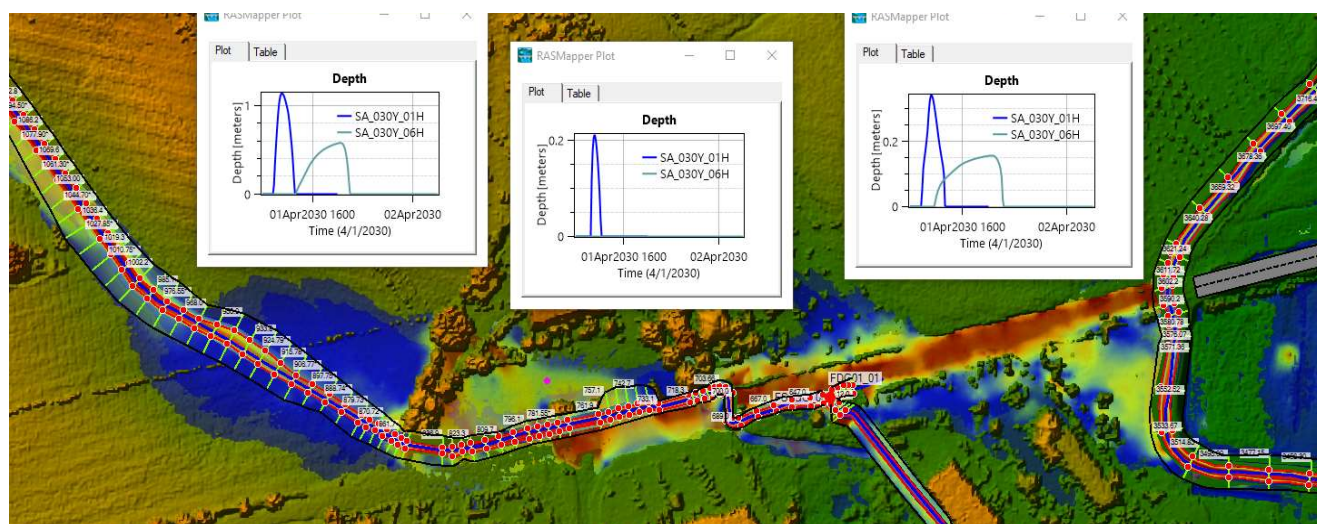
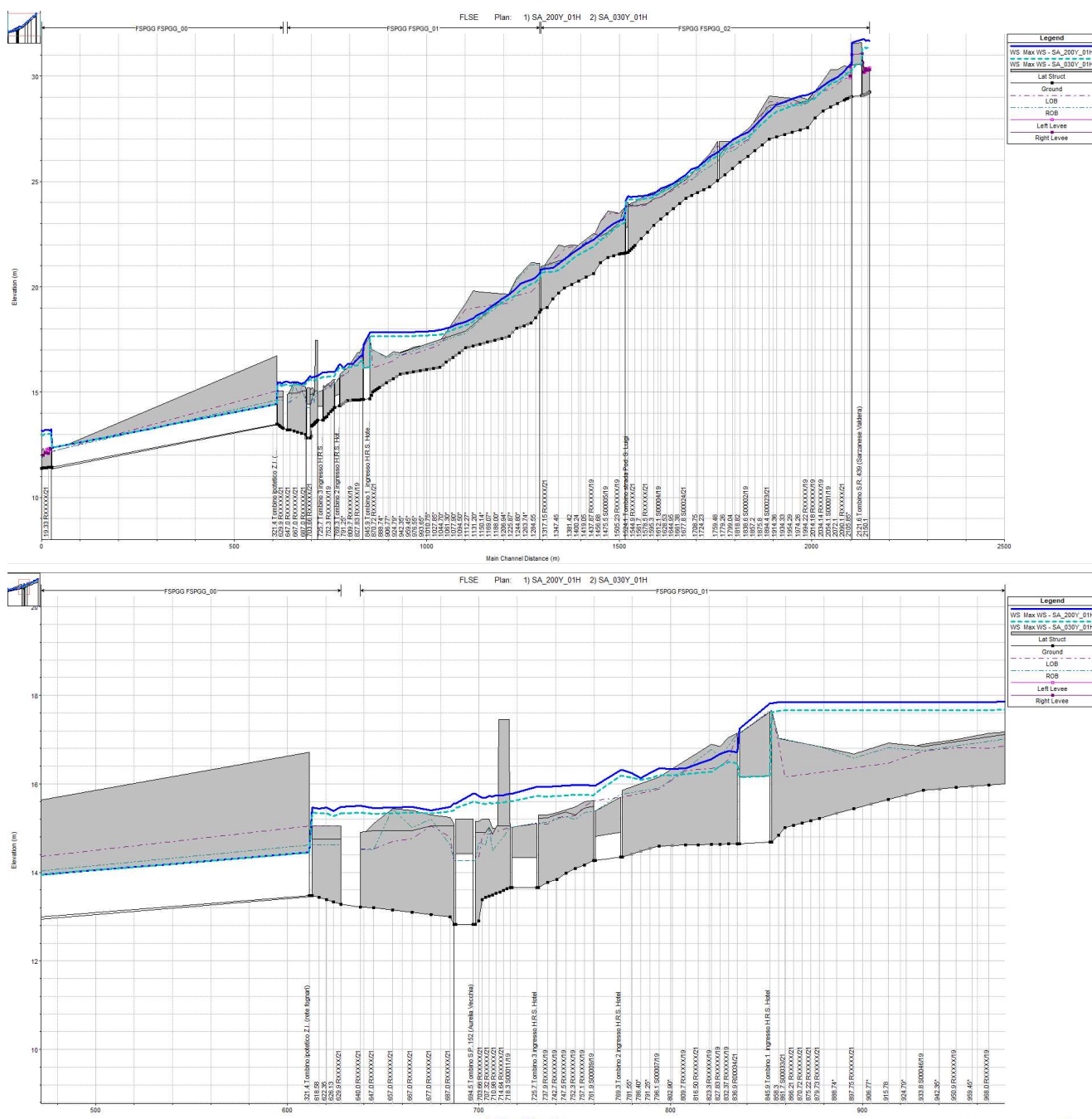


Fig. 71. Idrogrammi al ponticello RS 845.9 sul F.so c.d Poggetti alla S.P. n. 152. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01H.

<sup>145</sup> Comunque (e non sorprendentemente) meno sottodimensionato dei successivi.

<sup>146</sup> Lo SA analizzato riproduce anche difetti manutentivi semplicemente ovviabili. La insufficienza locale è, tuttavia, anche strutturale.







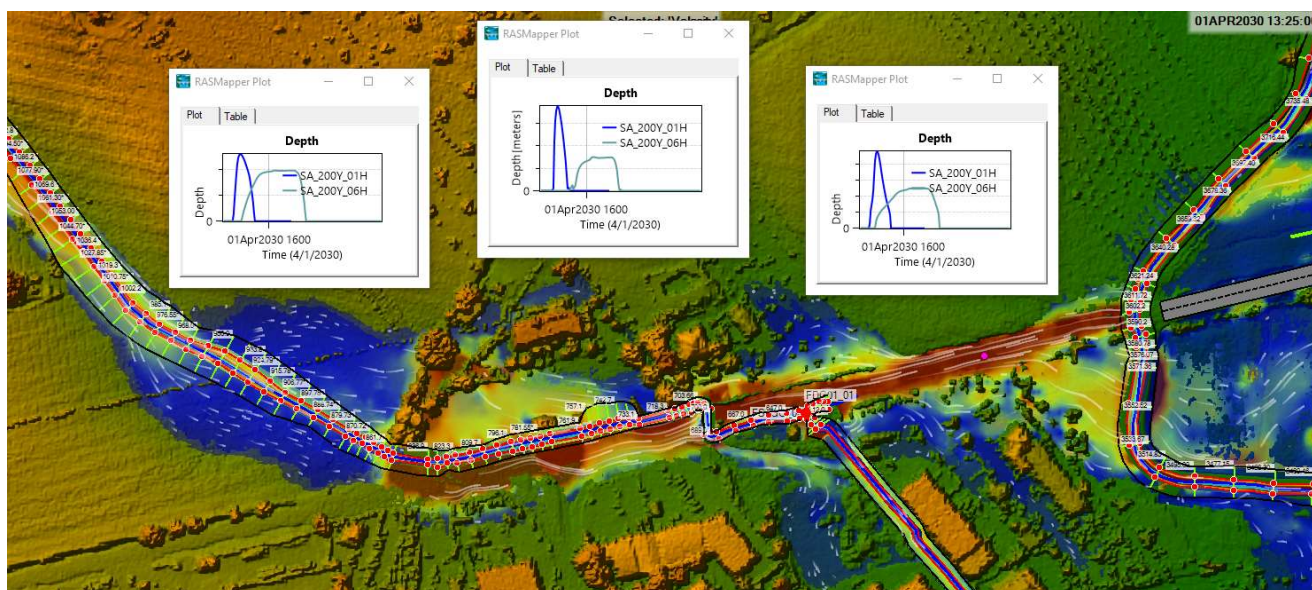


Fig. 73. Mappa maxVel deflussi fuori alveo F.so c.d. Poggetti alla S.P. n. 152. 1+2-D. Plans SA\_030 (sopra)/200 (sotto)\_01/06H.

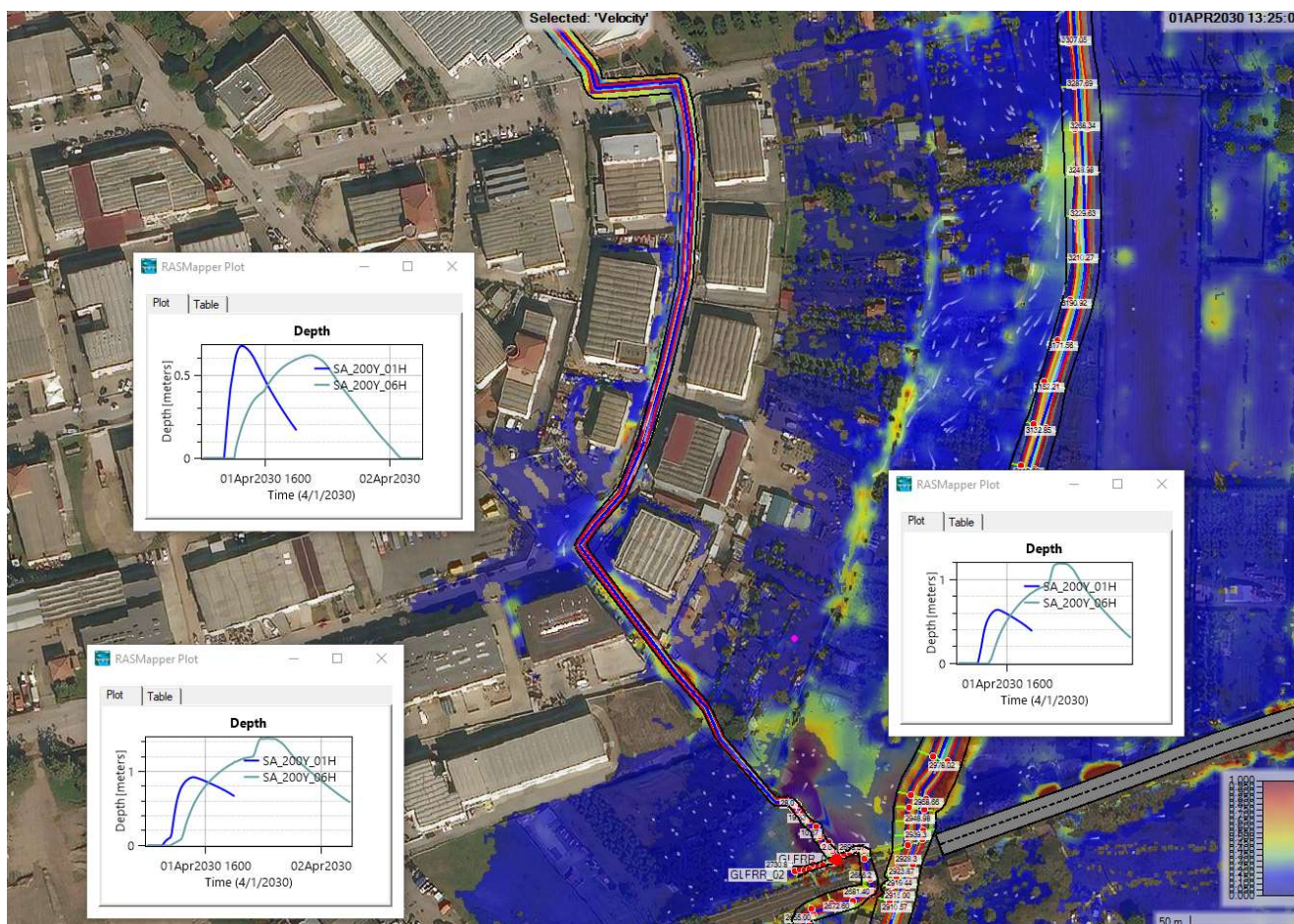


Fig. 74. Mappa maxVel deflussi fuori alveo F.so c.d. Poggetti alla ZI. 1+2-D. Plans SA\_200Y\_01/06H.

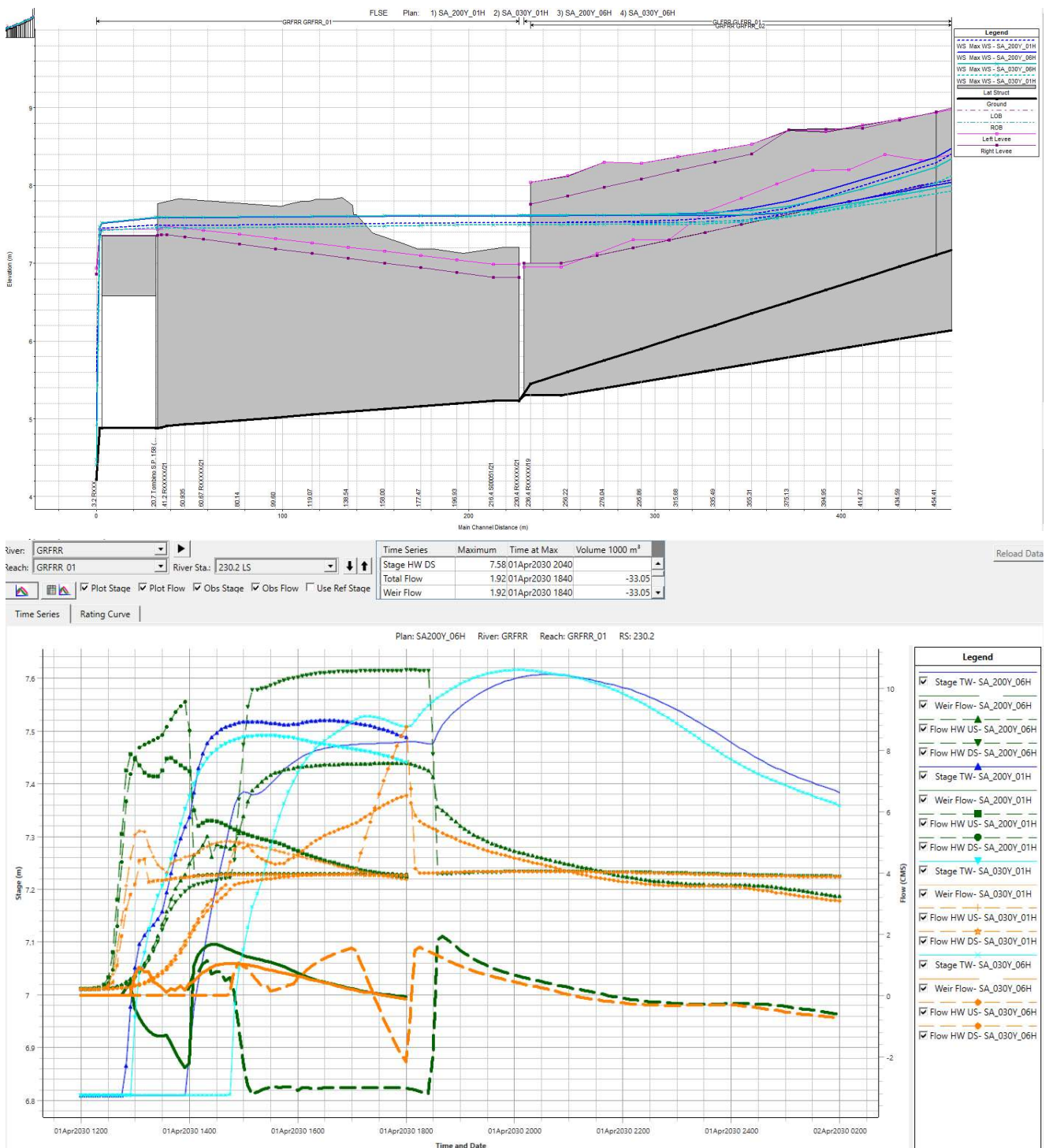
La capacità di invaso a monte è evidentemente bassa per motivi morfologici e la gran parte dei volumi idrici tende a riversarsi al debole rilevato S.P.

In un contesto ove le aree più depresse adiacenti la Gora sono già allagate dalla medesima, un filone di corrente invade la S.P. (già  $T_r=30$  anni) e si indirizza verso la Gora, mentre l'aliquota transitabile nel lungo tombino-sistema\_fognario\_ZI tende a ristagnare a monte della FFS, con lento recapito nel Gorello delle Ferriere e rigurgitando le condotte afferenti. Sebbene per la piena comprensione della pericolosità di ZI si debba definire



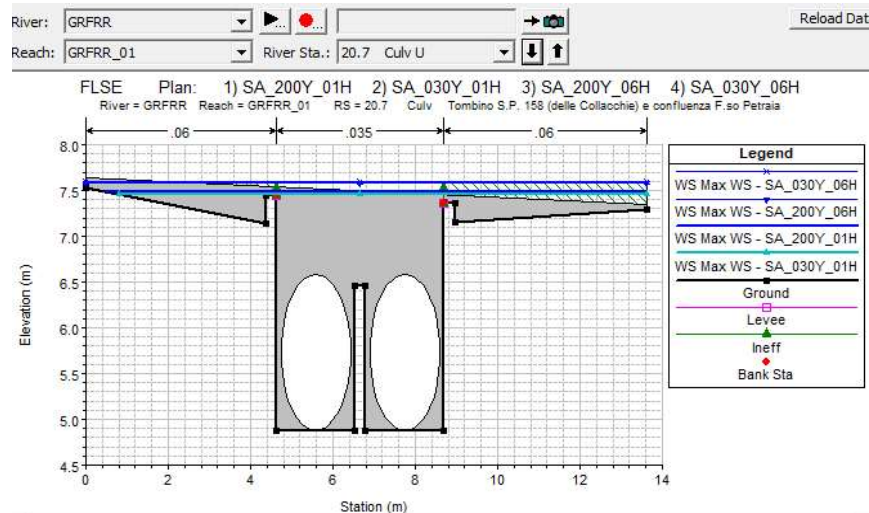
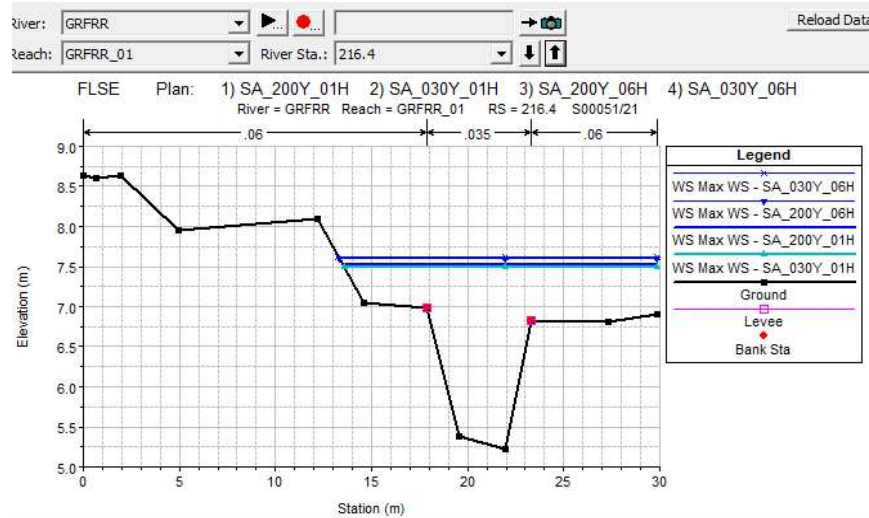
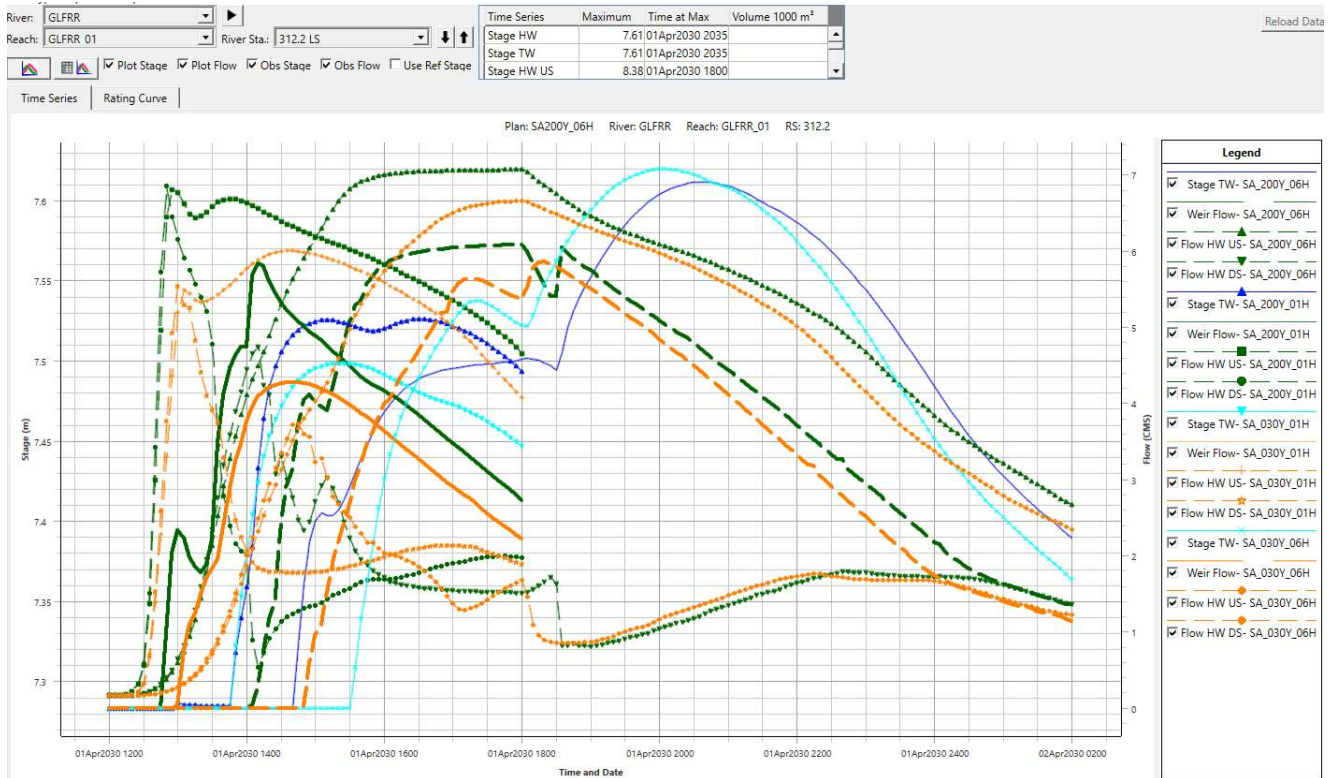
almeno negli elementi principali il sistema di drenaggio meteorico, la inclusione 2-D permette di identificare almeno la direttrice di flusso principale, coincidente con l'intorno di via dell'Edilizia (Fig. 74).

La seconda criticità riguarda il tratto terminale della Gora, in prossimità dell'area *ex* Ippodromo, oggi parcheggio e parco pubblico. Essa è causata sia dal (palese) difetto di contenimento in  $dx$  della totalità degli afflussi Gora-Gorello sia dal sottodimensionamento del manufatto di confluenza nel F.so Petraia (Fig. 75). Tale conclusione, sebbene affetta dalla particolare alea circa entità e forma (soprattutto) degli effettivi afflussi urbani al Gorello<sup>147</sup>, pare robusta e ragionevolmente cautelativa, dal che la allagabilità -già per  $T_r=30$  anni- di vaste aree urbane in  $dx$  e  $sx$  (Fig. 76).



<sup>147</sup>Vd. BC 2-D sul Gorello tra  $\Sigma I$  e nucleo urbano.





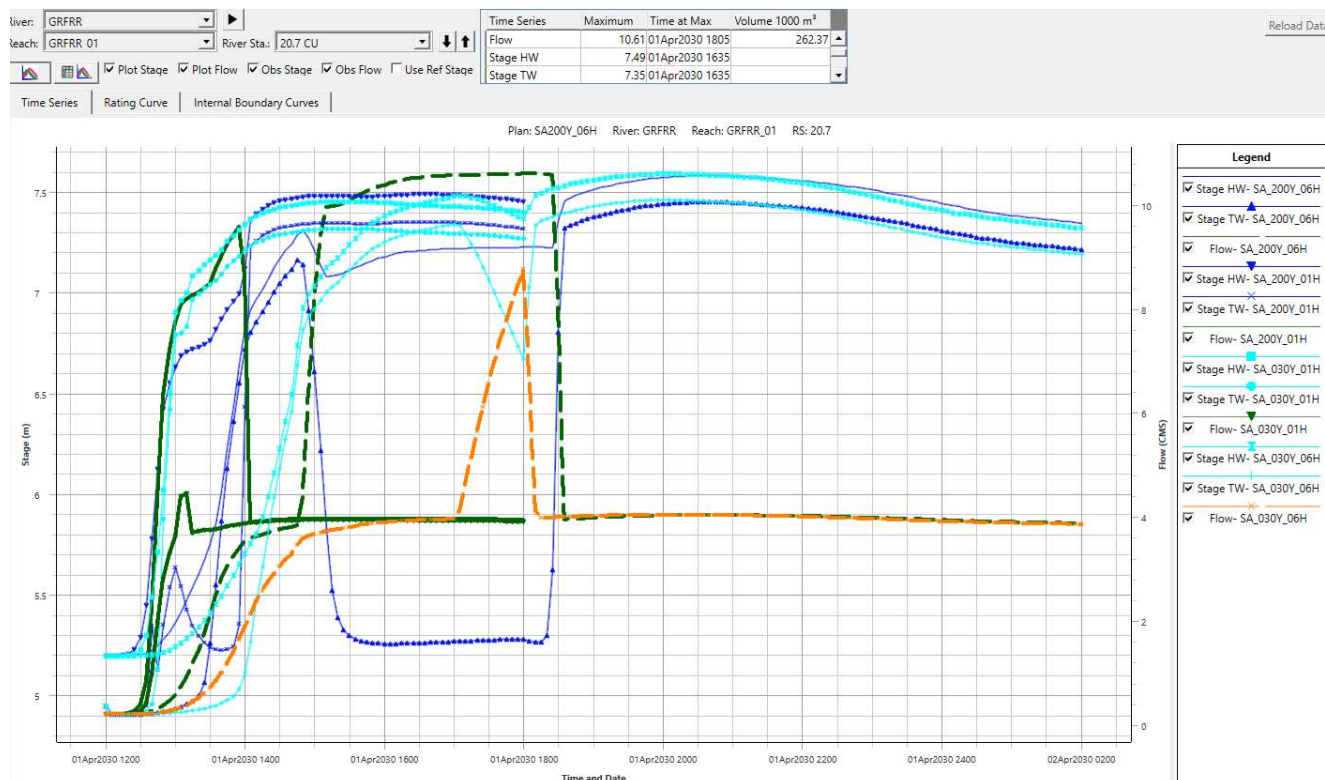
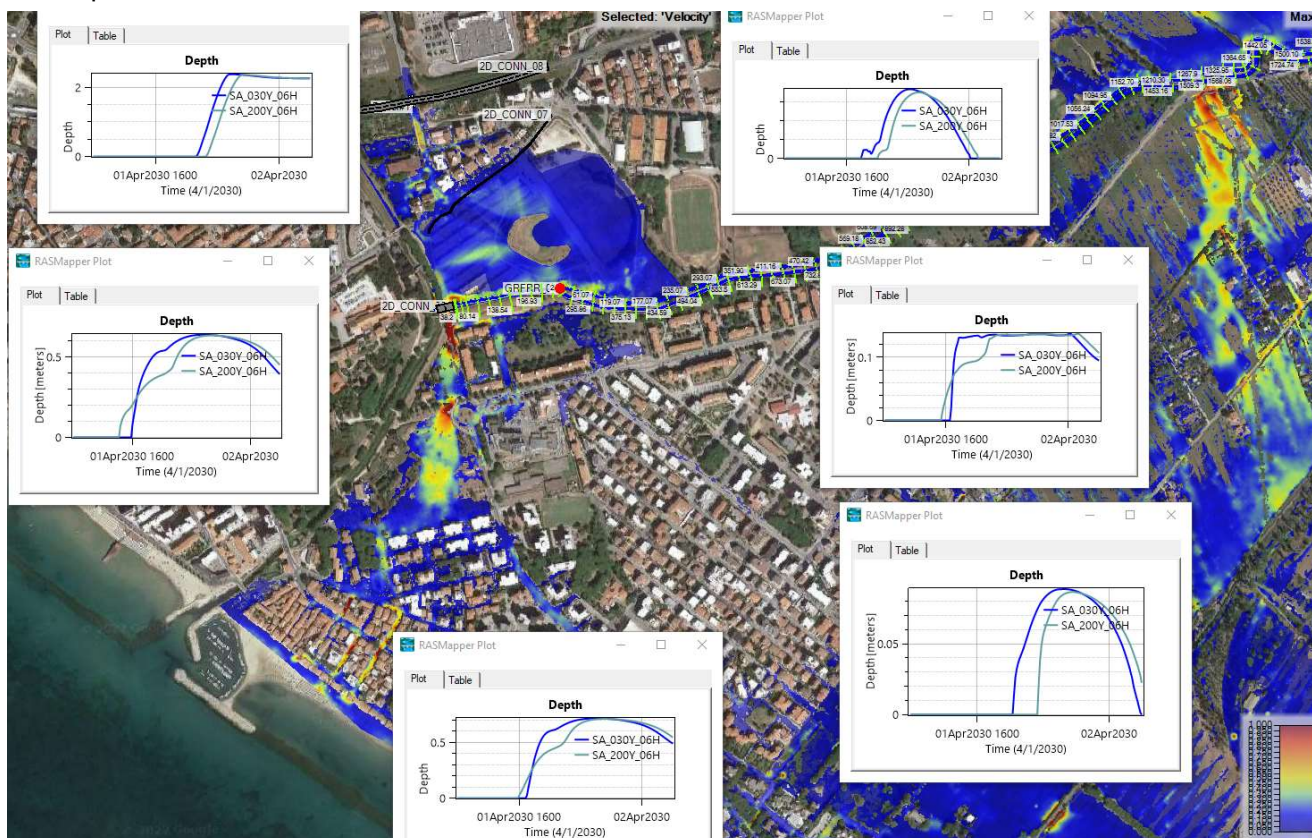


Fig. 75. *Profili maxWS* Gora delle Ferriere al F.so Petraia, idrogrammi LS 230.2 Gora e 312.2 Gorello, sezioni e idrogrammi tombino 20.7. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01/06H.

Dato l'assetto complessivo scolante verso sud, l'ingresso di acque non regimate su S.P. n. 158 -per le durate più lunghe e battenti  $\leq 0.10$  m-, induce per scorrimento allagamenti fino a mare. Sul lato opposto gli effetti sono più limitati ma pericolosamente potendo arrivare ad includere anche il già critico<sup>148</sup> sottopasso FFS di via Leopardi.



<sup>148</sup> In caso di alluvioni pluviali.



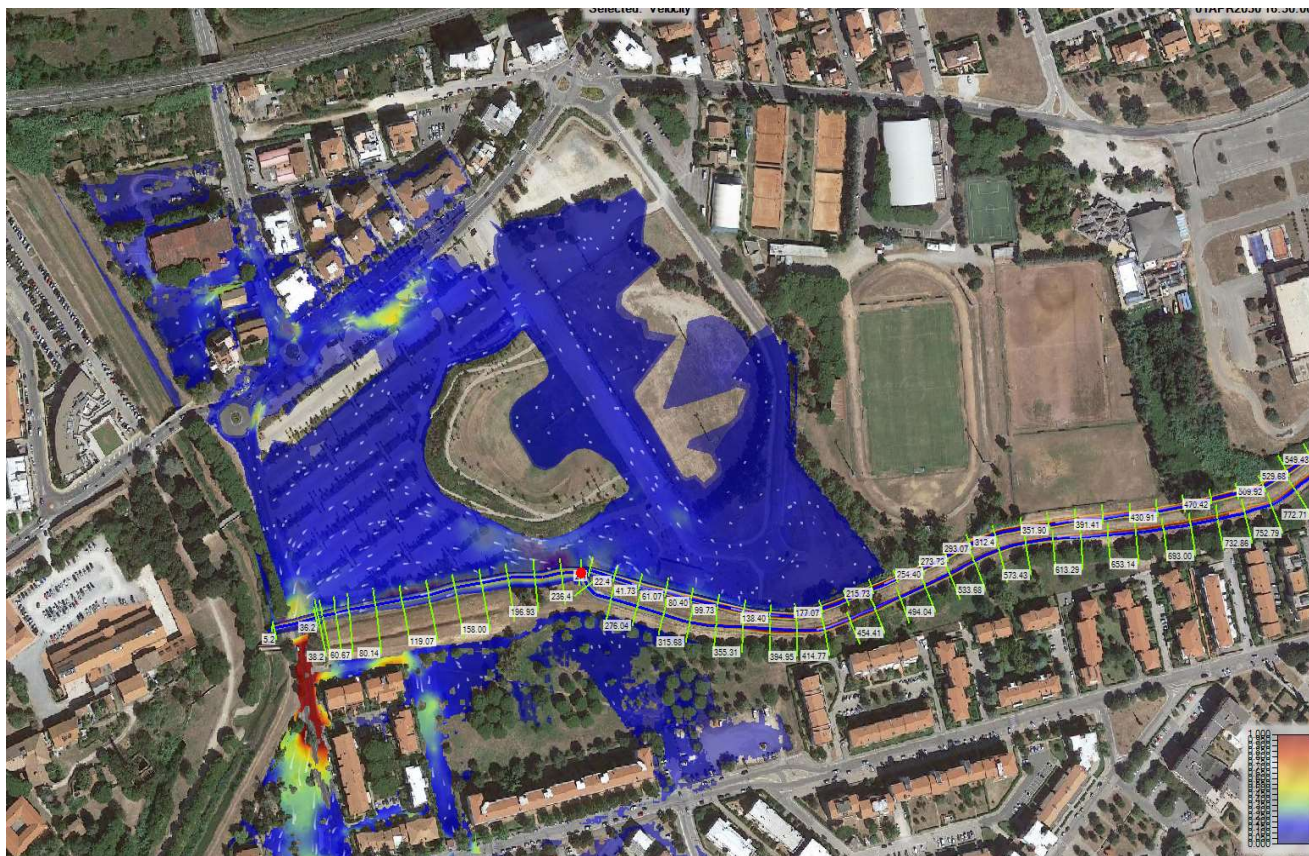


Fig. 76. Mappe maxVel (200Y) deflussi fuori alveo Gora delle Ferriere alla confluenza F.so Petraia e idrogrammi Depth.  
1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01/06H.

Dunque, oggi la Gora delle Ferriere rappresenta senz'altro l'asse idrografico di maggiore potenziale migliorativo, sia a preservazione dei deflussi semipermanenti di acque di buona qualità (uso ricreativo e funzionalità ecologico-ambientale anche nei confronti del F.so Petraia) sia in rafforzamento della capacità di gronda liberata dai recenti interventi in loc. Scopaione, eliminando/risolvendo le attuali incongruenze/indeterminazioni che ne limitano l'affidabilità; d'altra parte, l'approccio di intervento non può non includere l'intero sistema delle acque meteoriche, urbane e *non*, drenate dal Gorello.

In conclusione, le principali minacce residue da alluvione fluviale (non analizzati esplicitamente gli scenari di alluvione pluviale) a infrastrutture e abitato di Follonica *SE* derivano dall'incompletezza del recente assetto del F. Pecora e labilità *ex* argine di recinto al limite comunale di Scarlino, dal F.so c.d dei Poggetti, dalla inadeguatezza terminale di Gora-Gorello delle Ferriere, dagli scoli intermittenti di quartieri Cassarello-Senzuno-Salciana.

#### 1.4.3.2 FLCE

Il modello *FLCE*, escluso il F.so Petraia in quanto già con *QC* adeguato, comprende i soli F.si Valle Onesta e Val Querceta intersecanti Follonica nella parte meridiana. La configurazione attuale esemplifica due problematiche tipiche: la marginalizzazione (del sistema idraulico) extra-urbana (Valle Onesta) e urbana (Val Querceta). Insieme ad un altro piccolo impluvio non ricompreso in *Ret\_Idr* ma ancora riconoscibile soprattutto dalla presenza di specifici tombino *FFS* e sbocco a mare (modellati in 2-D), essi tagliano quasi perpendicolarmente S.P. n. 152, *FFS* e fascia costiera urbanizzata. Entrambi sono totalmente tombati a valle *FFS*. Lo scenario pluviometrico complessivamente<sup>149</sup> più critico è *01H*<sup>150</sup>, trattandosi di allagamenti essenzialmente di transito, con poche zone di accumulo e fortemente condizionati da limitate capacità di deflusso ai tombini<sup>151</sup>. I condizionamenti da valle (mare) sono limitati e marginali.

<sup>149</sup>Per alcuni confronti locali (volumi di esondazione) con *02H* vd. avanti.

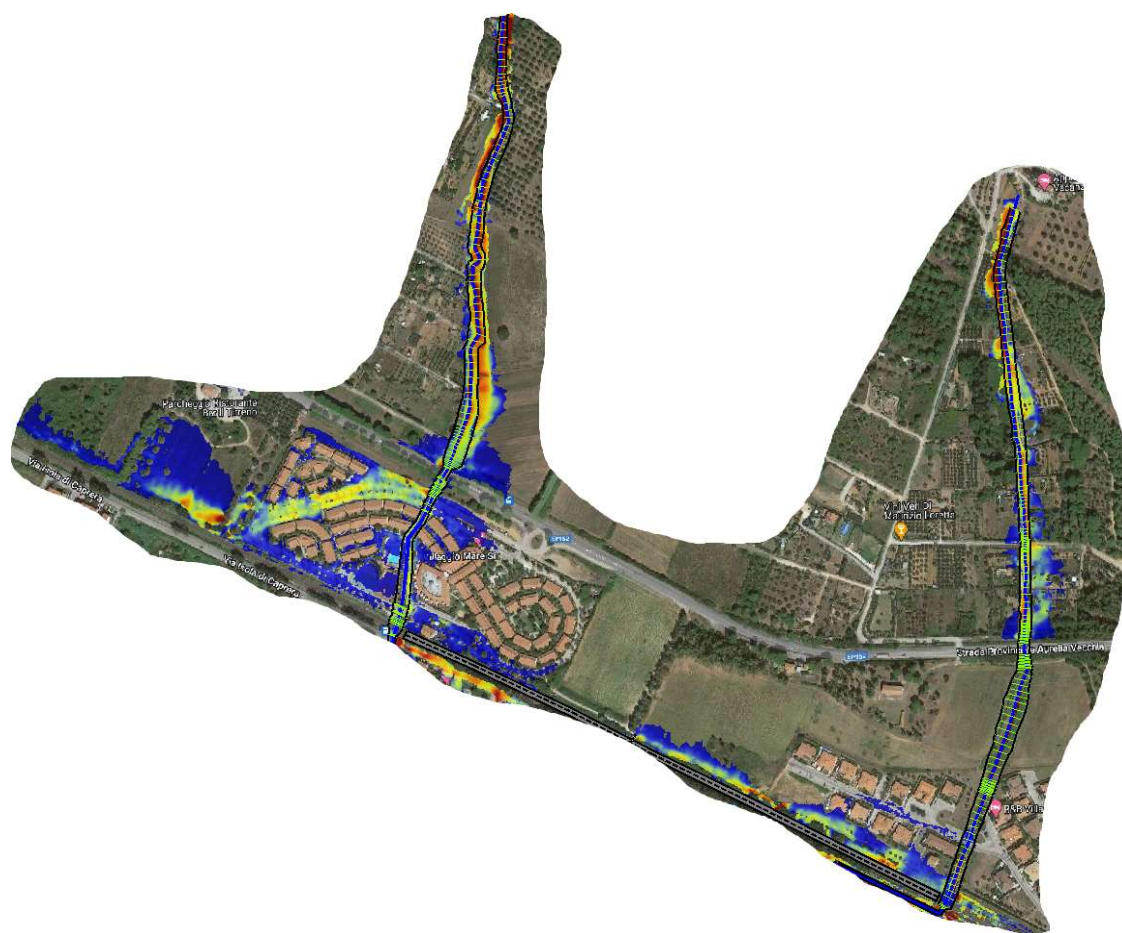
<sup>150</sup>Si ricorda che, a differenza delle durate superiori (distribuzione uniforme), per 1 *h* lo ietogramma è assunto di forma *Chicago* centrato.

<sup>151</sup>Per il confronto con *02H* si rimanda all'allegato digitale.

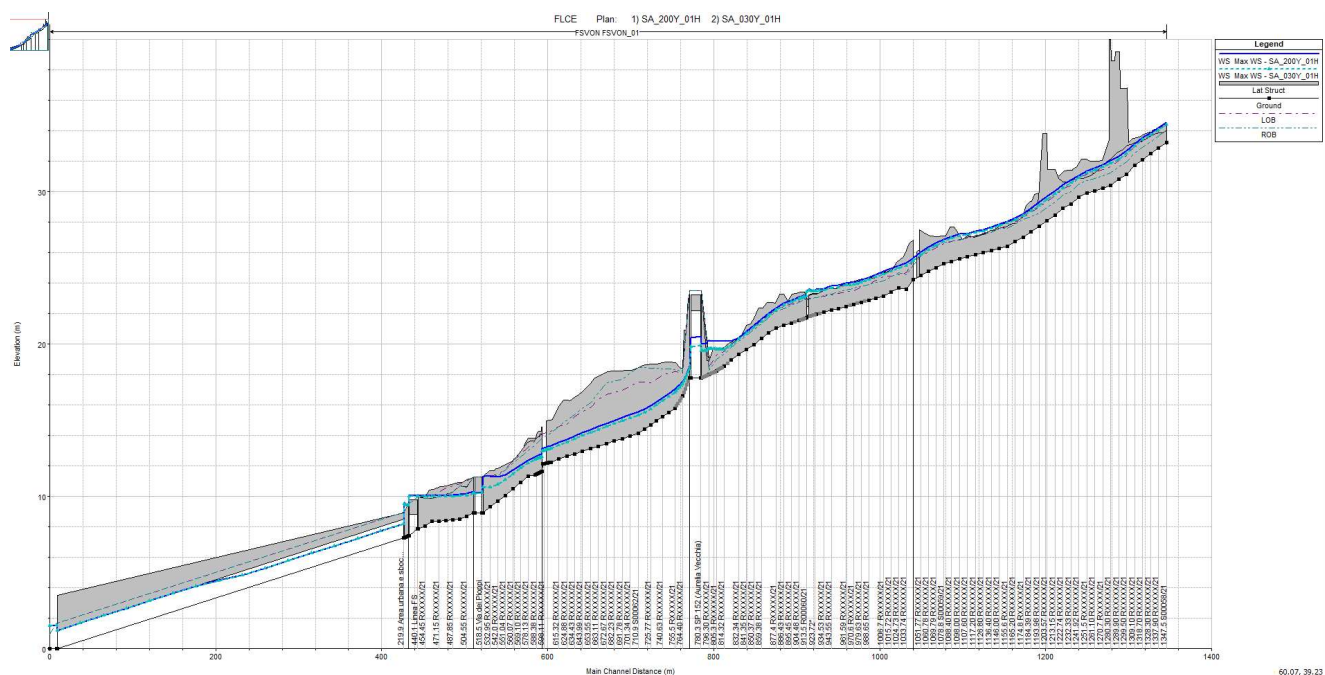
Dunque, la principale pericolosità attuale è concentrata ai tombini di via dei Pioppi e FFS, anche in relazione all'elevata acclività di approccio e alla erodibilità delle ripide sponde. La criticità principale è al rilevato FFS, temibile di tracimazione già per  $T_r=30$  anni, mentre il ponticelli di via dei Pioppi soltanto per  $T_r=200$  anni. D'altra parte, essa pare "facilmente" mitigabile intervenendo a monte della S.P., limitandosi, a valle, a garantire stabilità della sezione e regolarità dei deflussi (ottimizzazione tombini) e a salvaguardare le aree inedificate adiacenti (10 m min.).

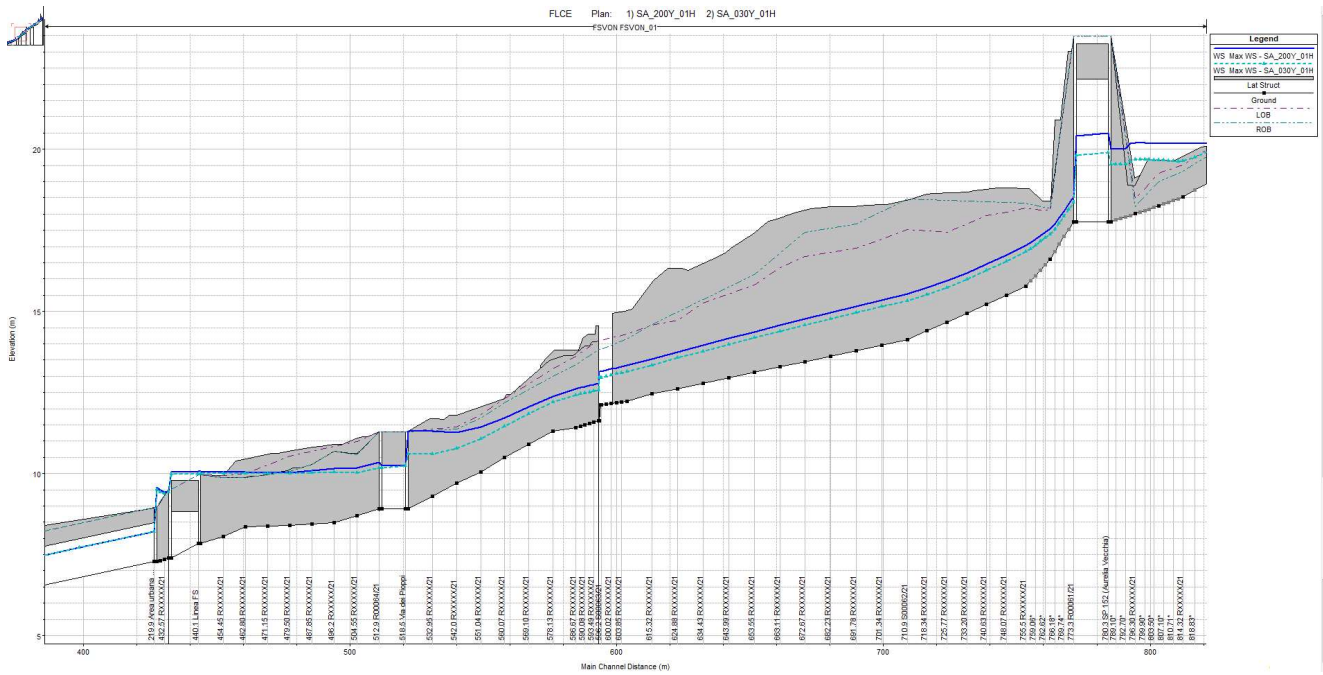




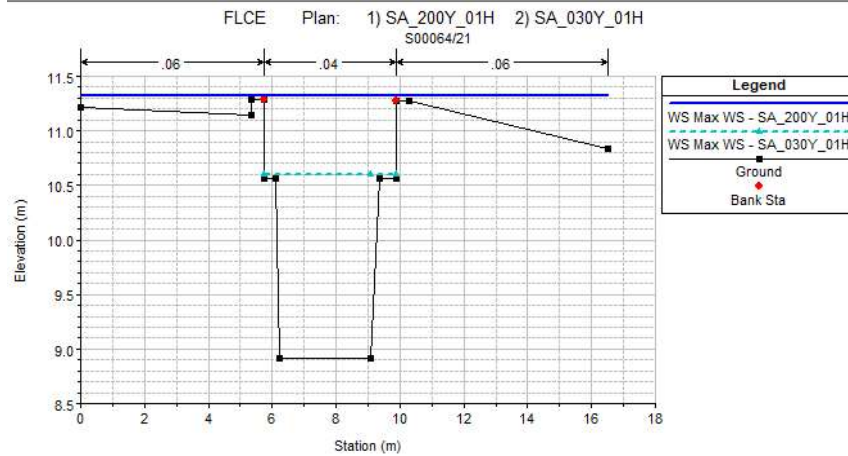


pra)/200(sotto)Y 01H.

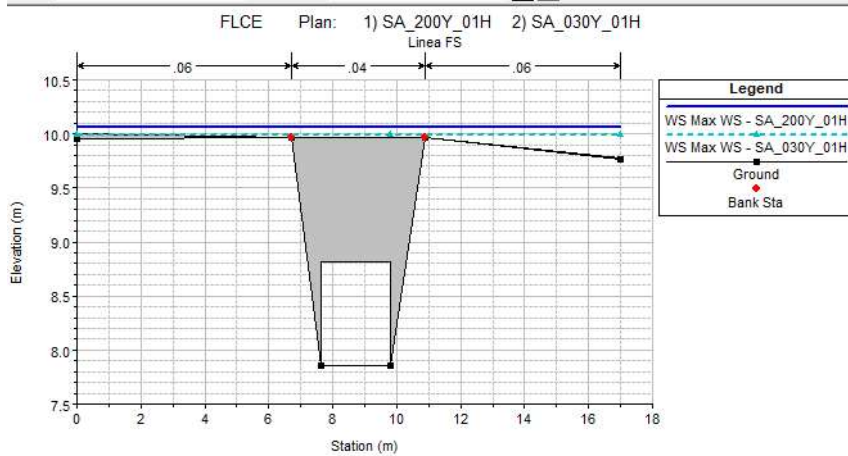




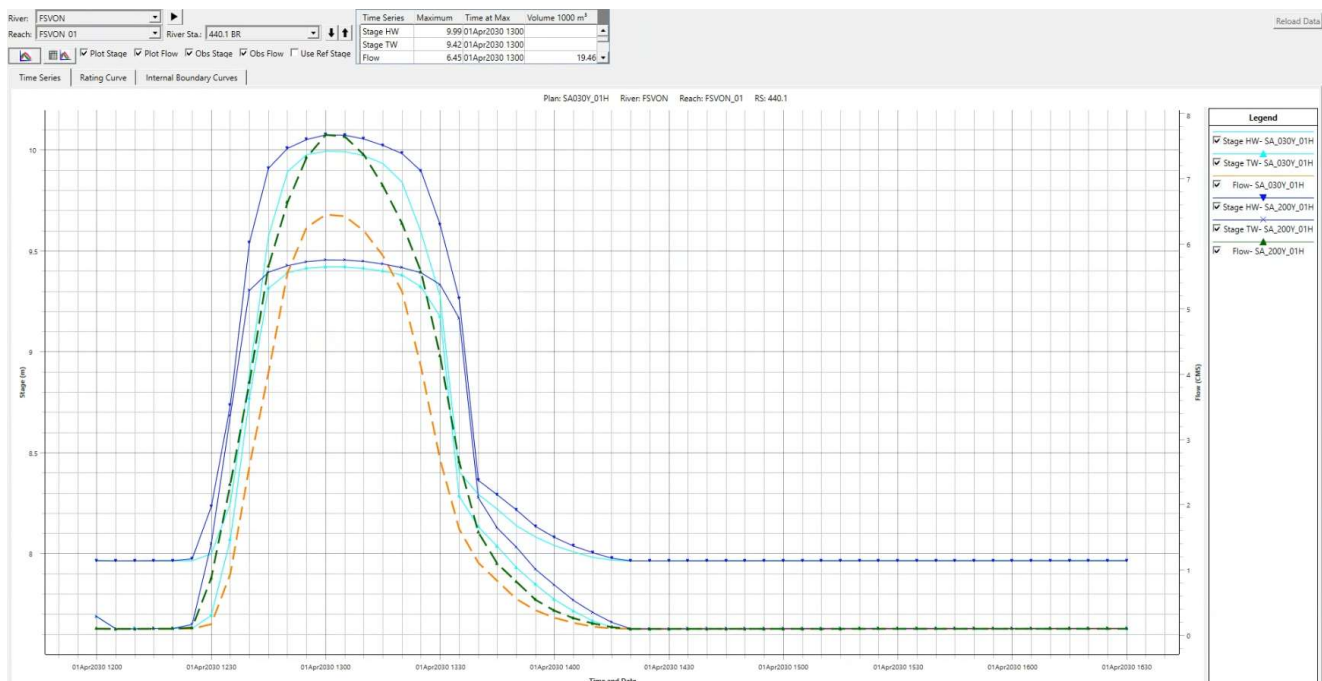
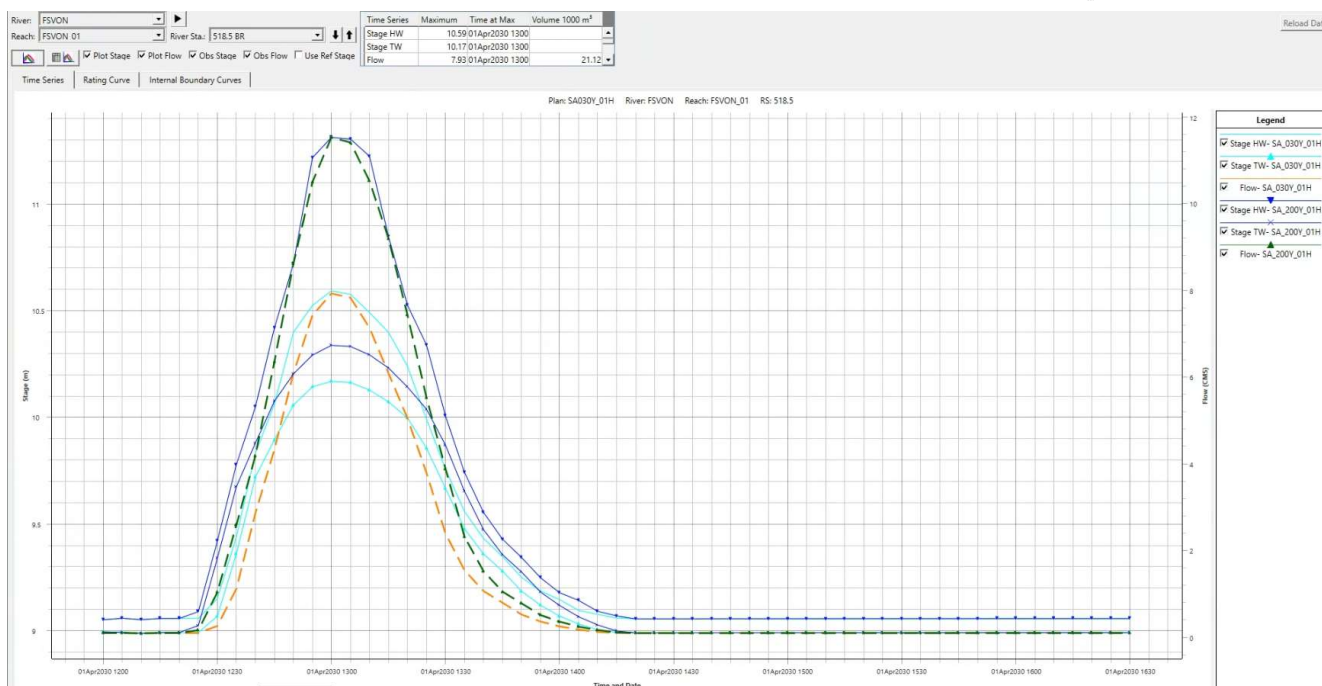
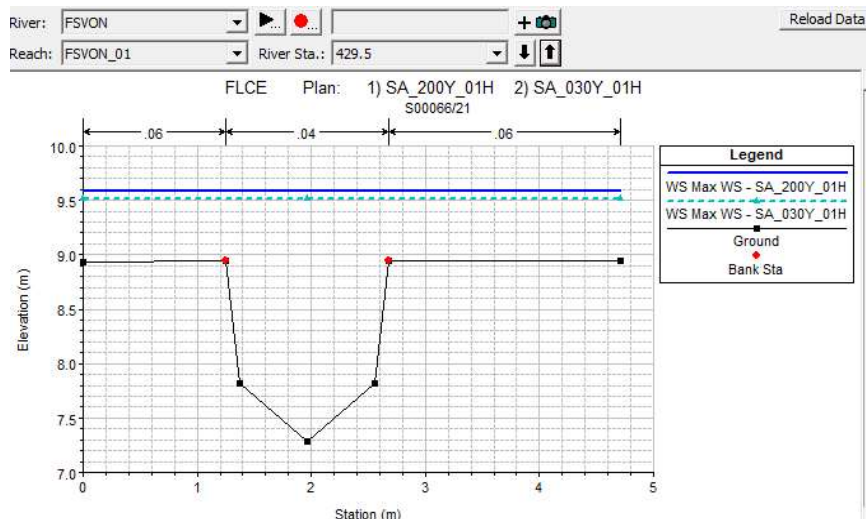
River: FSVON  
Reach: FSVON\_01  
River Sta.: 523.9



River: FSVON  
Reach: FSVON\_01  
River Sta.: 440.1 BR U







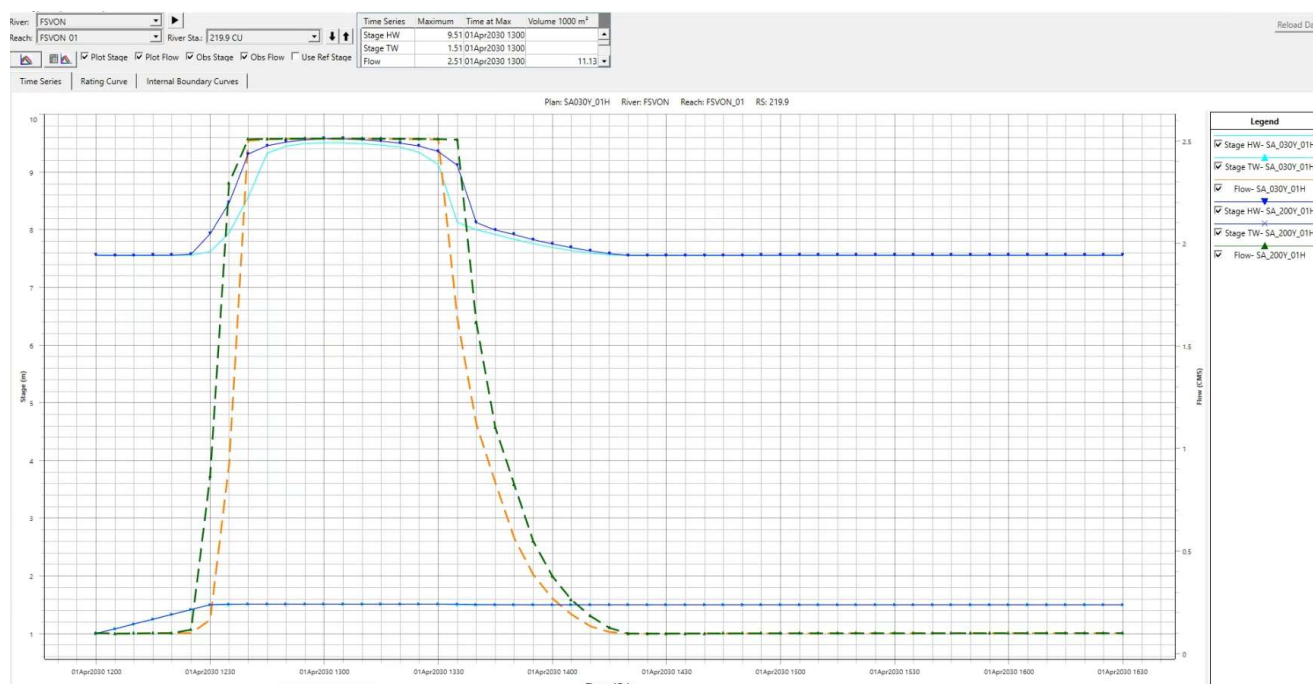


Fig. 78. Profili maxWS F.so Valle Onesta e idrogrammi ai ponticelli/tombini via dei Pioppi, FFS e di sbocco a mare. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01H.

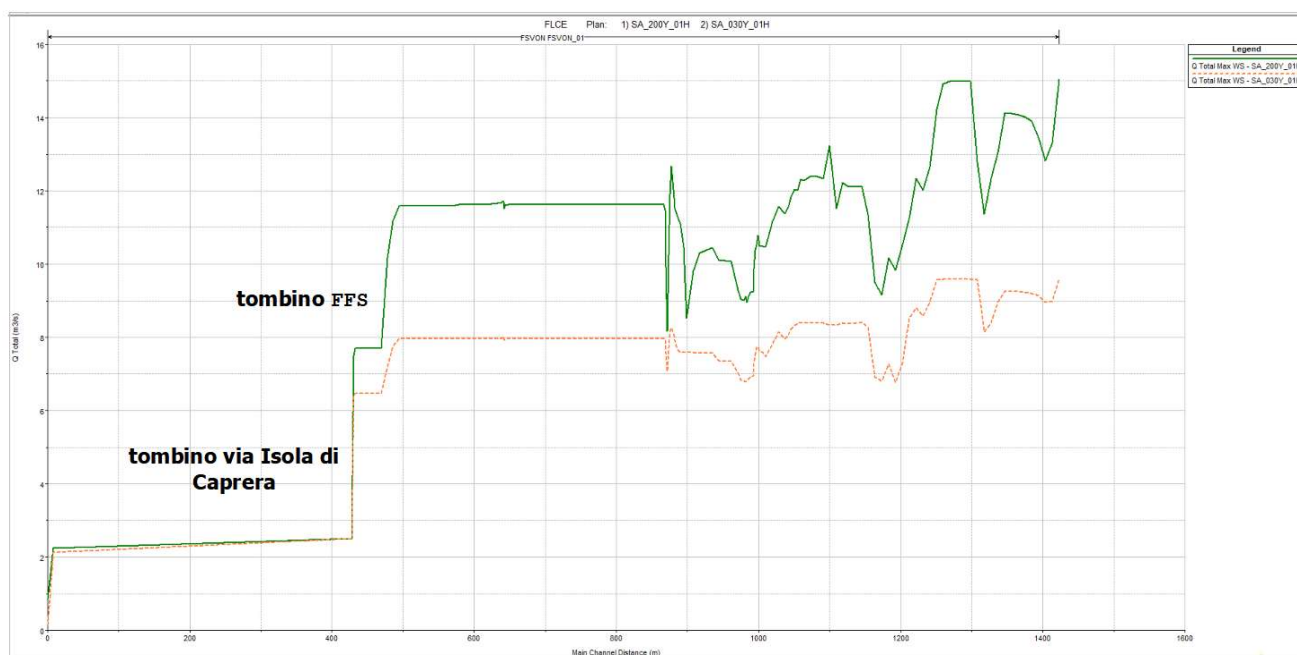


Fig. 79. Profili di portata maxWS F.so Valle Onesta. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01H.

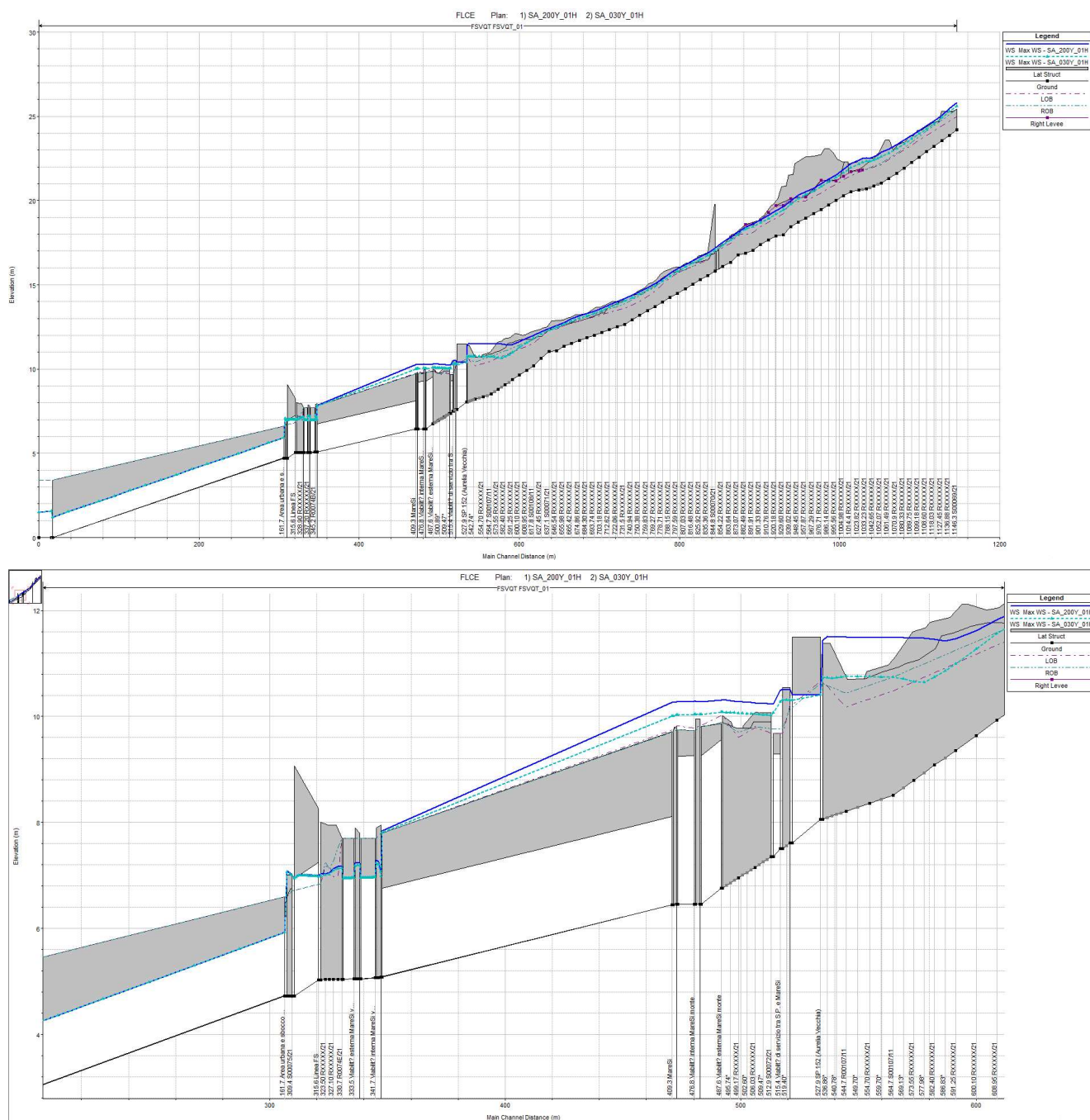
La esuberanza delle massime sollecitazioni da acqua alte rispetto alla capacità di deflusso del tratto tombato a valle di FFS -anche se sostanzialmente ignoto circa geometria-tracciato-integrità-connessioni fognarie- è presumibilmente sufficiente a giustificare (anche senza esondazioni dirette) i frequenti allagamenti per fenomeni pluviali delle aree urbane più depresse.

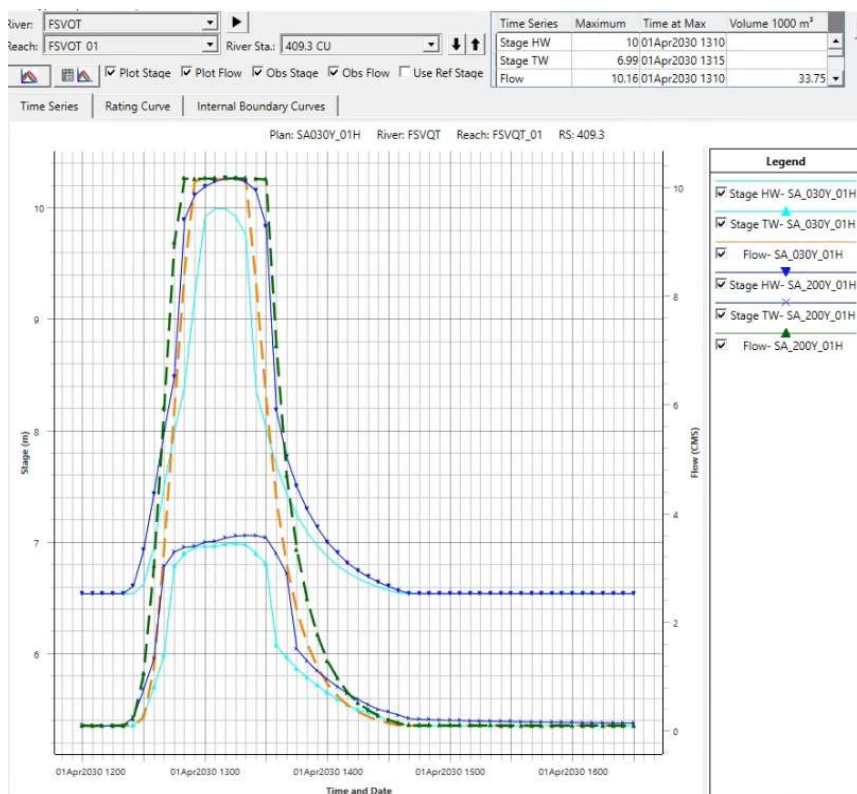
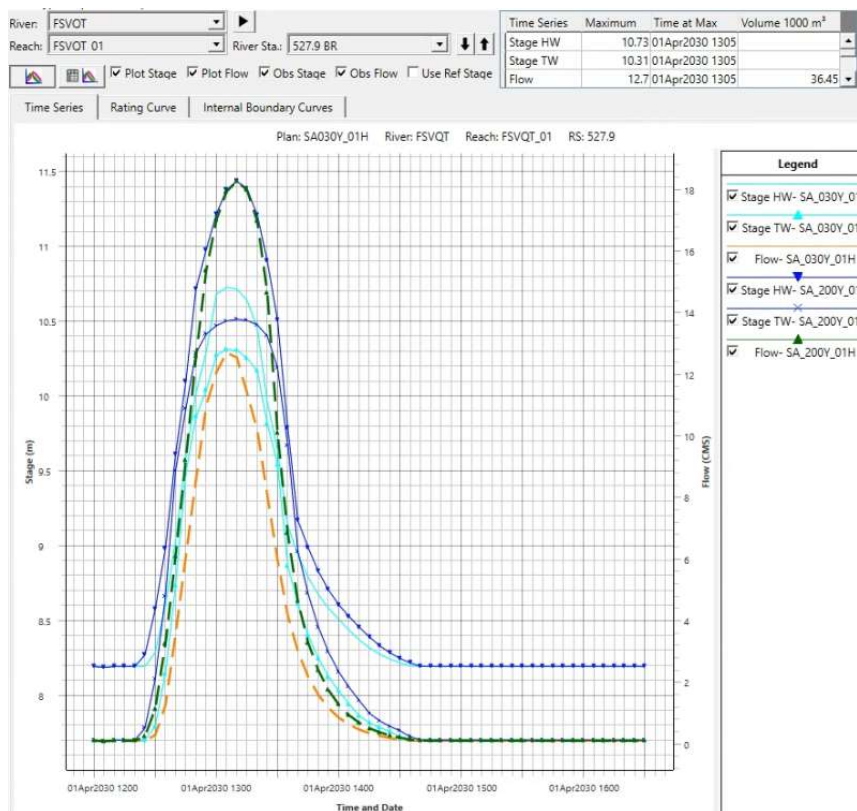
Analogamente nel tratto urbano a valle FFS il F.so Val Querceta che, tuttavia, presenta la ulteriore criticità del lungo tombamento di MareSi, peraltro impropriamente inaccessibile ai mezzi di manutenzione anche nei pochi tratti a cielo aperto. Il tombino limitante è quello iniziale a valle della S.P., con ulteriori rischi legati alla difficoltà di manutenzione e agli accumuli di detriti sedimentari e/o vegetali (Fig. 81-Fig. 82). A differenza del



F.so Valle Onesta, il rilevato FFS non è sormontato (Fig. 80), sia per la maggiore altezza sul *thalweg* sia per le più cospicue esondazioni a monte.

Per il sistema fognario collegato valgono considerazioni analoghe a quelle fatte per il F.so Valle Onesta.







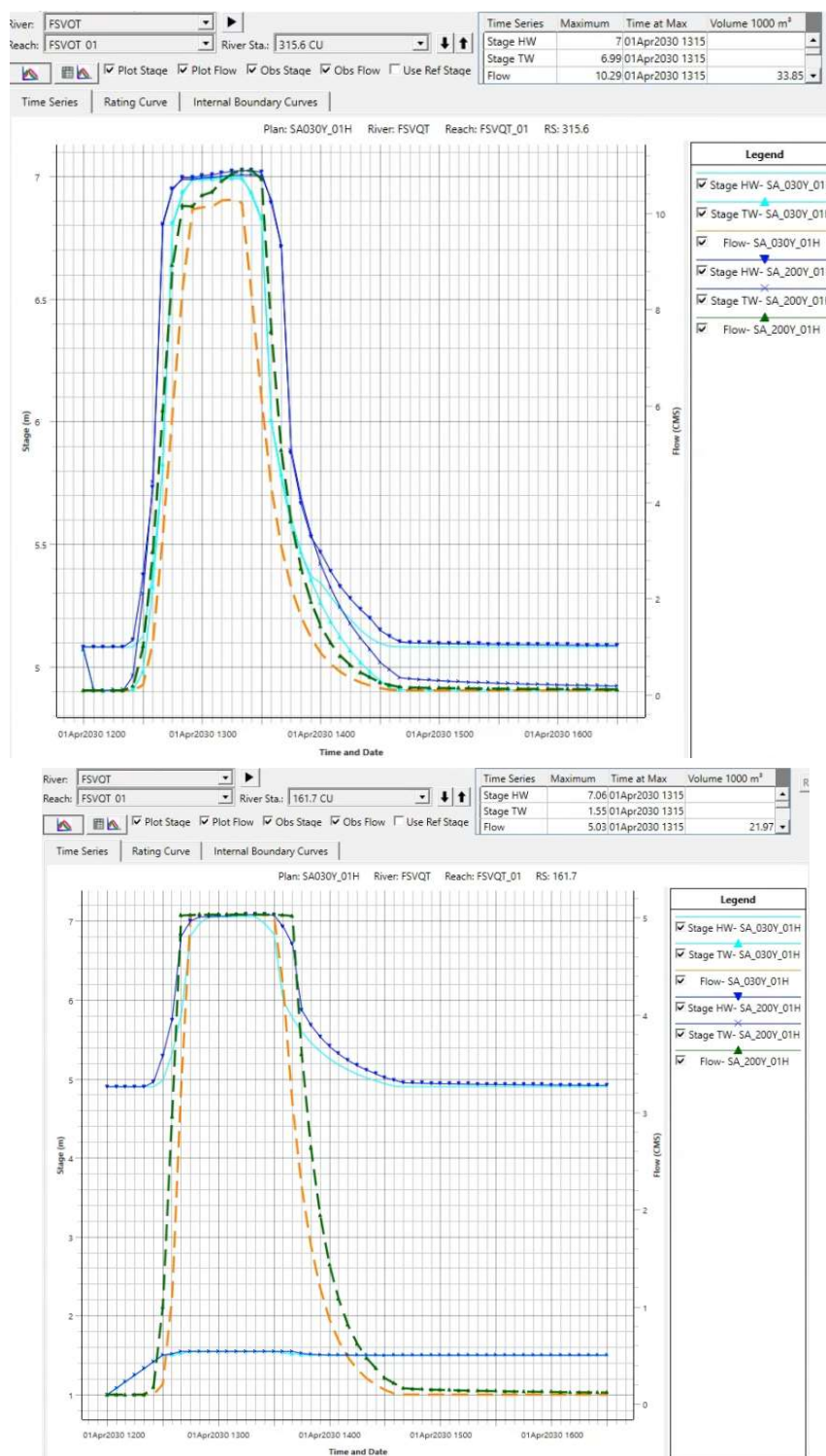


Fig. 80. *Profili maxWS F.so Val Querceta e idrogrammi ai tombini S.P. n. 152, MareSi<sup>152</sup>, FFS e sbocco a mare. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01H.*

<sup>152</sup>Portata nel tombino 1-D limitata alla massima transitabile senza tracimazione (ca. 10 m³/s) e esuberanti in 2-D.



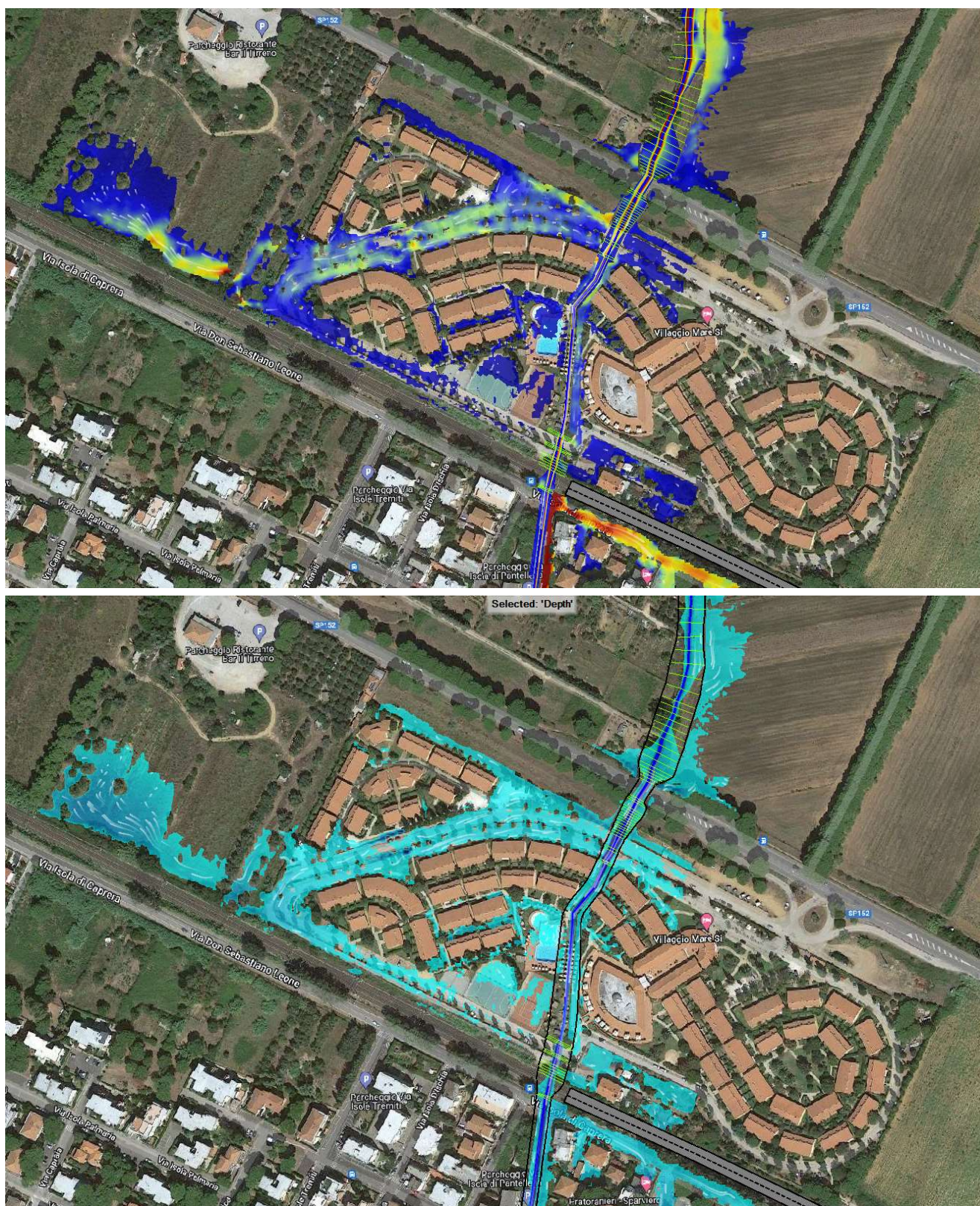


Fig. 81. Mappe maxDepth e maxVel F.so Val Querceta tra S.P. n. 152 e FFS. 1+2-D. Plans SA\_030Y\_01H.



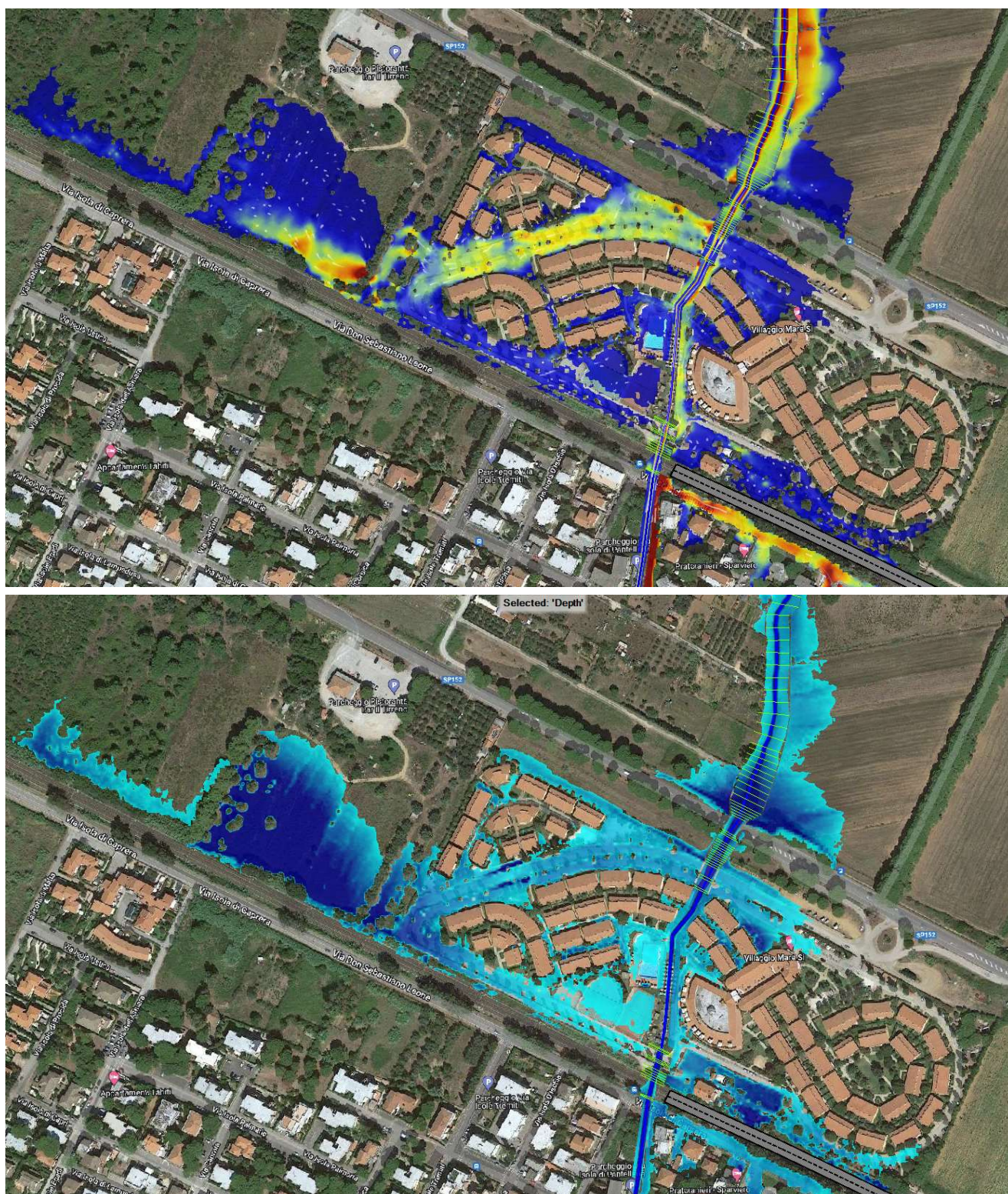


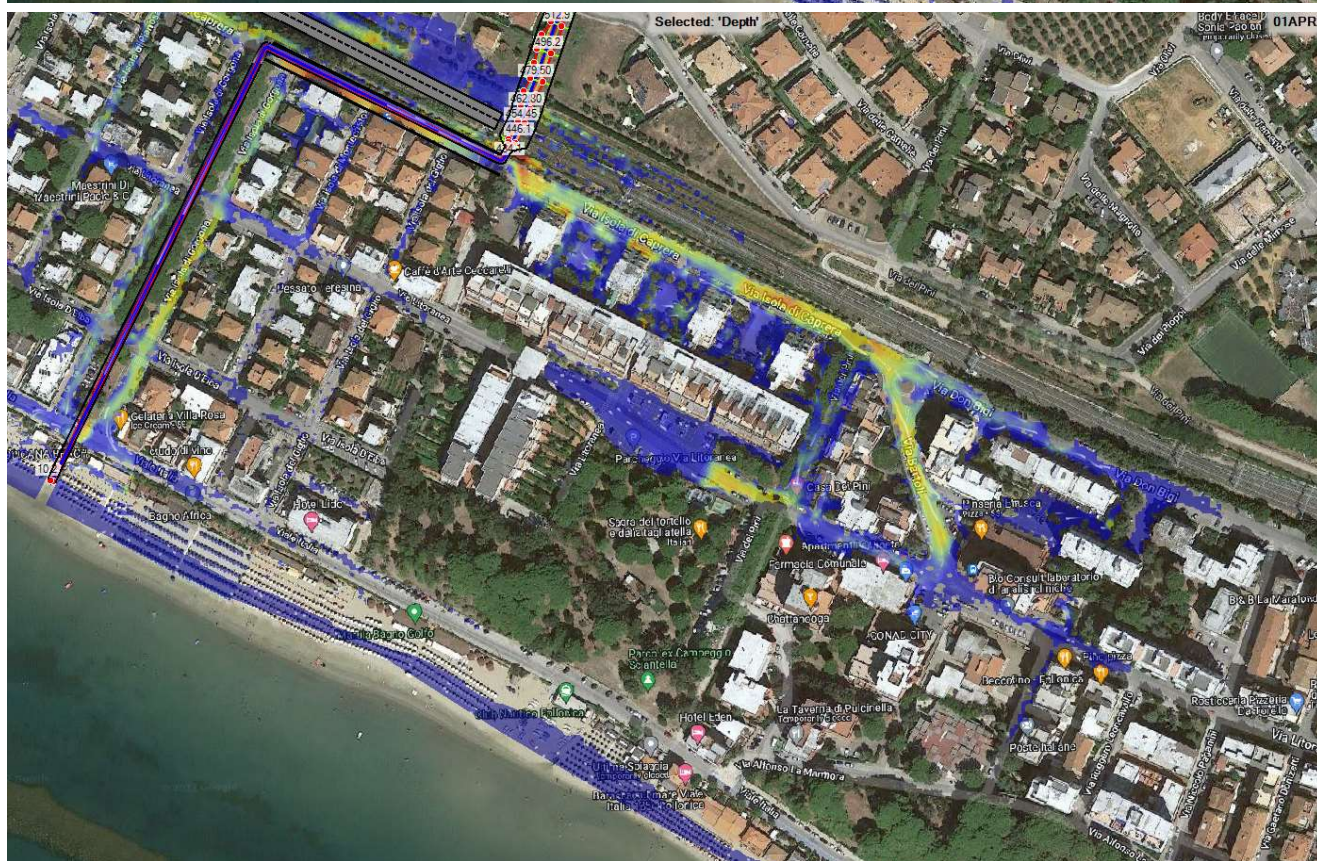
Fig. 82. Mappe  $maxDepth$  e  $maxVel$  F.so Val Querceta tra S.P. n. 152 e FFS. 1+2-D. Plans SA\_200Y\_01H.

Gli allagamenti in ambito urbano dei due fossi tendono a confondersi, anche per l'attivazione del tombino FFS posto in mezzo (Fig. 83-Fig. 84). Le  $maxDepth$  sono dell'ordine di  $0.10 \div 0.30$  m per  $T_r=30/200$  anni; sebbene i volumi in giochi non siano elevati, la concomitanza dei ristagni pluviali e la elevata impermeabilità fanno ritenere possibili accumuli nelle zone più depresse anche  $>1.0 \div 1.5$  m, già per  $T_r=30$  anni (es. via Litoranea) e più probabili/diffusi per  $T_r=200$  anni (Fig. 85).









SA 030Y 01H.









Fig. 84. *Mappe maxVel dei deflussi fuori alveo F.sì Valle Onesta e Val Querceta tra FFS e mare. 1+2-D. Plan SA\_200Y\_01H.*



Fig. 85. *Mappe maxDepth dei deflussi fuori alveo F.sì Valle Onesta e Val Querceta tra FFS e mare. 1+2-D. Plan SA\_200Y\_01H.*



## 1.4.3.3 FLNO

Il modello FLNO comprende l'intero areale nord-occidentale facente capo al C.le Allacciante Cervia direzione Follonica che, tuttavia, non ha rilevanza propria ai fini alluvionali, essendo un semplice canale di rimessa natanti e intercettazione del F.so Valmaggione e del C.le Mercatone. Gli unici afflussi diretti sono quelli del fosso lungo S.C. di Pappasole in loc. Torre Mozza; gli ulteriori verso Follonica sono intercettati dal fosso di guardia parallelo al C.le Cervia e direttamente afferente il F.so Valmaggione alla confluenza (modellato soltanto in 2-D). Gli scenari idrologici critici sono 01H-02H.

Il F.so Valmaggione [FSVMA] è senz'altro il più pericoloso, per potenza di deflusso ed evidenza storica. Il tributario principale, Rio di Valmaggione Nord [RIVMN] non determina pericolosità proprie particolari, data la piccola dimensione e il contesto ancora prettamente agricolo.

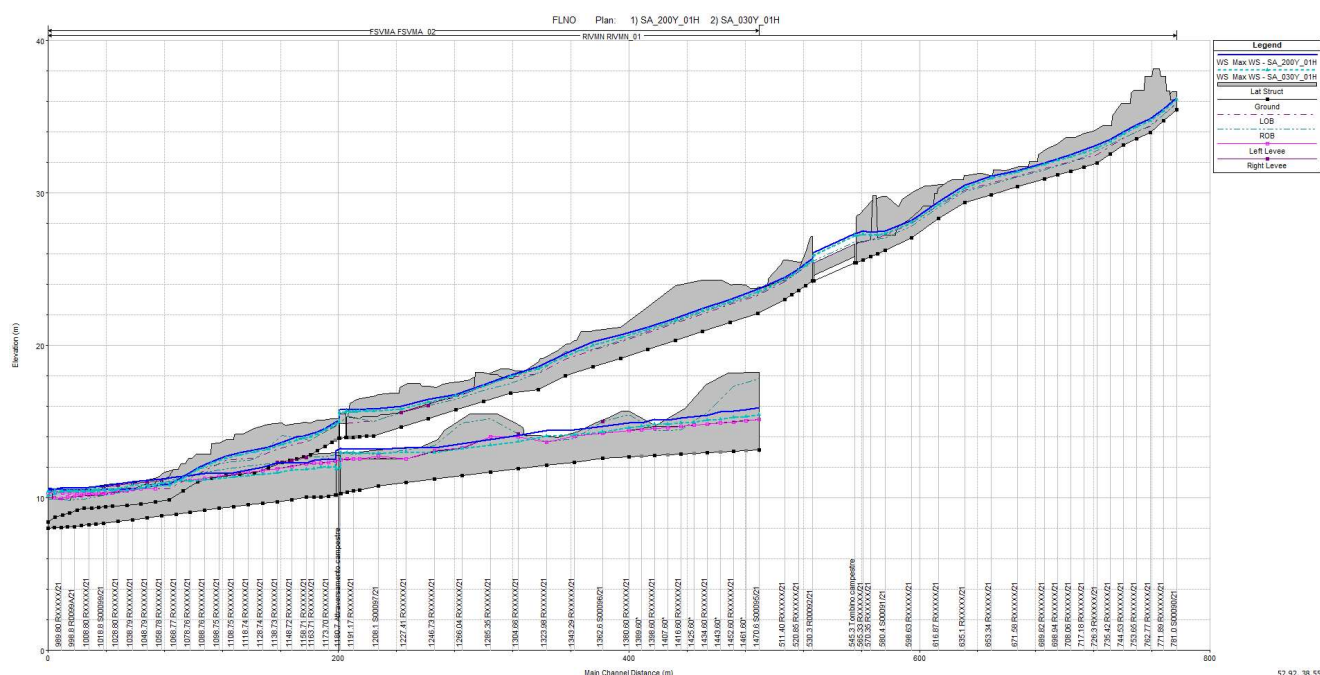
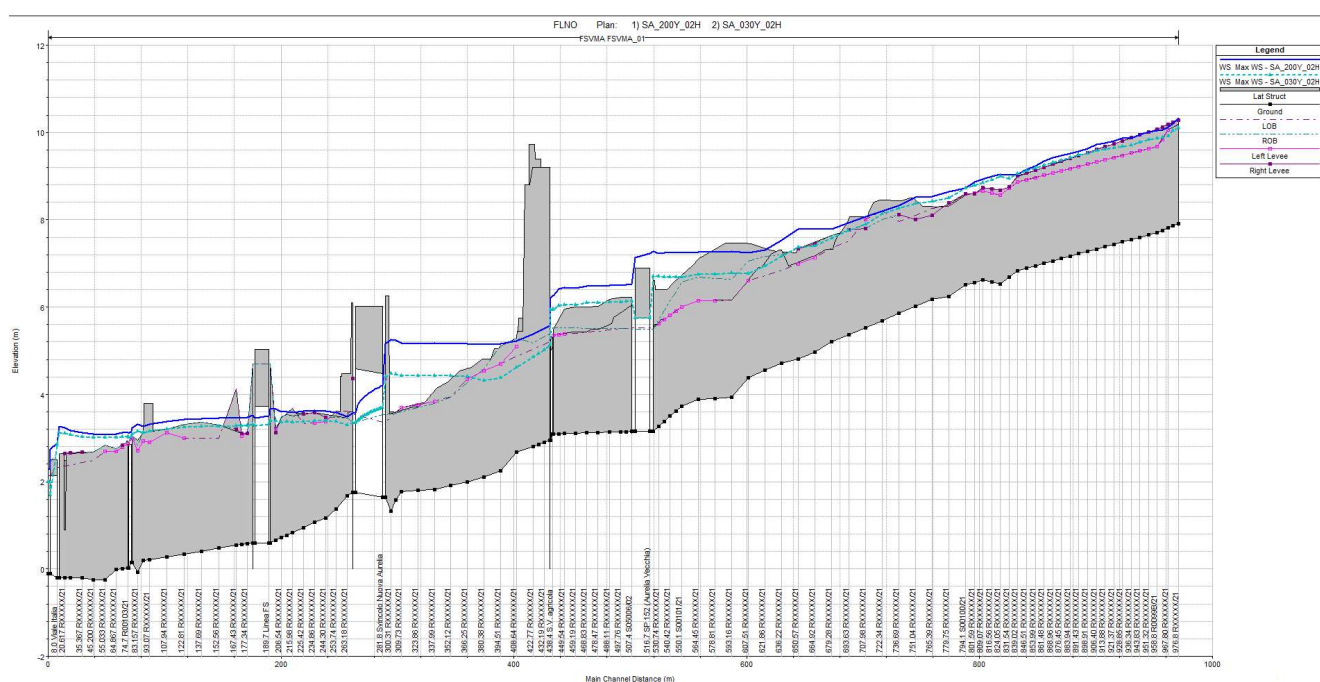


Fig. 86. Profili maxWS di F.so e Rio Valmaggione a monte della confluenza. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01H.





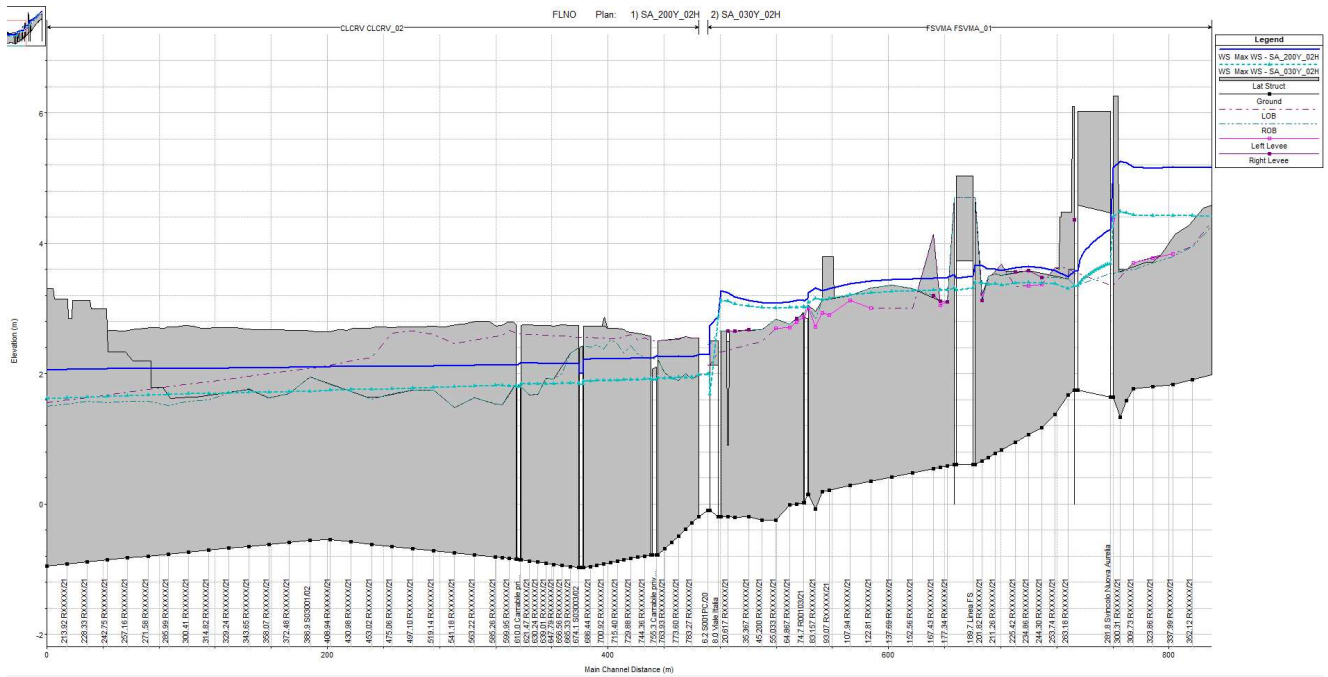
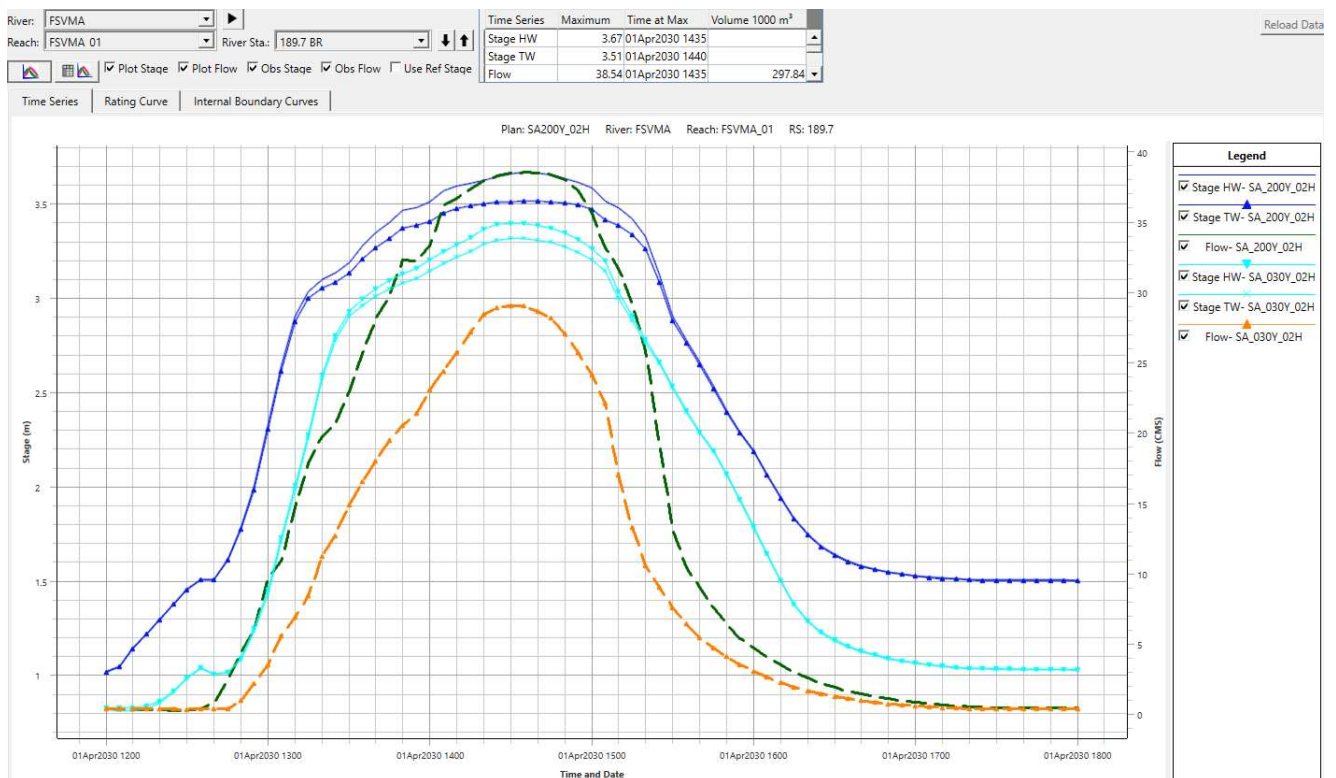


Fig. 87. Profili  $\max WS$  del F.so Valmaggiora a valle della confluenza del Rio V. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_02H.

Nonostante una certa dispersione per labilità di alveo i frequenti rimaneggiamenti alle intersezioni infrastrutturali, data la morfologia ancora chiusa le massime portate temibili in approccio FFS e alla confluenza nel C.le Cervia superano la propria capacità di deflusso già per  $T_r=30$  anni, con tracimazione dell'attraversamento di V.le Italia; la durata critica è 01H per i tratti di monte e 02H per quello a valle della confluenza (Fig. 86-Fig. 88).



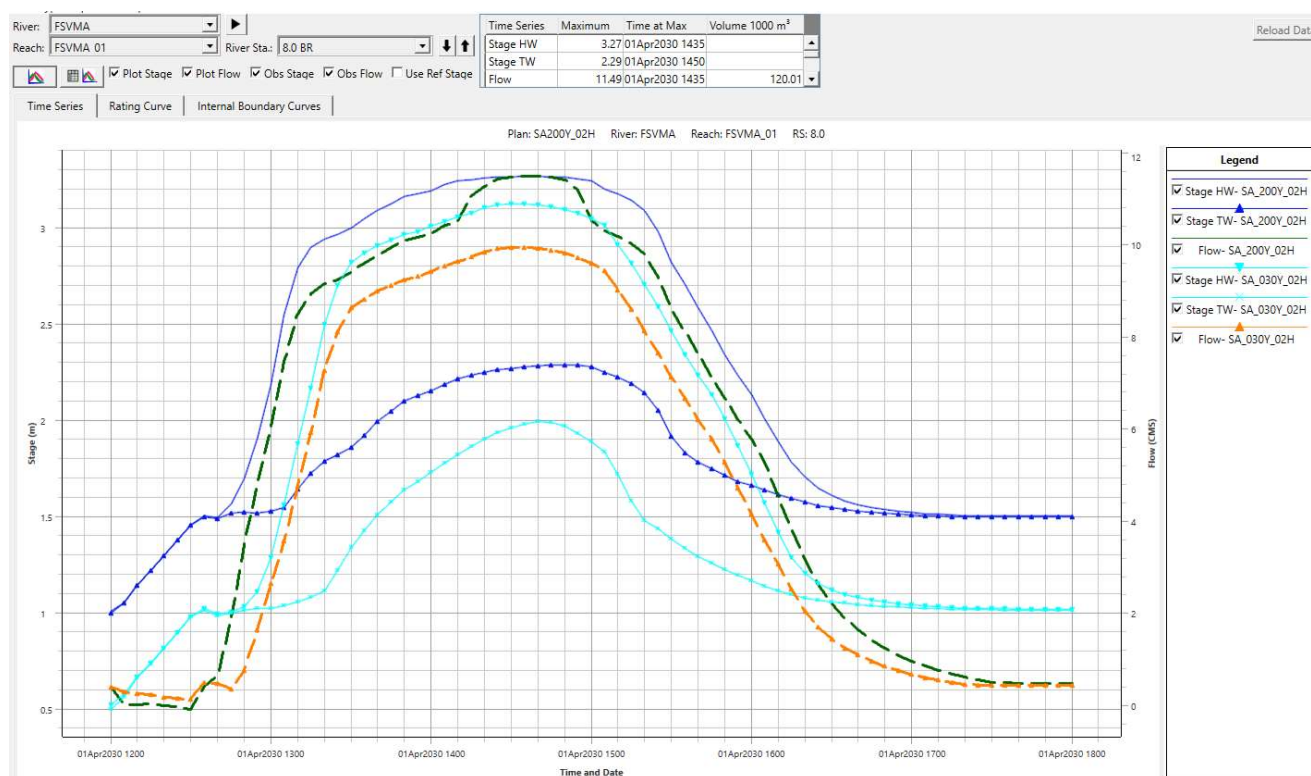


Fig. 88. Idrogrammi al tombino FFS (189.7) e alla confluenza C.le Cervia (8.0). 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_02H.

Nella parte collinare i massimi battenti non sono elevati, data l'assenza di importanti zone di accumulo che, invece, al solito si determinano in prossimità delle intersezioni con i rilevati infrastrutturali (Fig. 89). Le maggiori pericolosità sono senz'altro al tombino FFS e all'intersezione con il C.le Cervia, ove l'eccesso di energia del F.so Valmaggione provoca il sormonto della sponda *dx* del canale, indirizzandosi direttamente a mare. Filoni secondari sono attesi lungo viale Italia, direzione Follonica, con allagamenti dell'edificato adiacente più depresso, più consistente per  $T_r=200$  anni (Fig. 90). Tra le infrastrutture, a rischio sormonto la S.P. n. 152 ( $T_r=200$  anni, Fig. 91). Il deficit di contenimento laterale al tombino FFS induce un ulteriore filone (essenzialmente 200-ennale ma con lievi debordamenti dal fosso di guardia anche 30-ennale) lungo rilevato in direzione Camping *il Veliero*, con possibile saldatura con il C.le Mercatone e attivazione del tombino<sup>153</sup> FFS tra i due cc.d.a. ( $T_r=200$  anni) (Fig. 93). Probabile alternanza di rilevanti processi erosivi spondali e depositi alla confluenza F.so Valmaggione-C.le Cervia.

La maggiore energia di allagamento del F.so Valmaggione si riflette sulla *magnitudo* che, a tratti, risulta *molto severa* (Fig. 92).

La dinamica idraulica del C.le Cervia (Allacciante, appunto) è sostanzialmente definita dagli afflussi dei tributari e dal livello del mare, essendo praticamente insignificanti gli afflussi meteorici propri, che sono limitati a quelli esitabili dal tombino sulla E80 in adiacenza alla S.C. di Pappasole (Fig. 95) a Torre Mozza. Sebbene permanga qualche alea residua riguardante incerti collegamenti idraulici bidirezionali, la modellazione del C.le Cervia pare robusta con, semmai, qualche possibilità di maggiori ristagni sul territorio adiacente. Il canale di gronda principale di tali acque non è, comunque, il Cervia ma il fosso di guardia posto sul lato opposto della viabilità, afferente direttamente il F.so Valmaggione, la cui dinamica pare sufficientemente definita dalla modellazione 2-D, con allagamenti diffusi e ristagni da inconsistenza strutturale a bassa magnitudo anche nelle aree resedi di insediamenti turistici, ovviamente con battenti strettamente dipendenti dalla quota.

Gli scenari idrologici adottati (cautelativi) prevedono la concomitanza dei  $\max_{WS}$  marini con l'arrivo delle onde di piena al C.le Cervia di F.so Valmaggione e C.le Mercatone (Fig. 94). L'impatto maggiore è quello del F.so, determinando deflussi opposti monte/valle nel C.le Cervia e tracimazioni a tratti in *dx* (Fig. 95-Fig. 96). Nella parte terminale sono possibili rientri di acque esondate su via Isole Eolie dal C.le Mercatone.

Parte della fascia costiera in *dx* C.le Cervia è soggiacente il livello +1.0 m s.l.m., più estesa a ovest ma

<sup>153</sup>Modellato in 2-D.



non direttamente connessa al C.le (Fig. 97).

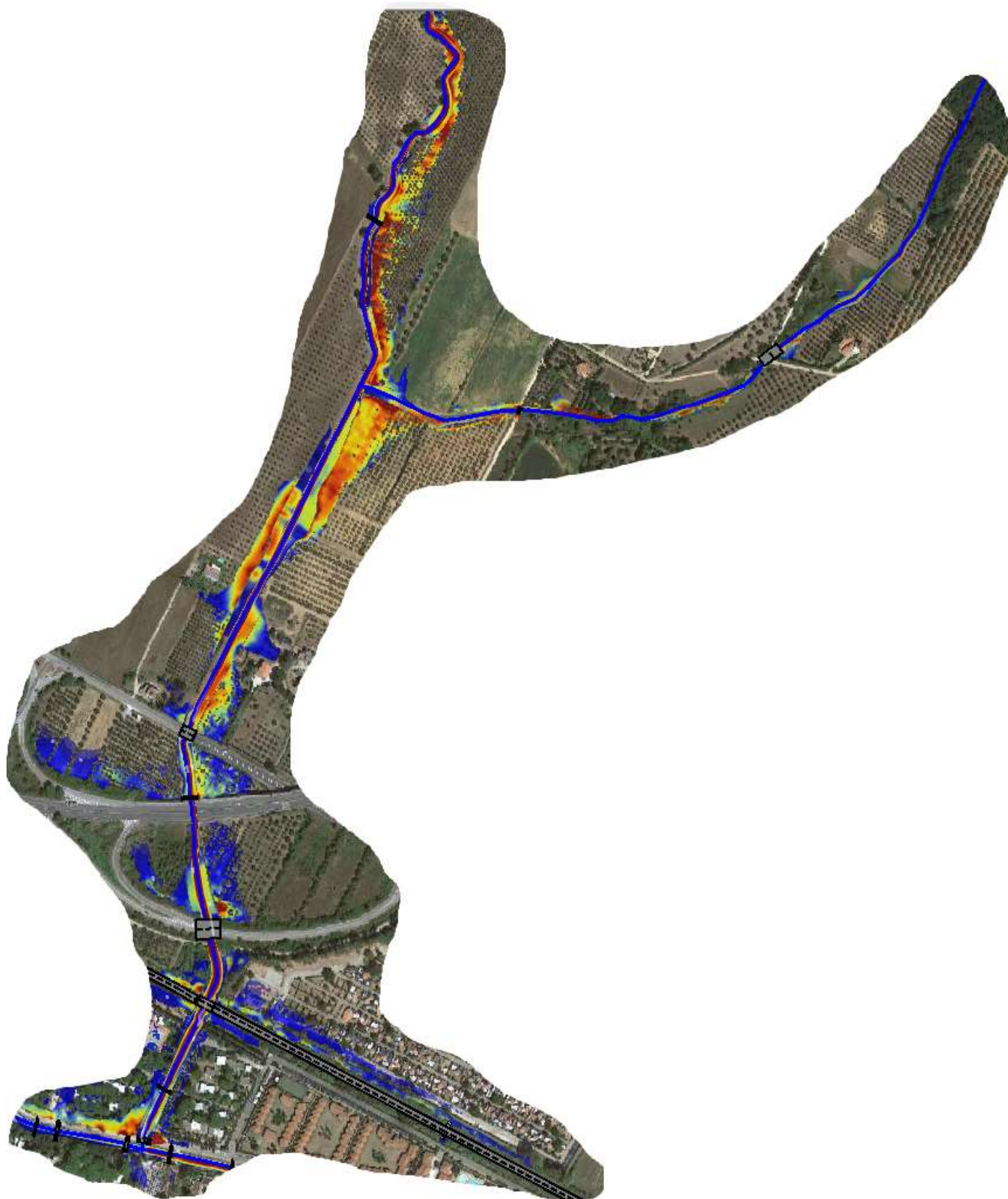


Fig. 89. *Mappa maxVel dei deflussi fuori alveo F.so Valmaggiorre e Rio Valmaggiorre. 1+2-D. Plans SA\_030Y\_01/02H.*



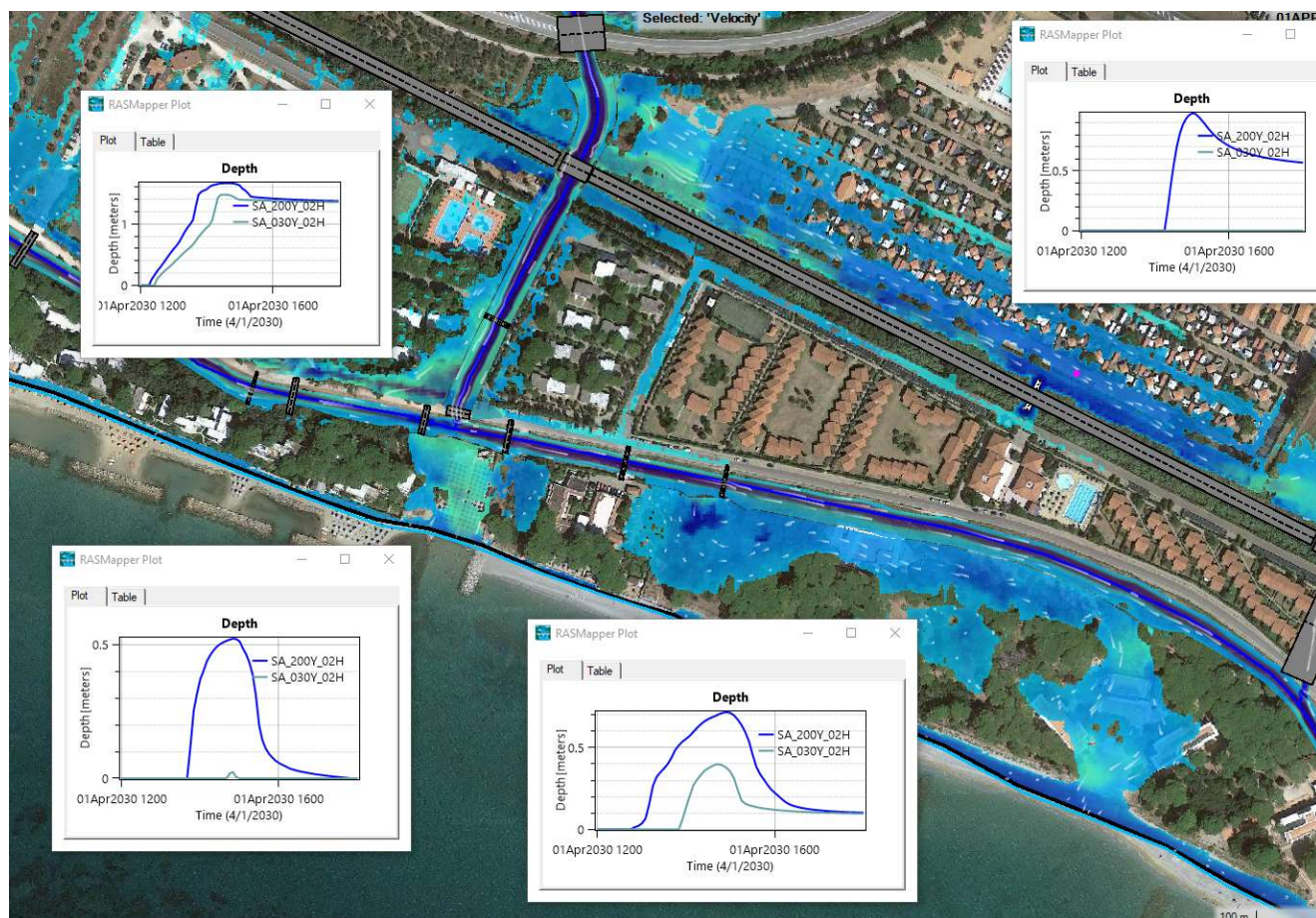


Fig. 90. Mappa maxDepth dei deflussi fuori alveo F.so Valmaggiori a valle FFS e idrogrammi puntuali. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_02H.

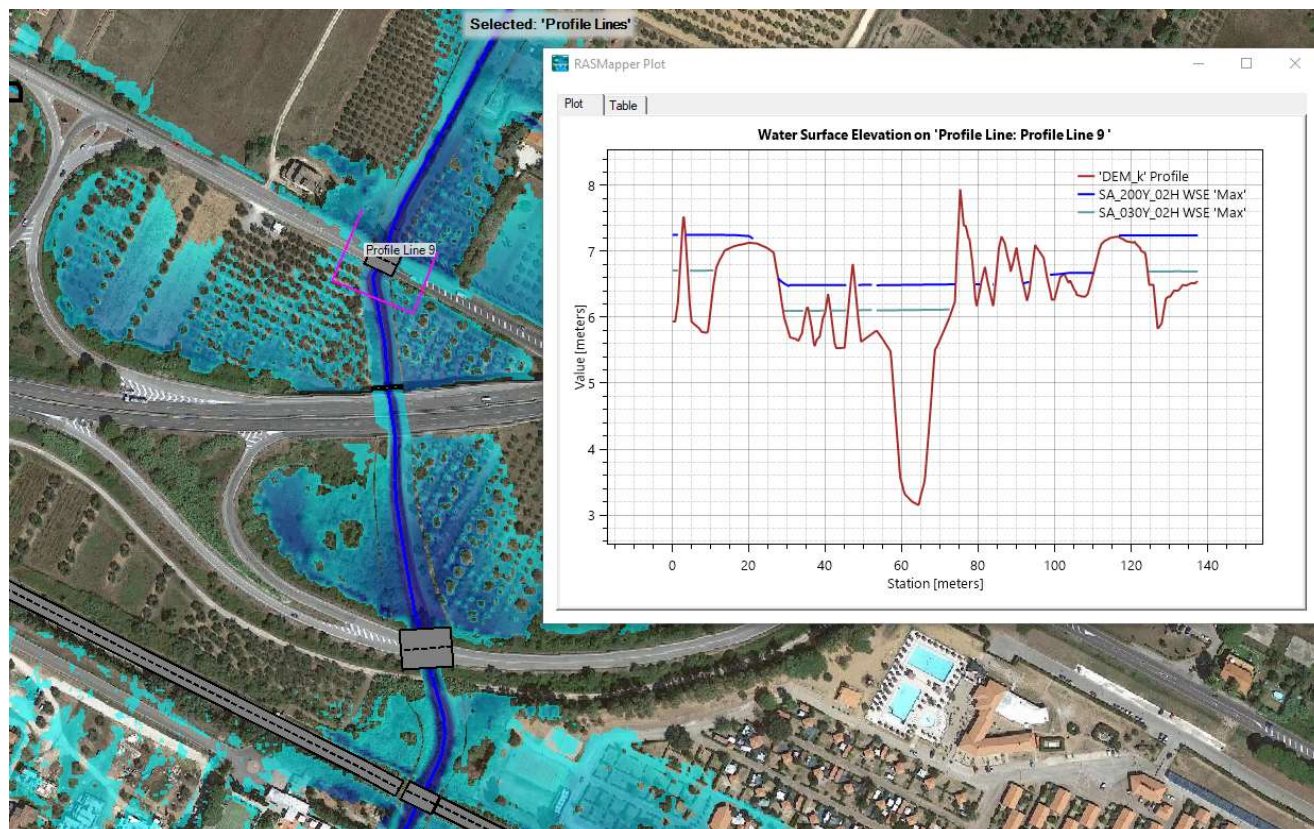
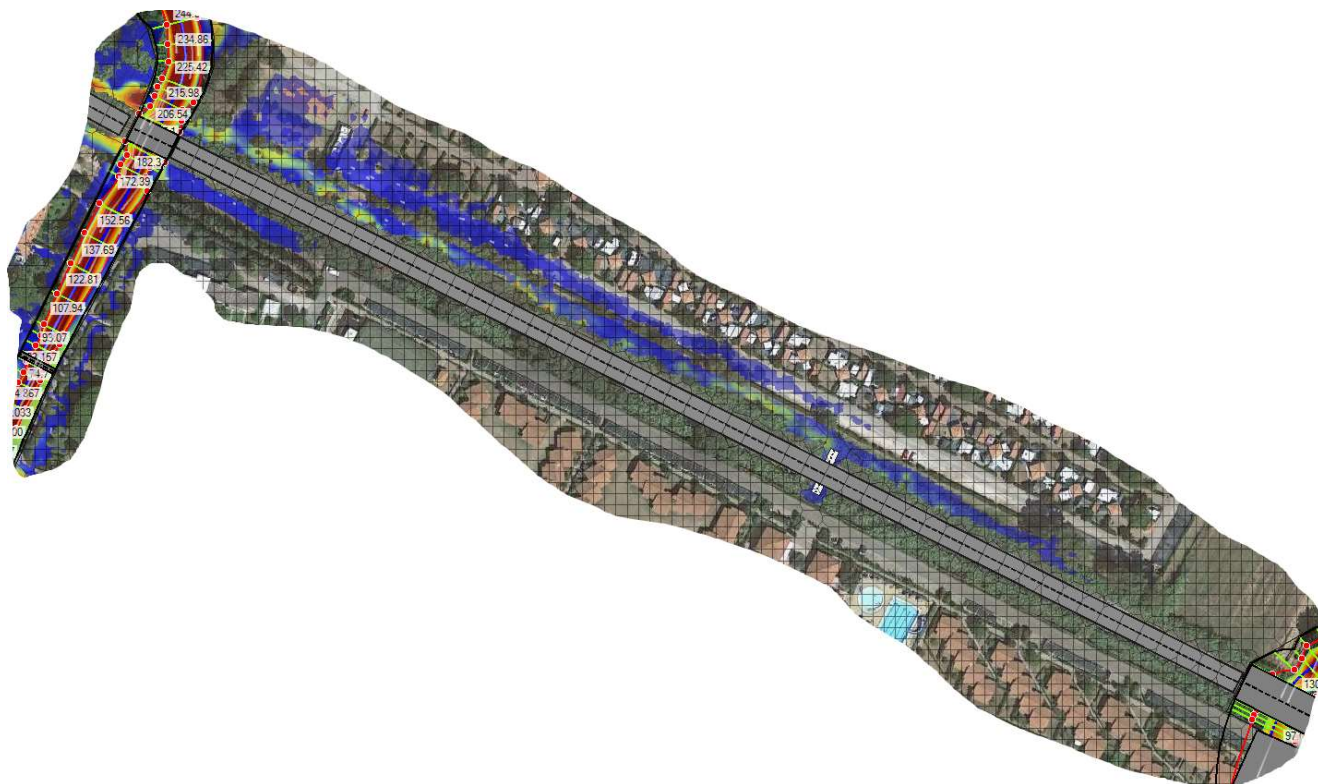


Fig. 91. Mappa maxDepth e profilo intersezione S.P. n. 152-F.so Valmaggiori. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_02H.





Fig. 92. Mappa della magnitudo F.so Valmaggione-C.le Mercatone-C.le Cervia tratti di valle. 1+2-D. Plan SA\_200Y\_02H (arancio/viola/verde Molto Severa/Severa/Moderata).





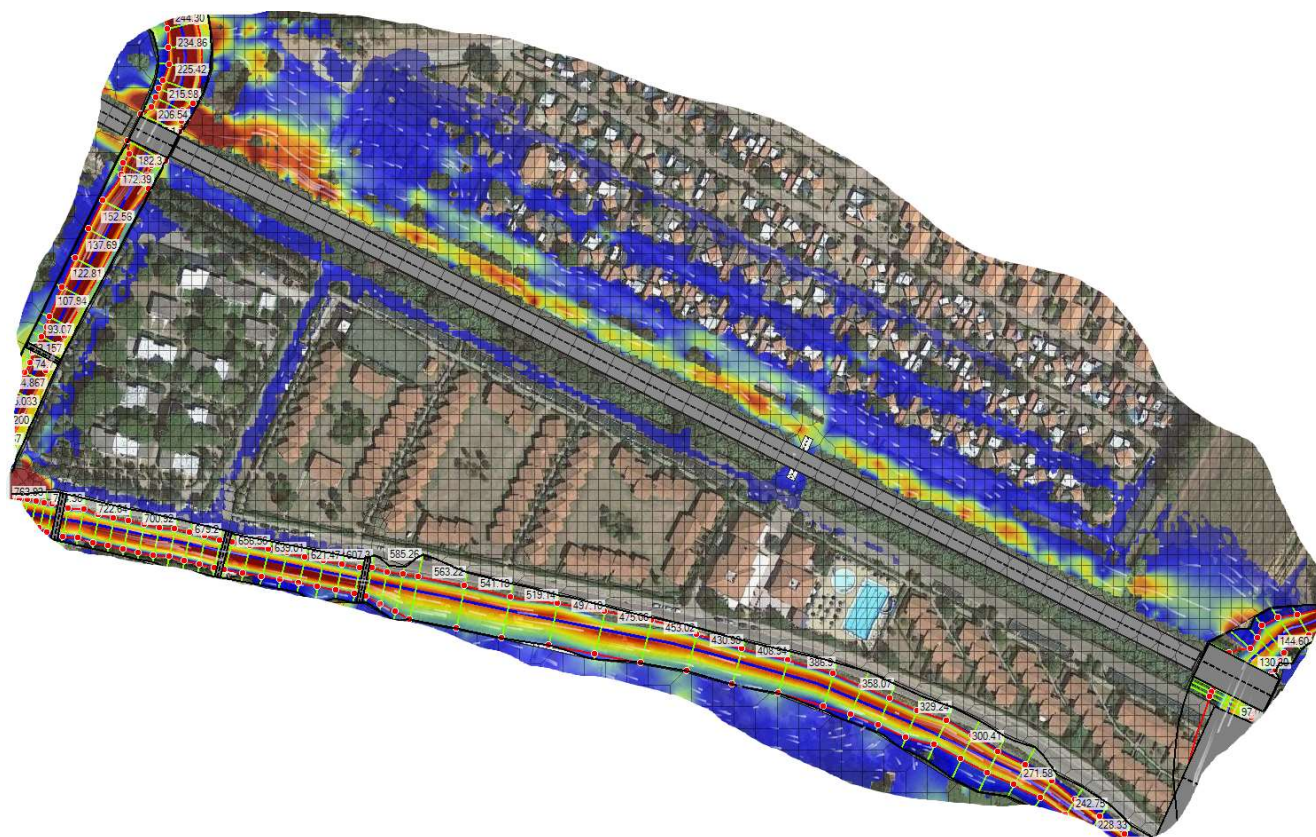
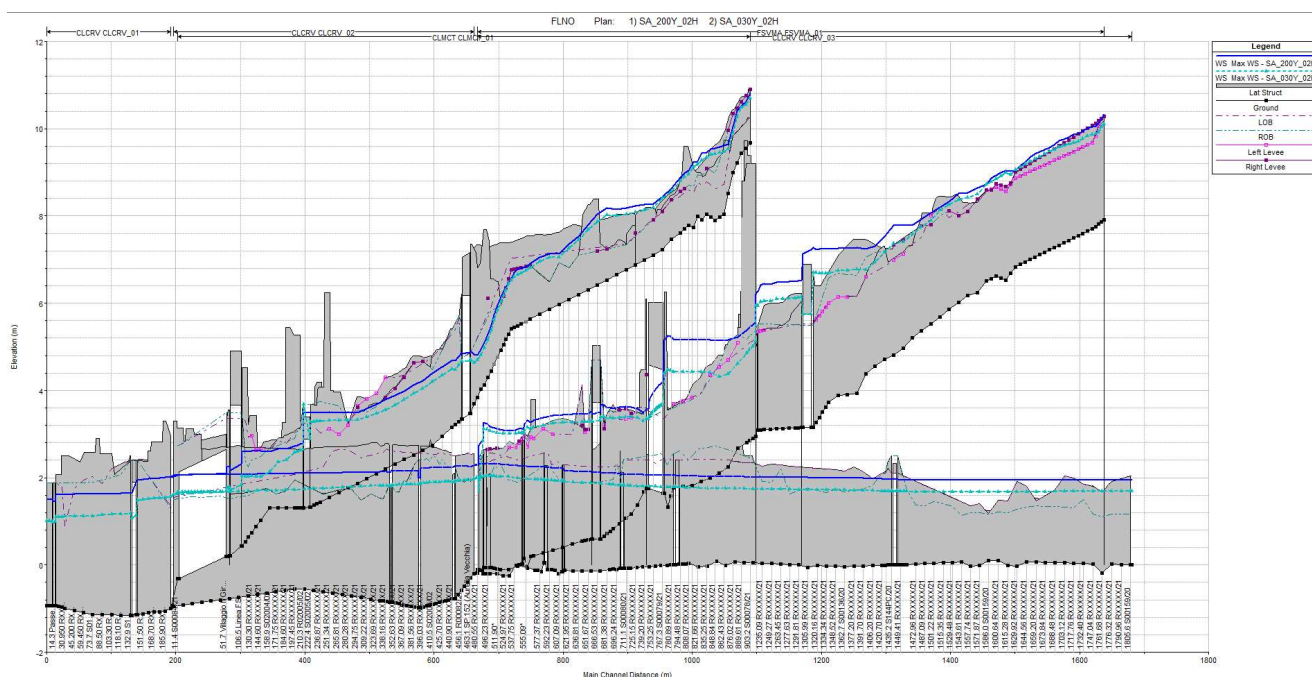


Fig. 93. Profilo morfologico a monte del rilevato FFS tra F.so Valmaggiori (sx) e C.le Mercatone (dx) [tratto da DTM MATTM] e dettaglio delle maxVel. 1+2-D. Plan SA\_030(sopra)/200(sotto)Y\_02H.





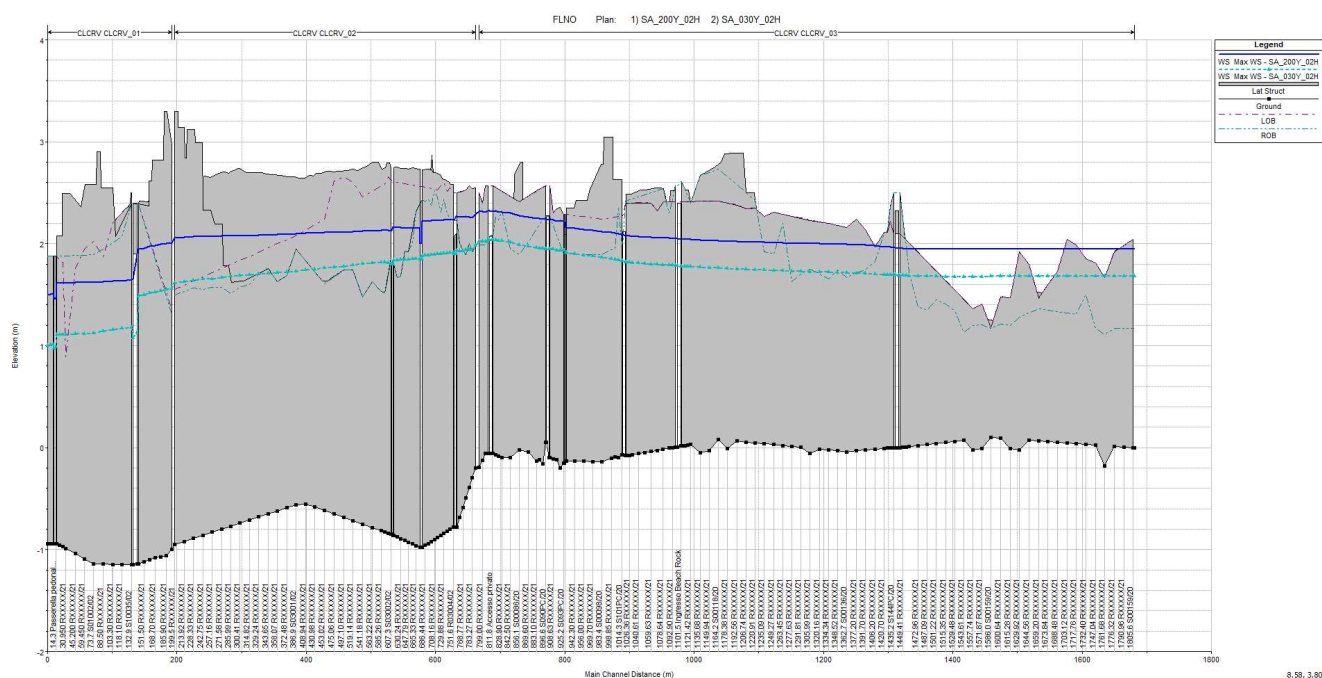


Fig. 94. *Profili* maxWS del C.le Cervia [e F.so Valmaggione+C.le Mercatone]. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_02H.

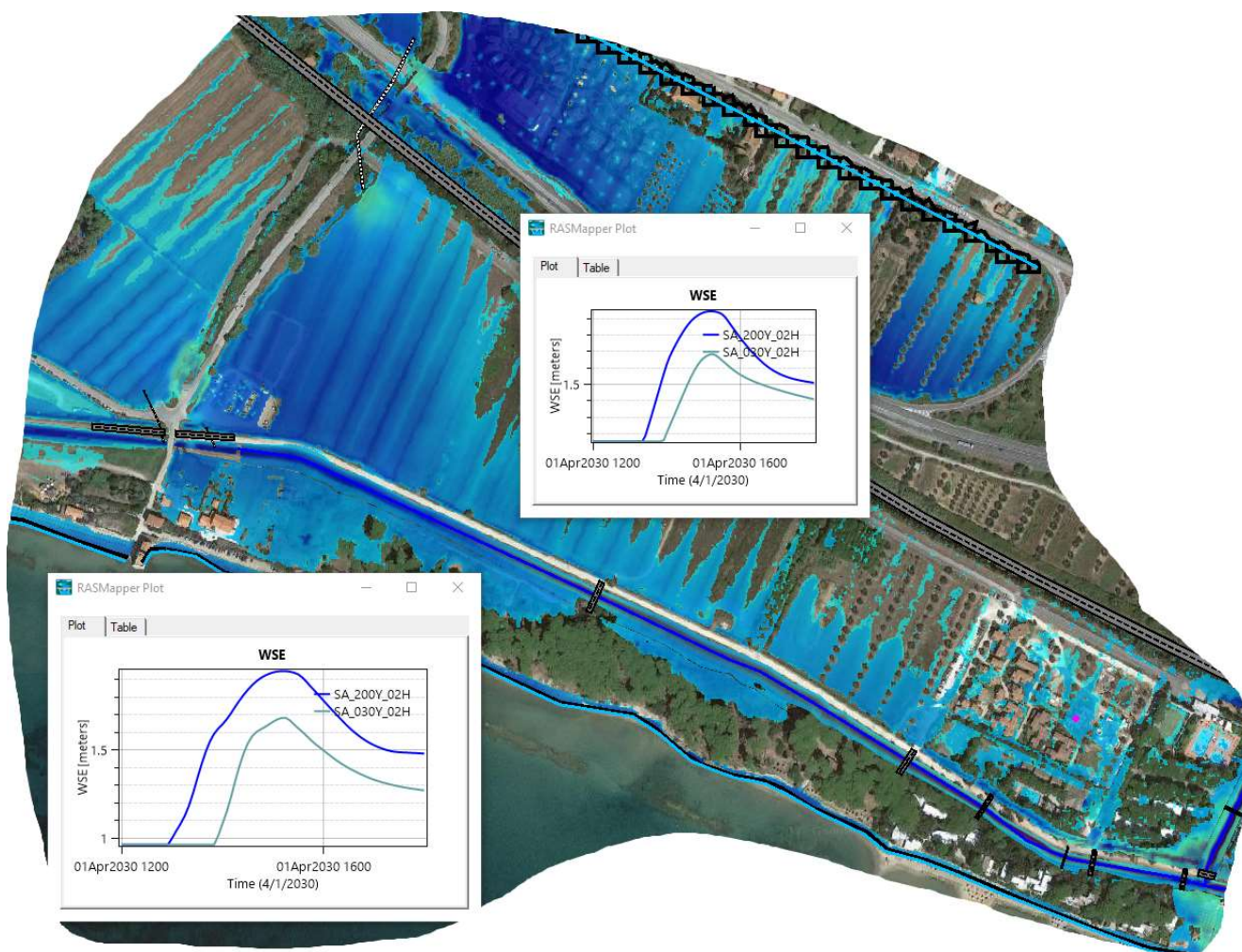


Fig. 95. *Mappa* maxDepth e idrogrammi WS C.le All. Cervia a monte confluenza F.so Valmaggione. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_02H.



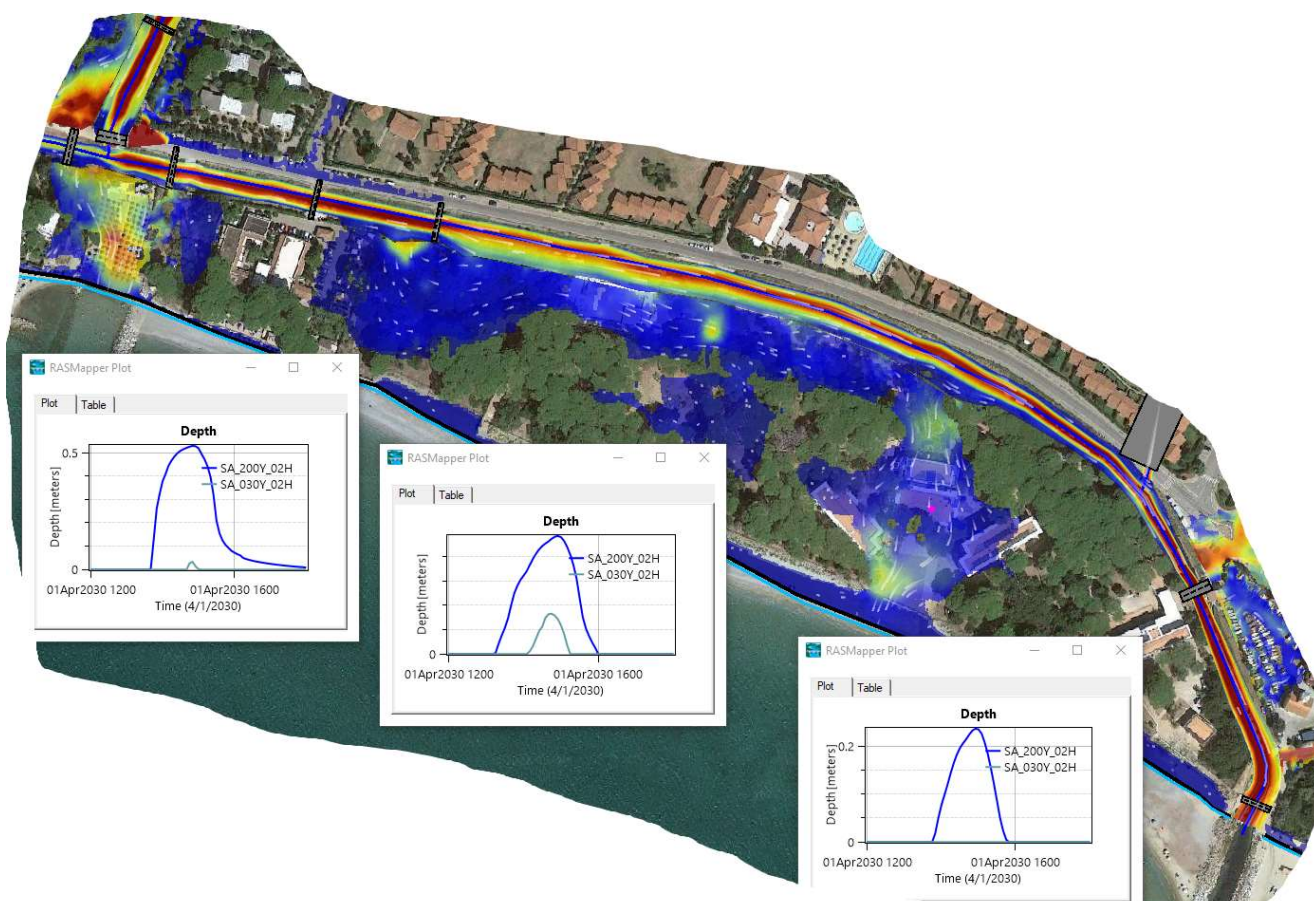


Fig. 96. *Mappa maxVel e idrogrammi ws C.le All. Cervia a valle confluenza F.so Valmaggione. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_02H.*

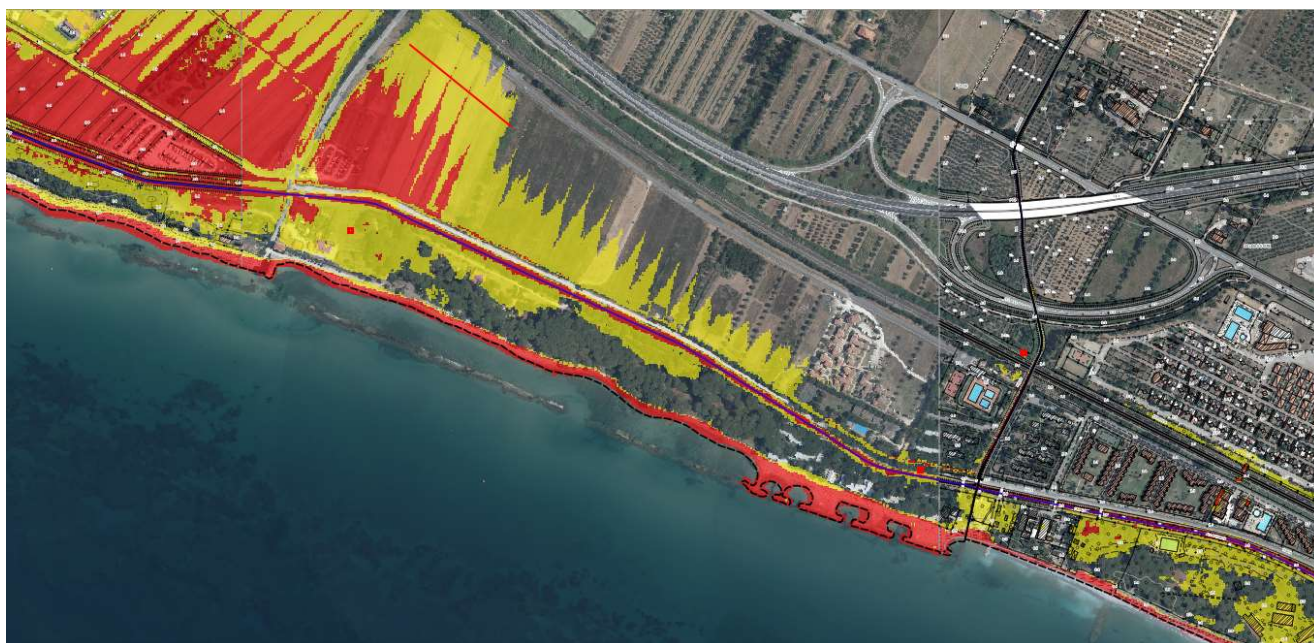


Fig. 97. *Aree soggiacenti quota +1.0 (rosso) e + 2.0 (giallo) m s.l.m. lungo il C.le All. Cervia [da DTM MATTM].*

In Fig. 98 sono riportate, per confronto, le stime PSI20 (C.le Mercatone non analizzato), da cui si può dedurre una buona corrispondenza topologica, tuttavia con differenze non trascurabili<sup>154</sup> (allagamento via Isole Eolie, battenti, ...).

<sup>154</sup>Per quanto deducibile dalle sole mappe cromatiche disponibili in pdf.



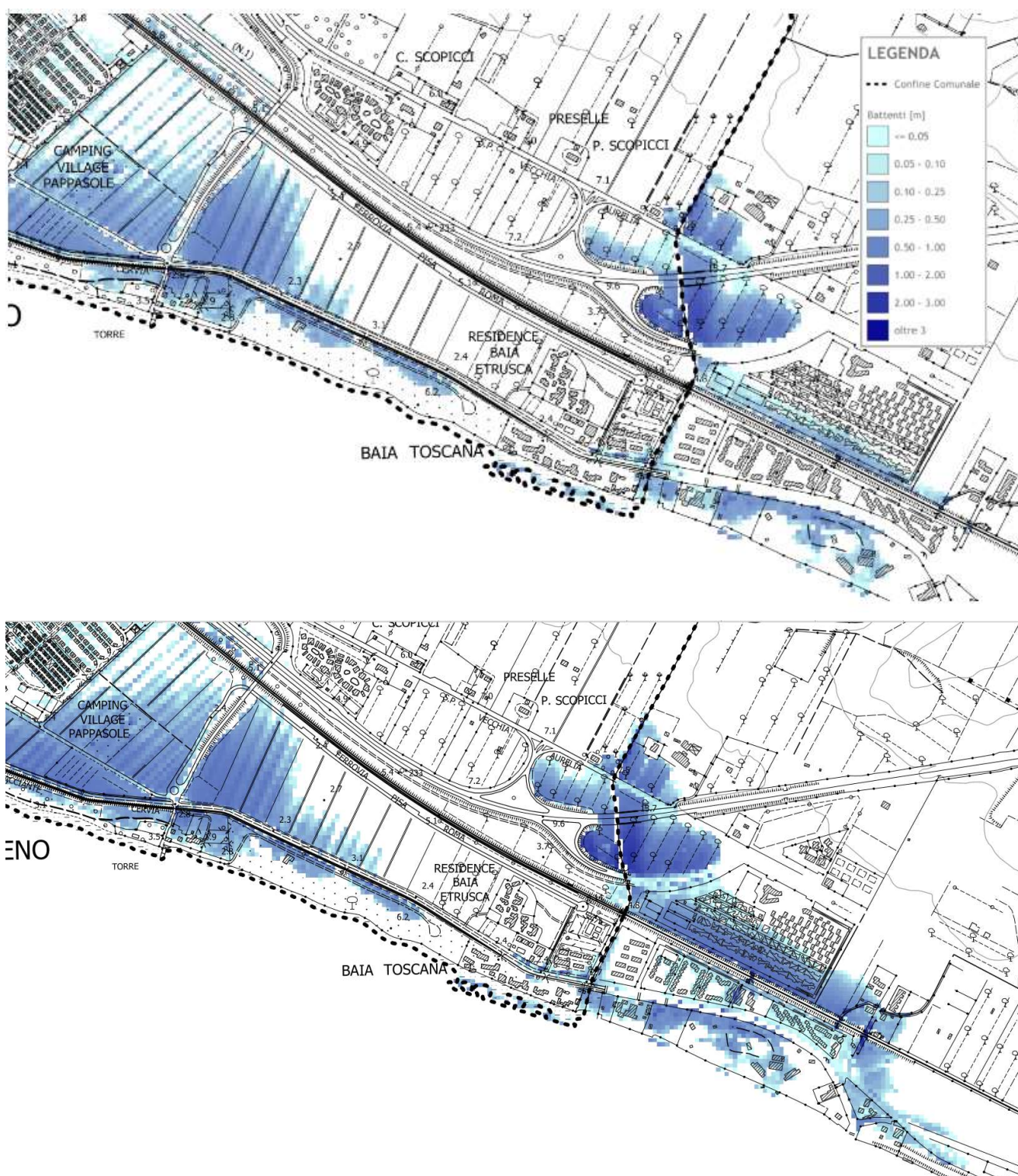


Fig. 98. Mappe  $\maxDepth$  C.le All. Cervia e F.so Valmaggione PSI20 -  $T_r=30$  (sopra) e 200 (sotto) anni [tratte da I.04/05.2].

Il C.le Mercatone, già rimaneggiato in epoca moderna da infrastrutture e urbanizzazione (ricondotto a "fdg" della S.P. n. 152 e poi tombato da FFS al C.le Cervia), lo è stato ulteriormente nell'ambito della realizzazione del *Campo da Golf* a monte della S.P., secondo uno stato di progetto peraltro ancora non definito in tutti i dettagli di interesse idraulico.

Tale stato lungamente e ancora oggi transitorio ben si legge dalla labilità dell'intero tracciato a monte del tombino di attraversamento della S.P., soprattutto se confrontato alla sezione corrente immediatamente a valle. Tale stato di obliterazione del reticolo originario ( $Ret_{Idr}$ ), scarsa manutenzione e forte alterazione morfologica dell'intero dominio idrologico tra E80 e S.P. n. 152, determina incertezze valutative notevoli.



In mancanza di documentazione certa e ufficiale sulla sistemazione idraulica di progetto, l'ipotesi di lavoro qui adottata assume quale geometria di modello lo stato di fatto fotografato dal volo Lidar 2008 -con morfologia già profondamente alterata e non dissimile dallo stato attuale<sup>155</sup>- e pone la sollecitazione idrologica non interamente applicata alla prima sezione 1-D (ovvero a valle dell'invaso occidentale del *Campo da Golf*) ma ripartita tra questa (50%), l'impluvio immediatamente a valle della E80 (40%) e il limite nord-orientale dell'area rimaneggiata. La capacità di invaso dei laghetti è assunta quale rilevata dal Lidar; benché qualcosa sia visibile, in assenza di dato ufficiale nessuna opera idraulica (scarichi di fondo, sfioratori superficiali) è stata esplicitamente modellata (Fig. 99).

Dalle Fig. 100-Fig. 102 risultano evidenti le principali linee di flusso, effettivamente in buona parte convergenti verso gli invasi e il C.le Mercatone ma con frange non trascurabili -almeno per  $T_r=200$  anni, ma già evidenti anche per  $T_r=30$  anni- afferenti direttamente la S.P. e, quindi<sup>156</sup>, la fascia agricola di valle sino ai tombini FFS e la cassa di via Don S. Leone (modellati in 2-D) (Fig. 103). Con le cautele e le ipotesi sopra citate, i laghetti tracimerebbero soltanto per  $T_r=200$  anni.

Dopo inevitabili (visto lo stato manutentivo riscontrato) ulteriori tracimazioni sulla S.P. direttamente dal C.le Mercatone/*fdg* stradale, con il tombino stradale la sezione aumenta decisamente le dimensioni ma contestualmente subisce il rigurgito (Fig. 105) dell'ultima criticità strutturale costituita dal ponticello di via Isole Eolie (Fig. 104), evidentemente rimaneggiato con parziale(?) sostituzione dell'originario manufatto (lato monte) (1+1 tubazione lato valle)<sup>157</sup>. Ciò determina il pericoloso allagamento dell'adiacente sottopasso FFS, con acque che possono raggiungere direttamente Pratoranieri e il C.le Cervia (Fig. 106).

Nelle ipotesi date, il tombamento finale di immissione nel C.le Cervia non risulta determinare di per sé gravi insufficienze, avendo sommità del canale di deflusso a quota superiore a quelle delle sponde in approccio.

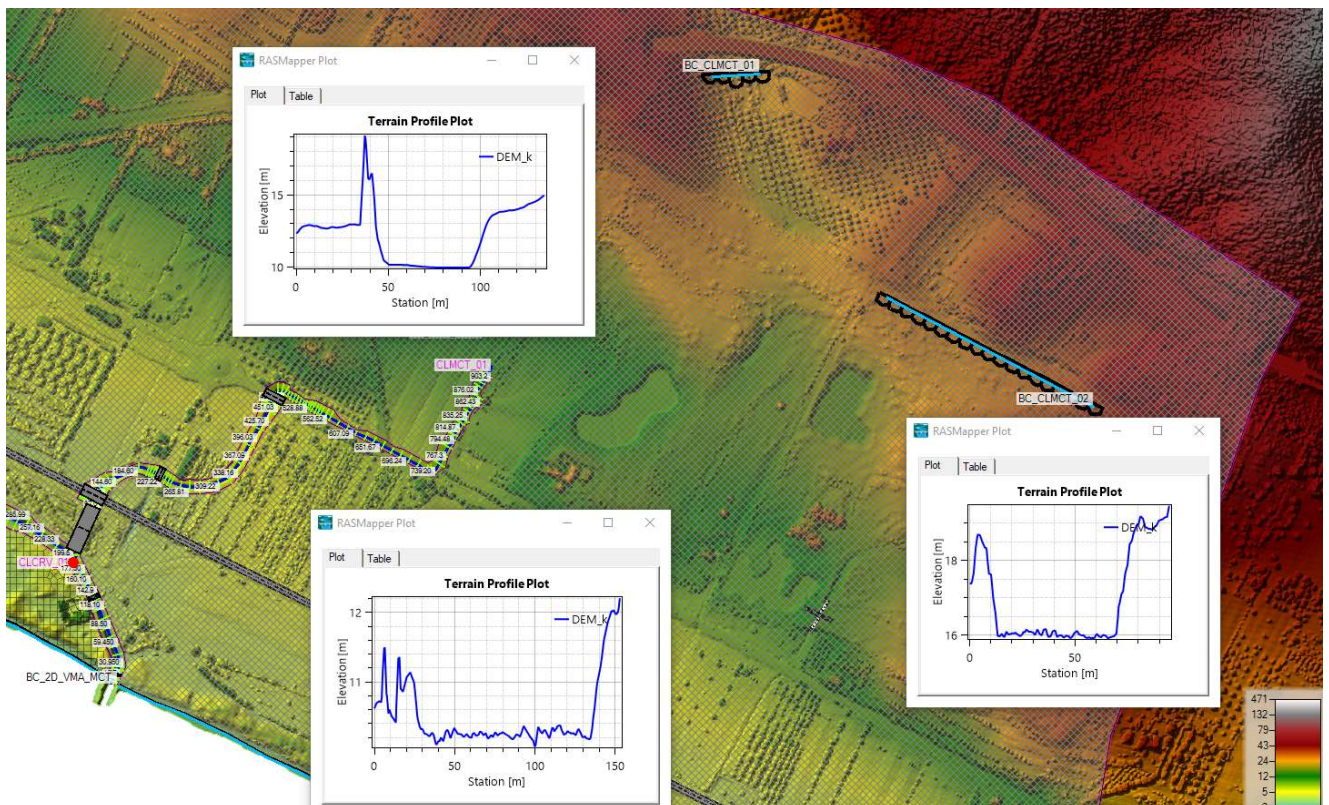


Fig. 99. Schema planimetrico del modello idraulico 1+2-D C.le Mercatone. a monte S.P. n. 152. Sezioni morfologiche agli invasi artificiali Campo da Golf.

<sup>155</sup>Ricognizione personale 2021.

<sup>156</sup>Tombini di S.P. non modellati (benché rilevati) in quanto riscontrati di scarsa affidabilità/efficienza. Di contro è evidente la particolare importanza (anche ordinaria) per la sicurezza stradale di un'efficiente sistema di regimazione delle acque collinari.

<sup>157</sup>Manufatto non ricompreso nei rilievi integrativi 2021, in quanto già presente nel QC ufficiale. Difformità riscontrata in corso di sopralluogo. Tubazioni modellate pcon area equivalente medesima forma monte (Fig. 105).



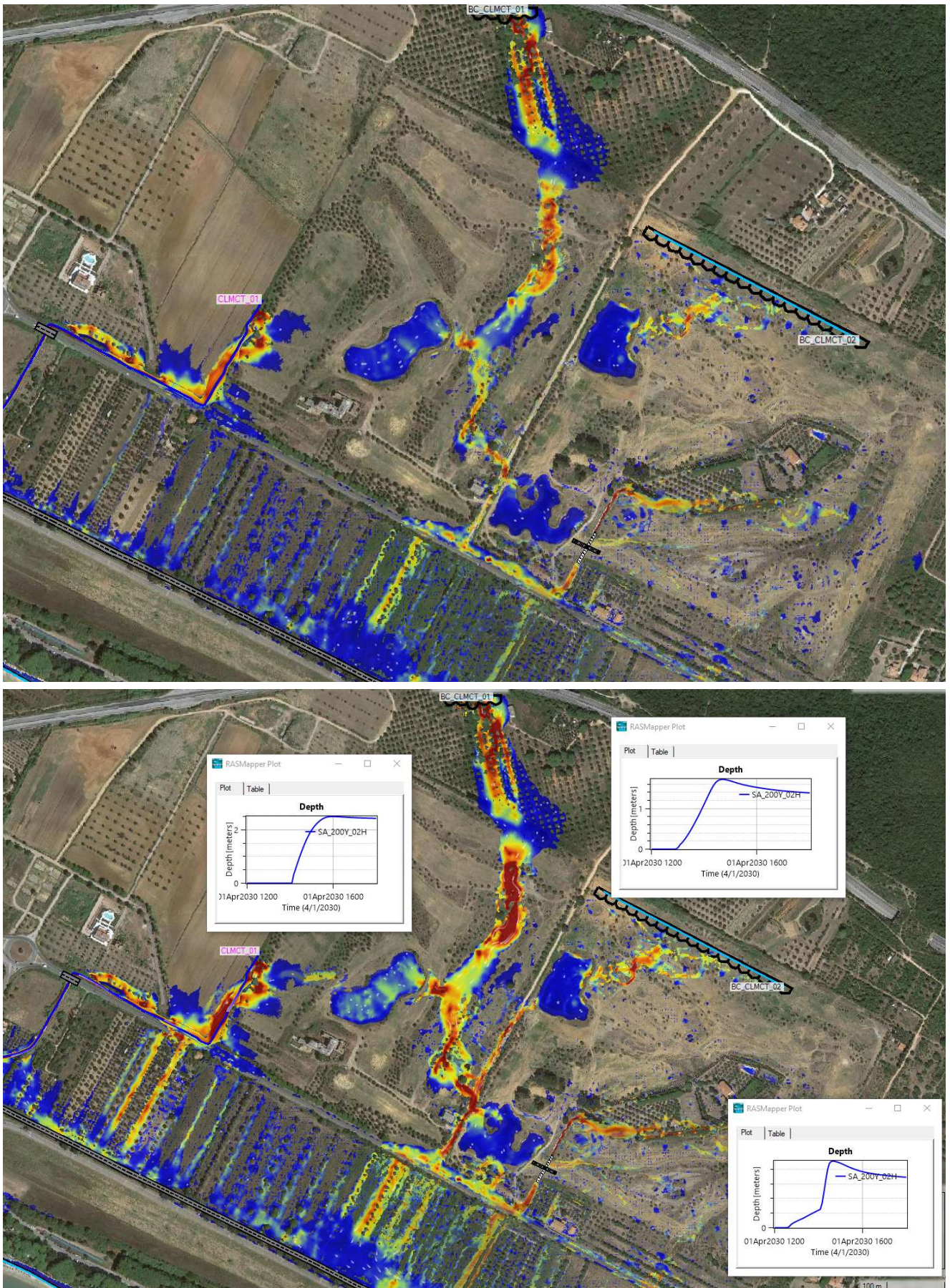


Fig. 100. Mappa maxVel e idrogrammi Depth C.le Mercatone a monte S.P. n. 152. 1+2-D. Plans SA\_030 (sopra)/200 (sotto)Y\_02H.



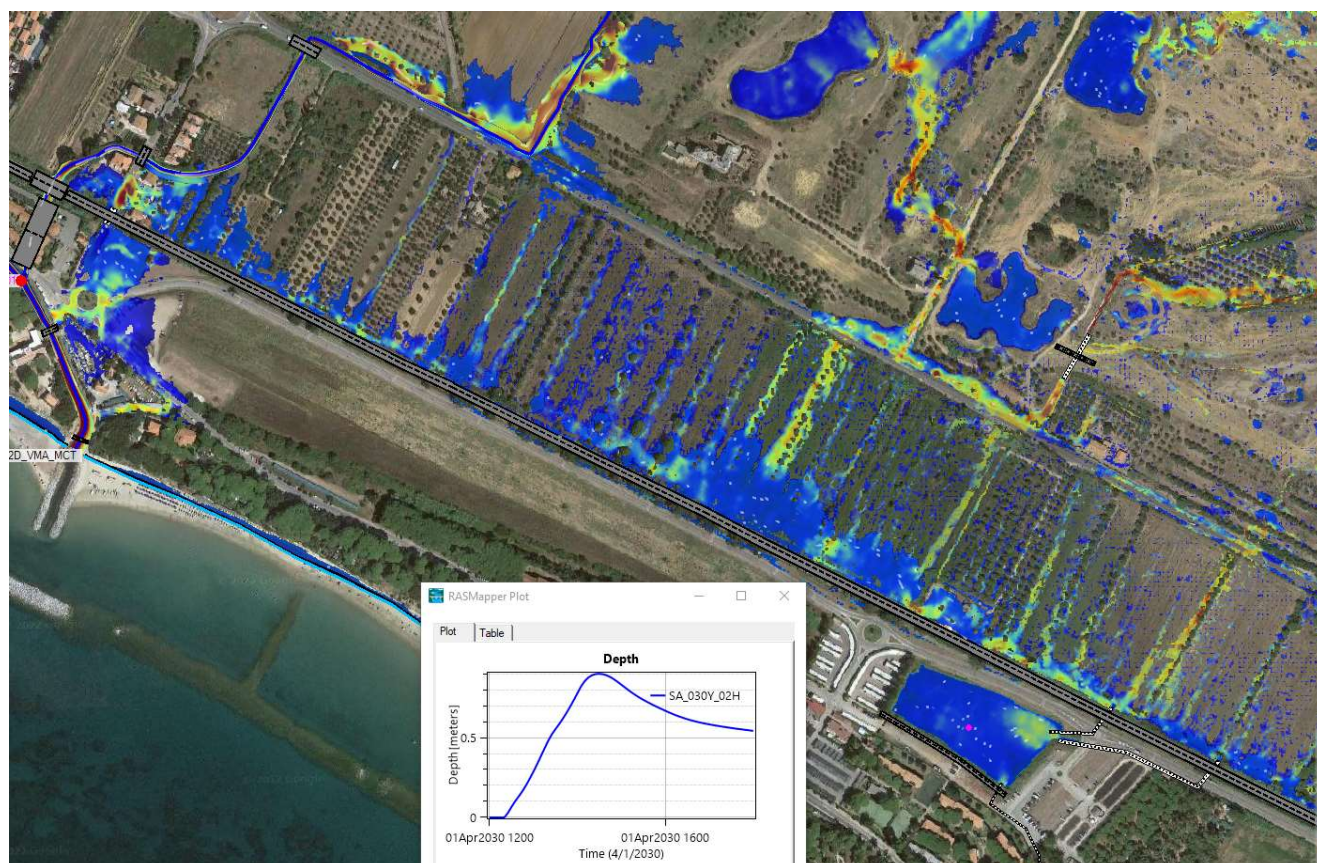
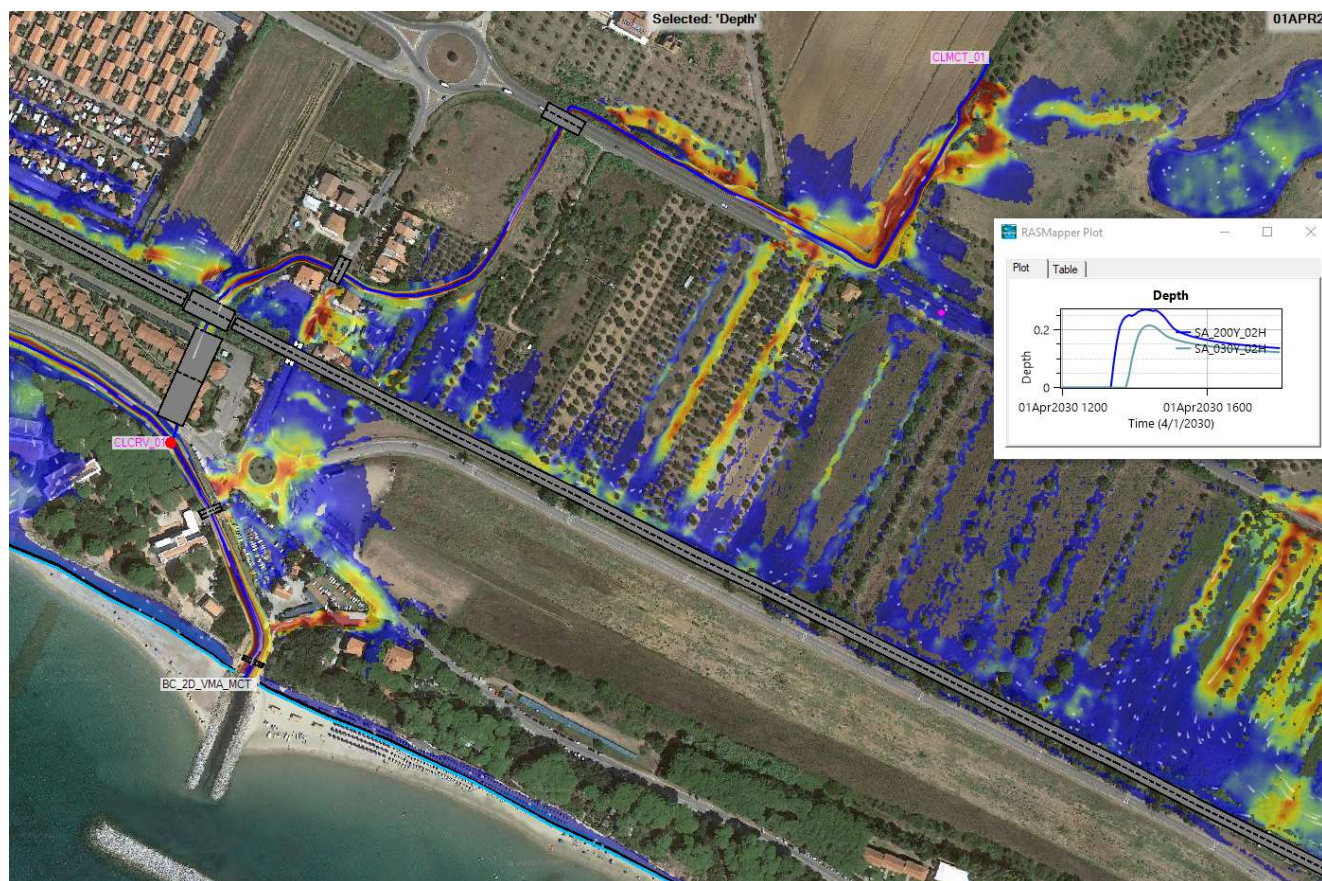


Fig. 101. *Mappa maxVel e idrogrammi Depth C.le Mercatone tra S.P. n. 152-FFS-via Isole Eolie. 1+2-D. Plans SA\_030Y\_01/02H.*





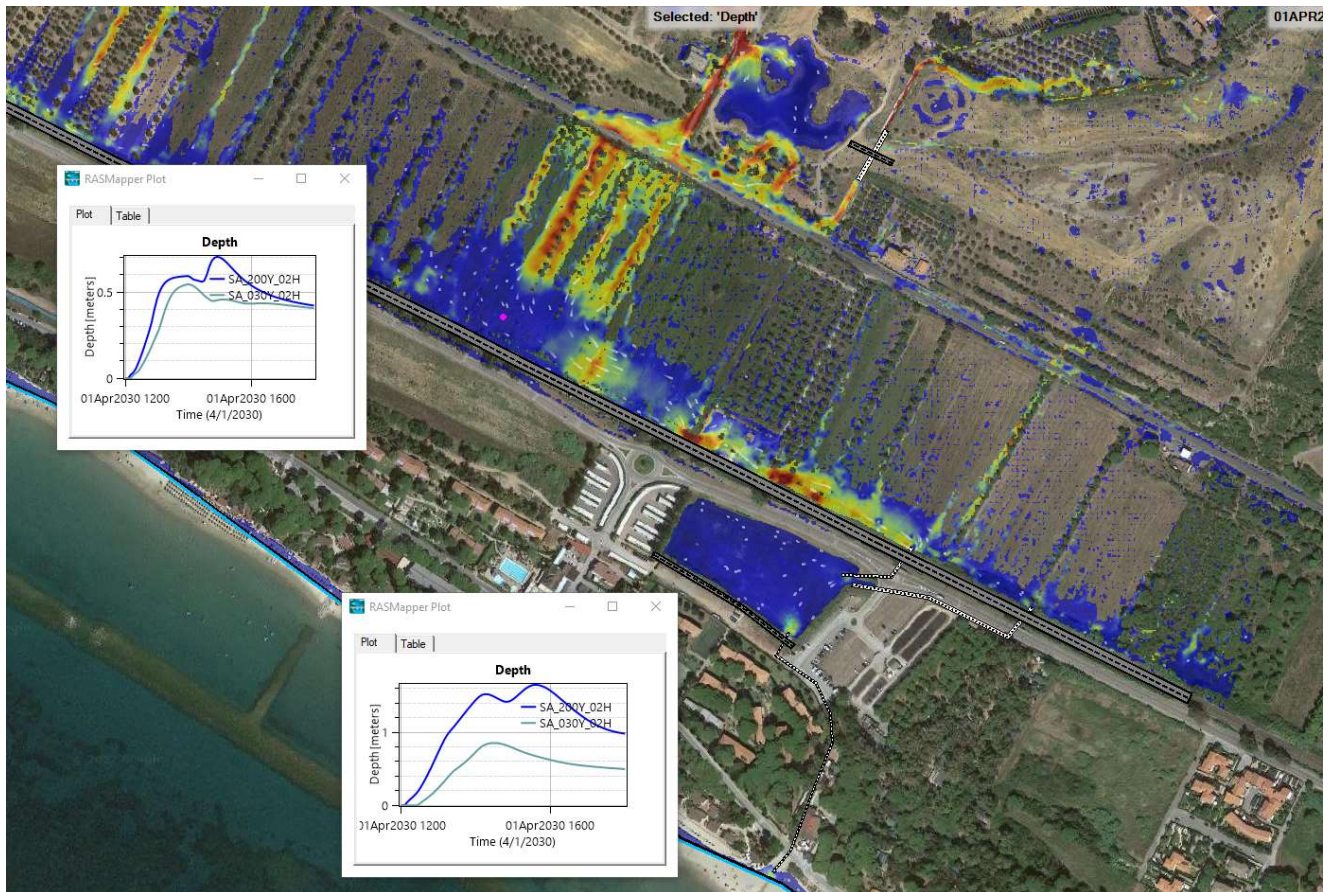


Fig. 102. Mappa maxVel e idrogrammi Depth C.le Mercatone tra S.P. n. 152-FFS-via Isole Eolie. 1+2-D. Plan SA\_200Y\_02H.

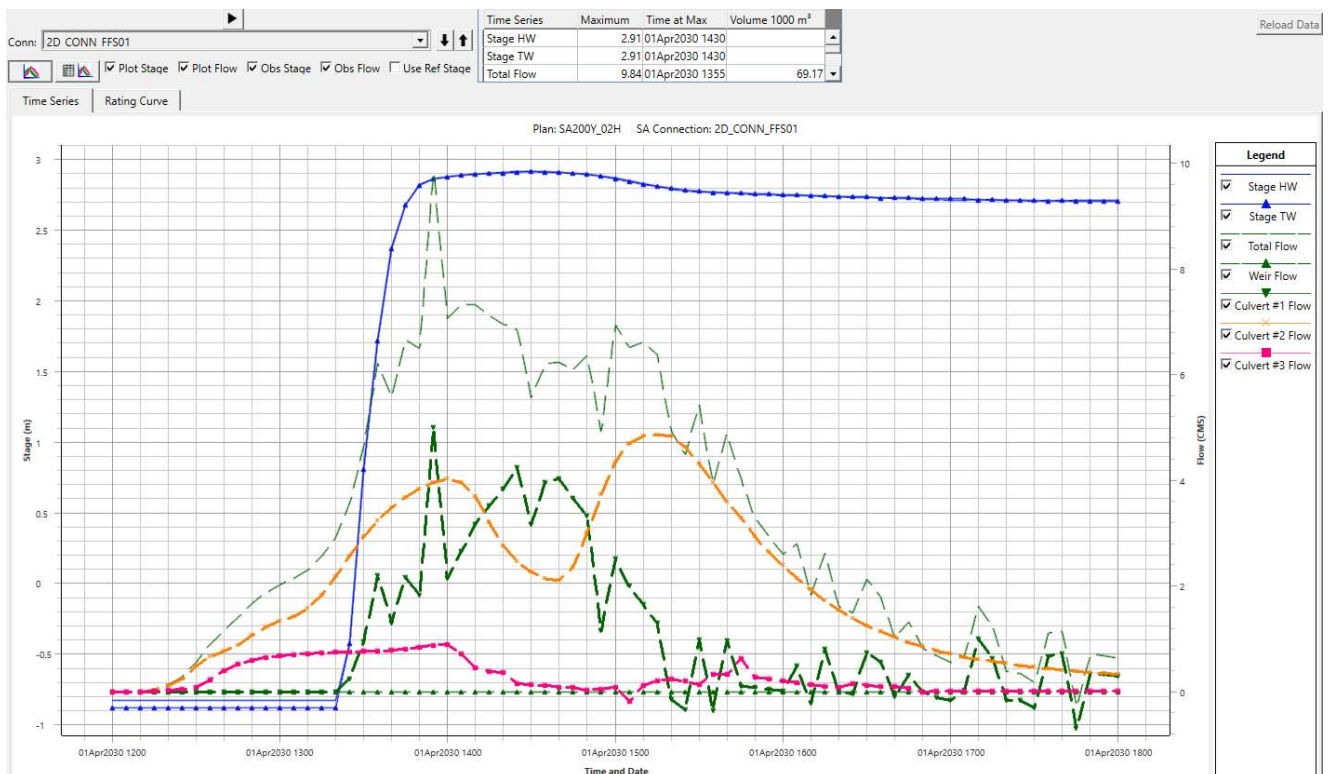
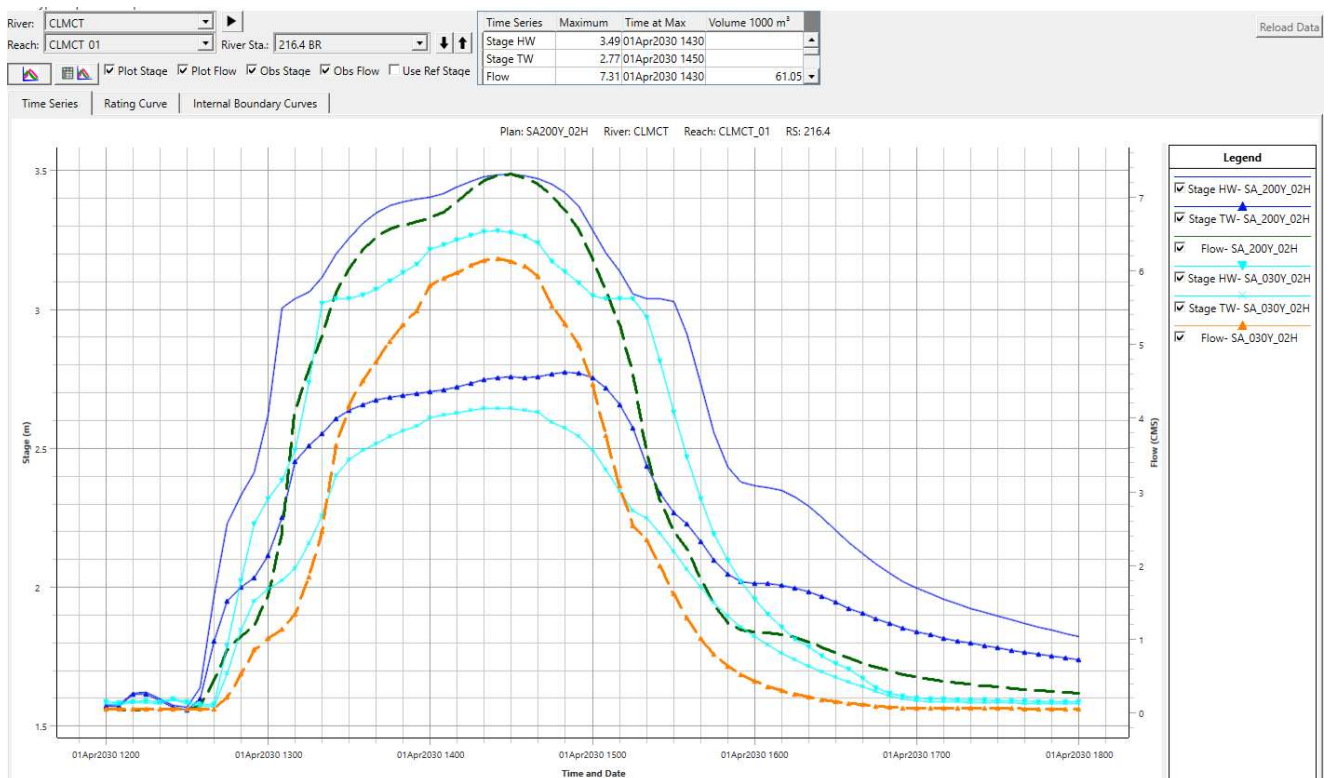
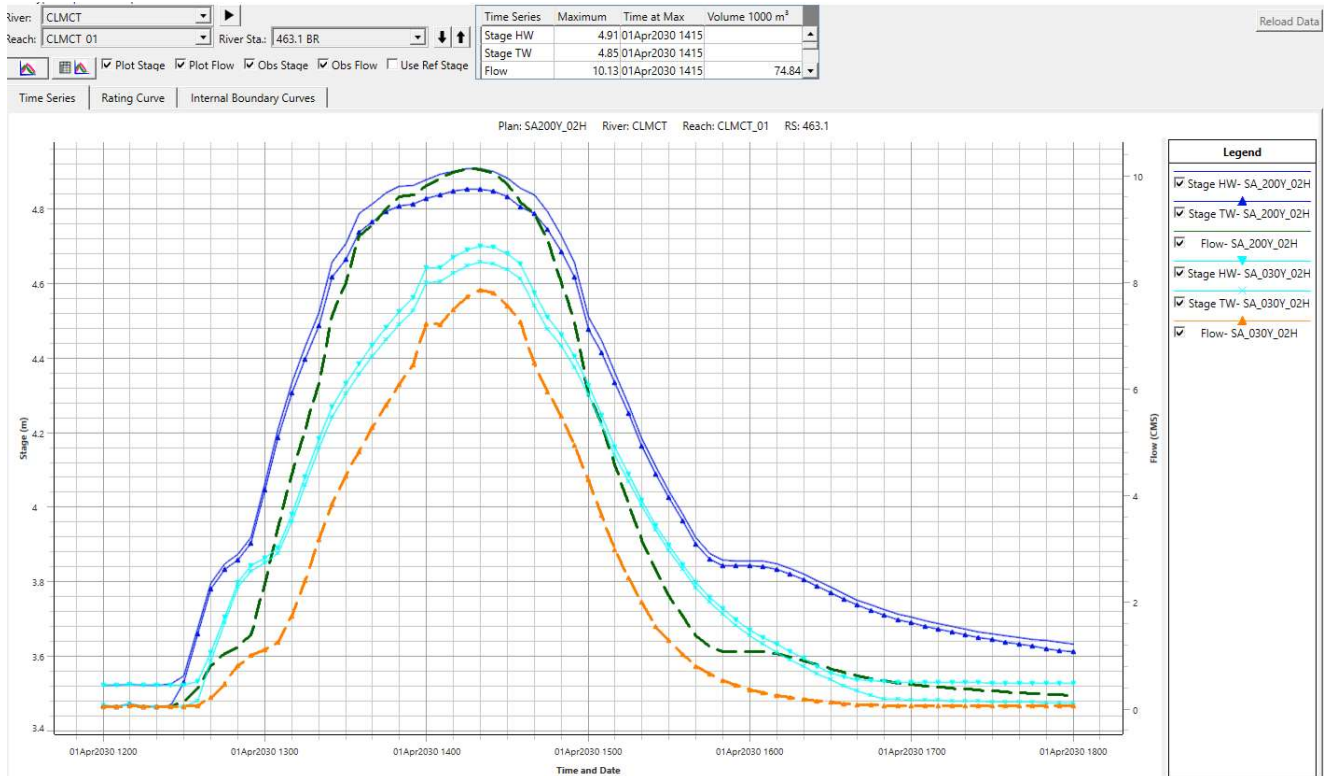


Fig. 103. Idrogrammi alla 2D\_CONN\_FFS01 lungo via Eolie. In verde il sottopasso via Eolie, in arancione e rosso i tombini collegati alla cassa Don S. Leone. 1+2-D. Plan SA\_200Y\_02H.





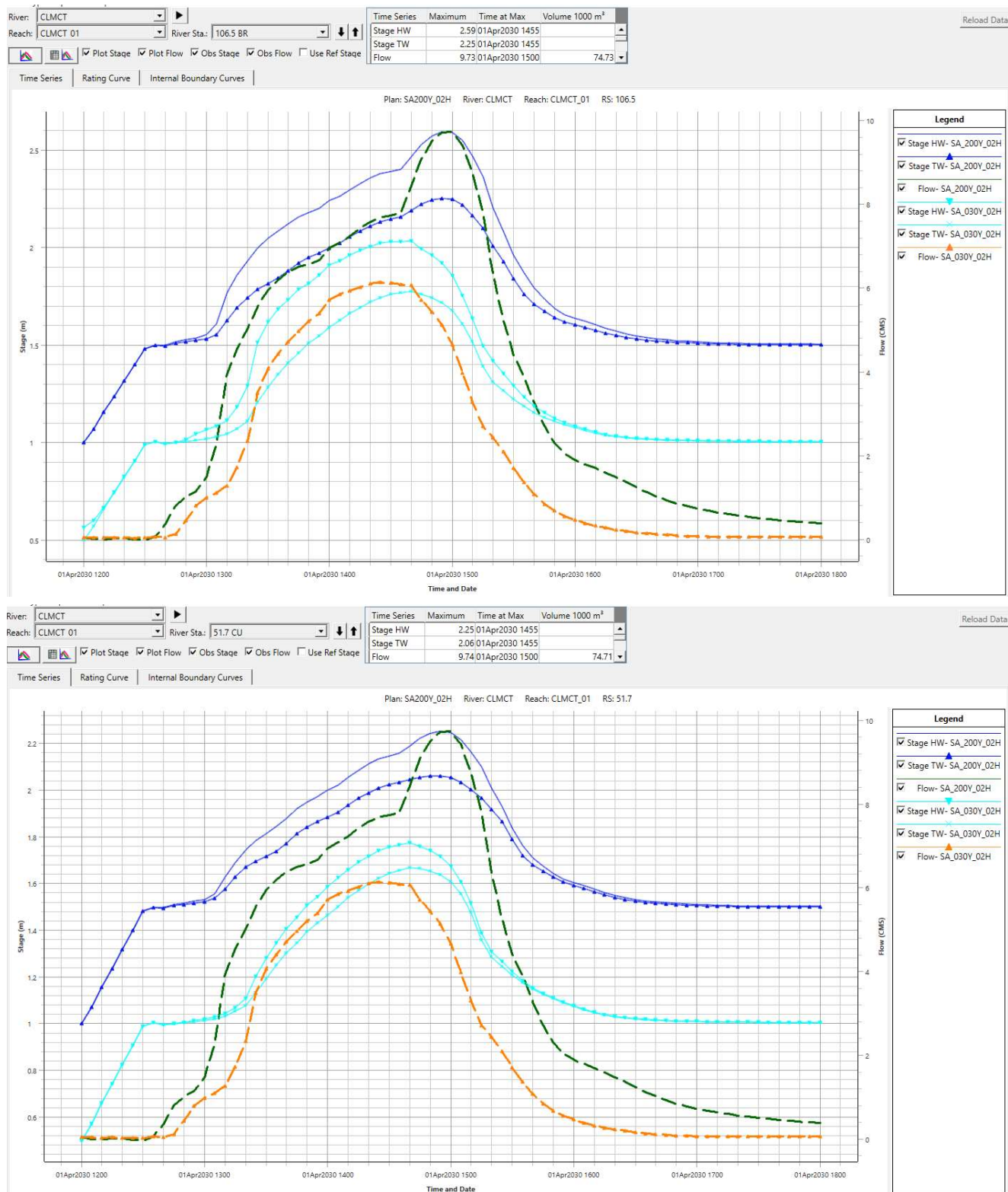
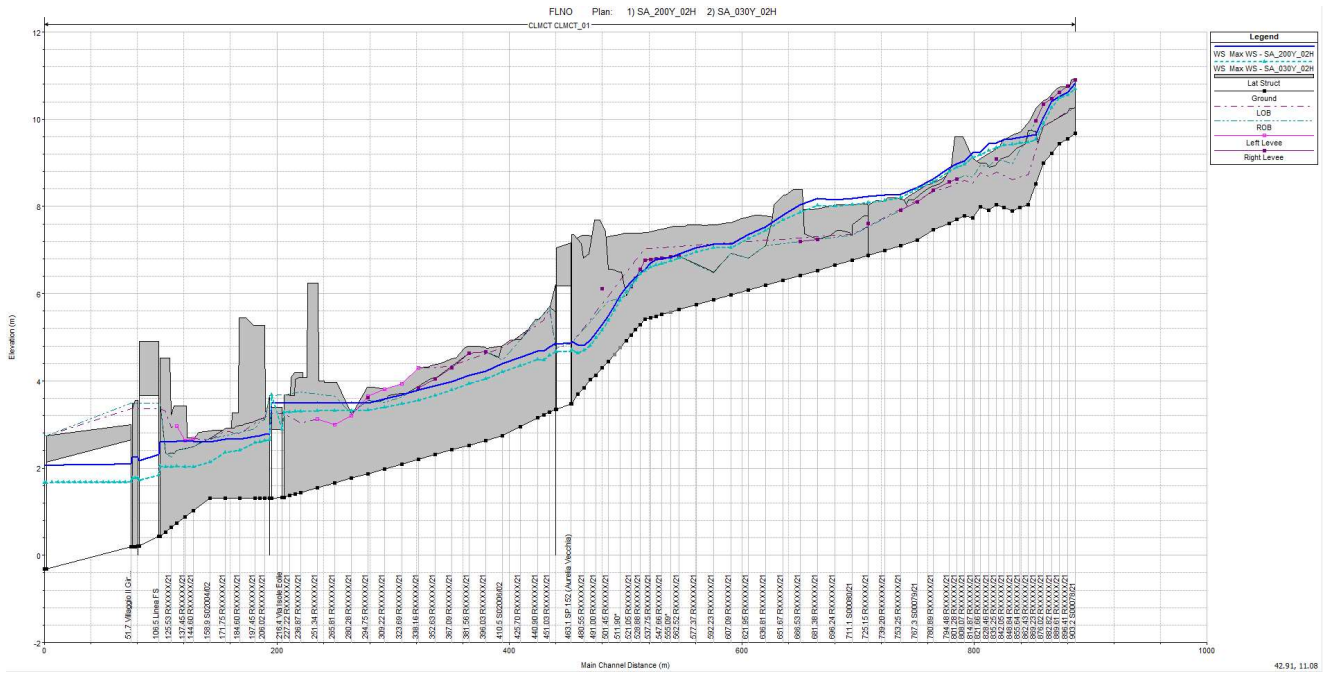
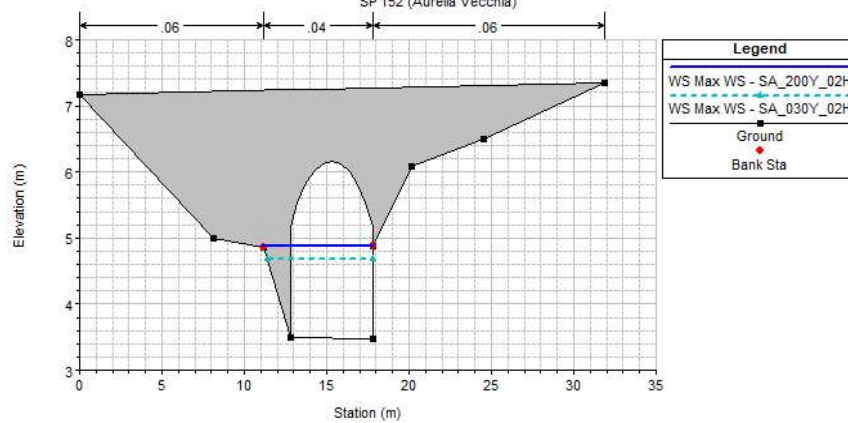


Fig. 104. Idrogrammi ai tombini S.P. n. 152 (463.1), via Isole Eolie (216.4), FFS (106.5) e recapito C.le Cervia (51.4) del C.le Mercatone. 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01/02H.



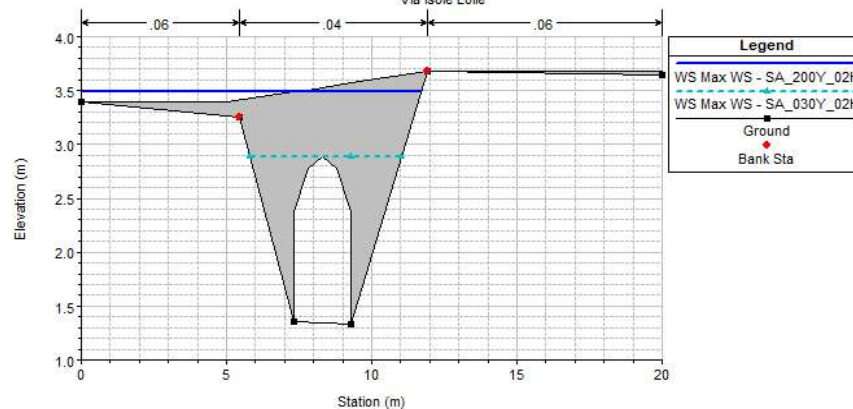
River: CLMCT Reach: CLMCT\_01 River Sta.: 463.1 BR U

FLNO Plan: 1) SA\_200Y\_02H 2) SA\_030Y\_02H  
SP 152 (Aurelia Vecchia)



River: CLMCT Reach: CLMCT\_01 River Sta.: 216.4 BR U

FLNO Plan: 1) SA\_200Y\_02H 2) SA\_030Y\_02H  
Via Isole Eolie





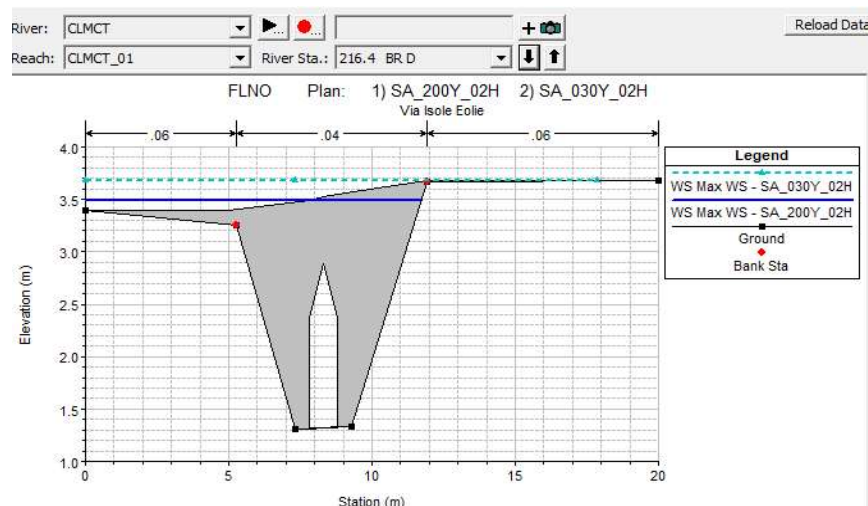


Fig. 105. Profili maxWS e sezioni ai ponti S.P. n. 152 e via Eolie (monte/valle). 1+2-D. Plans SA\_030/200Y\_01/02H.

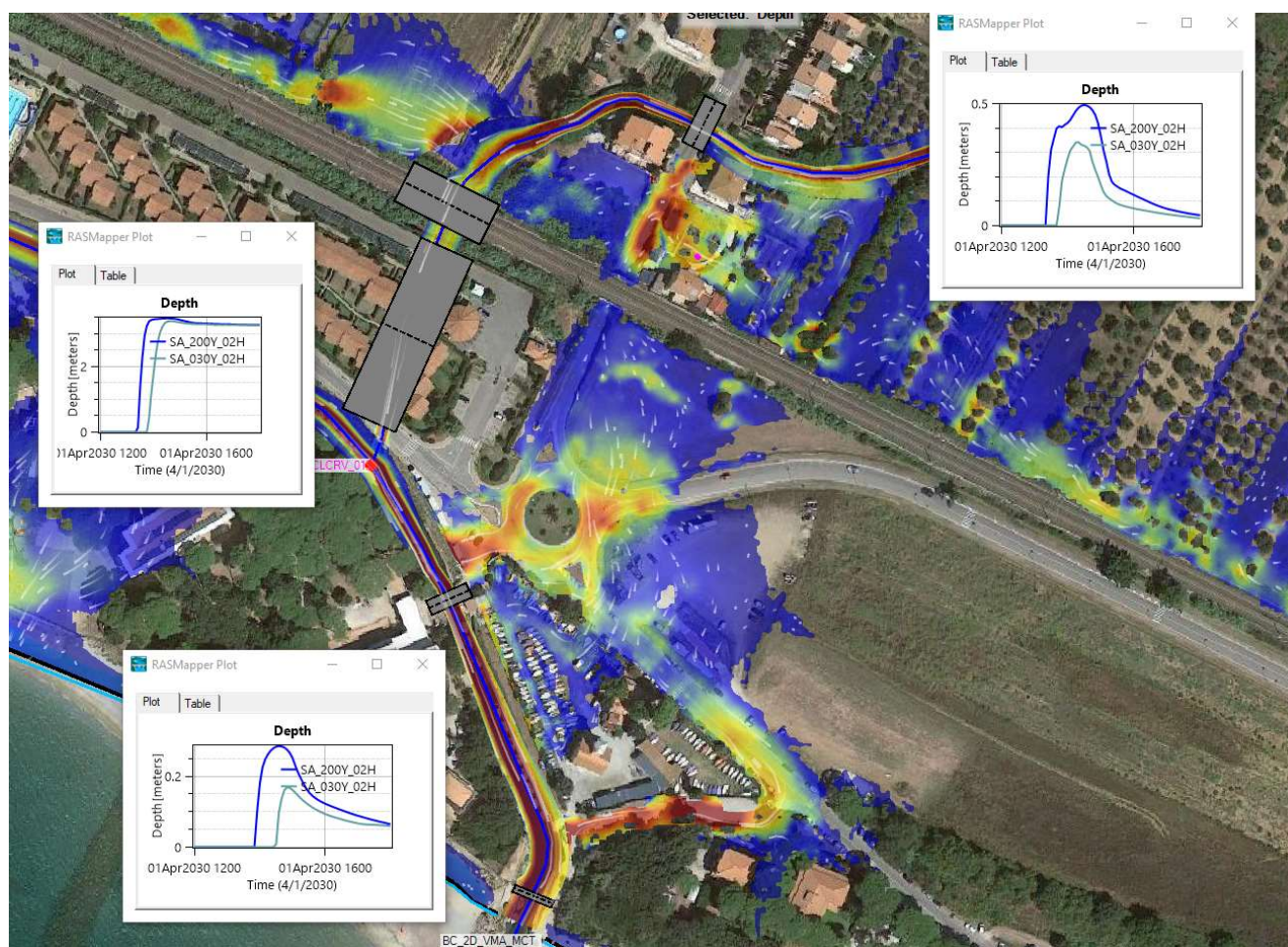


Fig. 106. Mappa maxVel e idrogrammi Depth C.le Mercatone tra via Isole Eolie e C.le Cervia. 1+2-D. Plan SA\_200Y\_02H.

## 2 PERICOLOSITÀ PLUVIALE [E FLASH FLOOD]

Sebbene non esplicitamente previste dal D.P.G.R. n. 5/R/20, in ragione della particolare rilevanza nel contesto urbano di Follonica (cfr. § 1.1) e poiché [in coerenza con gli scenari critici 01H già descritti]<sup>158</sup> anche l'indice di propensione alle *flash flood* del PGRA [aggiornamento 1<sup>o</sup> Ciclo adottato con Delib. CIP n. 26 del

<sup>158</sup>Per la metodologia di derivazione dell'indice relativo di pericolosità da *flash flood* del PGRA si vd. § 10 della *Relazione Metodologica*, dic. 2021.

20.12.21] per la gran parte dei bacini interferenti con l'area urbana di Follonica è in classe [di pericolosità] *Molto Elevata* (Fig. 107), nelle *Tavv. Serie I03* sono stati mappati *tutti* [i.e. non solo quelli risultanti allagabili anche da esondazioni fluviali] i sottopassi e le zone più depresse sede di potenziali accumuli idrici pericolosi anche per evento pluviometrico critico solamente per il sistema di drenaggio urbano (fognatura). Nella medesima *Serie* di elaborati sono indicati anche ulteriori elementi di pericolosità puntuali e/o specifici (tombini, linee di deflusso preferenziali, ...), utili anche ai fini di Protezione Civile.

Tali aree sono perimetrate su sola base morfologico-cronachistica, non avendo qui effettuato analisi numeriche del sistema fognario meteorico. Ove plausibilmente riconosciute, si sono anche indicate le possibili vie di scorrimento superficiale di acque di ruscellamento collinare intercettate dal sistema urbano. In via preliminare, tutti i sottopassi sono state posti in classi di pericolosità *P3* e magnitudo *molto severa*.

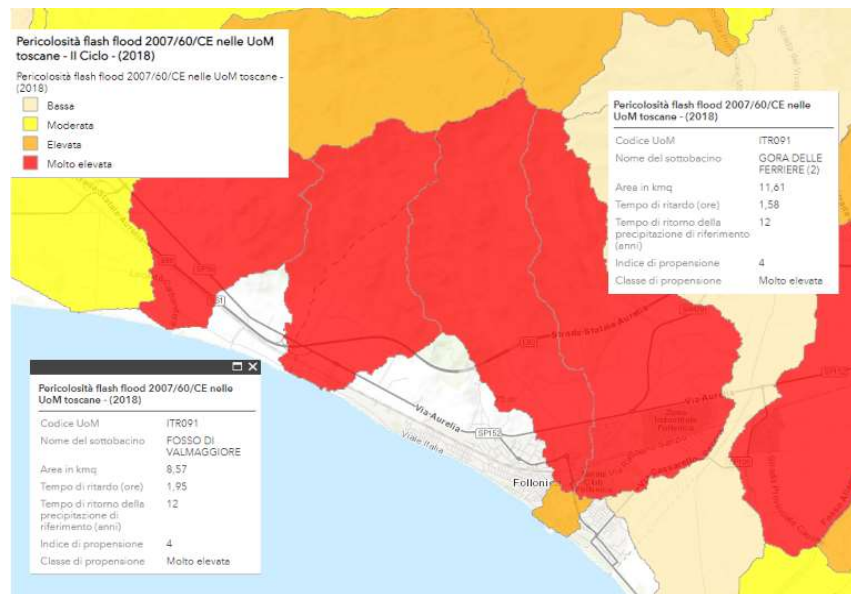


Fig. 107. Pericolosità flash flood 2007/60/CE a Follonica- PGRA UoM Toscana Costa.

### 3 PERICOLOSITÀ COSTIERA

La definizione della pericolosità costiera non è, tecnicamente, questione affrontabile in ambito di pianificazione comunale, se non limitatamente al recepimento di *QC* sovraordinati e sovradimensionali, eventualmente con affinamenti ricognitivi su base morfologica e topografica (es. presenza, dimensioni e soluzioni di continuità del cordone dunale, dimensioni e livelli prestazionali degli interventi strutturali, misure mitigatorie stagionali, ....). Gli elementi di pericolosità sono molteplici e particolarmente legati alle specificità della dinamica (continua e di evento, sia idrica sia sedimentologica) sotto costa e dei litorali, alla interazione con il dominio fluviale, alle condizioni climatico/stagionali e ai relativi cambiamenti. Analogamente per il danno potenziale (morfologia e geologia del litorale, stagionalità, ...) e, quindi, il rischio. La estrema dinamicità del dominio -sia per ragioni intrinseche naturali sia per intervento antropico- induce, inoltre, cautele maggiori- rispetto a quello fluviale- nelle ipotesi di base.

Nel caso specifico, tale *QC* -nelle more della pubblicazione da parte regionale di specifiche direttive e portale dedicato alla gestione integrata delle zone costiere<sup>159</sup>- è sostanzialmente disorganico e spesso inedito. Ci si limita qui alla citazione dei seguenti documenti/archivi (metodologici generali e conoscitivi specifici):

#### mappatura pericolosità

- x PGRA AdDAS, 2021, *Pericolosità da alluvione-Dominio costiero* [DCI\_235\_2016] (Fig. 108)
- x PGRA AdBRS<sup>160</sup>, 2018, *Relazione metodologica sulle inondazioni costiere*
- x R. Emilia Romagna, 2021, <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/costa> et al.
- x Floodsite-HR Wallingford, 2008, T03-08-02 *Guidelines on Coastal Flood Hazard Mapping*

<sup>159</sup> Compresi i progetti nazionali e comunitari (es. Interreg Marittimo IT-FR-MAREGOT, ECLISEA, ...).

<sup>160</sup> Autorità di Bacino Regionale della Sardegna.



dati mareografici e estremi meteomarinari

- x APAT, 2003, *La rete mareografica italiana. Analisi delle serie storiche*
- x APAT, 2006, *Atlante delle onde nei mari italiani*
- x DICEA-UNIFI, 2011, [...]
- x US-EM, 2015, *Coastal Engineering Manual - Part II*

dinamica storica e previsionale linea di costa e relativi interventi di mitigazione

- x PTCP Grosseto, adozione 2021 (Fig. 109)
- x MATTM-Regioni, 2018. *Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti Climatici* [Documento elaborato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera MATTM-Regioni con il coordinamento tecnico di ISPRA, 305 pp]
- x R. Toscana, 2016, *Documento operativo per il recupero ed il riequilibrio della fascia costiera*<sup>161</sup>
- x Pagliara, S.-Comune di Follonica, 2002, *Studio per la formazione del Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale per la riqualificazione del sistema costiero in Comune di Follonica*
- x R. Toscana, 2001, *Progetto di piano regionale di gestione integrata della costa ai fini del riassetto idrogeologico*
- x R. Toscana-DST UniFi, 2001, *Studio della dinamica morfologica e sedimentaria del Golfo di Follonica*
- x R. Toscana-DIC UniFi, 2001, *Studio su modello numerico della dinamica evolutiva del Golfo di Follonica ed analisi degli effetti indotti dalle opere di difesa della costa*

Al pari di quello fluviale, ma con maggiore variabilità e significatività anche in condizioni ordinarie, gli elementi di pericolosità alluvionale dell'ambito costiero comprendono indicatori statici e dinamici complessi (es. livelli energetici alla frontiera del dominio geomorfologico, sommerso e emerso). La problematica è, poi, ulteriormente complicata anche dalla interazione con il dominio idrografico, non solo in termini di eventi fluviali estremi ma anche di assetto idraulico e territoriale (dinamica liquida e sedimentologica).

In termini di pianificazione territoriale e gestione del rischio, non meno ardua è la valutazione del danno potenziale, stante (tra le altre) la asfissiante pressione antropica, la marcata stagionalità degli utilizzi delle spiagge, gli incerti e (spesso) fragili livelli prestazionali di difese naturali (cordoni dunali, pareti rocciose, ...) e artificiali, la scala fisiografica largamente sovracomunale, la sensibilità diretta ai cambiamenti climatici, la subsidenza interna, la necessità di qualificazione geomorfologica e topografica della costa e di un inquadramento sistemico e organico degli interventi realizzati e pianificati a scala di unità fisiografica, ...



<sup>161</sup>Documenti tecnico-scientifici UniFi di riferimento non disponibili.

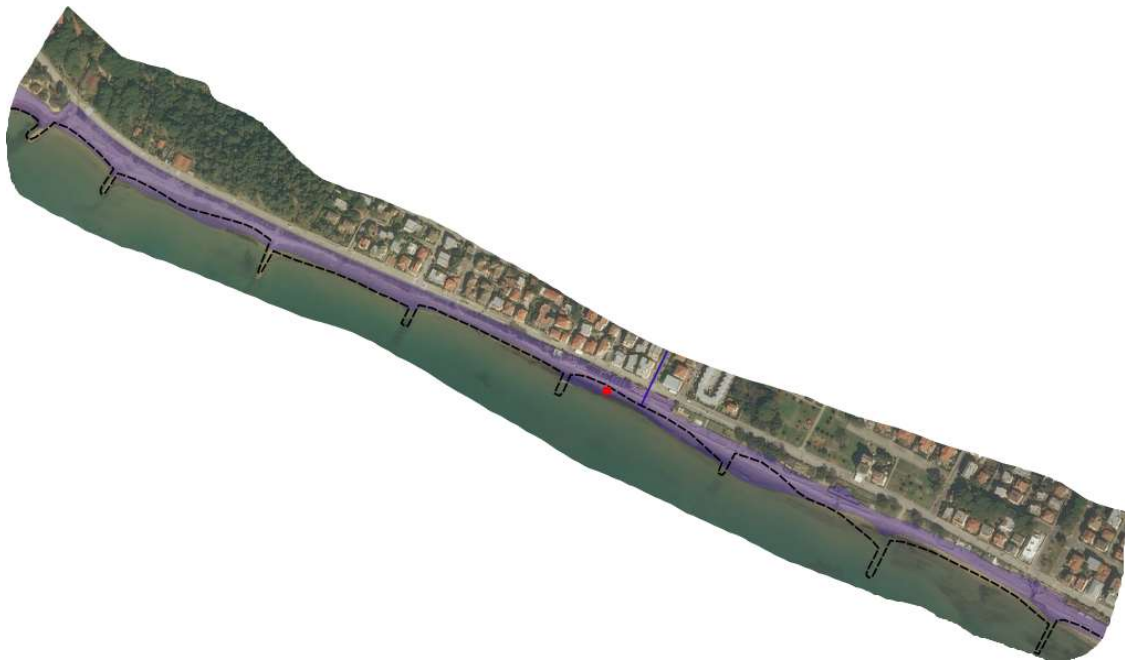
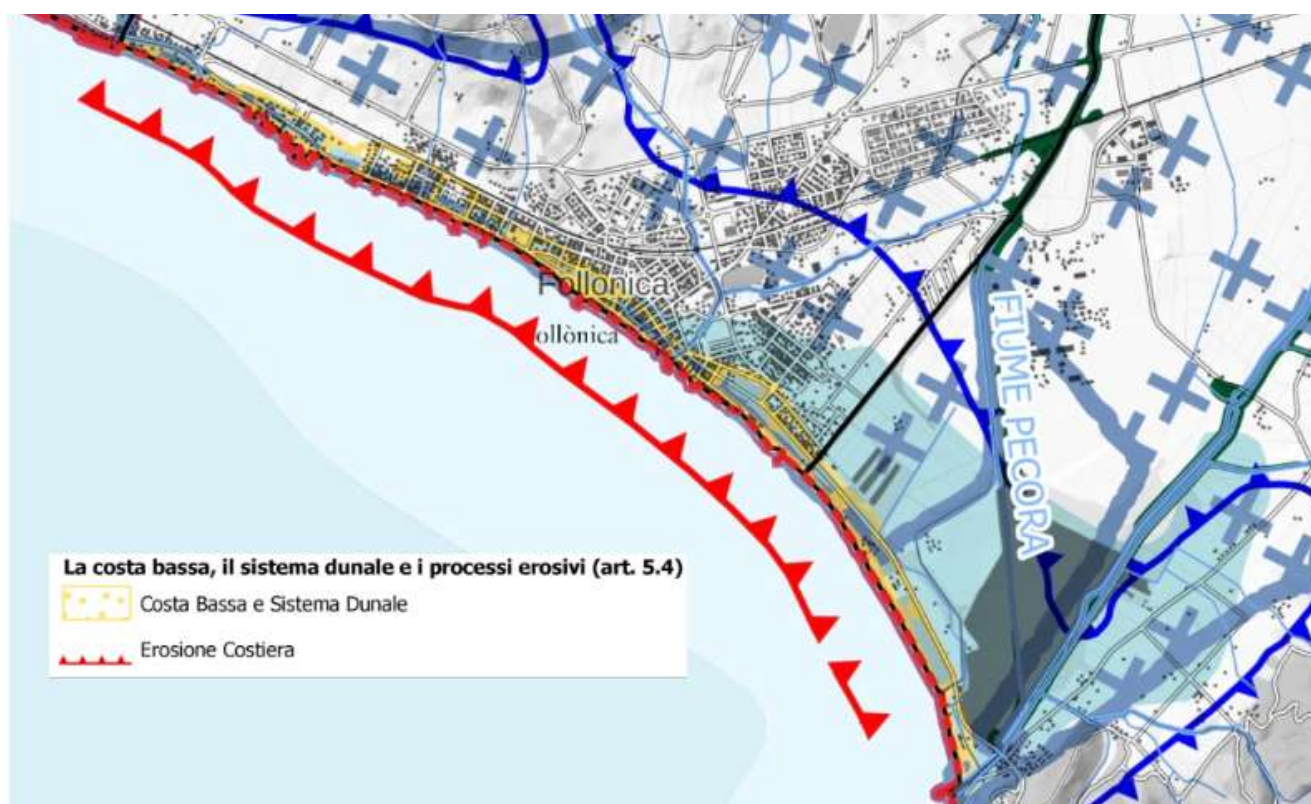






Fig. 108. PGRA vigente. *Pericolosità da alluvione* - Dominio Costiero. Follonica. Aree colorate in classe di pericolosità unica P3.



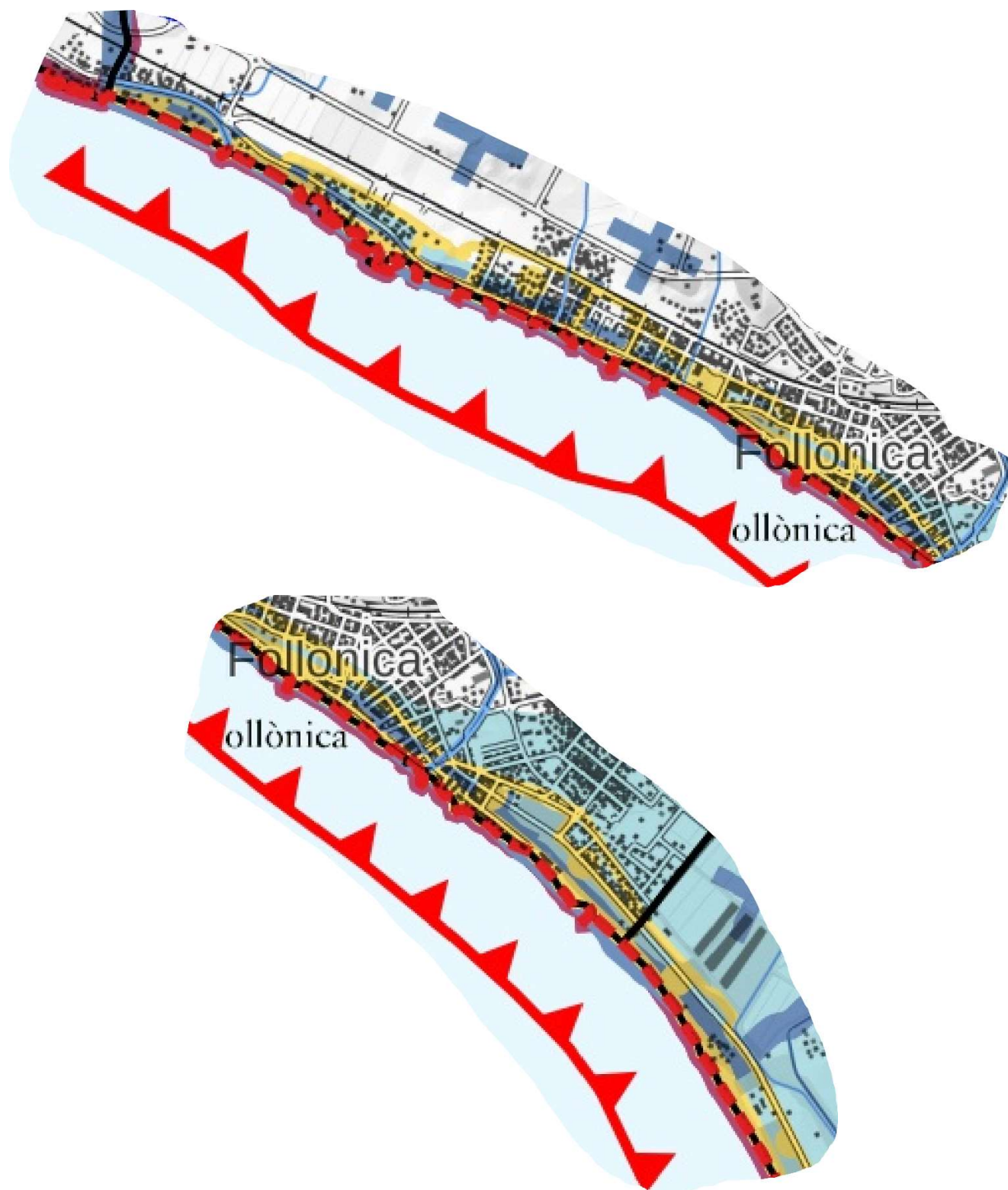


Fig. 109. PTCP Prov. GR - Estratti di QC 1-Struttura Idro-Geomorfologica, rev. set. 2021, scala 1:125.000.

Non essendo questo, pertanto, il contesto deputato a valutazioni tecnico-numeriche minimamente consistenti, si è assunto di mantenere le perimetrazioni del PGRA vigente, limitandosi (anche per la definizione delle condizioni al contorno dei modelli idraulici fluviali) a valutazioni *qualitative* essenzialmente basate su stime largamente preliminari dei massimi livelli di mareggiata e morfologia MATTM\_08, ritenuti i seguenti assunti:

- pericolosità alluvionale per allagamento diretto da soli fenomeni estremi meteomarinari, valutati per un



unico  $T_r=100^{162}$  anni (classe di pericolosità  $P_3$ ), limitandosi alla sola identificazione per le aree soggianti protette da strutture dunali e quelle con franco  $<1.0$  m, escludendo interazione dinamica con morfologia naturale, opere di difesa e piene fluviali<sup>163</sup>

- livello estremo ( $\eta_{Tr}$ ) pari alla somma del livello medio alla riva ( $\langle\eta\rangle$ ) e di quello di *set-up* ondoso ( $\eta_{w\_Tr}$ ), escluso il contributo dello *swash* oscillatorio ( $\eta_{sw}$ ) e calcolato il livello medio come somma dei contributi della marea astronomica (valore medio dei massimi registrati  $\langle\eta_a\rangle$ ) e del sollevamento meteorologico (sovrizzo di tempesta per effetto barico e anemometrico) (*storm-surge*) ( $\eta_{ss\_Tr}$ ), i.e.:

$$\eta_{Tr} = \langle\eta\rangle + \eta_{w\_Tr} = \langle\eta_a\rangle + \eta_{bf} + \eta_{lt} + \eta_{ss\_Tr} + \eta_{w\_Tr}$$

nell'ipotesi (cautelativa) di concomitanza dei rispettivi valori massimi marginali, trascurando i contributi delle oscillazioni a bassa frequenza dei corpi d'acqua (sesse)<sup>164</sup> ( $\eta_{bf}$ ) e di medio-lungo termine essenzialmente<sup>165</sup> legato al cambiamento climatico ( $\eta_{lt}$ )<sup>166</sup>. Esclusa qui ogni analisi probabilistica (congiunta) dei valori estremi di *set-up* ondoso e sollevamento meteorologico (clima ondoso), trascurata la stagionalità<sup>167</sup> e concettualizzata la costa/spiaggia di tipo bassa/dissipativa<sup>168</sup> [Stockdon et al., 2006]<sup>169</sup>, si sono adottati i seguenti valori:

$$\langle\eta_a\rangle = 0.35 \div 0.40 \text{ m [es. MAREGOT-Lamma, 2019]}^{170}$$

$$\eta_{ss\_100} = 0.50 \div 0.80 \text{ m [R. Toscana-DHI, 2013]}^{171}; \text{ Vousdoukas et al., 2016]}^{172}; \text{ R. Emilia Romagna, 2013]}^{173}$$

$$\eta_{w\_100} = 0.40 \div 0.60 \text{ m [idem c.s.]}^{174}, \dots$$

ovvero, in definitiva

$$\eta_{100} = 1.50 \text{ m}$$

- DTM MATTM\_08 base morfologica territoriale<sup>175</sup>, con quota 0.00 m (linea di riva) corrispondente al livello medio mare "attuale" (MSL)<sup>176</sup>
- trascurabilità effetti opere di difesa/mitigazione a mare.

In Fig. 110 sono riportate le aree soggianti  $\eta_{100}$  e  $\eta_{100}+1.0$  m; la prima perimetrazione è in larga parte coincidente con quelle già di PGRA (più calibrata su  $\eta_{100}=2.0$  m), dati i profili di spiaggia sostanzialmente limitati da infrastrutture antropiche e naturali (residuali) a quota superiore, *salvo* le zone tra limite comunale e foce C.le Allacciante Cervia a NW e Senzuno a SE (Fig. 111), ove più incerte sono le quote e maggiori le aree soggianti prive di protezione continua. Dal confronto tra sovrapposizione DTM MATTM\_08 su OF coeva (2007) e attuale (2020), si possono ben rilevare gli effetti complessivi sull'ampiezza della spiaggia emersa degli interventi a mare realizzati nel periodo (nonché il significato dell'ipotesi di riferimento geomorfologico al 2008)<sup>177</sup>.

La pericolosità specifica e le aree soggianti protette sono ben deducibili dalle Tavv. Serie I03 di mag-

<sup>162</sup> Valore limite nelle usuali analisi di estremi meteorologici, causa limitatezza delle serie storiche disponibili. Nell'approccio speditivo qui adottato i differenziali di livello stimabili per 7, diversi non sono significativi.

<sup>163</sup> Nel caso specifico, di significatività a priori non trascurabile per il F. Pecora e le adiacenti aree più depresse (Salciaina). Fattore inglobato nell'approccio complessivamente cautelativo (compreso modello idraulico fluviale e relativa c.c. di valle, vd.).

<sup>164</sup> Nel Tirreno, a differenza dell'Adriatico.

<sup>165</sup> La subsidenza non risulta fenomenologia, in questo contesto (cfr. PIT, 2014, Sistema Costiero, 6. Golfo di Follonica), significativa. Per altri fenomeni eustatici, tettonici, ... es. *Sea level change along the Italian coast during the Holocene and projections for the future*, Lambeck, K., et al., Quat. Int. J., 2011.

<sup>166</sup> Sulla trascurabilità o meno [Dir. 2007/60/CE] del SLR attuale e al 2100 [RCP4.5 e RCP8.5] cfr. es. *Extreme sea levels on the rise along Europe's coasts*, Vousdoukas, M.I. et al., Earth's Future, 5, 2017; *Stato dell'arte delle proiezioni di sea-level rise nel Mar Mediterraneo*, Struglia, M.V., MAREGOT-Enea, 2019; *Mediterranean sea level variability and trends*, Gomis, D. et al., 2012; *Projections of extreme storm surge levels along Europe*, Vousdoukas, M.I., Voukouvakas, E., Annunziato A., Giardino A. e Feyen, L., Clim. Dyn, 2016; <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/storms-and-storm-surges-in-europe-2/assessment>; ...

<sup>167</sup> Opp. citt.

<sup>168</sup> Anche se a tratti di tipo intermedio, causa difese longitudinali rigide non lontane dalla linea di riva.

<sup>169</sup> Stockdon, H.F., Holman, R.A., Howd, P.A. e Sallenger, A.H., *Empirical parametrization of setup, swash and runoff*, Coastal Eng., 53, 537-588, 2006.

<sup>170</sup> Valore medio Livorno-Civitavecchia [www.mareografico.it].

<sup>171</sup> Studio morfodinamico e analisi dei livelli di run-up della spiaggia della Costa Est del Golfo di Follonica, Boninsegni, G.; ivi  $\langle\eta_a\rangle=0.38-0.52$  m,  $H_{s\_10/100}=5.2/6.7$  m, sovrizzo\_barico<sub>10</sub>=0.42 m, run-up 10%=0.5-1.0 m.

<sup>172</sup> Ivi  $\eta_{10/100}=1.35/1.50$  m (Mediterraneo Centrale).

<sup>173</sup> Ivi  $\eta_{ss\_10/100}=0.79/1.02$  m e  $\eta_{w\_10/100}=0.30/0.39$  m.

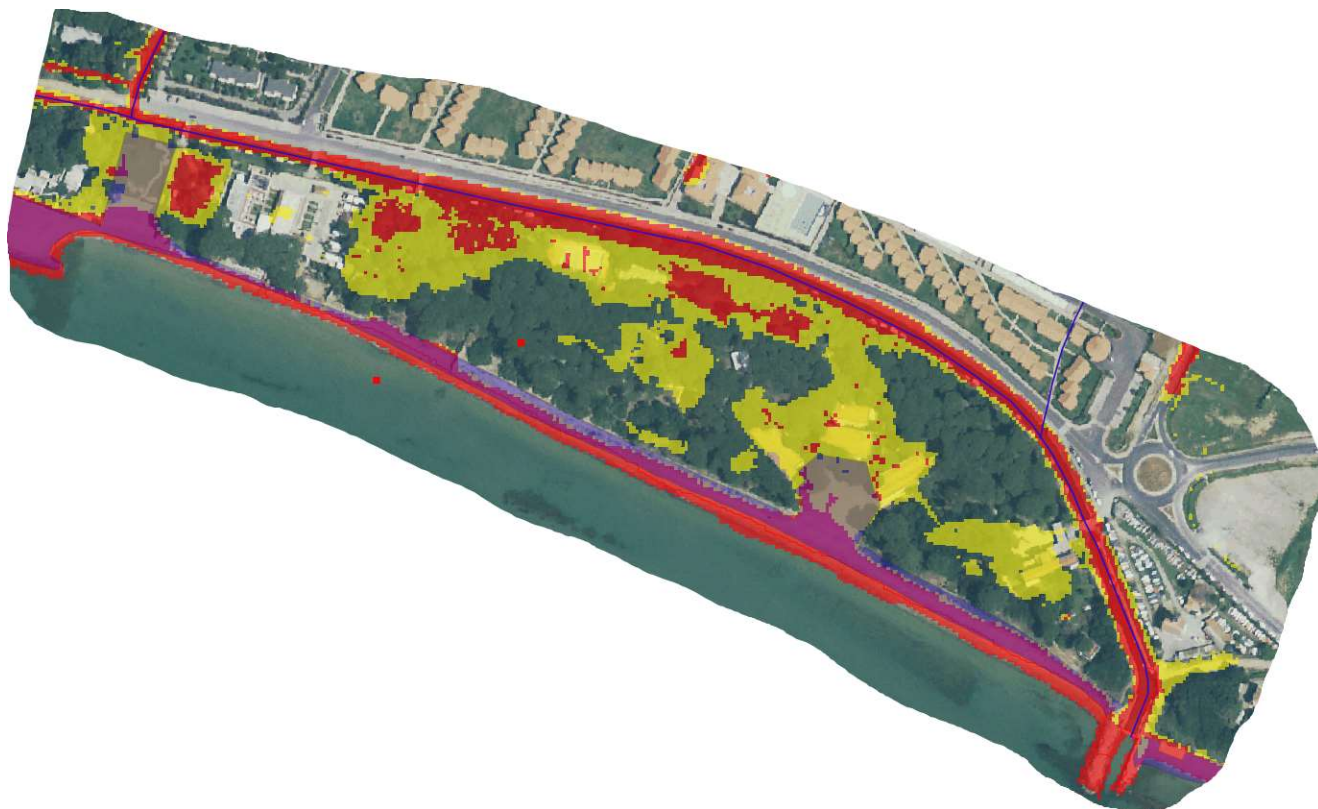
<sup>174</sup> Assumendo  $H_s \approx H_0$  e  $H_0/L_0 < 0.04$ ,  $\eta_{w\_Tr} \approx 0.1 \times H_{s\_Tr}$  [US-EM 1110-2-1100 (Part II), 2015, Fig. II-8-24 tratta da Goda, Y., *Random Seas and Design of Maritime Structures*, Univ. Tokyo Press, 1985]; per  $H_{s\_10/100}=5.2/6.7$  m [Boninsegni, 2013, op. cit.] si ottengono  $\eta_{w\_10/100}=0.50-0.70$  m.

<sup>175</sup> Causa conformazione naturale e alta densità di interventi di difesa, la linea di costa del Golfo di Follonica risulta, negli ultimi decenni, relativamente stabile, con problematiche residue legate più che altro a fattori locali [cfr. QC di PS].

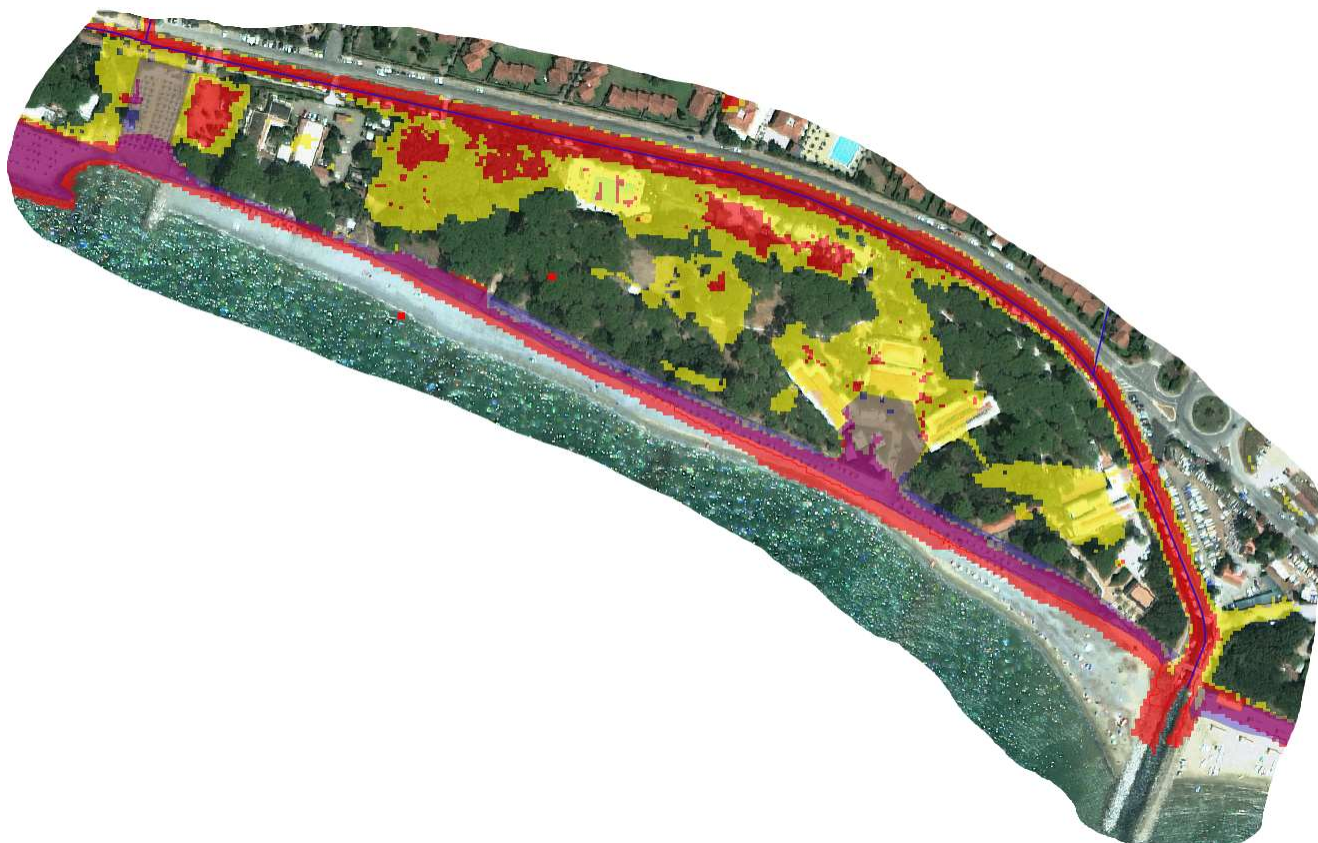
<sup>176</sup> Valore statico; si trascurano per semplicità i trend in essere [es. *Stato dell'arte delle proiezioni di Sea Level Rise nel Mar Mediterraneo*, Struglia, M.V., et al., Enea, 2019].

<sup>177</sup> In tal senso, le perimetrazioni PGRA vanno intese comunque estese a mare sino alla linea di riva.

gior dettaglio, mentre quella ufficiale già di PGRA vigente è riportata nella Tav. PI04. Come evidente dall'intero quadro geomorfologico-ambientale-idraulico del presente PS, le aree a maggiore rischio (in senso qualitativo) - per perdita della protezione dunale residua e/o maggiore soggiacenza al livello m.m., anche considerando le maggiori incertezze sugli effettivi profili attuali della fascia costiera ancora coperta da vegetazione- sono la zona di Pratoranieri e i quartieri di Senzuno (soprattutto) e Salciaina.



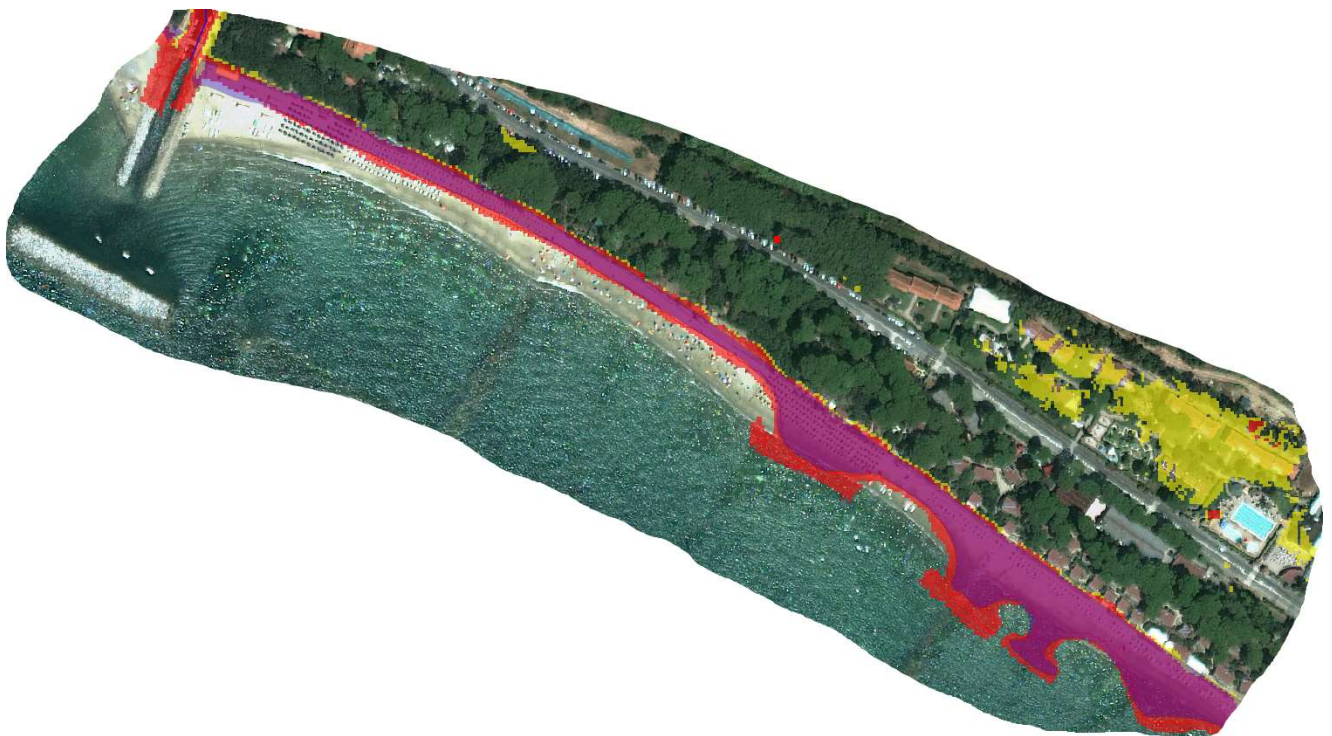
Tra F.so Valmaggiora e foce C.le All. Cervia (Pratoranieri)

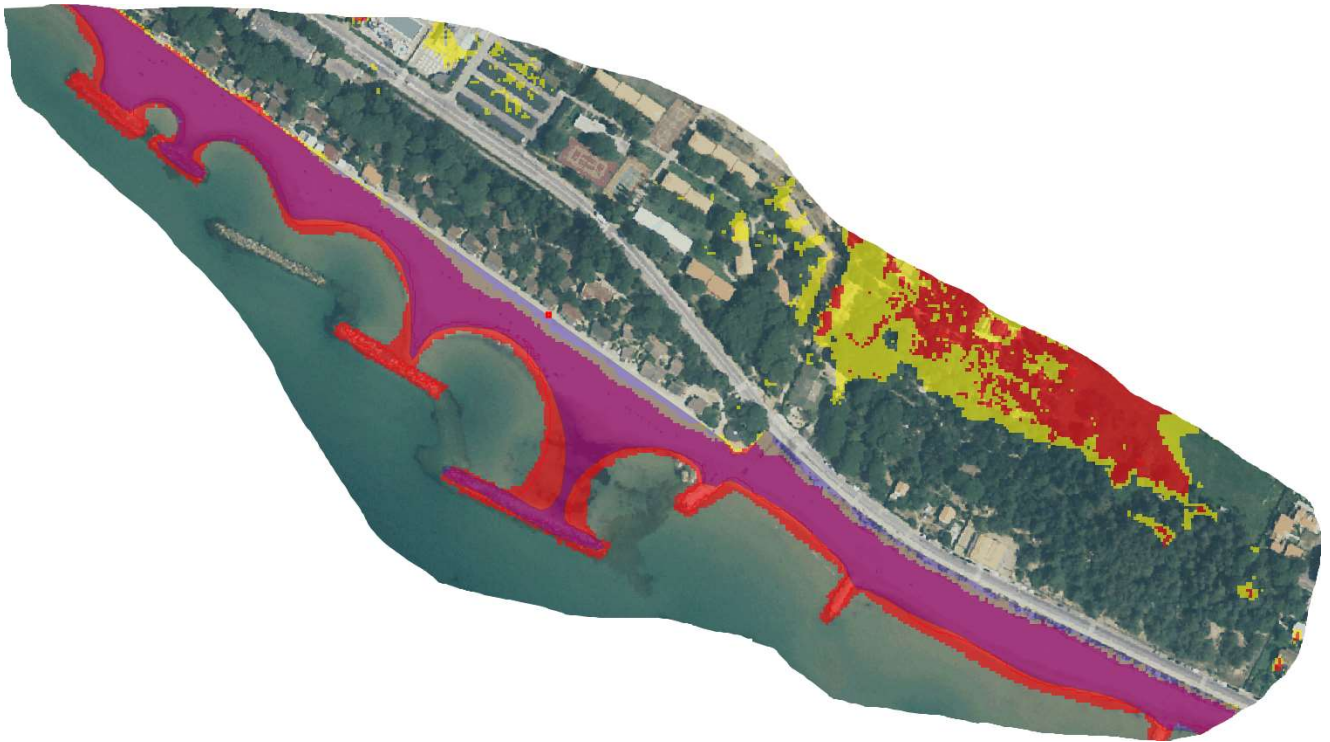






Tra foce C.le All. Cervia e Golfo del Sole

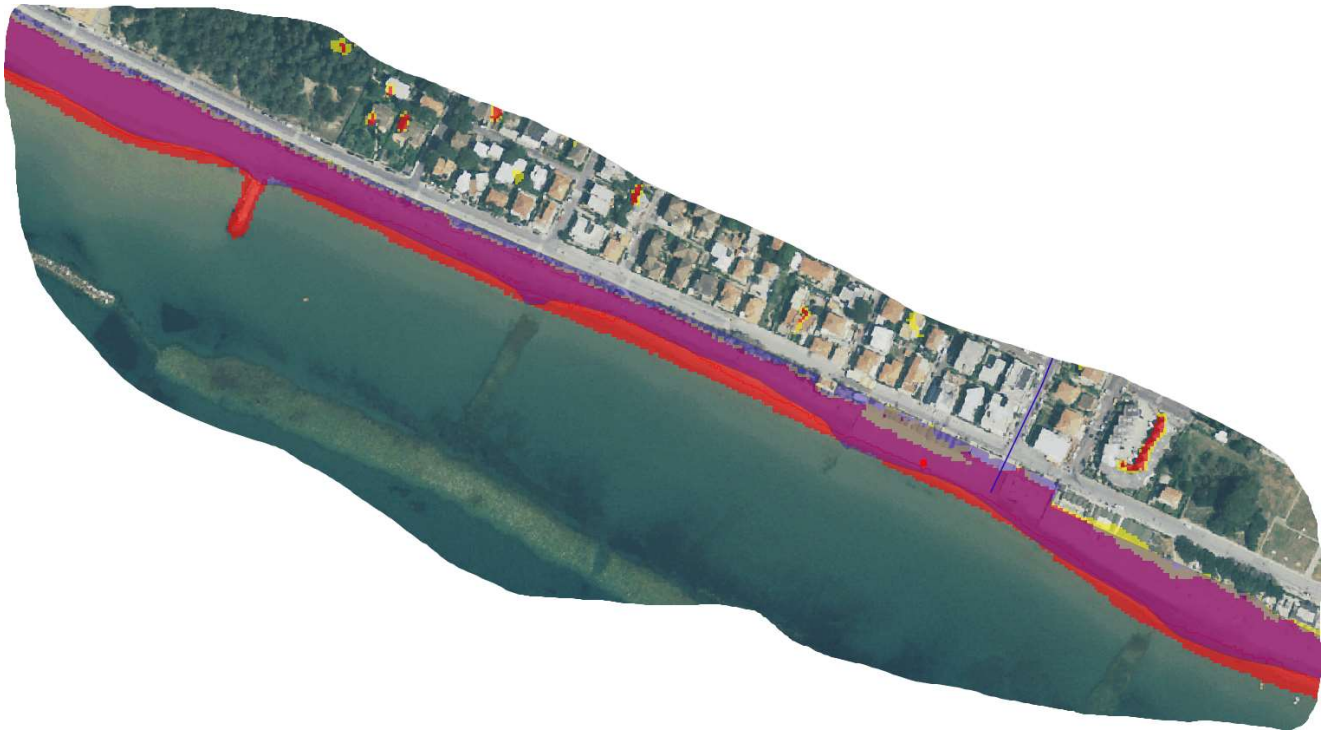




Tra Golfo del Sole e Pineta di Occidente







Tra Pineta di Occidente e F.so Val Querceta





Tra F.so Val Querceta e F.so Valle Onesta







Tra F.so Valle Onesta e Pineta dei Tomboli





Tra Pineta dei Tomboli e F.so Petraia



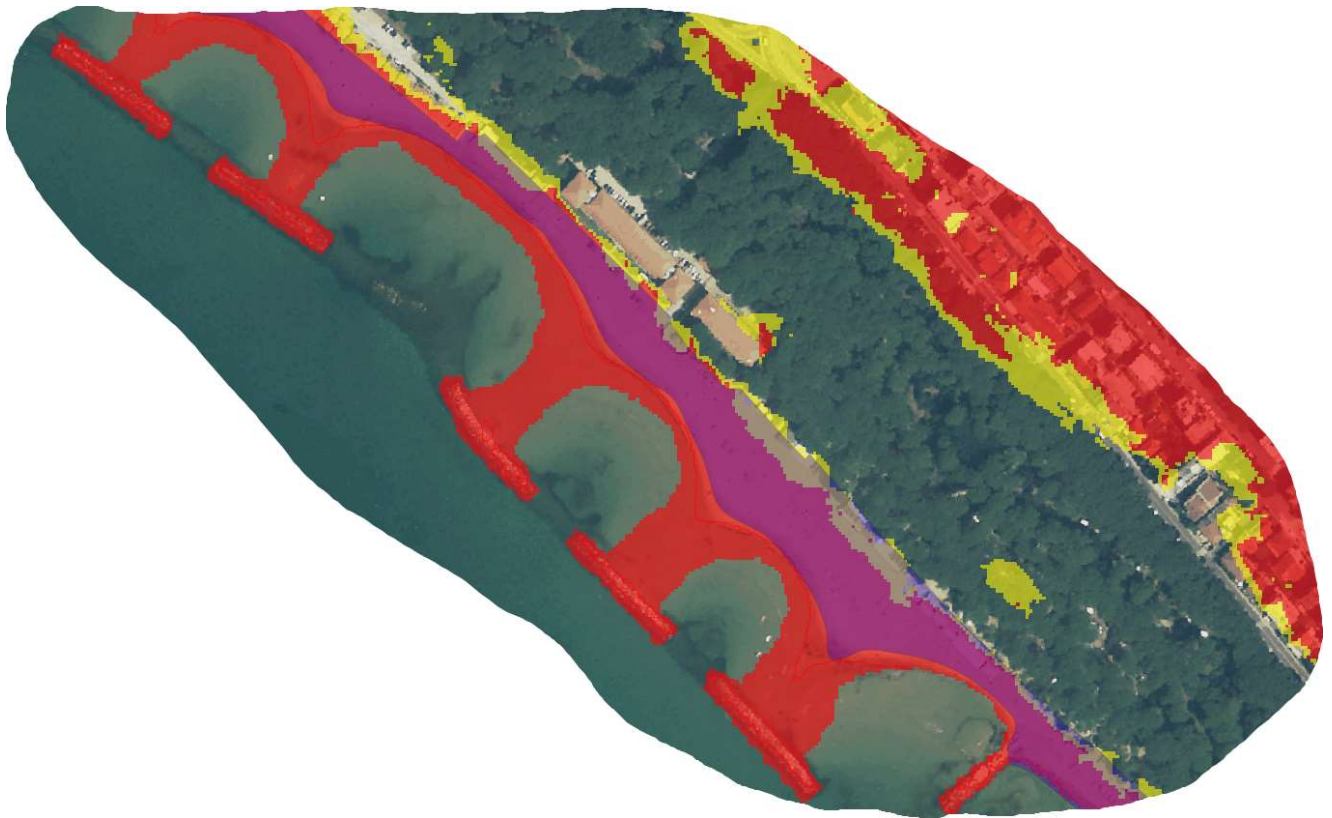




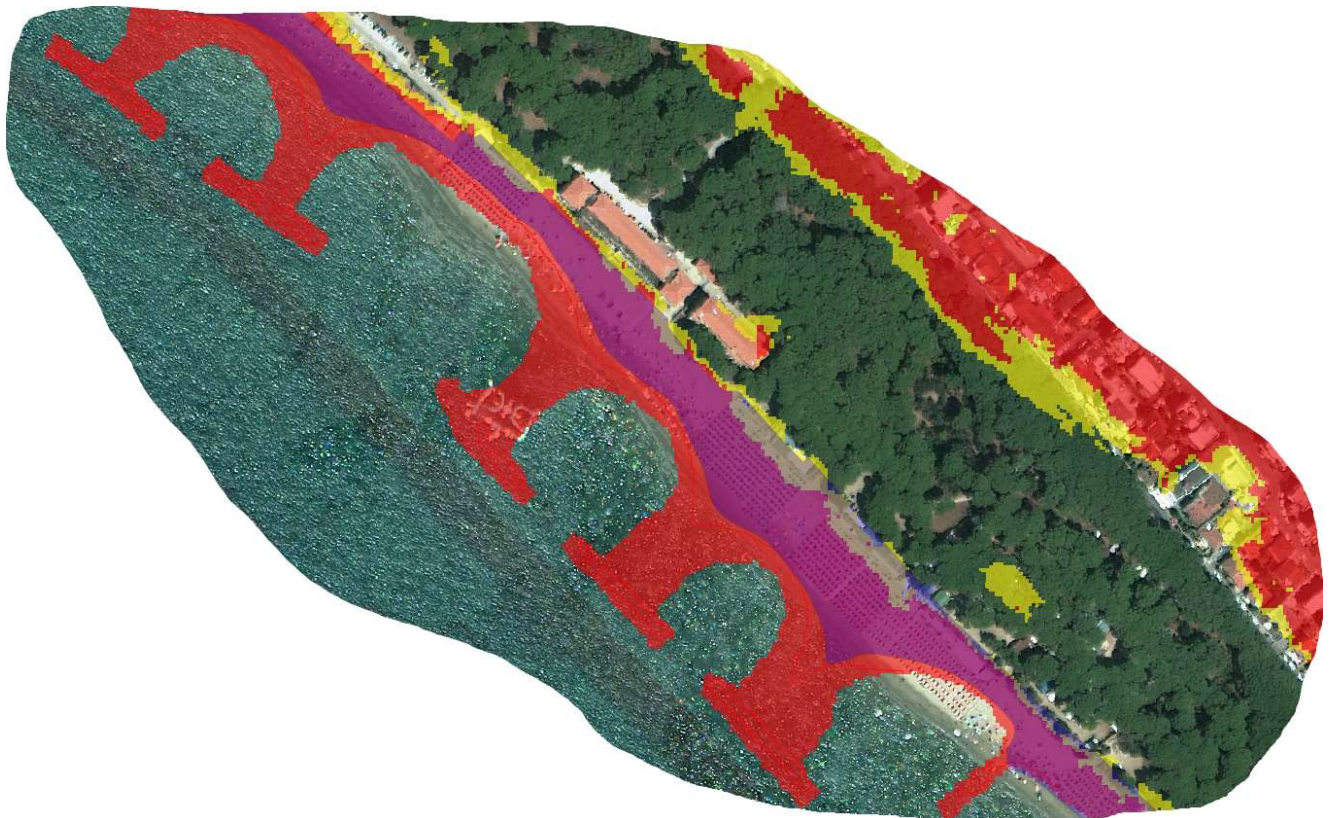
Tra F.so Petraia e Pineta di Levante (Senzuno)



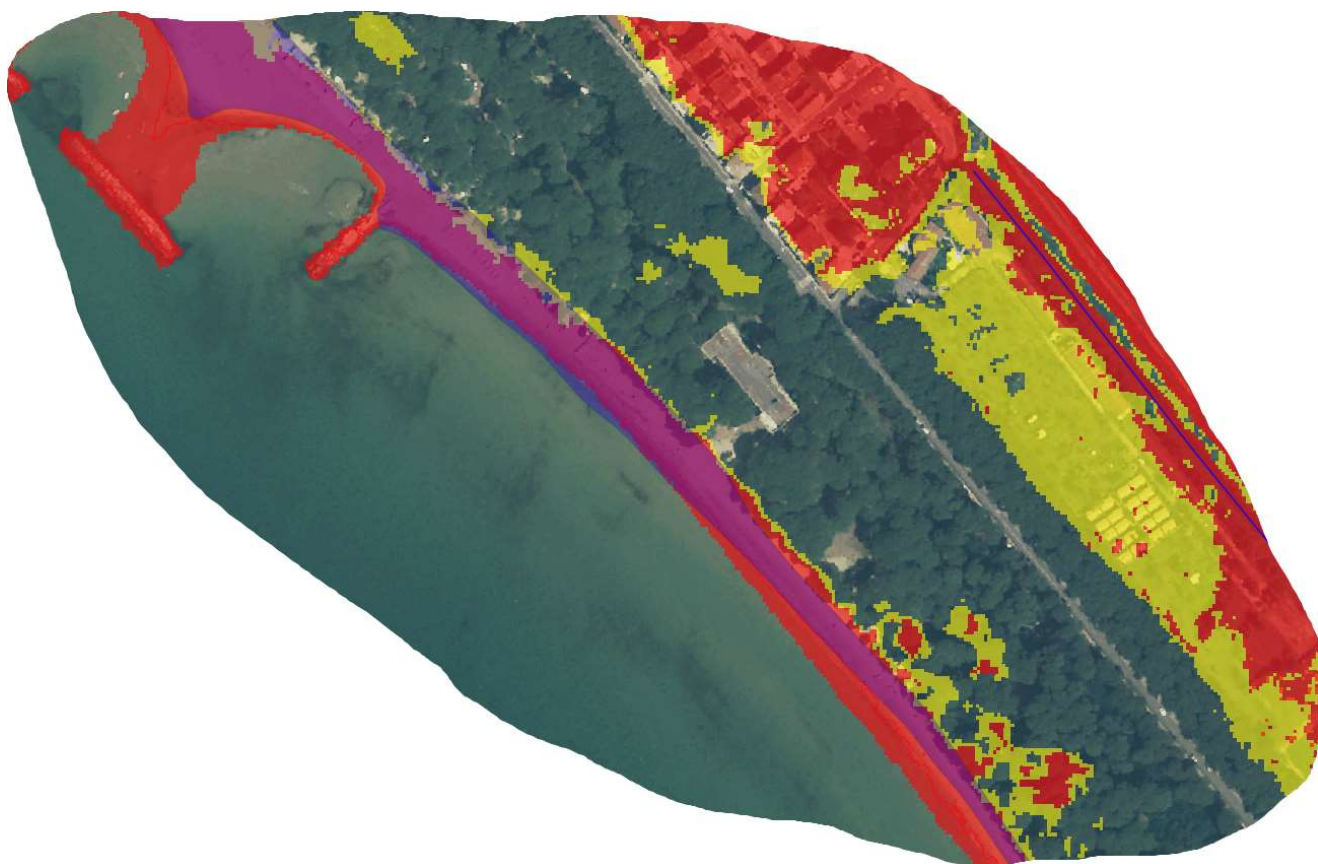




Pineta di Levante







**Pineta di Levante al Limite Comunale (Salciaina)**

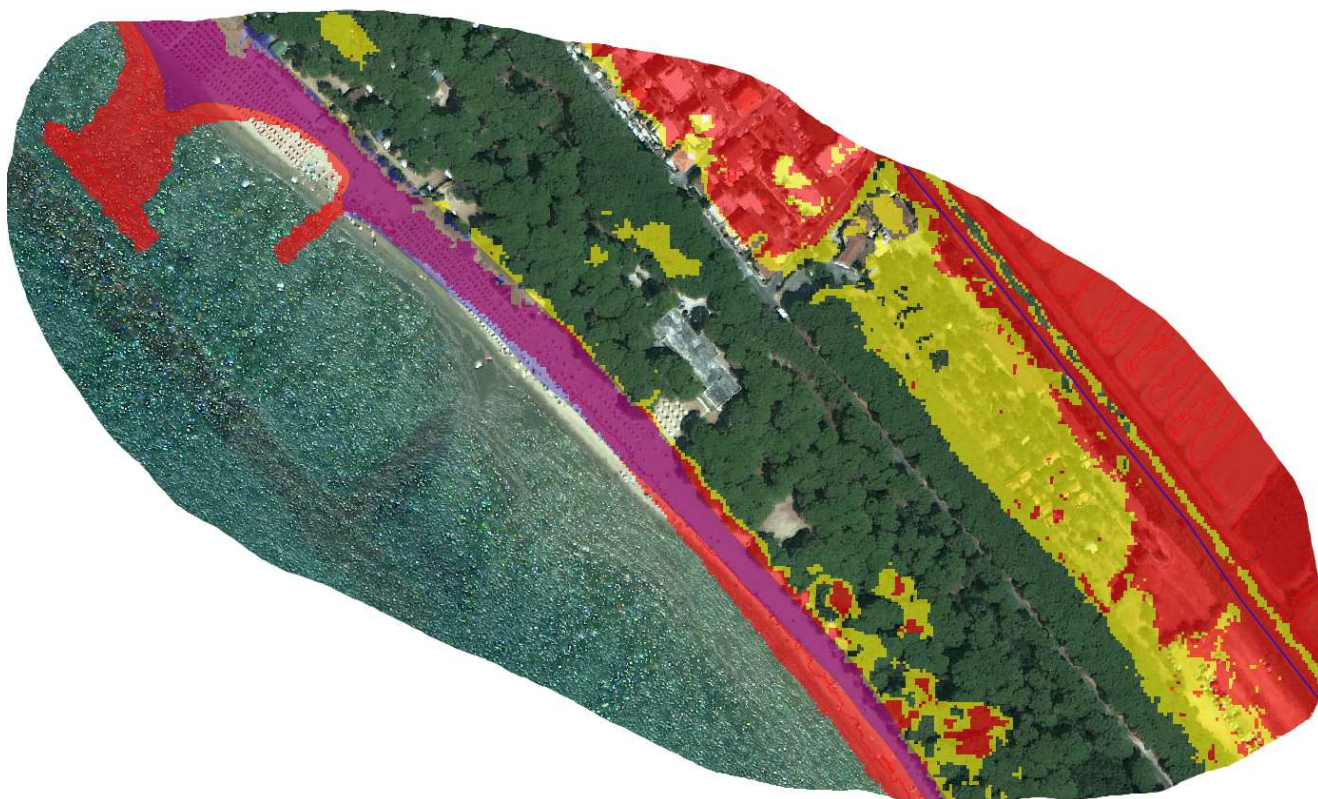
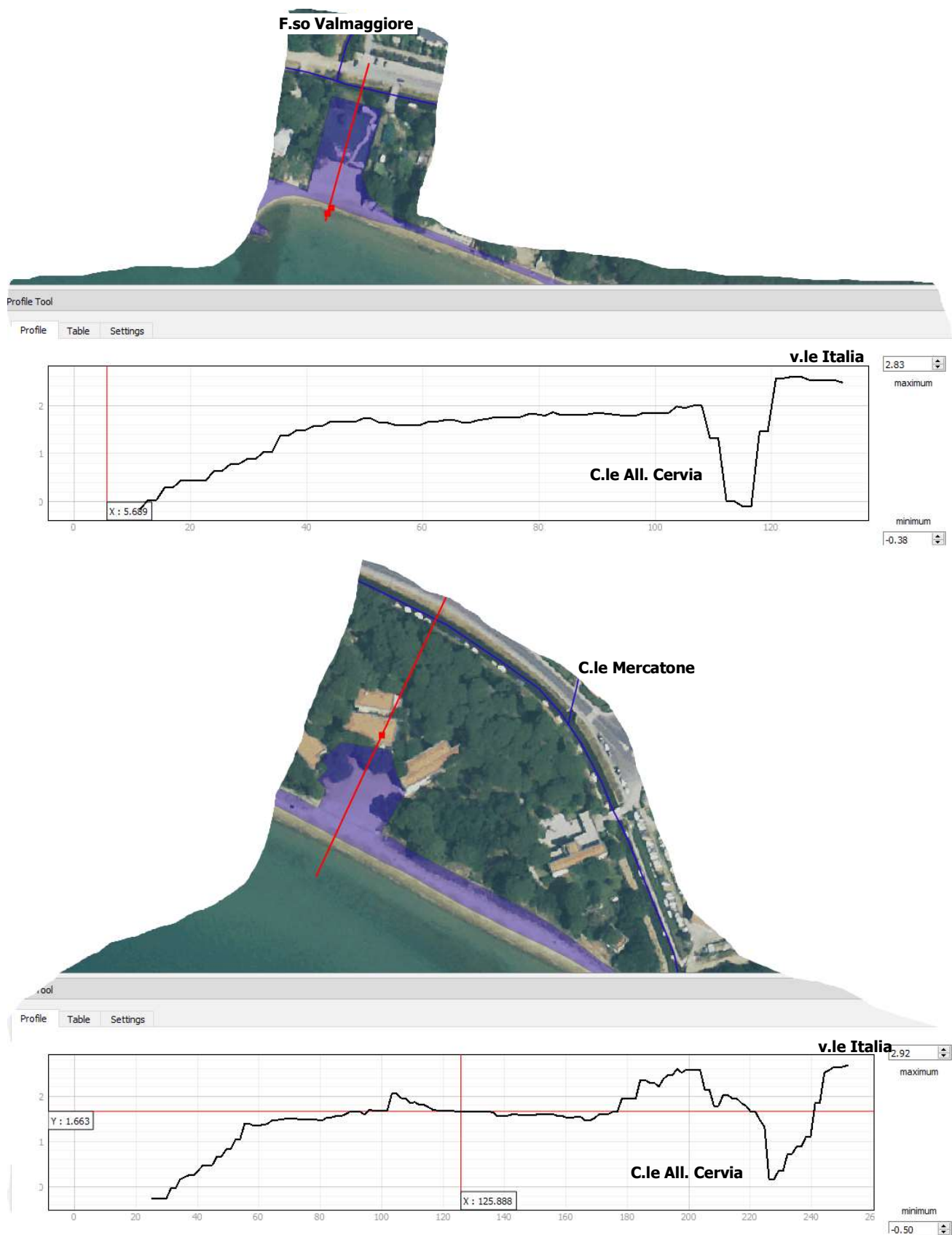


Fig. 110. Mappe delle aree soggacenti  $\eta_{100}$  (rosso) e  $\eta_{100}+1.0$  m (giallo) - DTM MATTM\_08. Sovrapposto PGRA vigente. Sopra/sotto su OF 2007/2020.

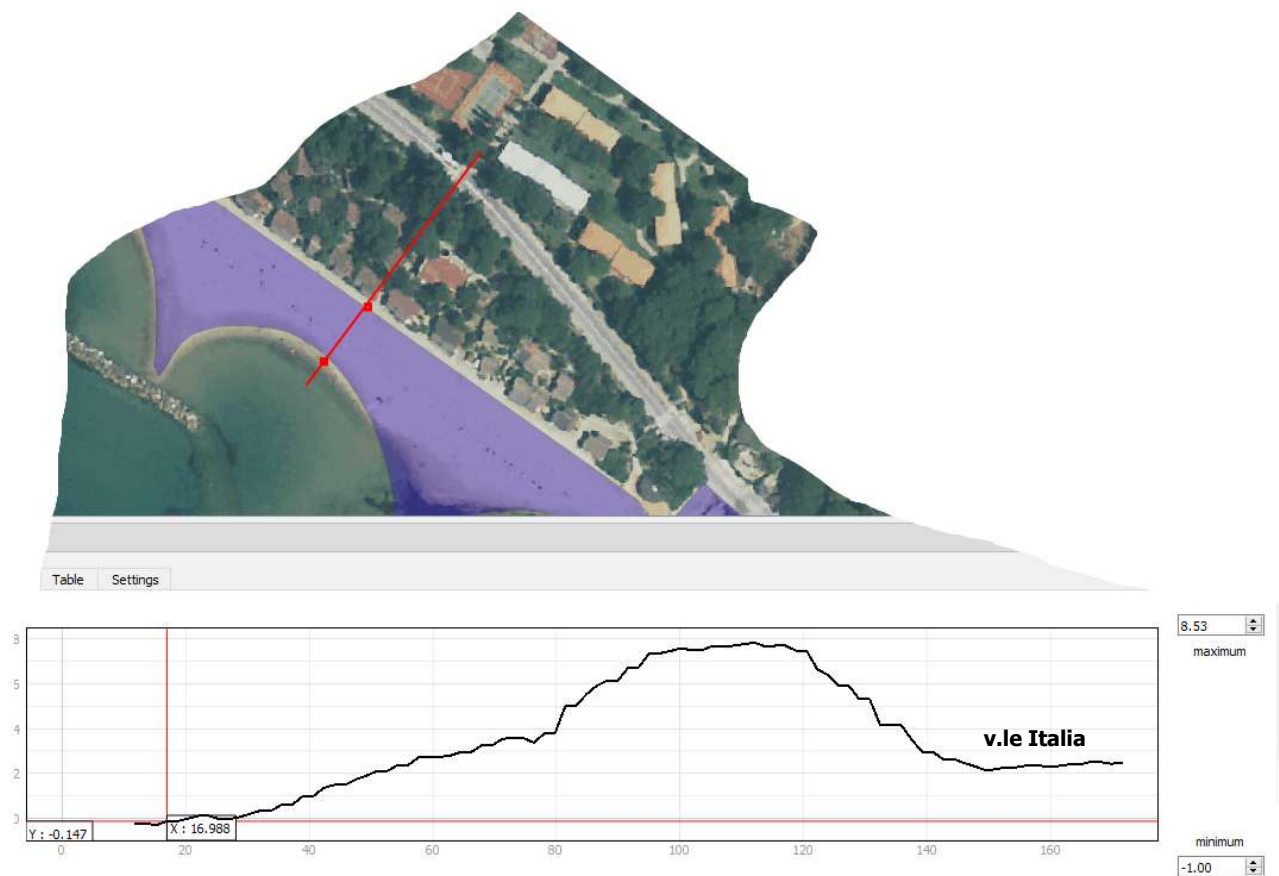
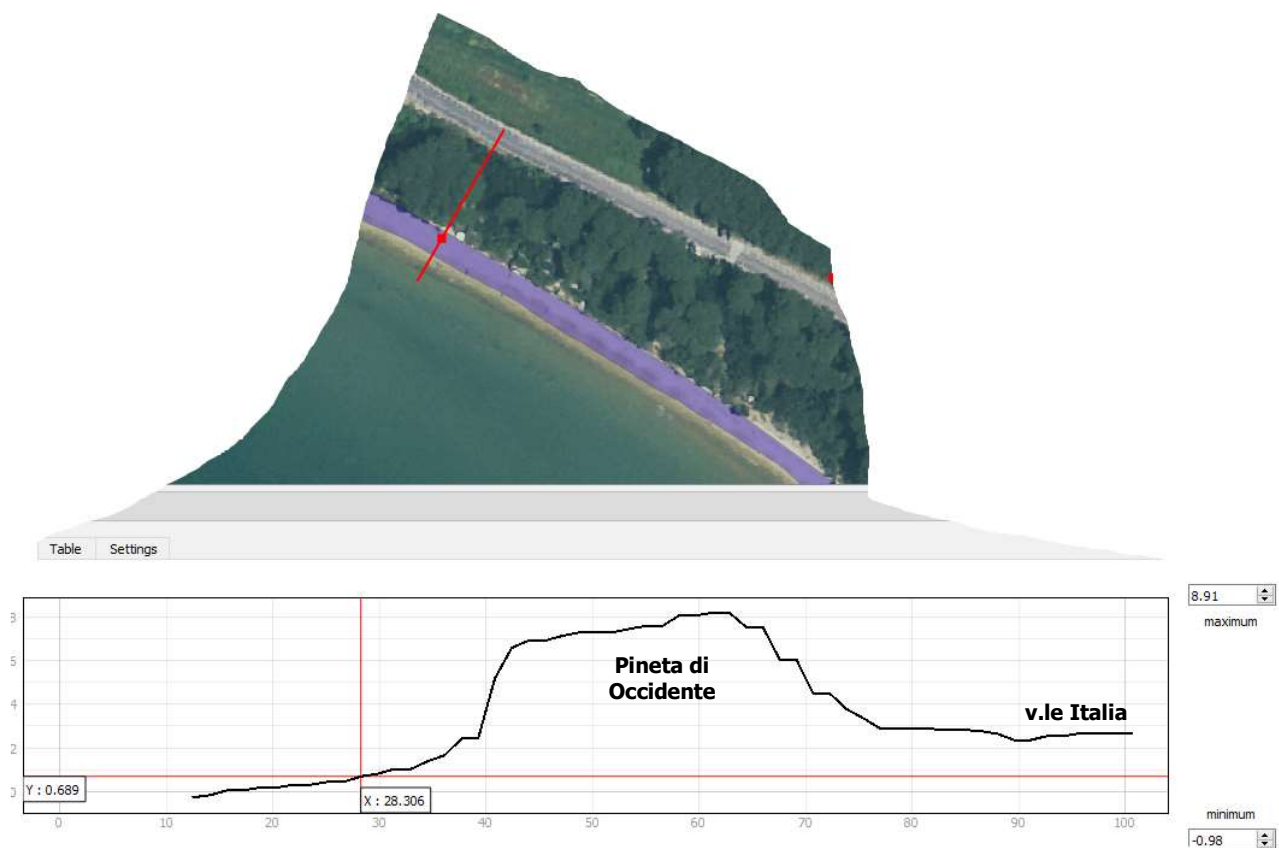
Naturalmente, le presenti considerazioni vanno intese meramente preliminari e di larga massima, nelle more del consolidamento (anche formale e sistemico) degli studi regionali in corso, e non definiscono alcuna

valutazione compiutamente quantitativa del rischio effettivo. In termini di sicurezza intrinseca da effetti diretti di fenomeni meteomarinari, la quota di riferimento può preliminarmente assumersi  $1.50+1.0=2.5^{178}$  m s.l.m.



<sup>178</sup> V.le Italia è posto a quote normalmente inferiori ( $2.0 \div 2.5$  m s.l.m.).





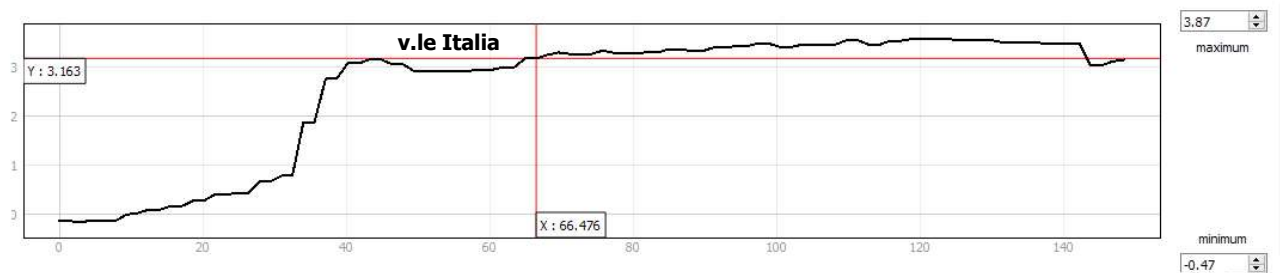
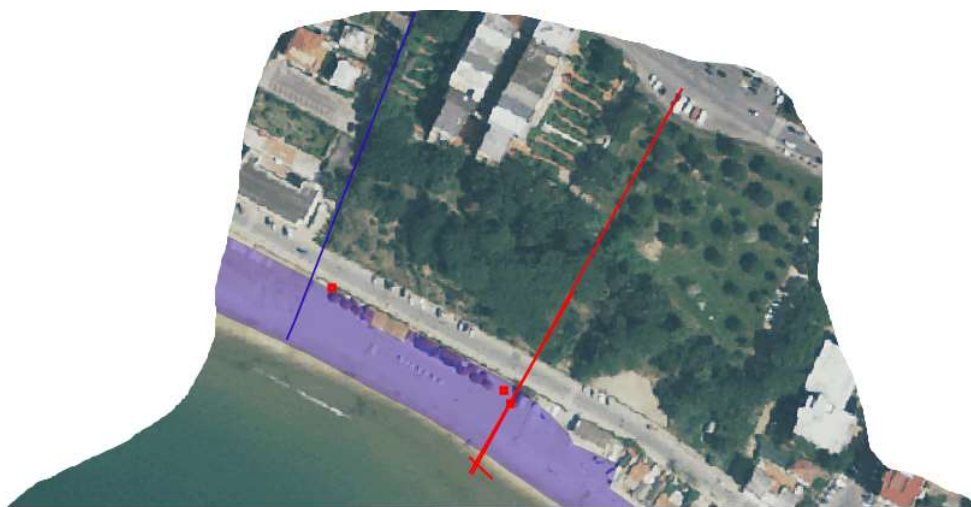
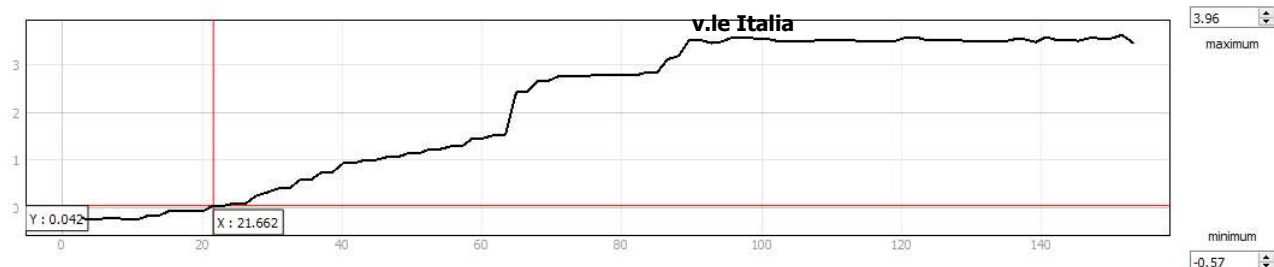


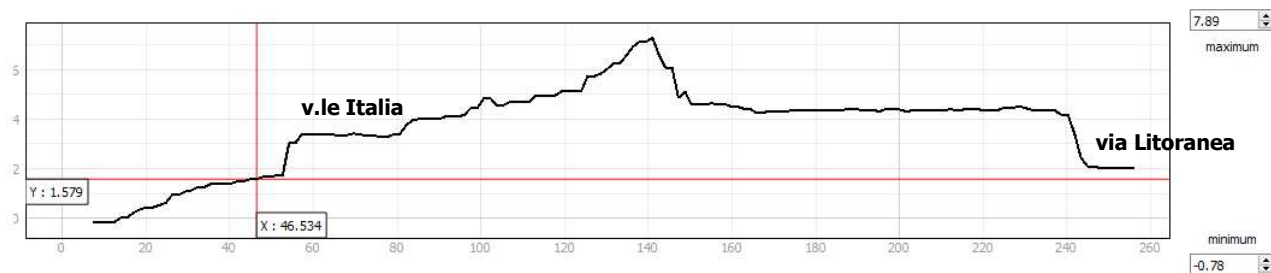


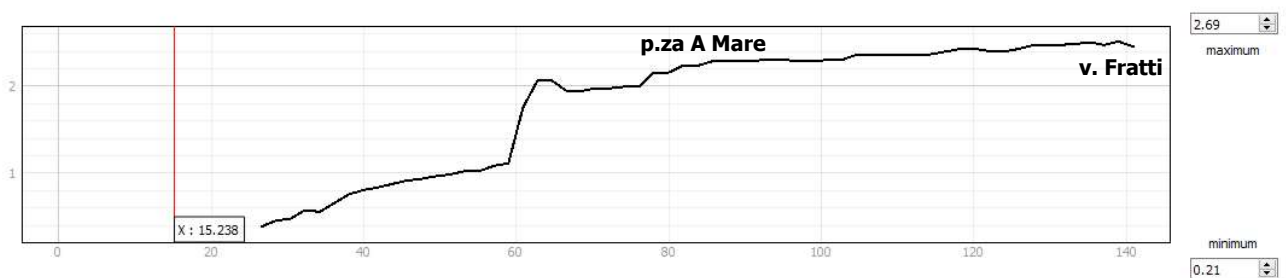
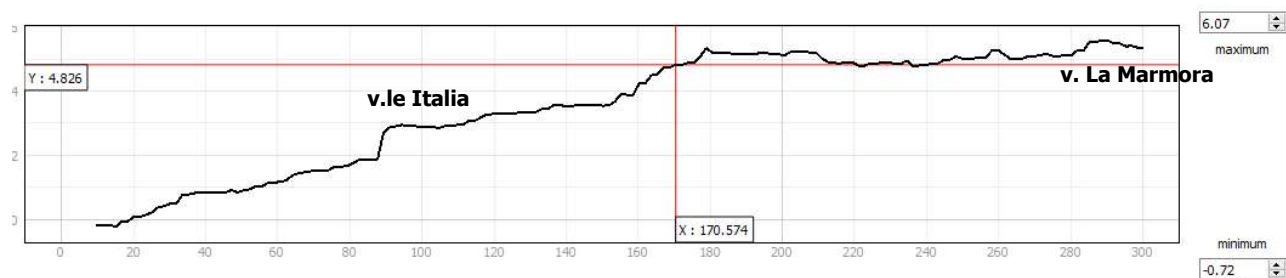
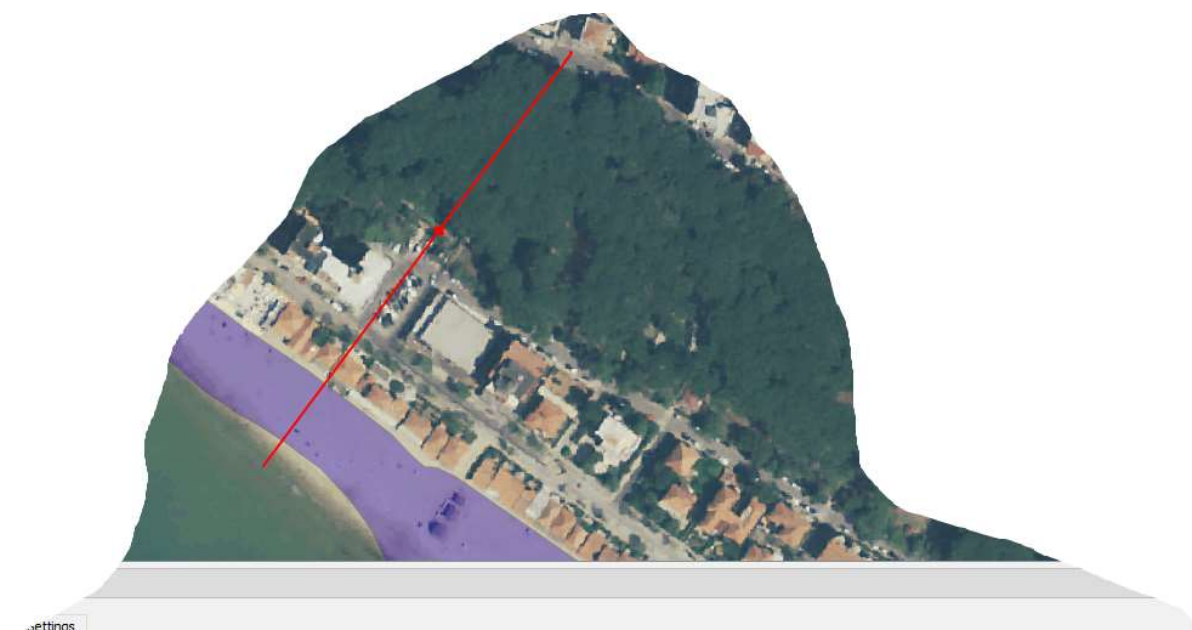


Table Settings

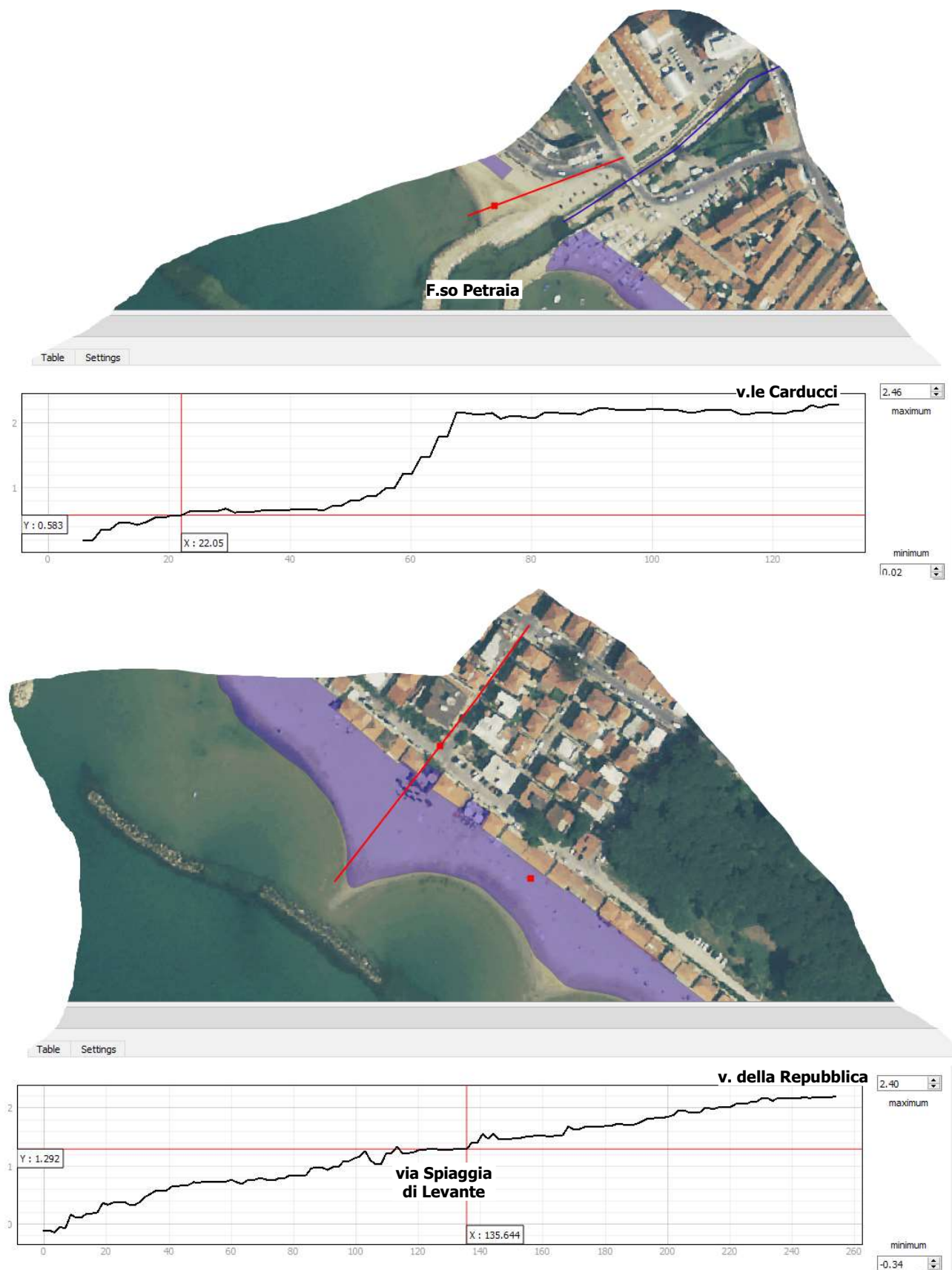


Settings









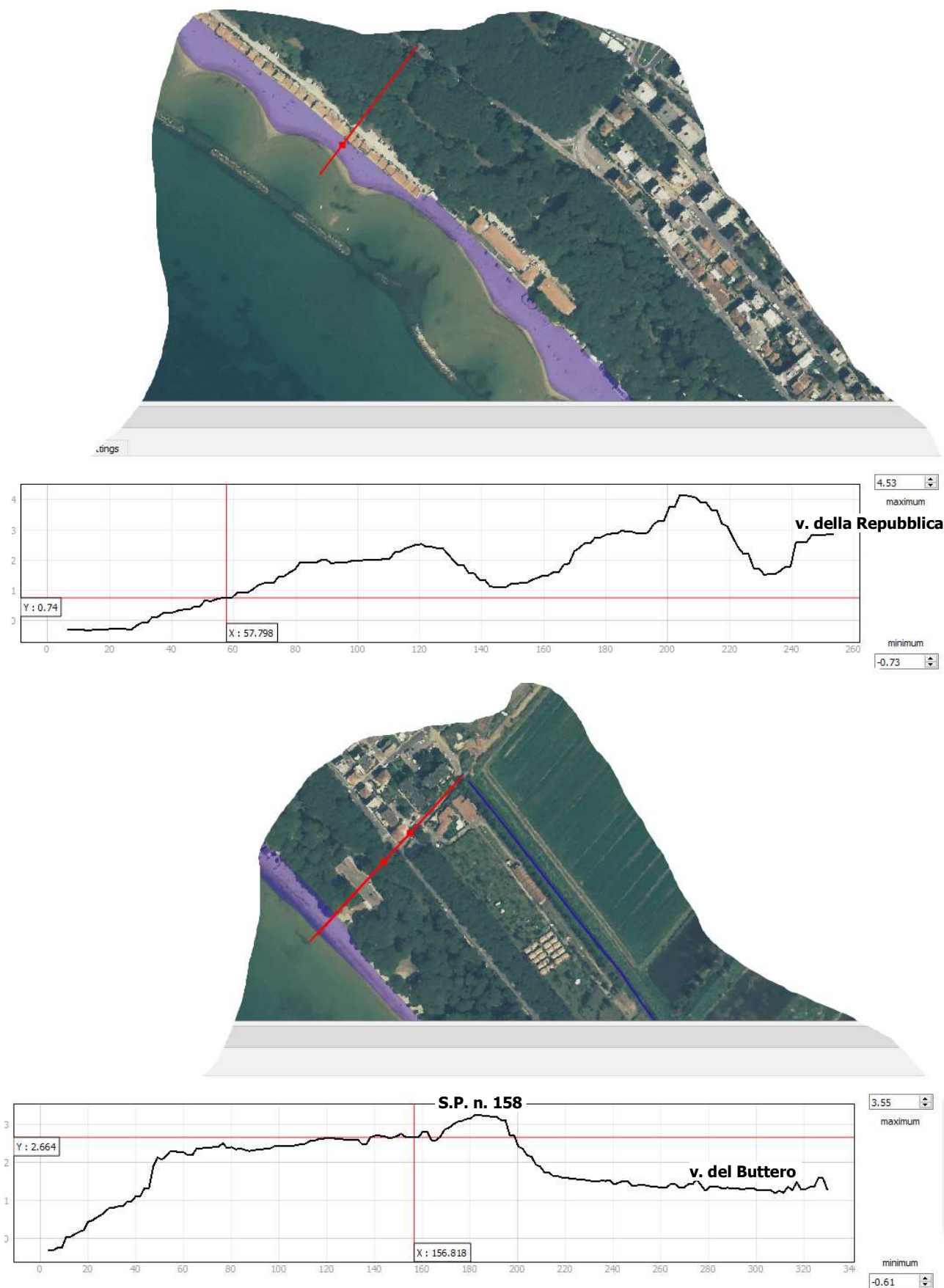


Fig. 111. Profili di spiaggia (da NW a SE) da DTM MATTM\_08.



## 4 CONSIDERAZIONI DI SINTESI E PROPOSTA DI REVISIONE DI $RET_{IDR}$ E PGRA

Il presente aggiornamento del QC idraulico di PS è stato effettuato per l'intero territorio comunale di interesse (*Capoluogo*), ri-valutando in maniera unitaria (metodica) e aggiornata (base dati e stato di fatto 2020-21) il quadro idrologico complessivo (tutti i cc.d.a.) e, conseguentemente, quello idraulico. Quest'ultimo è stato analizzato, con livelli di dettaglio coerentemente diversificati e tenendo conto delle condizioni al contorno imposte (opere di laminazione e Comuni limitrofi), per l'intero reticolo di riferimento regionale ex L.R. n. 79/12 ed alle interazioni con i principali sistemi fognari meteorici.

Obiettivi specifici, conformemente a D.P.G.R. n. 5/R/20 e relative *Direttive*, erano la qualificazione -intrinsecamente consistente con le evidenze storiche, la geometria delle reti e il quadro previsionale idrologico- della pericolosità alluvionale insistente sull'intero perimetro urbanizzato. Pur essendo elemento di importanza non secondaria, il sistema fognario non è stato qui analizzato nel dettaglio, limitandosi a concettualizzazioni di prima approssimazione.

Il sistema idraulico di Follonica è, oggi, la sovrapposizione interconnessa di 4 diversi (ma connessi) livelli formati in epoche di bonifica agraria, industrializzazione (anche di Scarlino) e urbanizzazione residenziale-turistica: *a*) regimazione a mare delle acque alte collinari (inalveamenti arginati) e regimazione delle acque basse (scoli e impaludamenti); *b*) adduzione artificiale di risorse idriche lontane (Massa M.ma) e/o lo sfruttamento locale (piccoli e medi invasi collinari); *c*) sistema fognario urbano; *d*) sbocchi a mare e dinamica costiera. Peculiarmente e non trascurabilmente, il medesimo territorio è reciso senza soluzione di continuità (salvo tombini e sottopassi) da due infrastrutture lineari *sub*-parallele alla linea di costa: S.P. n. 152 (Vecchia Aurelia) e FFS.

Dualmente, le sofferenze idrauliche storiche hanno riguardato grandi e piccole alluvioni per esondazione e/o rottura arginale (F.so Petraia, F. Pecora, F.so Valmaggione, ...), ristagni nelle zone più depresse (Salciaina-Senzuno, Acquario-Torre Mozza), allagamenti pluviali (intorno F.so Petraia), di cui la progressiva urbanizzazione ha amplificato il danno potenziale conseguente.

Tuttavia, negli ultimi due decenni, notevoli sono stati gli interventi di mitigazione del rischio idraulico sui cc.d.a. di maggiore impatto su Follonica, *i.e.* casse di laminazione (e opere correlate) su F.so Petraia e F. Pecora, che ne hanno ridotto la pericolosità nominale entro i termini normativi di compatibilità con l'attività antropica urbana ( $T_r=200$  anni). Sul fronte dei ristagni urbani, ulteriore intervento di impatto sostanziale è quello in zona Acquario, mentre risultano ancora in corso di realizzazione (e definizione progettuale) altrettanto importanti sui sistemi fognari misti in *dx* e *sx* F.so Petraia.

D'altra parte, Follonica è città ad alta densità urbana con elevato consumo di suolo nella fascia vallivo-costiera e pochi sono gli spazi residui inedificati; di questi praticamente per nessuno è influente ai fini idraulici l'eventuale trasformazione d'uso. A est rimane soltanto l'area agricolo/ortiva di saldatura tra ZI e Cassarello-Senzuno, nella zona meridiana porzioni pedecollinari a monte FFS e a ovest una più ampia fascia a monte/valle le infrastrutture lineari.

Le pericolosità residue riguardano:

- x incompleto contenimento delle piene del F. Pecora (C.le S. Simone)
- x insufficienze strutturali dei manufatti di contenimento e/o attraversamento del reticolo minore (F.so c.d. dei Poggetti, Gora e Gorello delle Ferriere, F.si Valle Onesta e Val Querceta, F.so Valmaggione)
- x soggiacenza arginale (F. Pecora, F.so Petraia)
- x rimaneggiamenti in ambito collinare (C.le Mercatone, F.so Valle Onesta e interbacini)
- x sistema fognario meteorico urbano.

Per il F. Pecora, la pericolosità residua è fortemente legata, oltre ai volumi, alla effettiva tenuta dei contenimenti arginali nell'intorno del C.le S. Simone e della S.P. n. 152 e riguarda più le infrastrutture viarie e ferroviarie che non direttamente le aree urbane.

Il sistema fognario soffre di due fragilità specifiche: *a*) promiscuità con lunghi tombamenti di cc.d.a. collinari in difetto di capacità di deflusso; *b*) difficoltà di scolo per soggiacenza. La fattispecie *a*) è quella tipica della parte centrale della fascia urbanizzata di Follonica, grossomodo compresa tra via dei Pini e la zona Acquario, mentre la *b*) è propria di tutta la *sx* F.so Petraia (Sanzio, Cassarello, Senzuno, Salciaina). La ZI -salvo approfondimenti ulteriori sul c.d. F.so dei Poggetti- è tipicamente affetta da entrambi i fattori.

Anche le pericolosità relative ai cc.d.a. minori si possono distinguere in tipologie a più alta energia e rapidità - F.si Valmaggiora e Valle Onesta-Val Querceta (tombati almeno da FFS a mare)- e più lenti ma con maggiore volume esondabile -F.so Valle dell'Orto-C.le S. Simone. Mentre i primi impattano direttamente su territorio urbanizzato, per i secondi Follonica gode ancora di una relativamente ampia area agricola che ancora ne attutisce gli effetti (limitati a sedi stradali e case isolate). Il sistema Gora e Gorello delle Ferriere è un caso particolare, attualmente caratterizzato da una incompleta riconversione a sistema di drenaggio urbano.

Tra i rimaneggiamenti collinari, certamente quello maggiormente necessitante un inquadramento/riassetto idraulico certo e definitivo è il C.le Mercatone a monte della S.P. n. 152.

Tali pericolosità sono soltanto in parte correttamente descritte nell'attuale QC comunale e PGRA; l'aggiornamento qui proposto per entrambi si ritiene integri in maniera più esaustiva le diverse pericolosità, conformemente al D.P.G.R. n. 5/R/20 e alla disciplina distrettuale.

Rimandando ad altra fase la definizione degli eventuali interventi strutturali necessari, si evidenziano due diverse misure non strutturali di preparazione e resilienza da declinare già in fase di PS: la garanzia di [almeno] non aggravio per progressiva impermeabilizzazione e la identificazione/gestione dei principali punti critici. Il primo implica l'applicazione di concetti di invarianza (singolare o comprensoriale) nelle trasformazioni territoriali e il secondo la esplicita concettualizzazione e ricomprensione nella pianificazione urbanistica, di manutenzione e Protezione Civile.

#### 4.1 ALEE SPECIFICHE RESIDUE

Come già evidenziato, in ordine alla esaustiva caratterizzazione della pericolosità idraulica a Follonica residuano alcune alee *idrauliche* (principali) relative a:

- interconnessione F.so c.d. dei Poggetti-sistema fognario ZI
- tombamenti urbani F.si Valle Onesta, Val Querceta
- assetto definitivo del *Campo da Golf* (C.le Mercatone)
- sistemi fognari meteorici
- dinamica di piena complessiva del F. Pecora a monte E80
- idrogrammi meteomarinari estremi.

Sui primi tre punti non è stato possibile risolvere le indeterminatezze causa necessità di accertamenti in campo ulteriori (Poggetti, tombamenti) e la assenza di uno stato di progetto [idraulicamente] certo (*Campo da Golf*). Entrambe le incertezze sono state gestite in senso cautelativo sia nelle corrispondenti modellazioni idrauliche sia nel successivo tracciamento delle aree allagabili (cfr. aree a valle S.P. n. 152, rispettivamente).

L'analisi dei sistemi fognari impone, invece, un ulteriore aumento del dettaglio di analisi normalmente demandato, se non direttamente alle fasi attuative, al PO<sup>179</sup>. Previa definizione (modelli idraulici 1+2-D) delle possibili interferenze con le esondazioni dei cc.d.a., si è ritenuto adeguato in questa fase limitarsi alle segnalazioni di salvaguardia relative ai sottopassi e alle perimetrazioni di prima approssimazione delle aree più critiche (*Tavv. Serie I03*).

Il problema relativo al F. Pecora viene discusso nel paragrafo successivo.

Dal punto di vista *idrologico*, i margini di incertezza maggiori riguardano:

- afflussi meteorici effettivi dalle aree urbane (via sistemi fognari), dagli interbacini misti<sup>180</sup> e sul C.le Mercatone.

Le stime generali sono già state discusse nella Parte 1A, concludendo circa una complessiva cautelatività delle stesse<sup>181</sup> ( $\{CN_{III}, \beta\}$ ,  $t$  e  $LSPP$ ), soprattutto per le durate  $>1 h$ .

#### 4.2 RET\_IDR [L.R. n. 79/12]

Dalla rassegna in fase di analisi, sono emerse alcune incongruenze con lo stato di fatto del censimento idrografico regionale  $Ret\_Idr$ , già sommariamente descritte nel § 2.3 di I01-1A in fase di perimetrazione dei

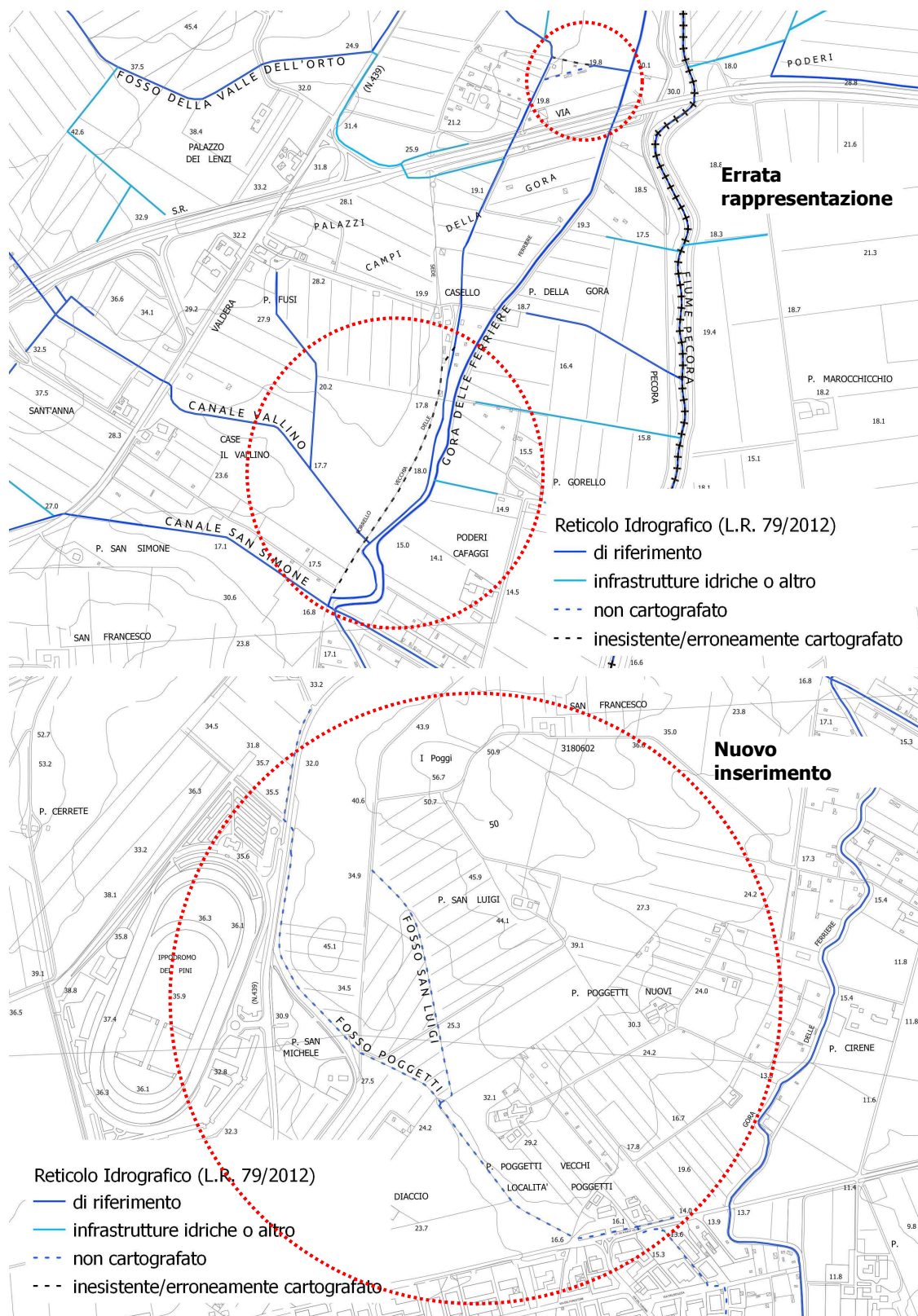
<sup>179</sup>Per il Comune di Follonica è, in effetti, in corso uno specifico approfondimento relativo alla ZI.

<sup>180</sup>Qui trascurati i primi e cautelativamente considerati i secondi (cfr. Gorello delle Ferriere).

<sup>181</sup>Analisi di eventi storici non possibile se non a scala sovracomunale e/o con analisi esplicita delle alluvioni pluviali urbane (cfr. § 2); comunque coerentemente con il QC ufficiale e storicamente utilizzato nell'area.



bacini competenti le diverse foci di calcolo. Nello specifico *shp* facente parte dell'allegato archivio GIS, cui direttamente si rimanda, sono stati puntualmente distinti (con specifico attributo) tratti consistenti, errati e mancanti, alcuni dei quali sono riportati in Fig. 112. L'istanza di rettifica al competente ufficio regionale non riguarderà l'idrografia allo stato attuale obliterata/rimaneggiata ma non ancora ufficialmente consolidata (C.le Mercatone).



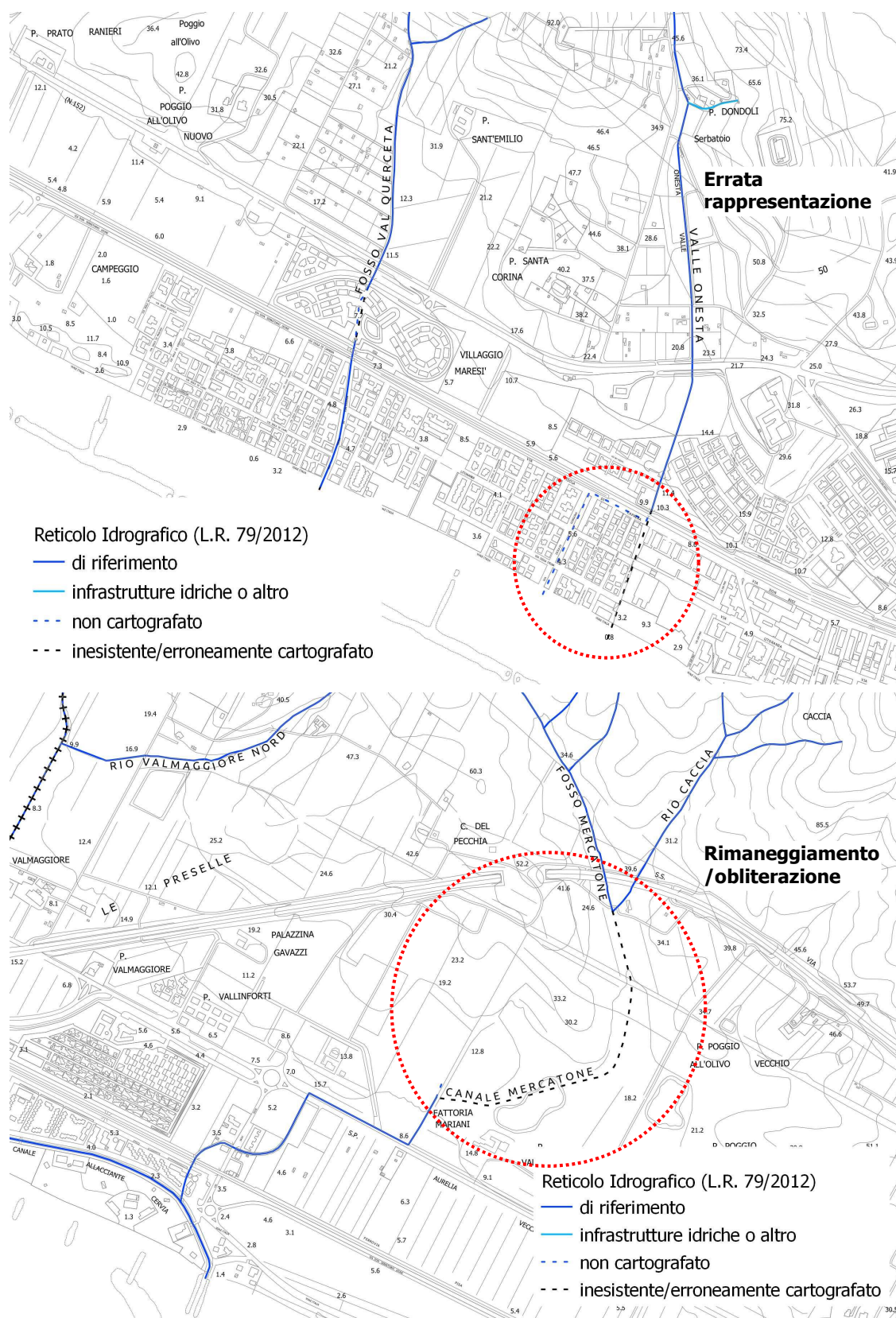


Fig. 112. Esempi di incongruenza tra SA (2021) e Ret\_Idr.

### 4.3 PGRA

La proposta di modifica dell'attuale PGRA si basa, tra gli altri, sui seguenti presupposti particolari:

- opportunità di omogeneità, riconoscibilità e documentabilità, da cui la proposta relativa anche ad aree non sostanzialmente variate, con unica eccezione le pertinenze del F.so Petraia



- permanenza, nonostante i recenti lavori in loc. Scopaione, del filone di corrente fuori alveo in  $dx$  del F. Pecora provenienti da monte della E80 (raccordo a nord)
- stato idraulicamente indefinito sul C.le Mercatone a monte della S.P. n. 152 (area *Campo da Golf*) (Fig. 116)
- allacciamento del F.so c.d. Poggetti al Gorello delle Ferriere.

Per quanto riguarda il F. Pecora e i recenti interventi dello Scopaione, non è stato possibile acquisire documentazione chiara ed inequivocabile circa l'effetto complessivo, a monte/valle e  $dx/sx$ . Non pienamente coerenti risultano i  $QC$  dei limitrofi Comuni di Scarlino e Massa M.ma (aggiornati successivamente agli interventi)<sup>182</sup> (Fig. 113). D'altra parte, già in 4C02 la questione della continuità monte/valle E80 appare irrisolta (Fig. 114).

L'ipotesi assunta nelle modellazioni è, come detto, la assenza di [difficilmente quantificabili a priori] filoni di corrente esondata dal F. Pecora a monte della E80, comunque ritenendola di entità tale da non modificare sostanzialmente topologia, estensione e classi di pericolosità<sup>183</sup>. Sulla base di tale assunto, il raccordo al PGRA vigente avviene a monte della E80<sup>184</sup> (Fig. 115).



<sup>182</sup> Nè in verità nel PGRA ove dall'ultimo aggiornamento parrebbe mancare la P3 di cassa (sx).

<sup>183</sup> Viceversa, sui battenti -almeno nell'intorno della E80 e  $T_r=30$  anni- potrebbe essere assunta anche qualche maggiore cautela. D'altra parte, tale alea non pare maggiore di altre già discusse sugli effetti complessivi degli interventi c.d. cassa Scopaione ...

<sup>184</sup> Cfr. aggiornamento del PGRA per il Comune di Scarlino, dic. 2021.

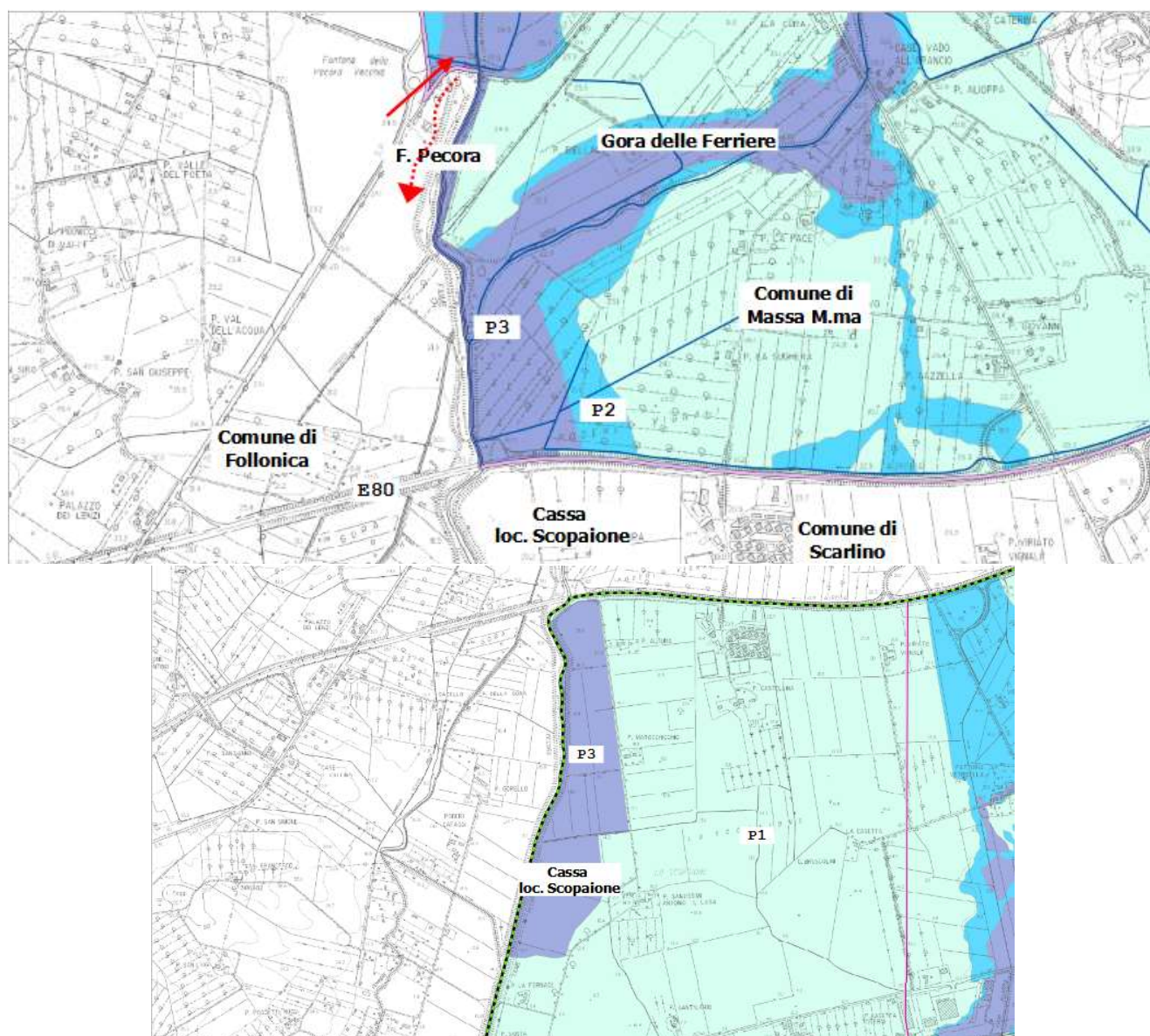


Fig. 113. PGRA vigente al 11.21 e 03.22 in loc. Scaione e QC Comune di Scarlino [tratta da QC 13a di PO, rev. feb. 2019] e Massa M.ma [tratta da G11-L di PSICM20<sup>185</sup>, rev. 2020].

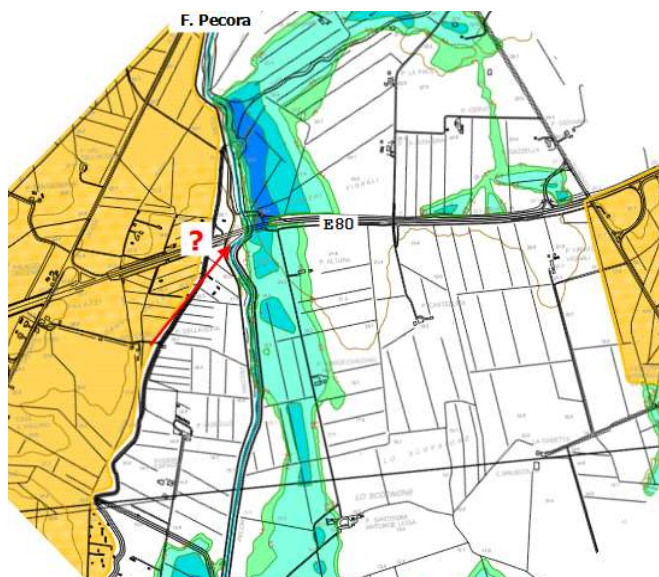
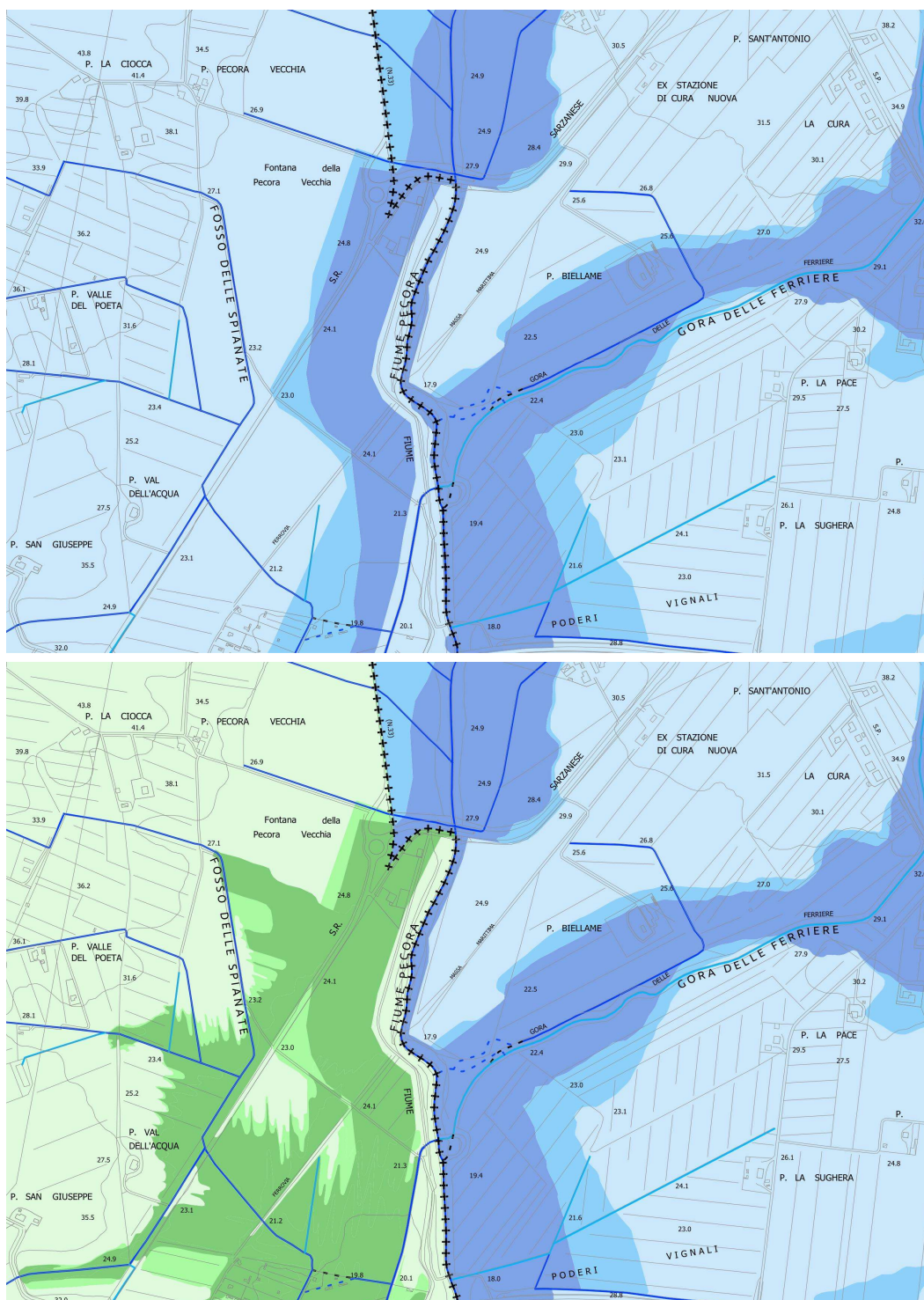


Fig. 114. Aree allagabili in loc. Scaione secondo 4C02 [tratta da Tav. 9.1, rev. feb. 2002].

<sup>185</sup>Piano Strutturale Intercomunale delle Colline Metallifere, adottato dal Comune di Massa M.ma con D.C.C. n. 4 del 25.03.21.





vigente e in basso -con tonalità di verde- la modifica).

Per il C.le Mercatone, la proposta di modifica **PGR**A (Fig. 116) si basa sostanzialmente sull'assetto morfologico attuale (con buona parte di **RetIdr** obliterato), presupponendone la legalità, non assegnando alcuna funzione regolatoria delle piene da parte degli invasi a servizio del *Campo da Golf* e assumendone la tracimazione non controllata (scenario di analisi **SA**).





Fig. 116. PGRA vigente (sopra) e proposto (sotto, in tonalità di verde) in loc. Campo da Golf-Acquario-C.le Mercatone.



Anche al limite comunale di Piombino (F.so Valmaggione), i confronti non risultano agevoli, posta la permanenza di estese aree P2 di incerta decifrabilità. Sebbene esterno al Comune di Follonica, viene proposto un perimetro di raccordo cautelativo e coerente con l'approccio modellistico adottato che, a partire dalla S.C. di Pappasole a Torre Mozza, a valle della E80 assume integralmente i nuovi risultati, mentre a monte integra soltanto le P3 di F.so Valmaggione<sup>186</sup> (ad oggi totalmente assenti) (Fig. 117).

In generale, la proposta di revsione PGRA riguarda soltanto le perimetrazioni P3 e P2, rimanendo invariata la P1.

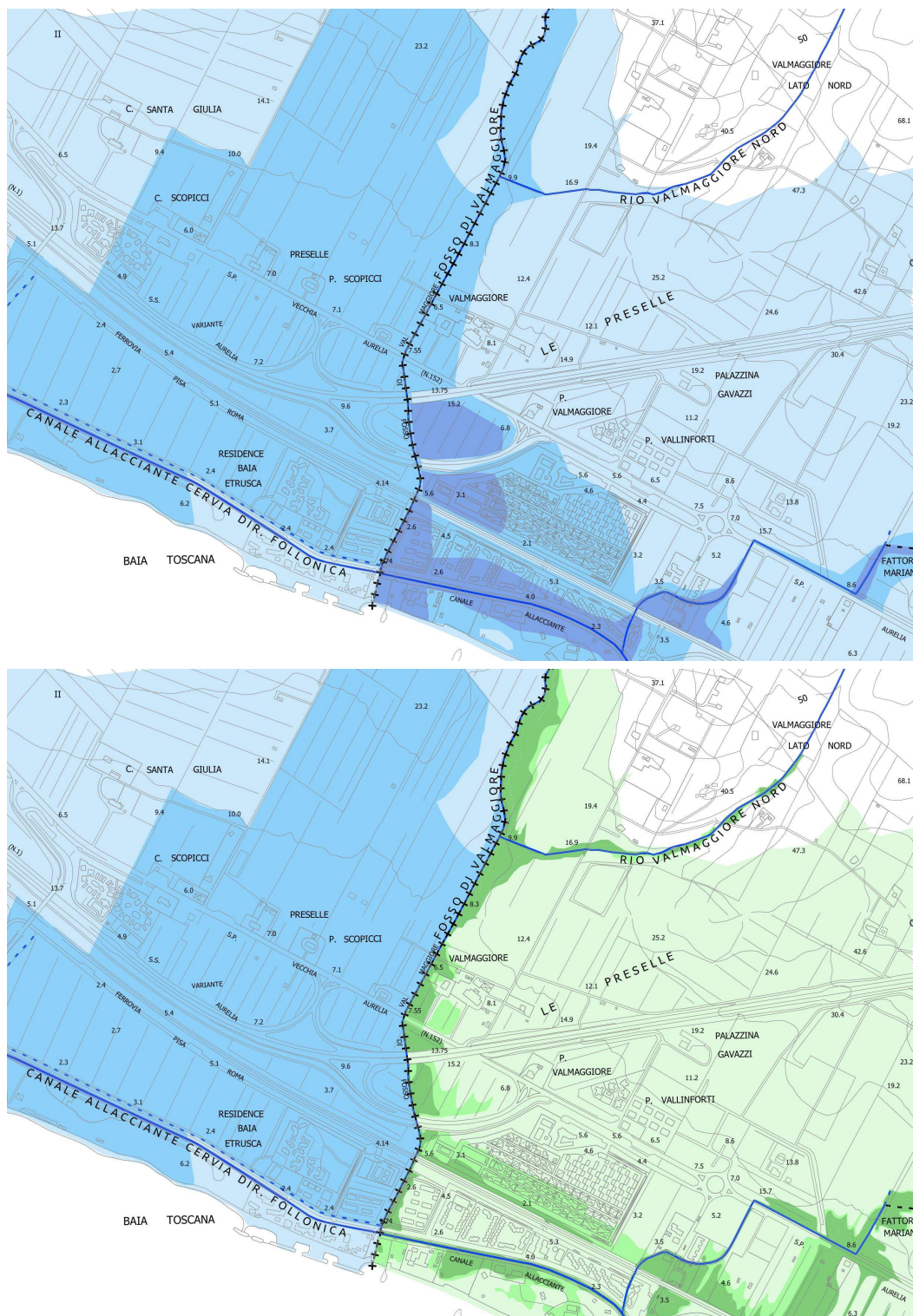


Fig. 117. PGRA vigente (sopra) e proposto (sotto, in tonalità di verde) al confine dei Comune di Follonica e Piombino - F.so Valmaggione e C.le Cervia.

<sup>186</sup> La P2 è pressoché interamente assorbita da una più vasta area già PGRA, di significato/motivazione non ben intellegibile.

Per il dominio costiero non viene proposta alcuna modifica alle perimetrazioni vigenti (cfr. § 3).

Per i relativi elementi grafici e geografico-informativi si rimanda alle Tav. Serie PI02 ed all'archivio GIS allegato.

## 5 SINTESI DELLE CRITICITÀ STRUTTURALI E STATO DI PROGETTO

Le principali criticità strutturali risultano le seguenti<sup>187</sup>:

- x difetto di contenimento dei maxWS del F. Pecora [a monte della E80? e ] tra C.le San Simone e S.P. n. 152, con residue tracimazioni 200-ennali anche in sx (Comune di Scarlino)
- x inefficienza del tratto emissario del F.so Poggetti
- x difetto di contenimento e capacità di deflusso di Gora e Gorello delle Ferriere intorno alla confluenza e in approccio al F.so Petraia
- x incorenza relativa e capacità di deflusso insufficiente di almeno i tombini urbani dei F.si Valle Onesta e Val Querceta
- x destrutturazione del C.le Mercatone a monte della S.P. n. 152
- x inadeguatezza del tratto di immissione nel C.le Cervia del F.so di Valmaggione.

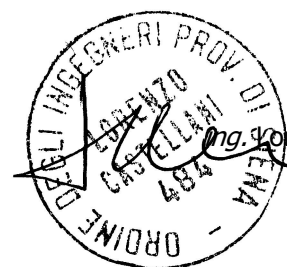
Gli [eventuali] stati di progetto ai sensi di D.P.G.R. n. 5/R/20 e L.R. n. 41/18 sono demandati alla fase di PO, tuttavia possono farsi alcune considerazioni preliminari:

- ✓ per la gestione della pericolosità residua del F. Pecora con eventuali sovralti delle arginature [a monte della E80? e ] del C.le S. Simone occorrono valutazioni specifiche sugli idrogrammi di calcolo esplicitamente comprensive del comportamento della cassa Scopaione al variare di  $T_r$  e durata di pioggia
- ✓ il sistema Gorello-Gora delle Ferriere dovrebbe essere valutato unitariamente, con esplicita considerazione della effettiva funzione di scolo meteorico delle acque urbane e del F.so Poggetti nonché delle misure di valorizzazione ambientale<sup>188</sup>; data anche la preziosa (anche per il F.so Petraia) dotazione idrica della Gora, più che una problematica essa pare un'opportunità
- ✓ per i tombamenti dei F.si Valle Onesta e Val Querceta vanno definitivamente accertate le condizioni attuali di efficienza, unitariamente al sistema fognario allacciato garantendone una migliore manutenzione; la problematica pare complessa e, in termini di C/B, non sono escluse possibilità limitate alla gestione del rischio residuo
- ✓ l'attuale dissesto indotto da *Campo da Golf* dovrebbe essere risolto quanto prima, con precise condizioni e responsabilità
- ✓ il F.so Valmaggione all'innesto nel C.le Cervia costituisce la maggiore pericolosità diretta in termini energetici
- ✓ anche in quanto collegata ai cc.d.a. tombati, la risoluzione/gestione delle problematiche più pluviali che alluvionali -sistema fognario meteorico, tombini S.P. n. 152 e FFS, invarianza (non aggravio) delle trasformazioni territoriali e resilienza- pare la priorità generale per la città.

Ovviamente demandata alla pianificazione sovracomprenditoriale ogni valutazione in ordine al dominio costiero e data per scontata l'acquisizione nel *Piano di Protezione Civile* del nuovo QC.

=====

Prato, ottobre 2021, rev. aprile 2022

 Ing. Lorenzo Castellani

### Appendice

#### A. Note sui modelli idrologico-idraulici

<sup>187</sup> Per il F.so Petraia si rimanda al QC ufficiale.

<sup>188</sup> Compresa la eliminazione dei residui scarichi non depurati.



## APPENDICE A. NOTE SUI MODELLI IDROLOGICO-IDRAULICI

I modelli idrologico e idraulici allegati alla presente sono la fonte originale delle valutazioni e elaborazioni di sintesi riportate nelle Tavv. grafiche. Per il corretto utilizzo è necessario mantenerne la struttura di archiviazione data ed utilizzare le versioni *software* 6.1 di RAS e 4.9 di HMS.

Il *setting* dei modelli è definito per quanto possibile in via unitaria, ovvero con le medesime parametrizzazioni per tutte le simulazioni, che, pertanto, non necessariamente sono le più efficienti in termini di tempo di calcolo<sup>189</sup> (es. FLCE<sup>190</sup>). Alcuni parametri possono, inoltre, essere specifici, senza tuttavia alterare la coerenza dell'approccio complessivo.

Le codifiche idrologico-idrauliche sono coerenti e autoesplicative. Per la geometria fluviale il campo di descrizione riporta la natura (S=rilevata a terra; R=ricostruita per interpolazione e/o interpretazione da altre fonti). Tutte le sezioni non interpolate sono utilizzate nella generazione di DEM\_k, il cui riferimento plano-altimetrico cardinale è la copertura Lidar MATTM/RT (2008/10/16). Gli oggetti LS hanno codifica dispari se lato sx e pari se dx.

I modelli idraulici sono utilizzabili anche per altri scenari idrologici, semplicemente modificando le *path* radice nelle finestre di definizione delle condizioni al contorno. Analogamente per qualunque altro settaggio, tenendo tuttavia presente che:

- la stabilità di ogni singola simulazione può richiedere la modifica di quanto assunto per gli scenari già elaborati (passo di calcolo, tolleranze, confluenze, HTab, modifiche alla *mesh*, metodo e parametri LS, ....)
- la *mesh* di calcolo 2-D non è automaticamente riproducibile e, dunque, qualunque ri-definizione comporta la necessità di ulteriore verifiche/lavoro di coerenza geometrica con gli oggetti idraulici 1 e 2-D (LS, IC, BC, ...); cionondimeno, essa è ampiamente migliorabile dal punto di vista dell'efficienza di calcolo (es. diverse perimetrazioni e collegamenti, maggiori  $\Delta X/Y$ +*breaklines*, filtraggi ulteriori vegetazione, ....)
- eventuali utilizzi per valutazioni specifiche relative all'area a valle della cassa di colmata del F. Pecora (qui non di interesse e ininfluenti per il Comune di Follonica) necessita affinamenti del modello geometrico (manufatti F.so Fico, DEM, collegamenti, ....) e idrologico (idrogrammi BC, ..)
- permangono alcuni *bugs* del *software*, documentati alla fonte.

Alcune instabilità numeriche residuano localmente soprattutto negli idrogrammi di portata, tuttavia insignificanti purché correttamente interpretati. Gli errori di bilancio volumetrico globale sono contenuti al più in pochi punti percentuali laddove correttamente calcolati da HEC (ad es. non per FLNO a causa della posizione delle BC modellate diversamente -ma equivalentemente- rispetto a FLSE e FLCE, ...) e/o significativi (non per l'area 2-D di mero collegamento in FLCE).

=====

<sup>189</sup>Comunque dell'ordine di ore.

<sup>190</sup>L'area 2-D 2D\_VON\_01 è oggetto meramente di collegamento introdotto successivamente; schema non ottimale ma efficace.