



CITTA' DI FOLLONICA
Provincia di Grosseto

NUOVO PIANO STRUTTURALE
FOLLONICA 2035

**IO1
1A**

Relazione Idrologica

scala -

aprile 2022

Sindaco
Andrea Benini

Ufficio di Piano
Elisabetta Berti
Rita Monaci
Fabio Ticci

Dirigente
Domenico Melone

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

*Responsabile del
procedimento*
Elisabetta Tronconi

Aspetti agronomici
Fausto Grandi
Stefano Bologna

*Garante dell'Informazione e
della Partecipazione*
Noemi Mainetto

Aspetti geologici
Massimo Marrocchesi

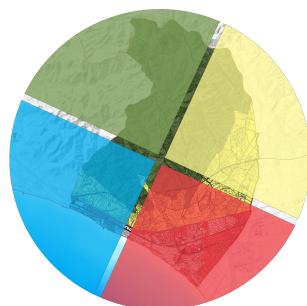
*Collaborazioni
intersettoriali*
-

Aspetti idraulici
Ass. Prof. iIDeA
Lorenzo Castellani
Antonio Bastianacci

Ufficio edilizia privata
Luisa Magliano
Riccardo Fanti

Aspetti archeologici
THESAN - Studio Associato
di Archeologia

Ufficio lavori pubblici
Alessandro Romagnoli



INDICE

INDICE.....	1
PREMessa.....	2
1 AREALE E IDROGRAFIA DI INDAGINE: ASPETTI SPECIFICI E APPROCCIO METODOLOGICO.....	4
1.1 TERRITORIO E IDRAULICA.....	4
1.2 DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE E STATO DI FATTO ATTUALE.....	128
1.3 CRITICITÀ RESIDUE MANIFESTE.....	129
1.4 DETERMINAZIONI METODOLOGICHE PRELIMINARI.....	133
2 ANALISI IDROLOGICA.....	134
2.1 QC PREGRESSO E ESIGENZE DI OMOGENEITÀ EX D.G.R. N. 166/20 E ALL. 3 DdP PGRA.....	134
2.2 MODELLISTICA.....	135
2.2.1 Specifiche essenziali.....	135
2.2.2 Strati informativi di base e CN.....	138
2.2.3 Analisi di evento e LSPP.....	144
2.2.4 Settaggi e scenari di progetto.....	157
2.3 RET IDR L.R. N. 79/12 E S.M.I.....	169
2.4 CONFRONTO CON ALTRE STIME UFFICIALI E CONCLUSIONI.....	171

PREMessa

La presente analisi idrologico-idraulica è redatta a supporto della **Variante** del quadro conoscitivo e prescrittivo idraulico al **Piano Strutturale [vPS]** 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. 166/20¹.

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] 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, CdB5TC², 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 meteomarini (alluvione costiera) si è fatto direttamente riferimento al QC regionale/distrettuale.

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

Gli elaborati di analisi idrologico-idraulica sono pressoché 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 idraulici effettuati. Dal punto di vista idrologico, invece, nulla è variato in termini di metodica e valutazioni numeriche [cfr. anche **Nota AdDAS prot. n. 8277 del 22.10.21**]. Della ottemperanza a quanto richiesto nella **Nota GC prot. [...]N.060.020 del 08.02.22**³ viene dato puntualmente conto nel **§ 0.1 della Parte B**. L'elenco definitivo è il seguente:

Documenti [#(1+1)+5]

- I01-1A/B Relazione Idrologico [Parte A] -Idraulica [Parte B]
- I01-2A Risultati Modellazione Idrologica
- I01-2B Risultati Modellazione Idraulica Corsi d'Acqua - Modello Idraulico Follonica N-O (FLNO)
- I01-2C Risultati Modellazione Idraulica Corsi d'Acqua - Modello Idraulico Follonica Centro (FLCE)
- I01-2D Risultati Modellazione Idraulica Corsi d'Acqua - Modello Idraulico Follonica S-E (FLSE)
- I01-3 Allegato Rilievi Celerimetrici Integrativi⁴ - 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 Valmaggiore, 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

¹Deliberazione 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".

²Consorzio di Bonifica 5 Toscana Costa.

³Facente 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.

⁴Comune 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 Valmaggiore, 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 Valmaggiore, 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 Valmaggiore, 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 Valmaggiore, 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, Fiso, 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 Valmaggiore, 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**.

1 AREEALE E IDROGRAFIA DI INDAGINE: ASPETTI SPECIFICI E APPROCCIO METODOLOGICO

1.1 TERRITORIO E IDRAULICA

Il territorio di Follonica *Capoluogo* (Fig. 1) è idraulicamente complesso, derivando dalla sovrapposizione - su area largamente a scolo condizionato per soggiacenza naturale- di attività di bonifica (padule di Scarlino a SE e di Torre Mozza a NW), sfruttamento della risorsa idrica a fini agricolo-industriali (Gora delle Ferriere, ...), infrastrutturazione pesante (FFS, *Aurelia Vecchia*, ...) e urbanizzazione ad alta densità edificatoria (stretta fascia costiera).



Fig. 1. *Inquadramento idrografico-territoriale - Follonica Capoluogo* [tratta da GoogleEarth®].

Esso è, pertanto, esposto a fenomeni alluvionali fluviali sia brevi e di forte intensità (cc.d.a. collinari con sbocco diretto a mare e sistema fognario) sia medio-lunghi di elevata intensità e/o volume complessivo tipicamente condizionati dai livelli a mare (sistemi F. Pecora e C.le Allacciante Cervia e sistemi fognari collegati), tanto per esondazione diretta quanto per ristagno e soggiacenza arginale. La parte costiera, già da anni soggetta ad arretramento per erosione, è inoltre soggetta ad allagamento per fenomeni meteomarini.

Si descrivono di seguito, brevemente, le caratteristiche dei principali sistemi idraulici interferenti con il nucleo urbano di Follonica, da SE a NW, demandando per ulteriori dettagli alla Parte B-Idraulica.

F. Pecora a valle della cassa Scopaione (E80) e Controfossa Destra

Il F. Pecora è senz'altro il principale c.d.a. dei Comuni di Follonica-Scarlino e deve il proprio assetto attuale a importanti opere di inalveazione effettuate nel corso della bonifica integrale del Padule di Scarlino. Nel tratto vallivo, posto al confine tra i due Comuni, è interamente arginato con opere classificate di II categoria. Tralasciandone descrizioni di dettaglio (cfr. QC ufficiale 4C02, EC18 e GF19), il fiume è stato recentemente oggetto delle ulteriori opere di regimazione delle piene in loc. *Scopaione*, immediatamente a valle della E80, che ne ha drasticamente ridotto la pericolosità, evitando tracimazioni arginali sino $T=200$ anni [EC18].

Anche le acque basse e, più in generale, i cc.d.a. minori hanno subito nel tempo variazioni di assetto, sia per ragioni di bonifica e sicurezza sia per lo sfruttamento della risorsa a fini industriali⁵, che ne determinano tuttogi una complessità difficilmente comprensibile altrimenti. A valle della E80, il F. Pecora non riceve altri tributari di acque alte, fatto salvo il sistema Valle degl'Orti-Vallino-S. Simone in dx che, sottopassando la Gora delle

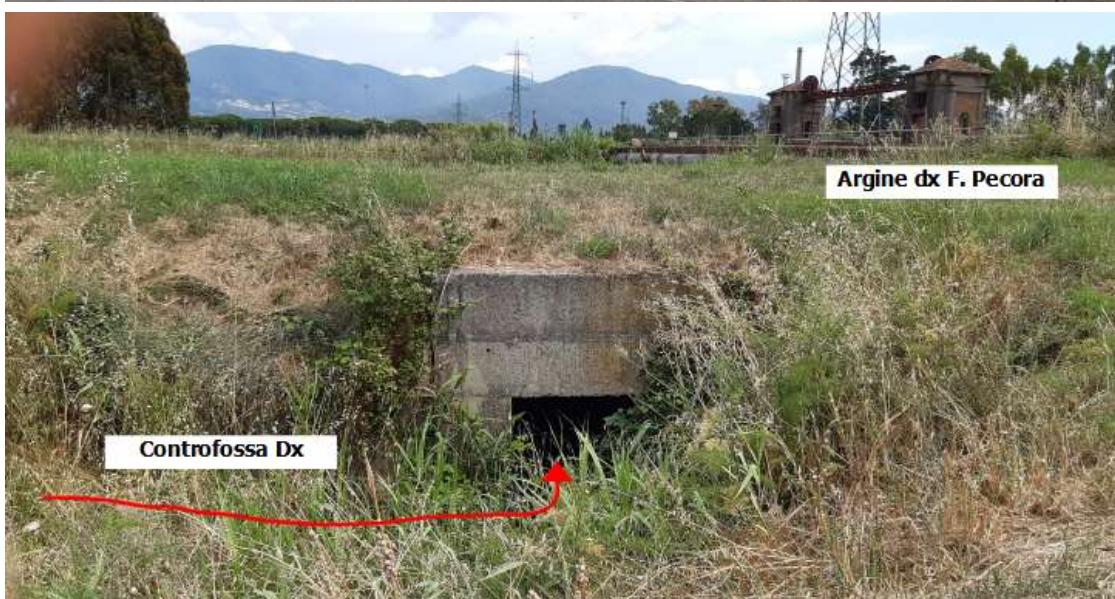
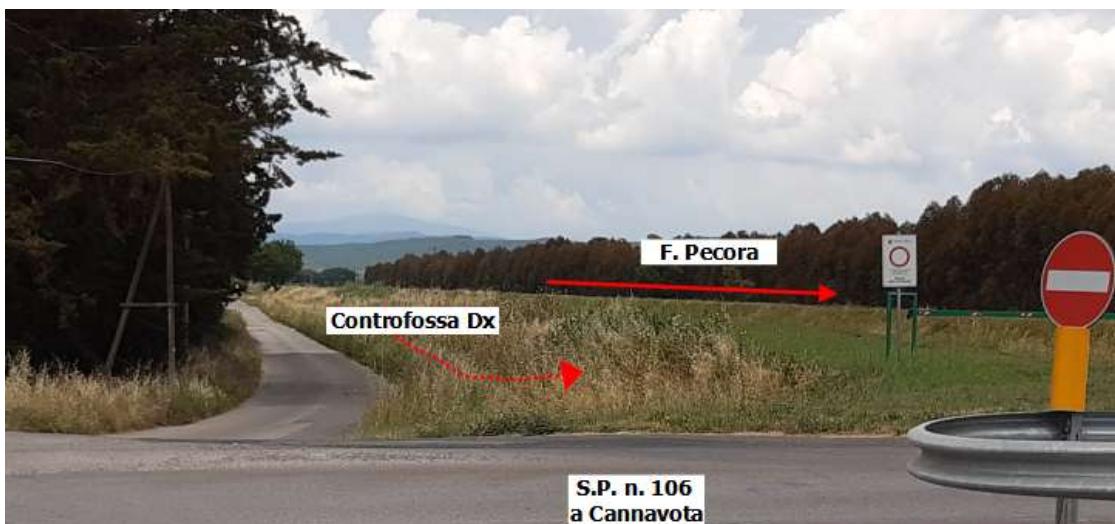
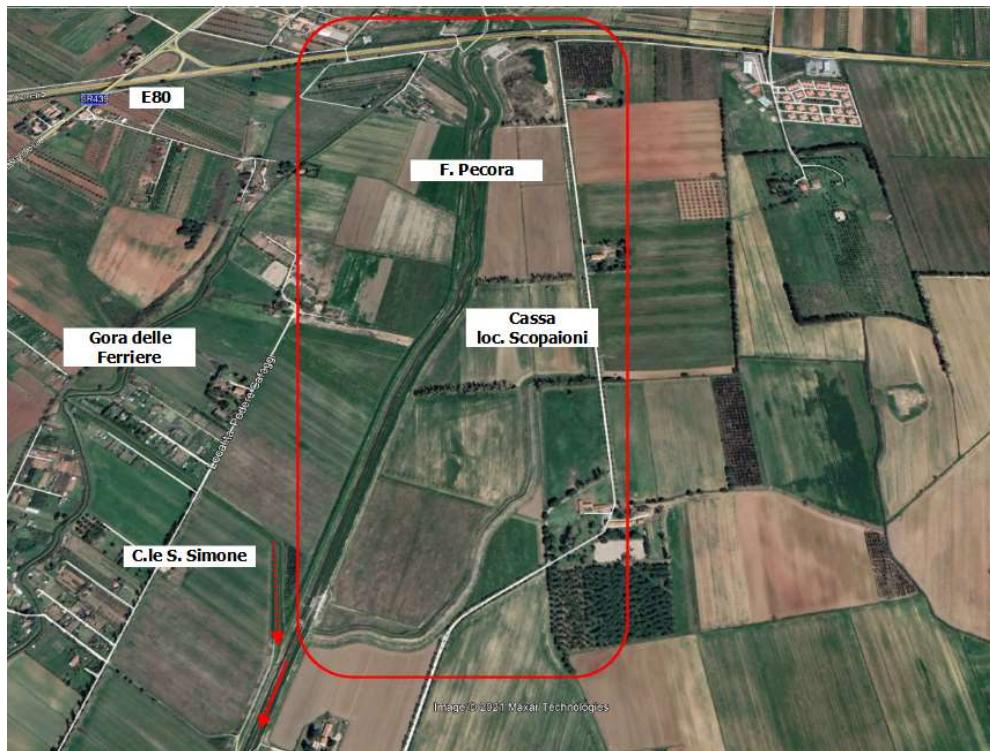
⁵In particolare il Casone di Scarlino e la Ferriera di Follonica.

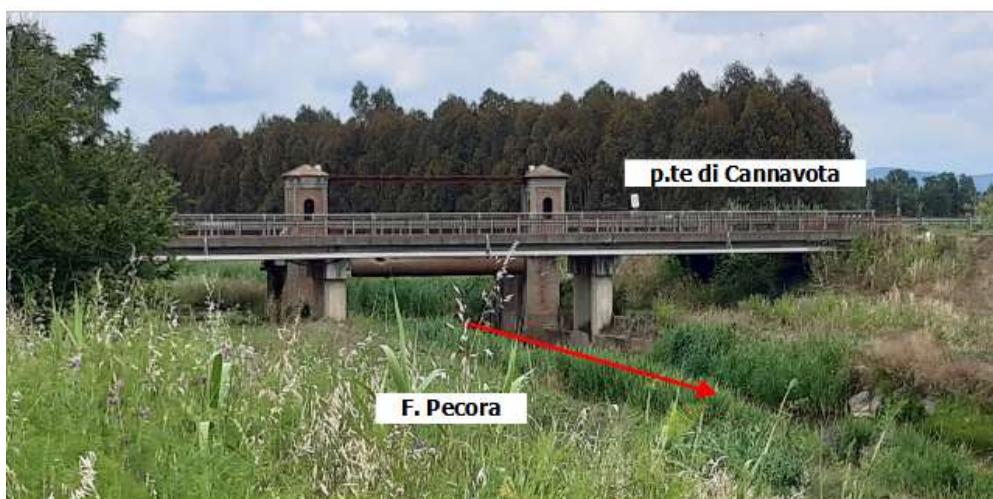
Ferriere, è stato in tempi recenti ricondotto al fiume. Sempre da *dx*, ad esso afferiscono anche le acque basse comprese tra Gora e fiume⁶ nella porzione a monte del ponte di Cannavota (Controfossa *Dx*).

L'ulteriore immissione, F.si del Fico-Salciaina, avviene già nel canale di sbocco a mare. Evidentemente, tutti tali sistemi sono in parte (S. Simone) o del tutto soggiacenti i livelli di massima piena del F. Pecora e non hanno, dunque, alcuna significatività sui picchi dei deflussi di piena fluviali.

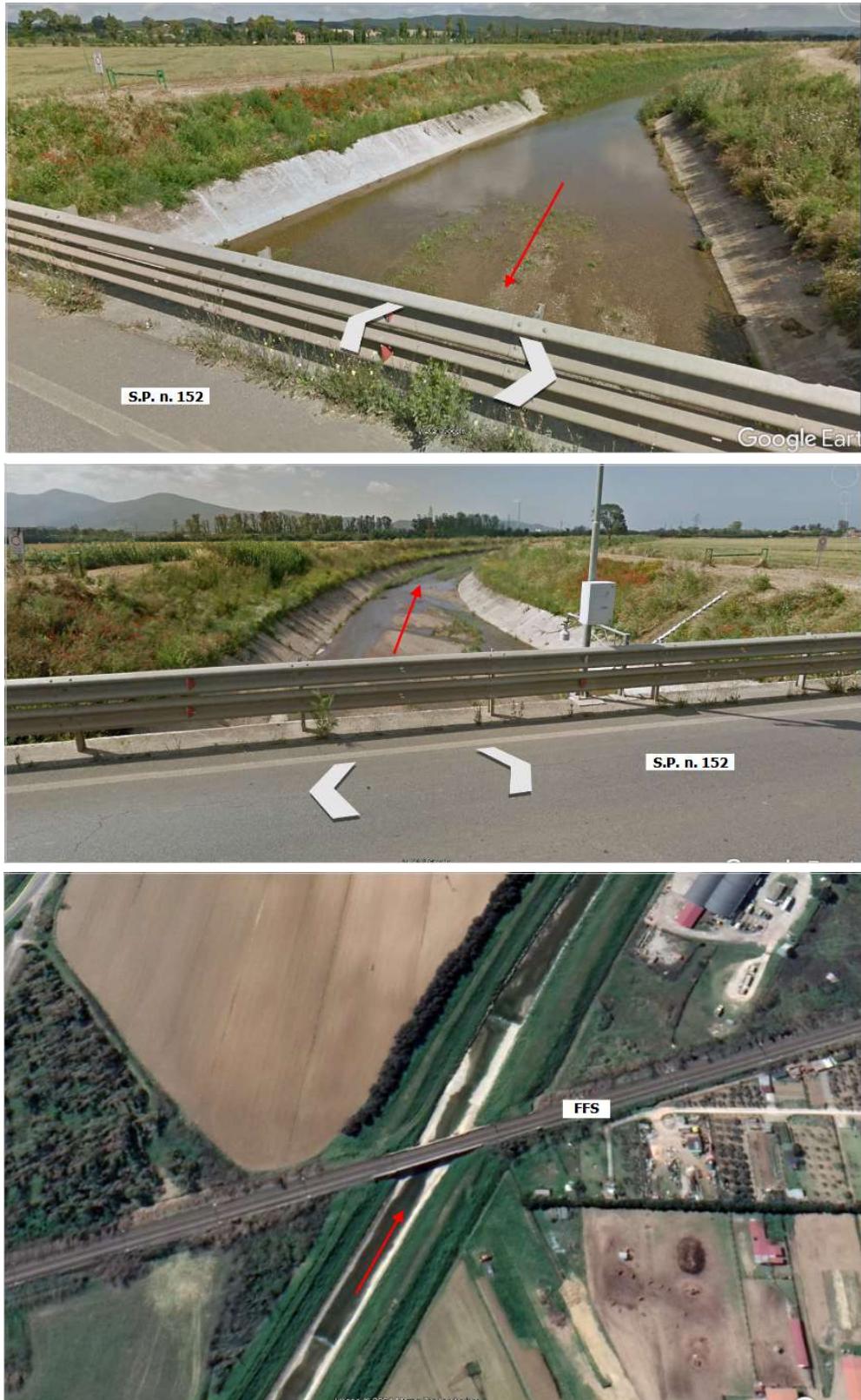


⁶ La Controfossa riceve, tramite tombino sottopassante la Gora, anche le acque di una porzione dell'area dei Poagetti (loc. Pod. Cirene).









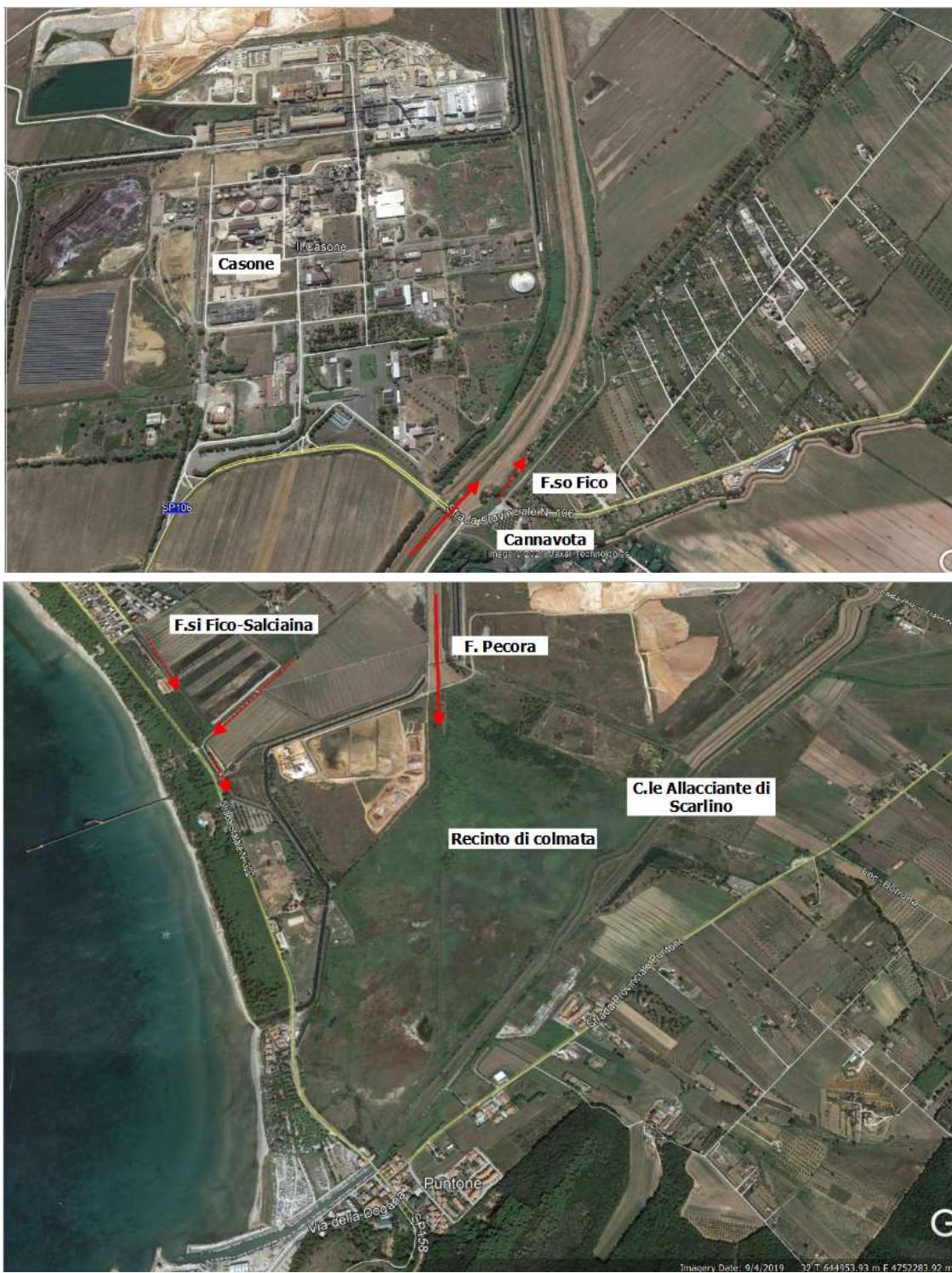


Fig. 2. *F. Pecora a valle della E80 e Controfossa Dx - Inquadramento e SA 2020-21 [parziale].*

La pericolosità attuale del F. Pecora per il Comune di Follonica è medio-bassa, residualmente (ma inevitabilmente) legata alla soggiacenza arginale (collassi strutturali), agli allagamenti indiretti e ai ristagni più che alla tracimazione diretta. Tipologie e intensità⁷ certo molto meno gravi di prima degli ultimi interventi strutturali, ma tuttavia ancora significativi -e pressoché certi⁸- almeno in termini di danno per le cose.

A differenza di Scarlino, in territorio di Follonica, causa necessità di analisi unitaria degli effetti sull'intero (acque basse e alte) reticolo idraulico di *dx* F. Pecora, il PGRA vigente (cfr. Fig. 3 e Fig. 10) non ha subito modifiche *post operam* Scopazione; tale questione è oggetto del presente lavoro.

⁷Evidentemente le minori sollecitazioni arginali per effetto della laminazione ne riducono anche le pericolosità di collasso.

⁸Ristagni delle acque basse.

F.so delle Valli dell'Orto - C.le Vallino e C.le S. Simone

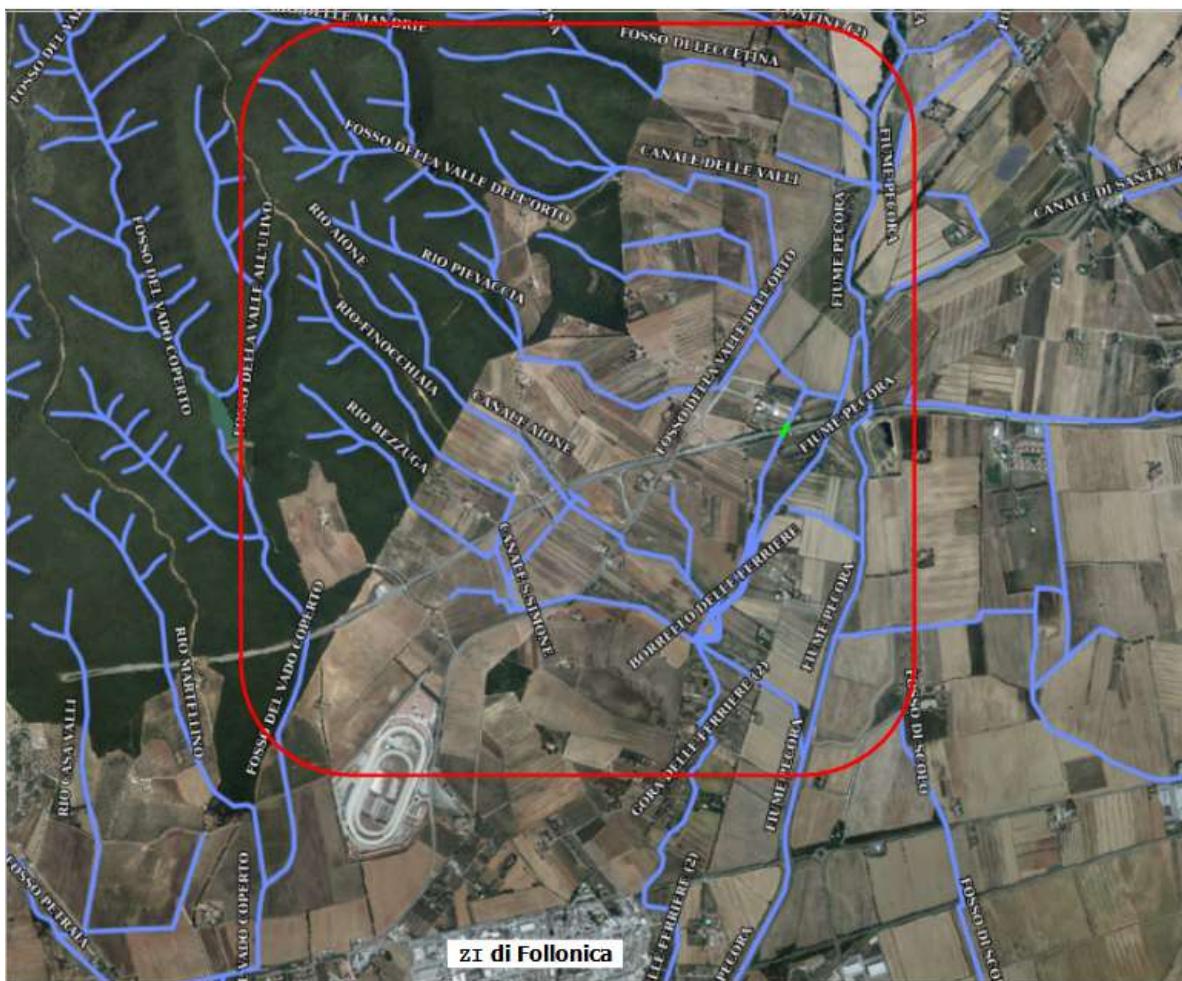
I lavori di riferimento del QC ufficiale sono 4C02 e GF19, che qui verranno rivisti unitariamente.

F.so delle Valli dell'Orto-C.le Vallino- C.le S. Simone costituiscono un unico sistema idraulico afferente il F. Pecora (da *dx*) poco a valle della cassa *Scopaione* e dopo aver sottopassato la Gora delle Ferriere. Esso drena il bacino collinare compreso tra il F. Pecora e il F.so c.d. Poggetti. Reticolo vallivo in gran parte di natura artificiale, legato alla secolare attività di bonifica e sfruttamento della risorsa. La confluenza nel F. Pecora è ovviamente rigurgitato; la pericolosità propria è, dunque, più tipica delle aree più elevate (a monte *N. Aurelia*), mentre la parte valliva è maggiormente soggetta all'effetto combinato delle piene del F. Pecora, di maggiore durata. Il carattere ancora largamente agricolo dell'intorno determina rischi complessivamente bassi; è tuttavia importante ben comprenderne la dinamica, onde evitare insorgenze più gravi in conseguenza di eventuali interventi di trasformazione del territorio incoerenti con la fragilità sistematica.

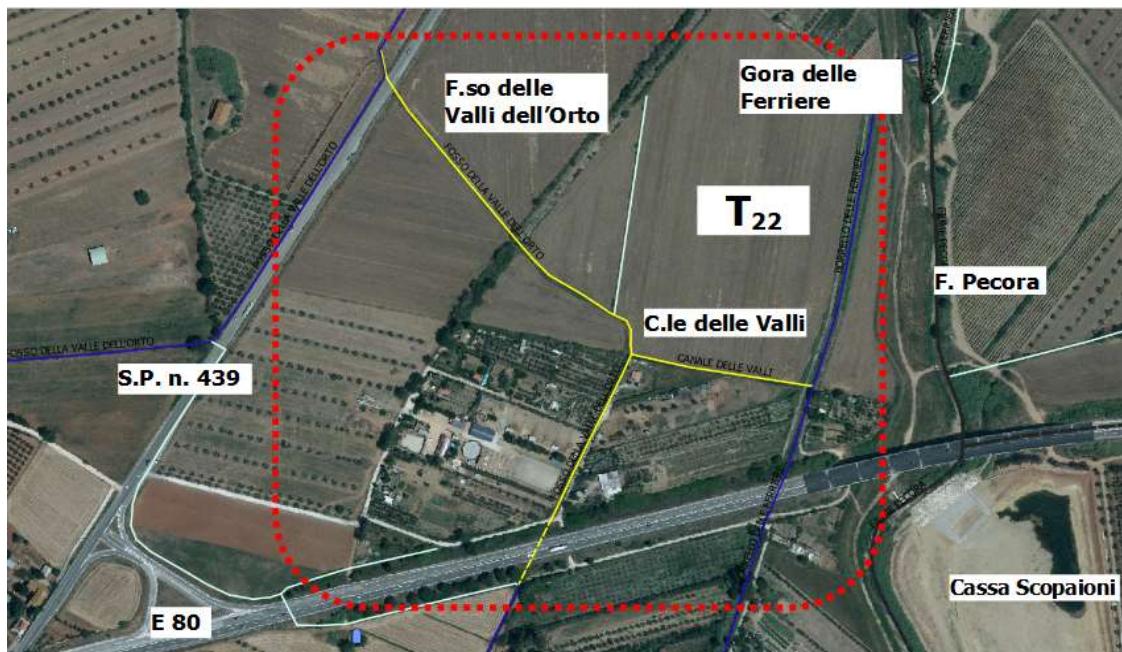
Le numerose infrastrutture presenti nell'area condizionano (*by-pass*) la allagabilità effettiva. Le arginature proprie sono limitate a non oltre 2 m sul p.c. e ai tratti terminali. Come per tutta l'area in *dx* F. Pecora, per la gran parte del territorio più depresso a valle della S.P. n. 439 sussiste anche la pericolosità da soggiacenza arginale di numerosi cc.d.a. (F. Pecora *in primis*, vd. sopra). Verso sud, il rilievo collinare dei Poggetti limita molto le aree allagabili in *dx* Gora delle Ferriere, con pericolosità pressoché interamente insistenti su area agricola e battenti mediamente bassi (volumi di esondazione); più consistente, in termine sia di *maxDepth* sia di persistenza, ristagno e scorrimento verso sud la pericolosità nominale e reale propria e indiretta nella fascia compresa tra Gora e F. Pecora⁹.

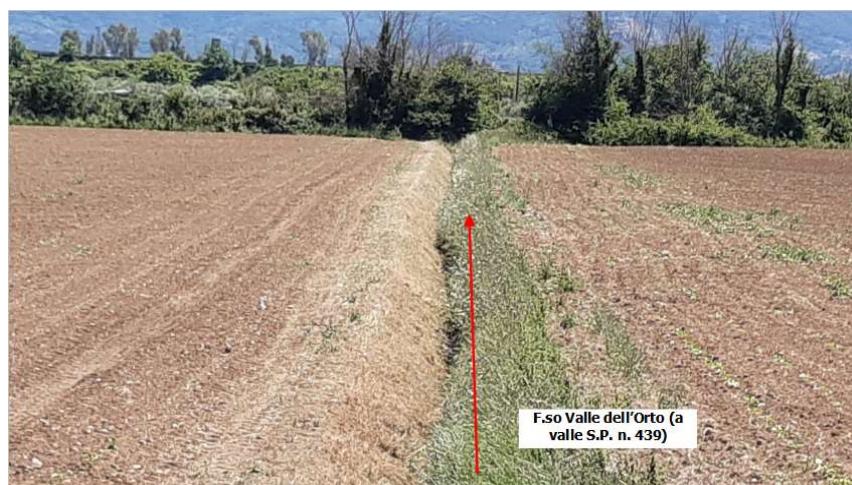
L'attuale PGRA (D.C.I. n. 235/16) non è ancora aggiornato con l'analisi di dettaglio di tale sistema idrografico né, peraltro, di Gora delle Ferriere e F. Pecora *post* cassa *Scopaione* (Fig. 4).

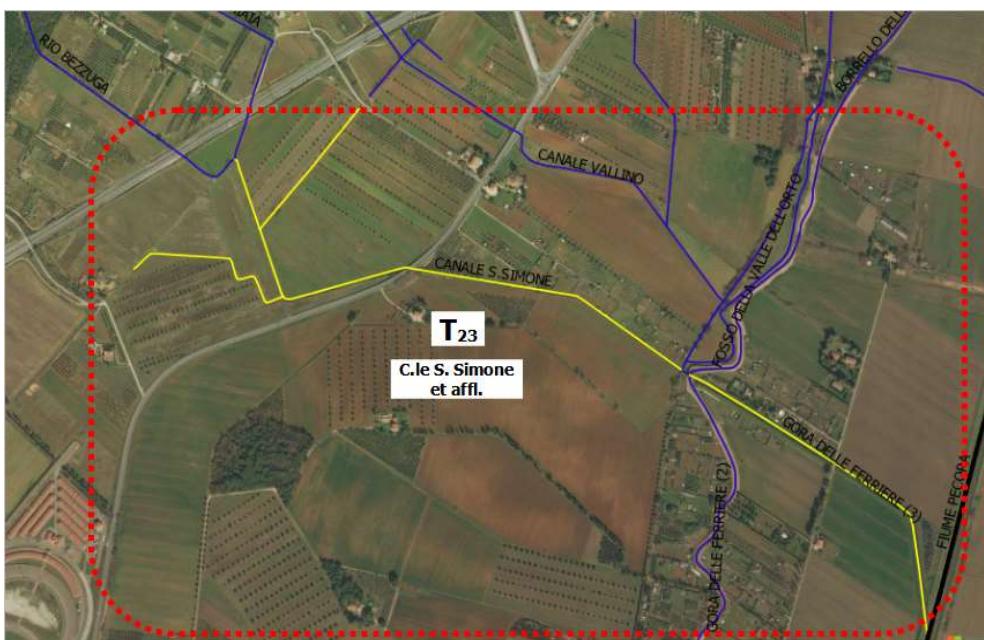
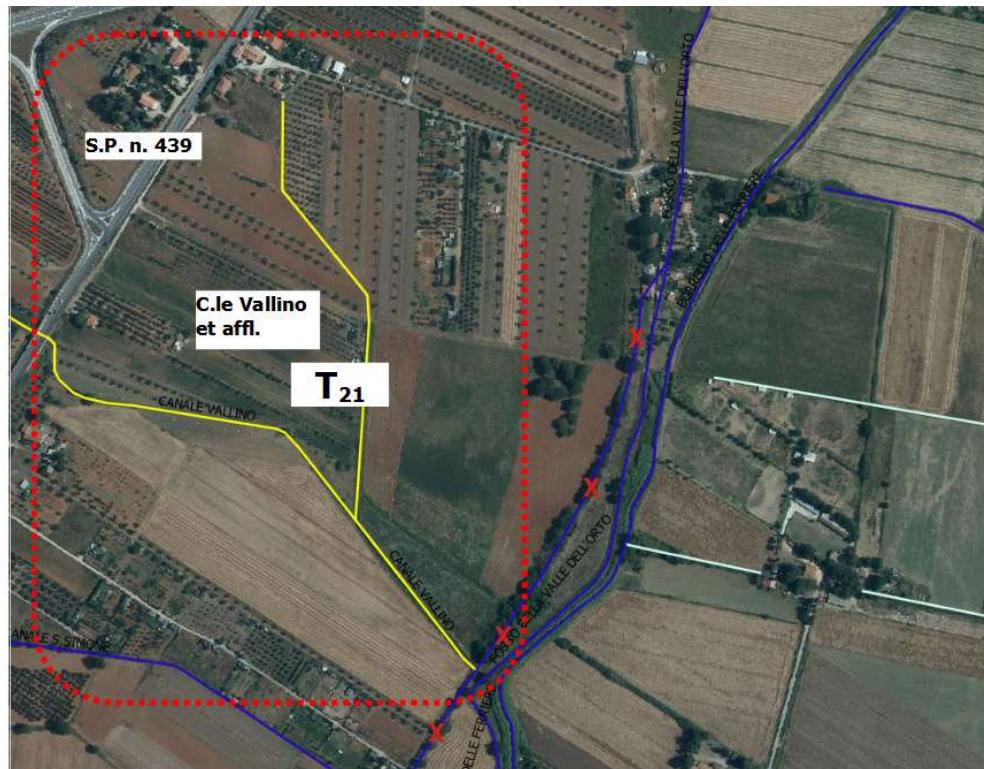
Ret_Idr errato in più punti (intorno *N. Aurelia* e asta spuria *ex FFS* ferriere). Numerosi manufatti da verificare e rilevare (intorno confluenze, tombini, ...).

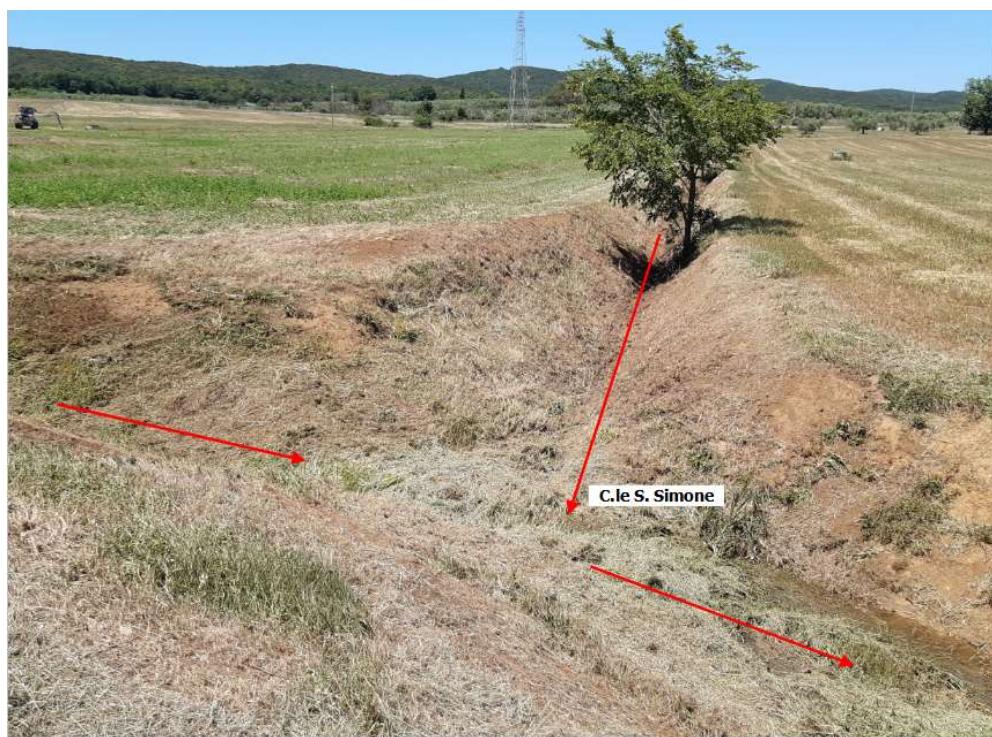
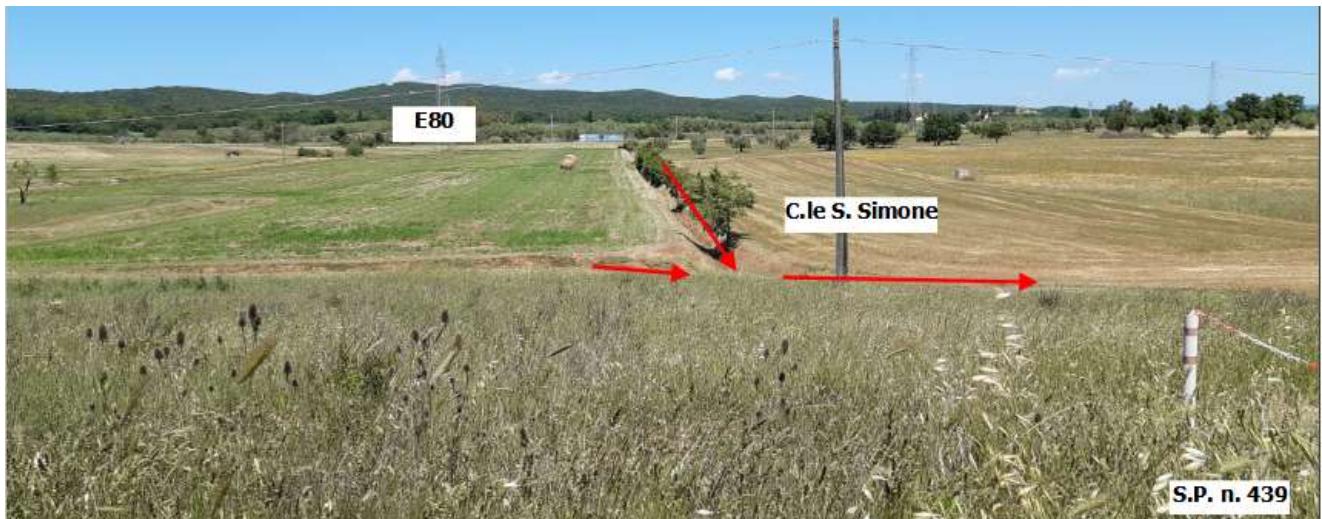


⁹ Notevolmente variata con le recenti opere di regimazione di Gora d.F. e F. Pecora.











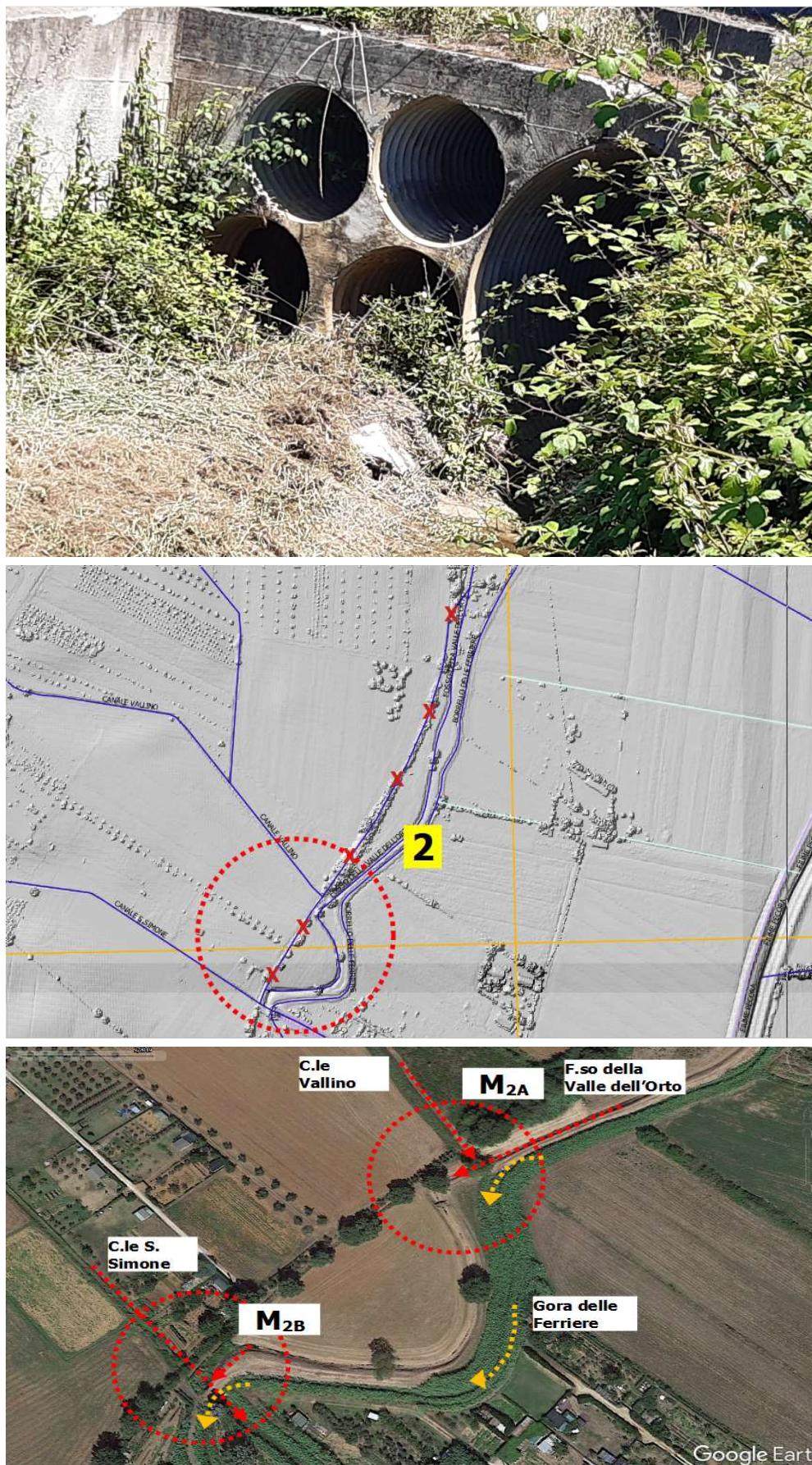


Fig. 3. F.s. Valle dell'Orto-C.le Vallino-C.le S. Simone - Inquadramento e SA 2020-21.

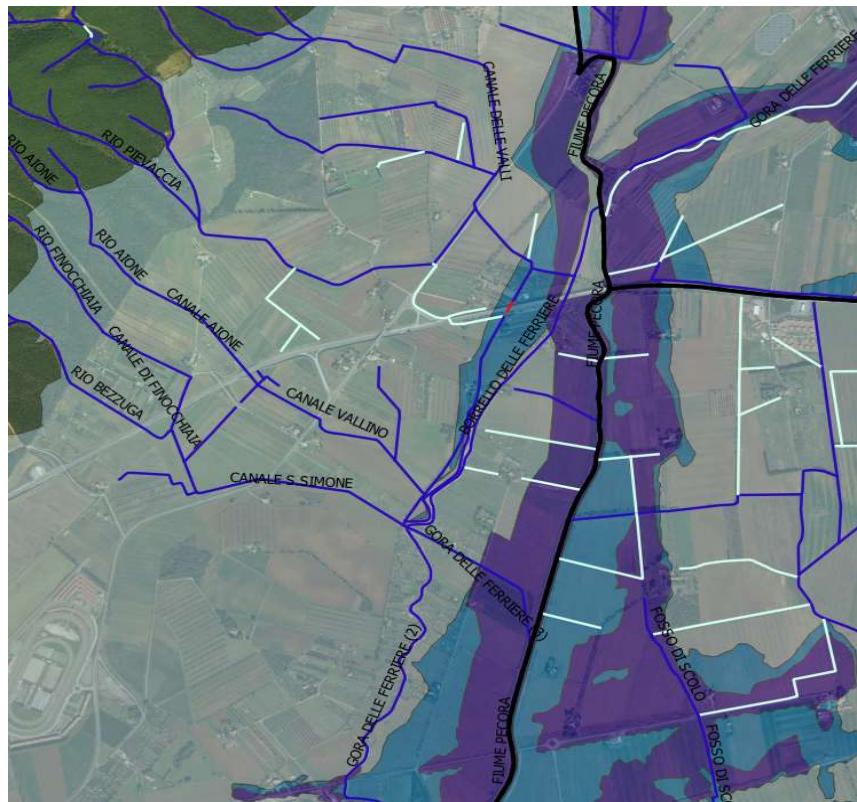


Fig. 4. PGRA ADDAS UoM *Toscana Costa* - F.so Valle dell'Orto-C.le Vallino-C.le S. Simone a Follonica

Gora delle Ferriere e Controfossa Destra (Gorello delle Ferriere)

I lavori di riferimento del OC ufficiale sono 4C02 e GF19 (cfr. §1.2), che qui verranno rivisti.

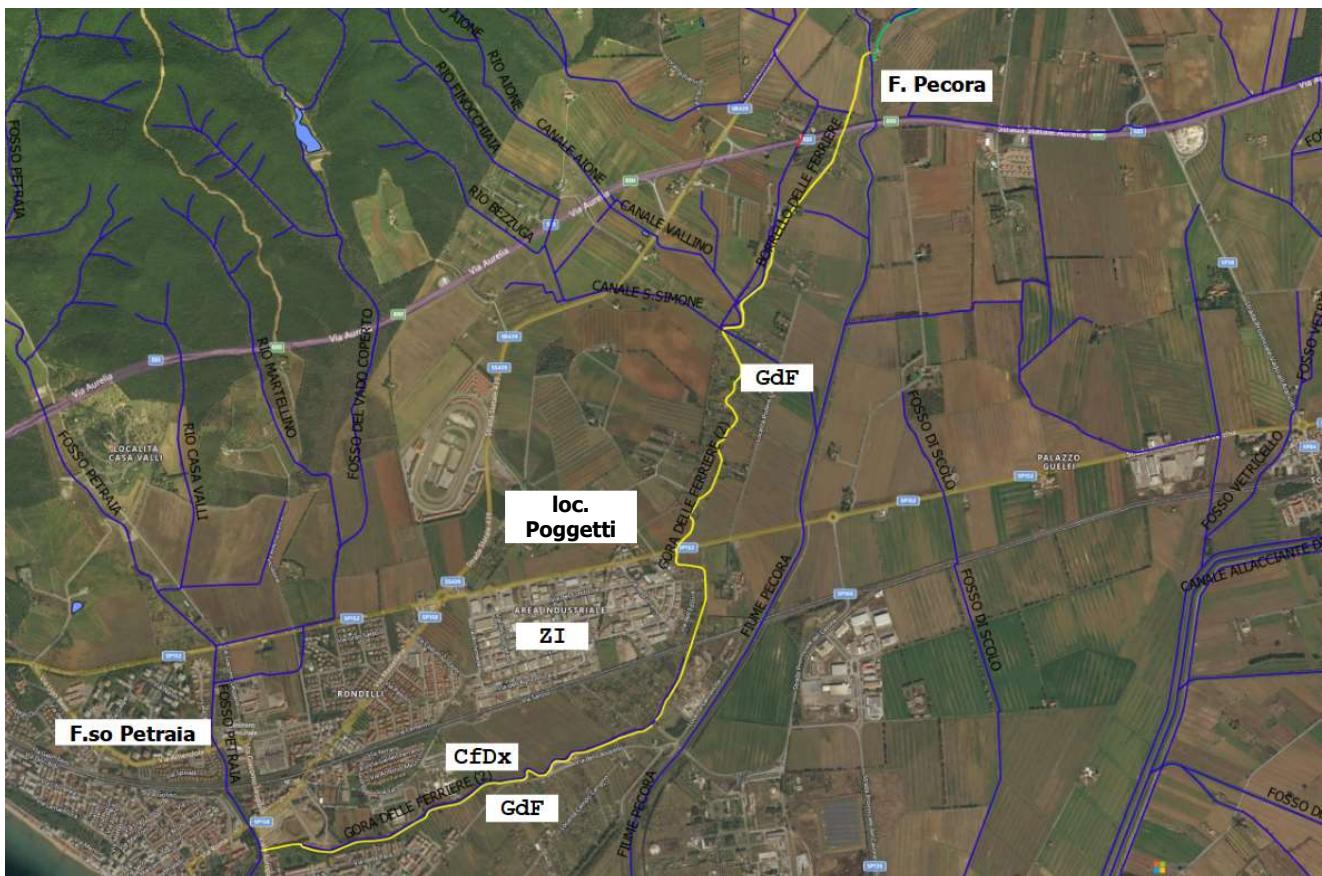
La GdF (Fig. 5), nasce (primi '800) come canale demaniale di irrigazione, quindi riconvertito a fini primariamente industriali (fonderie di Follonica), alimentato dalle sorgenti nei pressi di Valpiana in Comune di Massa Marittima; allo SA entrambe le funzioni sono andate in gran parte perse, con deflussi [semi]permanenti tuttavia ancora sussistenti¹⁰ e [solo¹¹] più certamente regolati dalla recente realizzazione del diversivo a monte della botte del F. Pecora. La mancanza di un significativo bacino imbrifero a valle del F. Pecora¹² -essenzialmente limitato all'area compresa tra C.le S. Simone-Poggetti-S.P. n. 152-, ne caratterizza la intrinseca bassa pericolosità da eventi di piena propri, sostanzialmente legati a criticità specifiche in loc. Poggetti (con allacciamenti incerti sia di z_I sia dell'interbacino agricolo residuo) e alla confluenza della CfDX poco a monte di v.le Europa (Fig. 7). Per le prime, alla z_I è evidente (Fig. 6) come esse derivino da una certa "perdita di memoria" del già fragile sistema di drenaggio agricolo/stradale causato dall'abbandono della vecchia ferrovia mineraria e dalla progressiva urbanizzazione con relativi tombamenti "fognari"¹³, mentre per la adiacente zona agricola a est, dal carattere persistentemente arginato della Gora.

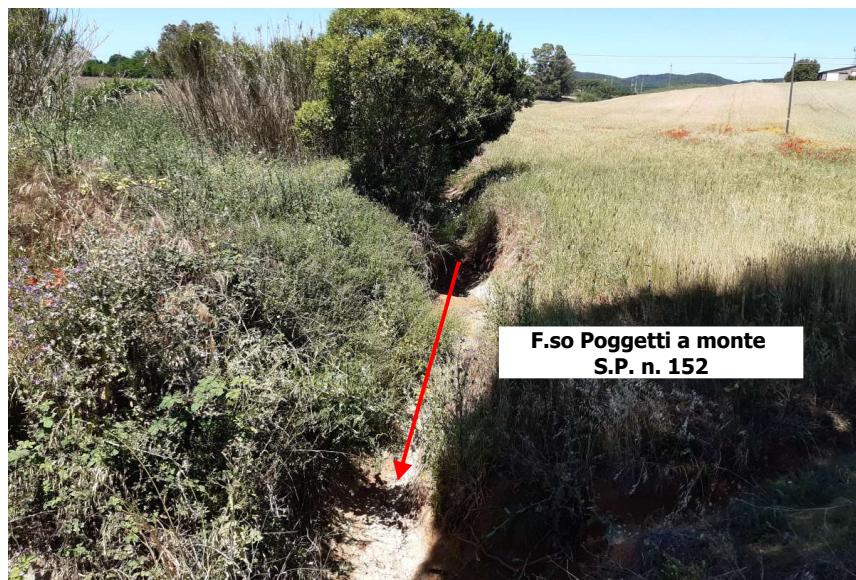
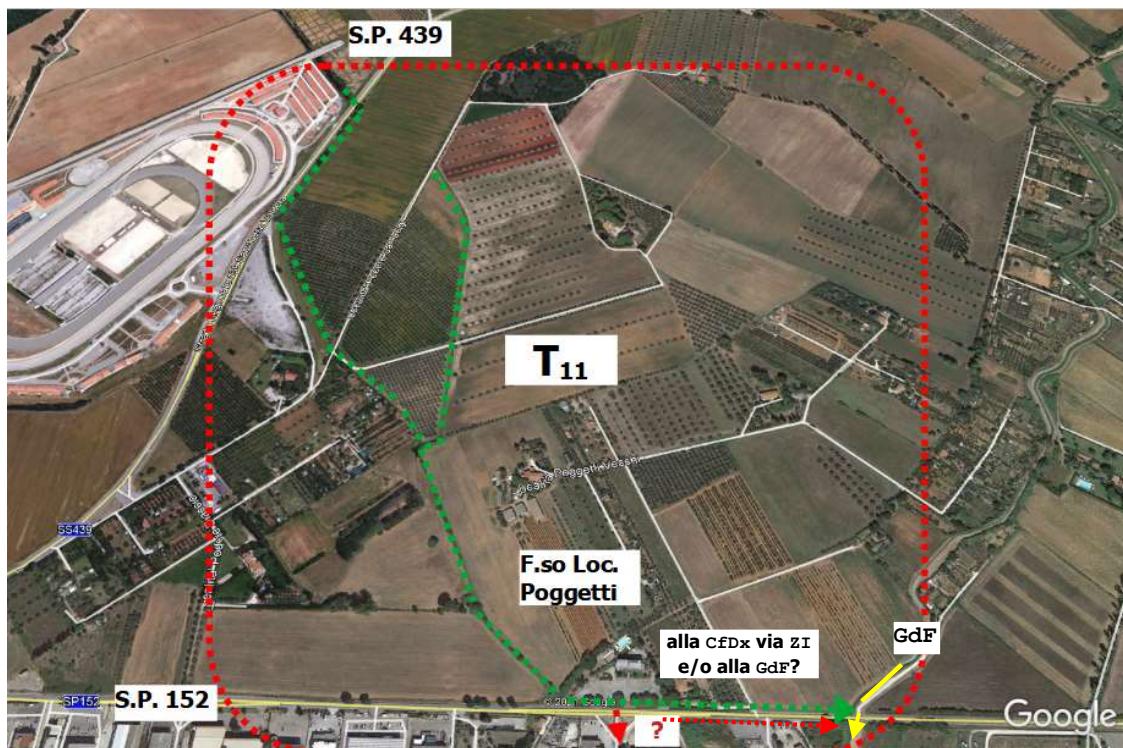
¹⁰ DMV e diritti di concessione/licenza in essere.

¹¹Deflussi di piena della Gora delle Ferriere ricondotti al F. Pecora, salvo rilascio regolato nella botte, tramite nuovo canale realizzato nell'ambito dei lavori della cassa in loc. Scopapione. Tuttavia, poiché la botte e la sezione della Gora a valle non sono stati oggetto di intervento, i carichi idraulici afferenti Folonica sono rimasti invariati (a differenza del territorio di Scarlino in *sx* F. Pecora) [cfr. anche GF19]. Cionondimeno, ciò ha contribuito a diminuire i rischi di collassi parziali potenzialmente riguardanti tutto il territorio di padule.

¹²Quello principale si chiude a Vado all'Arancio, mentre le collinari a valle del F. Pecora sono in massima parte intercettate dal C.le S. Simone e quindi addotte al fiume.

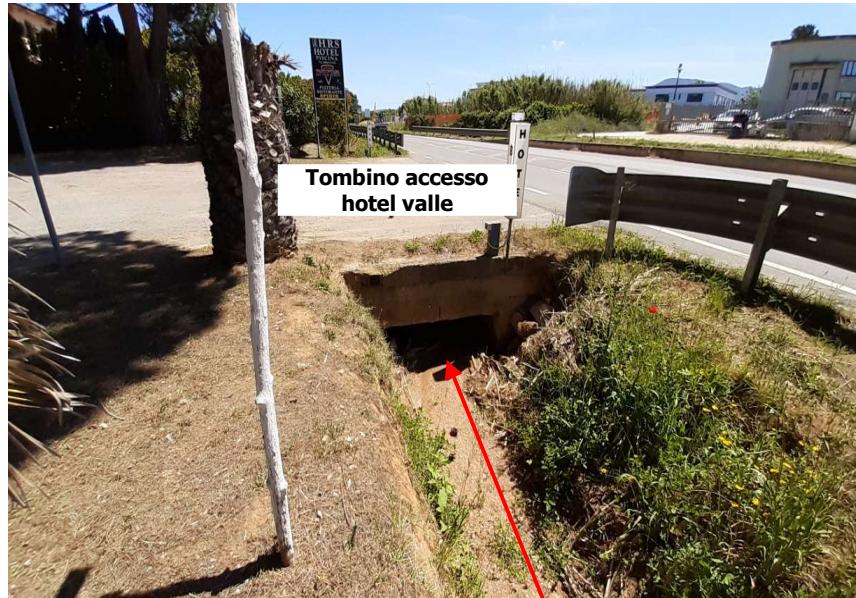
¹³ In particolare, oggetto di specifica verifica (cfr. B-*Idraulica*) è il recapito finale del F.so c.d. Poggetti, originariamente nella Gora delle Ferriere a valle della V. Aurelia e oggi tombato con possibile inclusione nel sistema fognaio della ZI afferente il Gorello a valle di FFS (così GF19).



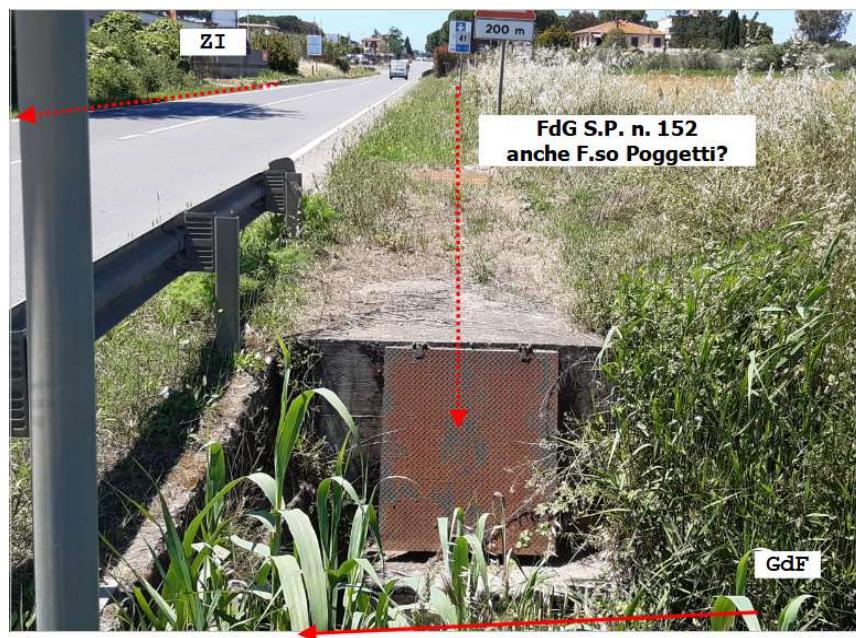
















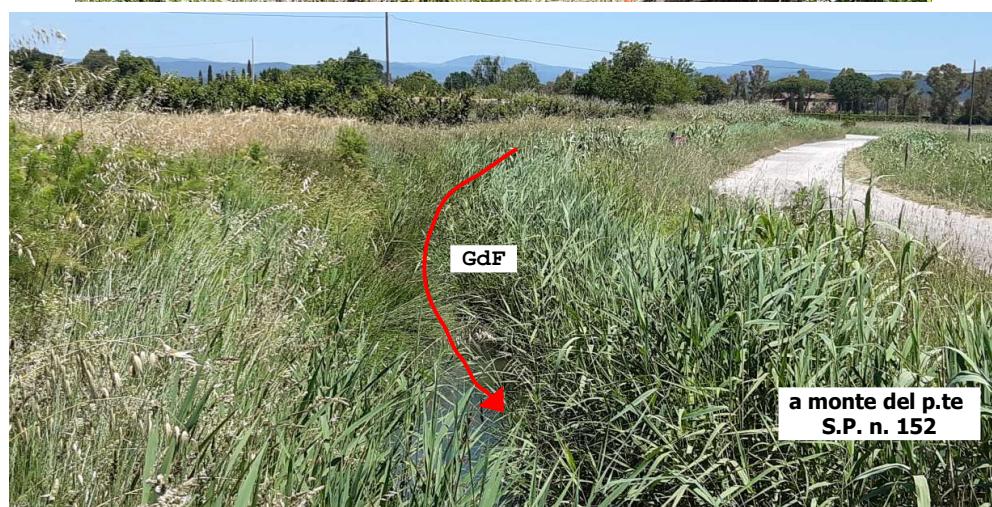
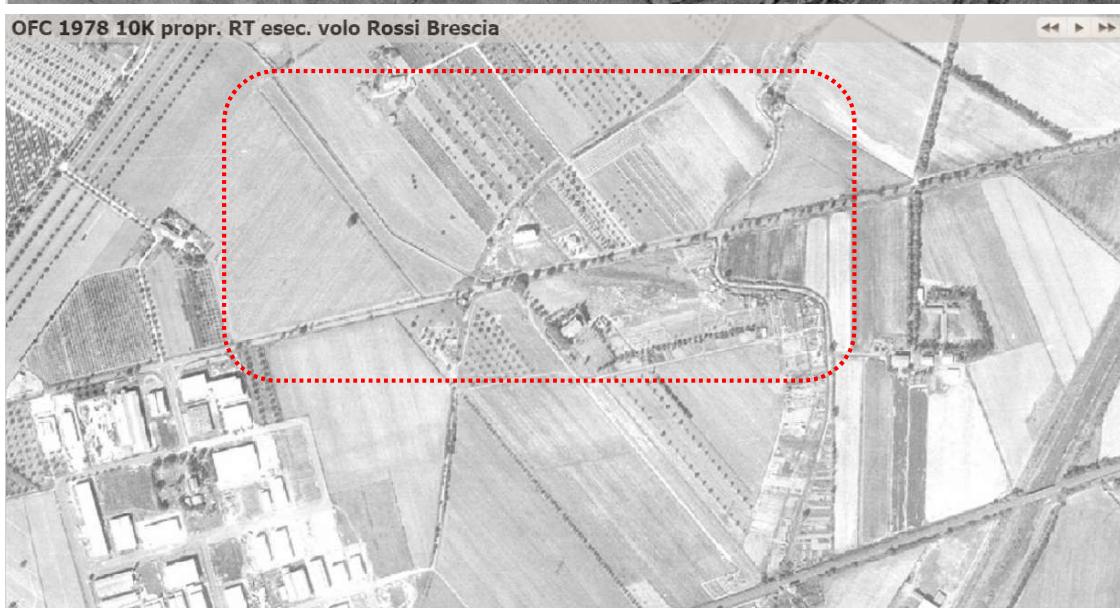
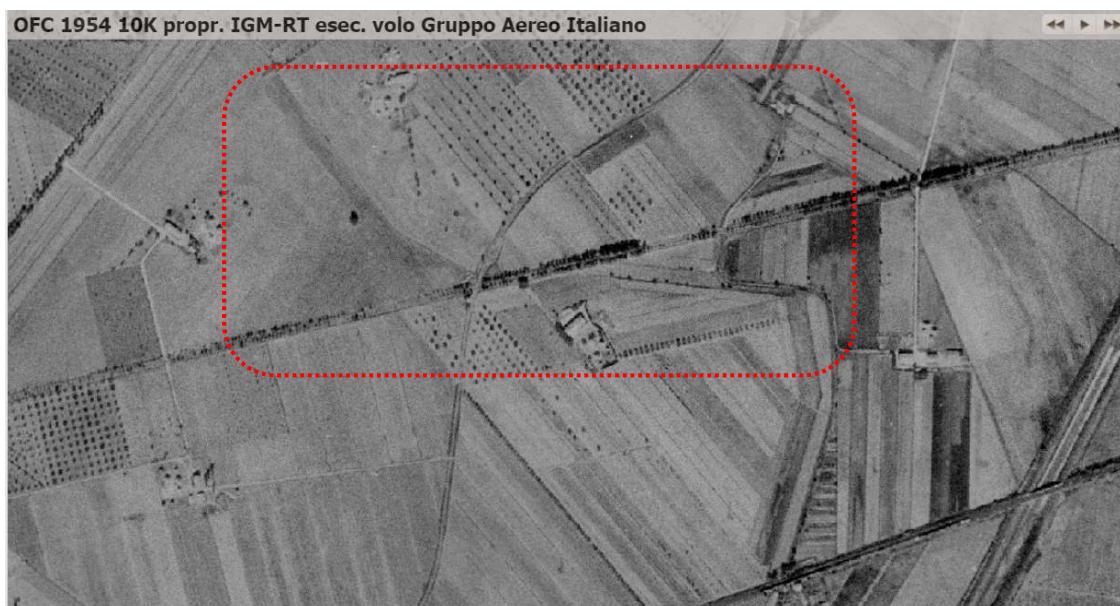






Fig. 5. *Gora delle Ferriere* - Inquadramento e SA 2020-21. Tratto intermedio loc. Poggetti-ZI.



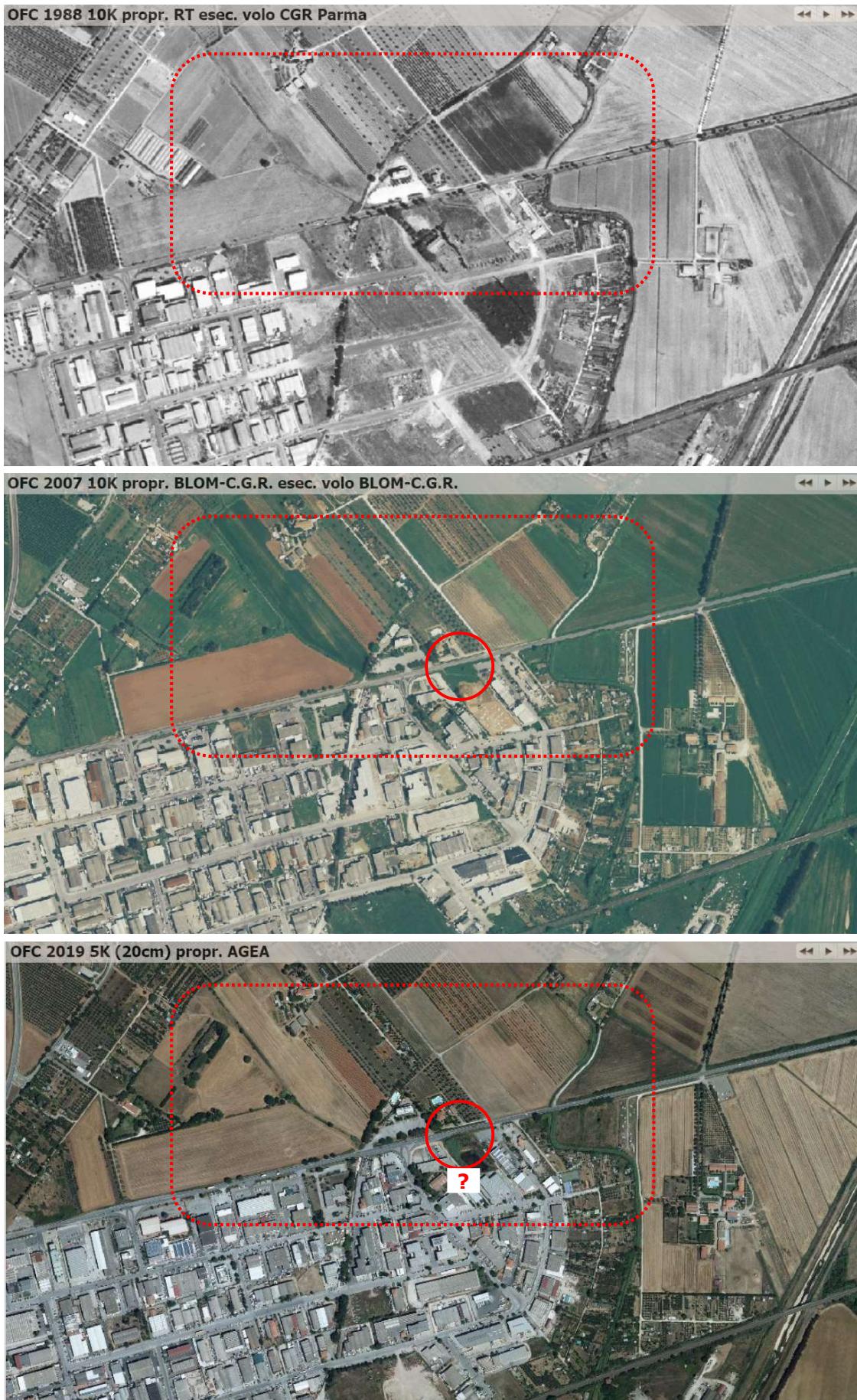
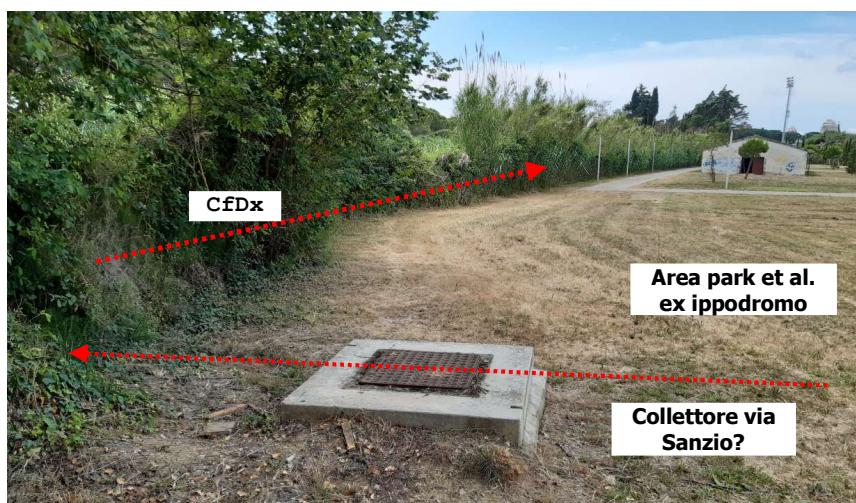


Fig. 6. Evoluzione storica del sistema di drenaggio in Loc. Poggetti - OF [fonte Geoscopio RT].



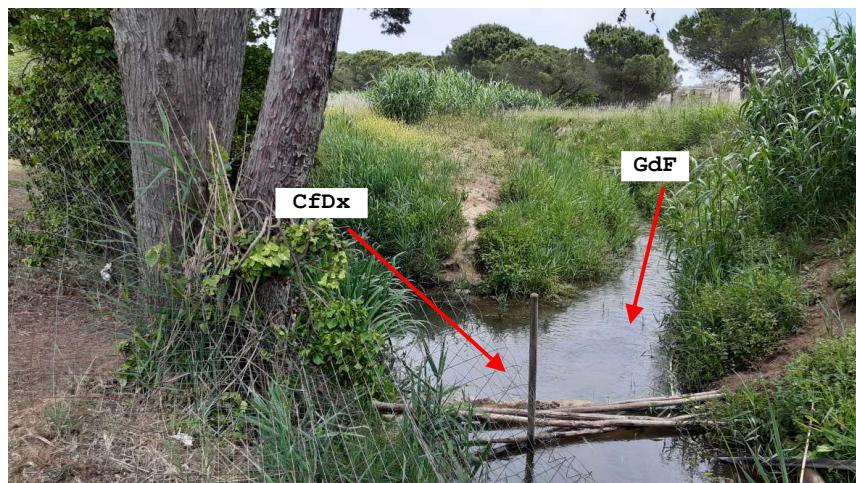






Fig. 7. *Gora delle Ferriere* - Inquadramento e SA 2020-21. Tratto terminale.

La CfDX ha, invece, sostanzialmente mantenuto nel tempo la propria funzione di scolo della fascia territoriale (a valle della FFS) interclusa dall'argine *dx* della GdF, ma ha subito il progressivo aggravio dei maggiori afflussi causati dalle urbanizzazioni a valle della S.P. n. 152, che ne hanno trasformato l'originario carattere di canale di lento scolo agrario in asse di drenaggio misto urbano-agricolo, perciò soggetto anche a repentini sovraccarichi tipici degli allagamenti *almeno* pluviali¹⁴; d'altra parte, essa rappresenta l'importante canale di grande protettivo del già critico sistema di drenaggio a sollevamento meccanico Salciaina-Senzuno. La sofferenza idraulica conclamata sia della ZI sia dei quartieri intorno via Sanzio ne sono testimonianza.

La funzione primaria attuale della GdF (da sé sola, a monte della CfDX) è, invece, quella agricola-ecologico-ambientale (soprattutto per il F.so Petraia in stagione estiva¹⁵, ma anche per gli orti), con pericolosità alluvionale, per la larga parte del tracciato *extra*-urbano, limitata (ma ancora sussistente e poco modificata dagli interventi sul F. Pecora) alla insufficiente capacità di deflusso rispetto agli afflussi del solo bacino collinare a monte dell'Aurelia (attualmente incerti) e ai (più diffusi) fenomeni di rigurgito/ristagno e soggiacenza arginale ma, in ambito urbano (dalla S.P. n. 152), con più spiccate caratteristiche di soggezione ad eventi di piena in ra-

¹⁴In GF19, la Q_{200} è 5-15 volte la Q_{M7} ; vd. avanti sugli accertamenti di dettaglio e la conseguente revisione idrologico-idraulica.

¹⁵Soggetto a prolungati stati di secca e con alcune problematiche di scarichi residui ancora irrisolti.

gione della riconduzione¹⁶ in un unico alveo di GdF e CfDx e delle correlate acque alte collinari del F.so c.d. Poggetti, peraltro particolarmente sensibili a difetti altimetrici (opere d'arte) e di manutenzione (depositi di sedimenti). Al netto delle alee citate, attualmente è la CfDx ad essere oggetto di maggiore sovraccarico idraulico. La vicina confluenza nel F.so Petraia, sebbene sconnessa sul fondo da una salto altimetrico di oltre 2 m, determina in condizioni straordinarie rigurgiti su entrambi i cc.d.a., con le classiche problematiche specifiche su tombino, rilevati arginali e allacciamenti non protetti.

La pericolosità idraulica effettiva di SA non pare adeguatamente definita nel QC ufficiale (Fig. 8), soprattutto per l'elevata incertezza residua sugli effettivi afflussi temibili in caso di evento straordinario e degli eventuali effetti di laminazione delle aree agricole. Testimonianze certe di disservizi (allagamenti) sono note soltanto per la ZI e l'area urbana di via R. Sanzio.



Fig. 8. PGRA AdDAS UoM *Toscana Costa* - Gora delle Ferriere intorno ZI a Follonica.

Argine di Recinto (F.so Fico) e F.so Salciaina

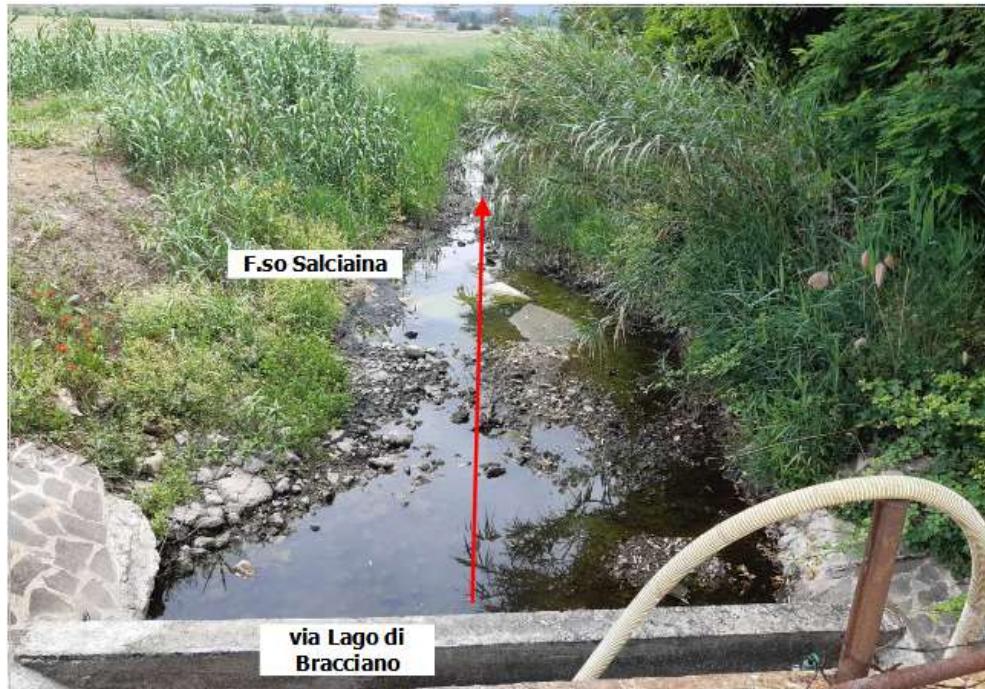
I lavori di riferimento del QC ufficiale sono 4C02, *Pagliara*, 2011, EC18, GF19 e *Rabai*, 2019, sostanzialmente similari, che qui verranno rivisti unitariamente all'intero sistema idraulico in dx F. Pecora.

Il F.so Fico o Argine di Recinto, drena -a scolo intermittente con pendenze bassissime- la parte di bacino di acque basse comprese tra Gora delle Ferriere e F. Pecora a valle di Cannavota, recapitandole nel tratto finale della Fiumara di Scarlino. Lo scolo è difficoltoso sia per il lungo percorso con numerose opere d'arte (tombini, botti, ponticelli), sia per l'elevata soggiacenza non solo alle piene della Fiumara ma anche alle sole maree. Il F.so Salciaina, antico fosso di marea che collegava il F.so Fico al F.so Petraia, è oggi sconnesso da quest'ultimo e, privo di un proprio bacino naturale significativo, riceve (in massima parte per sollevamento meccanico) tutte le acque meteoriche dei quartieri Cassarello e Salciaina di Follonica (Fig. 9). Il tratto tra F.so Petraia e il limite comunale (p.te Boddi) è inglobato(?), tombato, nel sistema fognario meteorico di Cassarello-Senzuno.

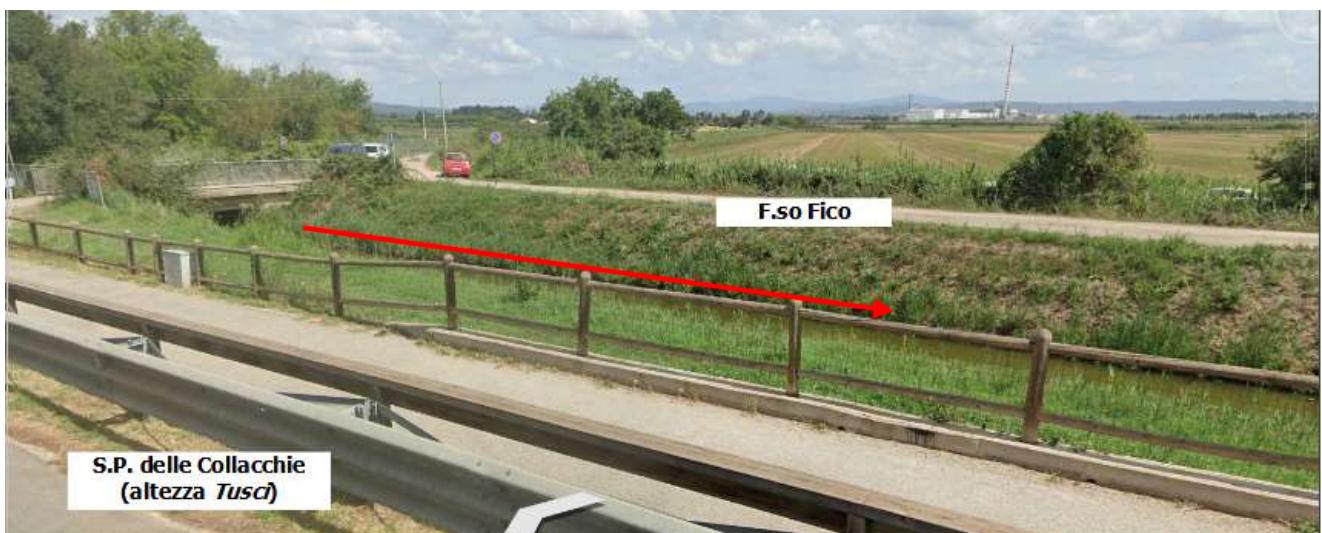
¹⁶Avvenuta di recente, nell'ambito degli importanti interventi di messa in sicurezza del T. Petraia.

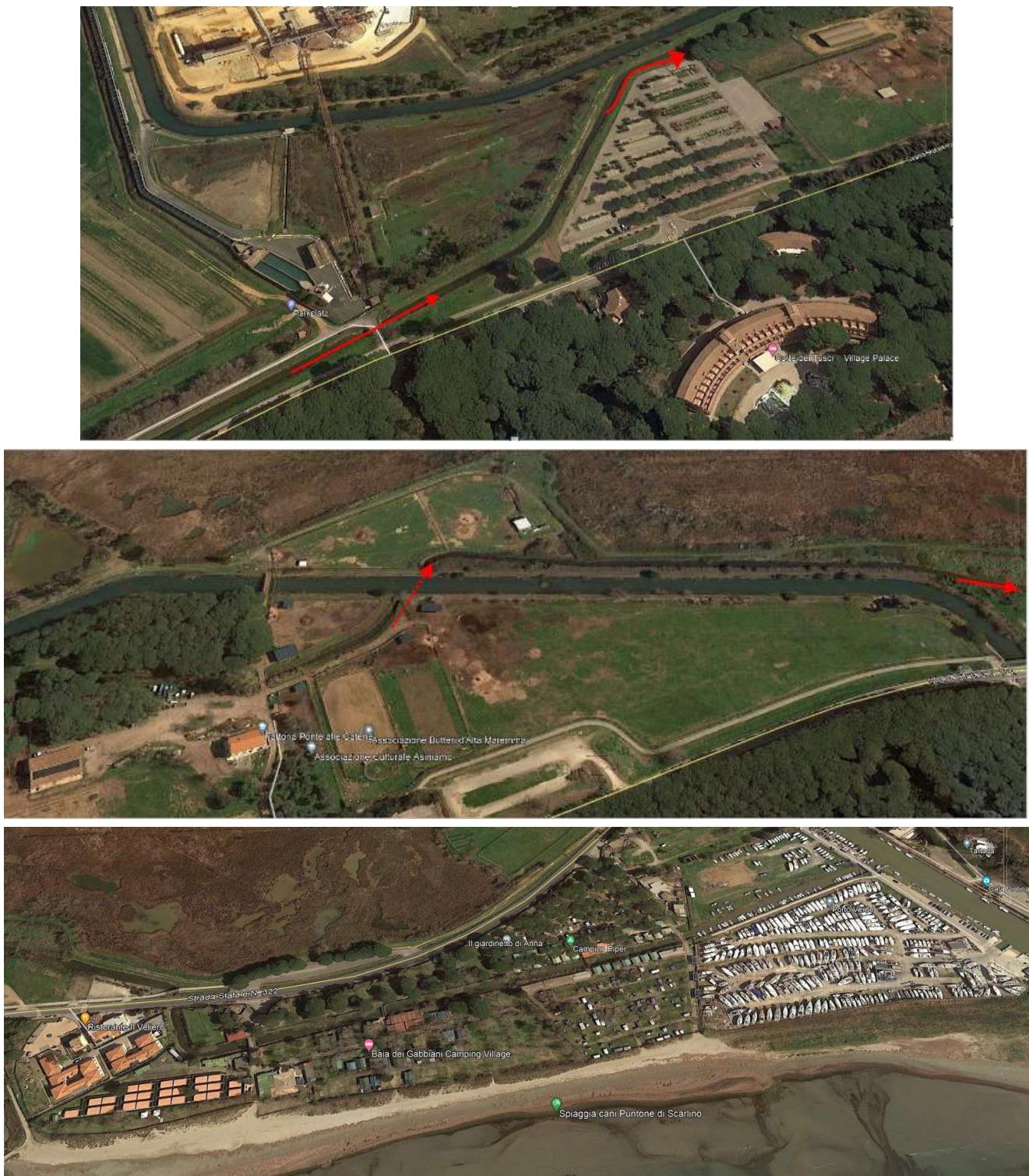










Fig. 9. *F. si Salciaina e Fico- Inquadramento e SA 2020-21.*

Salvo altre problematiche ambientali legate alla qualità degli scarichi, la pericolosità dei due fossi è quella territoriale più generale, di scolo intermittente e lungo ristagno per soggiacenza, residuale della vasta palude di Scarlino. La medesima ragione morfologica ne fa area di accumulo di acque comunque esondate a monte, direttamente connessa con i quartieri urbani più bassi di Follonica. Le uniche misure mitigatorie efficaci sono, dunque, bassa vulnerabilità xesposizione, non aggravio, cura manutentiva e preservazione del volume di invaso.

PGRA lato Follonica non aggiornato *post* interventi F. Pecora loc. Scopazione (D.C.I. n. 235/16) (Fig. 10).



Fig. 10. PGRA AddAS UoM *Toscana Costa* - F.si Fico e Salciaina a Follonica-Scarlino.

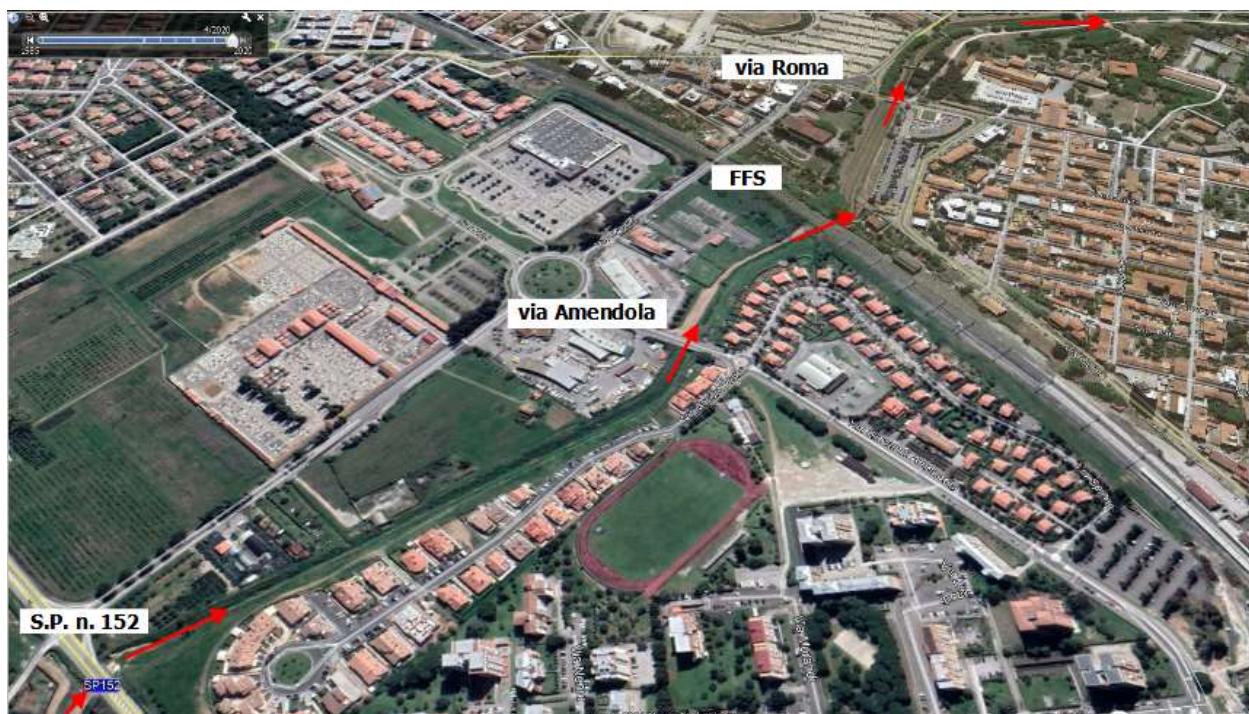
F.so Petraia a valle delle casse *Aurelia Vecchia* e F.so Vado Coperto (Morticino)

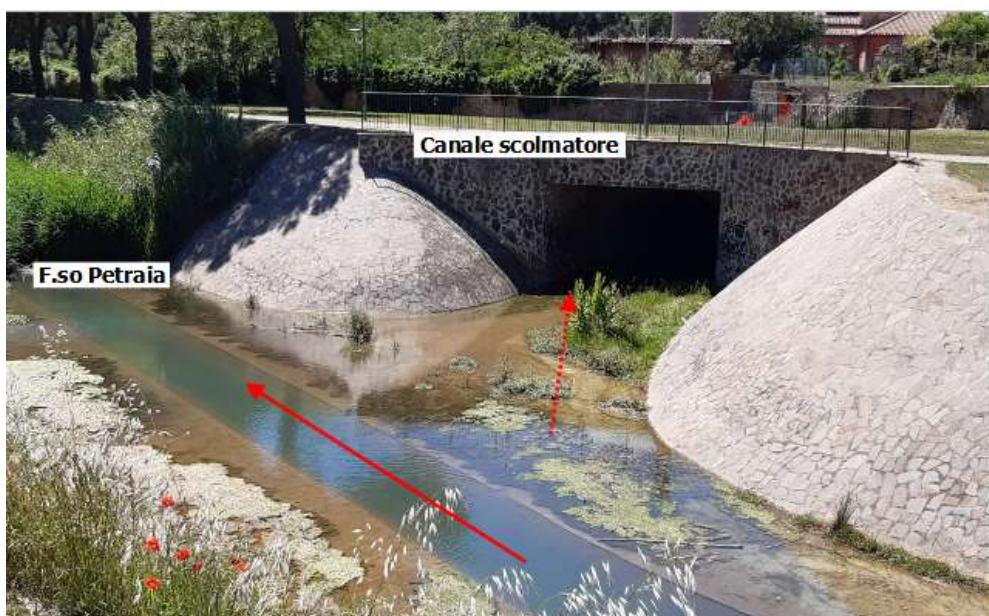
I lavori di riferimento del QC ufficiale sono 4C02 e PT18, che qui verranno assunti senza alcuna revisione, salvo assumerne i livelli quali condizioni al contorno di valle della Gora delle Ferriere. I F.si Petraia e Vado Coperto (Fig. 11) sono, infatti, stati recentemente oggetto di importanti interventi di regimazione delle piene (casse di laminazione, risagomature, adeguamenti attraversamenti, ...) che, completati e collaudati, hanno coerentemente determinato lo stato di pericolosità residuo di cui nel PGRA vigente (D.S.G. n. 89/2019) (Fig. 12), sostanzialmente limitato al ponte FFS e adiacente sottopasso stradale di via Leopardi¹⁷. Anche alla luce degli eventi alluvionali più recenti (es. 1995), tali interventi hanno drasticamente ridotto i rischi per l'intero nucleo storico di Follonica. I numerosi attraversamenti del c.d.a., con franchi diversificati, e la riconfigurazione a canale ausiliario della vecchia adduzione idrica (Gora) parzialmente tombata alla ferriera impongono comunque, in ambito urbano, una particolarmente attenta gestione e cura manutentiva.

Rimanendo, infine, il terminale (condizione al contorno di valle) dei deflussi meteorici di larga parte della città -direttamente o tramite Gora delle Ferriere- la distribuzione di frequenza dei massimi livelli in alveo ne determina il livello di pericolosità per allagamenti pluviali e/o indiretti.

¹⁷ L'ulteriore P3 nella parte alta del bacino del F.so Vado Coperto è residuo (non ri-analizzato) del PAI, esterno al perimetro del territorio urbanizzato.









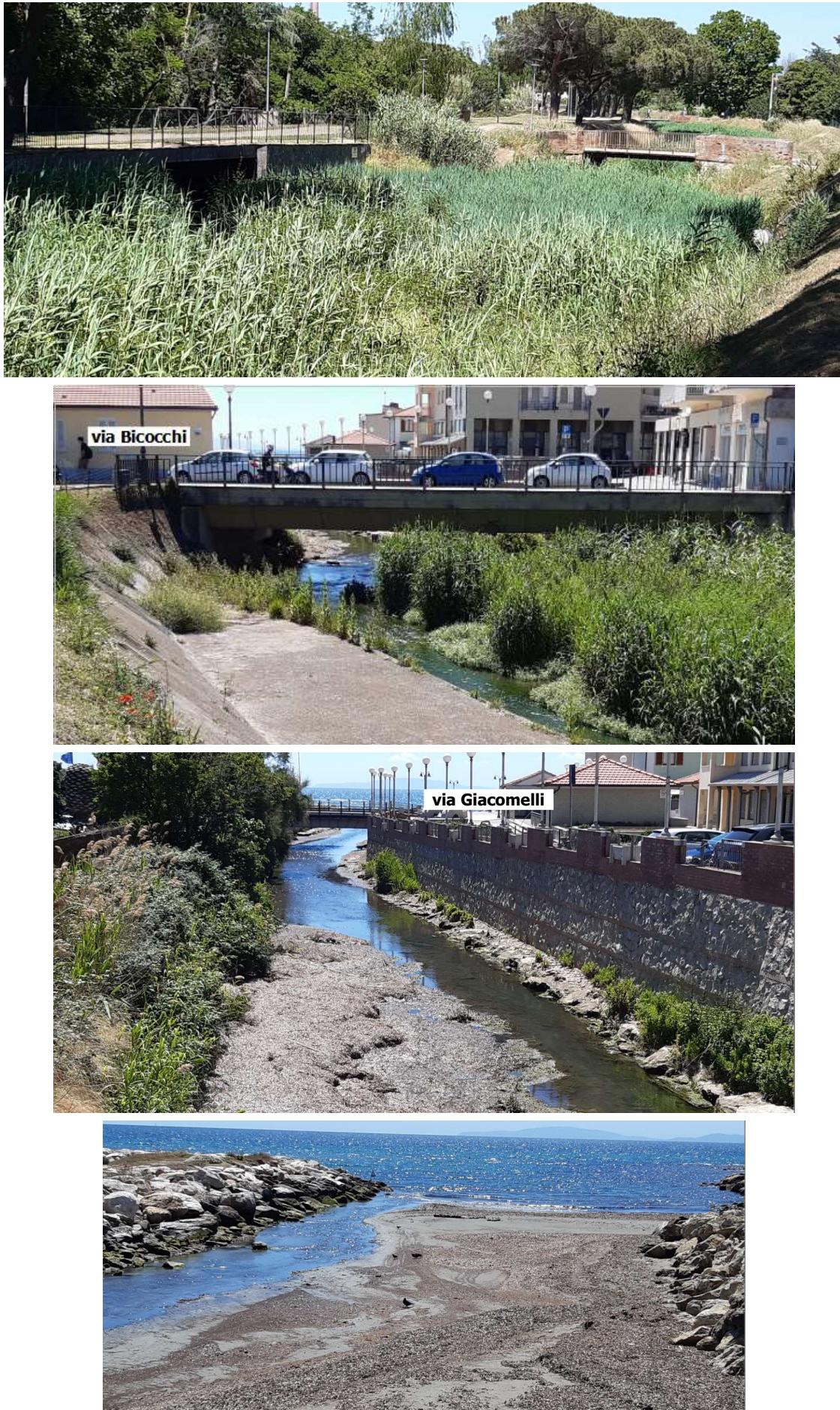


Fig. 11. F.so Petraia - Inquadramento e SA 2020-21.

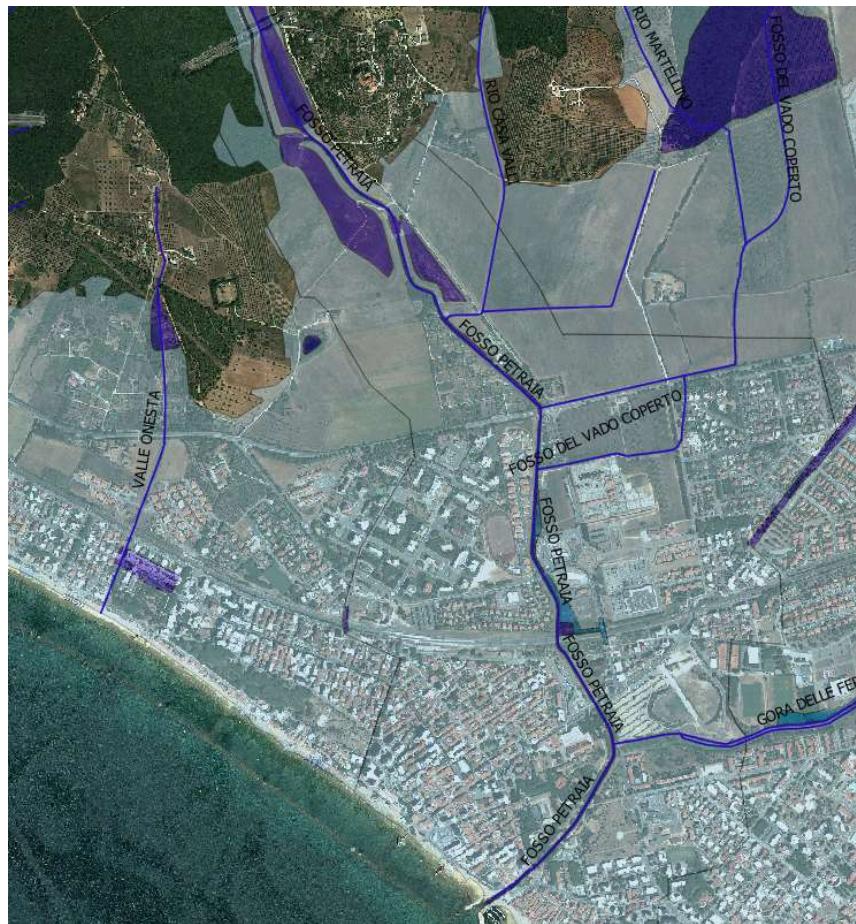


Fig. 12. PGRA AdDAS UoM *Toscana Costa* - F.si Petraia e Vado Coperto a Follonica.

F.si Valle Onesta e Val Querceta

I lavori di riferimento del QC ufficiale sono 4C02 e RU11 (cfr. § 1.2), che qui verranno rivisti.

I F.si Valle Onesta (Fig. 15) e Val Querceta (Fig. 19) costituiscono gli assi idrografici di drenaggio direttamente a mare dei piccoli bacini collinari insistenti sulla parte meridiana della attuale Follonica, già esterna al nucleo storico centrato sul F.so Petraia. Essi sono caratterizzati da un reticolo minimale e diretto, ortogonalmente intersecato dalla *Vecchia Aurelia* prima e dalla *FFS* poi, a valle della quale entrambi sono definitivamente tombati sino allo sbocco a mare e inglobati nel sistema di drenaggio urbano¹⁸. Mentre il F.so Valle Onesta non soffre di particolari vincoli infrastrutturali sino al lungo tombamento dalla *FFS*, il F.so Val Querceta è ulteriormente confinato e tombato anche nel tratto a monte tra le due infrastrutture (Villaggio *Mare Si*) che, al di là della capacità di deflusso, ne determina senz'altro un'ulteriore criticità di accessibilità e manutenibilità. Ulteriori assi di drenaggio, a est e ovest del F.so Valle Onesta (Fig. 13) e c.d. zona Acquario, non fanno parte di *Ret_Idr* (L.R. n. 79/12 e s.m.i.) in quanto sostanzialmente assimilati per intero nel sistema di drenaggio fognario urbano o parzialmente obliterati (Acquario); testimonianza evidente è tuttavia rappresentata dai tombini *FFS* e della *Vecchia Aurelia*.

¹⁸Topografia e geometria effettiva determinata con le attività celerimetriche integrative 2021.



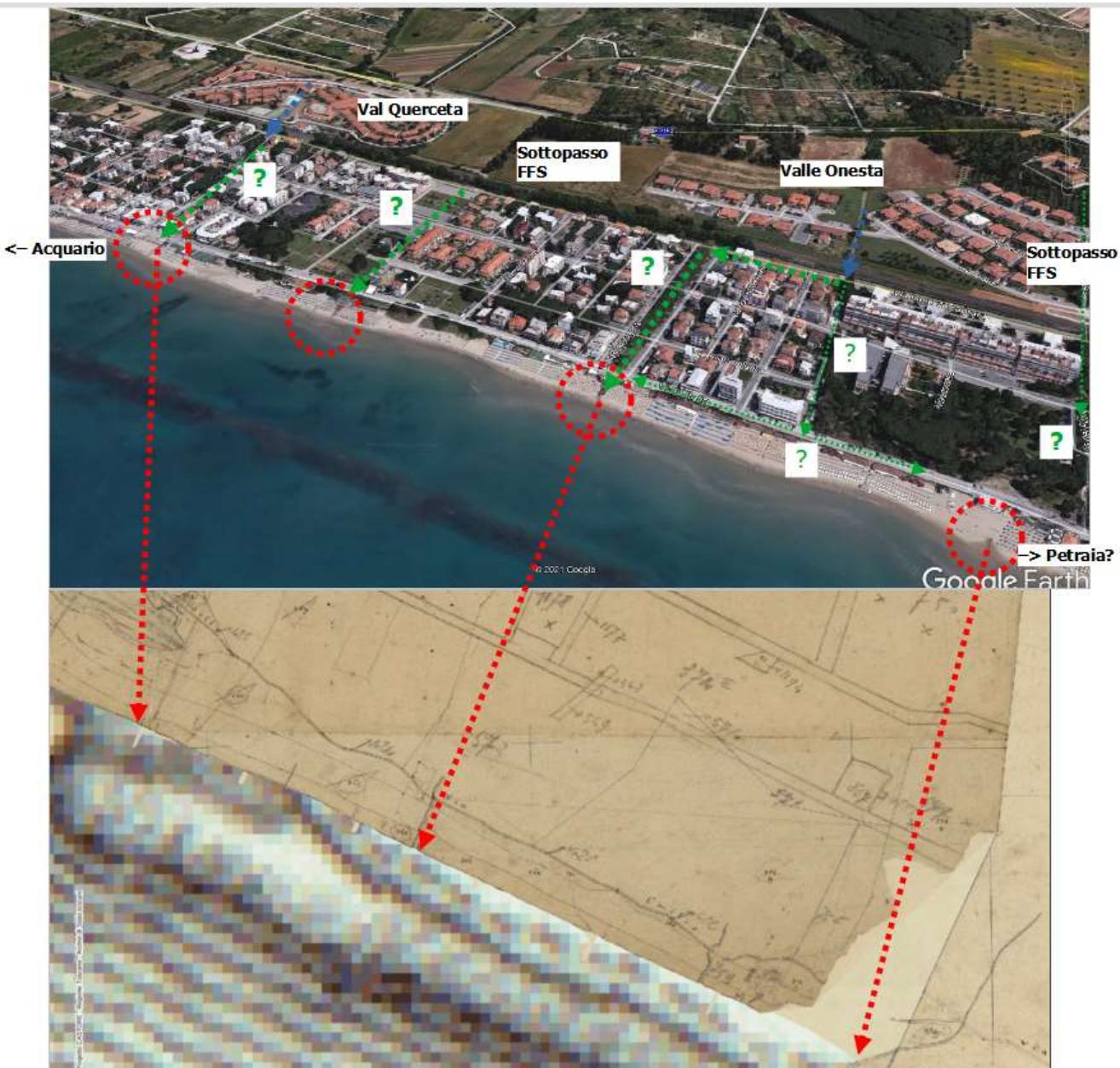


Fig. 13. F.ssi Valle Onesta e Val Querceta - Inquadramento.







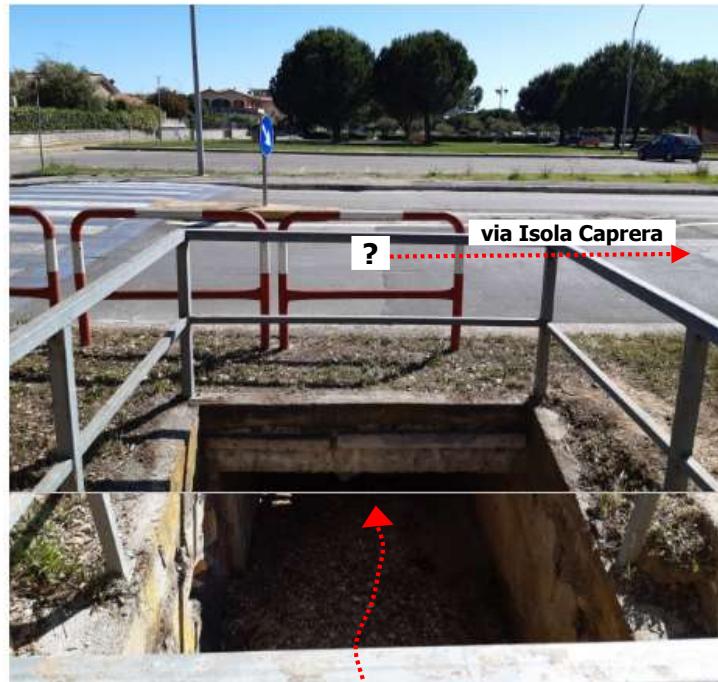


Fig. 14. Ulteriori assi di drenaggio indipendenti non Ret_Idr - SA 2020-21.

















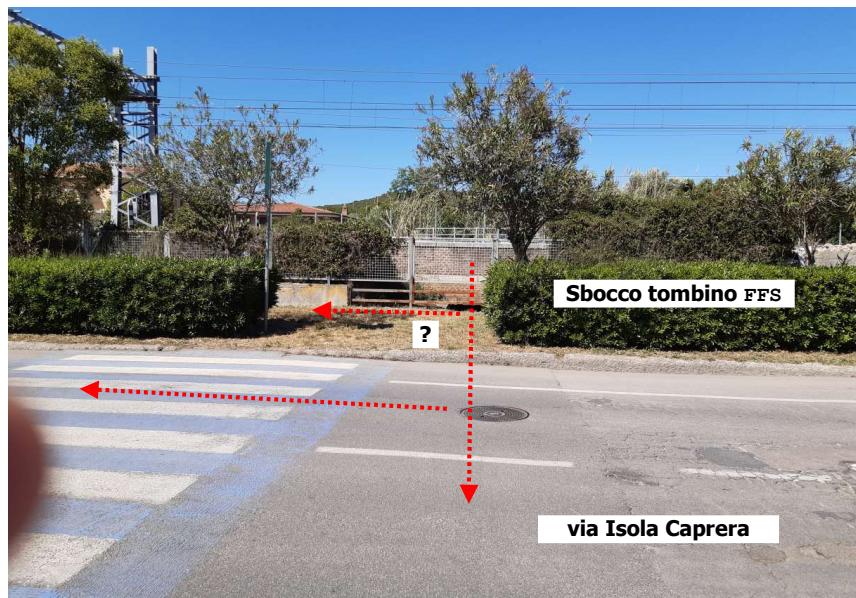




Fig. 15. F.so Valle Onesta - SA 2020-21.

Il F.so Valle Onesta allo SA evidenzia un assetto idrograficamente incoerente, con capacità di deflusso fortemente diversificate nei tratti: 1. a monte della *Vecchia Aurelia*, 2. tra questa e FFS (a cielo aperto) e 3. a valle FFS (tombato). La ridotta sezione del primo tratto è evidentemente un rimaneggiamento in area agricola a bassa vulnerabilità, probabilmente retaggio delle notevoli variazioni di uso del suolo e rimaneggiamenti vari di tracciato tra cui, in particolare, l'invaso realizzato intorno gli '70-'80 (Fig. 16) e oggi dismesso(?) che, tuttavia, ancora determina (almeno per morfologia relitta) un qualche effetto di laminazione non trascurabile. Incongrua appare anche la discontinuità (salto di quota) a valle del sottopasso stradale, in gran parte dovuta alla perdita di stabilità della sede viaria di attraversamento (originario tombino di scolo ordinario sotto il piano stradale?). D'altra parte, la totalità degli afflussi concentrati a monte della *Vecchia Aurelia* non trovano alcuna limitazione infrastrutturale sino al ponticello di via dei Pioppi, la cui capacità di deflusso a p.l. non è inferiore a quella del tombino FFS, poi ulteriormente ridotta dal successivo tombamento. La natura sabbiosa dei suoli dominanti nel bacino e le elevate pendenze determinano evidenti dinamiche erosive (delle sponde più ripide) e deposizionali

(ai tombini terminali). Salvo divagazioni a monte della *V. Aurelia*, le pericolosità maggiori sono evidentemente concentrate all'imbocco del tombamento urbano e, più limitatamente a fenomeni di dissesto spondale, anche nel tratto a monte di via dei Pioppi.

La pericolosità idraulica effettiva di SA non pare adeguatamente definita nel QC ufficiale (Fig. 17), soprattutto per la mancata definizione dell'effettività o meno dell'invaso a monte della *V. Aurelia* e della parte tombata a valle di FFS; analisi e ipotesi di intervento¹⁹ RU11 non risultano recepite nel PGRA né realizzati. In RU11 le aree allagabili 200-ennali si stimano rimanere entro le aree inedificate a monte dei principali manufatti infrastrutturali. Residua nel PGRA anche una P3 urbana (evidente basso morfologico di via Litoranea; Fig. 18), evidente indicatore della necessità di approfondimento di cui sopra (e non solo relativamente al F.so Valle Onesta).

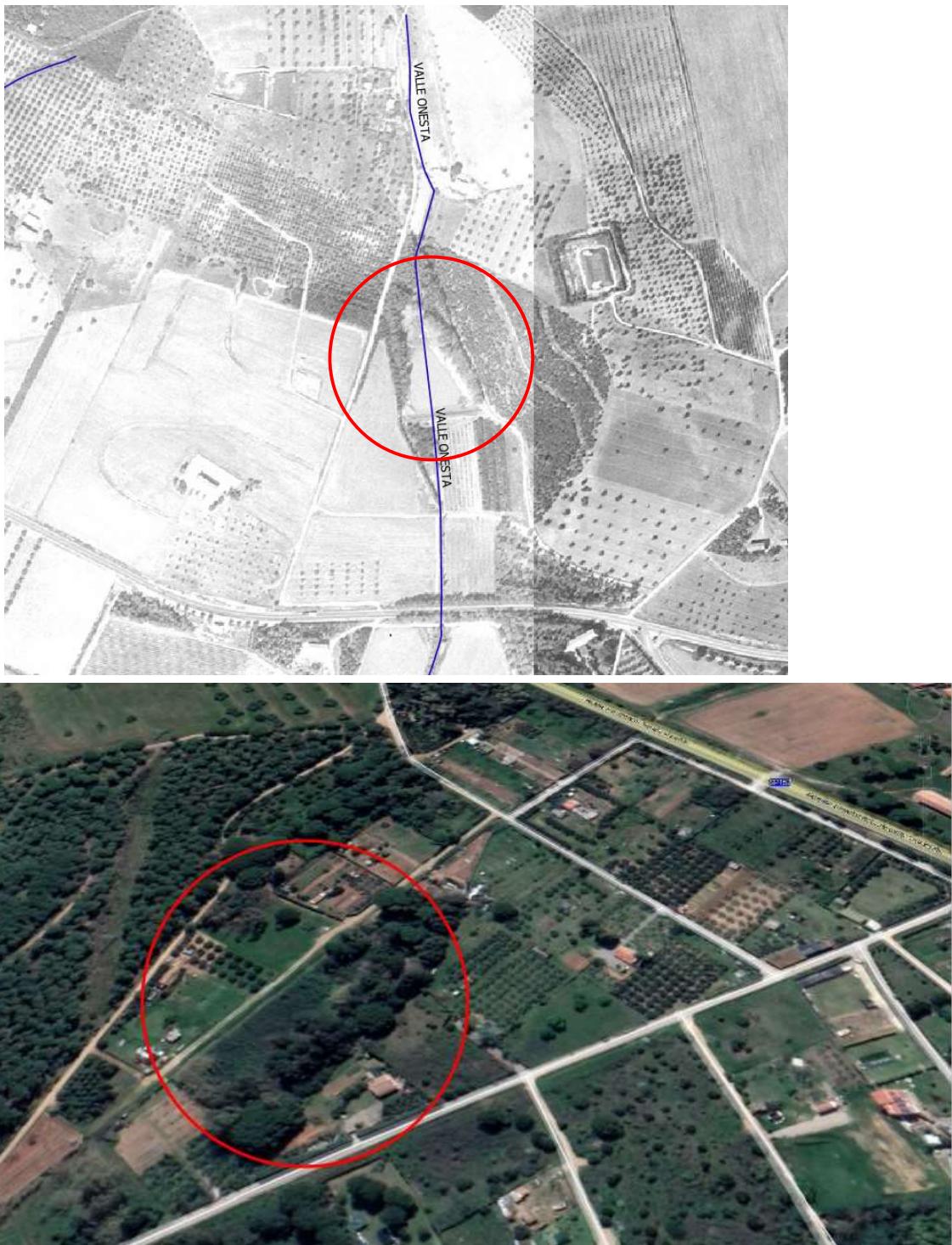
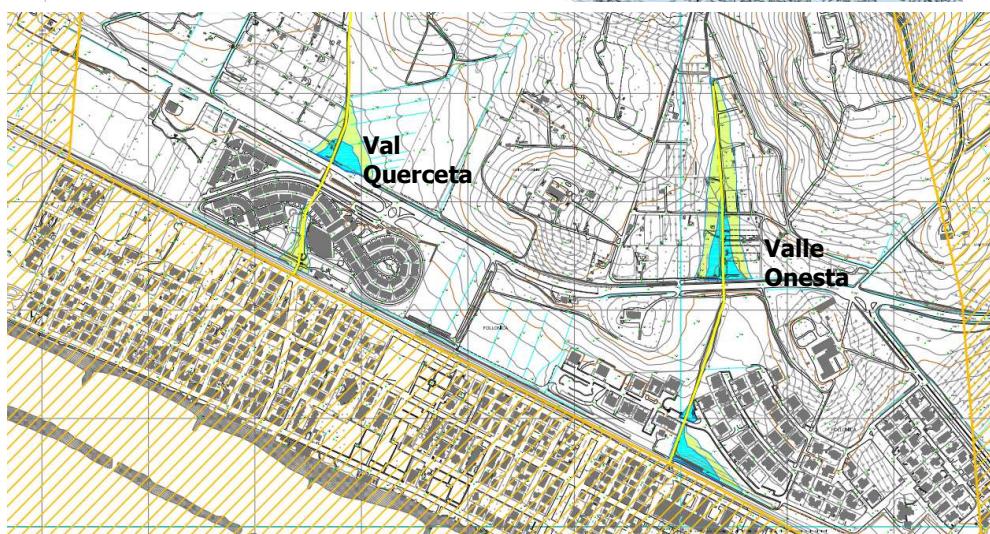
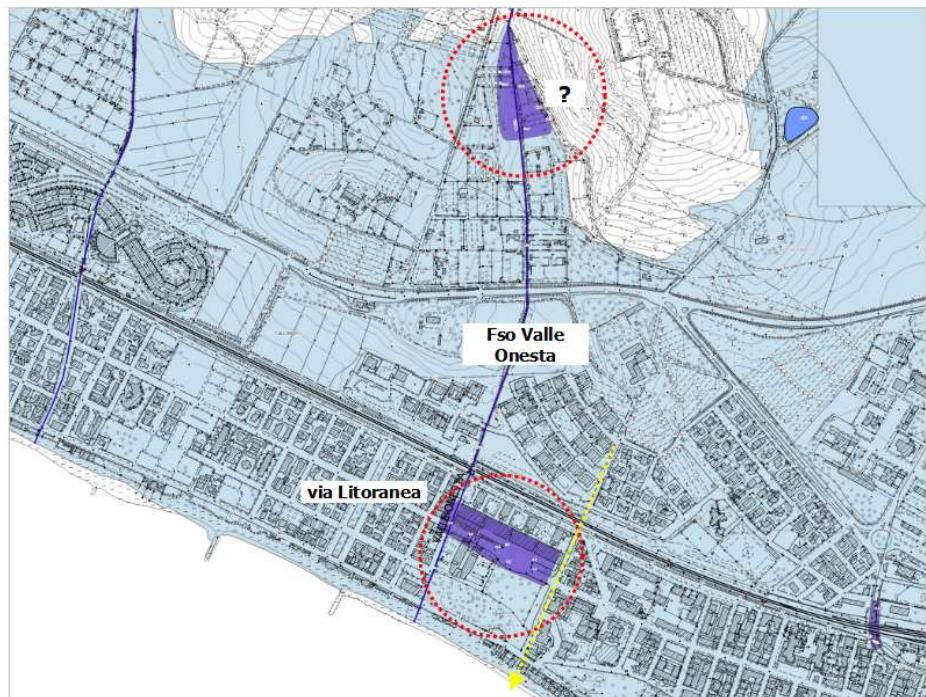


Fig. 16. F.so Valle Onesta - Invaso attivo negli anni '70-'80 - SA da verificare [da Geoscopio RT].

¹⁹In effetti poco convincenti sia per posizione e morfologia locale, sia per mancanza di valutazioni circa l'invaso (o area ex invaso) citato.



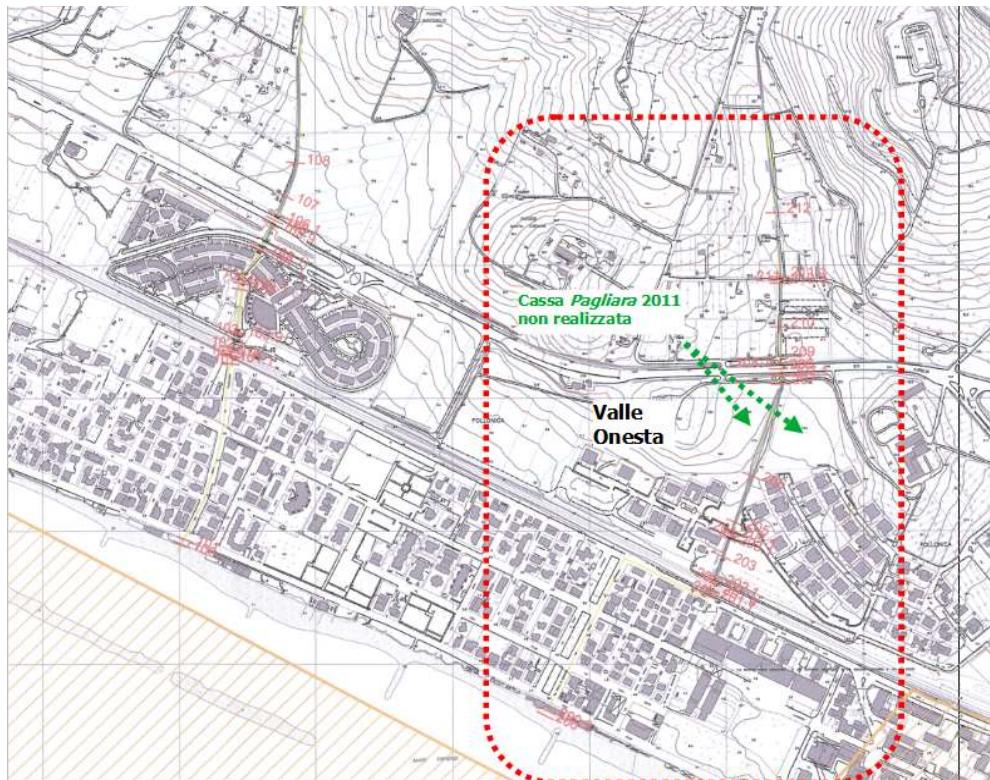
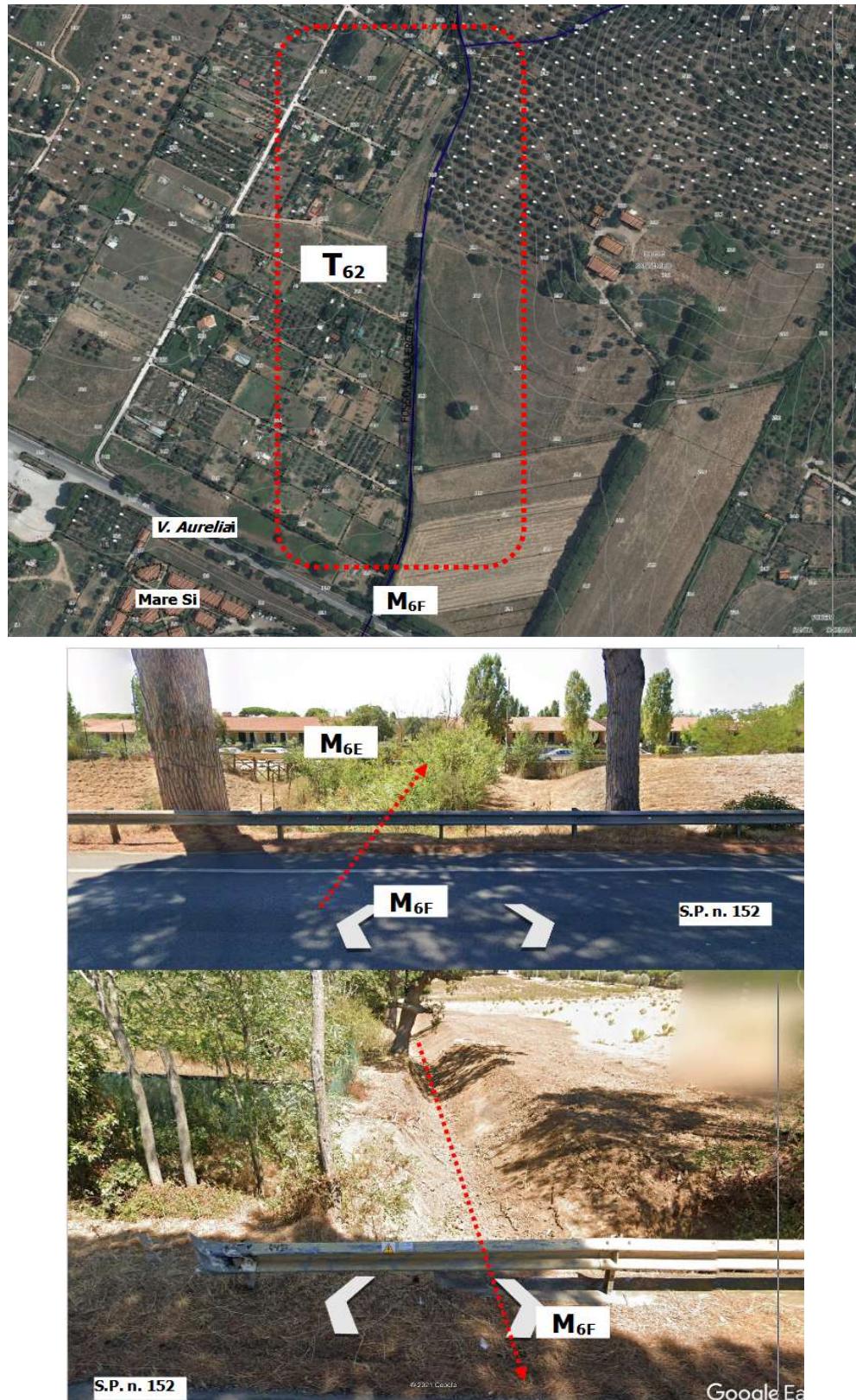


Fig. 17. PGRA AddAS UoM Toscana Costa e aree allagabili $T_r=200$ anni/ipotesi interventi RU11 non recepite/realizzati - F.so Valle Onesta a Follonica.



Fig. 18. Tratto depresso di via Litoranea tra via Isola del Giglio e via dei Pini a Follonica - Area attualmente P3 in PGRA.

Il F.so Val Querceta, idrologicamente simile al Valle Onesta, appare idrograficamente più coerente (sezioni di deflusso) ed è tombato, salvo brevi tratti, già a partire dalla *V. Aurelia* (Fig. 19), con [peraltro inutili] difficoltà di accesso e manutenibilità²⁰. Il solito tombino **FFS** ne segna l'ingresso nell'area urbana senza soluzione di continuità, a tutti gli effetti parte integrante del locale sistema fognario meteorico.



²⁰In carico (come) a *Mare Si*?









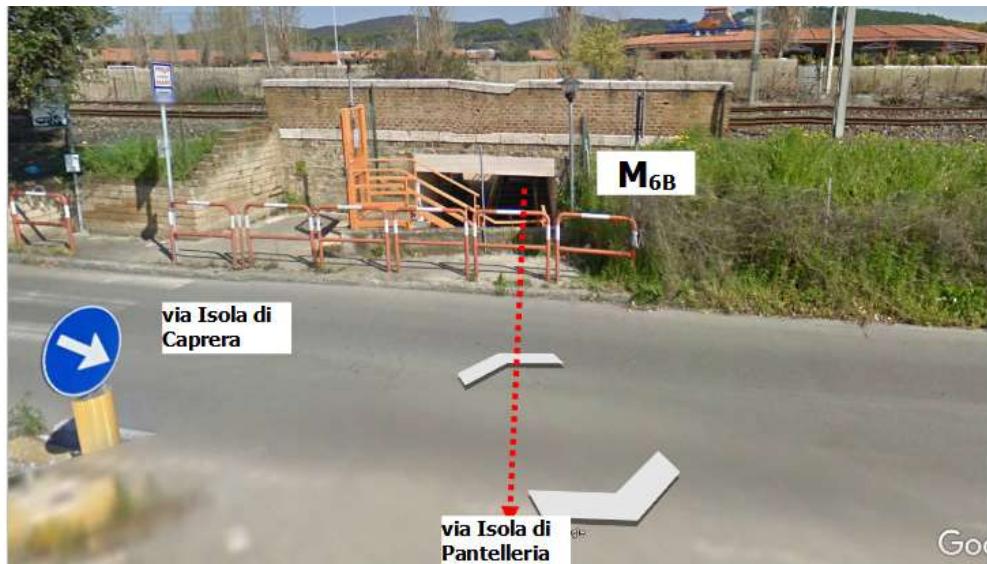






Fig. 19. F.so Val Querceta - SA 2020-21 (evidenziati tratti e manufatti di attraversamento/tombamento).

A differenza del Valle Onesta, per il F.so Val Querceta la preziosa fascia di territorio compresa tra *V. Aurelia* e *FFS* è stata praticamente saturata dalla edificazione, lasciando per ciò temere una criticità specifica.

Non sussiste analisi di pericolosità propria nel *PGRA* (tutta area *P1*), non essendo state recepite *RU11* (Fig. 17). Non disponibili verifiche di conformità dei tombamenti più recenti di Villaggio *Mare Si* né di eventuali misure mitigatorie complementari²¹. La maggiore incoerenza dimensionale è il tombamento urbano (doppia canna?) in successione al tombino *FFS* che, però, nella parte più ampia pare essere dimensionato quale attraversamento pedonale(?); tuttavia, ben più ampi sono anche i tombini su *V. Aurelia* e viabilità interna *Mare Si*. Da verificare anche l'esatta geometria interna al Villaggio (vd. § Errore: sorgente del riferimento non trovata). Problematica la scarsa manutenibilità tra *S.P.* e *Mare Si* e indefinita all'interno.

Reticolo minore tra Val Querceta e C.le Mercatone (c.d. Acquario)

L'area ha caratteristiche similari a quelle adiacenti tra i F.si Val Querceta e Valle Onesta, ma di maggiore estensione e minore urbanizzazione, anche se maggiormente rimaneggiata a monte della *V. Aurelia*. La fascia interclusa tra *Aurelia* e *FFS* è l'ultimo residuo inedificato del Comune, storicamente il più soggetto a ristagni (Fig. 20).

La parte a valle di *FFS* (Fig. 21) è stata recentemente oggetto di un importante intervento idraulico, con totale riconfigurazione, sino a mare (canale di gronda di n. 2 tombini *FFS*+cassa di laminazione+collettore di scarico), del sistema di drenaggio della zona c.d. *Acquario* (Camping *Tahiti-Golfo del Sole* Resort) o via Isola di Caprera-Don S. Leone²². Ivi i riferimenti sono *Pagliara*²³, 2005, *RU11* (idraulica) e *Nencioni*, 2009 e *Baldi*²⁴, 2010 *et al.* (opere). Non *Ret_Idr* (eventualmente da integrare). Tale intervento (unitamente alle urbanizzazioni causali) ha sostanzialmente modificato la preesistente regimazione delle acque a monte e valle *FFS*, soggette a scolo intermittente con prolungati ristagni, riconducendo i precedenti intubamenti (anche attraversante il *Camping*) alla vasca di laminazione lungo via Don Leone/Isola di Caprera (prolungamento) e quindi, con un nuovo sbocco a mare; il canale di gronda a valle della linea ferroviaria allaccia i due principali tombini (unici) dell'area, costituendo dunque il recapito (cfr. Parte B-*Idraulica*) di tutte le acque alte tra Val Querceta e C.le Mercatone.

La medesima cassa recepisce, condizionatamente (da cui la residua *P2* di Fig. 25), anche parte delle acque basse dell'area intorno v.le Italia, altrimenti recapitanti nel C.le Cervia (Fig. 22).

²¹Dell'aggravio relativo alla maggiore impermeabilizzazione dei suoli; tombini (capacità di deflusso) di valle sono rimasti invariati.

²²Opere attualmente in carico al Comune di Follonica.

²³Realizzazione di opere di urbanizzazione viaria e sistemazione di aree, attrezzature ed impianti di interesse generale - Prolungamento via Isola di Caprera - Progetto Definitivo, Settore LLPP *et al.* del Comune di Follonica.

²⁴Progettisti per il Comune di Follonica.

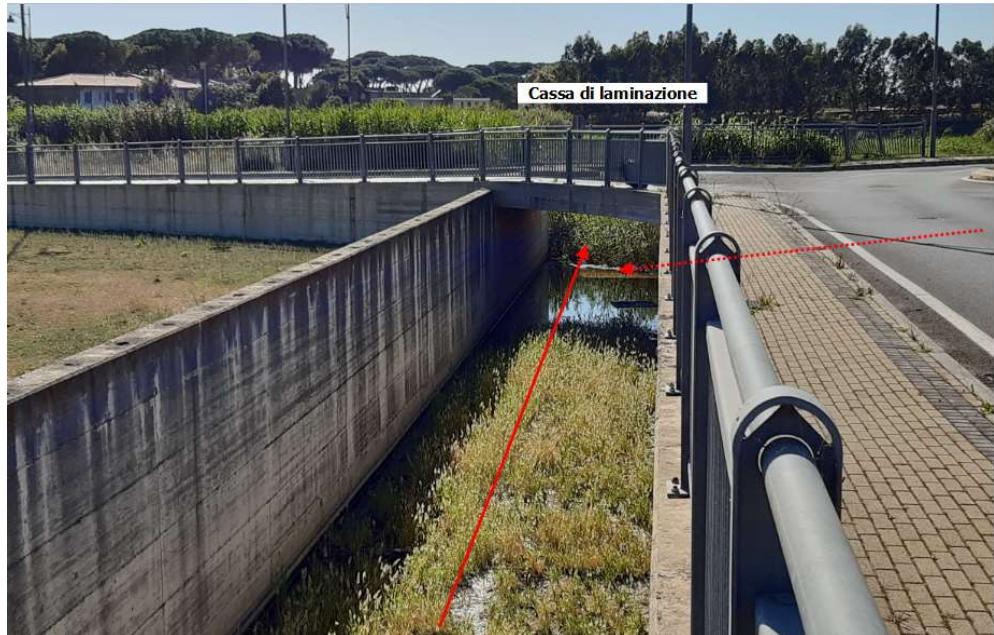


Fig. 20. Reticolo minore tra F.so Val Querceta e C.le Mercatone - Inquadramento.











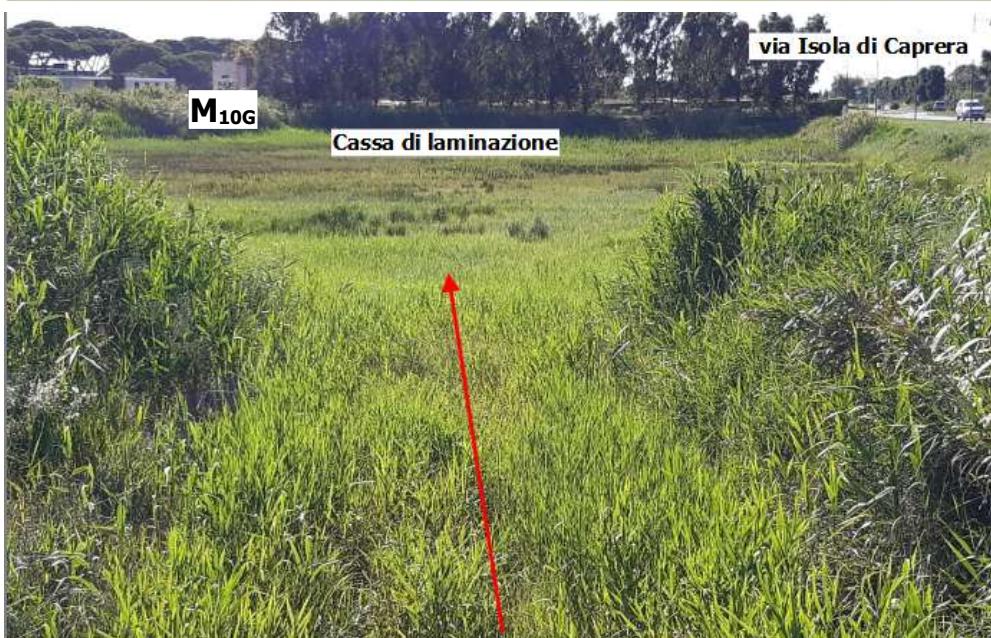




Fig. 21. Reticolo minore tra F.so Val Querceta e C.le Mercatone - Interventi a valle FFS - Funzionalità - SA 2020-21.



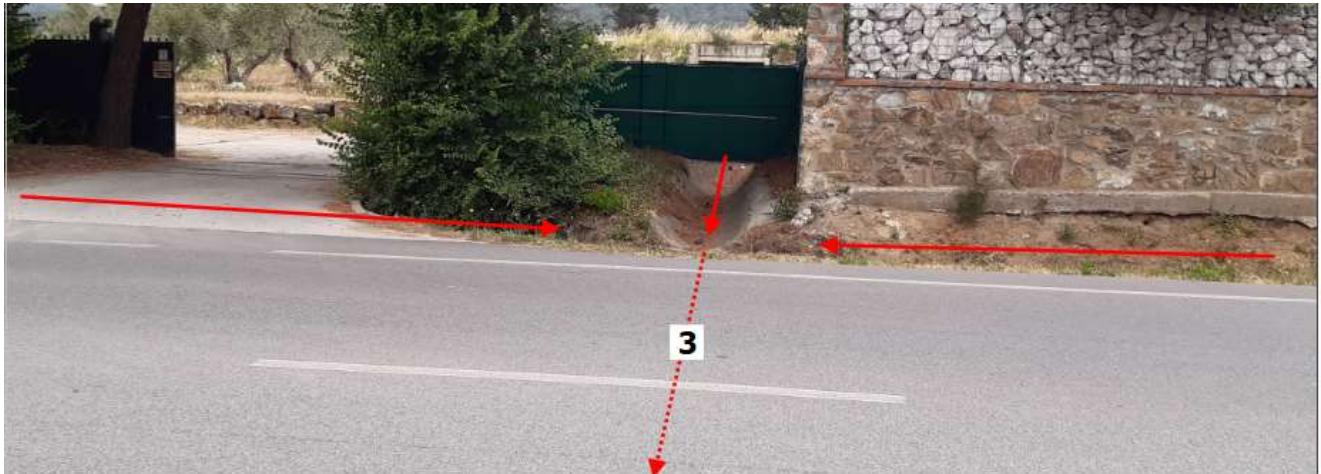
Fig. 22. Scarico intermittente nel C.le Cervia acque meteoriche area residua v.le Italia- Golfo del Sole - SA 2020-21.

Viceversa, permangono invariate le fragilità di drenaggio attraverso la *V. Aurelia* -tombini stradali, regimazione di monte e drenaggio a valle (Fig. 23)-, reso anche incerto dall'attuale stato incompiuto²⁵ dell'intervento del c.d. *Campo da Golf* (Fig. 24), che ha modificato l'originario²⁶ assetto idrografico a fini di utilizzo della risorsa idrica (captazione e accumuli), con particolare riferimento alla parte orientale, storicamente (e ancora oggi?) non afferente il C.le Mercatone ma (tramite fdg e tombini *V. Aurelia* e FFS) l'interbacino oggi regimato dagli interventi c.d. *Acquario*.

²⁵Rispetto ad uno definitivo di progetto da accertare (vd. § Errore: sorgente del riferimento non trovata).

²⁶In verità, diversione del reticolto minore verso piccoli invasi a fini agricoli è pratica antica in tutto il territorio collinare.







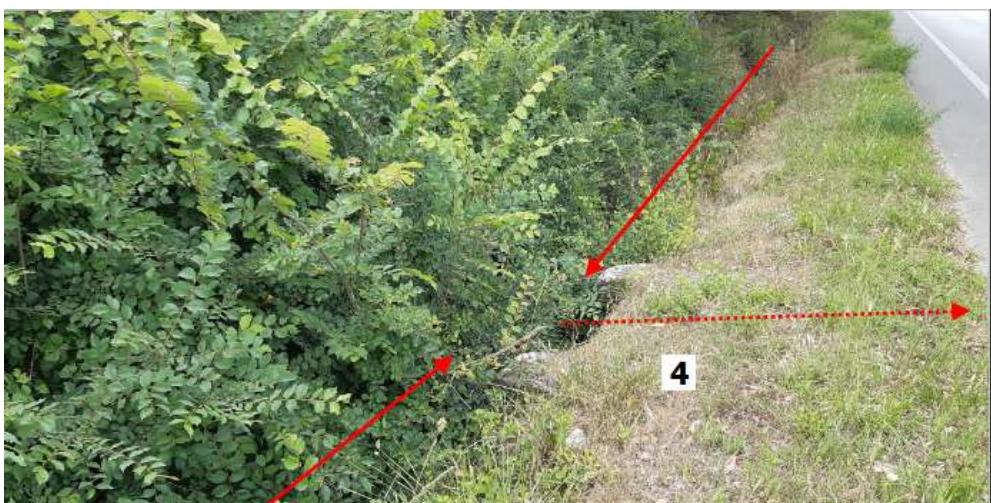








Fig. 23. Tra F.so Val Querceta e C.le Mercatone - Drenaggio su V. Aurelia tra Mare Si e via Eolie- SA 2020-21.





Fig. 24. *Area c.d. Campo da Golf a monte della Vecchia Aurelia a Follonica - Stato ante e post operam (incompiute).*

L'attuale PGRA (Fig. 25) in parte riflette tale ambiguità ed incompiutezza (posizione laghetti, recapito e prestazioni degli sfioratori di sicurezza, ...). La pericolosità propria è stata oggetto di analisi di compatibilità idraulica in RU11 per la sola area a valle FFS (salvo area a monte afferente il C.le Mercatone), da cui il conseguente intervento di mitigazione, realizzato e collaudato; lo stato modificato, oggi attuale, è stato recepito nel PGRA con D.S.G. n. 64/20. Non è prevista qui alcuna nuova analisi, salvo omogeneizzazione idrologica e considerazioni specifiche sul sistema di drenaggio di monte, le pericolosità residue²⁷ a monte FFS (soprattutto per la viabilità) e le relative misure di salvaguardia.

²⁷ Nel PGRA P1 ma sostanzialmente non valutate.

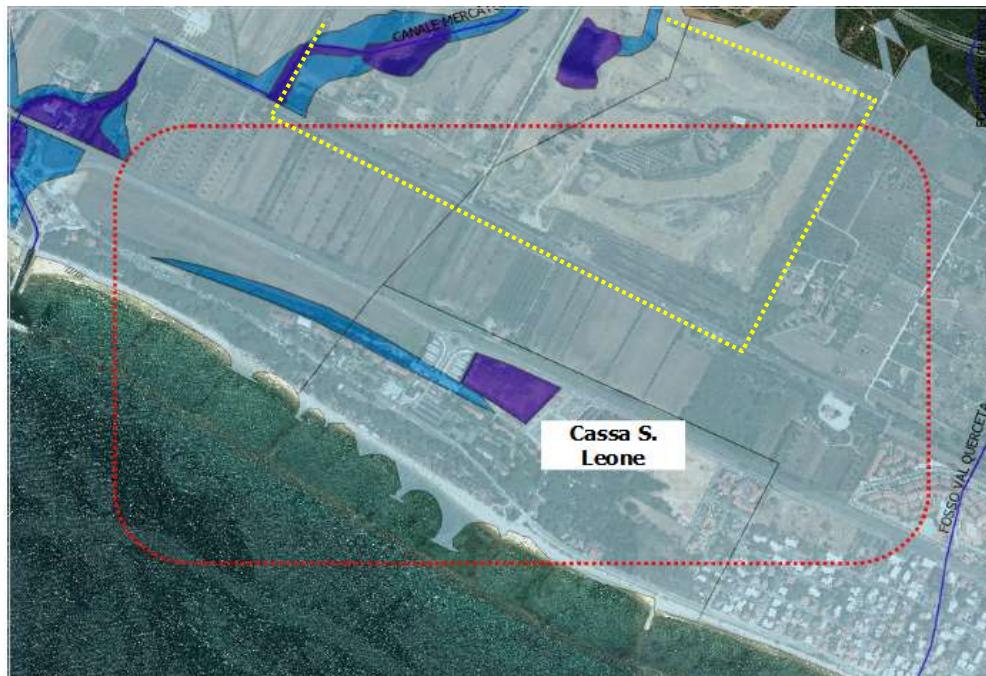


Fig. 25. PGRA AddAS UoM *Toscana Costa post interventi* RU11 - Zona c.d. *Acquario* a Follonica. Evidenziato in giallo *Campi da Golf* (ancora incompiuto).

C.le Mercatone (F.so Val degli Olmi)

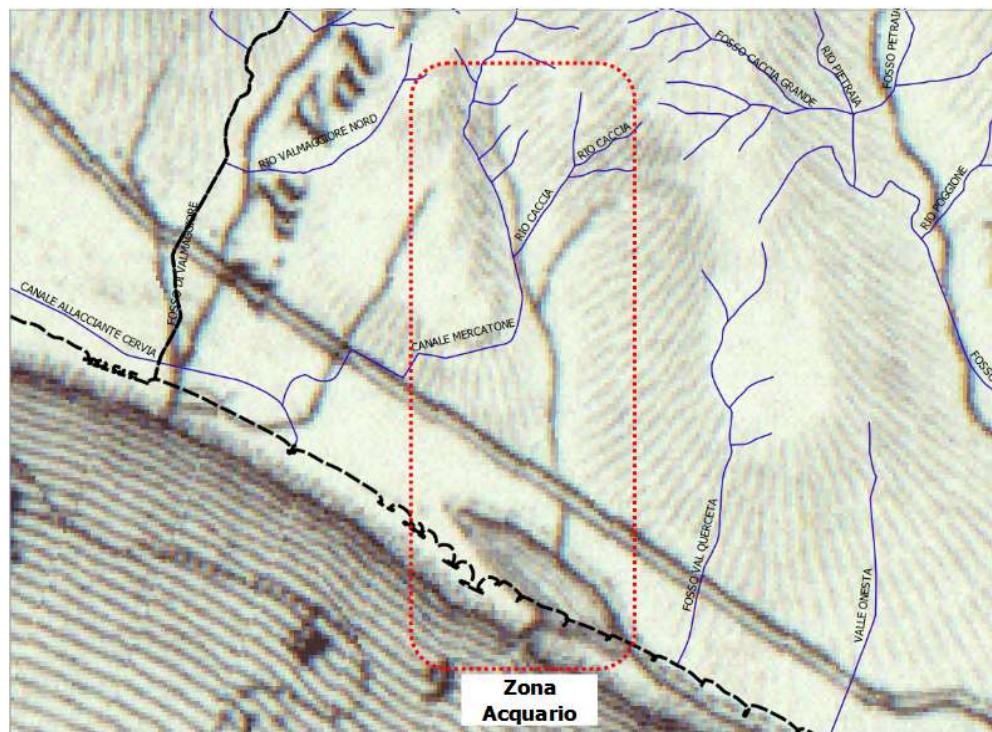
I riferimenti principali di QC sono NF02, RU11 e Maggi, 2018 (TR9-Isole Eolie). Non modellato in PSI21.

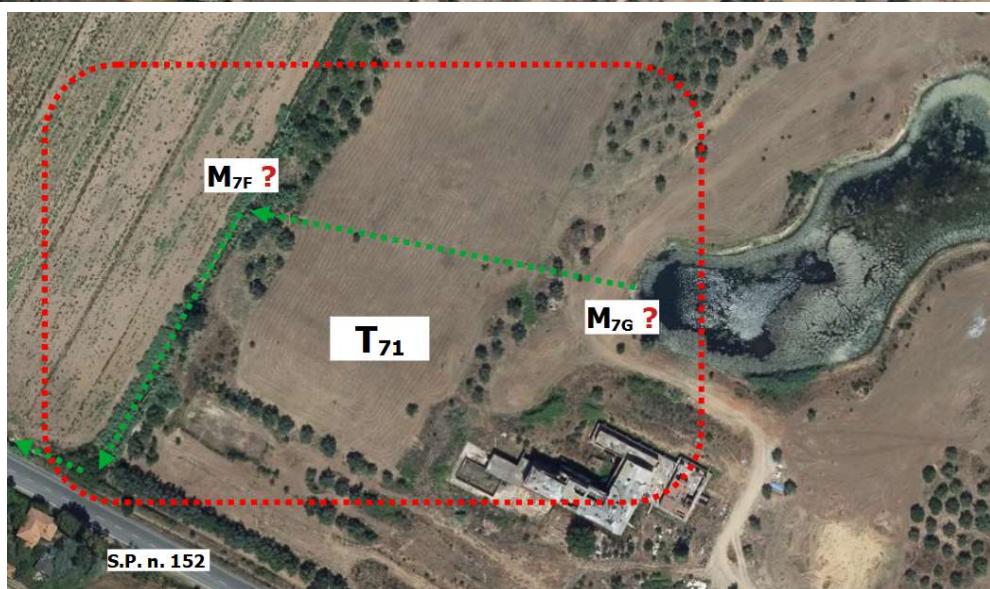
Il C.le Mercatone o F.so Val degli Olmi (Fig. 26) sottende un bacino collinare di estensione significativa, sin oltre il limite boscato a monte della *V. Aurelia*, entra in ambito urbano a partire dalla *V. Aurelia* e confluisce già tombato da FFS nel C.le Cervia a Pratoranieri.

Tra tutti i corsi d'acqua di Follonica, esso rappresenta forse il più evidentemente rimaneggiato nell'ultimo secolo/i in maniera incompiuta²⁸, con un assetto che appare dimensionalmente e topologicamente ancora incongruo. L'antico fosso, originariamente con sbocco a mare proprio nell'attuale zona Acquario, fu "girato" a ovest verso l'altro piccolo impluvio afferente il F.so Valmaggiore. Ulteriori rimaneggiamenti recenti²⁹ (*Campo da Golf*) ne rendono oggi ancor più incerti gli afflussi effettivi all'alveo di fondo valle. In particolare, incongruo e labile appare l'intero tratto a monte della *V. Aurelia*, sia in dx sia in sx. In un certo qual modo, le infrastrutture viaria e ferroviaria "garantiscono" la concentrazione dei deflussi [teoricamente] propri più della geometria idrografica (attuale). La [notevolmente] maggiore sezione dei pochi tratti a cielo aperto, rispetto ai tombini, è caratteristica comune ad altri cc.d.a. a Follonica, parendo quasi la concretizzazione di due opposte interpretazioni della citata alea sugli effettivi massimi deflussi temibili.

²⁸Da cui anche la doppia denominazione.

²⁹I maggiori rimaneggiamenti sembrano essere avvenuti più indietro nel tempo, obliterando l'asse idrografico in direzione N-S a monte della *V. Aurelia* (cfr. Fig. 26).





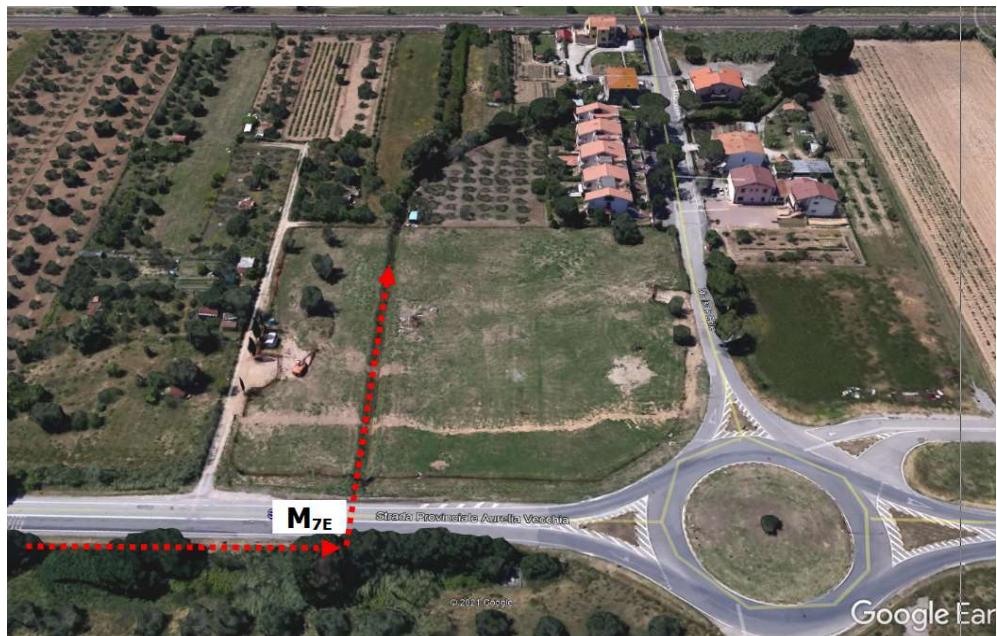












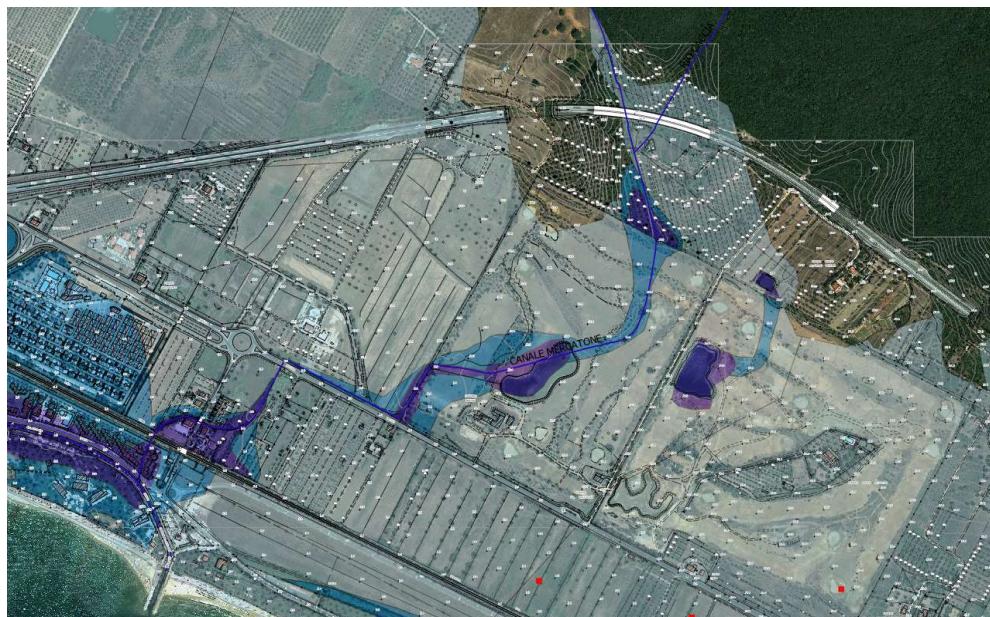




Fig. 26. C.le Mercatone - Inquadramento e SA 2020-21.

Le criticità apparenti principali sono la labilità citata, difficoltà di accesso ai mezzi di manutenzione in zona urbana, il tratto latistante la *V. Aurelia*, i tombini stradali (di dimensione ben inferiore a quello FFS e seguente), il tombamento urbano terminale (manutenzione, afflussi urbani e rigurgito). Va rilevato che affatto non trascurabile è la effettiva logica idraulica (formalmente definita e approvata dagli *Enti* competenti) di invasi e reticolo previsti nello SP definitivo del *Campo da Golf* -gestione dei livelli, massimi deflussi temibili $T_r=200$ anni, responsabilità,- potendo essa incidere in maniera importante su pericolosità e vincoli territoriali a valle. Meno rilevante, almeno in tale contesto, è la dinamica sedimentologica, testimonianza di una effettivamente ridotta energia specifica (cfr. F.so Valmaggiore).

In PGRA prima con D.C.I. 235/16 (PAI *Toscana Costa*), poi D.S.G. n. 57/19 parzialmente integrata con D.S.G. n. 64/20 (Fig. 27). Non pienamente convincente per i motivi suddetti, verrà rivista la modellazione (sia idrologica sia idraulica), previe verifiche di maggior dettaglio sullo stato geometrico di riferimento e significatività complessiva.

Fig. 27. PGRA AdDAS UoM *Toscana Costa* - C.le Mercatone a Follonica.

F.so di Valmaggiore

I riferimenti principali di QC sono NF02, RU11 e PSI21.

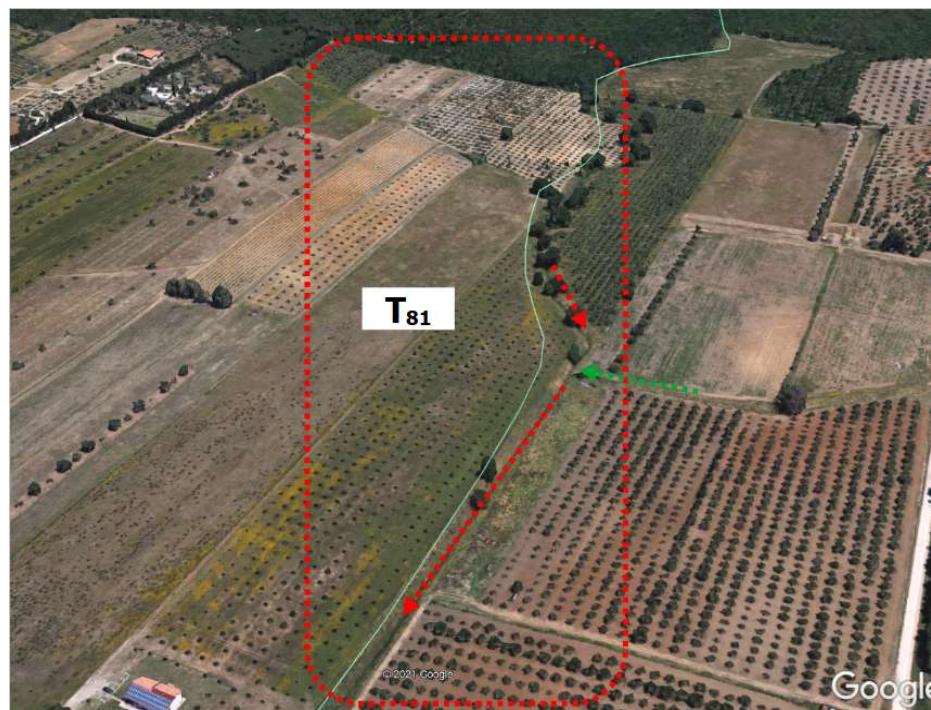
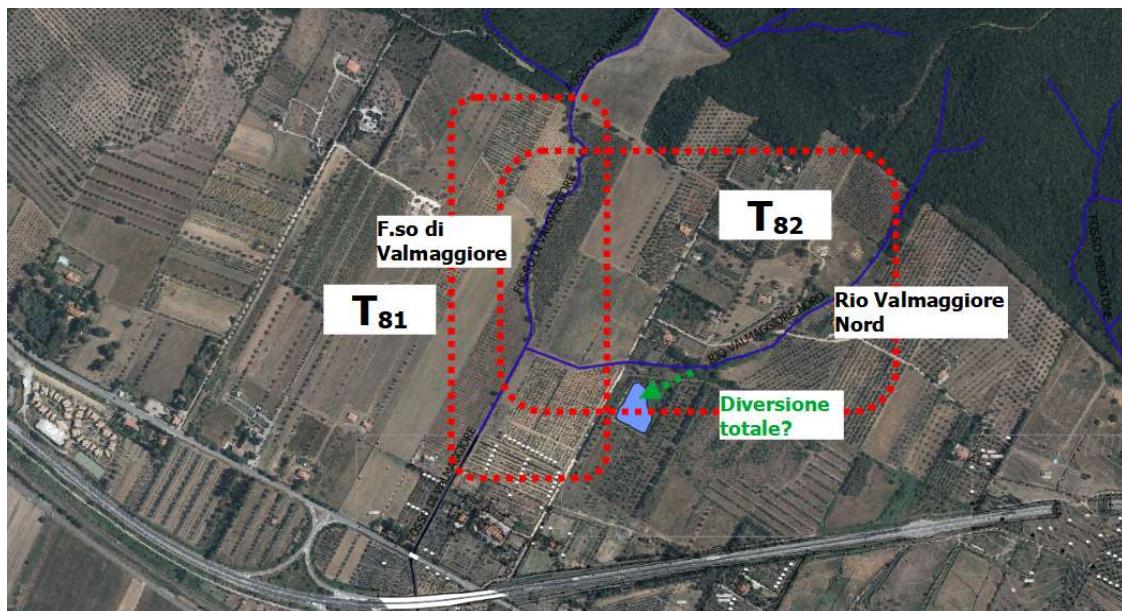
Il F.so di Valmaggiore (Fig. 28) è certamente il c.d.a. principale, per pericolosità attuale, del settore NW del Comune di Follonica. Sebbene con caratteristiche idrologiche similari al C.le Mercatone, il bacino sotteso di dimensioni e pendenza media maggiori, il minore rimaneggiamento (diversivo) storico e recente e l'assenza di opere d'arte fortemente laminanti le portate di punta a monte del limite urbano determinano un quadro di massimi deflussi temibili meno incerto (anche se permangono, idrograficamente, labilità e dimensioni ridotte nei tratti collinari).

Di contro, la innaturale immissione a 90 gradi nel C.le Cervia suggerita l'evidenza della pericolosità locale, peraltro testimoniata da eventi storici anche recenti (1995). Pochi metri a monte dell'immissione nel C.le Cervia, il fosso riceve le acque meteoriche della Controfossa Sx, determinando possibili insufficienze su quest'ultima (vd. avanti).

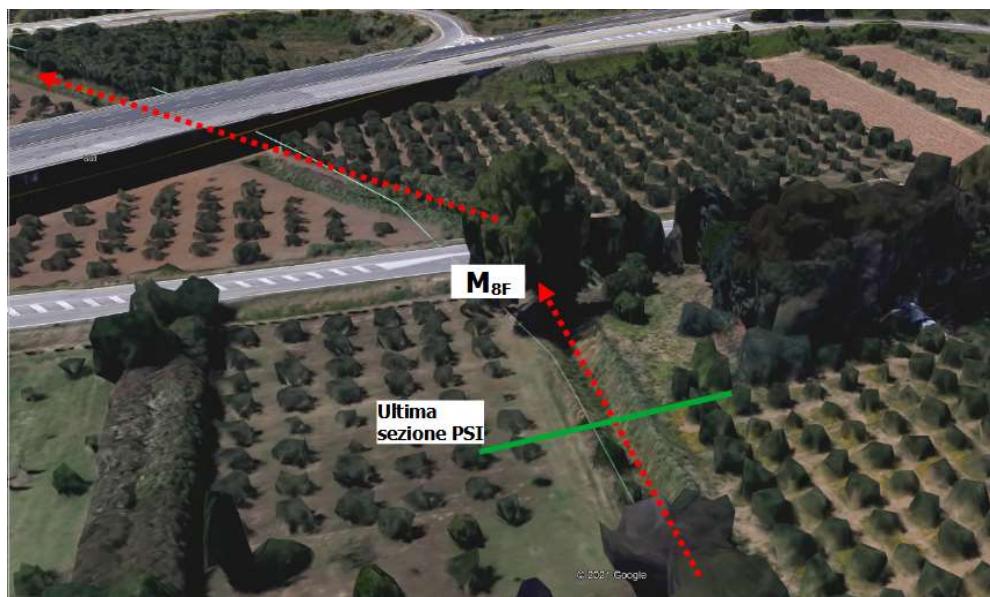
In termini formali, il PGRA (D.S.G. n. 57/19) (Fig. 29) rappresenta una vasta area allagabile P3-P2, tutta via apparentemente affetta da incongruità tipiche dei confini amministrativi (Comuni di Follonica-Piombino); analogamente non pienamente esaustivo neppure PSI21 (in fase di validazione ufficiale e non ancora recepito nel PGRA).

Verrà qui rivista l'intera modellazione, estendendo a monte i tratti idrografici di analisi.









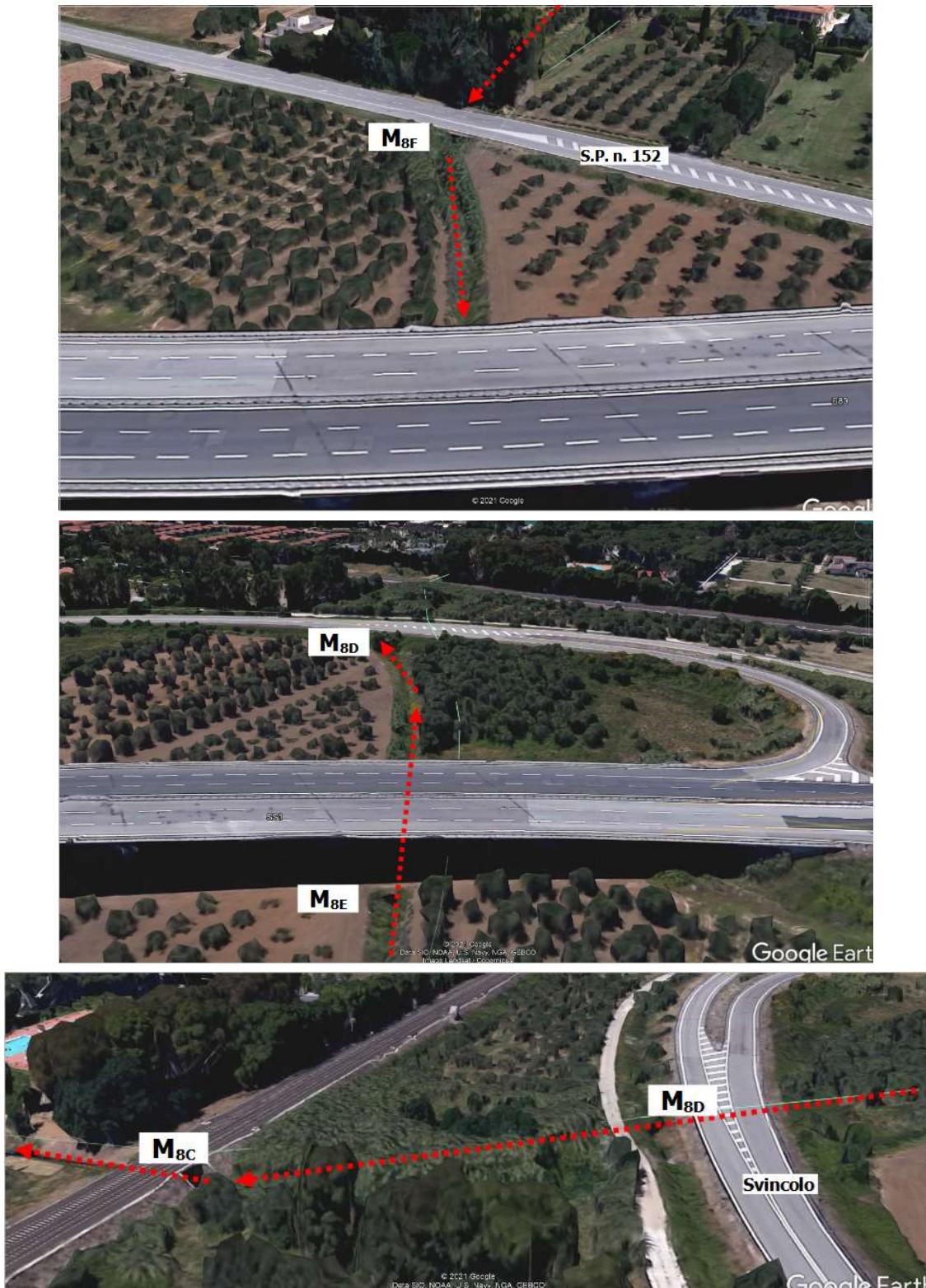








Fig. 28. F.so di Valmaggiore - Inquadramento e SA 2020-21.

Fig. 29. PGRA AdDAS UoM *Toscana Costa* - F.so di Valmaggiore a Follonica.

C.le Allacciante Cervia e Controfossa Sx

I riferimenti principali di QC sono NF02, RU11 e PSI21.

Il C.le Allacciante Cervia (Fig. 30) attuale è il frutto della sovrapposizione (non perfettamente riuscita) di una gronda terminale di tutte le acque basse costiere nei Comuni di Piombino e Follonica e della esigenza turistica di rimessaggio barche; su di esso si innestano, per lo sbocco a mare, anche alcuni cc.d.a. alte, ivi artificialmente ricondotti. In generale importante e lunga opera di bonifica dei paduli, causa lievissime pendenze motrici ha spesso direzione di [lentissimo] deflusso duplice, dipendentemente dagli specifici carichi idraulici (collegamenti idraulici ridondanti e massimo capacità di invaso utile), supportata anche da impianti di sollevamento meccanico (es. loc. Carbonifera). Il tratto oggi scolante verso il Comune di Follonica è essenzialmente quello originante da loc. Torre Mozza (*ca. 2+ km*) [e non dall'idrovora Carbonifera-F.so di Valnera], privo (nel tratto esterno al limite comunale) di immissioni di acque alte importanti (l'unico è il F.so c.d. *Pappasole* in testa tratto). In verità, potrebbe sussistere ancora qualche "debole"³⁰ connessione idraulica tra le due corrispondenti Controfosse (Dx in direzione Piombino e Sx per Follonica) alla rotatoria di *Pappasole* (qui assunta inesistente). Il tratto in Comune di Follonica -da qualche decina di metri a valle del Valmaggiore (*La Madonnina-Baia Toscana 2*) assume dimensioni maggiori e con battenti stabili in quanto canale di riparo nautico, mentre la parte di monte mantiene caratteristiche più prettamente di scolo, con fondo normalmente non sommerso e ampi tratti di ristagno/lagunaggio³¹. Ret_Idr da modificare/integrare.

In ogni caso, il C.le Cervia a Follonica [tratto *Cervia_4* di PSI21] è di per sé privo di pericolosità idraulica, se non in quanto facente funzione di sbocco a mare del F.so di Valmaggiore, del C.le Mercatone e di uno dei due collettori Acquario. Afflussi propri sono, infatti, limitati (trascurabilmente) alla stretta fascia costiera, essendo, viceversa, quelli del più ampio interbacino adiacente il Valmaggiore intercettati dalla Controfossa Sx. Quest'ultima, in origine poco più di una fossa agraria minore, ha evidentemente acquisito maggiore importanza al progredire delle edificazioni turistiche, con incongruenze residue tipiche.

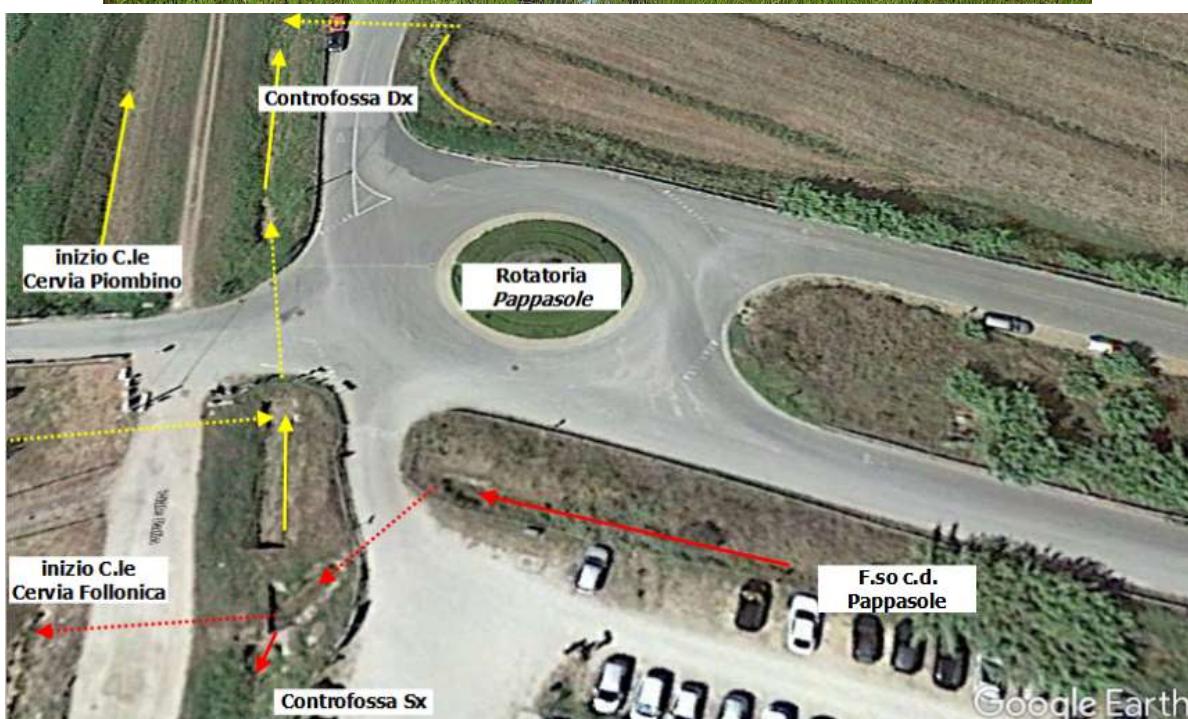
Complessivamente, dunque, la pericolosità idraulica dell'areale a monte della confluenza del F.so Valmaggiore è tipicamente diffusa pluviale e di ristagno, con possibilità di locali maggiori accumuli e linee di deflusso concentrate, significative più per il progressivo aumento di vulnerabilità e esposizione (urbanizzazione, es. Baia Etrusca) che non per caratteristiche proprie (tuttavia anch'esse alterate), normalmente ben tollerate da un sistema agricolo o umido retro-dunale.

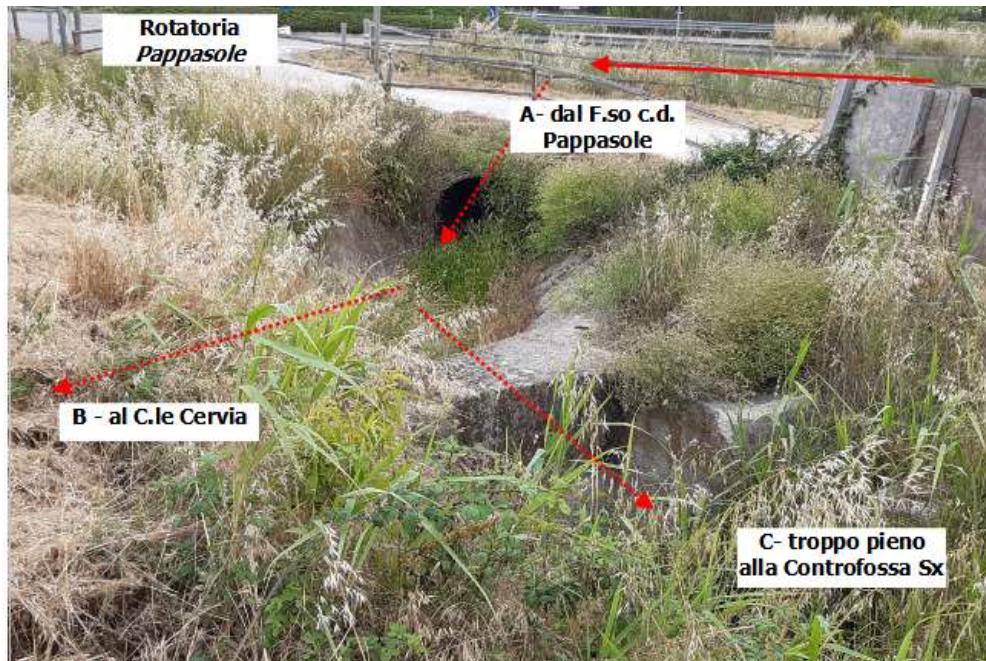


³⁰ Nel senso dell'efficacia, causa incerta geometria delle condotte non a vista e depositi.

³¹ Con qualche problematica di scarichi residui non depurati.













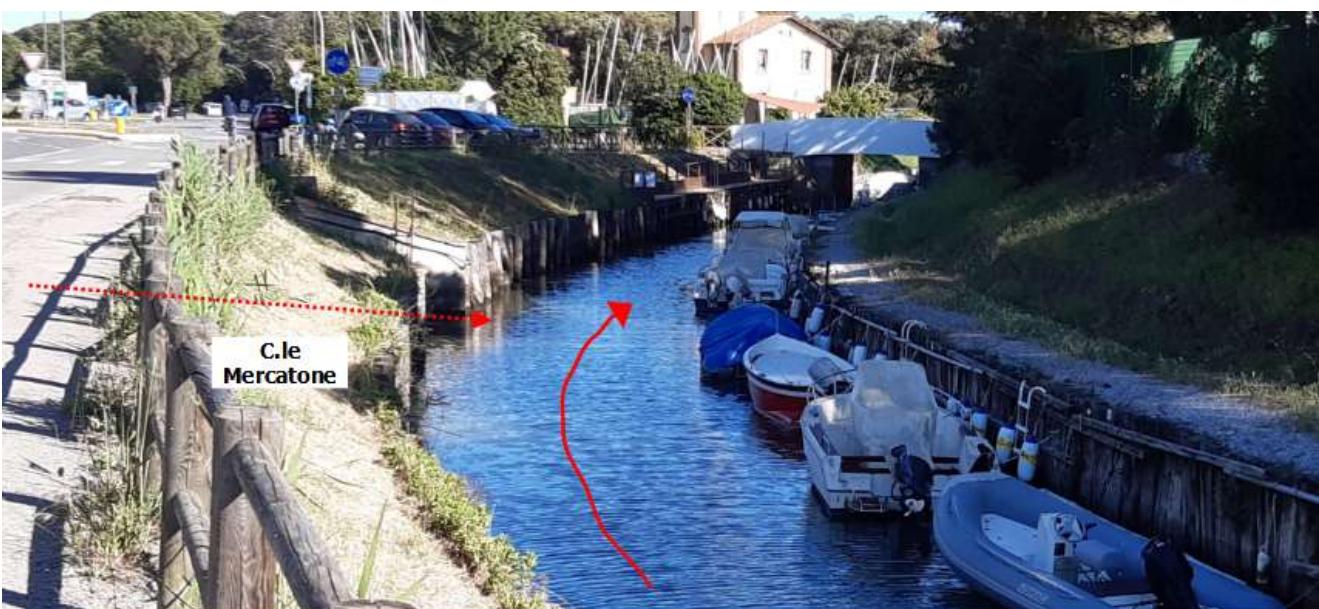
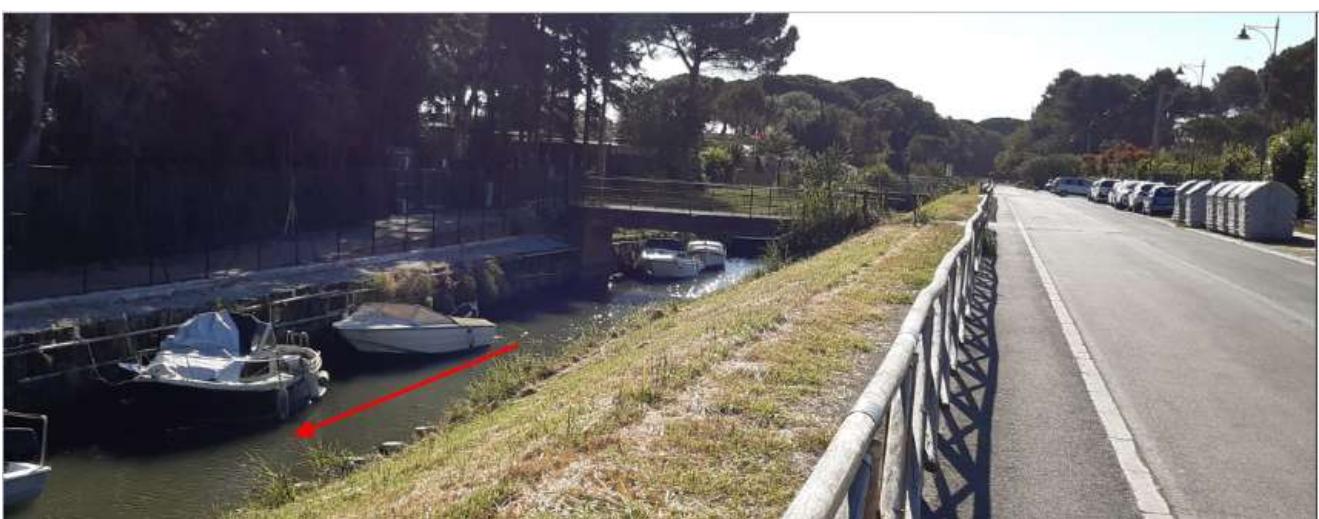














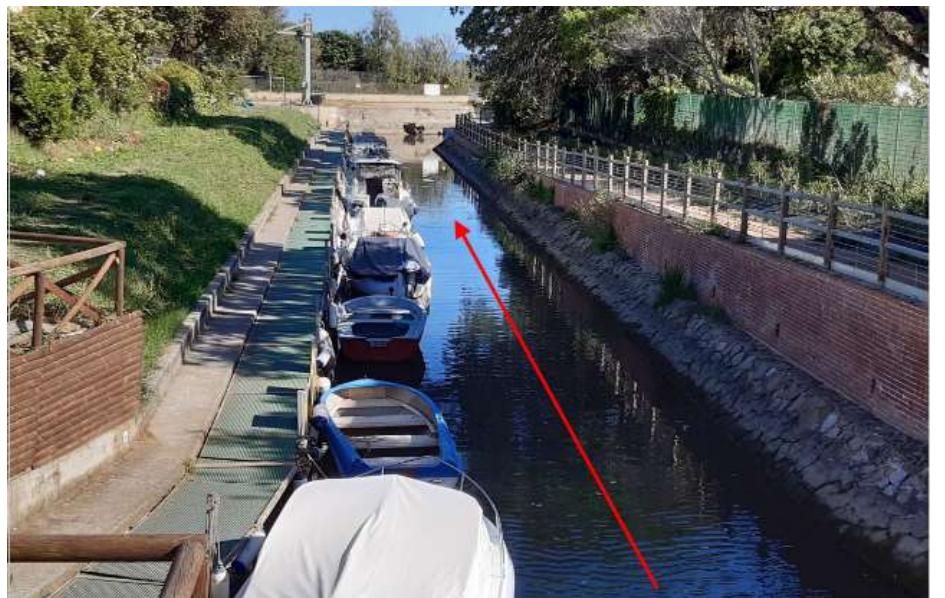
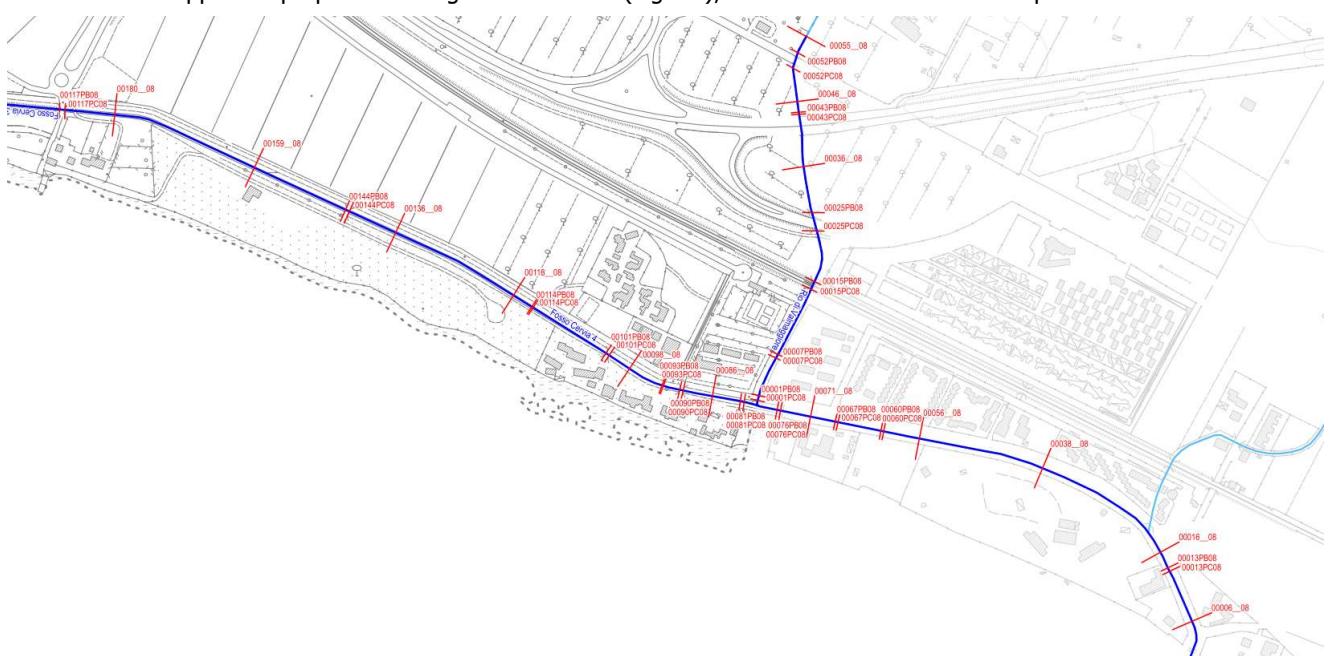


Fig. 30. C.le Allacciante Cervia e Controfossa Sx - Inquadramento e SA 2020-21.

Allo stato attuale, il PGRA vigente (D.S.G. n. 57/19) definisce solo in via approssimativa tale condizione (P2, Fig. 29); non esaustiva neppure la proposta di integrazione PSI21 (Fig. 31), ferma restando la difficoltà tipica di tali situazioni.



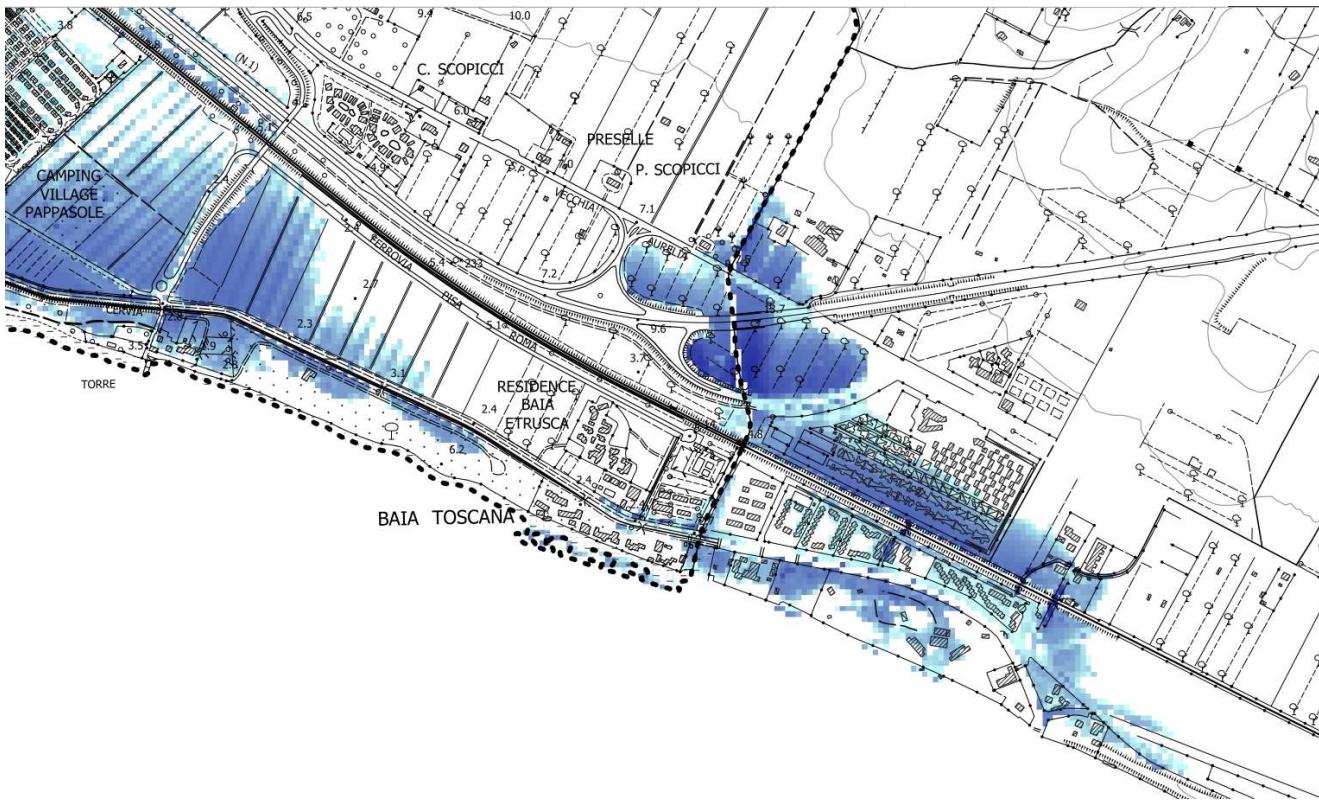


Fig. 31. C.le Allacciante Cervia - Tratti di calcolo e aree allagabili $T_r=200$ anni idraulica secondo PSI21 [tratta da Tav. I.05.2].

Sistemi fognari meteorici

La naturale difficoltà di scolo di tutta l'area a mare di Follonica si riflette inevitabilmente anche sul sistema di drenaggio urbano che non integra il difficile scolo a gravità naturale con un adeguato sistema di compensazione e sollevamento meccanico. Tralasciando le pur consistenti problematiche aggiuntive di tipo qualitativo³², dal punto di vista meramente meteorico, numerosi sono gli eventi storici di allagamento pluviale delle zone più depresse del Capoluogo. Pur non essendo tale problematica oggetto qui di specifica analisi³³, è tuttavia necessario definirne un inquadramento essenziale al fine, prima, di stimarne sia le inter-relazioni (pericolosità specifiche) con i tratti tombati dei cc.d.a. (es. Valle Onesta e Val Querceta) e le acque alte collinari in genere, sia le aree a maggiore pericolosità da accumulo e, poi, le misure (indirizzi) di cautela e mitigazione³⁴.

In via preliminare e affatto qualitativa, si possono distinguere grosso modo 5 diverse aree (Fig. 32), con corrispondenti reti e sottoreti fognarie soggette a problematiche specifiche:

- *Zona Industriale* lungo S.P. n. 152 e intorno *via R. Sanzio* [Gorello delle Ferriere]
- *Petraia_Sx* - via Massetana e Cassarello-Senzuno [F.so Petraia e F.so Salciaina]
- *Petraia_Dx* - via Rossini [F.so Petraia]
- *Valli_Centrali* [Valle Onesta, Val Querceta e F.si minori]
- *Acquario* [C.le Cervia e mare]

Posto un quadro morfologico generalmente sfavorevole al deflusso (in c.d.a. o a mare) incondizionato (fascia a valle V. Aurelia-FFS) con sovraccarichi urbani (impermeabilizzazione) non compensati (volumi di invaso), la ZI soffre specificatamente la irrisolta interfaccia con i deflussi collinari dei Poggetti così come la zona di via Massetana (interbacin tra Poggetti e Vado Coperto, Fig. 33); *Cassarello-Senzuno* (la più critica) la pressoché totale soggiacenza idraulica tipica della bonifica agraria incompleta; *Petraia_Dx* la incoerente sovrapposizione storica edificazione/infrastrutturazione³⁵ e sovraccarichi edificazioni recenti a monte FFS; l'area urbana delle

³²Anche su questo fronte, sono tuttavia in atto revisioni della rete e interventi strutturali di progressiva risoluzione di almeno alcune delle probelamtiche principali [cfr. SA2X e succ.].

³³Che necessiterebbe almeno della ricognizione certa di topologia e geometria delle diverse reti.

³⁴Obiettivi/direttive di PS e fattibilità di PO.

³⁵Nucleo urbano più antico.

Valli Centrali obliterazione e sovraccarico dei piccoli fossi collinari; *Acquario* la soggiacenza anche al livello medio mare e il disordine all'interfaccia collinare (V. Aurelia)³⁶.



Fig. 32. *Sistemi fognari meteorici/misti* - Aree/reti con problematiche specifiche [schema meramente indicativo] - Follonica.



³⁶Anche se, allo stato attuale, mitigato dalla fascia tampone inedificata tra S.P. n. 152 e FFS.





Fig. 33. Interbacin Poggetti-Vado Coperto e sistema di drenaggio di via Massetana [schema indicativo] - Follonica.

Il tenore delle criticità residue, sebbene da definire in termini quantitativi, è tuttavia evidente dalla cronaca recente (cfr. § 1.3) e (solo in parte) dal QC ufficiale che testimoniano come senz'altro le aree industriale e in dx/sx F.so Petraia siano attualmente le più critiche in senso diffuso (i recenti interventi in zona Acquario hanno

ridotto i cronici ristagni locali), ma con quasi tutte le aree più basse (sottopassi stradali, via Litoranea, via Lago di Bolsena,) soggette a elevate pericolosità specifiche per accumulo. Ciò impone una conoscenza e cura particolare della rete esistente, estremamente vulnerabile a [pur lievi] ulteriori sovraccarichi e a tratti soggetta a depositi sedimentari.

1.2 DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE E STATO DI FATTO ATTUALE

Data la struttura morfologica naturale e l'estensione della urbanizzazione antropica, l'areale obiettivo di analisi numerica [*ex novo* e/o di ricomposizione di lavori precedenti] e definizione della pericolosità da alluvioni coincide essenzialmente con l'intera fascia territoriale comunale compresa tra la linea di costa e la E80 (*Nuova Aurelia*); conformemente a quanto previsto dalla L.R. n. 41/18 circa il territorio urbanizzato *ex L.R. n. 65/14* e le previsioni di trasformazione, esso riguarda sostanzialmente il solo Capoluogo Follonica, non essendovi altri nuclei urbani e/o AT di significatività idraulica.

All'attuale QC idrologico-idraulico non corrisponde un omogeneo archivio digitale e documentale di riferimento certo e direttamente utilizzabile, essendo esso, piuttosto, frutto di 20-ennali aggiornamenti e approfondimenti parziali dello studio base c.d. "dei 4 Comuni" [4C02]. Ciò, d'altra parte, è tipico sia in contesti con numerosi cc.d.a. di piccole dimensioni, analizzati di volta in volta soltanto in ragione di specifiche previsioni urbanistiche (spesso con condizioni di fattibilità comprensive di interventi strutturali di esito effettivo incerto), sia in ambiti con interrelazioni idrauliche largamente esuberanti il dominio amministrativo del singolo Comune. A Follonica sussistono entrambe le fattispecie, sia per la presenza di numerosi piccoli cc.d.a. che dalle colline di immediato retroterra attraversano -con sistematici condizionamenti infrastrutturali (FF.S. e Vecchia Aurelia) e rimaneggiamenti (tombamenti, deviazioni e inclusione nel sistema fognario)- il territorio urbanizzato, sia per la soggiacenza a complessi e fragili sistemi di bonifica comprensoriali (F. Pecora, lato Scarlino e C.le Cervia lato Piombino).

Si riporta di seguito l'elenco dei lavori all'origine dell'attuale QC, essenzialmente risalenti ai periodi 2002-2011³⁷ e 2018-2019³⁸, ripartiti per sistema idraulico³⁹ (tra [] l'acronimo di codifica):

1. *Studio idrologico-idraulico finalizzato alla perimetrazione delle aree allagabili dei bacini Pecora, Allacciante e Petraia, Dip. Ing. Civile-Univ. Pisa, febbraio 2002*⁴⁰ [F. Pecora, C.le Allacciante, F.so Petraia] [4C02]
2. *Studio idrologico-idraulico per la laminazione delle piene del Fiume Pecora e sistemazione dell'alveo della Gora delle Ferriere in Loc. Scopazione nel Comune di Scarlino, prof. ing. S. Pagliara, 200x* [F. Pecora, Gora delle Ferriere et al.]
 - *Interventi di riduzione del rischio idraulico del Fiume Pecora a) Realizzazione di una cassa di espansione in derivazione in sx ubicata in loc. Scopazione - Comune di Scarlino (GR); b) opere di ringrosso arginale in loc. Cannavota - Comune di Follonica e Scarlino (GR); c) adeguamento delle sezioni di deflusso del canale demaniale Gora delle Ferriere in loc. Vado all'Arancio - Comune di Massa Marittima (GR), ing. L. Rotelli et al.-prof. ing. S. Pagliara- ing. F. Muccetti, maggio 2008-agosto 2014* [F. Pecora, Gora delle Ferriere]⁴¹
 - *Studio idraulico sugli effetti della nuova cassa di espansione sul F. Pecora, prof. ing. S. Pagliara, febbraio 2018*⁴² [F. Pecora] [EC18]
 - *Studio per la definizione di un quadro conoscitivo del rischio idraulico del reticolto posto a valle del Vuotabotte del Canale Demaniale di irrigazione denominato Gora delle Ferriere afferente al territorio comunale di Follonica, prof. ing. S. Pagliara, giugno 2019*⁴³ [Gora delle Ferriere, C.le S. Simone, F.so Valle dell'Orto⁴⁴] [GF19]
3. *Regimazione e controllo delle piene del Torrente Petraia - 2[^] lotto - Casse di laminazione, ing. G. Bavecchi, ... 2007* [T. Petraia, F.so del Vado Coperto⁴⁵]
 - *Regimazione e controllo delle piene del Torrente Petraia - 1[^] lotto 1[^] stralcio- Deviazione Morticino e sistemazione foce Petraia* [T. Petraia, F.so del Vado Coperto]

³⁷ Elenco incompleto, per omissione di altri studi relativi ad interventi urbanistici specifici (Varianti Villaggio Turistico Costa del Sole (2009), Parco Centrale (2010), ...), di cui verrà dato conto più avanti.

³⁸ F.so Petraia, F. Pecora e fognatura Salciaina.

³⁹ Considerazioni specifiche ulteriori verranno fatte più avanti, in fase di disamina per singolo c.d.a.

⁴⁰ C.d. "dei 4 Comuni" Committenti: Massa M.ma, Scarlino, Gavorrano e Follonica.

⁴¹ Omologazione GC_GR cassa laminazione n. 53/2014 [rif. Comune di Scarlino].

⁴² Committente Consorzio di Bonifica 5 Toscana Costa. A seguito collaudo cassa di laminazione in loc. Scopazione, nel Comune di Scarlino. Istanza di revisione PGRA istruita preso il GC_GR soltanto per la sx idraulica in Comune di Scarlino (2020).

⁴³ Committente Consorzio di Bonifica 5 Toscana Costa.

⁴⁴ Parziali.

⁴⁵ Alias F.so Morticino e Valle del Cenerone.

- *Verifica idraulica sul T. Petraia e sul F. Morticino nell'area urbana di Follonica localizzata a valle della S.S. Aurelia*, ing. G. Bavecchi, luglio 2010 [T. Petraia, F.so del Vado Coperto]
- *Regimazione e controllo delle piene del Torrente Petraia - 2^o lotto - Variante n. 2*, ing. G. Bavecchi, novembre 2010-gennaio 2011 [T. Petraia, F.so del Vado Coperto]
- *Studio idrologico-idraulico finalizzato alla deperimetrazione delle aree ad elevata pericolosità idraulica delle aree di pertinenza del torrente Petraia - Integrazione 2018*, ing. G. Bavecchi, dicembre 2018 [T. Petraia, F.so del Vado Coperto] [in PGRA con D.S.G. n. 89 del 11.12.2019] [PT18]
- 4. *Studio idrologico-idraulico area nord di Follonica*, prof. ing. S. Pagliara, 2002 [**C.le Allacciante Cervia, F.so di Valmaggiore, C.le Mercatone**⁴⁶] [in PGRA con D.S.G. n. 57 del 08.07.2019]⁴⁷ [**NF02**]
 - *Progetto⁴⁸ di sistemazione del Fosso Val degli Olmi ai fini dell'eliminazione del rischio idraulico*, prof. ing. S. Pagliara, 2008 [**C.le Mercatone**]
 - *Progetto⁴⁹ per la realizzazione di una vasca di espansione in via Isola di Caprera*, prof. ing. S. Pagliara, [2007-]2012 [F.si senza nome⁵⁰] [**IC12**]
 - *Progetto⁵¹ per la messa in sicurezza della lottizzazione in via Isole Eolie*, prof. ing. S. Pagliara e ing. M. Ascoli, agosto 2008 *et succ.* [**C.le Mercatone**] [**TR09**]
 - AT varie RU11 [**TR01, TR03, TR04, CR02, CP18, ...**]
 - *Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Campiglia M.ma e Piombino - Indagini idrologico-idrauliche*, ing. T. Staiano, 2020-21 [**C.le Allacciante Cervia e F.so di Valmaggiore**] [non ancora in PGRA] [**PSI21**]
- 5. *Integrazione indagini idrauliche a supporto del R.U. del Comune di Follonica*, prof. ing. S. Pagliara, marzo-maggio 2011 [**F.so Val Querceta e Valle Onesta, F.so Loc. Poggetto**⁵²] [non in PGRA] [**RU11**]
- 6. *Studio e progetto di fattibilità idrogeologico-idraulico per la riduzione degli allagamenti della zona Salciaina-Cassarello nel comune di Follonica*, prof. ing. S. Pagliara, settembre 2006 [**drenaggio acque meteoriche Salciaina**⁵³] [**SA2X**]
 - *Adeguamento del sistema fognario alla foce del T. Petraia*⁵⁴, prof. ing. S. Pagliara, 2008
 - *Progettazione della bonifica idraulica di Salciaina*, prof. ing. S. Pagliara, ... 2009
 - *Verifica idraulica del F.so del Fico*, prof. ing. S. Pagliara, ... 2011 [**F.so Fico**⁵⁵]
 - *Progetto esecutivo intervento di separazione delle reti fognarie - Zona Cassarello, Salciaina - I Lotto*, ing. A. Rabai *et al.*, marzo 2019, ... [--].

Con riferimento al PGRA, risultano non essere stati recepiti gli esiti relativi a sistema idraulico *dx* F. Pecora, F.si Valle Onesta e Val Querceta, per i quali risultano le originarie mappature PAI [D.C.I. n. 235/16], il F.so Petraia *et affl.* è conformemente allineato [D.S.G. n. 89/19], mentre per C.le Cervia *et affl.* e altre situazioni minori l'allineamento risulta parziale e/o non coerente con l'attuale stato di fatto [D.S.G. nn. 57/19 e 64/20].

Dei suddetti lavori, se ne sono potuti acquisire soltanto stralci in *pdf*, salvo *dwg* di rilievi⁵⁶ di tratti limitati di cc.d.a. minori [**RU11**] e Gora delle Ferriere *et affl.* [**GF19**] e modello HEC-Ras del F. Pecora [**EC18**]⁵⁷, necessitanti numerosi accertamenti formali e sostanziali.

1.3 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. 1). 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), in-

⁴⁶ Alias F.so Val degli Olmi.

⁴⁷ A seguito *Piano di Lottizzazione Area TR09 Via Isole Eolie*, approvato con D.G.C. n. 18 del 29.01.2019.

⁴⁸ Parere AdBR Toscana Costa prot. n. 275 del 28.05.2008.

⁴⁹ Documentazione parziale. Intervento realizzato (cassa via Don S. Leone e opere connesse).

⁵⁰ Tra C.le Mercatone e F.so Val Querceta; non incluso in RetIdr RT [rev. D.C.R. n. 28/2020].

⁵¹ Intervento non ancora realizzato.

⁵² Non incluso in RetIdr RT [rev. D.C.R. n. 28/2020].

⁵³ F.so Salciaina in Comune di Scarlino.

⁵⁴ A valle di *Studio* (non rinvenuto) più generale, redatto dal medesimo Professionista, Committente *Acquedotto del Fiora* s.p.a.

⁵⁵ In RetIdr RT alias di Argine di Recinto [rev. D.C.R. n. 28/2020].

⁵⁶ Vd. Parte **B-Idraulica**.

⁵⁷ Fonte CB5TC.

trinsecamente più sensibili a fenomeni meteorici più prolungati e di maggior volume e mal sopportanti le progressive espansioni urbanistiche (Fig. 34), ormai prossime alla saturazione di tutta la fascia di pianura e pedecollinare.



Fig. 34. *Espansione urbanistica nel periodo 1956 (rosso)-1996 (giallo)-200x (nero)* [tratto da Geoscopio RT] - Follonica.

Ad entrambe le caratteristiche idro-morfologiche di fragilità intrinseca (certamente i principali fattori causali), si sovrappone quella della regimazione fognaria dei deflussi meteorici⁵⁸ urbani che assume qui caratteristiche particolari di gravità -i.e. ricorrenze meno che 5-ennali e rischi anche per le persone (es. Fig. 35 tra altri)-, causa tombamento e connessione alla rete fognaria dei cc.d.a. minori di acque alte (F.si Val Querceta e Valle Onesta), numerose porzioni urbane di elevato accumulo idrico (sottopassi, ...) in contesti di scolo intermittente (tra F.so Petraia e F. Pecora), sovraccarichi non compensati (Zona Industriale) e scarsa resilienza.



⁵⁸Sebbene 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. 35. 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 *Scopalone* 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 ($T=200$ 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 intellegibile della pericolosità idraulica di riferimento 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).

1.4 DETERMINAZIONI METODOLOGICHE PRELIMINARI

Alla luce del quadro descritto, date le specifiche tecniche di *AII. 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 di riferimento regionale *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 revisione⁵⁹ del *PGRA* vigente, ulteriormente tenendo conto anche

⁵⁹Comunque intrinsecamente coerente.

delle interazioni con piani, progetti e opere di carattere sovraffocale e riferimento ufficiale (es. interventi strutturali su F.si Petraia, Gora delle Ferriere e F. Pecora).

In merito alla qualifica sub *a*), posta datazione, non esaustività (ai fini in oggetto⁶⁰) 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 [almeno⁶¹] a LSPP_RT12, si è optato per la ri-definizione totale, metodologicamente omogenea e aggiornate 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 pdf⁶² e/o modello HEC-Ras sorgente⁶³. Ciò, evidentemente, ha indotto inaccuratezze specifiche, della cui entità e significatività, tra le altre⁶⁴, verrà dato conto nella Parte **B-Idraulica**.

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) attuali⁶⁵, 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).

Per i relativi dettagli si rimanda direttamente alla **Parte B-Idraulica**.

2 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica di progetto è stata interamente rifatta, a scala di bacino e in conformità a D.G.R. n. 166/20 e All. 3 DdP PGRA. I punti qualificanti sono:

1. risoluzione non inferiore a quella a base del PGRA attuale, adozione di modellistica implementata su software non proprietario e utilizzo della più avanzata base di dati territoriali disponibile
2. verifica/aggiornamento delle LSPP_RT12 alla luce della serie di dati pluviometrici registrati nell'ultimo decennio
3. [verifica di congruenza del modello rispetto alle evidenze sperimentali]⁶⁶
4. confronto critico con le altre analisi idrologiche già approvate e/o ufficialmente rilevanti, con particolare riferimento a 4C02 e PSI21 e alle più recenti progettazioni su F.so Petraia [PT18] e F. Pecora [EC18].

Per i maggiori dettagli numerici si rimanda direttamente allo specifico *Elab. I01-2A*.

2.1 QC PREGRESSO E ESIGENZE DI OMOGENEITÀ EX D.G.R. N. 166/20 E ALL. 3 DdP PGRA

Il *Quadro Conoscitivo* [QC] pregresso è sostanzialmente fondato, con pochi aggiornamenti successivi (es. LSPP_RT12) su 4C02, unico lavoro organicamente condotto sull'intero comprensorio F. Pecora⁶⁷-F.so Petraia, tuttavia escludendo tutta la parte a ovest del F.so Petraia, *i.e.* F.si Val Querceta, Onesta, Mercatone, Valmaggiore C.le Allacciante Cervia. Lavori successivi hanno, singolarmente ma con metodica analoga, riguardato frazioni comprensoriali già studiati e i sopra citati bacini in dx F.so Petraia. Sul F.so Petraia [PT18], sono state condotte valutazioni diverse ma verificate consistenti con 4C02, su base GIUH in confronto all'ex *standard* regionale ALTO (1996 e s.m.i.). Approfondimenti anche per la cassa Scopaiione [EC18]. Pressoché assenti verifi-

⁶⁰Es. idrogrammi per diverse durate di pioggia.

⁶¹Salvo aggiornamenti puntuali significativi in considerazione anche dei dati registrati nell'ultimo decennio.

⁶²Tipicamente allegati di calcolo HEC-Ras (*sic*).

⁶³Praticamente soltanto parte del sistema idrografico F. Pecora.

⁶⁴Es. georeferenziazione altimetrica CTR *vs* Lidar_MATTM.

⁶⁵Con contestuale istanza formale all'Ufficio regionale competente.

⁶⁶Non applicabile causa mancanza di dati storici rispetto ad eventi alluvionali *locali* significativi e rappresentativi della configurazione idraulica attuale (*i.e.* con casse di laminazione F.so Petraia e F. Pecora). Attività limitata a valutazioni speditive di *non incoerenza* [es. $T_r=2-5$ anni].

⁶⁷Certamente il più complesso.

che *ante operam* su eventi registrati.

Tutto ciò premesso, in conformità a quanto previsto [in definitiva, via D.G.R. n. 166/20] nell'*AII*. 3 del DdP del PGRA, la presente analisi intende ri-definire una pur semplice metodica idrologica fondata sul massimo dettaglio conoscitivo oggi disponibile, omogenenamente e facilmente applicabile sull'intero bacino con s_w non proprietario, quanto più possibile standardizzata e consistente con 4C02 (cfr. § 2.4), riferimento primario del comprensorio. Anche per ragioni di evidente sproporzione tra il suddetto obiettivo (onere) e le specifiche esigenze del piccolo Comune di Follonica, essa non ha certamente carattere [ancorché transitoriamente] definitivo e dovrà/potrà essere ulteriormente approfondito in futuro (soprattutto F. Pecora), anche alla luce del monitoraggio già in atto.

Ai sensi della D.G.R. n. 166/20, in quanto condizioni al contorno di reticolo secondario *ex PGRA*, l'intero approccio è soggetto ad approvazione preventiva dell'AdDAS.

2.2 MODELLISTICA

La modellistica adottata discende quale migliore compromesso tra le esigenze di trattazione unitaria dell'intero areale di Follonica -coerente per quanto possibile con il QC ufficiale (di riferimento anche per ulteriori progettazioni in corso) e comprensiva di tutti i sottobacini ($foci$ di calcolo) di interesse- e la possibilità di semplice utilizzo professionale con *software* non proprietario e di riconosciuta affidabilità.

Considerato quanto sopra, verificata la più consueta prassi professionale e tenuto conto di C/B, si utilizzano gli strumenti messi a disposizione da US-HEC in applicazione di classiche metodiche sintetico-concettuali.

2.2.1 SPECIFICHE ESSENZIALI

Rimandando sin d'ora per tutti dettagli di calcolo al modello digitale sorgente, si riassumono di seguito gli elementi metodologici essenziali.

Gli scenari idrologici di progetto sono stati prodotti utilizzando il *software HEC-Hms® v. 4.9* Beta 5 [rev. lug 2021], per diverse durate di pioggia, in approccio interamente sintetico, per un numero complessivo di **67 foci** (sottobacini e punti notevoli). Gli interbacini privi di reticolo canalizzato sono stati concettualizzati in via semplificata (approccio cinematico) oppure modellati direttamente in via idraulica (pioggia su dominio 2-D). Considerate le caratteristiche dei bacini, gli obiettivi del presente lavoro (cfr. § 2.4)⁶⁸ e l'estensione idrografiche dei modelli idraulici, non è stato utilizzato alcun oggetto **tratto** (Fig. 36).

⁶⁸Con particolare riferimento a F.so Petraia e F. Pecora.

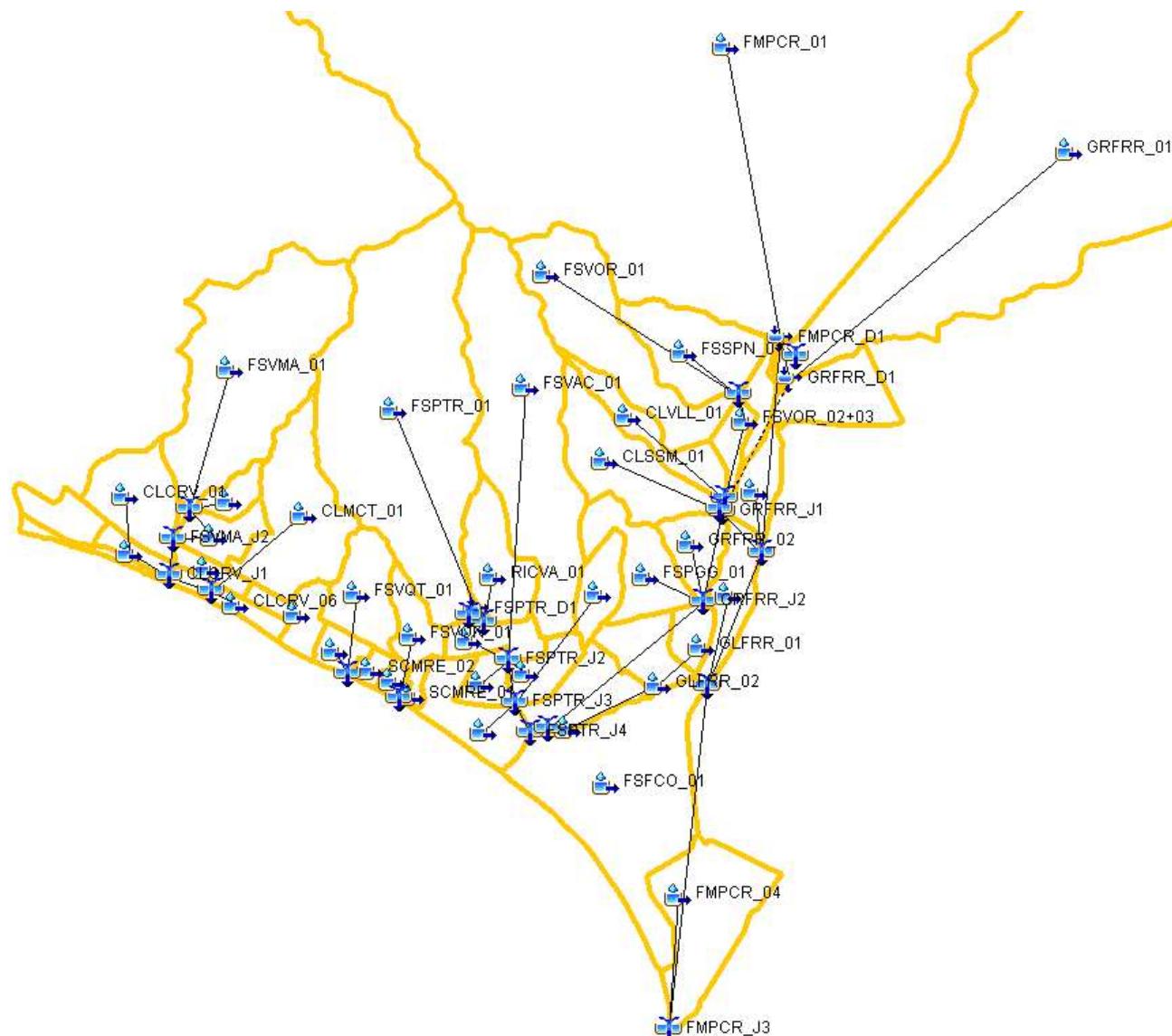


Fig. 36. Schema concettuale dell'analisi idrologica dei bacini idrografici afferenti **Follonica, dal C.le Allacciante Cervia al F. Pecora (dx)**.

Con la classica notazione $S/J/R$ per oggetti sottobacino, nodo di confluenza e tratto idrografico, la codifica corrisponde a:

Sottobacini

CLCRV_01 **Controfosso C.le Cervia dir. Follonica** (acque alte) [1.27 km^2]

CLCRV_02 **Controfosso C.le Cervia dir. Follonica** (acque basse) [0.26 km^2]

CLCRV_03 **Controfosso C.le Cervia dir. Piombino**⁶⁹ (acque basse) [0.53 km^2]

CLCRV_04 **C.le Cervia dir. Follonica**⁷⁰ (acque basse) [0.09 km^2]

CLCRV_05 **C.le Cervia dir. Piombino**⁷¹ (acque basse) [0.11 km^2]

CLCRV_06 **I.B. urbano C.le Cervia dir. Follonica** [0.41 km^2]

CLMCT_01 **C.le Mercatone** [2.28 km^2]

CLMCT_02 **I.B. urbano C.le Mercatone** [0.28 km^2]

CLSSM_01 **C.le San Simone** [1.86 km^2]

CLVLL_01 **C.le Vallino** [0.88 km^2]

FMPCR_01 **F. Pecora a monte della cassa d'espansione** [100.95 km^2]

FMPCR_02 **I.B. F. Pecora tra botte Gora delle Ferriere e C.le San Simone (DX)** [0.66 km^2]

⁶⁹Non modellato idrologicamente

⁷⁰Non modellato idrologicamente

⁷¹Non modellato idrologicamente

- FMPCR_03 **I.B. F. Pecora Tra C.le San Simone e Ponte Cannavota (DX) [0.92 km²]**
 FMPCR_04 **I.B. F. Pecora tratto terminale a mare [2.20 km²]**
 FSFCO_01 **F.so Fico, F.so Salciaina [4.64 km²]**
 FSIPP_01 **F.so dell'Ippodromo [0.64 km²]**
 FSPGG_01 **F.so Poggetti [1.22 km²]**
 FS PTR_01 **F.so Petraia a monte della cassa d'espansione [8.17 km²]**
 FS PTR_02 **I.B. F.so Petraia tra Rio Casa Valli e F.so del Vado Coperto [0.57 km²]**
 FS PTR_03 **I.B. urbano F.so Petraia monte (SX) [0.55 km²]**
 FS PTR_04 **I.B. urbano F.so Petraia monte (DX) [0.40 km²]**
 FS PTR_05 **I.B. urbano F.so Petraia valle (DX) [1.11 km²]**
 FSSPN_01 **F.so delle Spianate (C.le delle Valli) [1.65 km²]**
 FSVAC_01 **F.so del Vado Coperto [5.04 km²]**
 FSVMA_01 **F.so di Valmaggiore a monte della confluenza del Rio Valmaggiore Nord [4.84 km²]**
 FSVMA_02 **I.B. F.so di Valmaggiore a valle della confluenza del Rio Valmaggiore Nord (DX) [0.04 km²]**
 FSVMA_03 **I.B. F.so di Valmaggiore a valle della confluenza del Rio Valmaggiore Nord (SX) [0.62 km²]**
 FSVON_01 **F.so Valle Onesta [0.58 km²]**
 FSVON_02 **I.B. urbano F.so Valle Onesta [0.16 km²]**
 FSVOR_01 **F.so delle Valli dell'Orto [2.83 km²]**
 FSVOR_02 **I.B. F.so della Valle dell'Orto tra C.le delle Valli e C.le Vallino (DX) [0.36 km²]**
 FSVOR_03 **I.B. F.so della Valle dell'Orto tra C.le delle Valli e C.le Vallino (SX) [0.39 km²]**
 FSVQT_01 **F.so Val Querceta [1.08 km²]**
 FSVQT_02 **I.B. urbano F.so Va Querceta [0.32 km²]**
 GLFRR_01 **Gorello delle Ferriere (area industriale est) [0.40 km²]**
 GLFRR_02 **Gorello delle Ferriere (area industriale ovest) [0.80 km²] + GLFRR_01**
 GLFRR_03 **Gorello delle Ferriere (area urbana e sportiva) [1.00 km²] + GLFRR_01 + GLFRR_02 [alla Gora delle Ferriere]**
 GRFRR_01 **Gora delle Ferriere a monte della cassa d'espansione F. Pecora [27.87 km²]**
 GRFRR_02 **I.B. Gora delle Ferriere tra C.le San Simone e F.so Poggetti (DX) [0.70 km²]**
 RICVA_01 **Rio Casa Valli [1.20 km²]**
 RIVMN_01 **Rio Val Maggiore Nord [0.37 km²]**
 SCMRE_01 **I.B. scarico a mare via dei Pini [0.13 km²]**
 SCMRE_02 **I.B. scarico a mare via Isola di Cerboli [0.17 km²]**
 SCMRE_03 **I.B. scarico a mare Acquario [0.57 km²]**

Diversivi/Derivazioni

- GRFRR_D1 Gora delle Ferriere al bypass
 FMPCR_D1 Sfioratore cassa espansione F. Pecora
 FS PTR_D1 Sfioratore cassa espansione F.so Petraia

Confluenze

- CLCRV_J1 Controfosso C.le Cervia dir. Follonica alla confluenza del F.so di Valmaggiore
 CLCRV_J2 Controfosso C.le Cervia dir. Follonica alla confluenza del C.le Mercatone
 FMPCR_J0 Cassa espansione F. Pecora
 FMPCR_J1 F. Pecora alla confluenza del F.so della Valle dell'Orto
 FMPCR_J2 F. Pecora al Ponte di Cannavota
 FMPCR_J3 F. Pecora al mare
 FMPTR_J0 Cassa espansione F.so Petraia
 FS PTR_J1 F.so Petraia alla confluenza del Rio Casa Valli
 FS PTR_J2 F.so Petraia alla confluenza del F.so del Vado Coperto
 FS PTR_J3 F.so Petraia al ponte FS
 FS PTR_J4 F.so Petraia alla confluenza della Gora delle Ferriere
 FSVMA_J1 F.so di Valmaggiore a valle della confluenza del Rio Valmaggiore Nord
 FSVMA_J2 F.so di Valmaggiore all'attraversamento dell'Aurelia Vecchia
 FSVON_J1 F.so Valle Onesta al mare
 FSVOR_J1 F.so della Valle degli Orti alla confluenza del F.so delle Spianate
 FSVOR_J2 F.so della Valle degli Orti alla confluenza del C.le Vallino

FSVOR_J3 F.so della Valle degli Orti alla confluenza del C.le San Simone

FSVQT_J1 F.so Val Querceta al mare

GRFRR_J1 Gora delle Ferriere alla botte del F.so della Valle degli Orti

GRFRR_J2 Gora delle Ferriere alla confluenza del F.so Poggetti

GRFRR_J3 Gora delle Ferriere alla confluenza del Gorello delle Ferriere

Le specifiche metodiche adottate sono le seguenti:

- *meteorologic*: precipitazioni lorde di progetto derivate dalla distribuzione spaziale LSPP_RT12⁷², con ragguaglio areale k_A secondo *Raudwiki-Eagleson* (1970) mod. PIN (1996) e riferimento alle foci, ietogramma *Chicago* centrato per durata 1 h e uniformi altrimenti⁷³; al fine di contenere la moltiplicazione degli scenari pluviometrici⁷⁴, gli ietogrammi netti di singolo sottobacino {LSPPxk_A} sono stati assunti costanti per fasce di variabilità, raggruppando (ai valori medi della singola classe) per intervalli di scostamento del 5% (Tab. 6)
- *loss*: SCS-CN in modalità *grid* 10x10 m [ri-derivato dalle più recenti coperture elementari disponibili a livello regionale (cfr. § 2.2.2) e ricampionato 100x100 m], di classe III⁷⁵ con coefficiente di perdita iniziale $\beta=0.20$ ⁷⁶; no EVT;
- *transform*: IUH std stimati su base t -formulazione di *Bocchiola-Rosso* et al. (2003)- secondo US-SCS (in mancanza di dati per calibrazione su eventi⁷⁷) [Clark con { t_c , R } per confronti con 4C02, vd. avanti];
- *[routing*: Muskingum-Cunge 8 pnts, Auto DX-Auto DT, Index Flow=0 [def]; no baseflow]⁷⁸.

Per ulteriori dettagli circa specifici settaggi e relative motivazioni si *vd.* il § 2.2.4.

2.2.2 STRATI INFORMATIVI DI BASE E CN

I tematismi necessari alla caratterizzazione della risposta idrologica dei bacini sono derivati dai più avanzati strati base regionali, evitando l'adozione di prodotti intermedi di dettaglio inferiore (es. CN⁷⁹ di suoli_to-scana_CN.shp rev. 2014, copertura derivata nell'ambito dell'*Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla D.G.R.T. 1133/2012*). In particolare, per la morfologia si è assunto il c.d. DTM_Idrologico RT grid 10x10 m rev. 2015 [<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html#>] (Fig. 37), mentre per pedologia e uso del suolo si sono utilizzate le coperture vettoriali DB_Pedo_RT_USDA_m [gi, class. USDA] [<http://www502.regione-toscana.it/geoscopio/pedologia.html#>] e Uso e copertura del suolo 2007-2016 [Corine_Liv3 2016] [<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html#>] (Fig. 38 e Fig. 39). Per il reticolo idrografico, si è assunto lo shp di riferimento regionale *ex* L.R. n. 79/12 e s.m.i., ultima versione disponibile⁸⁰.

Ri-applicando la tabella di contingenza ufficiale NEH *Part 630* con gli adattamenti riportati in Tab. 1 e con semplici elaborazioni GIS si è derivata la copertura di CNII₂₀ alla massima risoluzione disponibile (Fig. 40). Si rileva, dato l'evidente significato idrologico, come i bacini presentino una sostanziale omogeneità per macroaree, con i valori più elevati (>90) nella fascia costiera antropizzata e/o caratterizzata da suoli a prevalente componente argillosa tipo D soggetti a ristagno, mentre nella parte collinare/montana con ampia copertura boscata i suoli sono a matrice più debolmente argillosa tipo C e sabbiosa tipo B, non sempre identificabili dai soli substrati litologici (es. travertini di Massa M. ma, ...). In Fig. 41 è riportata la mappa delle differenze rispetto alla predefinita copertura dei CNII_{RT}, da cui si evincono non trascurabili differenze legate sia a diverse attribuzioni della classe di suolo (gli scostamenti maggiori), sia al diverso dettaglio della copertura di uso del suolo utilizzata

⁷²Come si vedrà più avanti, non risulta significativo l'aggiornamento al 2020 delle LSPP_RT12 puntuali per i pochi pluviometri di riferimento per Follonica.

⁷³Differenza sostanziale rispetto a 4C02 (vd. § 2.4).

⁷⁴Ietogrammi di progetto teoricamente diversi per ciascuna foce, sia per la variabilità delle piogge lorde puntuali temibili sia per lo specifico ragguaglio areale, dipendente da area e durata di pioggia.

⁷⁵Per coerenza con 4C02, molto cautelativo per i bacini di dimensioni maggiori (F. Pecora), soprattutto in associazione a ietogrammi *Chicago*.

⁷⁶Valore di *default* US-SCS e adottato in 4C02; secondo letteratura e esperienze su eventi registrati, tendenzialmente più elevato con CNII e bacini non urbanizzati (es. 0.30).

⁷⁷Unica possibilità sarebbe stato l'approfondimento su F. Pecora e/o Gora delle Ferriere, al netto degli interventi strutturali recenti, tuttavia esulante l'oggetto del presente lavoro e, comunque, di limitata significatività per gli altri cc.d.a. minori. Per il confronto con altre formule si veda l'allegato specifico.

⁷⁸Non utilizzato, proposto per eventuali approfondimenti della modellazione (es. F. Pecora).

⁷⁹Il quale soffre di alcuni errori legati alla copertura originaria delle classi di suolo USGS (A/B/C/D), successivamente rivista e ulteriormente dettagliata dalla medesima RT.

⁸⁰Con alcune inesattezze di tracciato [e denominazione?] su cc.d.a. minori (vd. avanti).

(le sfumature). In 4C02, EC18 e PSI21 parrebbe⁸¹ siano stati utilizzati tematismi territoriali ormai datati (Fig. 55) o la copertura predefinita di CN; non è noto se il valore caratteristico di singolo sottobacino sia stato derivato quale corrispondente al S(CN) medio⁸² oppure, come nel presente lavoro [e secondo standard NEH] direttamente come media⁸³.

Tab. 1. *Associazione CNII_{20/05} vs Suolo-Uso* [fonte: NEH Part 630, con adattamenti].

UCS	Descrizione	CNII ₂₀				CNII ₀₅			
		A	B	C	D	A	B	C	D
111	Tessuto urbano continuo	89	92	94	95	85	89	92	93
112	Tessuto urbano discontinuo	77	85	90	92	70	80	86	89
121	Aree industriali o commerciali	81	88	91	93	75	84	88	90
122	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori	98	98	98	98	97	97	97	97
123	Aree portuali	98	98	98	98	97	97	97	97
124	Aeroporti	98	98	98	98	97	97	97	97
131	Aree estrattive	76	85	89	91	69	80	85	88
132	Discariche	81	88	91	93	75	84	88	90
133	Cantieri	77	86	91	94	70	81	88	92
141	Aree verdi urbane	49	69	79	84	40	61	73	79
142	Aree sportive e ricreative	68	79	86	89	60	73	81	85
210	Seminativi irrigui e non irrigui	61	73	81	84	52	66	75	79
211	Seminativi in aree non irrigue	61	73	81	84	52	66	75	79
212	Seminativi in aree irrigue	67	78	85	89	59	71	80	85
213	Risaie	62	71	78	81	53	63	71	75
221	Vigneti	76	85	90	93	69	80	86	90
222	Frutteti e frutti minori	43	65	76	82	35	57	69	76
223	Uliveti	43	65	76	82	35	57	69	76
231	Prati stabili	49	69	79	84	40	61	73	79
241	Colture annuali associate e colture permanenti	61	73	81	84	52	66	75	79
242	Sistemi culturali e particellari permanenti	61	73	81	84	52	66	75	79
243	Aree prev. occup. da colture agrarie, con spazi nat.	61	73	81	84	52	66	75	79
244	Aree agroforestali	58	73	82	87	49	66	76	82
311	Boschi di latifoglie	36	60	73	79	28	51	66	73
312	Boschi di conifere	30	55	70	77	23	46	62	70
313	Boschi misti	36	60	73	79	28	51	66	73
321	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	49	69	79	84	40	61	73	79
322	Brughiere e cespuglietti	49	69	79	84	40	61	73	79
323	Aree a vegetazione sclerofilia	35	56	70	77	27	47	62	70
324	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	35	56	70	77	27	47	62	70
331	Spiagge, dune, sabbie	46	65	77	82	37	57	70	76
332	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	77	86	91	94	70	81	88	92
333	Aree con vegetazione rada	63	77	85	88	55	70	80	84
334	Aree percorse da incendi	63	77	85	88	55	70	80	84
335	Ghiacciai e nevi perenni	98	98	98	98	97	97	97	97
411	Paludi interne	98	98	98	98	97	97	97	97
412	Torbiere	98	98	98	98	97	97	97	97
421	Paludi salmastre	98	98	98	98	97	97	97	97
422	Saline	98	98	98	98	97	97	97	97
423	Zone intertidali	98	98	98	98	97	97	97	97
511	Corsi d'acqua, canali e idrovie	98	98	98	98	97	97	97	97
512	Bacini d'acqua	98	98	98	98	97	97	97	97
521	Lagune	98	98	98	98	97	97	97	97

⁸¹Da quanto potuto capire, con poche certezze. In PSI21 sono state apportate correzioni per le aree boscate (pagg. 31-32 I.01 rev. mag 2020).

⁸²Sulla base di note indicazioni della letteratura tecnica italiana, tuttavia meramente indicative, legate alla copertura dei CN di partenza e ad altre assunzioni specifiche dell'analisi idrologica.

⁸³Tale aspetto determina una ulteriore entropia che, in generale, induce una non trascurabile riduzione del CN caratteristico.

522	Estuari	98	98	98	98	97	97	97	97
523	Mare	98	98	98	98	97	97	97	97
1121	Pertinenza abitativa, edificato sparso	77	85	90	92	70	80	86	89
1211	Depuratori	81	88	91	93	75	84	88	90
1212	Impianti fotovoltaici	81	88	91	93	75	84	88	90
1221	Strade in aree boscate	98	98	98	98	97	97	97	97
1411	Cimiteri	49	69	79	84	40	61	73	79
2101	Serre stabili	67	78	85	89	59	71	80	85
2102	Vivai	67	78	85	89	59	71	80	85
2221	Arboricoltura	43	65	76	82	35	57	69	76
3331	Cesse parafuoco	63	77	85	88	55	70	80	84

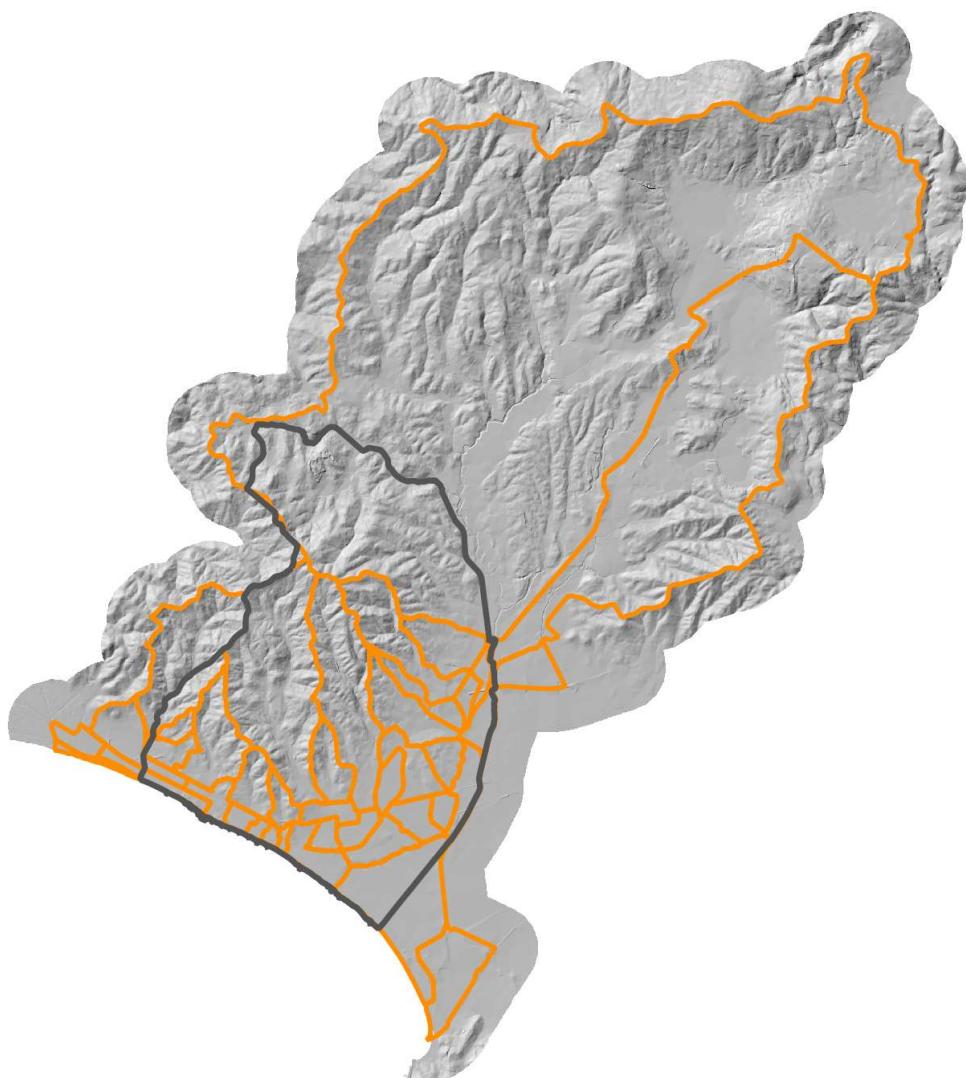


Fig. 37. Hillshade dei bacini tra C.le All. Cervia e F. Pecora (dx) [fonte: <http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html#>]. In grigio il limite comunale di Follonica.

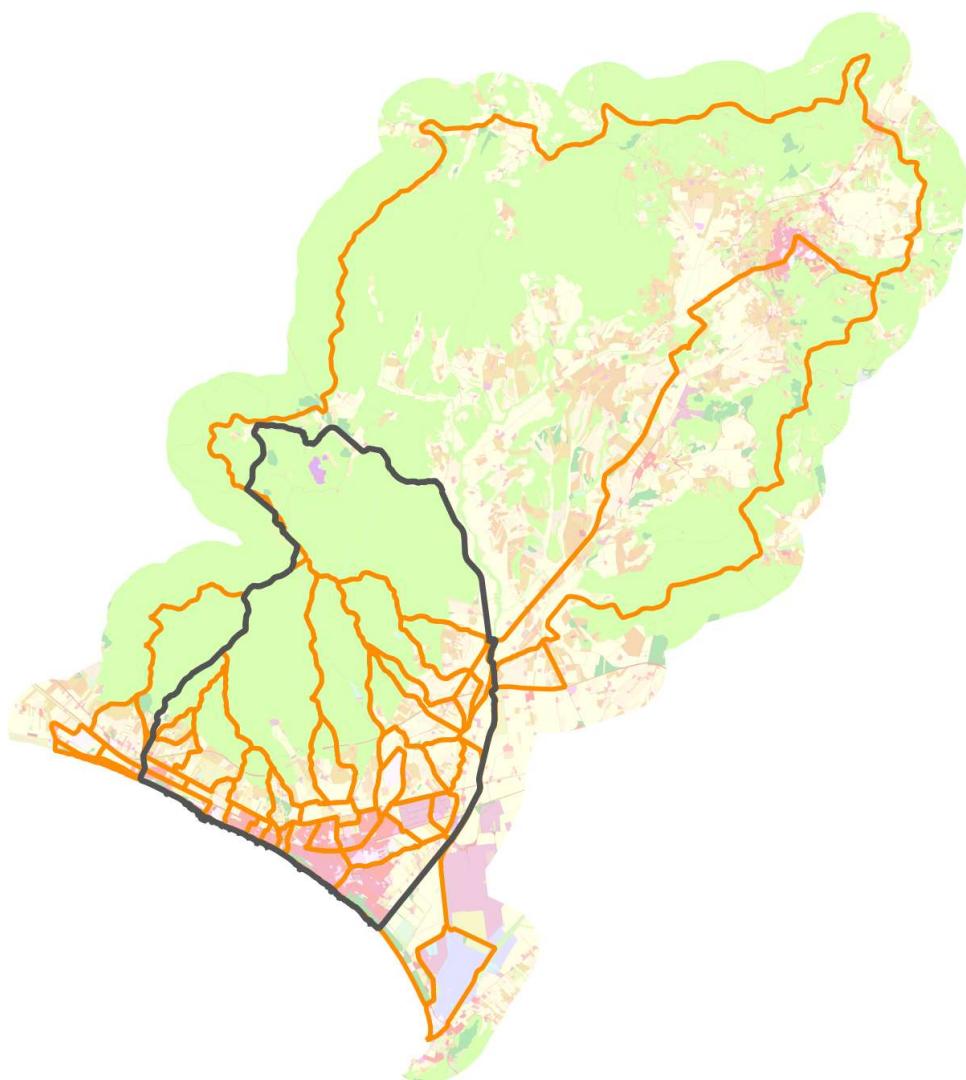


Fig. 38. *Uso del suolo RT nei bacini tra C.le All. Cervia e F. Pecora (dx)* [fonte: <http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca-.html#>].

Per confronto e analisi di sensibilità preliminari è stata derivata anche la ulteriore copertura dei $CNII_{05}$ (Tab. 2) [tuttavia lasciata già da qualche anno in versione *Draft*⁸⁴ di revisione dello *standard NEH* (i relativi pe-
dici si riferiscono al β di *default* associato, 0.20 nella versione classica ancora vigente e 0.05 nella proposta di
revisione). Sia per la non approvazione definitiva *NEH*, sia per omogeneità a lavori precedenti, per le stime di
progetto verrà, comunque, **adottata** la classica versione CN_{20} .

Tab. 2. *Tabella di conversione $CNII_{20}$ vs $CNII_{05}$* [fonte: *Draft ASCE*, 2017].

$CNII_{20}$	$CNII_{05}$								
99	99	79	73	59	50	39	31	19	14
98	97	78	71	58	49	38	30	18	13
97	96	77	70	57	48	37	29	17	13
96	94	76	69	56	47	36	28	16	12
95	93	75	68	55	46	35	28	15	11
94	92	74	67	54	45	34	27	14	10
93	90	73	66	53	44	33	26	13	10
92	89	72	64	52	43	32	25	12	9
91	88	71	63	51	42	31	24	11	8
90	86	70	62	50	41	30	23	10	7

⁸⁴Draft - ASCE-ASABE *CN Update*, Sep 2017.

89	85	69	61	49	40	29	22	9	6
88	84	68	60	48	39	28	22	8	6
87	83	67	59	47	38	27	21	7	5
86	81	66	58	46	38	26	20	6	4
85	80	65	57	45	37	25	19	5	4
84	79	64	56	44	36	24	18	4	3
83	78	63	55	43	35	23	17	3	2
82	76	62	54	42	34	22	17	2	1
81	75	61	52	41	33	21	16	1	1
80	74	60	51	40	32	20	15	0	0

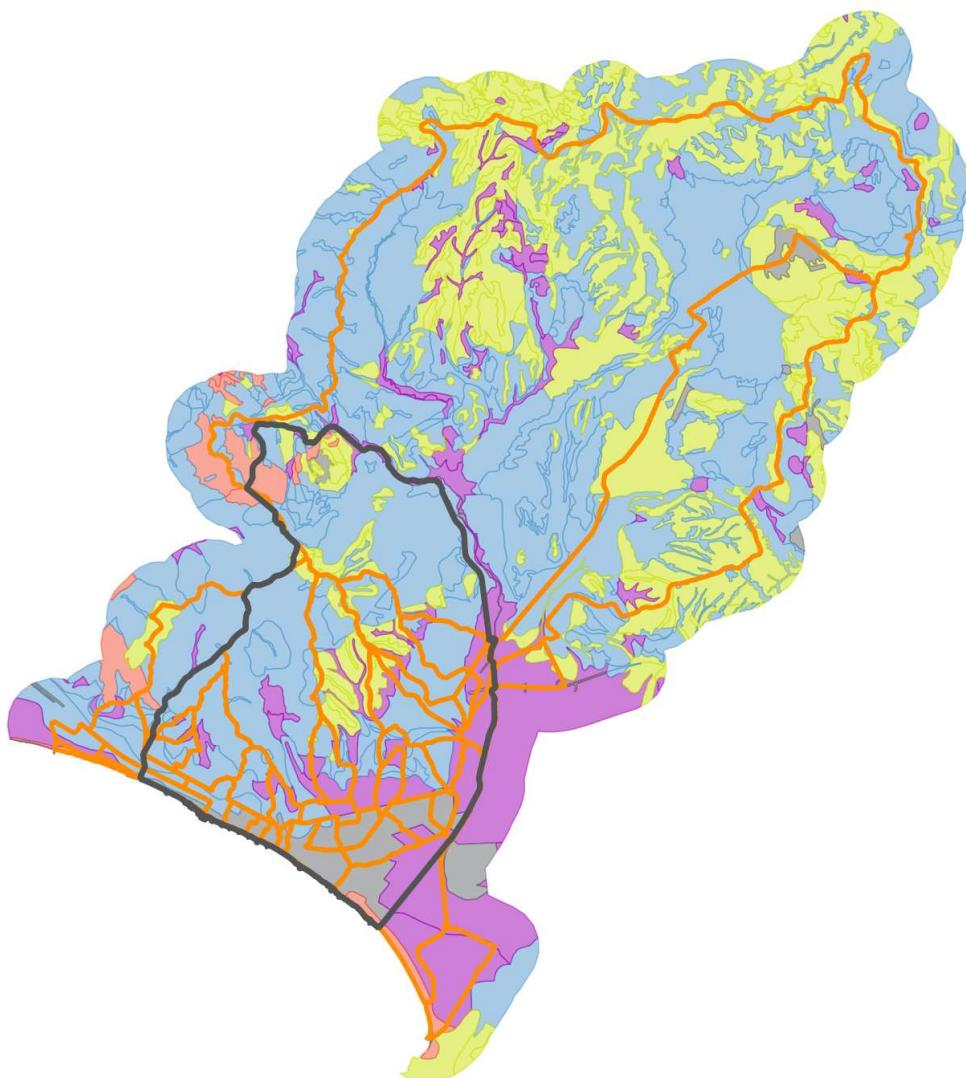


Fig. 39. Classi di suolo USGS (A: rosa, B: giallo, C: celeste, D: magenta, n.c.: grigio assunto D) nei bacini tra C.le All. Cervia e F. Pecora (dx) a Follonica [fonte: <http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/pedologia.html#>].

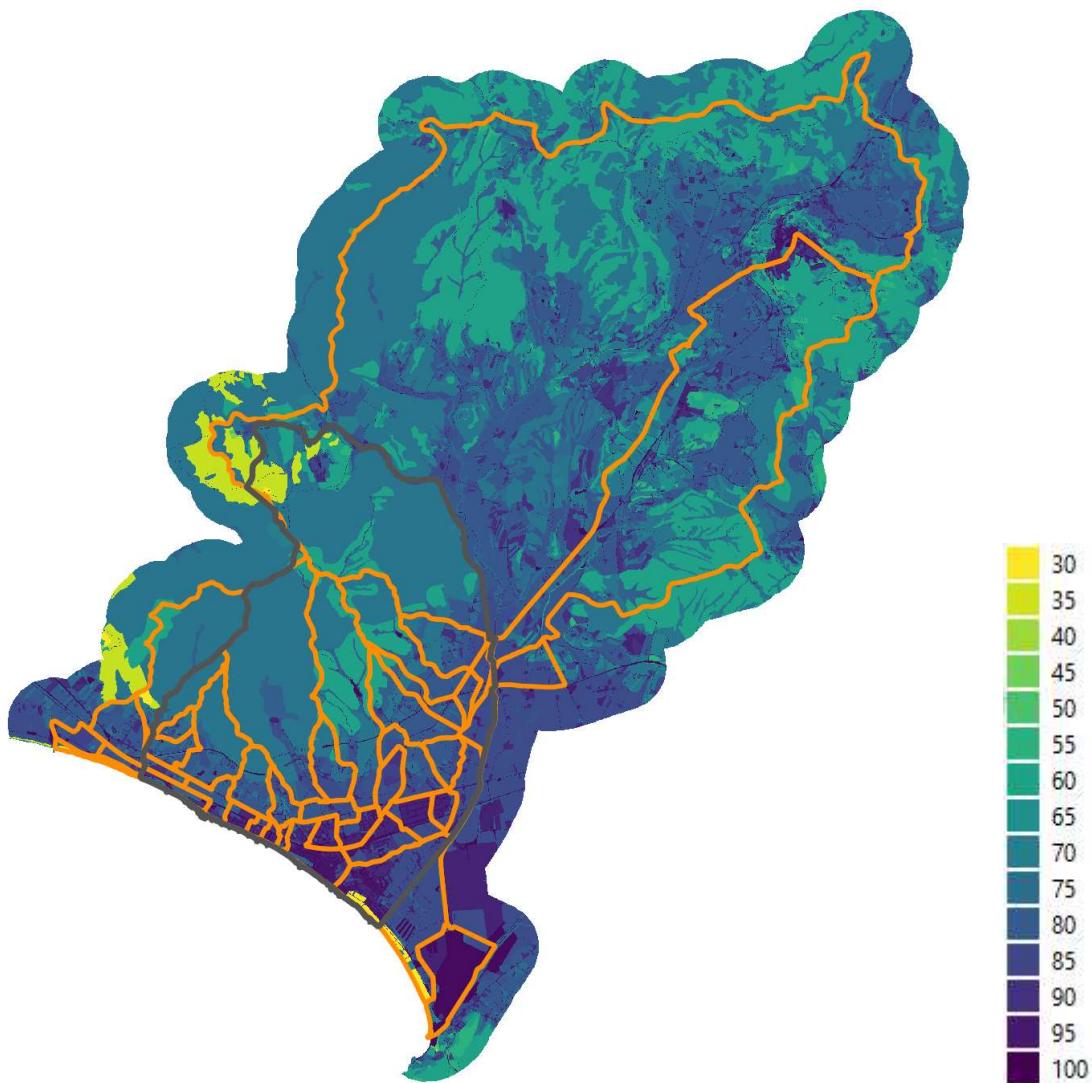


Fig. 40. CNII₂₀ nei bacini tra C.le All. Cervia e F. Pecora (dx) a Follonica [fonte: elab].

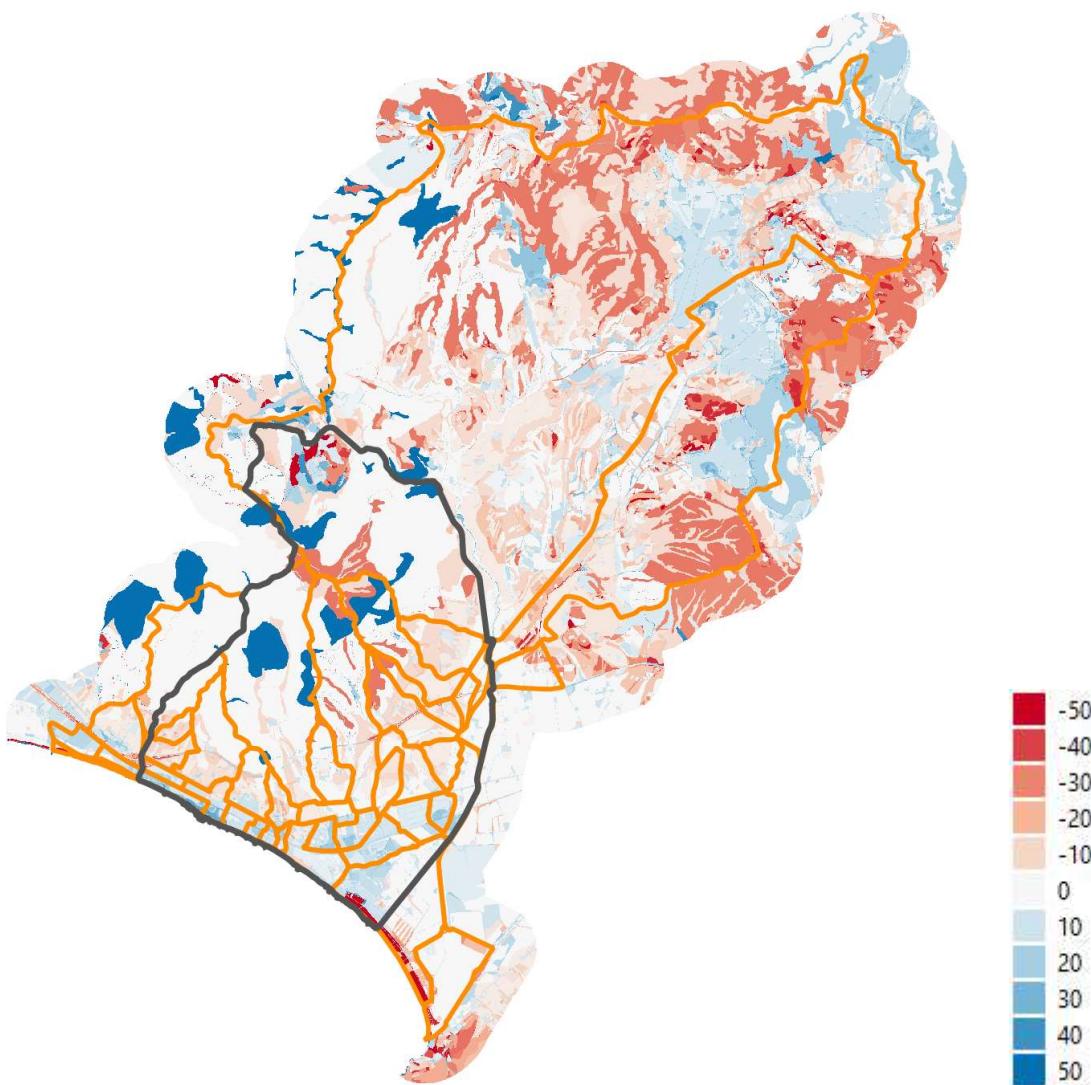


Fig. 41. Differenze % $CNI_{II20} - CNI_{IIR}$ nei bacini tra C.le All. Cervia e F. Pecora (dx) a Follonica.

2.2.3 ANALISI DI EVENTO E LSPP

In generale, le analisi di evento vengono svolte per un duplice obiettivo:

1. ancorare, per quanto proporzionalmente possibile, il settaggio della metodica di progetto alle evidenze sperimentali
2. a. verificare, in via preliminare all'aggiornamento regionale p.v., eventuali difetti di cautela delle LSPP_RT12 e, se del caso, stimarne una revisione puntuale includendo i dati 2013-2020; b. identificare il miglior interpolatore spaziale.

Nel caso specifico, data, *da una parte*, la ridotta dimensione dei bacini di analisi privi di stazioni di misura idrometrica e, *dall'altra*, gli importanti interventi strutturali realizzati su F. Pecora (unico c.d.a. dotato di monitoraggio idrometrico) e F.so Petraia, il p. 1. è non esperibile⁸⁵ se non -molto limitatamente- con mero riferimento indiziario-qualitativo a sporadici eventi locali su documentazione cronachistica. Non risultano analisi di evento facenti parte del QC ufficiale; a livello di cronaca, esclusi eventi alluvionali di tipo prettamente meteorico-fognario (di cui si dirà più avanti, cfr. Fig. 35) e le mareggiate, in epoca recente risultano soltanto quelli del 1995⁸⁶, 2005 (i più gravi) -antecedenti la realizzazione delle casse su F.so Petraia e F. Pecora e riguardanti anche i fossi minori tra cui in particolare il F.so di Valmaggio⁸⁷- e del 2013-2014 (senza tracimazioni gravi per Follonica).

⁸⁵Ovviamente, escludendo approcci di più vasta scala (es. intero bacino del F. Pecora), non commensurabili con le finalità in oggetto.

⁸⁶<https://youtu.be/RC4MdNhPySg>.

⁸⁷Con tracimazioni sul C.le Cervia secondo il proprio vecchio sbocco a mare.

Il p. 2, invece, è stato affrontato (a.) con riferimento ai pluviometri⁸⁸ di TOS03002459-*Follonica*, TOS01005489-*Vecchia SS Aurelia*, TOS11000041-*Massa Marittima Valpiana*, TOS11000070-*Suvereto*, TOS03002476-*S. Ferdinando* e TOS01005485-*Calzalunga* (Fig. 42), mentre (b.) dato il relativo numero esiguo, la mancanza di registrazioni idrometriche, il QC precedente e le caratteristiche idrografiche, è stato ritenuto superfluo/inconferente⁸⁹ l'approfondimento in termini di distribuzione spaziale delle precipitazioni al suolo.

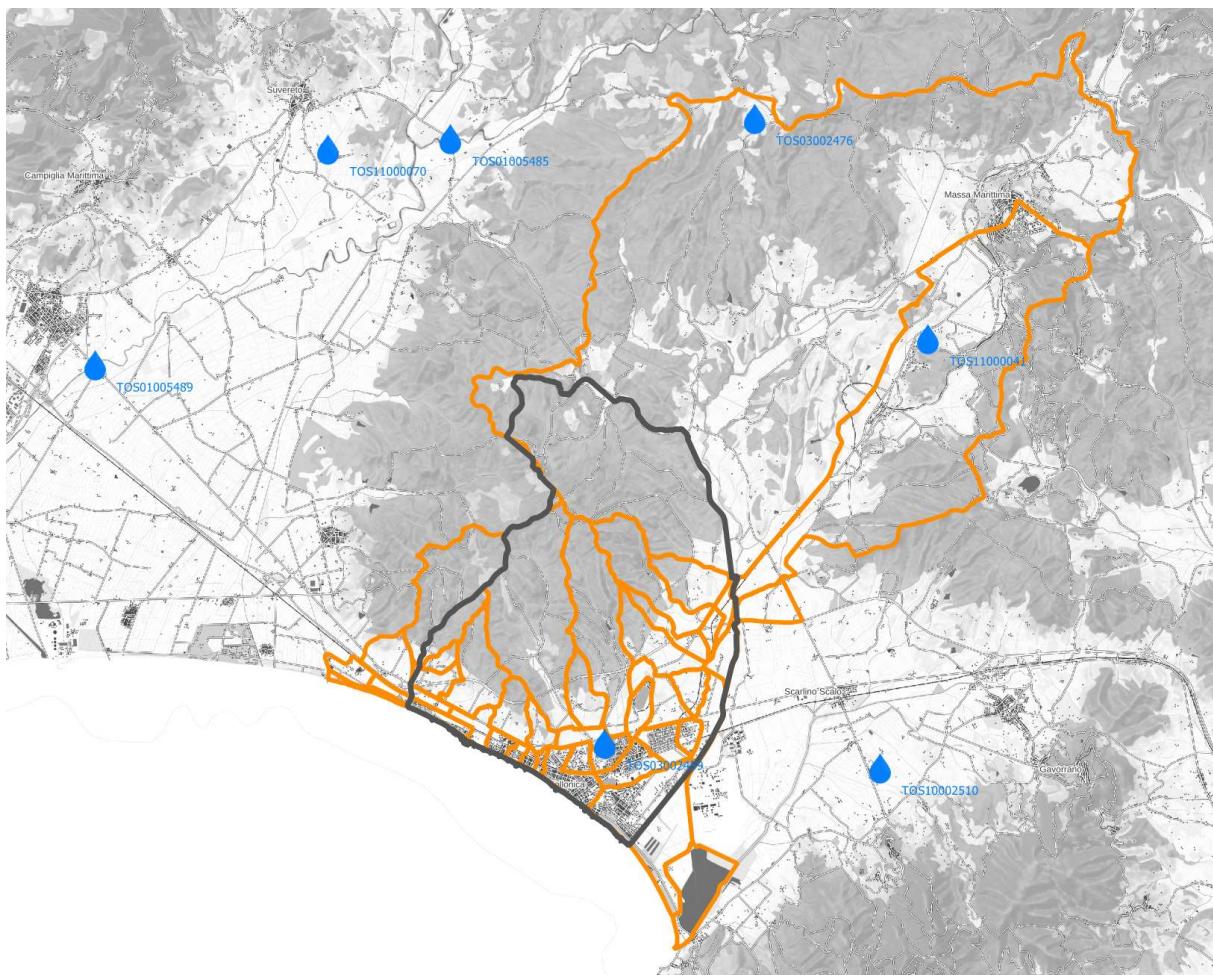


Fig. 42. *Pluviometri di riferimento LSPP comprensorio di Follonica* [Fonte: SIR-RT].

2a. LSPP

Le LSPP_RT12 ($\geq 1 \text{ h}$) puntuali di tutte le stazioni pluviometriche di Fig. 42 sono state aggiornate al 2020⁹⁰ (Tab. 3), secondo una metodica⁹¹ speditiva di adattamento e aggiornamento della distribuzione EVI (*Gumbel*)⁹².

In particolare, la procedura si compone dei seguenti passi:

per ciascuna *stazione pluviometrica*,

✓ per ciascuna *durata* di pioggia $d=1-3-6-12-24 \text{ h}$ e $T_r=2-5-10-20-30-50-100-150-200-500 \text{ anni}$, regressione di migliore adattamento della EVI

$$1 - \frac{1}{T_r} = P[h_d \leq X] = \exp(-\exp(-(\frac{Z-u}{\alpha})))$$

⁸⁸ Anche se sono soltanto *Follonica* e, in subordine, *Venturina* quelli qui di particolare interesse.

⁸⁹ Affrontabile soltanto a scala regionale; sulla ulteriore problematica della forma degli ietogrammi di progetto si veda avanti.

⁹⁰ Elaborando i dati a 15 min del CFR, disponibili in rete, anche non ancora validati, non disponibili statistiche già elaborate ufficialmente.

⁹¹ Es. cfr. *Ricostruzione idrologica dell'evento del 9/10 settembre 2017 nella provincia di Livorno*, prof. ing. F. Castelli, 2018.

⁹² Per semplicità, in quanto più complesso lo sviluppo analitico per la TCEV utilizzata in LSPP_RT12, ma cionondimeno con errore non significativo sui quantili di interesse.

ai dati $h_p(d, T_r)$ derivati dalle LSPP_RT12 puntuali⁹³ (es. Fig. 43), i.e. determinazione dei 2 parametri di scala e forma $\{u, \alpha\}$ della distribuzione

✓ calcolo delle statistiche media e deviazione standard $\{\mu, \sigma\}$ corrispondenti⁹⁴ ai parametri EVI di cui al passo precedente, i.e.:

$$\sigma = 1.285 \alpha$$

$$\mu = u + 0.5772 \alpha$$

- per ciascun anno di dato aggiuntivo, aggiornamento delle statistiche $\{\mu^+, \sigma^+\}$ sulla base del nuovo dato h_d^+ , posta N la numerosità campionaria di partenza LSPP_RT12⁹⁵, i.e.:

$$\mu^+ = \frac{h_d^+ + N\mu}{N+1}$$

$$\mu^{+2} + \sigma^{+2} = \frac{h_d^{+2} + N(\mu^2 + \sigma^2)\mu}{N+1}$$

- aggiornamento dei parametri della distribuzione

$$\alpha^+ = \frac{\sigma^+}{1.2825}$$

$$u^+ = \mu^+ - 0.5772 \alpha^+$$

✓ confronto tra i parametri $\{a, n\}_{\pi}$ LSPP_RT12_fit_EVI e LSPP_RT12_fit_EVI_Up e determinazione dei parametri finali $\{a^+, n^+\}_{\pi}$ di LSPP_RT12_Up per semplice deduzione del bias di fitting originario⁹⁶, i.e.:

$$a^+ = a_{\text{EVI_Up}}^+ + (a - a_{\text{EVI_Fit}})$$

$$n^+ = n_{\text{EVI_Up}}^+ + (n - n_{\text{EVI_Fit}})$$

La numerosità campionaria N è stata assunta specificamente quella riportata in LSPP_RT12 per ciascuna singola stazione, assumendo il valore di 40⁹⁷ ove mancante (corsivo in Tab. 3).

Tab. 3. Massimi annuali delle precipitazioni registrate alle stazioni di analisi nel periodo 2013-2020⁹⁸ e numerosità campionaria [N]⁹⁹ LSPP_RT12.

TOS03002459 ¹⁰⁰ - Follonica - N=41									
Anno	15'	30'	45'	1H	2H	3H	6H	12H	24H
2013	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999
2014	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999
2015	10.4	11.2	13.4	16.2	21.8	25.4	37.2	40.8	46.6
2016	12.6	15.8	18.6	22.0	40.8	55.6	66.8	66.8	71.6
2017	34.0	61.6	78.2	89.8	101.0	102.4	102.4	102.4	102.4
2018	21.0	33.0	45.0	54.4	69.0	74.0	74.0	75.8	90.6
2019	8.8	14.0	16.8	18.4	27.4	30.8	47.4	65.2	80.6
2020	16.6	29.4	35.6	42.6	49.8	53.0	56.8	61.8	62.2
TOS10005489 ¹⁰¹ - Vecchia SS Aurelia - N=35									
Anno	15'	30'	45'	1H	2H	3H	6H	12H	24H
2013	21.8	35.8	54.8	60.2	62.8	62.8	64.0	65.4	82.8

⁹³ Ottenuti da specifico applicativo web del SIR e tenuto conto di quanto riportato nei documenti tecnici originari di LSPP_RT12.

⁹⁴ Metodo dei momenti.

⁹⁵ Rif. Tab. A.4 di *Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme - Relazione tecnica finale*, prof. ing. Caporali, E. et al., Firenze, 2014.

⁹⁶ Di fitting EVI-TCEV.

⁹⁷ Valore medio di area.

⁹⁸ Dati tratti direttamente da serie 15' pubblicati dal CFR (anche pre-validati). In corsivo i dati tratti da serie annuale incompleta.

⁹⁹ Riferita alle serie dei massimi annuali di durata 1-3-6-12-24 h (normalmente inferiore la numerosità campionaria per durate <1 h). Dato mancante per i pluviometri non già in LSPP_RT12.

¹⁰⁰ Assimilata TOS10002460 - Follonica.

¹⁰¹ Assimilata [stazione spostata con possibili disomogeneità significative] TOS10002430 - Venturina.

2014	25.4	37.2	52.8	64.6	91.6	93.6	95.0	95.2	95.2
2015	10.2	16.6	23.0	31.0	52.6	65.6	100.2	140.6	162.0
2016	17.4	23.0	27.2	29.4	32.4	42.2	57.4	58.0	59.0
2017	12.0	19.6	24.4	29.0	29.8	50.8	82.8	88.6	96.4
2018	10.4	11.4	14.8	16.8	28.6	34.6	35.0	43.8	50.0
2019	15.4	16.4	18.0	19.8	24.0	31.6	35.0	39.0	49.4
2020	15.6	28.6	34.2	34.6	35.4	36.0	36.0	36.2	38.0

TOS11000041¹⁰² - Massa Marittima Valpiana - N=50

Anno	15'	30'	45'	1H	2H	3H	6H	12H	24H
2013	22.8	37.8	53.4	62.2	68.0	68.6	75.6	80.4	131.0
2014	15.4	20.8	24.4	24.6	26.6	29.4	45.6	75.8	95.2
2015	23.6	30.8	34.8	35.6	37.2	37.2	37.2	38.4	47.4
2016	13.2	17.4	19.4	25.8	39.4	53.4	66.0	66.0	76.2
2017	9.2	14.0	16.4	19.2	33.0	40.2	42.0	54.6	57.6
2018	14.0	23.4	30.0	37.4	44.8	49.2	49.6	50.4	62.0
2019	11.6	14.6	16.0	19.6	24.2	31.0	42.6	58.8	62.0
2020	12.8	24.8	26.2	27.0	27.0	27.0	28.2	37.0	39.4

TOS03002476¹⁰³ - S. Ferdinando - N=25

Anno	15'	30'	45'	1H	2H	3H	6H	12H	24H
2013	13.6	23.4	24.0	24.2	29.8	31.2	31.4	34.8	42.6
2014	20.8	26.8	32.4	38.4	48.4	55.0	67.2	72.0	99.6
2015	14.2	20.0	20.8	21.4	33.8	38.2	46.0	49.2	73.0
2016	20.8	36.2	40.0	42.2	46.4	46.6	62.6	62.8	65.0
2017	21.0	32.8	37.6	37.8	44.2	61.0	63.8	76.8	81.8
2018	17.2	29.8	41.6	54.2	78.0	83.4	83.8	84.0	98.8
2019	17.8	32.8	34.2	36.2	40.6	41.2	45.0	61.0	76.6
2020	19.0	28.8	31.4	31.4	31.6	31.6	33.6	36.6	39.8

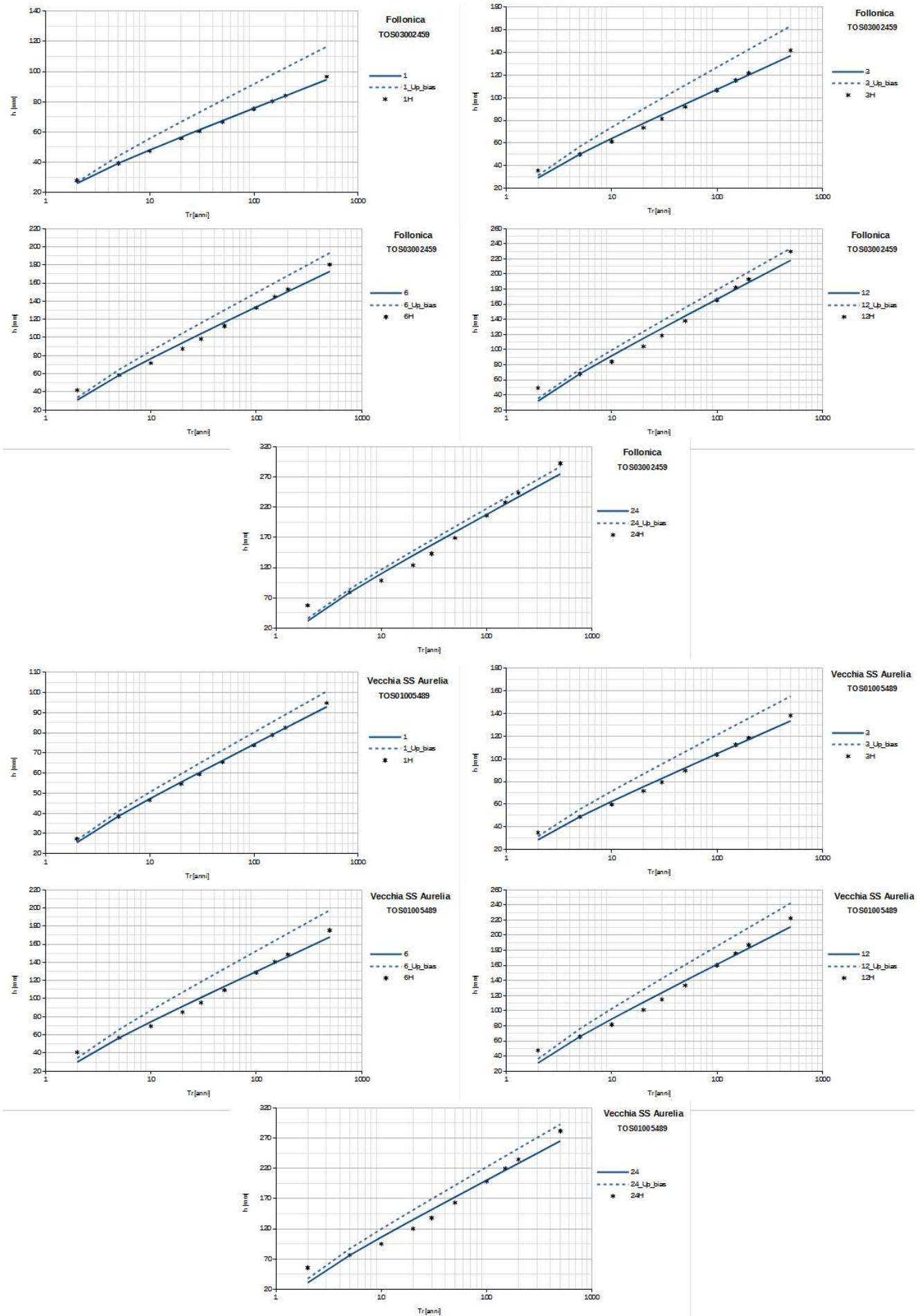
TOS11000070¹⁰⁴ - Suvereto - N=56

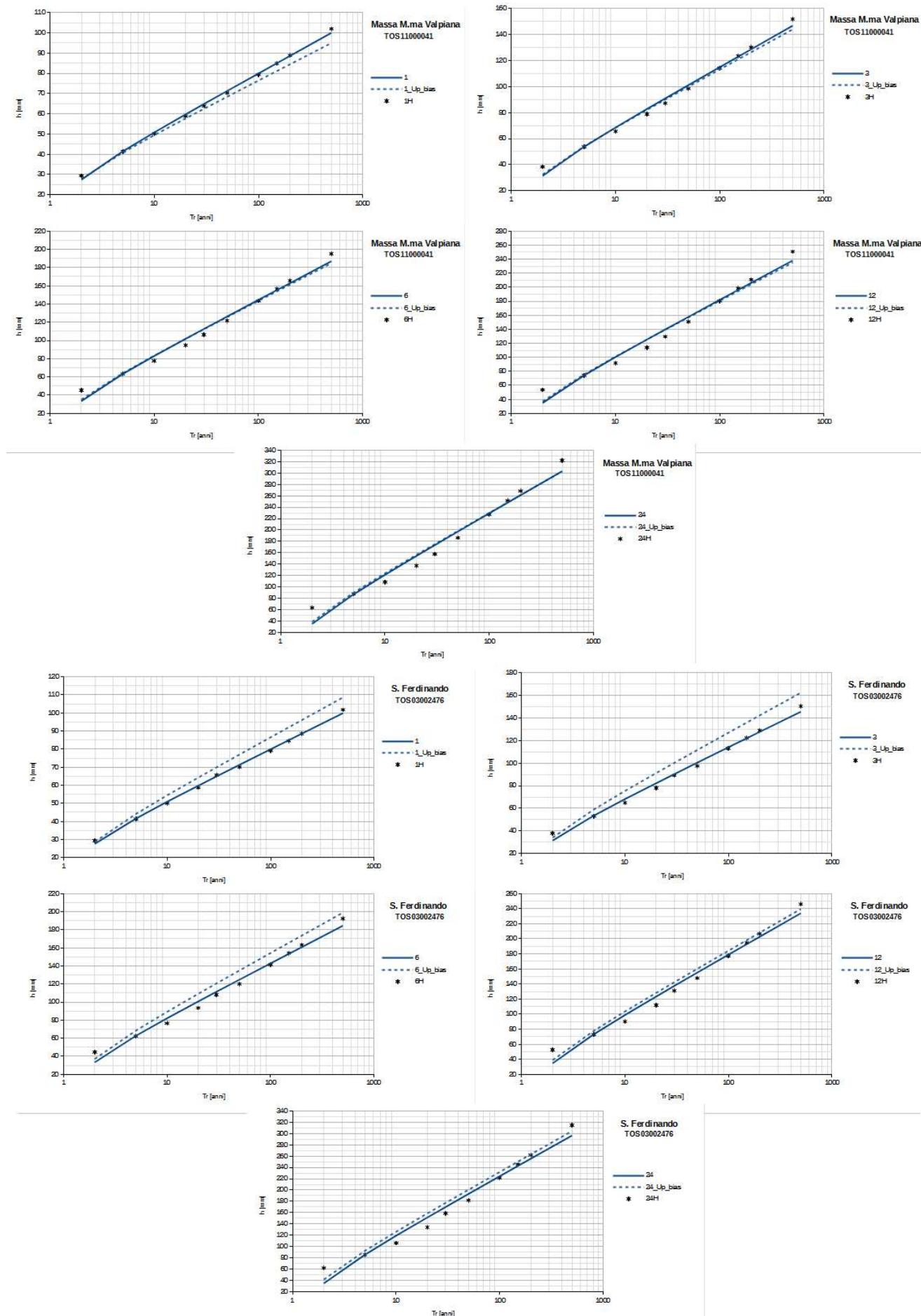
Anno	15'	30'	45'	1H	2H	3H	6H	12H	24H
2013	23.6	34.0	48.4	51.0	54.6	54.8	56.2	59.2	107.2
2014	21.6	28.4	32.8	38.2	46.8	47.6	56.0	82.0	97.8
2015	7.2	10.8	14.4	16.0	19.4	24.0	33.0	37.4	40.0
2016	19.8	30.0	33.0	34.8	38.2	48.6	65.8	66.2	68.0
2017	19.0	25.6	30.0	33.0	43.0	49.4	64.2	66.0	75.6
2018	14.0	15.8	21.0	25.4	38.0	42.6	43.0	54.0	61.0
2019	23.2	25.8	26.4	27.2	32.6	40.6	46.2	57.4	62.4
2020	17.8	29.0	29.0	29.0	37.0	37.8	37.8	44.0	45.2

TOS01005485 - Calzalunga - N=--

Anno	15'	30'	45'	1H	2H	3H	6H	12H	24H
2013	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999
2014	17.2	28.0	29.8	31.4	38.6	47.4	58.4	65.0	94.0
2015	18.0	24.2	30.2	32.4	34.2	38.2	41.0	49.0	90.8
2016	17.4	28.4	36.6	42.4	43.2	44.4	59.6	59.8	67.0
2017	18.4	30.2	35.6	39.6	49.2	51.0	63.2	63.4	74.0
2018	13.8	22.8	26.6	31.6	45.6	50.8	51.0	54.4	60.2
2019	17.8	23.8	25.0	26.6	47.2	61.2	68.2	83.0	87.4
2020	21.8	33.6	35.4	35.6	38.6	38.8	38.8	39.0	44.0

¹⁰² Assimilata TOS10002471 - Massa Marittima.¹⁰³ Assimilata TOS10002480 - Montebamboli.¹⁰⁴ Assimilata [stazione spostata con possibili disomogeneità significative] TOS10002410 - Suvereto.





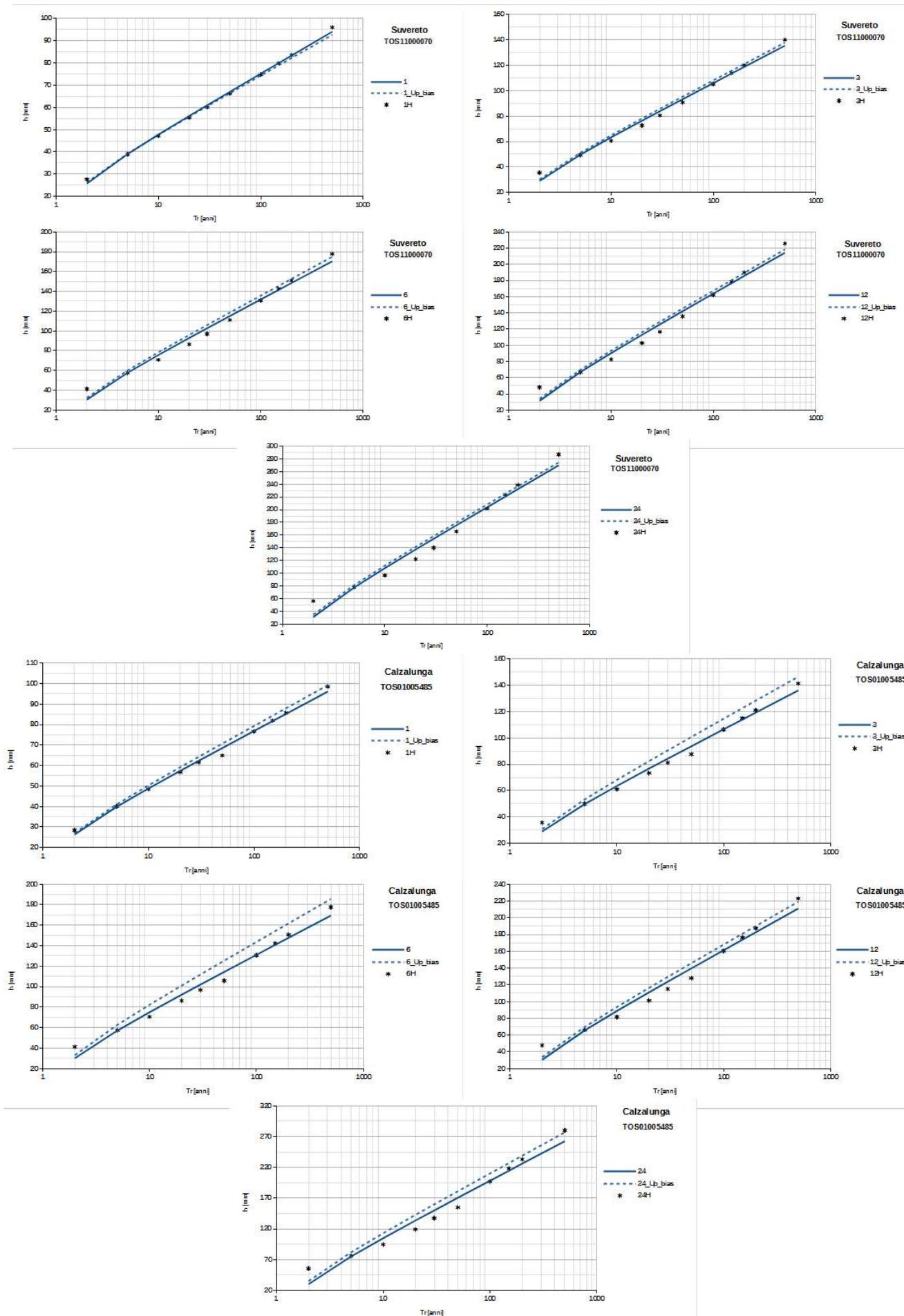
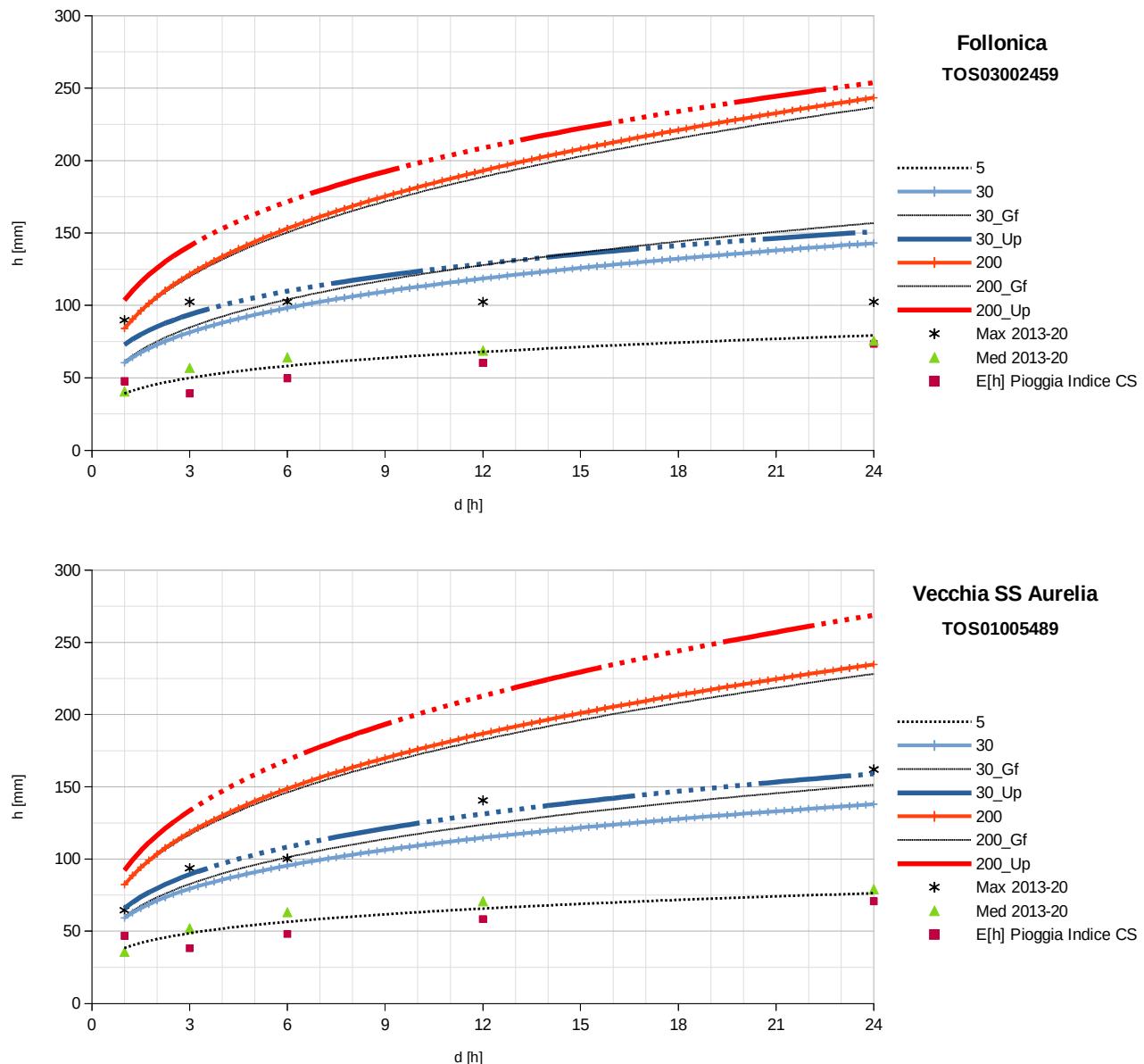
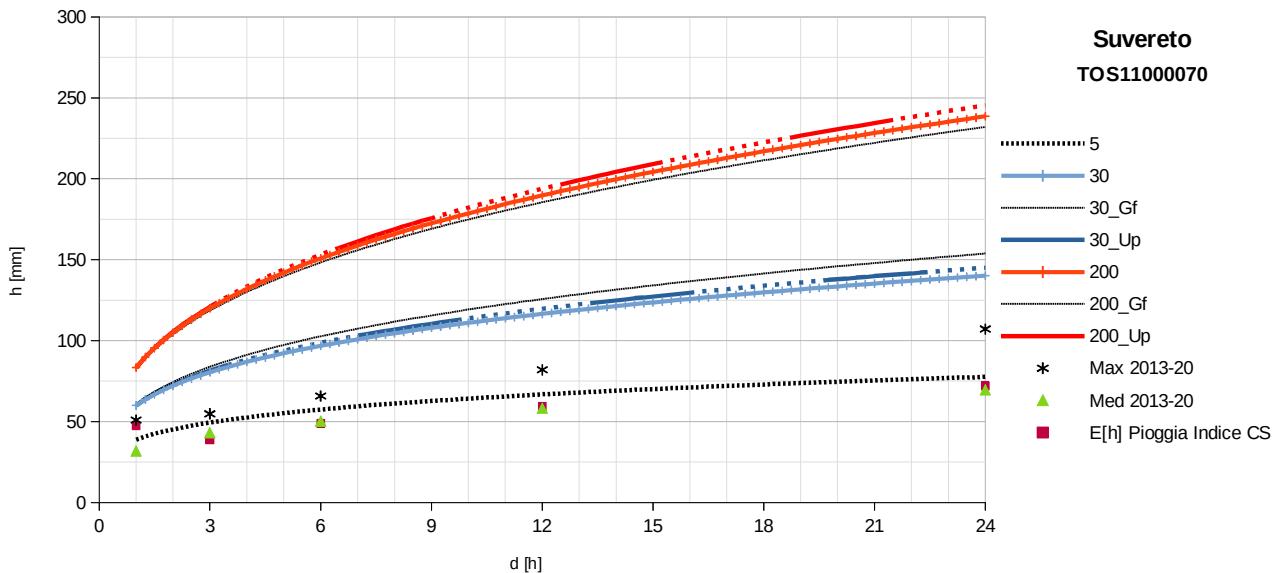
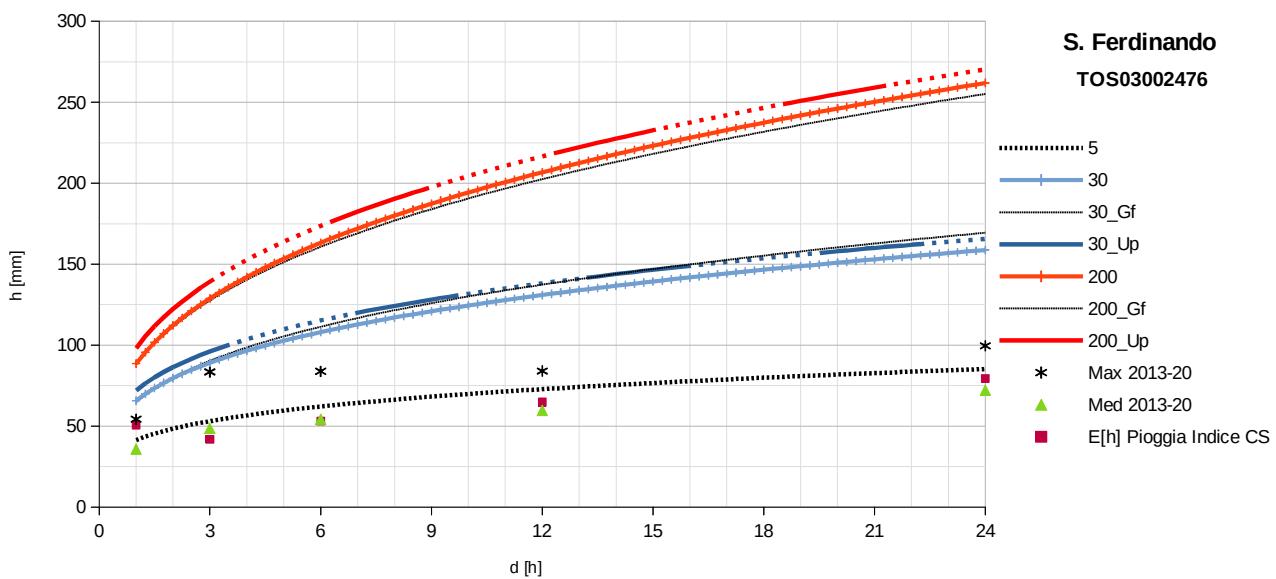
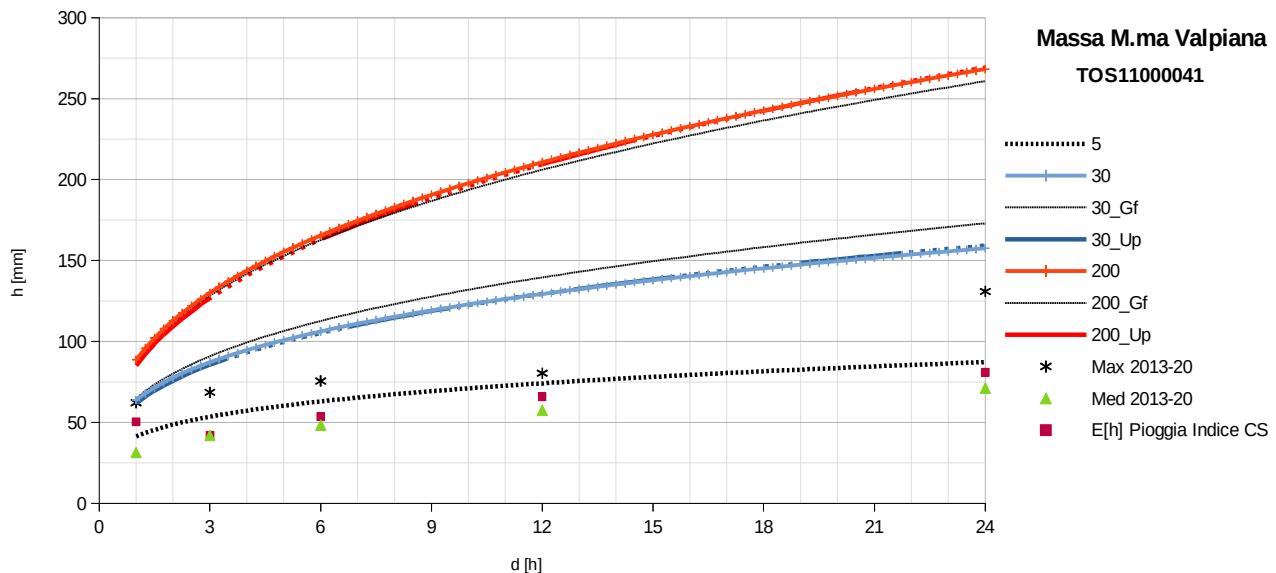


Fig. 43. Inferenza EVI su dati LSPP_RT12 e Up - 1-24 h - Stazz. Follonica, Vecchia SS Aurelia [Venturina], Massa Marittima Valpiana, S. Ferdinando [Montebamboli], Suvereto e Calzalunga.





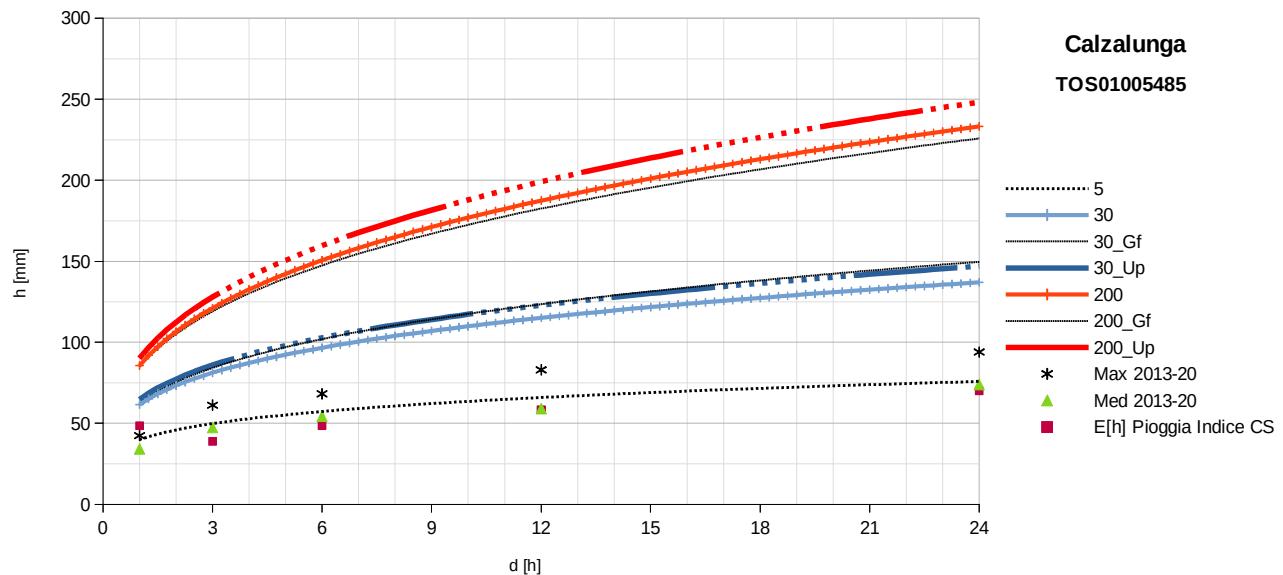


Fig. 44. LSPP puntuale $d \geq 1$ h - Confronto LSPP_RT12 e LSPP_RT_Up per approssimazione EVI - $T_r=30$ e 200 anni [$T_r=$ LSPP_RT12; T_r _Gf=LSPP_RT12_fit_EVI; T_r _Up=LSPP_RT12_Up].

Tab. 4. Parametri $\{a, n\}$ delle LSPP_RT12 e LSPP_12_RT_Up - $T_r=30$ e 200 anni.

LSPP Up_bias		5		30		200	
5Y							
1		40.81	44.14	39.13	40.99	40.99	44.14
3		53.99	58.88	51.03	53.21	55.50	56.93
6		64.06	68.37	59.94	62.65	65.91	64.51
12		75.44	77.71	69.52	69.56	76.03	73.66
24		89.88	92.36	81.17	81.77	86.77	84.46
a+ [mm]		40.96	44.87	39.43	41.60	42.03	44.74
n+ []		0.247	0.228	0.229	0.214	0.236	0.202
(a+a)/a (%)		-1.1	8.6	1.2	4.0	9.2	14.0
(n+n)/n (%)		5.40	-0.11	5.36	6.11	9.46	-8.75
30Y							
1		62.44	69.91	60.49	64.26	64.78	73.05
3		89.91	100.23	85.70	90.48	95.34	99.37
6		112.27	120.55	105.87	111.80	118.48	115.95
12		139.26	142.36	128.99	129.34	142.45	137.69
24		174.90	177.07	158.32	159.78	169.12	165.40
a+ [mm]		62.71	71.21	61.02	65.40	66.81	73.77
n+ []		0.323	0.287	0.302	0.283	0.302	0.254
(a+a)/a (%)		-1.7	8.5	1.7	6.2	12.7	22.1
(n+n)/n (%)		13.46	3.23	13.07	12.40	13.71	-6.33
200Y							
1		84.39	96.04	82.15	87.86	88.91	102.38
3		126.35	142.17	120.87	128.29	135.75	142.43
6		161.17	173.48	152.46	161.66	171.81	168.13
12		204.00	207.95	189.31	189.98	209.82	202.64
24		261.14	263.00	236.59	238.91	252.66	247.50
a+ [mm]		84.95	98.06	83.09	88.68	92.06	103.32
n+ []		0.354	0.311	0.332	0.311	0.329	0.274
(a+a)/a (%)		4.3	10.7	-0.4	4.7	11.7	22.9
(n+n)/n (%)		1.76	-8.90	0.45	-1.39	-0.14	-18.03
30							
LSPP Up							
a+ [mm]		61.76	72.06	60.13	64.77	65.92	72.87
n+ []		0.298	0.262	0.277	0.258	0.277	0.229
a [mm]		63.80	65.66	60.00	61.59	59.27	60.43
n []		0.285	0.278	0.267	0.252	0.266	0.271
(h12+ -h12)/h12 (%)		0.1	5.5	2.8	6.8	14.5	8.7
(h06+ -h06)/h06 (%)		-0.8	6.7	2.1	6.4	13.6	11.9
200							
a+ [mm]		85.19	98.11	83.31	90.27	92.28	103.55
n+ []		0.362	0.319	0.340	0.318	0.337	0.282
a [mm]		88.74	88.55	83.45	85.67	82.45	84.06
n []		0.348	0.341	0.331	0.315	0.329	0.335
(h12+ -h12)/h12 (%)		-0.6	4.8	2.2	6.3	14.0	8.2
(h06+ -h06)/h06 (%)		-1.6	6.5	1.5	6.0	13.4	12.2
	TOS11000041	TOS03002476	TOS11000070	TOS1005485	TOS1005489	TOS03002459	
	Massa M.ma Valpiana (E1)	S. Ferdinando (E1)	Suvereto (E1)	Calzalunga (E1)	Vecchia SS Aurelia (E3)	Follonica (E3)	

In Tab. 4 e Fig. 43-Fig. 44 sono riportati i confronti tra LSPP_RT12 originarie, adattate EVI e EVI_Up_Bias/Up¹⁰⁵ (LSPP_RT12+), da cui risulta una complessiva non trascurabile significatività degli valori registrati negli ultimi anni (benché molti ancora non validati¹⁰⁶ e con utilizzo anche di serie incomplete), ovunque in senso di maggiori valori temibili a parità di T_r , ma con vistose disomogenità interne.

¹⁰⁵ Rispettivamente nei grafici di inferenza EVI e nelle LSPP.

¹⁰⁶ In particolare, evento 01.09.2017 a Follonica.

In termini di adattamento dei dati LSPP_RT12 alle EVI, i risultati sono complessivamente soddisfacenti, anche se in almeno alcuni casi pare evidente una doppia componente (soprattutto per le maggiori durate), con scostamento simili per tutte le stazioni; di essi va, comunque, tenuto conto nella valutazione di significatività degli effetti sulla LSPP dell'allungamento delle serie storiche al 2020.

Assumendo un limite di significatività di variazione del valore atteso del 10% per le varie durate, risulta "certamente" significativo l'aggiornamento, per $T_r=200^{107}$ anni, della stazione di *Vecchia SS Aurelia* in Comune di Campiglia M.ma e, per durate 1-6 h, probabilmente anche di *Follonica* (Fig. 45). Tutti costantemente inferiori gli scostamenti per le altre stazioni, testimoniando una sostanziale maggiore omogeneità statistica *antel/post* 2012 per la zona più interna (bacino alto F. Pecora) ed una maggiore variabilità per gli eventi più brevi. Complessivamente, l'aggiornamento al 2020 delle serie storiche dei massimi annuali tenderebbe ad aumentare i valori temibili sulla fascia costiera.

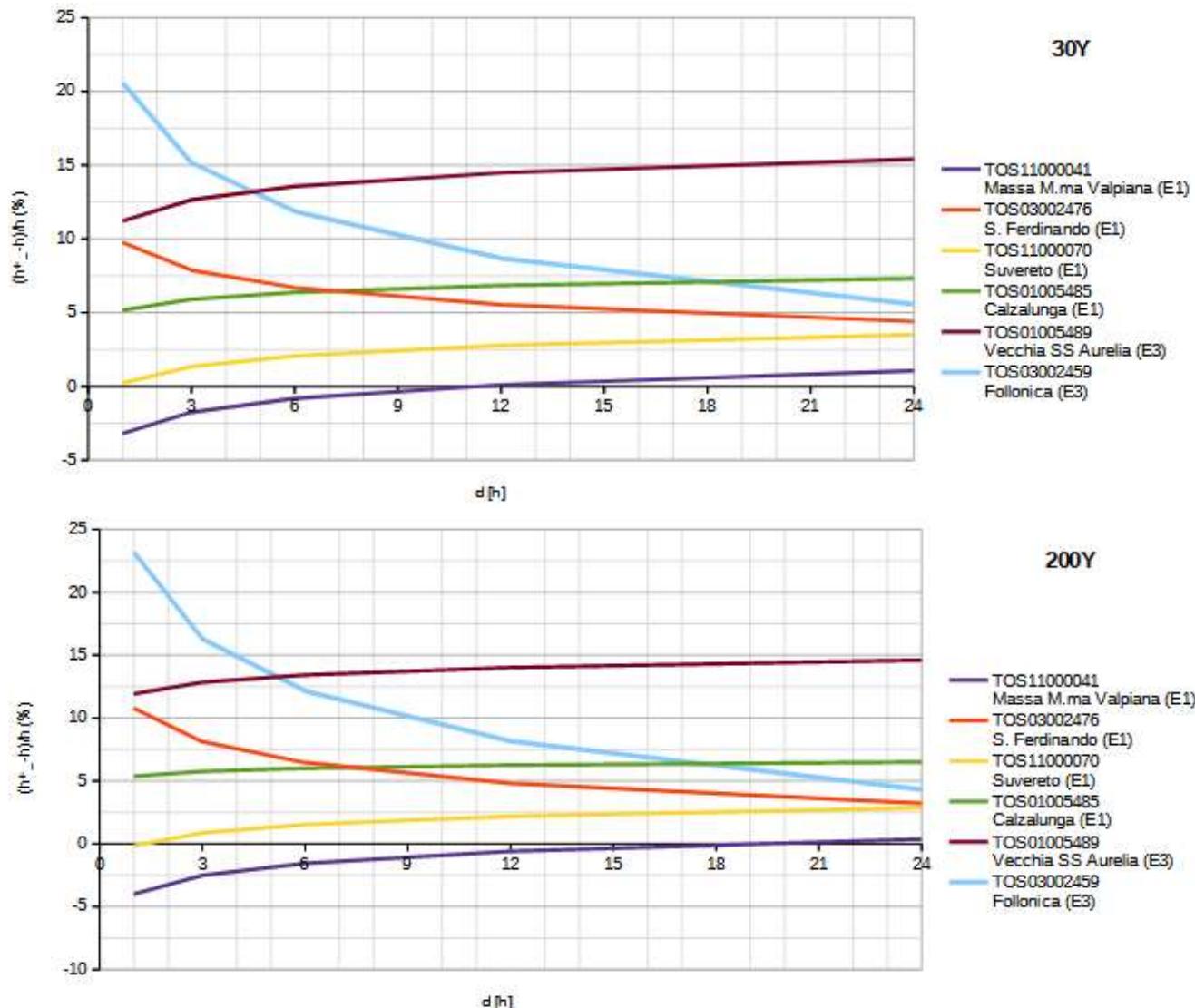


Fig. 45. Scostamenti tra i valori LSPP_RT12 e LSPP_RT_Up al variare delle durate $d=1-24$ h - $T_r=30$ e 200 anni.

Se *Vecchia SS Aurelia* non è di particolare interesse per l'areale in esame, ovviamente *Follonica* è centrale e le durate di apparente maggiore scostamento sono proprio quelle più critiche per la gran parte del Capoluogo. Ciò è dovuto essenzialmente ai dati relativi all'evento del 01.09.17, i cui dati sono soltanto pre-validati dal CFR. Al fine di meglio inquadrare anche il confronto con 4C02, in Fig. 46 sono riportate le LSPP di *Follonica*, *Massa M.ma Valpiana* [Massa M.ma] e *S. Ferdinando* [Montebamboli] nelle versioni [SI98¹⁰⁸,] 4C02,

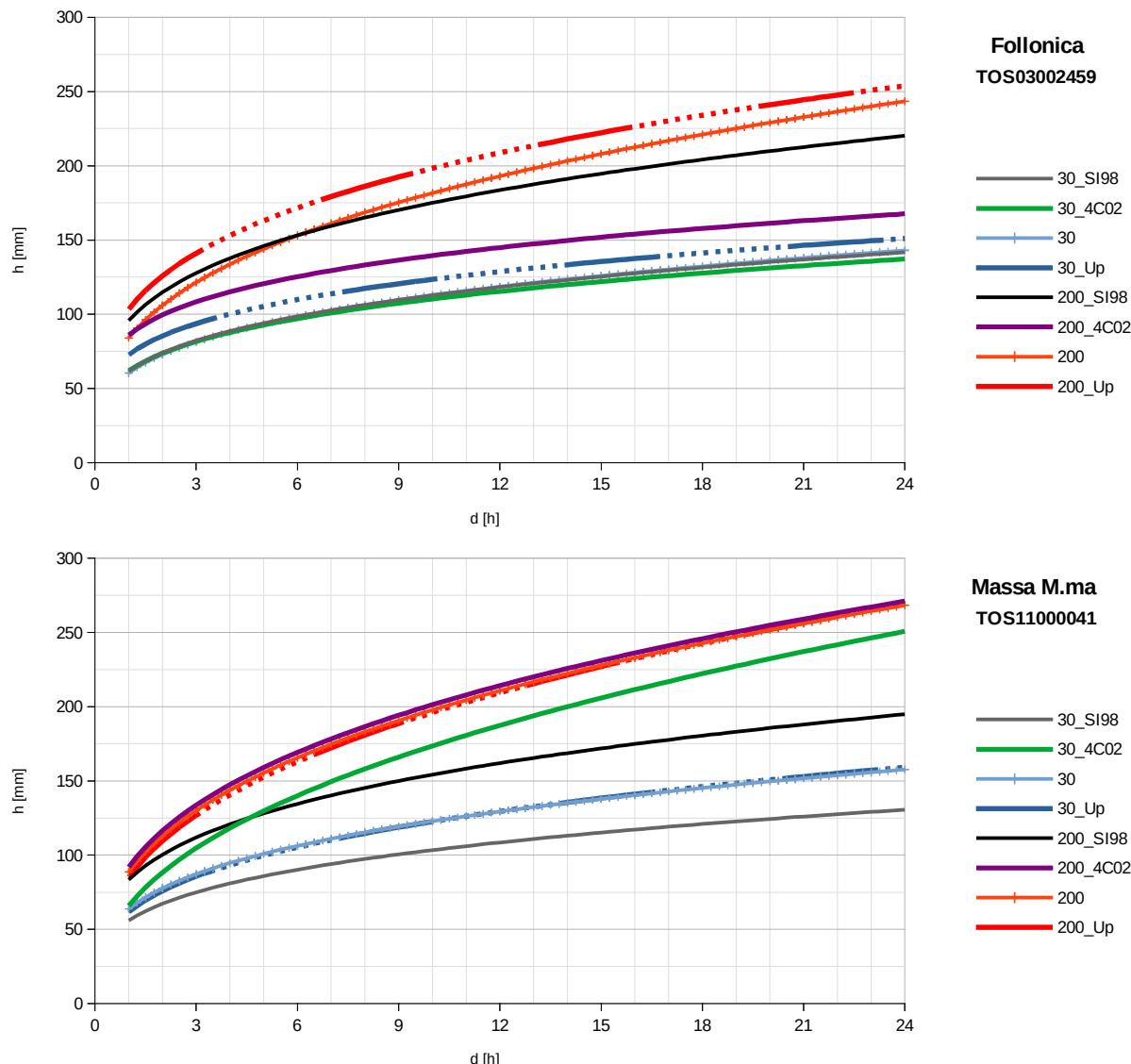
¹⁰⁷ Per $T_r=30$ anni, la variazione è del medesimo ordine di grandezza del difetto di approssimazione EVI alle TCEV regionali.

¹⁰⁸ Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica, Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa - PIN, 1998.

LSPP_RT12 e LSPP_RT12_Up (da valutare con cautela, data l'assimilazione di stazioni di misura in qualche modo diverse¹⁰⁹). Si possono notare diversità sostanziali sia nei fattori di scala (*Follonica*₃₀) che di forma (*Follonica*₂₀₀, *S. Ferdinando*-[*Montebamboli*]₂₀₀ e *Massa M.ma Valpiana* [*Massa M.ma*]₃₀), ovviamente dovute (al netto delle approssimazioni qui introdotte) ai diversi modelli inferenziali sottesi.

Notevoli, e ben maggiori di quelle tra LSPP_RT12 e LSPP_RT12_Up, sono le differenze tra 4C02 e LSPP_RT12 per le 200-ennali di *Follonica* e *S. Ferdinando* e le 30-ennali di *Massa M.ma Valpiana*, tutte di segno negativo per le durate $\leq 4-6$ h (e, invece, largamente positivo per $d > 4$ h a *Massa M.ma V*).

Dato l'utilizzo anche di ietogrammi tipo *Chicago* passo 15', in Fig. 47 è riportato analogo confronto per durate ≤ 1 h, assumendo¹¹⁰ per LSPP_RT12 e LSPP_RT12_Up le medesime curve ottenute per le durate superiori. È evidente il discutibile andamento delle estrapolazioni LSPP_RT che non tiene conto del normale maggior valore di $n_{<1}$ h rispetto a $n_{>1}$ h, determinante sistematiche maggiori stime; le minori differenze per $d=1$ h contengono comunque le variazioni sui volumi complessivi dell'*Chicago* 1 h, limitando l'effetto di sovrastima anche per i bacini idrografici più piccoli; viceversa, maggiore cautela va adottata in applicazione ai sistemi fognari.



¹⁰⁹ Spostate, fisicamente sostituite, ...

¹¹⁰ Cfr. *Relazione tecnica finale* (2014).

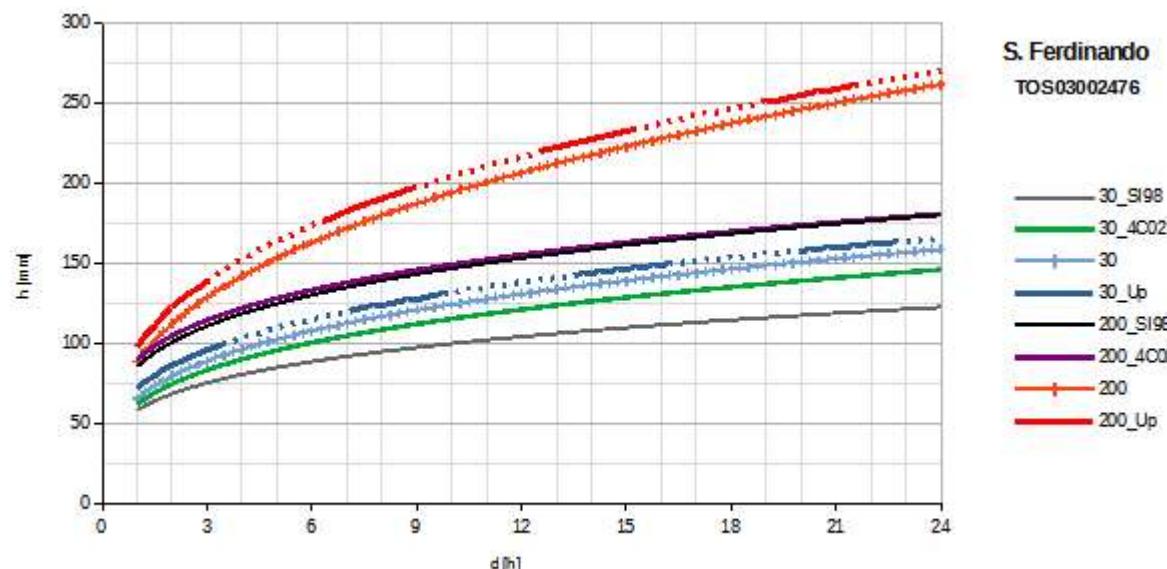
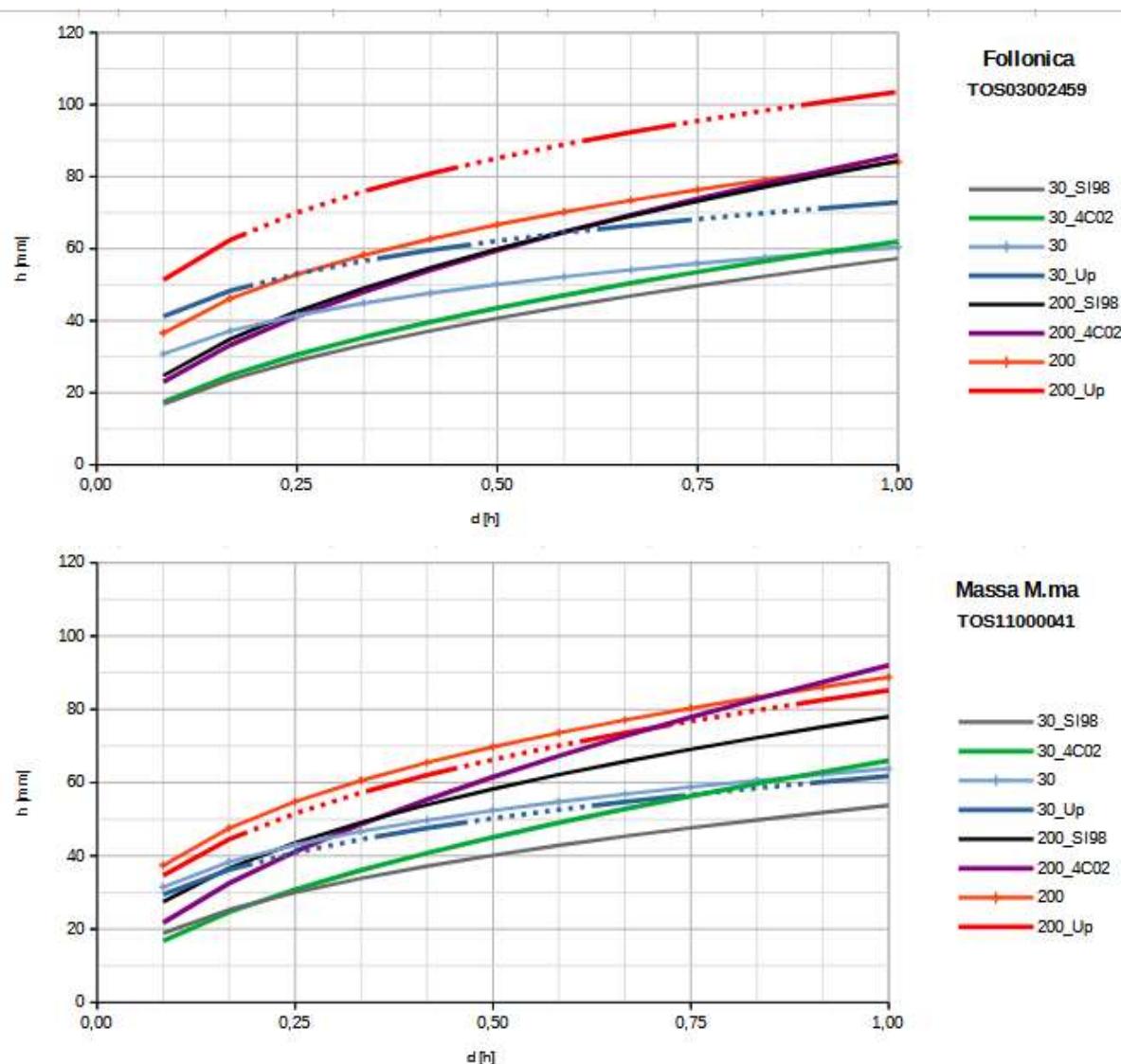


Fig. 46. LSPP puntuale $d \geq 1$ h - Stazioni di Follonica, Massa M.ma Valpiana e S. Ferdinando - Confronto [SI98,] 4C02, LSPP_RT12 e LSPP_RTUp - $T_r = 30$ e 200 anni.



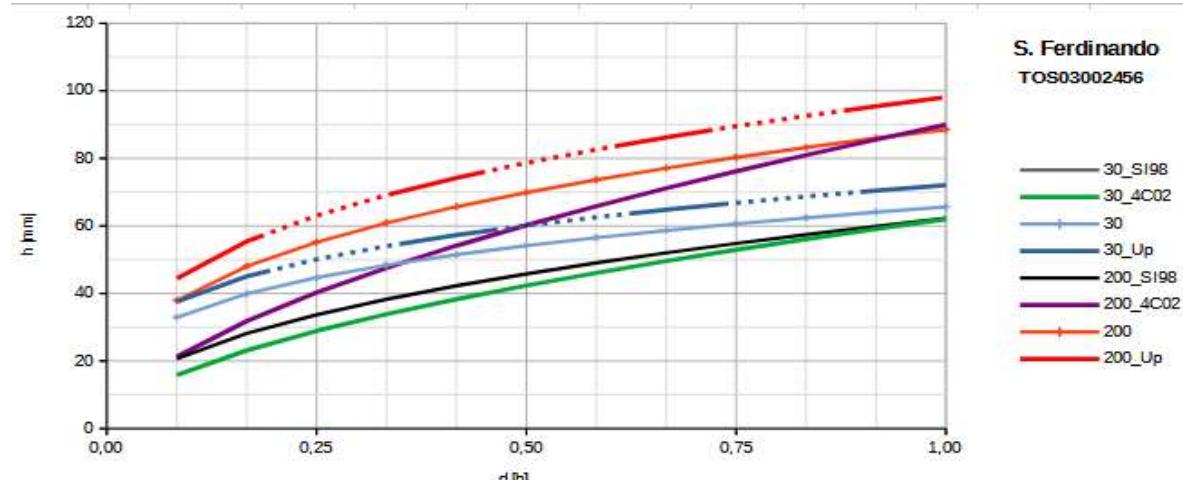


Fig. 47. LSPP puntuali $d \leq 1$ h - Stazioni di Follonica, Massa M.ma Valpiana e S. Ferdinando - Confronto [SI98,] 4C02, LSPP_RT12 e LSPP_RT_Up - $T=30$ e 200 anni.

In definitiva, complessivamente considerate le statistiche sopra citate, la mancanza di validazione ufficiale di gran parte dei dati utilizzati, la indisponibilità di analisi di eventi e la già notevole variazione LSPP_RT12 vs 4C02, onde evitare ulteriore entropia viene assunto di mantenere nei calcoli le LSPP_RT12 senza aggiornamenti 2013-2020.

2b. distribuzione spaziale delle precipitazioni

La distribuzione spaziale delle precipitazioni al suolo è notoriamente questione cruciale nella analisi di evento in bacini di medio-grande estensione e molto meno (a patto di disporre di un pluviometro rappresentativo dell'areale di indagine) in piccoli bacini quali la maggior parte a Follonica (escluso F. Pecora). Nel caso specifico, il pluviometro di Follonica certamente soddisfa tale pre-requisito per tutti i cc.d.a. con impluvio fronte mare. Più articolata l'analisi pluviometrica del bacino del F. Pecora, comprendente anche versanti diversamente esposti, alternativamente esposti a sistemi frontali e convettivi di provenienza SW/SE e perturbazioni continentali.

Analizzando preliminarmente gli ietogrammi (15 min) relativi ai maggiori eventi di 1-3 h alternativamente a Follonica, Massa Marittima Valpiana, S. Ferdinando, Suvereto e Venturina, si rileva come le serie risultino abbastanza nettamente diversificate a seconda della posizione in fascia costiera o retrocollinare. Tale fatto, se fosse confermato (dagli opportuni approfondimenti) andrebbe in generale tenuto presente utilizzando la metodica standard LSPP_RT12¹¹¹ nella definizione delle piogge di progetto, essendo quest'ultime derivate da interpolazione [di $\{a, n\}$] kriging ordinario con variogramma esponenziale senza correzioni sulla quota¹¹² né breaklines interne alla regione omogenea (Centro-Sud). Ai fini qui in oggetto (piccoli bacini, approccio idrologico di tipo sintetico e distribuzione pluviometri) la questione non pare di particolare rilevanza (salvo, eventualmente, il bacino del F. Pecora) e, comunque, non risolvibile nell'ambito del presente lavoro.

2.2.4 SETTAGGI E SCENARI DI PROGETTO

Gli scenari di progetto [2,]30 e 200-ennali sono stati generati con il seguente *setting* idrologico¹¹³:

- A-D SCS-CN: $\{CN_{III}, \beta=0.20\}$; no perdite per intercettazione e EVT
- routing IUH-SCS con t_r =tempo di ritardo calcolato secondo la formula¹¹⁴ di Bocchiola-Rosso et al. (2003)¹¹⁵ (Tab. 5)

$$t_r = 0.26 \cdot L_a^{0.82} \cdot (1 + S)^{0.13} \cdot I_b^{-0.20}$$

¹¹¹Che prevede l'utilizzo del valore medio di pioggia derivato dall'applicazione distribuita della LSPP_RT12 (Metodo A.).

¹¹²Nel caso specifico presumibilmente poco rilevante, dato la morfologia retrocosta poco più che collinare.

¹¹³Per ulteriori dettagli si veda lo specifico Allegato.

¹¹⁴Si è preferito evitare la pratica di assumere valori medi tra più formulazioni di letteratura, in quanto ritenuta inutilmente entropica. Non nota la formula utilizzata in 4C02 per la stima di t_r .

¹¹⁵Bocchiola, Rosso et al., "Sul tempo di risposta dei bacini idrografici italiani", L'Acqua, 1/2003. Variante adattata a bacini nazionali della US-SCS standard, tendenzialmente stimatore di t_r più breve per riduzione della "massima distanza idrologica" alla sola parte canalizzata.

L_a =lunghezza asta idrografica principale [km]; $S=254(100/\text{CN}-1)$ =massimo volume di perdite di bacino¹¹⁶ secondo SCS-CN; i_b =pendenza media del bacino (%); CN=CNII¹¹⁷

per analisi di sensibilità e consistenza con 4C02 anche Clark con tempo di concentrazione $t_c=5/3$ ¹¹⁸ t e coefficiente di invaso $R=(3/5 \div 4/5)t$ ¹¹⁹

- piogge: LSPP_RT12 e ietogramma uniforme per durate $d>1$ h, Chicago centrato per $d=1$ h; coefficiente di ragguaglio areale delle precipitazioni k_A secondo Raudwiki-Eagleson (1970)

$$k_A = 1 - \exp(-\alpha \cdot d^\beta) + \exp(-\alpha \cdot d^\beta - \gamma \cdot A); \alpha = 0.036, \beta = 0.25, \gamma = 0.01$$

d [h]=durata di pioggia e A [km²]=area del bacino

calcolato con riferimento alle sezioni di chiusura più significative e assumendo per i piccoli bacini $k_A=1$ ($d \leq 1$ h)¹²⁰ (Tab. 6). [Non utilizzata, per semplicità, la versione PIN, 1996 e s.m.i., con α variabile con la pioggia caratteristica dell'area, i.e. (Fig. 48)]

$$\alpha = 0.036 \cdot a$$

a [mm]=pioggia indice media nel bacino stimata per Regione Centro-Sud $d=1-3$ h e $T_r=30-200$ anni¹²¹

$$h_{1,Tr}/K_{Tr} = h_{1,Tr}/[0.4634 + 0.488 \cdot \ln(T_r)]^{122}$$

- no deflusso di base.

Tab. 5. Caratteristiche idrologiche essenziali di sottobacino modellato HEC-Hms.

ID	SBAC (cod HMS)	Nome	A [km ²]	CNII []	β_{II} []	CNIII []	β_{III} []	t_c [min]
16	CLCRV_01	Controfosso C.le Cervia dir. Follonica (acque alte)	1.27	81	0.20	91	0.20	24
17	CLCRV_02	Controfosso C.le Cervia dir. Follonica (acque basse)	0.26	84	0.20	92	0.20	-
42	CLCRV_06	I.B. urbano C.le Cervia dir. Follonica	0.41	86	0.20	93	0.20	-
12	CLMCT_01	C.le Mercatone	2.28	77	0.20	88	0.20	39
41	CLMCT_02	I.B. urbano C.le Mercatone	0.28	84	0.20	92	0.20	-
6	CLSSM_01	C.le San Simone	1.86	76	0.20	88	0.20	44
5	CLVLL_01	C.le Vallino	0.88	77	0.20	88	0.20	52
1	FMPCR_01	F. Pecora a monte della cassa d'espansione	100.95	73	0.20	86	0.20	173
25	FMPCR_02	I.B. F. Pecora tra botte Gora delle Ferriere e C.le San Simone (DX)	0.66	84	0.20	92	0.20	-
26	FMPCR_03	I.B. F. Pecora Tra C.le San Simone e Ponte Cannavota (DX)	0.92	85	0.20	93	0.20	-
44	FMPCR_04	I.B. F. Pecora tratto terminale a mare	2.20	94	0.20	97	0.20	-
43	FSFCO_01	F.so Fico, F.so Salciaina	4.64	81	0.20	89	0.20	-
28	FSIPP_01	F.so dell'Ippodromo	0.64	86	0.20	93	0.20	-
15	FSPGG_01	F.so Poggetti	1.22	83	0.20	92	0.20	32
9	FSPTR_01	F.so Petraia a monte della cassa d'espansione	8.17	74	0.20	87	0.20	70
29	FSPTR_02	I.B. F.so Petraia tra Rio Casa Valli e F.so del Vado Coperto	0.57	83	0.20	92	0.20	-
33	FSPTR_03	I.B. urbano F.so Petraia monte (SX)	0.55	91	0.20	95	0.20	-
34	FSPTR_04	I.B. urbano F.so Petraia monte (DX)	0.40	92	0.20	96	0.20	-
35	FSPTR_05	I.B. urbano F.so Petraia valle (DX)	1.11	91	0.20	96	0.20	-
3	FSSPN_01	F.so delle Spianate (C.le delle Valli)	1.65	79	0.20	89	0.20	33
7	FSVAC_01	F.so del Vado Coperto	5.04	70	0.20	84	0.20	66
14	FSVMA_01	F.so di Valmaggiore a monte della confluenza del Rio Valmaggiore Nord	4.84	72	0.20	85	0.20	45
21	FSVMA_02	I.B. F.so di Valmaggiore a valle della confluenza del Rio Valmaggiore Nord (DX)	0.04	78	0.20	89	0.20	-
22	FSVMA_03	I.B. F.so di Valmaggiore a valle della confluenza del Rio Valmaggiore Nord (SX)	0.62	80	0.20	90	0.20	-
10	FSVON_01	F.so Valle Onesta	0.58	81	0.20	91	0.20	17
37	FSVON_02	I.B. urbano F.so Valle Onesta	0.16	92	0.20	96	0.20	-
4	FSVOR_01	F.so delle Valli dell'Orto	2.83	72	0.20	85	0.20	54
23	FSVOR_02	I.B. F.so della Valle dell'Orto tra C.le delle Valli e C.le Vallino (DX)	0.36	83	0.20	92	0.20	-
24	FSVOR_03	I.B. F.so della Valle dell'Orto tra C.le delle Valli e C.le Vallino (SX)	0.39	85	0.20	92	0.20	-
11	FSVQT_01	F.so Val Querceta	1.08	78	0.20	89	0.20	22

¹¹⁶Calcolato mediando CN -come da standard NEH-Part 630- anziché S come suggerito da alcuni lavori in Italia.

¹¹⁷Nell'ipotesi semplificativa di tempo caratteristico di bacino indipendente dall'assetto di suolo e dagli scenari pluviometrici.

¹¹⁸Standard SCS, riferito ai propri U_H e t ; nel modello ModClark, con U_H più lento, $(4/3 \div 5/3)t$. Adottata anche con t stimato con altra formula.

¹¹⁹Intervallo di "calibrazione" su 4C02 (vd. §2.4).

¹²⁰Così(?) PSI21, mentre 4C02 utilizza NERC, 1985.

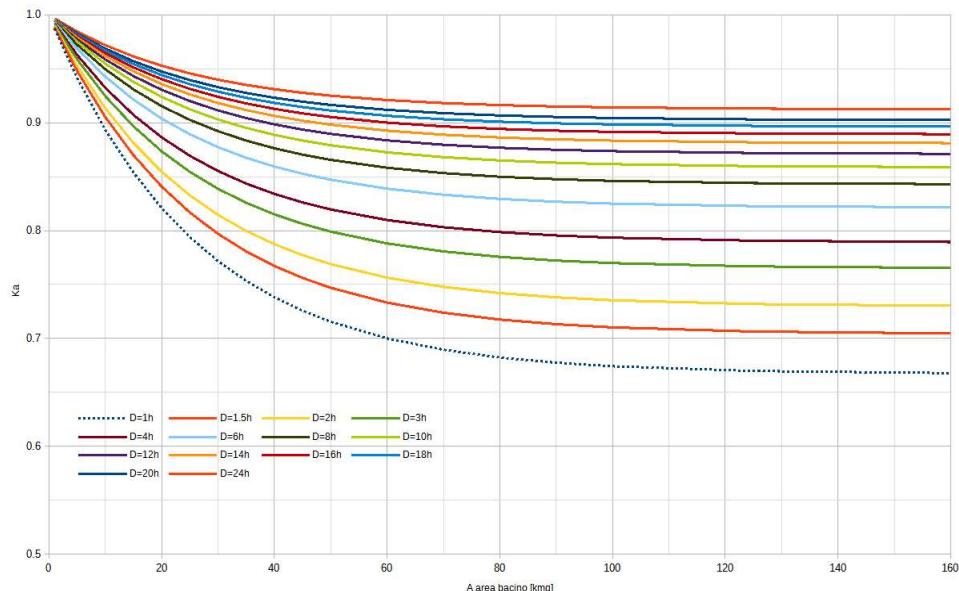
¹²¹Tab. 5.10 pag. 85 Relazione Tecnica Finale rev. marzo 2014, UNIFI-RT, prof. E. Caporali et al.

¹²²La formula indicata per $d=1$ h non pare corretta. Utilizzata espressione di K_T per $d=3$ h.

39	FSVQT_02	I.B. urbano F.so Va Querceta	0.32	90	0.20	95	0.20	-
30	GLFRR_01	Gorello delle Ferriere (area industriale est)	0.40	90	0.20	95	0.20	-
31	GLFRR_02	Gorello delle Ferriere (area industriale ovest) + GLFRR_01	0.80	90	0.20	95	0.20	-
32	GLFRR_03	Gorello delle Ferriere (area urbana e sportiva) + GLFRR_01 + GLFRR_02 [alla Gora delle Ferriere]	1.00	89	0.20	95	0.20	-
2	GRFRR_01	Gora delle Ferriere a monte della cassa d'espansione F. Pecora	27.87	73	0.20	86	0.20	133
27	GRFRR_02	I.B. Gora delle Ferriere tra C.le San Simone e F.so Poggetti (DX)	0.70	82	0.20	91	0.20	-
8	RICVA_01	Rio Casa Valli	1.20	79	0.20	89	0.20	22
13	RIVMN_01	Rio Val Maggiore Nord	0.37	78	0.20	89	0.20	17
36	SCMRE_01	I.B. scarico a mare via dei Pini	0.13	88	0.20	94	0.20	-
38	SCMRE_02	I.B. scarico a mare via Isola di Cerboli	0.17	90	0.20	95	0.20	-
40	SCMRE_03	I.B. scarico a mare Acquario	0.57	82	0.20	91	0.20	-

Tab. 6. Coefficienti di ragguaglio areale delle precipitazioni - $d=1-12 \text{ h}^{123}$.

SBAC / k_A (cod. HMS)	Nome	Area [km ²]	01H	1.5H	02H	03H	04H	06H	08H	10H	12H
LSPP_RT12											
FMPCR_01 + GRFRR_01	F. Pecora e Gora delle Ferriere a monte della cassa d'espansione	128.82	0.669	0.706	0.732	0.767	0.790	0.822	0.844	0.860	0.872
FMPCR_01	F. Pecora a monte della cassa d'espansione	100.95	0.674	0.710	0.735	0.770	0.793	0.825	0.846	0.861	0.874
GRFRR_01	Gora delle Ferriere a monte della cassa d'espansione	27.87	0.781	0.805	0.822	0.845	0.861	0.882	0.896	0.907	0.915
FSPTR_01	F.so Petraia a monte della cassa d'espansione	8.17	0.910	0.920	0.927	0.936	0.943	>0.95	>0.95	>0.95	>0.95
FSVAC_01	F.so del Vado Coperto	5.04	0.941	0.948	>0.95	>0.95	>0.95	>0.95	>0.95	>0.95	>0.95
FSVMA_01	F.so di Valmaggiore a monte della confluenza del Rio Valmaggiore Nord	4.84	0.943	0.950	>0.95	>0.95	>0.95	>0.95	>0.95	>0.95	>0.95
-	Altri	-	>0.95	>0.95	>0.95	>0.95	>0.95	>0.95	>0.95	>0.95	>0.95

Fig. 48. Andamento del coefficiente di ragguaglio k_A con l'area A di bacino per d varie - Raudwiki-Eagleson (1970).

Per le motivazioni già citate e discusse nel successivo § 2.4, l'approccio complessivo ha inteso porsi in sostanziale coerenza con il principale QC ufficiale da anni di riferimento anche progettuale per l'intero comprensorio del F. Pecora-F.so Petraia; oltre a inevitabili scostamenti marginali, rimane aperta la primaria questione degli scenari pluviometrici di progetto.

Per i bacini minori con tempo caratteristico $< 1 \text{ h}$ si è assunto direttamente 01H, evidentemente la durata propria più critica -salvo ulteriori considerazioni sugli eventuali effetti di rigurgito- con ietogramma tipo *Chicago*

¹²³Per valori superiori a 0.950 nessun ragguaglio applicato nella modellazione idrologica in HEC-Hms.

centrato (passo 5'), mentre per le durate superiori si è assunta distribuzione uniforme (Fig. 51). In generale, oltre le singole durate critiche per il colmi di piena, in analisi di moto vario devono essere verificate anche durate più lunghe in quanto potenzialmente determinanti volumi di esondazione (aree allagabili) maggiori, sia per effetto diretto (deflussi propri) che indiretto (rigurgito da c.d.a. dominante). In definitiva, per le analisi idrauliche e i relativi inviluppi, tra le durate 1-12 h saranno selezionati gli scenari idrologici di maggiore criticità per il territorio, in termini di massimi colmi e/o massimi volumi di esondazione (vd. Parte **B-Idraulica**).

Bacini scolanti di calcolo e idrogrammi risultanti sono riportati in Fig. 49-Fig. 51.

In merito alle foci di calcolo e ai contributi specifici di aree particolari (urbane e interbacini di acque basse), si sono assunte le ulteriori seguenti determinazioni (cautelative):

- suoli tipo D, indistintamente, nelle aree urbane
- schema A-D semplificato di tipo Kinematic Wave Transform.

Ulteriori ipotesi di lavoro (distribuzione, parzalizzazione, ...) introdotte direttamente nella modellazione idraulica verranno descritte nella Parte **B-Idraulica**.

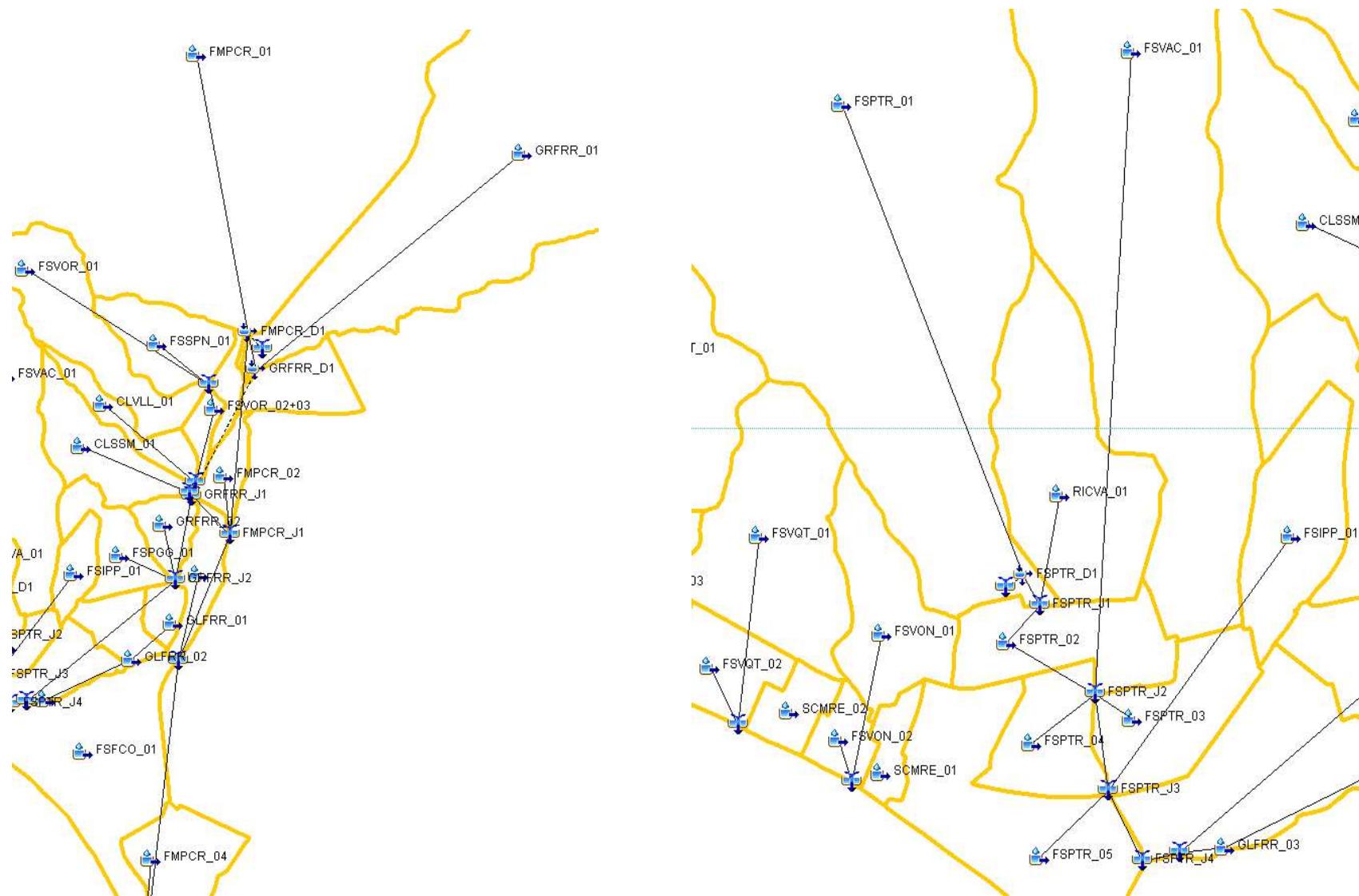


Fig. 49. Bacini e foci di calcolo dei cc.d.a. Follonica Sud-Est - F. Pecora et affl. (FMPCR+...), Gora delle Ferriere et affl. (GRFRR+...) e F.so Fico et affl. (FSFCO+...) (sx) e dei cc.d.a. Follonica Centro - F.so Petraia et affl. (FSPTR+...), F.so Valle Onesta (FSVON) e F.so Val Querceta (FSVQT) (dx).

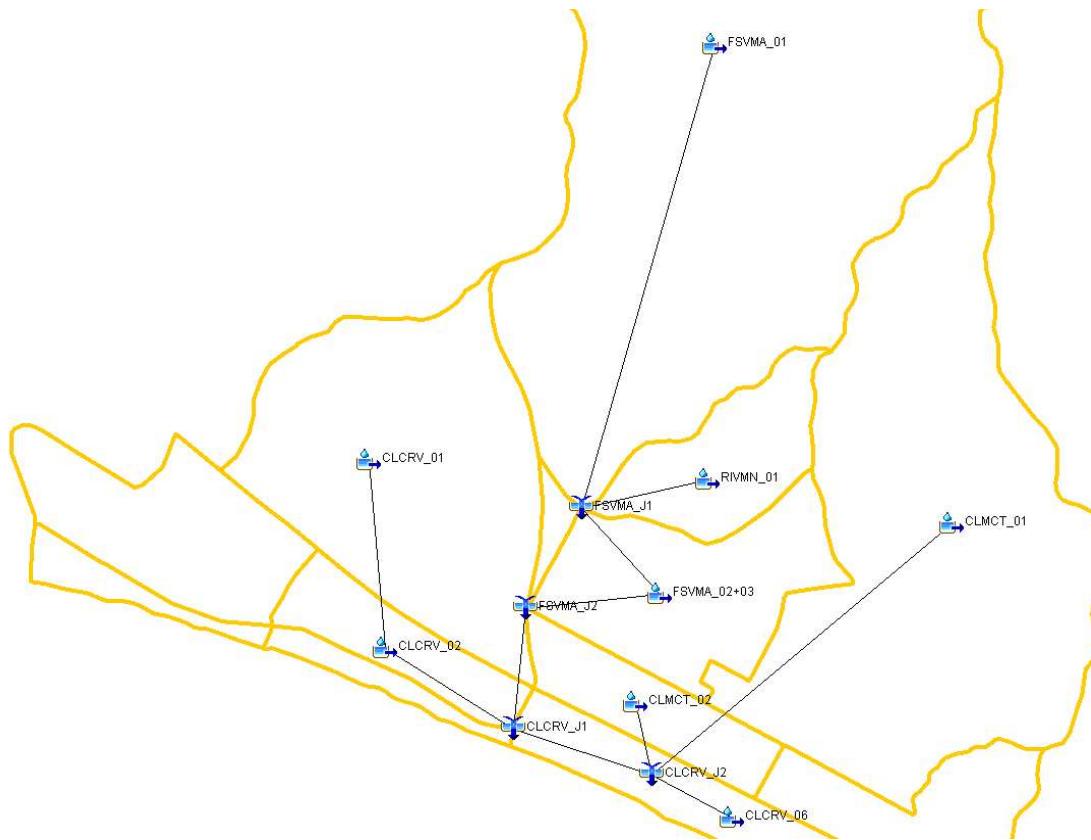
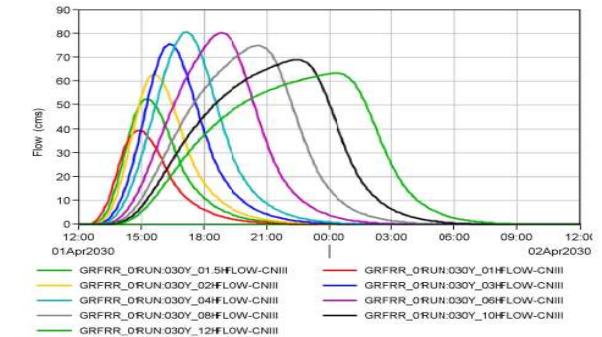
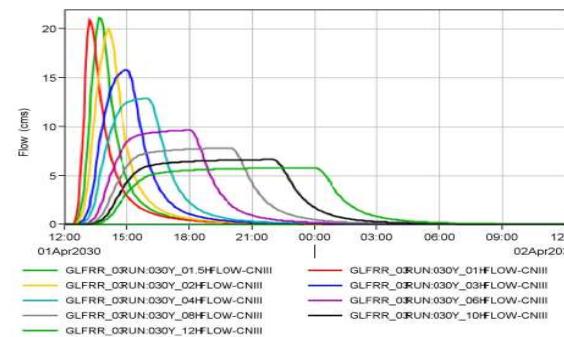
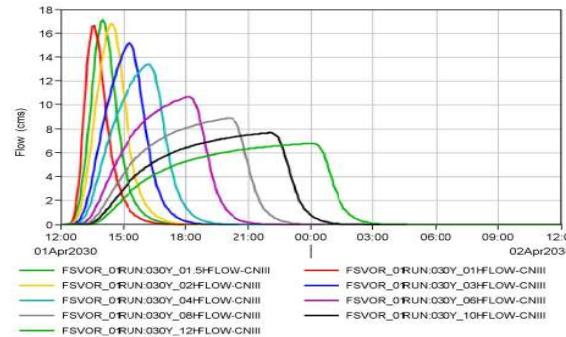
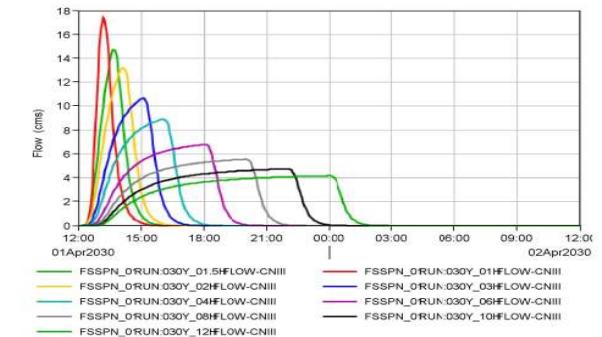
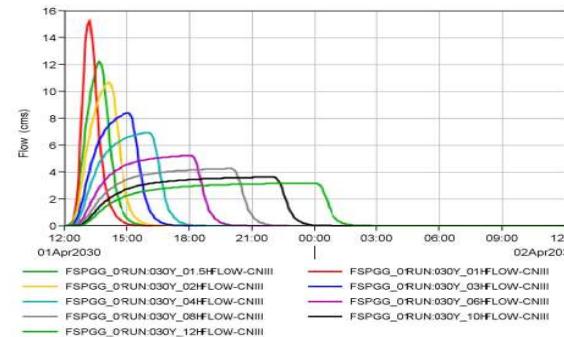
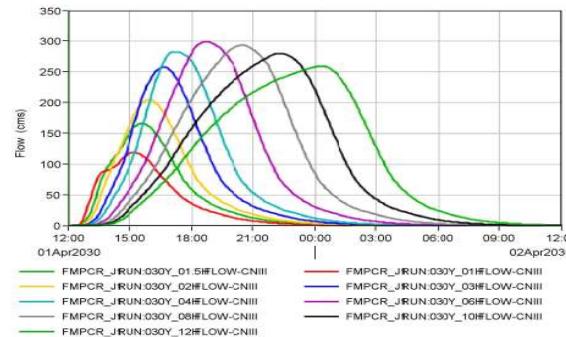
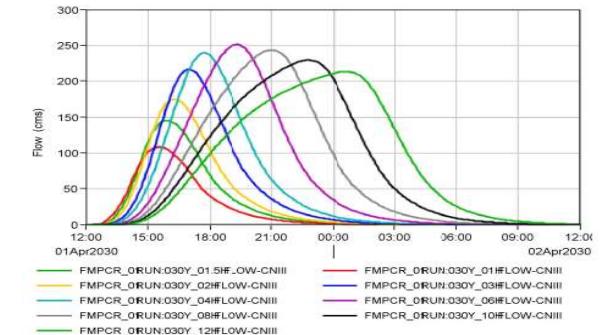
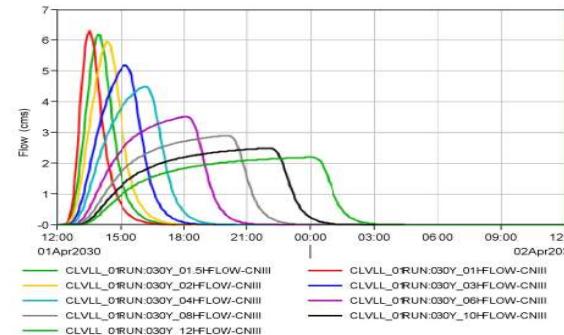
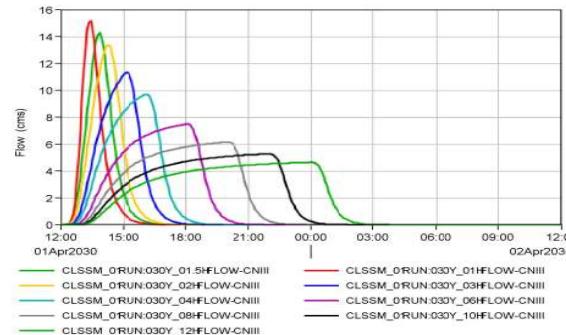


Fig. 50. Bacini e foci di calcolo dei cc.d.a. Follonica Nord-Ovest - C.le Allacciante Cervia et affl. (CLCRV+...).



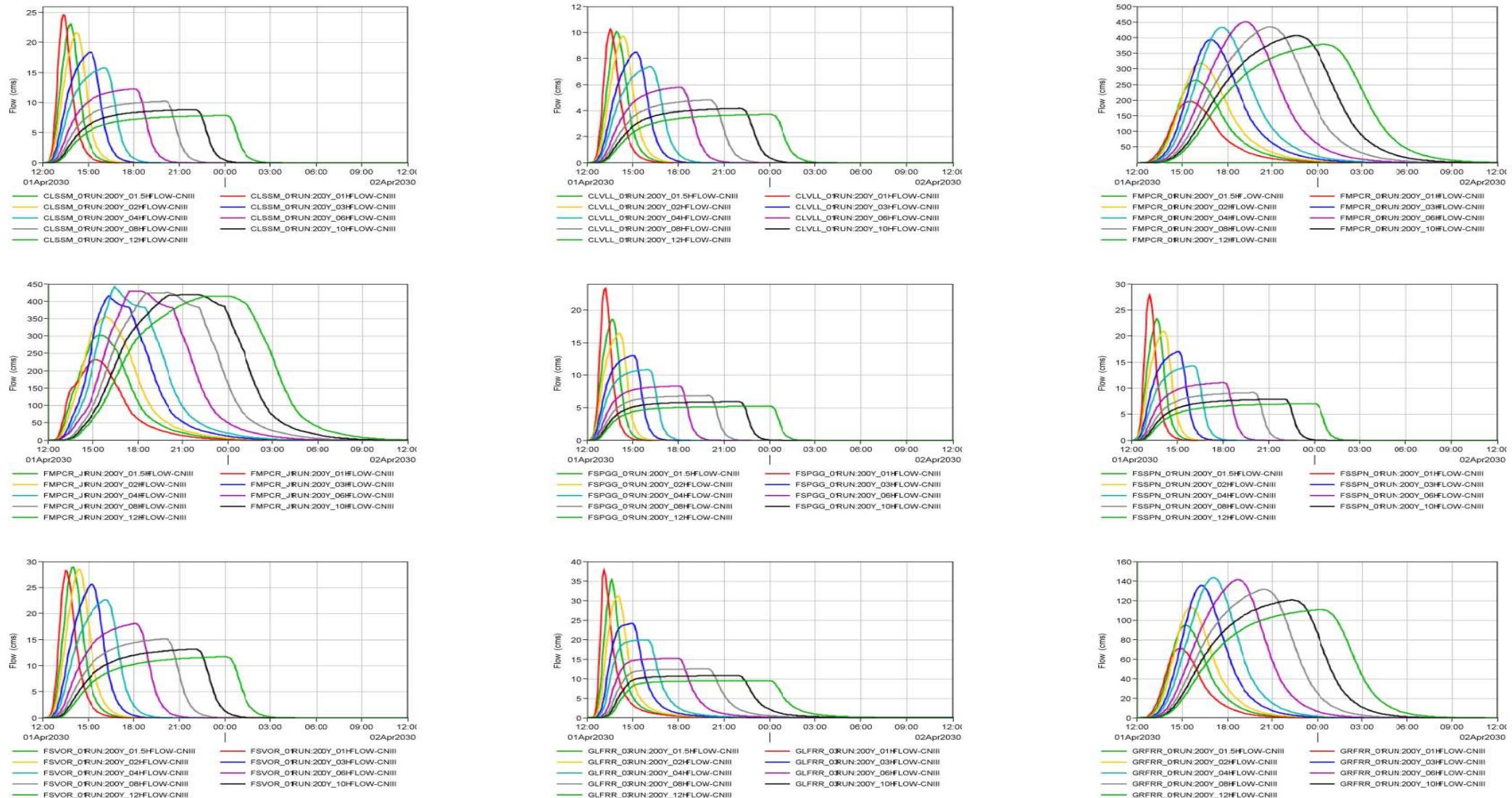
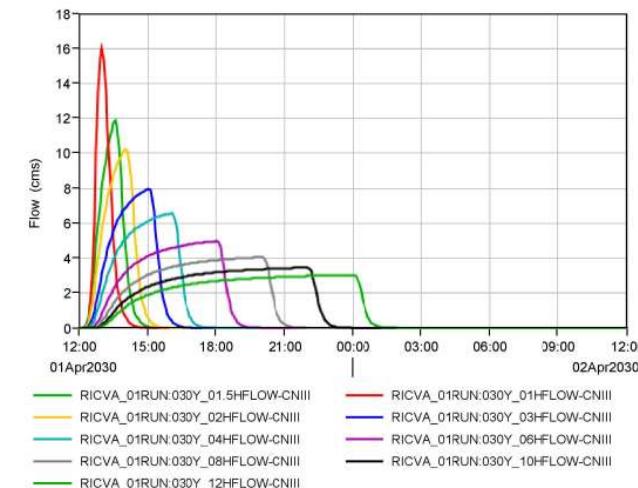
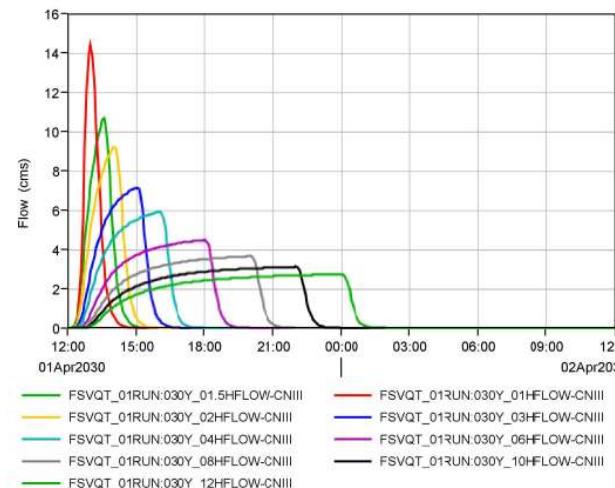
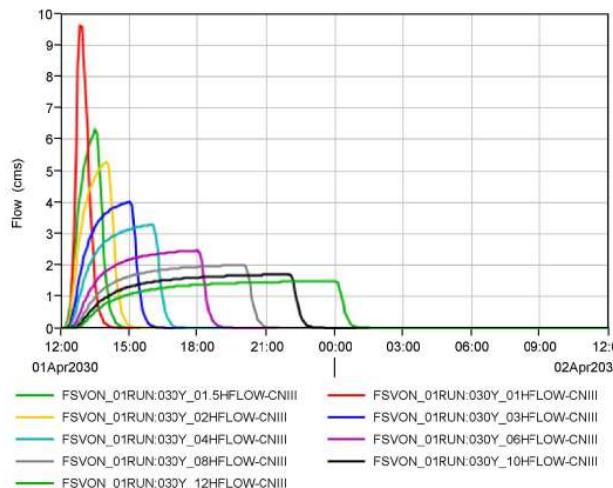
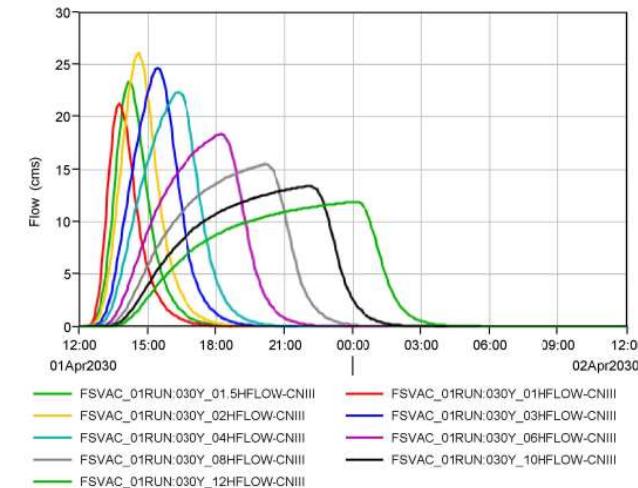
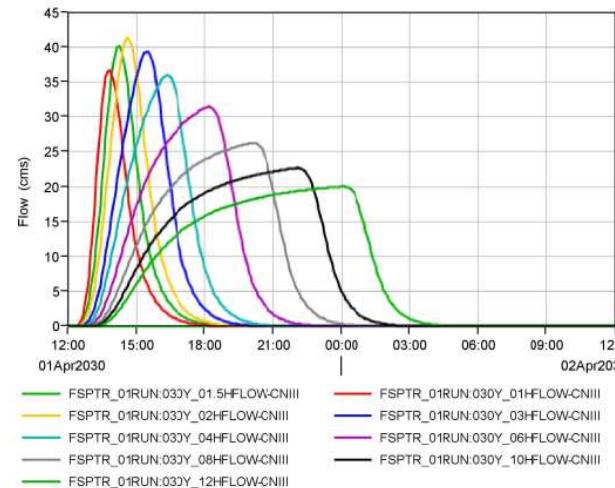
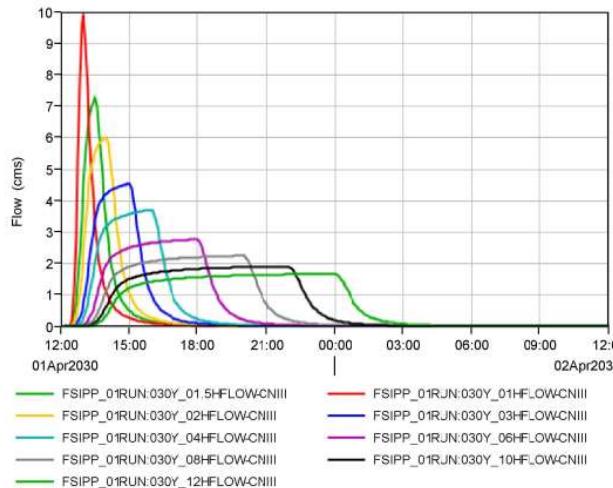


Fig. 51. Idrogrammi di piena dei cc.d.a. Follonica Sud-Est - F. Pecora et affl. (FMPCR+...), Gora delle Ferriere et affl. (GRFRR+...) - $T_f=30$ e 200 anni - {CNIII, LSPP_RT12, k_A } - $d=1-12$ h.



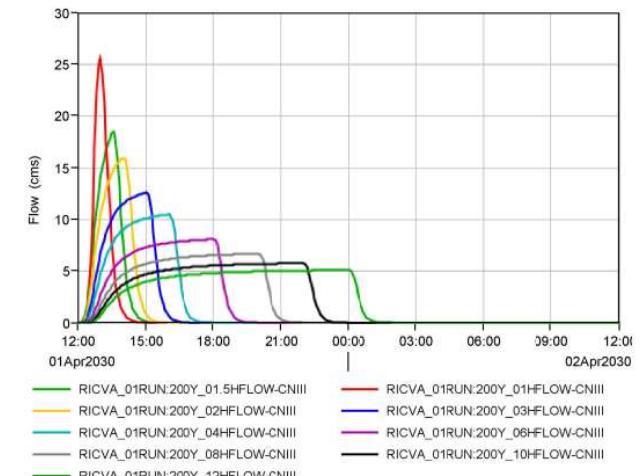
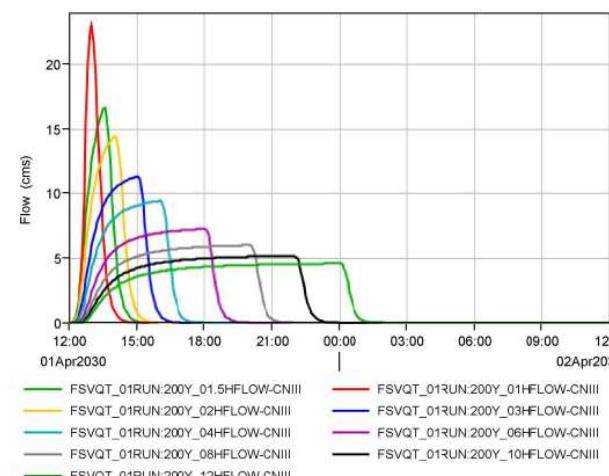
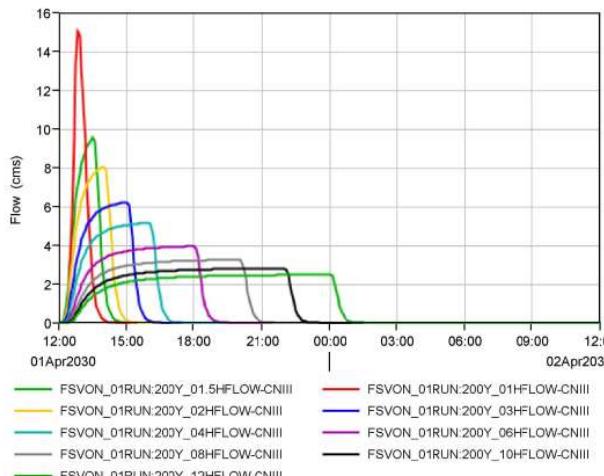
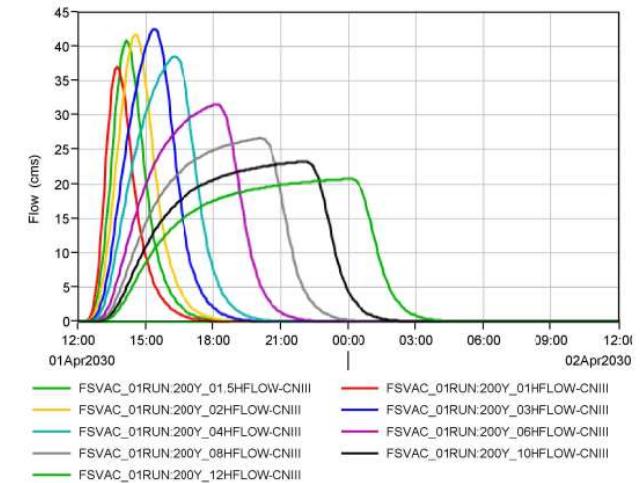
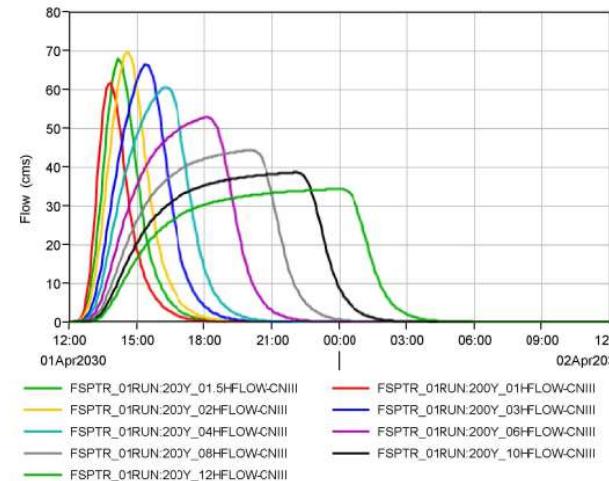
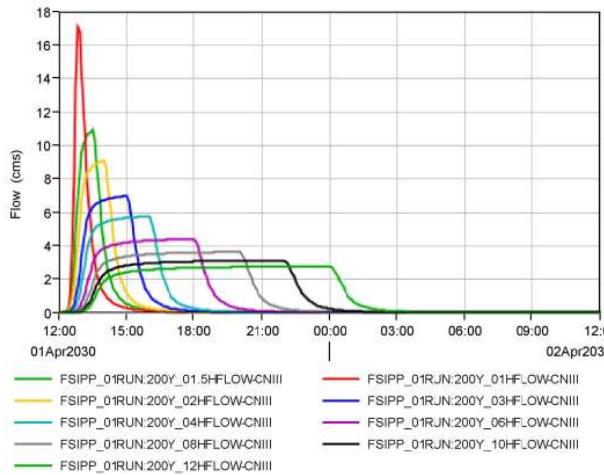
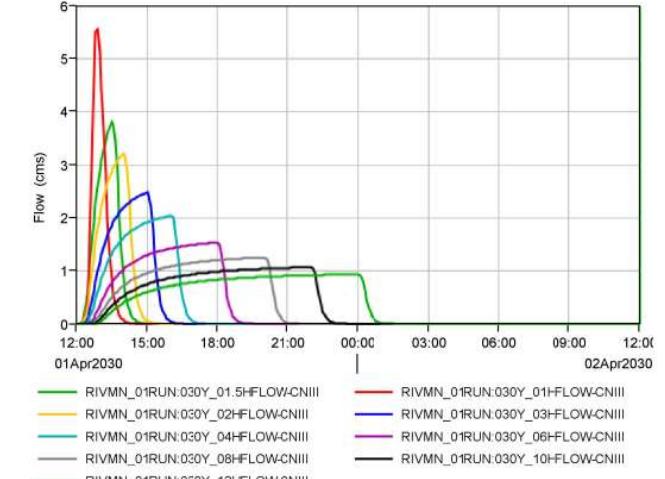
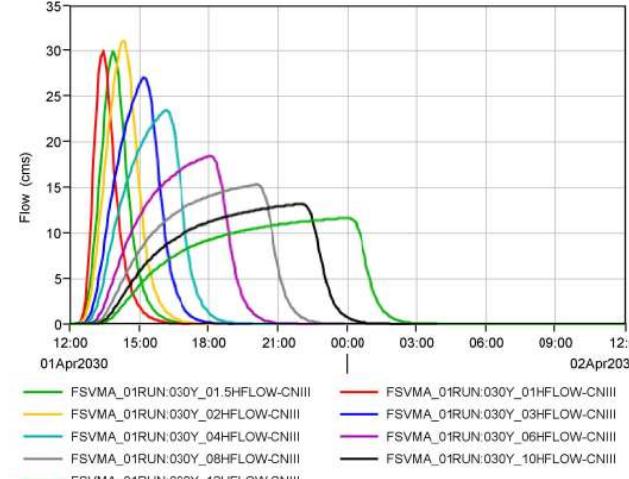
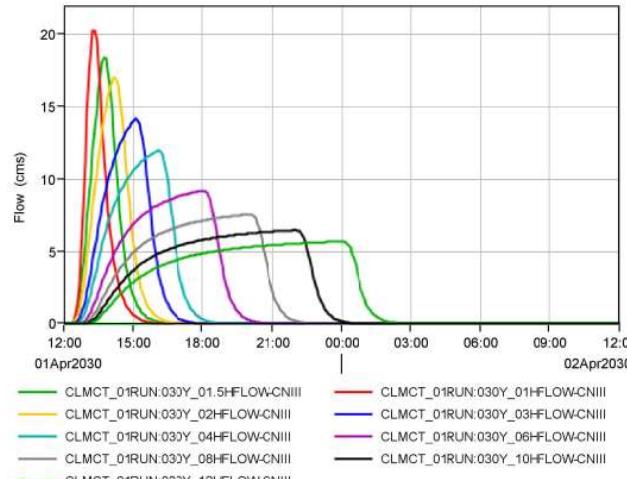
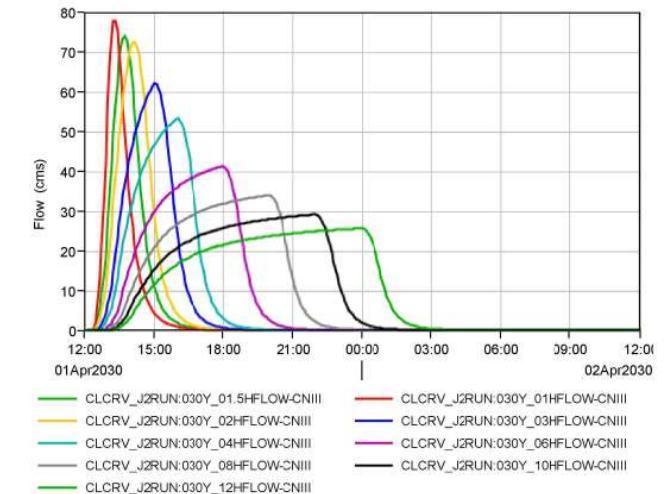
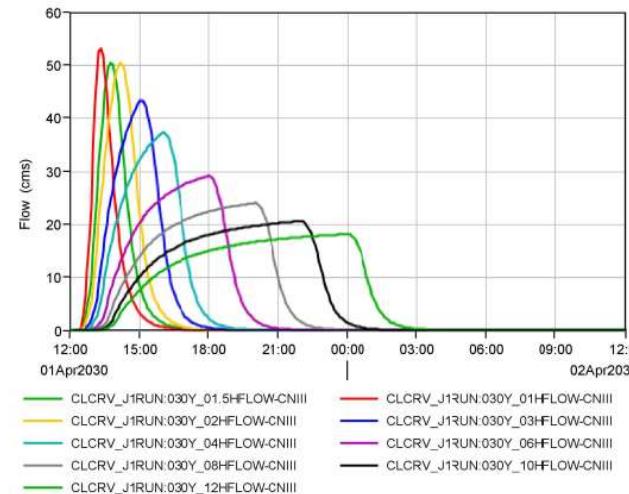
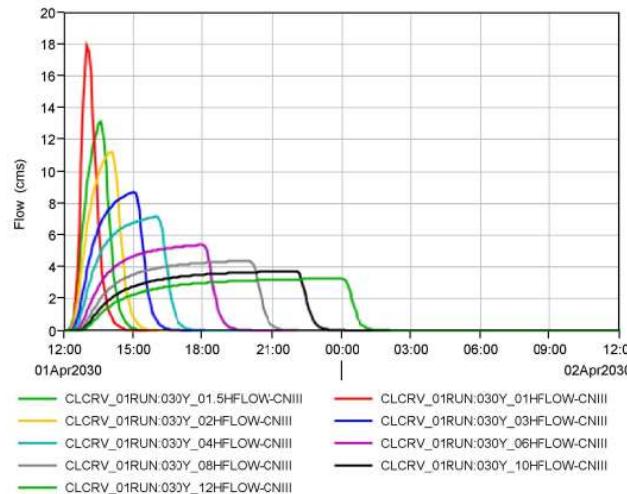


Fig. 52. Idrogrammi di piena dei cc.d.a. Follonica Centro - F.so Petraia et affl. (FSPTR), F.so Valle Onesta (FSVON) e F.so Val Querceta (FSVQT) - $T_r=30$ e 200 anni - {CNIII, LSPP_RT12, $k_A=1.000$ } - $d=1-12$ h.



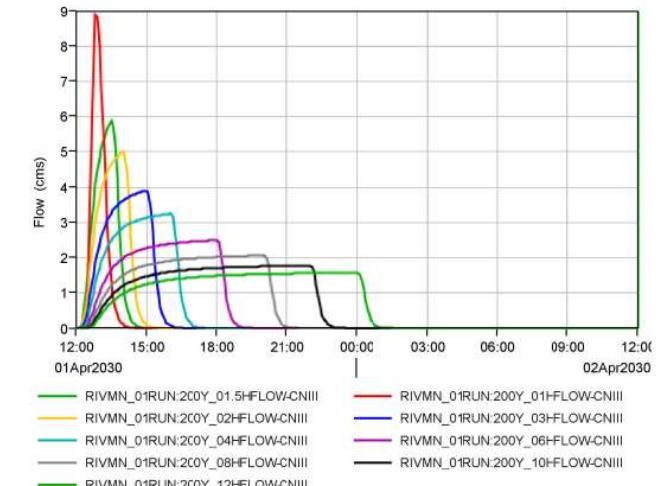
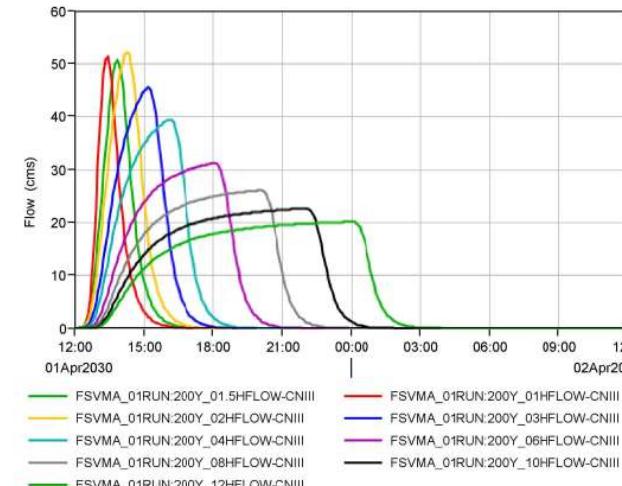
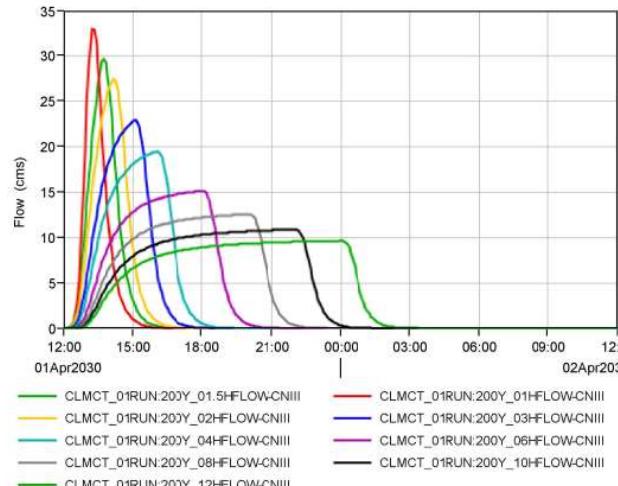
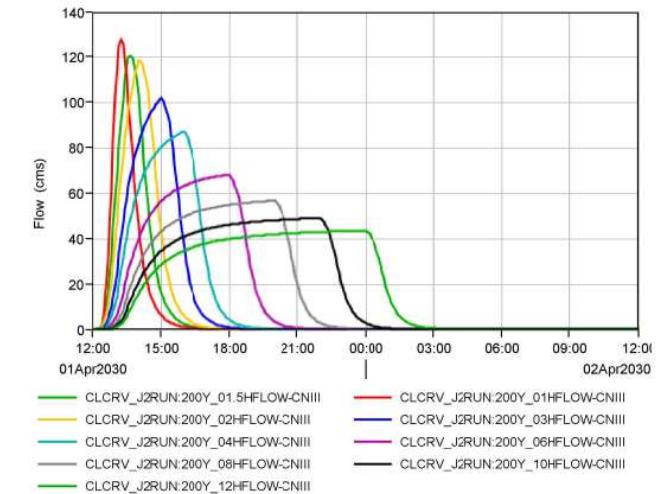
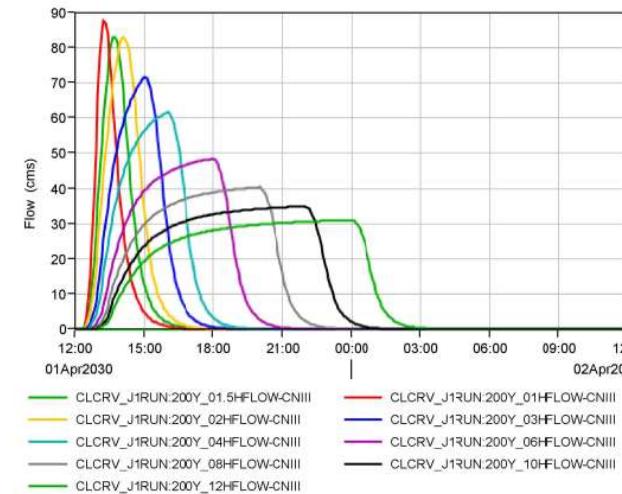
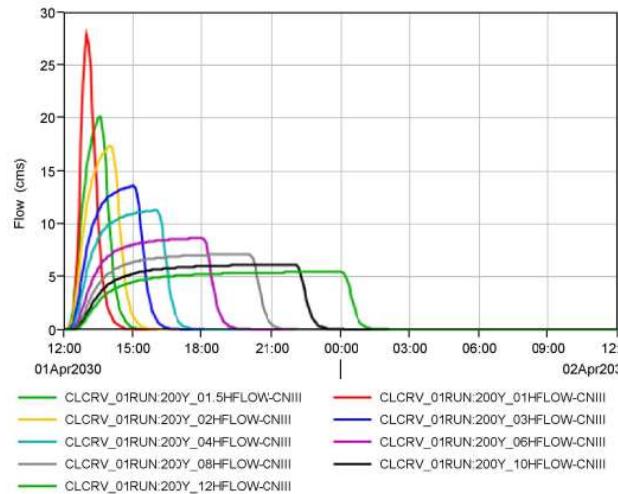


Fig. 53. Idrogrammi di piena dei cc.d.a. Follonica Nord-Ovest - C.le Allacciante Cervia et affl. (CLCRV+...) - $T_f=30$ e 200 anni - {CNIII, LSPP_RT12, k_A } - $d=1-12$ h.

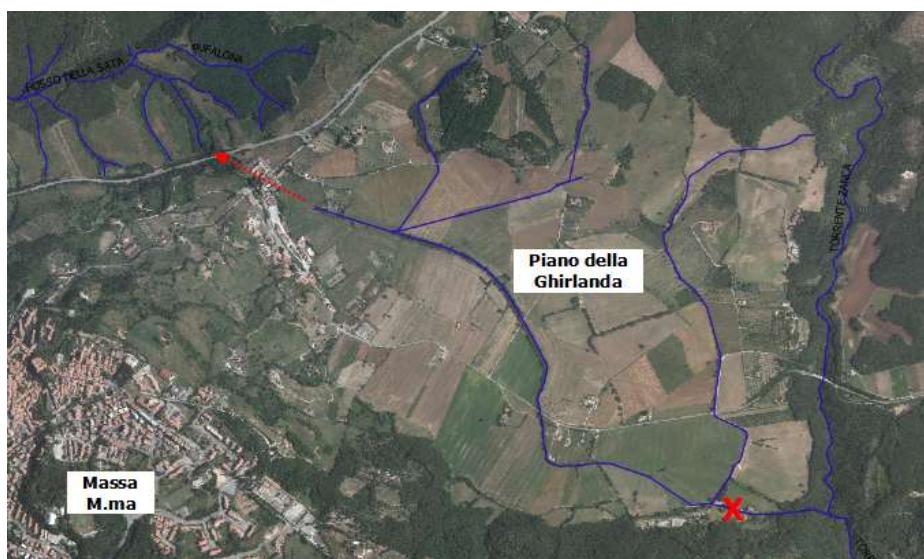
2.3 Ret_Idr L.R. n. 79/12 e s.m.i.

Un cenno specifico merita la questione dell'attuale assetto idrografico e della corrispondenza al Ret_Idr di riferimento regionale ex L.R. n. 79/12 e s.m.i. Come tipico in ambienti costieri e di bonifica storica con sovrapposizione continua di urbanizzazioni, la esatta topografia del reticolo idrografico non è sempre facilmente individuabile se non con accertamenti sul posto. Nel territorio di Follonica-Scarlino-Massa M.ma si è, poi, ulteriormente sovrapposto l'utilizzo industriale, in termini sia di approvvigionamento sia di scarico. Infine, non seconariamente, numerosi sono i rimaneggiamenti dei piccoli cc.d.a. nella fascia collinare e pede-collinare tra *Nuova e Vecchia Aurelia*, soprattutto a fini di approvvigionamento idrico.

Ferma restando l'attivazione della procedura di rettifica di Ret_Idr prevista dalla normativa regionale, si riportano in Fig. 54 le principali situazioni di particolare interesse anche per la corretta definizione degli afflussi, prima, e della pericolosità poi¹²⁴. Esse riguardano¹²⁵:

1. il sistema della Piana della Ghirlanda a Massa M.ma, afferente tramite galleria di bonifica [pre-]gran-ducale al F.so della Sata (F. Pecora) anziché al T. Zanca (F. Bruna); corretto in IDeA21 e 4C02
2. il sistema Valle dell'Orto-S. Simone-Vallino, con inesistente tratto corrispondente alla vecchia ferrovia delle ferriere e errate connessioni; corretto in IDeA21
3. il recapito del c.d. F.so Poggetti, non in Ret_Idr, in 4C02 assunto nel Goretto delle Ferriere per tramite del sistema fognario della ZI, anziché (tutto o in parte) nella Gora delle Ferriere come *ante* urbanizzazione; situazione incerta assunta cautelativamente ambivalente in IDeA21
4. Rio Martellino, in 4C02 assunto afferire il F.so Petraia alle casse, anziché nel F.so Vado Coperto come in Ret_Idr [e così IDeA21]
5. C.le Mercatone a monte della *V. Aurelia*, obliterato/rimaneggiato nell'ambito dei lavori di realizzazione del *Campo da Golf* ancora in corso; fattore trascurato in 4C02 e così anche in IDeA21
6. Rio Valmaggiore Nord, oggetto di diversione in laghetto collinare; fattore trascurato in VV##, PSI21 e così anche in IDeA21
7. il C.le Allacciante Cervia, idraulicamente sconnesso in loc. Torre Mozza [e Controfossa Sx di incerta connessione monte/valle S.C. di Pappasole, non in Ret_Idr]; di rilevanza marginale, assunto sconnesso in IDeA21
8. tombamenti F.so Valle Onesta e Val Querceta; posti gli sbocchi a mare certi, verificati tracciati e dimensioni.

Nelle more di ulteriori accertamenti, l'approccio idrologico ha cautelativamente trascurato opere idrauliche prive di precisi riferimenti a vincoli gestionali di mitigazione del rischio e poste foci opportune al fine di rendere flessibile il recepimento nel modello idraulico, secondo criteri di cautela.



¹²⁴Anche in relazione a valutazioni precedenti integranti il QC attuale.

¹²⁵Situazioni oggetto di specifici sopralluoghi e rilevamenti celerimetrici in campo [Ancillotti, 2021].



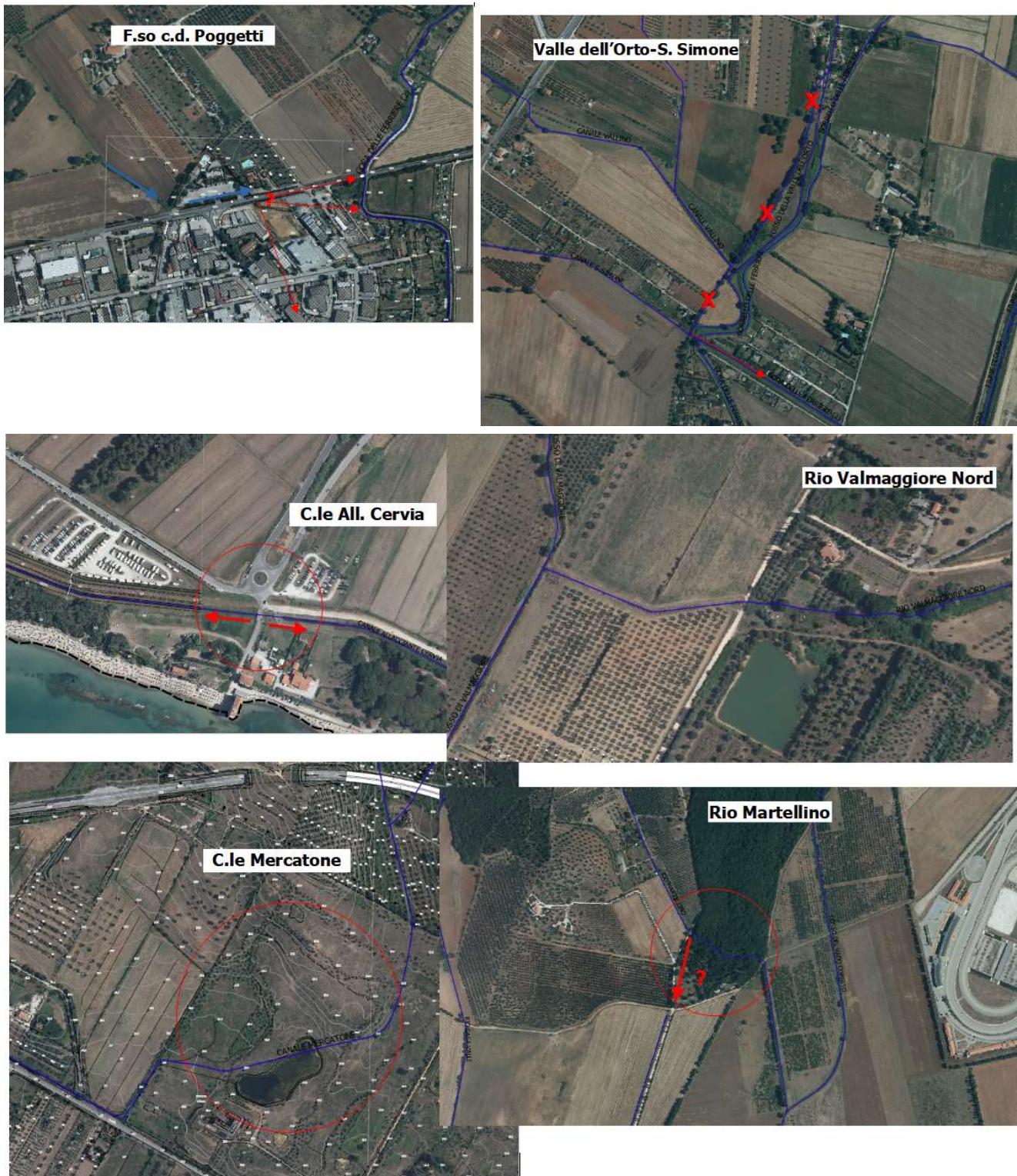


Fig. 54. Principali situazioni di errata o incerta corrispondenza tra Ret_Idr [D.C.R. n. 81/21] e stato attuale [mappe storiche tratte da <http://www.imagotusciae.it/>].

2.4 CONFRONTO CON ALTRE STIME UFFICIALI E CONCLUSIONI

Il lavoro base per l'intero comprensorio di Follonica-Scarlino-Massa M.ma-Gavorrano è 4C02. Sebbene originariamente "limitato" ai bacini del F. Pecora e del F.so Petraia, lavori minori ulteriori e successivi relativi ad altri bacini contermini nel Comune di Follonica (e non solo) si sono di fatto sempre allineati alla metodica generale 4C02, salvo aggiornamenti di LSSP e tematismi di base; spesso privi di chiare e puntuali descrizioni metodologico-applicative, la significatività di tali *upgrades* risulta complessivamente trascurabile (e, talvolta, entropi-

ca). Viceversa, tutti i principali interventi strutturali realizzati nell'area, anche recentemente (in particolare, F.so Petraia e F. Pecora) sono fonati sulla metodica 4C02.

Approccio lievemente diverso soltanto in PSI21 (Piombino-Campiglia M.ma), ancora basato su AlTo, ma di interesse limitato (per Follonica) a C.le All. Cervia e F.so Valmaggiore (parziale).

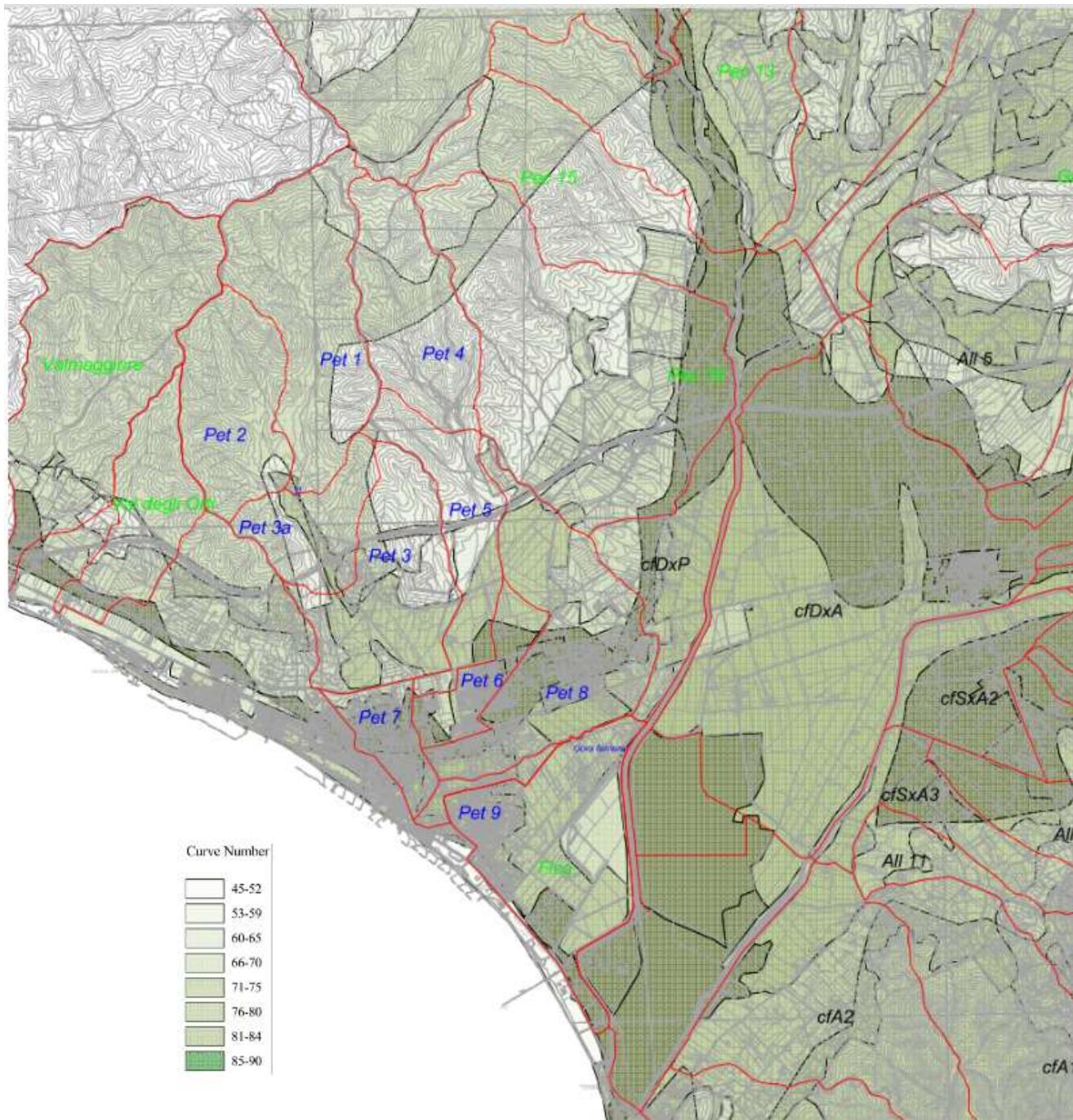


Fig. 55. Mappa del CNII di 4C02 (estratto di Tav. 5, feb. 2002).

Sia per la larga prevalenza locale dell'approccio 4C02 (fondato sul più accreditato e utilizzato *sw free-ware* disponibile), sia per la assenza in PSI21 di elementi di novità, maggiore robustezza e facilità d'uso¹²⁶ (analisi di eventi, metodica, flessibilità, ...), si è assunto il primo quale paradigma di riferimento critico, relegando invece PSI21 a mero indicatore secondario.

D'altra parte, la indisponibilità del modello sorgente e quella soltanto parziale (con alcuni errori materiali?) della documentazione di *setting* hanno indotto alcuni dubbi interpretativi che, anche volendo, non avrebbero-

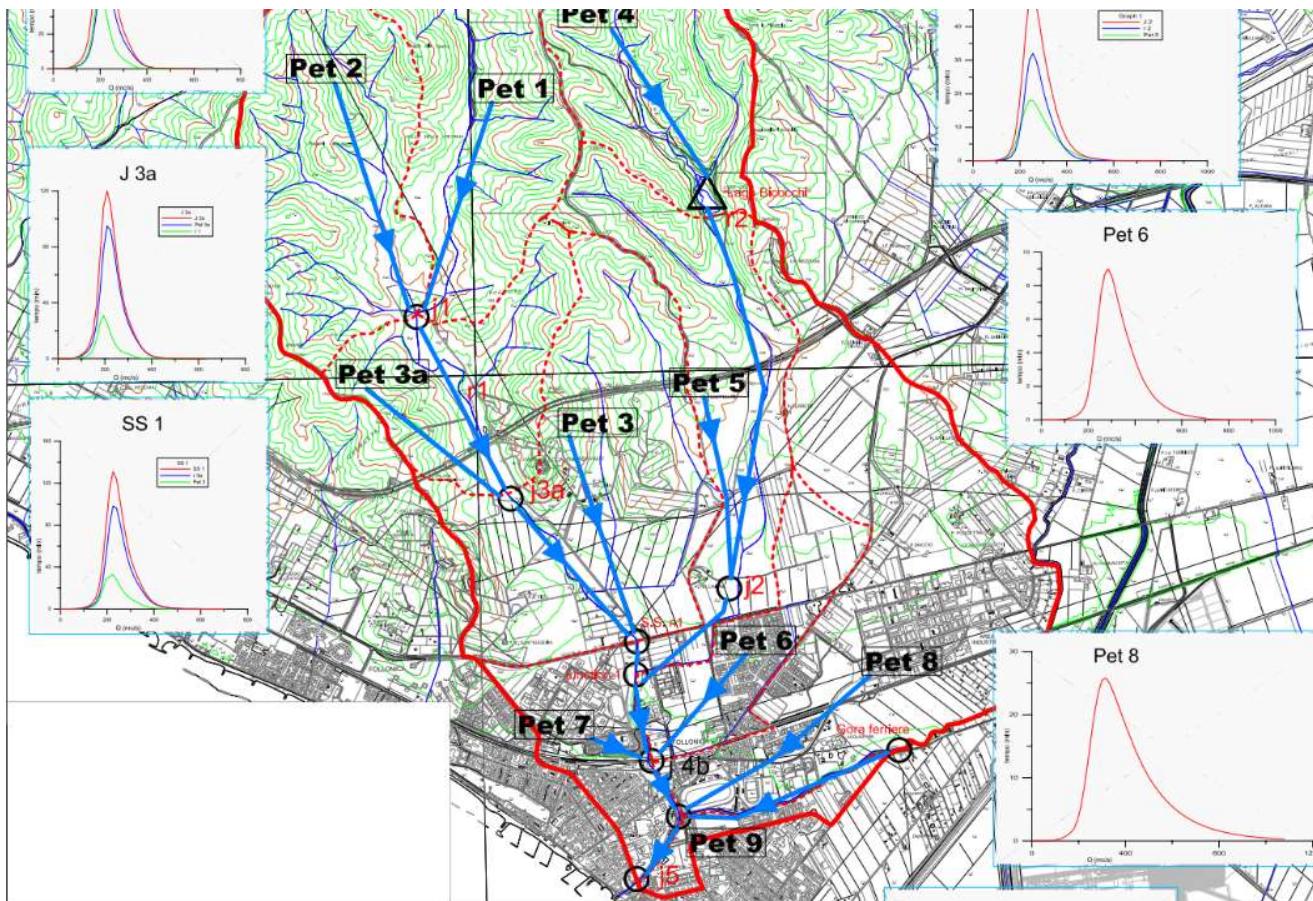
¹²⁶Tra le altre, la inadeguatezza della ricostruzione topologica di bacini e idrografia nelle aree complesse di bonifica.

ro permesso la mera riproposizione di 4C02 (peraltro ben esulando dai limiti del presente lavoro). Obiettivo è stata, dunque, la implementazione di un nuovo modello, ancora fondato HEC-Hms, definito secondo il principio della massima parsimonia, sufficientemente definito e robusto per i *bacini qui di specifico interesse* e le *condizioni al contorno* necessarie. In tal senso, il modello idrologico ha solo parzialmente implementato il dettaglio di 4C02 per i bacini del F. Pecora e del F.so Petraia (*reaches* e opere di regimazione), in quanto non oggetto essi stessi di analisi specifiche di pericolosità, pur effettuandone analisi di consistenza e sensibilità.

Rimandando direttamente alle fonti per maggiori dettagli, le caratteristiche principali dei vari modelli idrologici facenti parte del QC ufficiale sono:

4C02

- CN {III, 0.20¹²⁷} da coperture RT di geologia e uso del suolo in scala 1:25k (*Corine L.C. liv. 3*) (Fig. 55) e IUH Clark { t_c , R }, con metodi di calcolo non noti e R secondo classi $R/(t_c+R)=0.40\div0.70$ [cfr. *Graf et al.*, 1982]¹²⁸ (Fig. 57); *routing* su aste principali (*setting* non noto); *sw* HEC-Hms (Fig. 56)
- precipitazioni distribuite NEAR con LSPP_96 puntuali monomie¹²⁹, ietogrammi *Chicago* centrati di durata "inviluppo" 05H-06H-07H, coefficienti di ragguaglio areale NERC (1975)¹³⁰ su classi dimensionali diversificate F. Pecora-F.so Petraia (diversificate per sottobacino)¹³¹
- ricognizione critica, senza tuttavia analisi numeriche esplicite¹³², di eventi storici e cronache



¹²⁷ β ignoto in quanto non definito; 0.20 è il valore di *default* scs.

¹²⁸ *A technique for estimating time of concentration and storage coefficient values for Illinois streams*, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 82-22, 10 p. Cfr. anche *Equation for estimating synthetic Unit-Hydrograph parameter values for small watersheds in Lake County*, Melching, C.S. e Marquardt, J.S., USGS, 1997; *Evolution of Clark's unit graph method to spatially distributed runoff*, Kull, D.W. e Feldman, A.D., JHE, 1998; *Equations for estimating Clark Unit-Hydrograph parameters for small rural watersheds in Illinois*, Straub, T.D. et al., Illinois, 2000; *Feldman e HEC*, 2000; *Scharffenberg e HEC*, 2001 [manualistica Hms]; *Hydrologic basin response-Parameter estimation guidelines*, Sabol, G.V., Colorado, 2008; *Methods for estimating concentration time and storage coefficient of the Clark Model using rainfall-runoff measurements*, Yoo, C. et al., JHE, 2014; *Timing the time of concentration: shedding light on a paradox*, Michailidi, E.M. et al., HSJ, 2018.

¹²⁹ Inferenze EV3, P3, LN3, LP3 e GEV; non noto(?) metodo adottato. Stazioni Follonica, Massa Marittima, Montebamboli, Tirli, Castel di Pietra.

¹³⁰ Interpolati da tabella originaria funzione di area (1-300 km²) e durata di pioggia (15 min-24 h).

¹³¹ {0,12,25,70,135,220} km² per il F. Pecora e {0,4,10,20} km² per il F.so Petraia.

¹³² Almeno per quanto disponibile.

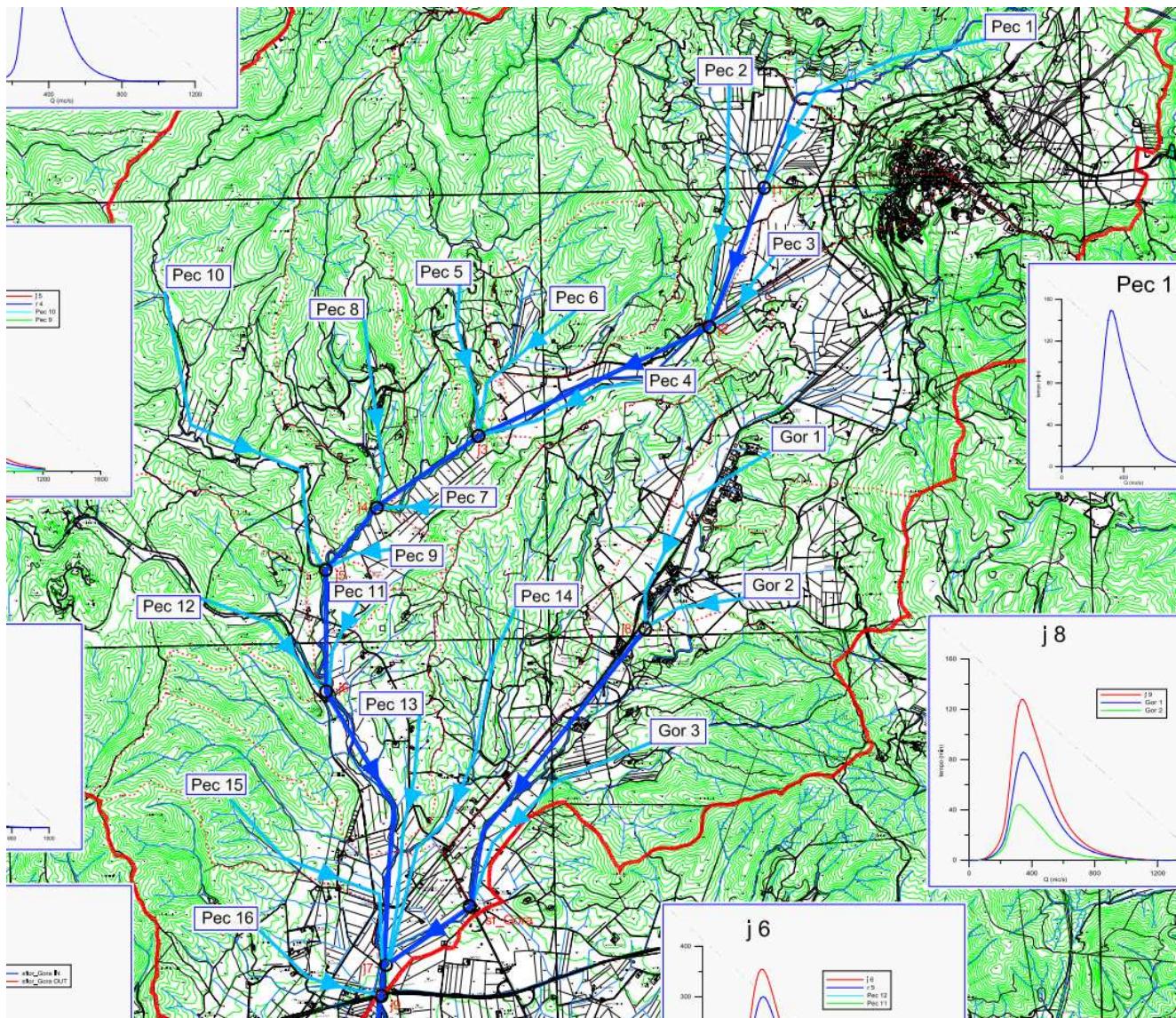
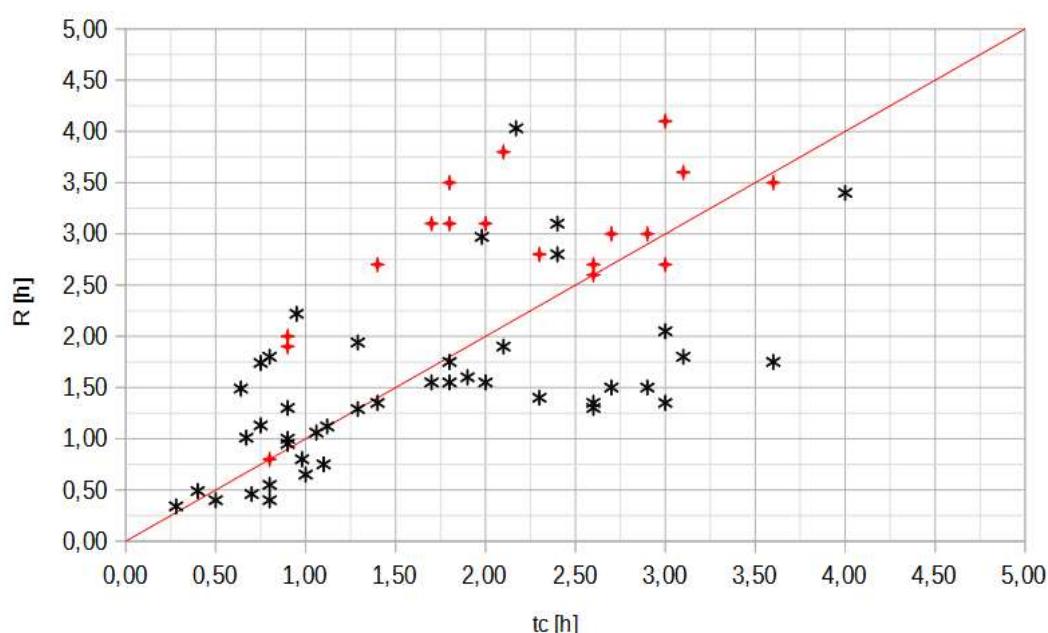


Fig. 56. Schema concettuale della modellazione idrologica 4C02 - F.so Petraia e F. Pecora e Gora delle Ferriere alla confluenza (estratti di Tavv. 6.3 e 6.1, feb. 2002).



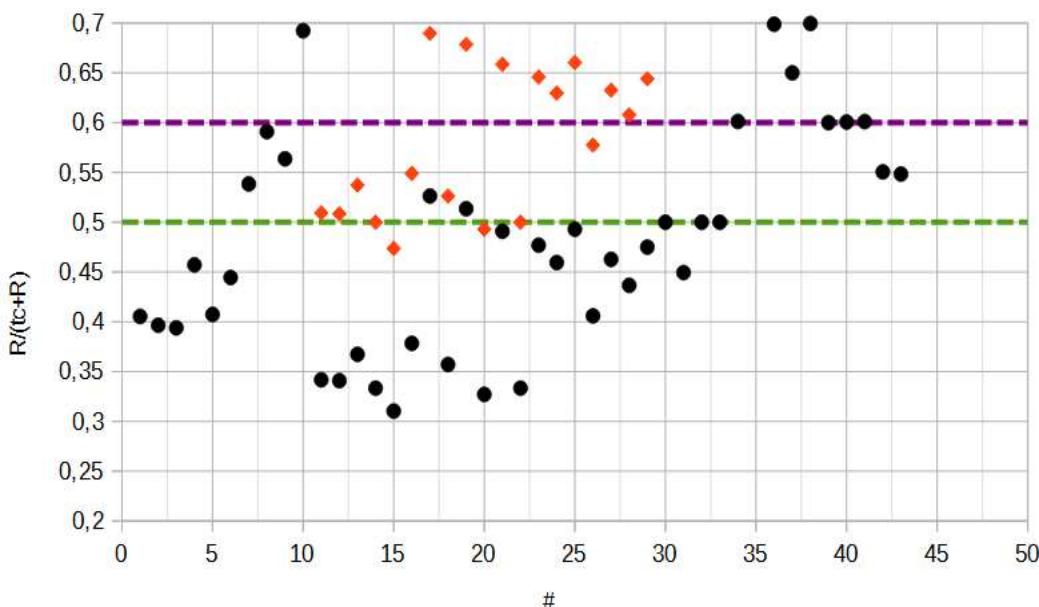


Fig. 57. R vs t_c e $R/(t_c+R)$ di Clark assunti in 4C02 [in rosso i valori originali bacino Pecora re-interpretati; linee tratteggiate valori limite tipici di bacini a bassa (verde) e alta (viola) capacità di invaso cfr. Tab. 7]¹³³.

Tab. 7. Valori $\{t_c, R\}$ di Clark assunti in 4C02 et succ. [_ori] e re-interpretati coerenti con gli idrogrammi [_int].

#	Den	A [km ²]	CN [100]	if (%)	tc [h]	R_ori [h]	R_int [h]		R/(tc+R)_ori	R/(tc+R)_int
1	<i>petr1</i>	3,76	87-93	21,93	1,10	0,75	0,75	PETRAIA [4C02]	aam	0,41
2	<i>petr2</i>	2,41	88-94	21,17	0,70	0,46	0,46		aam	0,40
3	<i>petr4</i>	2,64	82-88	26,03	1,00	0,65	0,65		aam	0,39
4	<i>petr5</i>	1,93	79-88	11,90	1,90	1,60	1,60		aam	0,46
5	<i>petr3</i>	2,78	85-91	9,80	0,80	0,55	0,55		aam	0,41
6	<i>petr3a</i>	1,60	85-91	19,00	0,50	0,40	0,40		aam	0,44
7	<i>petr6</i>	0,95	85-91	1,66	2,40	2,80	2,80		aac	0,54
8	<i>petr7</i>	0,85	90-96	1,77	0,90	1,30	1,30		aab	0,59
9	<i>petr8</i>	3,84	89-95	3,13	2,40	3,10	3,10		aac	0,56
10	<i>petr9</i>	0,29	93-97	1,31	0,80	1,80	1,80		ab	0,69
11	<i>pec1</i>	13,78	84-89	14,65	2,60	2,70	1,35	PECORA [4C02]	aam	0,51
12	<i>pec2</i>	8,68	79-85	13,95	2,90	3,00	1,50		aam	0,51
13	<i>pec3</i>	2,61	75-84	9,27	3,10	3,60	1,80		aac	0,54
14	<i>pec4</i>	2,41	80-86	10,57	0,80	0,80	0,40		aam	0,50
15	<i>pec5</i>	11,16	79-85	18,87	3,00	2,70	1,35		aam	0,47
16	<i>pec6</i>	3,78	74-84	15,88	2,30	2,80	1,40		aac	0,55
17	<i>pec7</i>	2,54	83-88	13,10	0,90	2,00	1,00		ab	0,69
18	<i>pec8</i>	5,60	82-87	17,11	2,70	3,00	1,50		aac	0,53
19	<i>pec9</i>	1,14	83-88	8,80	0,90	1,90	0,95		ab	0,68
20	<i>pec10</i>	15,71	83-88	16,41	3,60	3,50	1,75		aam	0,49
21	<i>pec11</i>	0,85	86-91	4,60	1,40	2,70	1,35	GDF-VALL-S.SIM [GF19]	ab	0,66
22	<i>pec12</i>	12,67	86-91	17,36	2,60	2,60	1,30		aam	0,50
23	<i>pec13</i>	5,77	84-89	9,83	1,70	3,10	1,55		ab	0,65
24	<i>pec14</i>	9,16	83-88	8,90	4,00	6,80	3,40		ab	0,63
25	<i>pec15</i>	5,17	86-91	13,21	1,80	3,50	1,75		ab	0,66
26	<i>gor1</i>	11,42	80-86	14,46	3,00	4,10	2,05		aab	0,58
27	<i>gor3</i>	9,57	83-87	14,41	1,80	3,10	1,55		aab	0,63
28	<i>pec16</i>	7,86	86-91	10,08	2,00	3,10	1,55		aab	0,61
29	<i>gor2</i>	5,35	83-87	9,66	2,10	3,80	1,90		aab	0,64
30	<i>Span1</i>	1,81	78,8	-	1,06	1,06	1,06		aam	0,50
31	<i>Vorto1</i>	2,72	78,8	-	0,98	0,80	0,80	VALLE ONESTA-VAL QUERCETA Indefiniti	aam	0,45
32	<i>S.Sim1</i>	1,65	78,8	-	1,12	1,12	1,12		aam	0,50
33	<i>Val1</i>	1,13	78,8	-	1,29	1,29	1,29		aam	0,50
34	<i>Inter2</i>	0,52	78,8	-	0,67	1,01	1,01		aab	0,60
35	<i>Inter3</i>	0,41	78,8	-	0,95	2,22	2,22		ab	0,70
36	<i>Inter4</i>	0,21	78,0	-	0,75	1,74	1,74		ab	0,70
37	<i>Dep1</i>	1,72	82,0	-	2,17	4,03	4,03		aab	0,65
38	<i>Inter5</i>	0,26	77,1	-	0,64	1,49	1,49		ab	0,70
39	<i>Bac1</i>	1,86	78,0	-	1,98	2,97	2,97		aab	0,60
40	<i>Foss1</i>	1,10	75,5	-	1,29	1,94	1,94		aab	0,60
41	<i>Inter6</i>	0,75	74,7	-	0,75	1,13	1,13		aab	0,60
42	<i>Inter7</i>	0,78	77,1	-	0,40	0,49	0,49		aac	0,55
43	<i>Inter1</i>	0,29	78,0	-	0,28	0,34	0,34		aac	0,55
CERVIA-VAL MAGGIORE-MERCATONE Indefiniti										

¹³³Si può notare, in effetti, l'apparente anomalia di valori di R elevati per bacini a elevata acclività media.

VV# #¹³⁴

- costantemente "riferiti" alla metodologia 4C02 (vd.) ma con specifiche numeriche e/o di calcolo spesso indefinite ed alcuni apparenti errori materiali nelle *Relazioni*; LSPP_RT12 (per lavori >2014), coperture RT "più aggiornate"(?), durate di evento similari ai tempi caratteristici (modalità di stima?) dei bacini (es. F.s. Valle Onesta e Val Querceta); *R* come in 4C02(?), per classi tipologiche di bacino¹³⁵

PT18

- modellistica sintetica GIUH (IUH *Nash* con parametri $\{n, k\}$ stimati su base geomorfologica) e LSPP_RT12, distribuzione NEAR, ietogrammi costanti e durata critica; utilizzata solo per confronto -così come ALTO- ma adottata 4C02¹³⁶ (come nella progettazione)
- nessuna analisi di eventi storici

PSI21

- modellistica ALTO (IUH *Nash* e perdite parametrizzate secondo *Ks* e *Ia*) rivista su coperture regionali aggiornate (reticolo idrografico, geologia e uso del suolo)
- precipitazioni spazialmente distribuite NEAR e uniformi nel tempo, di durata variabile 0.5-5 h su base LSPP_RT12 e coefficienti di ragguaglio areale (definiti su scenari di "singolo" bacino e di "reciproca interazione") con formulazione ALTO
- afflussi acque basse C.le Cervia direttamente da precipitazioni su modellistica idraulica 2-D
- nessuna analisi di eventi storici

Si possono, in definitiva, sintetizzare le seguenti *considerazioni*:

- nessun particolare valore *aggiunto* risulta apprezzabile nella lunga serie di lavori successivi a 4C02, data la sostanziale mancanza di riferimenti a eventi alluvionali storici, anche solo "indiziari", e/o a, viceversa, valutazioni di consistenza (non allagabilità) per bassi T_r ; neanche nelle progettazione dei rilevanti interventi su F.so Petraia e F. Pecora risultano calibrazioni/valutazioni¹³⁷ su eventi reali (registrazioni stazioni idrometriche nel bacino del F. Pecora e/o ricostruzioni cronachistiche/testimoniali¹³⁸)
- sebbene apprezzabili inevitabilmente legate alle diverse metodiche, *apparentemente*¹³⁹ *non significative* le differenze di stima dei massimi valori al colmo tra 4C02 e PT18-PSI21, anche se le prime sistematicamente superiori (nonostante le piogge inferiori LSPP_96, vd. avanti); viceversa, molte diverse le ipotesi sugli scenari idrologici di progetto con importanti conseguenze sulla generalizzazione della metodica a fini sia progettuali sia di caratterizzazione territoriale (pericolosità); ci si riferisce specificatamente alle diverse ipotesi assunte sugli **ietogrammi** di progetto, in 4C02 *et sim.* (per comodità di "inviluppo") di tipo *Chicago* Centrato per qualunque (anche lunga) durata (2, 5-12 h) mentre altrove si sono analizzati i soli eventi singolari di durata minima determinanti Q_{max}/V_{max} a distribuzione uniforme (ma con LSPP_RT12)
- non trascurabili, in generale, le variazioni LSPP_96-RT12, con sottostime delle prime sistematiche (per le durate di interesse)¹⁴⁰ per $T_r=200$ anni per *Follonica* e *S. Ferdinando*-[Montebamboli]¹⁴¹ (ca. 20% per $d=6$ h), più contenute per $T_r=30$ anni; in generale, è il fattore di forma (n) molto diverso
- verosimilmente non trascurabili, per la fascia costiera (Follonica, Vecchia SS Aurelia) neppure le differenze (in aumento) LSPP_RT12 e LSPP_RT12_Up (2020) e, tuttavia, qui non applicate
- preferibile per la maggiore flessibilità legata ad un parametro aggiuntivo (e pressoché unica metodica utilizzabile in HEC-Hms versione *grid*), non si è adottato IUH-Clark per mancanza di riscontri su eventi

¹³⁴Lavori vari >2002 prof. *S. Pagliara*.

¹³⁵Agricolo di pianura/collinare, urbano, misto, ...

¹³⁶Su LSPP_96. Molto diversa l'interpretazione dello scenario (idrogramma) critico, vd. avanti.

¹³⁷Neppure *ante operam* Scopaione.

¹³⁸Es. evento 2005.

¹³⁹Le "sovraposizioni" sono numericamente molto limitate.

¹⁴⁰Per durate >6 h e la stazione di *Massa M.ma V.* LSPP_96>>LSPP_RT12.

¹⁴¹Mediamente trascurabili, invece per *Massa M.ma Valpiana*-[Massa M.ma]. Non noto se in 4C02, per ciascun sottobacino, sia stato adottato il metodo di Thiessen o l'associazione diretta a un singolo pluviometro.

storici e adeguata documentazione in 4C02 (per un *setting* di sostanziale equivalenza in prima approssimazione vd. avanti).

Il punto relativo agli ietogrammi ($LSPP$ e forma) è, dunque, certamente questione cardinale che necessita di essere chiarita prima di ogni altra considerazione specifica sui numerosi ulteriori settaggi che definiscono un modello idrologico. Come è noto, se sperimentalmente lo ietogramma di forma *Chicago* (centrato) ha un qualche riscontro anche in Italia per le *brevi* durate (tipicamente ≤ 1 h) e, comunque, determina minori distorsioni (normalmente cautelative) rispetto ad altre ipotesi distributive, molto meno per eventi pluviometrici *lunghi*. In mancanza di un approccio sperimentalmente fondato e *complessivamente* definito da eventi di riferimento¹⁴², l'utilizzo della distribuzione a blocchi alternati per *qualunque* durata e metodica di valutazione delle perdite (pioggia linda-netta) pone qualche perplessità o, almeno, necessita chiarimenti per una corretta confrontabilità con altre metodiche. D'altra parte, a parità di forma e metodica complessiva, l'utilizzo di $LSPP_RT12$ induce necessariamente aumenti significativi almeno delle stime 200-ennali (finanche a valori di scarsa credibilità).

Alla luce anche delle applicazioni fatte in 4C02 e VV##, emergono i seguenti punti:

- ✗ il *setting* 4C02 assume CNIII e ietogrammi *Chicago* centrati costruiti quali inviluppo $LSPP$, per quanto noto senza validazione sperimentale (eventi registrati o documentati); tali ipotesi sono, dunque, apparentemente fortemente cautelative (a parità di $LSPP$); modello invece meno estremante, almeno in linea di principio, è quello A-D di *Clark* con contestuale *routing* per tratti
- ✗ gli ietogrammi *Chicago*, soprattutto con metodiche di perdita senza recupero della capacità iniziale e flessibilità nella gestione della capacità di infiltrazione (tipo SCS-CN), sono per costruzione estremanti, con effetti (accettabilità) essenzialmente dipendenti, da una parte, dalla durata assoluta e relativa al tempo di risposta "caratteristico" del/i bacino/i e, dall'altra, dalle finalità dell'applicazione (elementi di valutazione e margine di cautela accettabile per C/B, ...)
- ✗ come in qualunque modellazione idrologica di pratica comune, il margine di cautela indotto dall'ipotesi sulla sollecitazione meteorica è alterato (amplificato o attenuato) dall'ulteriore serie necessaria a definirne il settaggio (distribuzione spaziale delle piogge e numerosità dei bacini, modello A-D, *routing*, ...); se tale aspetto è ben intellegibile e controllabile in caso di pre-calibrazione su eventi storici, molto più opaca e insidiosa è la valutazione di consistenza (affidabilità) in assenza e/o per estensione analogica ad altri comprensori e/o scenari e/o con parametrizzazioni anche solo parzialmente diverse (es. t_c , *routing*, ...)
- ✗ tale questione risulta evidente dall'analisi dei risultati di 4C02 e iIDeA21 nei bacini del F. Pecora, del F.so Petraia e di singoli piccoli bacini: mentre in tutti i casi in cui la durata di pioggia (uniforme o *Chicago*) non sia molto maggiore dei tempi supposti caratteristici dei bacini (t_c) può essere determinato un consistente¹⁴³ settaggio (circa) "equivalente", altrimenti ($d > t_c$) la drasticamente diversa ipotesi sullo ietogramma risulta incolmabile senza intervenire anche sul modello di perdita (la massima sollecitazione sul bacino arriva, in sostanza, in condizioni di pressoché totale saturazione, indipendentemente dalle condizioni iniziali e dal tipo di suolo); poiché tale durata "critica" diminuisce con la "impermeabilità" dei suoli, nel caso specifico (CNIII) l'ordine di grandezza non supera $2 \times t_c$. D'altra parte, se già di per sé il rapporto tra modelli concettuali sintetici a *unico-più* sottobacini è notoriamente problematico, la sottodetta questione determina un'ulteriore elevata (e difficilmente controllabile) sensibilità (in elevazione o attenuazione) alle tempistiche *relative* e di *routing*
- ✗ di quanto sopra ne sono esemplificazione il F. Pecora e il F.so Petraia ove, il rapporto tra le stime $\{Chicago_{06-05H}, IUH-Clark(t_c, R)\}$ e $\{uniforme_{02H}, IUH-SCS(t)\}$ ¹⁴⁴ varia drasticamente; se sul F. Pecora, una ragionevole equivalenza può essere determinata, sul F.so Petraia l'evento *Chicago* di durata (5 h) molto maggiore dei t_c dominanti e dell'intero bacino (1-2 h) è ipotesi soverchiante qualunque schematizzazione A-D¹⁴⁵; la sottostima con ietogrammi uniformi dei colmi sul Petraia indurrebbe (a parità di CN, ragguagli, ... ovvero di volumi totali) riduzioni irrealistiche di t_c . La medesima problematica sussiste ovviamente anche per i singoli sottobacini del F. Pecora con $t_c < 6$ h (anche Gora delle Ferriere) evidenzian-

¹⁴² Predefiniti in base ad analisi idro-climatiche regionali (es. USA),

¹⁴³ Nel senso unico per l'intero comprensorio.

¹⁴⁴ Prove effettuate su $LSPP_RT12$.

¹⁴⁵ A tal proposito, si vedano anche i confronti di PT18.

do, peraltro, anche una elevata sensibilità alla tempistica del *routing* di tratto, potendo bastare una variazione di pochi punti percentuali sui tempi di traslazione per variare (in questo caso aumentare) il picco finale (*N. Aurelia*) finanche del 20-50%

- la suddetta "saturazione imposta" (da lunghi eventi) determina ovviamente maggiori scostamenti per T_r e CN inferiori (a parità di $LSPP$) e ancor più tra $4C02$ e $iIDeA21$ dato il minore scostamento ($T_r=30$ anni) tra $LSPP_96$ e $LSPP_RT12$ (a differenza di $T_r=200$ anni, ove la attenuazione indotta dalla forma uniforme è mitigata dai maggiori valori cumulati di $LSPP$)
- viceversa, a parità di scenario pluviometrico e concettualizzazione di bacino, vi è sostanziale equivalenza tra $IUH-SCS(t)$ e $IUH-Clark(t, R)$ con $t \approx 5/3 t_c$ e $R = (3/5 \div 4/5) t_c$ (valori più bassi nel Petraia e più alti nel Pecora).

Quanto sopra osservato non costituisce, evidentemente, di per sé una qualifica della bontà delle stime (impossibile senza verifiche sperimentali), ma soltanto un elemento di chiarezza sulle ipotesi di fondo, la confrontabilità dei diversi approcci e la scelta finale $iIDeA21$. Scelta finale indotta anche da altri fattori contingenti: la incompletezza della documentazione $4C02$ [e vv##] disponibile e, comunque, meramente in formato *pdf*, e la diversa modellistica adottata da $PSI21$, senza praticamente riscontro alcuno con $4C02$.

Sul primo punto e la correlata difficoltà a riprodurlo in formato digitale, va anche rilevato che alcuni dati riportati nei testi non paiono corrispondere ai risultati descritti. Dubbi interpretativi hanno riguardato, in particolare, la topologia idrografica¹⁴⁶ (vd. § 2.3), i parametri di *Clark* per il F. Pecora¹⁴⁷ [4C02] (Tab. 7 e Fig. 57) e classe/valori di CN per la Gora delle Ferriere a valle della botte al F. Pecora [GF19].

In definitiva:

- l'approccio idrologico proposto [$iIDeA21$] adotta la medesima metodica $4C02$ delle perdite (CN) assumendone, cautelativamente, il medesimo livello **III**, definiti sulla base dei più aggiornati tematismi di base regionali; opta (per semplicità e maggiore trasparenza) per il modello **A-D SCS** con t di *Bocchiola-Rosso* et al. (anziché *Clark* con $\{t, R\}$), ietogrammi basati su $LSPP_RT12$ tipo *Chicago* centrato soltanto per $d \leq 1$ h e uniforme altrimenti, ragguagliate a durata di pioggia e area secondo *Raudwijk-Eagleson* (1970) per classi di significatività
- il dettaglio del modello sintetico-concettuale a sottobacini è paragonabile a quello $4C02$, salvo il comprensorio del F. Pecora a monte della cassa *Scopaione*¹⁴⁸
- le opere di regimazione delle piene su F.so Petraia, F. Pecora e Gora delle Ferriere non sono esplicitamente modellate¹⁴⁹ e ne vengono assunti i valori cardinali di omologa sugli effetti (portate limite a valle), operando un semplice taglio orizzontale sugli idrogrammi di calcolo¹⁵⁰ $iIDeA21$ a monte (Fig. 58); ciò definisce, comunque, diverse [rispetto a $4C02$] valutazioni dei volumi sottesi, con qualche ripercussione su quelli di esondazione a valle e sulle corrispondenti aree allagabili
- il modello sorgente messo a disposizione comprende tutti gli scenari di riferimento per la successiva analisi idraulica e i parametri statici sono impostati in coerenza, con particolare riferimento a quanto descritto nel § 2.2.4 per i k_A e le Q_{tr} di singolo sottobacino
- il "nuovo" assetto proposto non elimina certo le citate incertezze di stima, ma ne definisce un quadro interpretativo della trasformazione **A-D** cautelativo (**CNIII**) e sostanzialmente "coerente" con $4C02$, internamente consistente (anche in termini di frequenza di non allagamento), attualizzato (tematismi di base, $LSPP$ e assetto idrografico/idraulico) e intellegibile (metodica e archivi strutturati), in formato aperto non proprietario su *software* di chiara affidabilità (*HEC-Hms*), ri-valutabile/[modificabile] costantemente (modelli sorgente) alla luce della maggiore qualità e numerosità futura dei dati disponibili
- le numerose analisi effettuate, di sensibilità su t , CN , $LSPP$ e ietogrammi indicano che (cfr. anche Fig. 62): a) l'adozione di ietogrammi *Chicago* per durate *qualunque* introduce una distorsione nelle stime, poco verosimile e controllabile soltanto definendo un limite al massimo scostamento dal tempo caratteristico del bacino; l'applicazione della medesima metodica sulle $LSPP_RT12$ (anche senza considerare il

¹⁴⁶ Es. Rio Martellino nel bacino Petraia, F.so c.d. Poggetti nella Gora delle Ferriere e aree urbane.

¹⁴⁷ Gli idrogrammi riportati in Tav. 6.1 sembrano corrispondere a R circa dimezzati rispetto a quelli di tabella in *Relazione Generale*.

¹⁴⁸ Qui non di interesse specifico e, eventualmente, facilmente implementabili nel modello dato.

¹⁴⁹ In mancanza di specifiche regolatorie e considerato il non interesse specifico, differentemente da $4C02$ (modalità ignota), si è trascurato il probabile effetto di laminazione del lago Bicocchi sul Vado Coperto (vd. anche Fig. 62).

¹⁵⁰ Per il F. Pecora il riferimento è *EC18*.

tendenziale aggravio intuibile per Follonica con l'aggiornamento al 2020) determina aumenti di portata non evidentemente credibili); *b)* posto che i valori al colmo di 4C02+VV# costituiscono riferimento, una sostanziale equivalenza (sui picchi e tempo di picco) di iIDeA21 si ottiene limitando lo *Chicago* a durate non superiori a 1 h e assumendo CNII anziché CNIII per i bacini di dimensione superiore a 50 km²; *c)* numerose ulteriori variabili incidono non trascurabilmente sulla confrontabilità delle stime alle diverse foci, tra le quali in particolare la definizione della topologia dei bacini (F.so Petraia e F. Pecora a monte delle casse)

- il F.so Petraia a monte delle casse costituisce la maggiore anomalia iIDeA21 vs 4C02; essa è tuttavia in gran parte apparente (cfr. Fig. 62), in quanto spiegabile dalla somma di almeno due fattori concomitanti e noti: l'effetto saturazione *Chicago* e la definizione del bacino sotteso (Rio Martellino)

e, concludendo:

- si ritiene opportuno introdurre (rispetto a 4C02) l'importante e decisiva modifica di abbandonare l'ipotesi di ietogrammi *Chicago* per *qualunque* durata (mantenendone l'adozione per $d \leq 1$ h), ritenuta eccessivamente cautelativa (in generale, da sè sola¹⁵¹) senza la definizione di ulteriori *standards* di riferimento per l'intera modellazione idrologica (es. durata massima, classi di suolo, ...); tale questione, posta l'attuale assenza (per quanto noto) di evidenze sperimentali nazionali, pare [eventualmente] risolvibile soltanto con analisi *regionali* degli eventi [almeno] pluviometrici registrati e con una più complessiva standardizzazione¹⁵²
- mantenendo l'ulteriore ipotesi di 4C02 sulla classe III del CN (e β *std*), i valori dei colmi 200-ennali sono "simili" a quelli 4C02, tendenzialmente giudicabili cautelativi sia relativamente sia, soprattutto, in assoluto¹⁵³ già per bacini superiori a 10 km²; per i motivi citati, sistematici scostamenti sono più significativi sulla forma degli idrogrammi e i picchi 30-ennali;
- salvo ulteriori approfondimenti, alla luce di cronache, dimensioni del reticolo idrografico e curve inviluppo regionali, pare possibile un miglior setting (meno gravoso) su {CN, β }, con classe di suolo II almeno per i bacini di dimensione maggiore e $\beta=0.30-0.35$ altrove
- in mancanza di altre determinazioni ufficiali, la condizioni di valle imposta dal livello del mare è preliminarmente assunta +1.0 m sul l.m.m.¹⁵⁴, così come già in 4C02 e diversamente da PSI21 che, invece, assume +0.50 m s.l.m. Per i sistemi idraulici afferenti, invece, i F. Pecora e F.so Petraia -eventualmente ricompresi nei modelli idraulici per i tratti significativi- si farà riferimento agli idrogrammi ufficiali delle relative aste allo stato attuale.

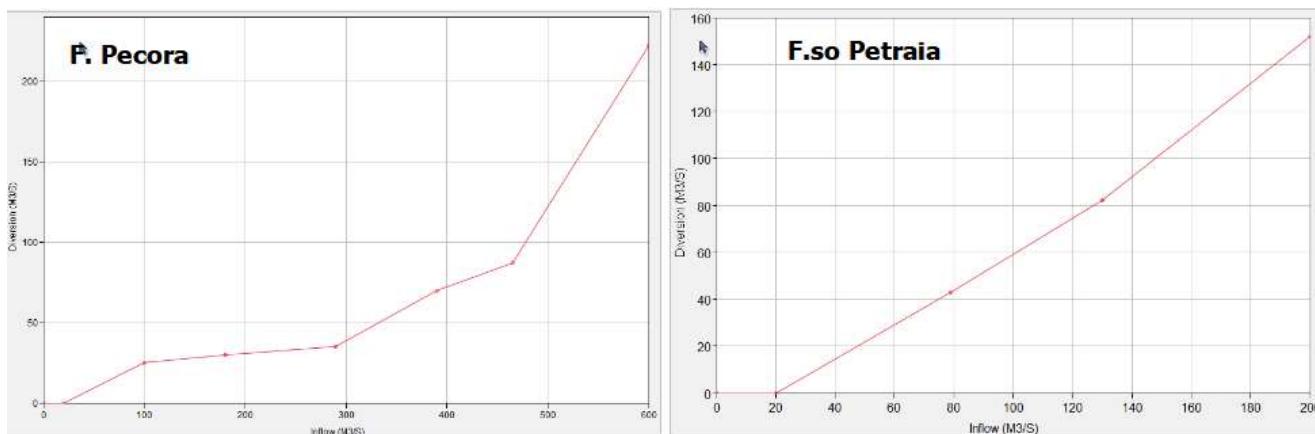


Fig. 58. Leggi di diversione/laminazione assunte per le casse su F.so Petraia-Vado Coperto e F. Pecora-Gora delle Ferriere.

Si riporta in Tab. 8 la sintesi dei principali valori di massima portata al colmo già utilizzate e/o proposte in altri contesti ufficiali.

¹⁵¹ A parità di modello 4C02 il passaggio alle LSPP_RT12 induce valori al colmo sul F. Pecora ritenuti dagli stessi *Autori* inverosimili.

¹⁵² Su tale tema si rimanda direttamente alla vasta letteratura scientifica.

¹⁵³ Sia rispetto ad altre stime regionali e limitrofe non del medesimo *Autore*, sia in relazione alla assenza di eventi alluvionali frequenti di entità e diffusione paragonabile e alla dimensione dei cc.d.a. (7, bassi). Aspetti, tuttavia, meramente indiziari e certamente da approfondire.

¹⁵⁴ Assunta coerente con la georeferenziazione altimetrica Lidar_MATTM.

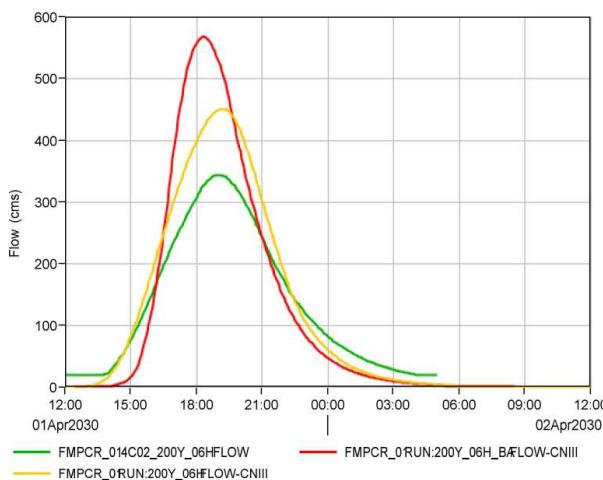


Fig. 59. Confronti tra idrogrammi di piena 4C02 e iIDeA21 - F. Pecora a monte della cassa di laminazione escluso Gora delle Ferriere FMPCR_01 e incluso Gora delle Ferriere FMPCR_D1, $T_r=200$ anni.

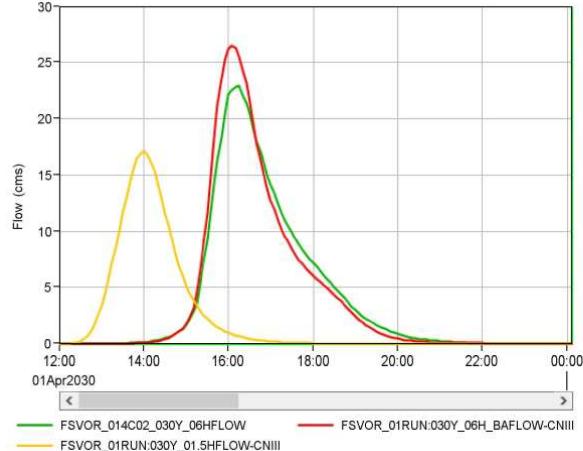
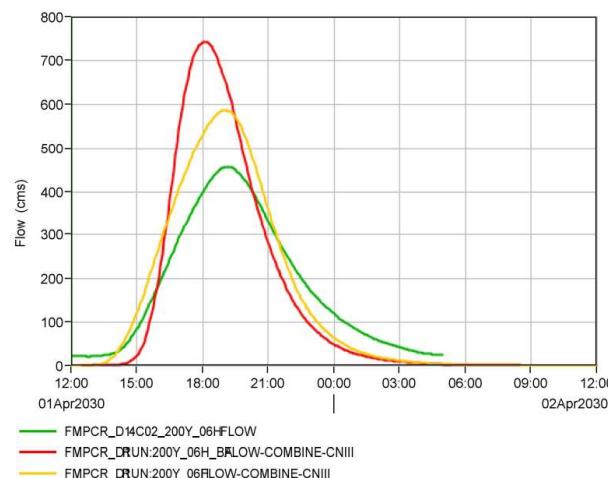


Fig. 60. Confronti tra idrogrammi di piena 4C02 e iIDeA21 - F.so Valle dell'Orto FSVOR_01, $T_r=30$ e 200 anni.

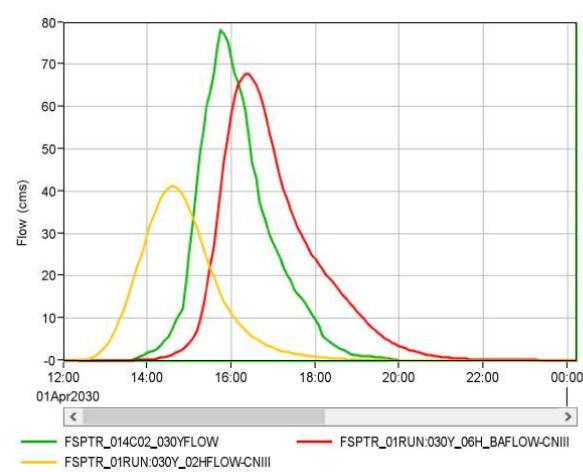
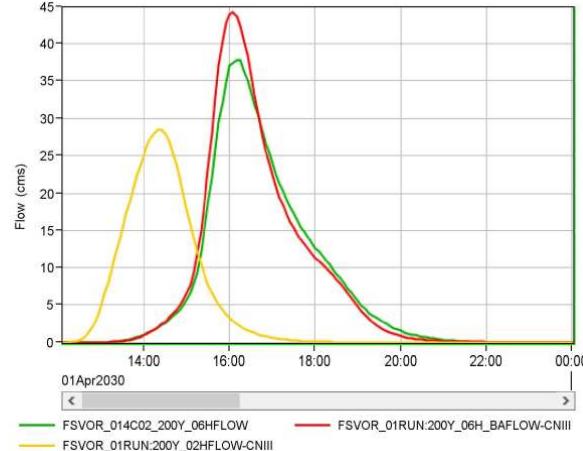


Fig. 61. Confronti tra idrogrammi di piena 4C02 e iIDeA21 - F.so Petraia a monte della cassa di laminazione FS PTR_01, $T_r=30$ e 200 anni.

Tab. 8. Quadro sinottico di proposta e confronto con le principali stime di portata al colmo ufficialmente già adottate. $T_r=30$ e 200 anni. Bacini da F. Pecora (dx) a C.le All. Cervia - Sezioni varie. $[Q^{II,III} = LSPP_RT12 \text{ e } \{CNII, 0.20\}/\{CNIII, 0.20\}; Q^4 = 4C02; Q^{V\#} = VV\#^{155}; Q^{PT} = PT18^{156}; Q^{PS} = PSI21;]$. **N.B.** Salvo diversamente specificato, i valori iIDeA21 si riferiscono alle durate di pioggia critiche per il corrispondente sottobacino $[d_{CR}]$; 4C02 a 6 h (F. Pecora-GdF) e 5 h (F.so Petraia-Vado C.); $VV\#$ a 2 h.

Nome	A [km ²]	d_{CR} [h]	Q^{II}_{30} [m ³ /s]	U^{II}_{30} [m ³ /sxkm ²]	Q^{II}_{200} [m ³ /s]	U^{II}_{200} [m ³ /sxkm ²]	Q^{III}_{30} [m ³ /s]	U^{III}_{30} [m ³ /sxkm ²]	Q^{III}_{200} [m ³ /s]	U^{III}_{200} [m ³ /sxkm ²]	A [km ²]	Q^4_{30} [m ³ /s]	U^4_{30} [m ³ /sxkm ²]	Q^4_{200} [m ³ /s]	U^4_{200} [m ³ /sxkm ²]	A [km ²]	Q^{PS}_{30} [m ³ /s]	U^{PS}_{30} [m ³ /sxkm ²]	Q^{PS}_{200} [m ³ /s]	U^{PS}_{200} [m ³ /sxkm ²]
F. Pecora [FMPCR_01]	101,0	6÷10	161	1,59	337	3,34	252	2,50	452	4,48	108,9			345	3,17					
Gora delle Ferriere [GRFRR_01]	27,9	4÷8	52	1,86	106	3,80	80	2,87	144	5,16	26,3	125	4,75	175	6,65					
F. Pecora [FMPCR_D1] ¹⁵⁷	128,9	6÷8	208	1,61	437	3,39	326	2,53	587	4,55	135,1	338	2,50	456	3,38					
F. Pecora [FMPCR_D1] ¹⁵⁸	128,9	6÷8	176	1,37	356	2,76	279	2,16	378	2,93	135,1	292	2,16	378	2,80					
F.so Spianate [FSSPN_01]	1,65	1	10,0	6,06	18.5	0,00	17.4	0,00	27.9	0,00	1,81	13,2	7,29	22,1	12,21					
F.so Valle Orti [FSVOR_01]	2,83	2÷3	9,4	3,32	19.0	0,00	17.1	0,00	28.9	0,00	2,72	23,1	8,49	38,2	14,04					
C.le Vallino [CLVLL_01]	0,88	1÷2	3,8	4,32	7,2	8,18	6,3	7,16	10,2	11,59	1,13	7,2	6,37	12,1	10,71					
C.le San Simone [CLSSM_01]	1,86	1÷2	8,3	4,46	15,7	8,44	15,1	8,12	24,6	13,23	1,65	11,6	7,03	19,4	11,76					
F.so Valle Orti [FSVOR_J3]	7,97	1÷2	30,4	3,81	59,3	7,44	51,7	6,49	94,3	11,83	7,60	56,3	7,41	94,2	0,00					
F.so Poggetti [FSPGG_01]	1,22	1	9,5	7,79	16,6	13,61	15,2	12,46	23,4	19,18										
F.so Petraia [FSPTR_D1] ¹⁵⁹	8,17	2÷3	23,4	2,86	47,0	5,75	41,2	5,04	69,7	8,53	10,55	79,0	7,49	130	12,32					
F.so Petraia [FSPTR_D1] ¹⁶⁰	8,17	2÷3	20,9	2,56	27,3	3,34	25,8	3,16	33,5	4,10	10,55	36,0	3,41	47,7	4,52					
F.so Petraia [FSPTR_J1]	9,37	2÷3	26,2	2,80	36,8	3,93	33,7	3,60	46,3	4,94										
F.so Vado Coperto [FSVAC_01]	5,04	2÷3	14,0	2,78	29,2	5,79	26,0	5,16	42,5	8,43	4,57	11,5	2,52	23,0	5,03					
Rio Casa Valli [RICVA_01] ¹⁶¹	1,20	1	9,2	7,67	17,0	14,17	16,0	13,33	25,5	21,25										
F.so Petraia [FSPTR_J2] ¹⁶²	15,9	2÷3	46	2,89	77	4,84	67	4,21	101	6,35										
F.so Valle Onesta [FSVON_01]	0,58	1	5,6	9,66	10,2	17,59	9,6	16,55	15,0	25,86										
F.so Val Querceta [FSVQT_01]	1,08	1	7,8	7,22	14,7	13,61	14,4	13,33	22,9	21,20										
C.le Mercatone [CLMCT_01]	2,28	1÷2	11,4	5,00	21,2	9,30	20,3	8,90	33,0	14,47	2,40		23,4	9,75	1,73 18,6 10,75 27,9 16,13					
F.so Valmaggiorre [FSVMA_01]	4,84	2	17,6	3,64	35,5	7,33	31,1	6,43	52,2	10,79										

¹⁵⁵Opp. citt. anni >2002 con Committenti CB5TC e Comuni di Follonica e Scarlino.

¹⁵⁶Valori metodica GIUH.

¹⁵⁷A monte della cassa di laminazione F. Pecora.

¹⁵⁸A valle della cassa di laminazione F. Pecora.

¹⁵⁹A monte delle casse di laminazione F. Petraia.

¹⁶⁰A valle delle casse di laminazione F. Petraia.

¹⁶¹In 4C02 a monte delle casse di laminazione F. Petraia.

¹⁶²78 e 131 m³/s per T_r=30 e 200 anni {CNIII} senza casse di laminazione F.so Petraia.

Nome	A [km ²]	d_{CR} [h]	Q^{II}_{30} [m ³ /s]	U^{II}_{30} [m ³ /sxkm ²]	Q^{II}_{200} [m ³ /s]	U^{II}_{200} [m ³ /sxkm ²]	Q^{III}_{30} [m ³ /s]	U^{III}_{30} [m ³ /sxkm ²]	Q^{III}_{200} [m ³ /s]	U^{III}_{200} [m ³ /sxkm ²]	A [km ²]	Q^4_{30} [m ³ /s]	U^4_{30} [m ³ /sxkm ²]	Q^4_{200} [m ³ /s]	U^4_{200} [m ³ /sxkm ²]	A [km ²]	Q^{PS}_{30} [m ³ /s]	U^{PS}_{30} [m ³ /sxkm ²]	Q^{PS}_{200} [m ³ /s]	U^{PS}_{200} [m ³ /sxkm ²]
Rio Valmaggior N. [RIVMN_01]	0,37	1	3,0	8,11	5,7	15,41	5,6	15,14	8,9	24,05										
F.so Valmaggior [FSVMA_J2]	5,87	1	21,1	3,59	42,6	7,26	37,4	6,37	62,6	10,66	5,50			61,0	11,09	5,36	40,7	7,59	65,0	12,13
C.le All. Cervia [CLCRV_01]	1,27	1	10,6	8,35	18,8	14,80	17,9	14,09	27,9	21,97										
C.le All. Cervia [CLCRV_J1]	7,40	1÷3	30,5	4,12	58,9	7,96	53,1	7,18	87,6	11,84										
C.le All. Cervia [CLCRV_J2]	10,4	1÷3	45,4	4,37	86,0	8,27	78,0	7,50	128	12,31										

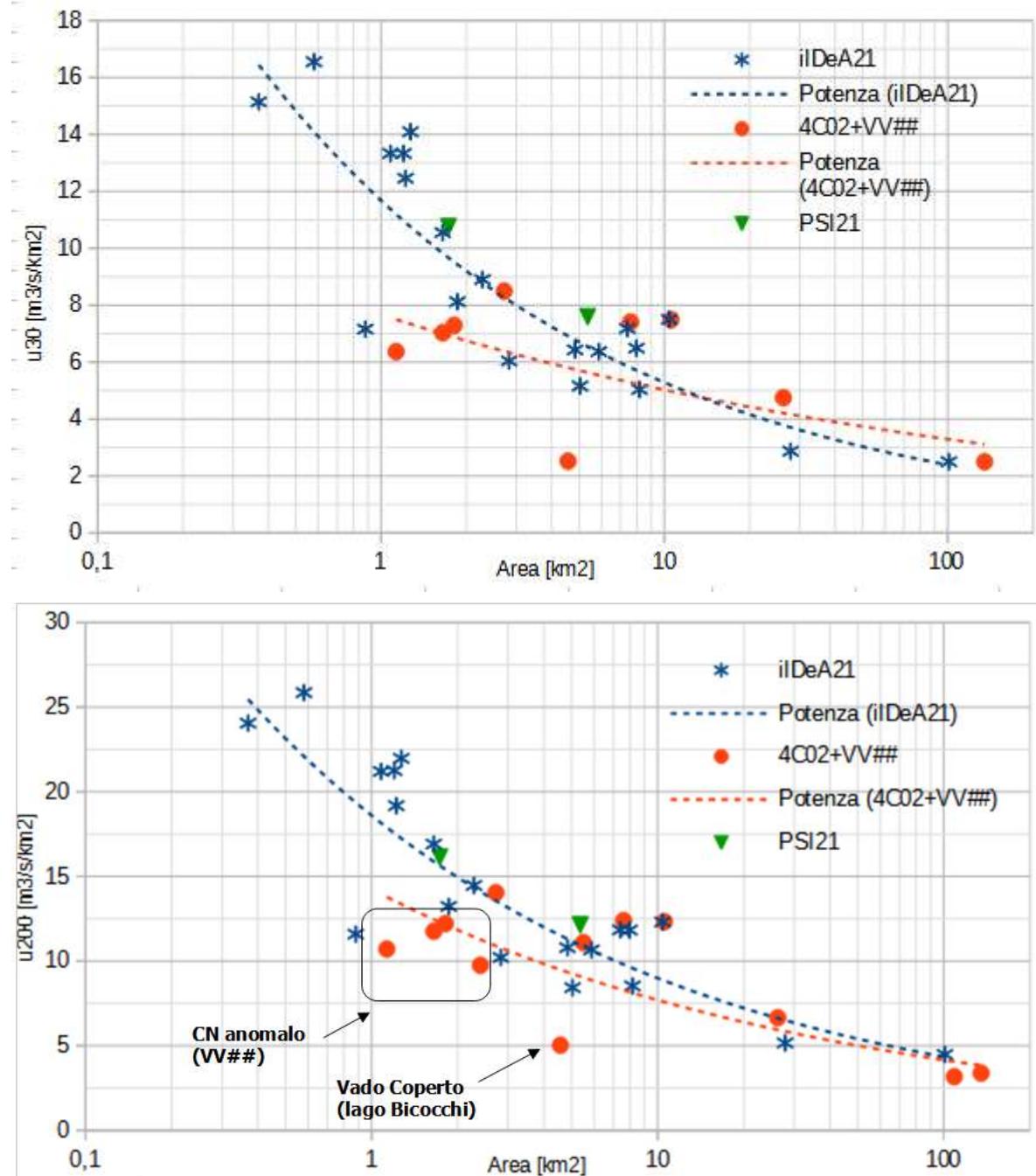


Fig. 62. Coefficienti udometrici $T_r=30$ (sopra) e 200 (sotto) anni. Stime 4C02, VV#, PSI21 e i IDEA21.

Prato, aprile 2021; rev. aprile 2022

