



COMUNE DI CAPRAIA ISOLA

PROVINCIA DI LIVORNO

Via Vittorio Emanuele n° 26, 57032 Capraia Isola (LI)

Piano Strutturale

LRT 1 del 3.01.2005

**il Sindaco e
Assessore
all'Urbanistica:**

Sig. Maurizio Della Rosa
e.mail m.dellarosa@comune.capraiaisola.li.it

**il Responsabile Unico
del Procedimento e
Responsabile SIT:**

Arch. Riccardo Porciatti
e.mail r.porciatti@comune.capraiaisola.li.it

**il Garante della
Comunicazione:**

Dott.ssa Germana Spinaci
e.mail g.spinaci@comune.capraiaisola.li.it

**Progettista
incaricato:**

Arch. Fabio Vincenzo Cetraro
via della Mattonaia 17 - 50121 Firenze
CF CTRFVN53P21E783N P.IVA 04709780482
e.mail eos@portalis.it - fabiovincenzo.cetraro@pec.architetttifirenze.it

Collaborazioni:

Arch. Anna Pacetta - Arch. Francesco Robles

**Geologia ed
Idrogeologia:**

Dott. Geol. Carlo Tocchini
e.mail carlo.tocchini@tiscali.it

Collaborazioni:

Dott. Ing. Roberto Porciatti
Dott. Ing. Paolo Barsotti - Studio Ingeo
Via di Tiglio 433 - 55100 - Lucca
email: studio@ingeo.it

Rilevi topografici:

Geom. Cristiano Pampana

**Valutazione
Integrata ed
Ambientale
Strategica:**

Ambiente s.c.
via Frassina 21, 54031 Carrara
e.mail home@ambientesc.it
Ing. Amb. e Terr. Lorenzo Tenerani
Dott. Sc. Pol. Andrea Lazzarini
Dott. Sc. Amb. Mariagrazia Equizi
Dott. Agr. Andrea Vatteroni
Dott. Geol. Marina Cattaneo





SOMMARIO

1.	INQUADRAMENTO	3
1.1	<i>Generalità</i>	3
1.2	<i>Normativa di riferimento</i>	3
1.3	<i>Fenomeni storici e studi precedenti</i>	5
1.4	<i>Considerazioni sul trasporto solido</i>	6
2.	MODELLAZIONE IDRAULICA MONODIMENSIONALE.....	7
2.1	<i>Descrizione del reticolo.....</i>	7
2.2	<i>Descrizione del modello idraulico monodimensionale</i>	9
2.2.1	<i>Generalità</i>	9
2.2.2	<i>Descrizione del codice di calcolo.....</i>	9
2.3	<i>Risultati del modello.....</i>	11
2.3.1	<i>Fosso Aghiale.....</i>	11
2.3.2	<i>Vado del Porto</i>	11
2.3.3	<i>Definizione della portata limite nei punti critici</i>	12
3.	MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE	13
3.1	<i>Descrizione del modello idraulico bidimensionale.....</i>	13
3.1.1	<i>Generalità</i>	13
3.1.2	<i>Basi teoriche.....</i>	14
3.1.3	<i>Morfologia del territorio</i>	15
3.1.4	<i>Ingressi ed uscite di portate e definizione delle criticità</i>	15
3.1.5	<i>Elementi particolari.....</i>	16
3.2	<i>Descrizione della simulazione degli allagamenti</i>	16
3.2.1	<i>Fosso Aghiale.....</i>	16
3.2.2	<i>Vado del Porto</i>	20
3.3	<i>Definizione della pericolosità idraulica.....</i>	21
4.	PREVISIONI DI MESSA IN SICUREZZA.....	23
5.	CONCLUSIONI	25



Premessa

A seguito dell'incarico conferito dal dott. geol. Carlo Tocchini per lo svolgimento delle "VERIFICHE IDRAULICHE SUI FOSSI VADO DEL PORTO E AGHIALE AI FINI DELLA REDAZIONE DEL PIANO STRUTTURALE DEL COMUNE DI CAPRAIA ISOLA", il sottoscritto ing. Paolo Barsotti, iscritto all'albo degli ingegneri della Provincia di Lucca, redige lo studio idraulico in oggetto.

Il gruppo di lavoro per lo svolgimento dello studio, oltre allo scrivente, responsabile dello studio, è composto dal dott. ing. Francesco Barsotti (iscritto all'ordine degli ingegneri della provincia di Lucca), dal dott. ing. Andrea De Vitis (iscritto all'ordine degli ingegneri della provincia di Pisa) e dal dott. geol. Luigi Giammattei (iscritto all'ordine dei geologi della regione Toscana).

La presente relazione idraulica contiene indicazioni riguardo allo studio delle piene all'interno delle aste prese in esame e delle dinamiche alluvionali connesse alle eventuali fuoriuscite dai corsi d'acqua, con le conseguenti ripercussioni in termini di pericolosità idraulica secondo le prescrizioni normative vigenti e le necessarie previsioni per gli interventi di messa in sicurezza.



1. INQUADRAMENTO

1.1 Generalità

Lo studio idraulico costituisce la parte centrale delle verifiche oggetto del presente lavoro. Infatti esso analizza le condizioni di deflusso delle portate di riferimento normativo all'interno dei corsi d'acqua, individuandone i punti di crisi e le cause che generano tali situazioni (prima fase, così come definita all'interno della relazione illustrativa); successivamente si definiscono le dinamiche alluvionali, andando a delineare le aree allagate e la frequenza di inondazione, in modo tale da disporre di tutti gli elementi necessari per caratterizzare il territorio in termini di pericolosità idraulica e infine ipotizzare gli interventi per la messa in sicurezza delle aste e di conseguenza delle aree circostanti.

I dati di portata utilizzati all'interno delle modellazioni idrauliche sviluppate sono dedotti dallo studio idrologico e si riferiscono ad eventi con tempo di ritorno 20, 30 e 200 anni: in particolare si utilizzerà la portata di picco per verificare se una certa piena è contenuta all'interno di un corso d'acqua e gli idrogrammi per definire le fuoriuscite sul piano di campagna e le dinamiche alluvionali.

Al momento non esistono studi attuali ufficiali relativi alle aste in esame: attualmente il dato più significativo relativo alla sicurezza idraulica connessa ai corsi d'acqua oggetto del presente approfondimento è rappresentato dalle valutazioni espresse all'interno del PAI (che si basano su valutazioni geomorfologiche del territorio). In sostanza non sono stati mai realizzati modelli di dettaglio e pertanto i risultati delle elaborazioni qui svolte, mirano ad aggiornare il quadro conoscitivo inerente alla pericolosità idraulica.

La base degli studi idraulici è costituita dai rilievi di dettaglio, svolti dal geom. Cristiano Pampana e aggiornati al giugno 2010 e riportati nell'elaborato grafico TAV2: tali operazioni hanno riguardato sia le aste idrauliche, sia il piano di campagna tra esse compreso, nella parte pianeggiante a ridosso della linea costiera, sicuramente più soggetto agli allagamenti.

Gli elaborati che, oltre alla presente relazione, si riferiscono agli aspetti citati sono i seguenti:

- Gli allegati idraulici 2.I, e 2.II, in cui sono riportati gli output dei codici di calcolo;
- La tavola TAV2 in cui sono indicate le sezioni compiute sul reticolo idraulico e i punti di rilievo battuti per la caratterizzazione del piano di campagna nella modellazione idraulica delle esondazioni
- La tavola TAV3, che contiene le indicazioni relative alle criticità idrauliche riscontrate lungo lo sviluppo dei corsi d'acqua
- La tavola TAV4, che contiene i risultati delle simulazioni delle esondazioni, con l'indicazione delle aree allagate e dei tiranti stimati
- La tavola TAV5, che indica la pericolosità idrauliche in relazione ai criteri di classificazione definiti dal P.A.I.
- La tavola TAV6, relativa alle previsioni degli interventi di messa in sicurezza

1.2 Normativa di riferimento

La normativa di riferimento per la conduzione degli studi idrologici-idraulici è rappresentata dalle seguenti norme:

- Piano di Assetto Idrogeologico redatto dal Piano di Bacino Toscana Costa (di seguito denominato PAI) e approvato con DCRT n. 13 del 25 Gennaio 2005. Tale norma costituisce il riferimento principale, in quanto sovra-ordinato a tutti gli strumenti di pianificazione e di governo del territorio.

- Decreto del presidente della giunta regionale Toscana 27 aprile 2007 n. 26/R. Regolamento di attuazione dell'art.62 della legge regionale 3 Gennaio 2005 n. 1 (norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche.

Le prescrizioni più significative sugli studi idraulici contenute nelle citate normative riguardano i tempi di ritorno sui quali impostare i calcoli. In particolare si farà riferimento ai tempi di ritorno pari a 20, 30 e 200 anni. Infatti l'articolo 24 del PAI indica i fenomeni con tempo di ritorno 30 e 200 anni come riferimenti per la delimitazione delle aree a pericolosità idraulica elevata e molto elevata; viceversa il DCRT 26/R, oltre a riprendere i precedenti tempi di ritorno per la caratterizzazione del territorio in termini di pericolosità idraulica, al punto 3.2.2 prescrive che nelle "aree che risultino soggette a inondazioni con tempi di ritorno inferiore a 20 anni sono consentite solo nuove previsioni per infrastrutture a rete non diversamente localizzabili per le quali sarà comunque necessario attuare tutte le dovute precauzioni per la riduzione del rischio a livello compatibile con le caratteristiche dell'infrastruttura".

Si fa presente che allo stato attuale delle conoscenze non risultano definite le zone interessate dalle esondazioni ventennali e inoltre l'analisi della pericolosità trae spunto soprattutto da dati storici e dalla morfologia del territorio: mancando una modellazione idraulica di dettaglio, il presente studio mira a fornire le indicazioni di riferimento per la caratterizzazione del territorio in termini di pericolosità secondo le indicazioni normative vigenti e citate in apertura di paragrafo, colmando le carenze del quadro conoscitivo evidenziate.

Il PAI precedentemente citato contiene la tavola di Tutela del Territorio, con l'indicazione delle aree a pericolosità idraulica elevata e molto elevata: di seguito si allega un estratto del suddetto elaborato inerente ai bacini oggetto del presente studio. Dall'esame della prima si può notare come ad ogni bacino siano associate aree a pericolosità idraulica molto elevata, che si ampliano progressivamente procedendo da monte verso valle.

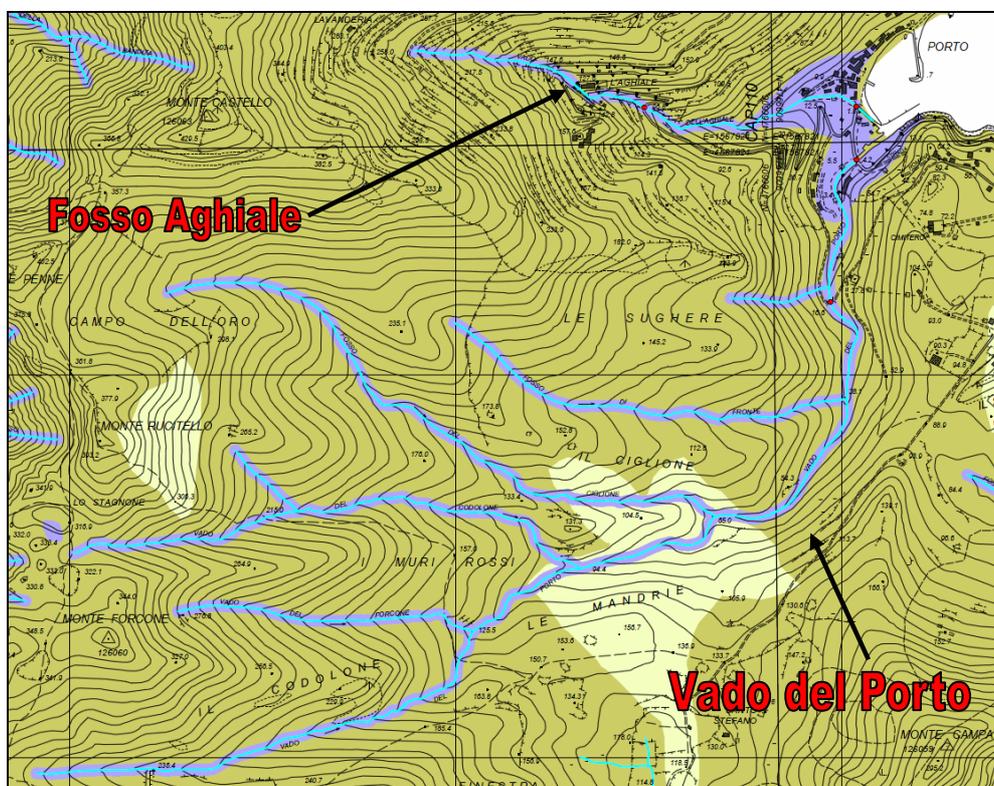


Figura 1.1- Estratto della tavola n. 49 della Carta di Tutela del Territorio del PAI redatto dall'Autorità di Bacino Toscana Costa con indicazione della pericolosità idraulica

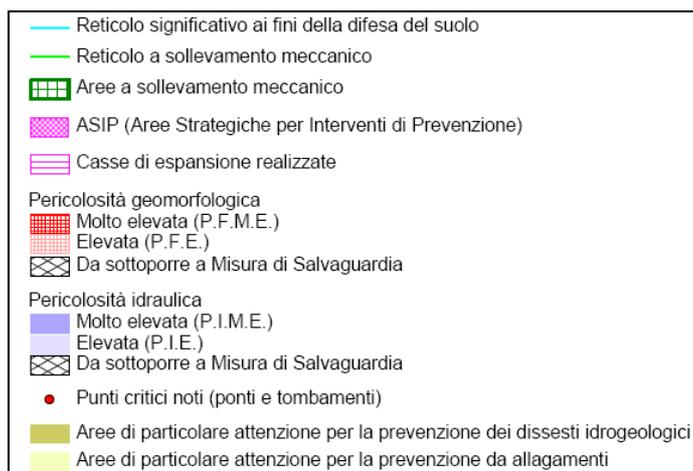


Figura 1.2 - Legenda della carta della tutela del territorio

1.3 Fenomeni storici e studi precedenti

L'area in esame è stata oggetto di fenomeni alluvionali negli anni precedenti: soprattutto negli anni '80, infatti, si sono verificati allagamenti in tutta la parte pianeggiante compresa tra i due fossi in esame. A seguito di tali eventi furono intrapresi interventi di consolidamento delle opere di sponda e di aumento della capacità di deflusso dei fossi. In particolare si costruirono i muretti di sponda su entrambi i fossi e fu rialzata tutta la parte bassa in destra idraulica rispetto al Vado del Porto, nella quale è stato installata un impianto dell'ENEL.

Nella configurazione attuale, cui si riferisce il rilievo, rimangono alcuni punti critici, come ad esempio l'attraversamento terminale del fosso Aghiale, tutt'oggi punto di esondazione in concomitanza con il verificarsi dei fenomeni meteorici più violenti, e la zona a monte del campeggio presente in sinistra idraulica rispetto al Vado del Porto. Non si registrano allagamenti in corrispondenza dell'attraversamento terminale del fosso Vado del Porto. In ogni caso, la dinamica alluvionale si è sviluppata nella parte bassa dei bacini, andando ad allagare le superfici pianeggianti per aree più o meno estese, con le acque che sono arrivate a un livello tale da provocare lo scavalco di "Via dell'Assunzione" e il successivo deflusso a mare attraverso le aree poste a valle di tale viabilità. È importante notare che le zone di esondazione del fosso Aghiale sono ben distinte da quelle interessate dal Vado del Porto, in virtù del rilevato presente in corrispondenza di via delle Sughere che divide in modo chiaro la zona pianeggiante.

La pericolosità delineata nel PAI comprende, oltre alle aree oggetto di esondazioni nel passato, altre porzioni di territorio mai interessate da fenomeni alluvionali. Dai sopralluoghi svolti nell'isola, la perimetrazione definita nel PAI appare in effetti eccessivamente cautelativa. Si vedano ad esempio le immagini sotto riportate, che si riferiscono al tracciato dell'Aghiale a monte dell'area pianeggiante: dalla foto si può notare come l'area PIME comprenda anche tratti caratterizzati da un'acclività e da quote tali da rendere molto improbabili fenomeni di allagamento.

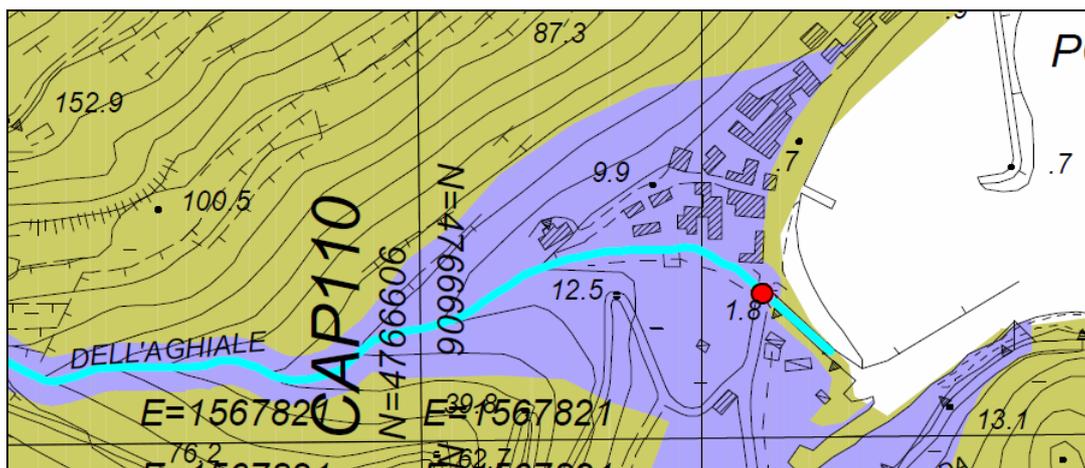


Figura 1.3 - Dettaglio dell'area PIME del fosso Aghiale



Figura 1.4 - Indicazione qualitativa dell'area PIME: le frecce blu indicano l'impluvio nel quale scorre il corso d'acqua: il confine dell'area PIME in certi tratti è addirittura 10 m più alto rispetto al fondo dell'impluvio

1.4 Considerazioni sul trasporto solido

L'analisi dei corsi d'acqua avvenuto durante i sopralluoghi ha evidenziato quanto segue:

- Il materiale litoide rinvenuto sul fondo dei corsi d'acqua risulta di dimensioni notevoli (in certi casi si trovano elementi di dimensione superiore addirittura ad 1m)

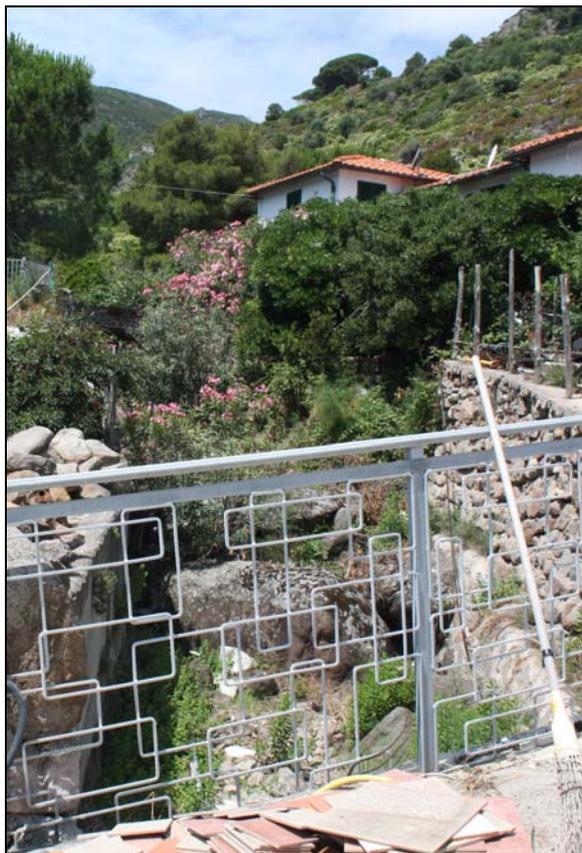


Figura 1.5 – Fosso dell’Aghiale: si sottolineano le dimensioni notevoli del materiale litoide presente sul fondo

- le opere di sponda presenti (muretti e manufatti di attraversamento) non presentano segni di scalzamento
- La luce degli attraversamenti risulta considerevole in tutti i casi salvo quello dell’attraversamento terminale del fosso Aghiale: in considerazione di ciò anche il materiale flottante non risulta un elemento di rischio, se non per quanto riguarda il ponte citato

In base a quanto sopra esposto, si può concludere che i corsi d’acqua non presentano particolari problematiche per quanto riguarda il trasporto solido di fondo e si trovano in una condizione abbastanza vicina all’equilibrio, mentre per quanto riguarda il flottante, gli unici problemi (fronteggiabili comunque sia con lo svolgimento corretto dell’ordinaria manutenzione) sono legati all’attraversamento terminale del fosso Aghiale.

2. MODELLAZIONE IDRAULICA MONODIMENSIONALE

2.1 Descrizione del reticolo

I corsi d’acqua oggetto dello studio idraulico sono il fosso Aghiale e Vado del Porto. Le aste in oggetto, i cui bacini si trovano nella parte centro orientale dell’isola di Capraia, si uniscono a pochi metri dallo sbocco a mare, in prossimità dell’abitato di Capraia Porto, una dei due nuclei principali del territorio comunale. Le aste analizzate costituiscono i ricettori delle acque raccolte dalle falde orientali dei rilievi indicati come Monte Forcone, Monte Rucitello, Monte delle Forche e Monte Castelluccio e delle pendici occidentali del Monte Campanile.

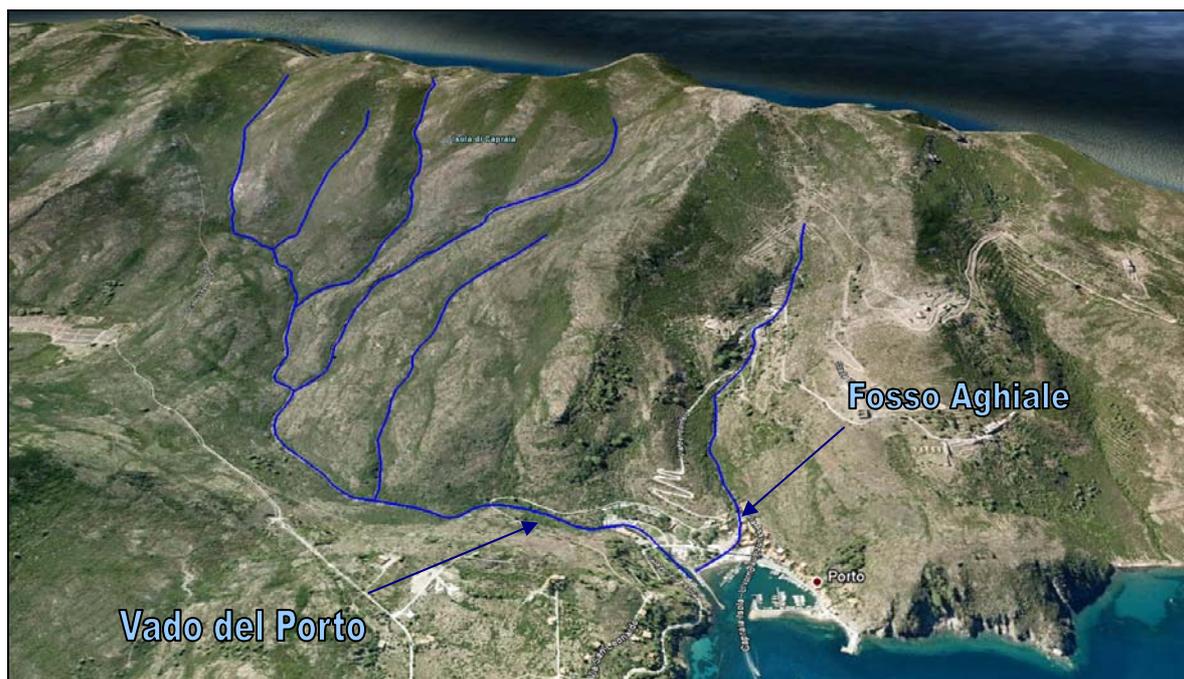


Figura 2.1 – Reticolo idraulico esaminato

La differenza principale tra le due aste idrauliche è rappresentata in primo luogo dall'estensione del bacino: il fosso Vado del Porto, in questo senso, è caratterizzato da un'area scolante pari all'incirca a tre volte e mezzo quella relativa al fosso Aghiale. Ciò si ripercuote sul reticolo idraulico presente in tali superfici. Nel caso del bacino del Vado del Porto esso risulta caratterizzato da una serie di affluenti minori, tutti posti in sinistra idraulica rispetto all'asta principale: procedendo da monte verso valle si incontrano: il vado del Forcone, il Vado del Codolone, il Vado del Ciglione e il fosso di fronte. Non si registrano affluenti degni di nota in destra idraulica, anche in considerazione della vicinanza del corso d'acqua principale alla linea spartiacque posta in tale direzione. Viceversa il bacino del fosso Aghiale non è caratterizzato da particolari ramificazioni e pertanto risulta ben definita soltanto l'asta principale, che peraltro ha uno sviluppo sensibilmente inferiore rispetto all'altro fosso.

Un'altra differenza significativa riguarda la pendenza dei corsi d'acqua analizzati: mentre il fosso Aghiale presenta un aspetto torrentizio, con notevoli acclività del fondo per quasi tutto il suo sviluppo, fatta eccezione solo per il tratto a valle di Via dell'Assunzione, il Vado del Porto presenta un andamento molto più dolce. Viceversa, l'acclività media delle pendici dei bacini risulta in entrambi casi assai considerevole.

Entrambi i corsi d'acqua attraversano zone antropiche in corrispondenza del loro tratto terminale; l'interazione più rilevante è costituita dagli attraversamenti in corrispondenza di via dell'Assunzione, che rappresentano i punti maggiormente critici del reticolo. Tra i due corsi d'acqua, nella zona pianeggiante compresa tra i loro alvei, si trova un piccolo fosso, detto delle Sughere, il quale raccoglie gli scarichi di un impianto di desalizzazione di recente costruzione. Lo sbocco a mare dei corsi d'acqua è protetto da strutturali inseriti nell'ambito dell'area portuale (pennelli, moletti, ecc.).

Per quanto riguarda le opere d'arte presenti lungo il tracciato, le maggiori sono rappresentate dagli attraversamenti. In particolare si ricordano:

- I due ponti su Via dell'Assunzione, citati in precedenza
- Attraversamenti privati lungo il tracciato dell'Aghiale (con struttura a soletta e luce molto elevata) posti nella zona più elevata dell'area urbana



- due attraversamenti su viabilità pubbliche secondarie): entrambi si trovano a monte della zona urbana in tratti in cui gli impluvi risultano notevolmente incassate: le strutture sono in stato di ammaloramento ma non risultano cadenti

Sono infine presenti alcuni salti di fondo, soprattutto sul fosso dell'Aghiale, indotti dalle notevoli pendenze riscontrabili lungo il tracciato. Infine si registra la presenza di muretti di sponda, su entrambi i corsi d'acqua, concentrati soprattutto nella zona urbanizzata. Lo stato generale di manutenzione è soddisfacente.

2.2 *Descrizione del modello idraulico monodimensionale*

2.2.1 *Generalità*

La modellazione monodimensionale prende in considerazione il deflusso delle piene all'interno dei corsi d'acqua oggetto dello studio; nella fattispecie, le simulazioni sono svolte a moto permanente, in modo tale da tenere in conto delle singolarità presenti lungo il tracciato del corso d'acqua (in particolare gli attraversamenti). Attraverso tale analisi ci si propone in particolare di:

- definire i profili liquidi all'interno delle aste del reticolo idrografico;
- valutare i punti critici che costituiscono situazioni di rischio per lo smaltimento delle portate, quantificando eventuali volumi di esondazione e stabilendo i tempi di ritorno con cui si verificano le crisi del reticolo;

Viceversa, le esondazioni sono prese in considerazione nello studio idraulico bidimensionale.

I tratti del reticolo idraulico oggetto di studio, individuato secondo la cartografia dell'Autorità di Bacino Toscana Costa, sono costituiti, come definito in precedenza, dai fossi Aghiale e Vado del Porto, nella zona a cavallo della foce come indicato nella tavola di rilievi TAV2: eventuali esondazioni nella zona di monte (zona nella quale peraltro si conferma la pericolosità idraulica attualmente definita nel PAI) non si trasferiscono a valle in considerazione del fatto che siamo in presenza di compluvi molto incisi e i corsi d'acqua non sono arginati (conformazione che causa il rientro dell'acqua all'interno dei fossi esaminati)

2.2.2 *Descrizione del codice di calcolo*

Il modello è stato costruito a partire dalle sezioni rilevate, successivamente implementate su codice di calcolo Hec - Ras 4.0, fornito dalla Heasted Methods. La modellazione è avvenuta seguendo i seguenti passi:

- Definizione della morfologia dell'alveo;
- Inserimento delle portate e delle condizioni al contorno

Di seguito si dettagliano gli aspetti citati

2.2.2.1 *Morfologia dei corsi d'acqua*

La morfologia dei corsi d'acqua è stata riprodotta attraverso l'implementazione, sul codice di calcolo citato, delle sezioni dei corsi d'acqua rilevate. Il rilievo è stato effettuato dal geom. Cristiano Pampana e aggiornato al giugno 2010 e riguarda la zona valliva delle aste.

La morfologia dei corsi d'acqua è stata riprodotta attraverso la geometria delle sezioni rilevate (mediante la definizione delle coordinate dei vertici del contorno dell'alveo rispetto a un fissato sistema di riferimento), la loro distanza e con l'indicazione dei coefficienti di scabrezza delle superfici dell'alveo. In particolare sono stati adottati coefficienti di Manning variabili tra $0.03 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ (per i tratti ove è presente erba, terreno naturale) e $0.018 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ (dove sono presenti pareti particolarmente scabre, per esempio in cemento o in muratura in buono stato di manutenzione), sulla base delle indicazioni presenti in letteratura. Infine sono



state implementate le opere d'arte e delle singolarità presenti lungo il tracciato del corso d'acqua, ovvero i ponti.

2.2.2.2 Definizione delle portate e delle condizioni al contorno

Nei corsi d'acqua modellati come detto al paragrafo precedente è stato simulato il deflusso delle portate definite nell'ambito della modellazione idrologica; di seguito si riporta lo specchietto che indica la corrispondenza tra le portate stimate nella modellazione idrologica e quelle inserite all'interno del codice di calcolo monodimensionale.

	Aghiale	Vado del Porto
20 anni	11.54	25.196
30 anni	12.31	26.94
200 anni	16.63	36.786

Figura 2.2 – Specchietto delle portate inserite all'interno del modello idraulico

Oltre alle portate di cui sopra, è stato simulato il deflusso di varie portate all'interno dell'asta, in modo tale da poter definire una scala di deflusso e di conseguenza poter definire le portate limite contenute all'interno dell'alveo in tutti i tratti del corso d'acqua (in modo da poter determinare l'input della modellazione bidimensionale delle esondazioni).

Per quanto riguarda le condizioni al contorno, per la situazione di monte, non essendo presenti particolari singolarità idrauliche, si ritiene corretto adottare le condizioni di moto uniforme (con la definizione della sola pendenza di monte), mentre per ciò che concerne valle si è adottata un'altezza del mare in condizioni di tempesta (0.8m s.l.m.)¹.

2.2.2.3 Output del codice di calcolo

I risultati dello studio condotto si possono esaminare nell'allegato idraulico 2.I. In generale, sono da ritenersi insufficienti quelle sezioni per le quali i livelli liquidi sono tali da non permettere il deflusso all'interno degli argini o del livello piano di campagna per le sezioni incassate. Per la lettura dei profili longitudinali forniti da HEC-RAS si tenga presente che:

- La linea nera continua rappresenta il fondo del corso d'acqua;
- Le linee colorate continue rappresentano i profili liquidi al passaggio del colmo della piena simulata (la linea in colore blu si riferisce alla piena duecentennale, la verde alla trentennale e la viola alla ventennale);
- Le linee a tratto indicano le sommità dei rilevati arginali posti in destra e sinistra idrografica (che il codice di calcolo indica con "LOB" e "ROB", acronimi che stanno per le locuzioni anglosassoni Left Over Bank e Right Over Bank). Le quote di questi elementi sono state definite al momento dell'implementazione delle sezioni.

2.2.2.4 Criticità idrauliche

Le criticità idrauliche sono individuate nei termini di seguito indicati:

- Per quanto riguarda la piena duecentennale sono stati individuati i punti di esondazione e i punti in cui non è verificato il franco di sicurezza indicato nel PAI ("Criteri per lo sviluppo degli studi e la valutazione di efficacia")
- Per quanto riguarda la piena trentennale e ventennale, sono stati individuati i punti di esondazione

¹ Condizione estremamente cautelativa in considerazione del fatto che le condizioni di tempesta che provocano il rialzo di 0.8 m si riferiscono ad un tratto di costa aperto, mentre per il caso in esame siamo in presenza di una baia molto riparata sia per la configurazione naturale, sia per la presenza di opere artificiali a protezione della zona portuale



I tratti oggetto di criticità sono stati indicati nella tavola TAV3 e sono descritti nel paragrafo successivo

2.3 Risultati del modello

2.3.1 Fosso Aghiale

Dal profilo di seguito riportato (per una visione più chiara si rimanda all'allegato idraulico) si evince quanto segue:

- Il punto più critico per il reticolo in esame è rappresentato dall'attraversamento posto più a valle (Via dell'Assunzione), la cui sezione non risulta in grado di smaltire neanche la portata ventennale;
- Il tratto a valle di via dell'Assunzione risulta abbondantemente insufficiente per tutti i fenomeni considerati
- Un altro punto critico è presente poco più a monte della sezione in esame, dove il profilo liquido duecentennale sormonta il muretto presente in destra idraulica: in questa sezione risultano contenute invece le portate ventennali e trentennali



Figura 2.3 - Profilo longitudinale del fosso Aghiale per i tempi di ritorno considerati

Le valutazioni svolte risultano in accordo con i fenomeni avvenuti nell'area: addirittura il modello ha condotto a risultati cautelativi, in quanto, in seguito alla costruzione dei muretti nel tratto terminale del corso d'acqua, come detto nei paragrafi precedenti, non si sono registrati esondazioni se non in corrispondenza dell'attraversamento terminale su Via dell'Assunzione.

2.3.2 Vado del Porto

Dal profilo di seguito riportato (per una visione più chiara si rimanda all'allegato idraulico) si evince quanto segue:



- Il punto più critico per il corso d'acqua è rappresentato dal tratto tra la sezione 10 e la sezione 9, in cui la portata limite contenuta è pari alla portata ventennale: ciò implica che la portata duecentennale e la portata trentennale non sono contenute all'interno del corso d'acqua;
- Esistono vari tratti del corso d'acqua in cui la portata duecentennale non è contenuta all'interno dell'alveo con il rispetto dei margini di normativa, anche se, tuttavia, la portata ventennale risulta sempre defluire all'interno del corso d'acqua
- A valle di via dell'Assunzione, solo il profilo liquido duecentennale risulta maggiore rispetto alla quota della sommità spondale sinistra.

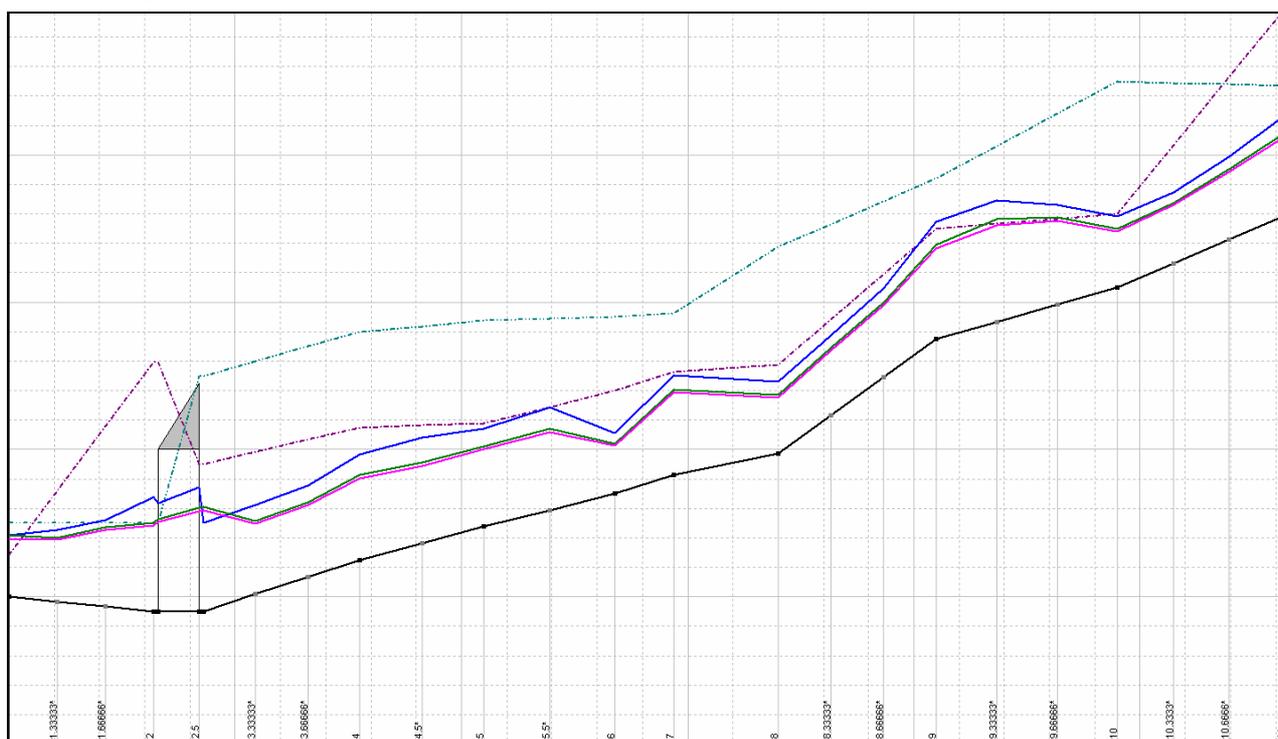


Figura 2.4 – Profilo longitudinale del fosso Vado del Porto per i tempi di ritorno considerati

I risultati forniti dal modello risultano coerenti con le indicazioni fornite nell'ambito dei fenomeni meteorici più gravosi.

2.3.3 Definizione della portata limite nei punti critici

Per i punti critici esaminati, è stato simulato il deflusso di varie portate, in modo tale da individuare la portata limite contenuta: di seguito si riportano i risultati ottenuti.

- Fosso Aghiale, sezione 9: la portata limite contenuta è tra 12 e 13 mc/s, come si vede dalla figura successiva

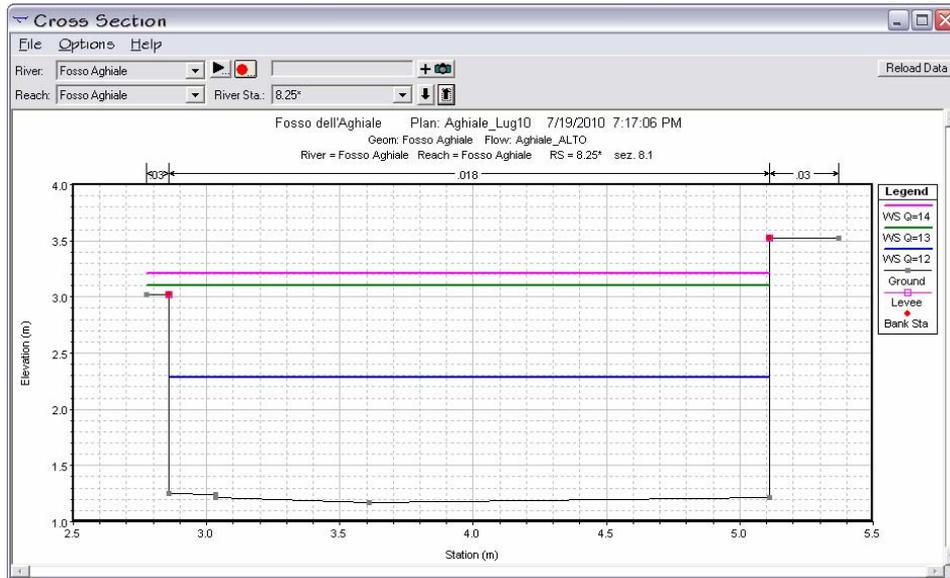


Figura 2.5 – Scala di deflusso relativa alla sezione di esondazione del fosso Aghiale

- Fosso Aghiale, attraversamento di Via dell'Assunzione: la portata limite contenuta è tra 3 e 4 mc/s, come si vede dalla figura successiva

Figura 2.6 - Scala di deflusso relativa alla sezione di esondazione del fosso Aghiale

- Fosso Vado del Porto, sezione 9: la portata limite contenuta è la portata ventennale, come si vede dalla figura successiva

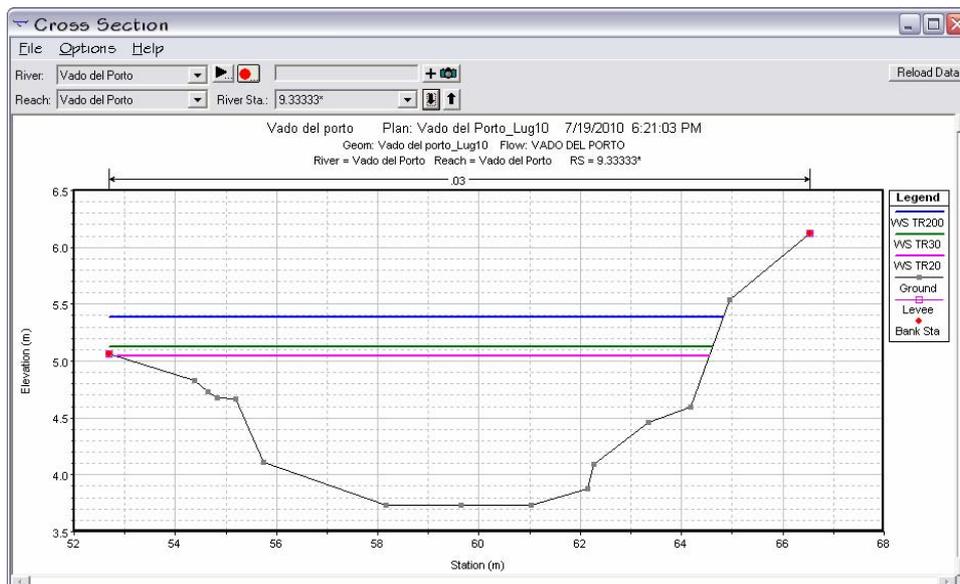


Figura 2.7 - Scala di deflusso relativa alla sezione di esondazione del fosso Vado del Porto

3. MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE

3.1 Descrizione del modello idraulico bidimensionale

3.1.1 Generalità

I punti di esondazione definiti all'interno della modellazione monodimensionale danno luogo agli allagamenti modellati attraverso la simulazione bidimensionale. Per la modellazione della dinamica esondativa è stato utilizzato il codice di calcolo FLO-2D.



Si è simulato il deflusso degli idrogrammi di piena all'interno della rete dei canali, analizzando la possibilità di sormonti arginali e di conseguenza il successivo deflusso sul piano di campagna adiacente, schematizzato con un sistema di celle quadrate. Lo studio è in grado di produrre stime delle altezze della lama d'acqua e della velocità della corrente; può essere utilizzato per determinare il rischio idraulico, delineare le aree potenzialmente inondabili e per impostare un sistema di interventi idonei alla mitigazione della pericolosità idraulica. Il modello costruito per la propagazione delle esondazioni sul territorio è bidimensionale e a moto quasi vario.

Il codice di calcolo utilizzato è riportato nella lista dei programmi di calcolo approvati dall'ente statunitense FEMA (Federal Emergency Management Agency) sia per quanto riguarda la modellazione fluviale, sia per quanto riguarda la modellazione bidimensionale (moto vario) di onde di piena su piano di campagna. E' stato largamente utilizzato da varie agenzie federali degli Stati Uniti, tra i quali si mette in evidenza il Corps of Engineers, e in altri paesi di tutto il mondo.

Di seguito si espongono:

- Le basi teoriche del codice di calcolo utilizzato;
- La modalità con la quale è stata inserita la morfologia del territorio;
- La definizione delle condizioni al contorno per quanto riguarda le entrate e le uscite di portata nel sistema, corrispondenti alle criticità del reticolo idraulico;
- Gli elementi particolari del sistema.

3.1.2 Basi teoriche

Il codice di calcolo Flo-2D è basato sulla conservazione del volume: come detto nel precedente paragrafo, oltre a simulare in modo del tutto analogo al codice di calcolo Hec Ras 4.0 nella rete dei canali, modella il deflusso di un certo idrogramma lungo una superficie discretizzata in celle quadrate (in questo caso di lato 10x10) che rappresentano il piano di campagna su cui ha luogo l'esondazione. Lo sviluppo dell'onda di piena è governato dalla morfologia del territorio e dalla resistenza al deflusso.

Le equazioni che stanno alla base del modello sono l'equazione di continuità e l'equazione di moto vario (dette anche equazioni di De Saint Venant)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h V_x}{\partial x} = i$$

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_x}{\partial t}$$

in cui i termini sono i seguenti

- h Altezza idraulica
- V_x Velocità media nella direzione x
- i Intensità della pioggia efficace
- S_{fx} Pendenza della linea dell'energia
- S_{ox} Pendenza del fondo
- g Accelerazione di gravità

Le equazioni sopra citate sono risolte calcolando la velocità media attraverso il limite di una cella prendendo in considerazione una direzione per volta; il programma considera 8 potenziali direzioni di deflusso per ogni cella, le quattro cardinali (Nord, Sud, Est, Ovest) e le quattro diagonali (Nord-Ovest, Nord-Est, Sud-Ovest, Sud-Est). Per ogni direzione il calcolo si svolge in modo indipendentemente dalle altre,



componendo i moti parziali in un moto globale; il risultato è un'analisi bidimensionale che tiene conto della conservazione del volume. Chiaramente per la risoluzione delle equazioni sopra riportate, il programma segue un processo alle differenze finite.

Il coefficiente di scabrezza della superficie su cui avviene l'esondazione è stato fissato pari a $n = 0.04$ s/m^{1/3}, valore plausibile per il territorio analizzato. In favore di sicurezza è stata trascurata la capacità di assorbimento del terreno dovuta all'infiltrazione.

Il fenomeno esondativo è suddiviso in vari step temporali, ognuno dei quali è risolto iterativamente fino a convergenza: le iterazioni si arrestano quando sono soddisfatti i controlli sulla stabilità del calcolo ed è verificata l'equazione di conservazione del volume.

3.1.3 Morfologia del territorio

La morfologia del territorio è stata modellata attribuendo a ciascuna cella l'altezza del suolo e la scabrezza della superficie: la fonte dati del modello digitale del terreno è un DTM realizzato dall'ufficio cartografico della Regione Toscana, che fornisce una maglia di punti ad interasse 10 metri. Tali punti sono stati utilizzati per definire l'altezza delle celle del modello, tramite un modello di interpolazione. Per la parte valliva, in cui il DTM non risulta dettagliato come per la zona dei rilievi, i dati disponibili sono stati integrati con i punti del rilievo di dettaglio effettuato dal geom. Cristiano Pampana e aggiornato al giugno 2010, riportati nella tavola TAV2.

3.1.4 Ingressi ed uscite di portate e definizione delle criticità

Gli ingressi nel modello bidimensionale sono stati definiti in corrispondenza dei punti di crisi del reticolo idraulico: alle sezioni sede di insufficienze idrauliche si sono associate le criticità idrauliche e i punti di esondazione. L'idrogramma di esondazione è stato definito per differenza con la portata contenuta. La portata contenuta è stata definita simulando il deflusso di varie portate all'interno del corso d'acqua, fino a stabilire la portata limite smaltita dal corso d'acqua, come indicato nei paragrafi precedenti.

Per ogni tempo di ritorno sono stati definiti vari idrogrammi di esondazione, uno per ogni durata di pioggia; nelle simulazioni bidimensionali si è scelto prudenzialmente di modellare la situazione che dava luogo alla fuoriuscita del massimo volume liquido.

VOLUMI ESONDAZIONE FOSSO AGHIALE			
Sezione 9		Q lim 12.5 mc/s	
T	TR200 anni	TR 30 anni	TR 20 anni
0.5 h	3158	0	0
1 h	2130	0	0
1.5 h	0	0	0
2 h	0	0	0
Sezione Ponte		Q lim 3.5 mc /s	
T	TR200 anni	TR 30 anni	TR 20 anni
0.5 h	21358	13006	11588
1 h	30816	19033	16982
1.5 h	36419	22080	19571
2 h	40078	23155	19384
VOLUMI ESONDAZIONE VADO DEL PORTO			
Sezione 8.25		Q lim 12.5 mc/s	
T	TR200 anni	TR 30 anni	TR 20 anni
1 h	20019	275	0
1.5 h	29365	1620	0
2 h	32217	208	0
2.5 h	30267	0	0

Tabella 3.1 - Specchietto dei volumi di esondazione (in mc) relativi ai punti critici del reticolo idraulico



Sempre a tutela delle valutazioni idrauliche, per quanto riguarda il fosso Aghiale, in corrispondenza del quale sono stati individuati due punti di crisi, non si è tenuto conto, in quello più a valle, delle laminazioni di portata per effetto delle fuoriuscite avvenute a monte.

Le uscite dal modello sono state ubicate a valle di via dell'Assunzione: in tale zona, che risulta un basso morfologico, nella presente analisi si ritiene corretta la perimetrazione individuata dal PAI e si ritiene prudentiale considerare tali aree a rischio di esondazione ventennale. In virtù di queste considerazioni, il modello idraulico bidimensionale costruito ha validità limitata al tratto vallivo dei bacini a monte di via dell'Assunzione: a valle di esso si confermano le valutazioni svolte dall'Autorità di Bacino Toscana Costa.

3.1.5 *Elementi particolari*

Nella modellazione sono stati introdotte anche i seguenti elementi, indispensabili per la caratterizzazione della dinamica alluvionale:

- LEVEE, che rappresentano degli ostacoli lineari che costituiscono degli impedimenti al flusso della corrente (rappresentati per esempio da rilevati di qualsiasi tipo o da manufatti come muretti). Nel caso particolari si sono rappresentati i muretti presenti nell'area urbana, lungo la via dell'Assunzione e il rilevato su cui si trova Via delle Sughere, che separa la zona alluvionabile connessa al Vado del Porto da quella inerente al fosso dell'Aghiale.

Non sono stati modellate le strade (che, come noto, durante i fenomeni alluvionali rappresentano vie preferenziali di deflusso), né il fosso delle Sughere, nell'area alluvionabile del fosso Vado del Porto. Tale asta funge sostanzialmente da scarico per le acque dell'impianto di desalinizzazione, non avendo alle spalle un bacino imbrifero significativo. Le scelte effettuate sono sicuramente prudentiali, in quanto non tengono conto di elementi sicuramente in grado di limitare il battente idrico.

3.2 *Descrizione della simulazione degli allagamenti*

3.2.1 *Fosso Aghiale*

3.2.1.1 *Esondazione duecentennale*

La piena duecentennale critica, secondo le indicazioni fornite in precedenza, è legata al fenomeno di 2 ore per la sezione del ponte e 0.5 ore per la sezione 9. I punti di esondazione infatti sono i seguenti:

- in sinistra idraulica in corrispondenza della sezione 9
- in corrispondenza del ponte su via dell'Assunzione

Di seguito si riportano gli idrogrammi di esondazione con i parametri più significativi:

- Q_{max} è la portata di picco idrologica
- Q_{lim} è la portata limite per la sezione in esame
- Q_{es} è la portata di picco dell'idrogramma di esondazione ($Q_{max} - Q_{lim}$)
- V è il volume di esondazione connesso alla sezione in esame e al fenomeno simulato

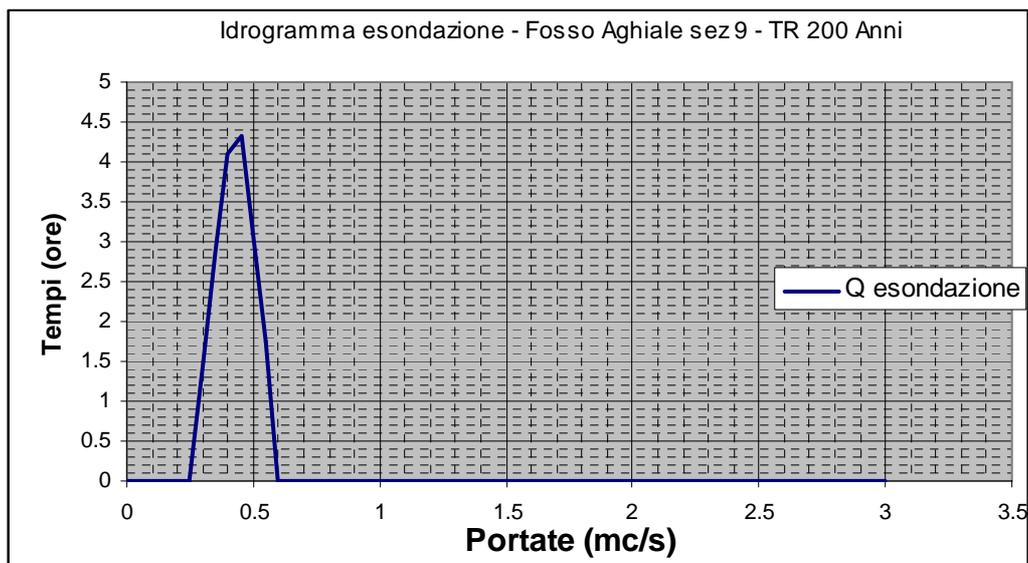


Tabella 3.2 - Idrogramma di esondazione relativo alla sez 9 del fosso Aghiale (TR200 anni)

Fosso Aghiale	
TR200	
Q_{max}	16.82
Q_{lim}	12.50
V	3158
Q_{es}	4.32

Tabella 3.3 - Parametri principali dell'idrogramma di esondazione relativo alla sezione 9 del fosso Aghiale (TR200 anni)

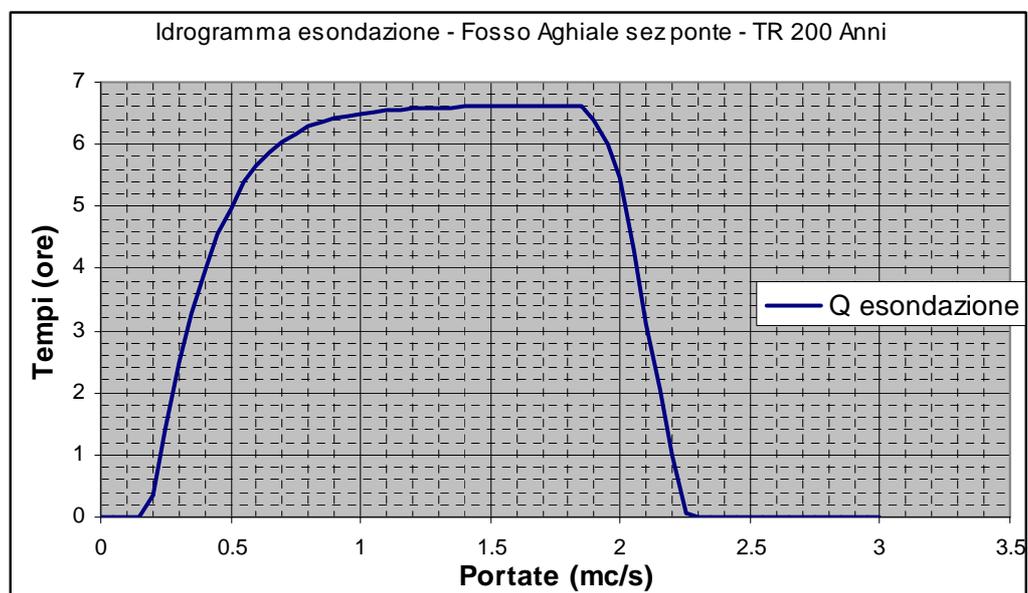


Tabella 3.4 - Idrogramma di esondazione relativo alla sezione del ponte su via dell'Assunzione del fosso Aghiale (TR200 anni)



Fosso Aghiale	
TR200	
Q_{max}	10.11
Q_{lim}	12.50
V	40078
Q_{es}	6.61

Tabella 3.5 – Parametri principali dell'idrogramma di esondazione relativo alla sezione del ponte su via dell'Assunzione del fosso Aghiale (TR200 anni)

Le zone esondabili risultano limitati in sinistra idraulica da via dell'Assunzione, nel tratto in cui questa diventa perpendicolare alla linea di costa; in destra idraulica interessano tutto il basso morfologico posto in adiacenza: infatti, la piena, in corrispondenza del ponte su via dell'Assunzione, non riesce a smaltire tutta la portata che di conseguenza esce in destra (in sinistra c'è un muro di un'abitazione) invadendo il piazzale esistente: da qui, attraverso una luce presente tra i muretti che lo delimitano, fluisce verso il mare. Le aree interessate dall'esondazione duecentennale sono riportate nell'elaborato grafico TAV 4

3.2.1.2 Esondazione trentennale

La piena trentennale critica, secondo le indicazioni fornite in precedenza, è legata al fenomeno di 2 ore. I punti di esondazione sono i seguenti:

- in corrispondenza del ponte su via dell'Assunzione

Di seguito si riportano gli idrogrammi di esondazione con i parametri più significativi, come indicato nei paragrafi precedenti.

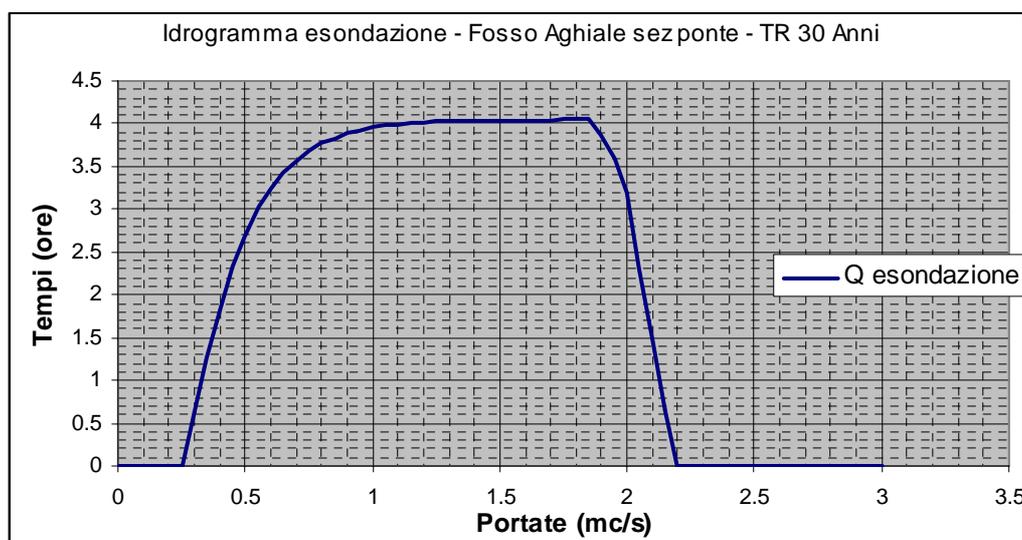


Tabella 3.6– Idrogramma di esondazione relativo alla sezione del ponte su via dell'Assunzione del fosso Aghiale (TR30 anni)

Fosso Aghiale	
TR30	
Q_{max}	7.55
Q_{lim}	12.50
V	23155
Q_{es}	4.05

Tabella 3.7 – Parametri principali dell'idrogramma di esondazione relativo alla sezione del ponte su Via dell'Assunzione del fosso Aghiale (TR30 anni)



Le zone esondabili risultano limitati alla destra idraulica, interessando parte del basso morfologico posto in adiacenza: infatti, la piena, come per il fenomeno duecentennale, in corrispondenza del ponte su via dell'Assunzione, non riesce a smaltire tutta la portata che di conseguenza esce in destra (in sinistra c'è un muro di un'abitazione) invadendo il piazzale esistente: da qui, attraverso la luce presente tra i muretti che lo delimitano, fluisce verso il mare. Le aree interessate dall'esondazione duecentennale sono riportate nell'elaborato grafico TAV 4

3.2.1.3 Esondazione ventennale

La piena ventennale critica, secondo le indicazioni fornite in precedenza, è legata al fenomeno di 1.5 ore. I punti di esondazione sono i seguenti:

- in corrispondenza del ponte su via dell'Assunzione

Di seguito si riportano gli idrogrammi di esondazione con i parametri più significativi, come indicato nei paragrafi precedenti.

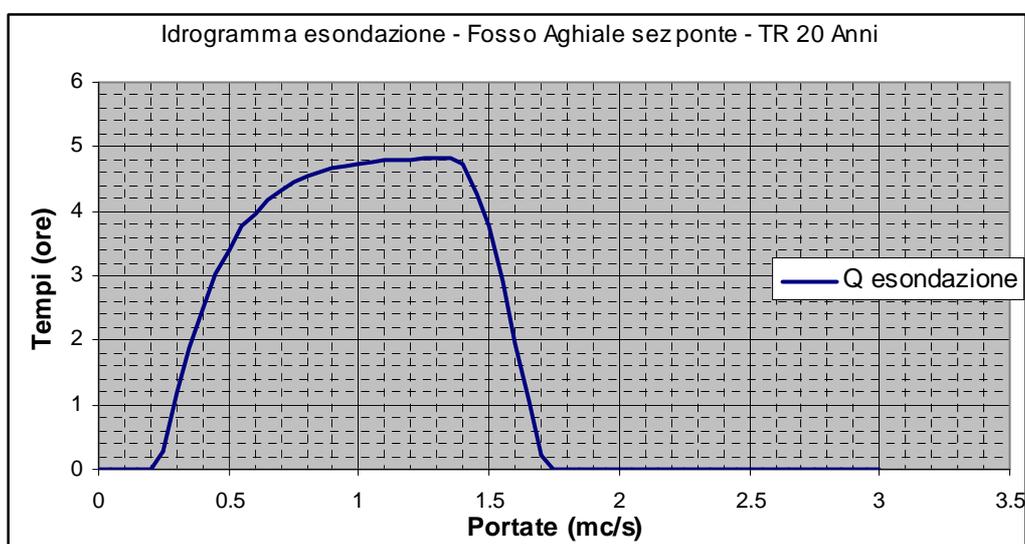


Tabella 3.8 – Idrogramma di esondazione relativo alla sezione del ponte su via dell'Assunzione del fosso Aghiale (TR20 anni)

Fosso Aghiale TR20	
Q_{max}	8.32
Q_{lim}	12.50
V	19571
Q_{es}	4.82

Tabella 3.9 Parametri principali dell'idrogramma di esondazione relativo alla sezione del ponte su Via dell'Assunzione del fosso Aghiale (TR20 anni)

Le zone esondabili risultano limitati alla destra idraulica, interessando parte del basso morfologico posto in adiacenza: infatti, la piena, come per il fenomeno duecentennale e quello ventennale, in corrispondenza del ponte su via dell'Assunzione, non riesce a smaltire tutta la portata che di conseguenza esce in destra (in sinistra c'è un muro di un'abitazione) invadendo il piazzale esistente: da qui, attraverso la luce presente tra i muretti che lo delimitano, fluisce verso il mare. Le aree interessate dall'esondazione duecentennale sono riportate nell'elaborato grafico TAV 4 e risultano meno estese rispetto ai fenomeni precedentemente indicati.



3.2.2 Vado del Porto

3.2.2.1 Esondazione duecentennale

La piena duecentennale critica, secondo le indicazioni fornite in precedenza, è legata al fenomeno di 1.5 ore. I punti di esondazione sono i seguenti:

- In corrispondenza del tratto compreso tra la sezione 9 e la sezione 10: tali fenomeni riguardano la sinistra idraulica

Di seguito si riportano gli idrogrammi di esondazione con i parametri più significativi, come indicato in precedenza

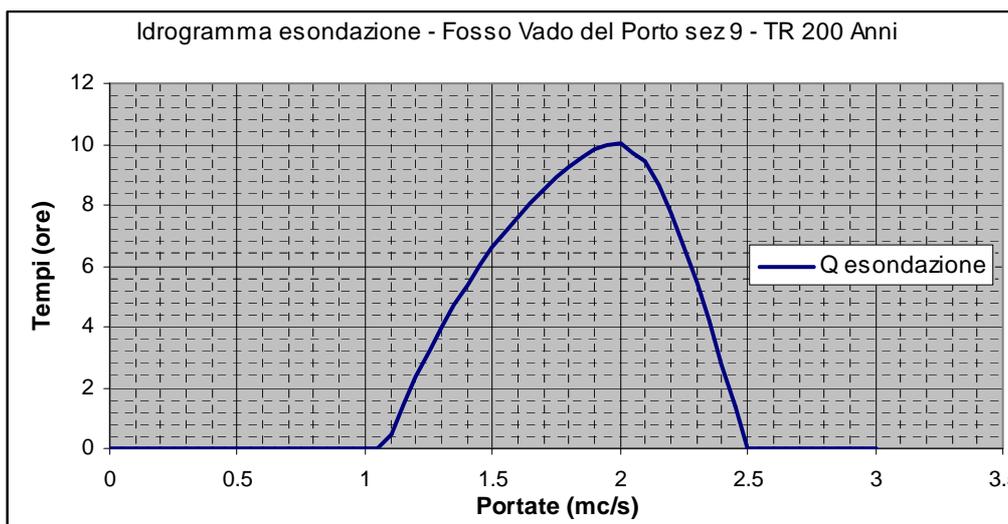


Tabella 3.10- Idrogramma di esondazione relativo alla sezione del ponte su via dell'Assunzione del fosso Vado del Porto (TR200 anni)

Vado del Porto TR 200 anni	
Q_{max}	35.24
Q_{lim}	25.20
V	32217
Q_{es}	10.04

Tabella 3.11 - Parametri principali dell'idrogramma di esondazione relativo alla sezione del ponte su Via dell'Assunzione del fosso Vado del Porto (TR200 anni)

Le zone esondabili non si trovano in destra idraulica, in considerazione del fatto che tale zona è occupata da un alto morfologico (realizzato in corrispondenza di un impianto dell'ENEL) e protetto da un muretto di sponda che risulta in grado di far fronte alla piena duecentennale. Le aree interessate dall'esondazione riguardano dunque tutta la zona pianeggiante in sinistra idraulica posta in adiacenza al corso d'acqua: si raggiungono tiranti più elevati riguardo al caso del fosso Aghiale in quanto la strada Via dell'Assunzione fa da argine al deflusso delle acque di esondazione verso il mare (tale viabilità è infatti posta ad una quota leggermente superiore al piazzale). Le aree interessate dall'esondazione duecentennale sono riportate nell'elaborato grafico TAV 4

3.2.2.2 Esondazione trentennale

La piena trentennale critica, secondo le indicazioni fornite in precedenza, è legata al fenomeno di 1 ore. I punti di esondazione sono i seguenti:



- In corrispondenza del tratto compreso tra la sezione 9 e la sezione 10: tali fenomeni riguardano la sinistra idraulica

Di seguito si riportano gli idrogrammi di esondazione con i parametri più significativi, come indicato in precedenza

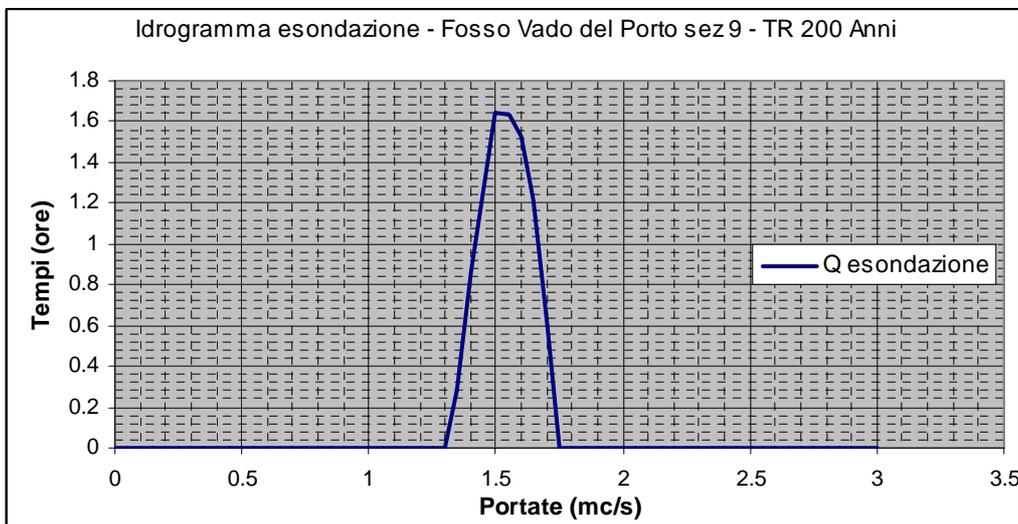


Tabella 3.12- Idrogramma di esondazione relativo alla sezione del ponte su via dell'Assunzione del fosso Vado del Porto (TR30 anni)

Vado del Porto TR 30 anni	
Q_{max}	26.84
Q_{lim}	25.20
V	1620
Q_{es}	1.64

Tabella 3.13 - Parametri principali dell'idrogramma di esondazione relativo alla sezione del ponte su Via dell'Assunzione del fosso Vado del Porto (TR30 anni)

Le zone esondabili e le dinamiche alluvionali ricalcano il fenomeno duecentennale, da cui differiscono per l'altezza del tirante idraulico (che chiaramente risulta più limitato). Le aree interessate dall'esondazione duecentennale sono riportate nell'elaborato grafico TAV 4.

3.2.2.3 Esondazione ventennale

In questo caso, poiché la piena ventennale relativa al fosso Vado del Porto risulta interamente contenuta all'interno dell'alveo del corso d'acqua principale, non si riscontrano fenomeni alluvionali inerenti a questo tempo di ritorno.

3.3 Definizione della pericolosità idraulica

La pericolosità idraulica è stata definita sulla base delle indicazioni normative citate e dei risultati delle simulazioni svolte: sono ottenute partendo dalla forma discretizzata fornita dal codice di calcolo per arrivare a confini continui delle aree a perimetrare. In particolare si ipotizza la perimetrazione delle seguenti aree:

- Per quanto riguarda la pericolosità idraulica definita con i criteri del PAI
 1. AREE PIME (Pericolosità Idraulico Molto Elevata): tali aree sono definite in corrispondenza delle zone interessate da esondazioni trentennali. Esse dunque comprendono tutti i bassi morfologici compresi tra l'Aghiale e il Vado del Porto; viceversa,



la fascia in destra idraulica rispetto all'Aghiale è stata molto limitata rispetto alle attuali cartografie del PAI, in accordo con le indicazioni ricevute durante lo svolgimento dei sopralluoghi. Sono inoltre indicate come aree PIME le fasce a 10 m dal limite esterno dei fossi (fasce vincolate dalle indicazioni del RD523/1904). Infine, viene confermata la pericolosità idraulica relativa alle aree a valle di Via dell'Assunzione

2. AREE PIE (Pericolosità Idraulico Elevata): tali aree sono definite in corrispondenza delle zone interessate da esondazioni duecentennali: Tali aree comprendono una zona leggermente più estesa dell'area PIME nel basso morfologico compreso tra le due aste analizzate
- Per quanto riguarda la pericolosità idraulica definita con i criteri Decreto del presidente della giunta regionale Toscana 27 aprile 2007 n. 26/R
 1. Aree interessate da esondazioni ventennali, nelle quali non si possono operare previsioni urbanistiche salvo infrastrutture a rete non diversamente localizzabili. Tali zone non sono presenti lungo il tracciato del fosso del Vado del Porto (in quanto capace di smaltire la piena duecentennale), mentre per quanto riguarda il fosso dell'Aghiale comprendono una modesta fascia nella parte subito a monte dell'attraversamento di Via dell'Assunzione. Sono da considerarsi inondabili con tempo di ritorno inferiore a vent'anni anche tutte le aree a valle della via dell'Assunzione in considerazione della loro configurazione orografica, come detto nei paragrafi precedenti.

La proposta di modifica della pericolosità idraulica, come qui delineata, è riportata nell'elaborato grafico TAV 5, nella quale si rappresenta anche, per confronto, l'attuale pericolosità idraulica del territorio, riportata nel PAI vigente.

4. PREVISIONI DI MESSA IN SICUREZZA

Per quanto la messa in sicurezza, la previsione deve necessariamente prendere in considerazione le ipotesi prospettate all'interno del Piano degli Interventi Strutturali del P.A.I. Di seguito si riporta un estratto della carta degli interventi strutturali inerente al reticolo preso in esame.

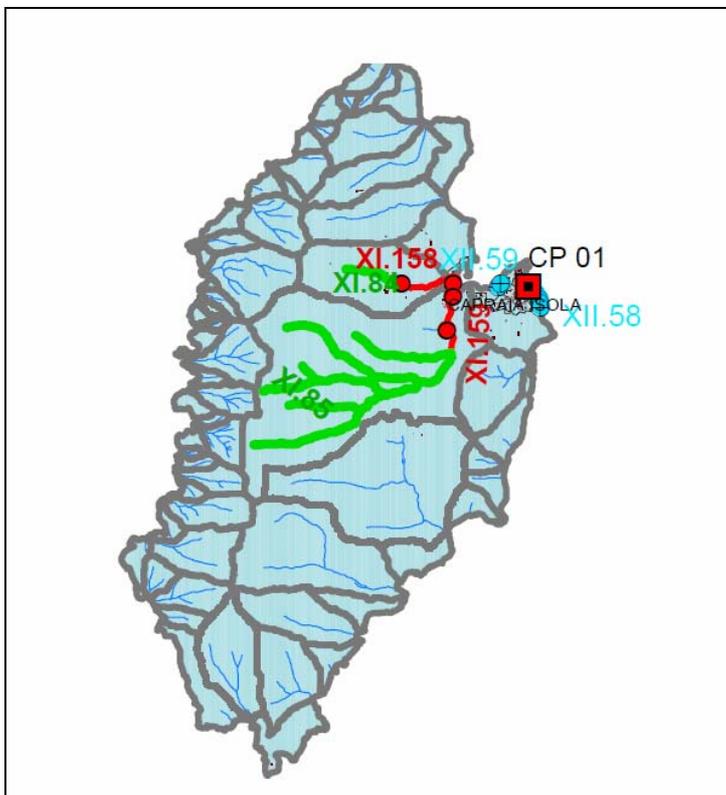


Figura 4.1 – Carta degli interventi strutturali del P.A.I.

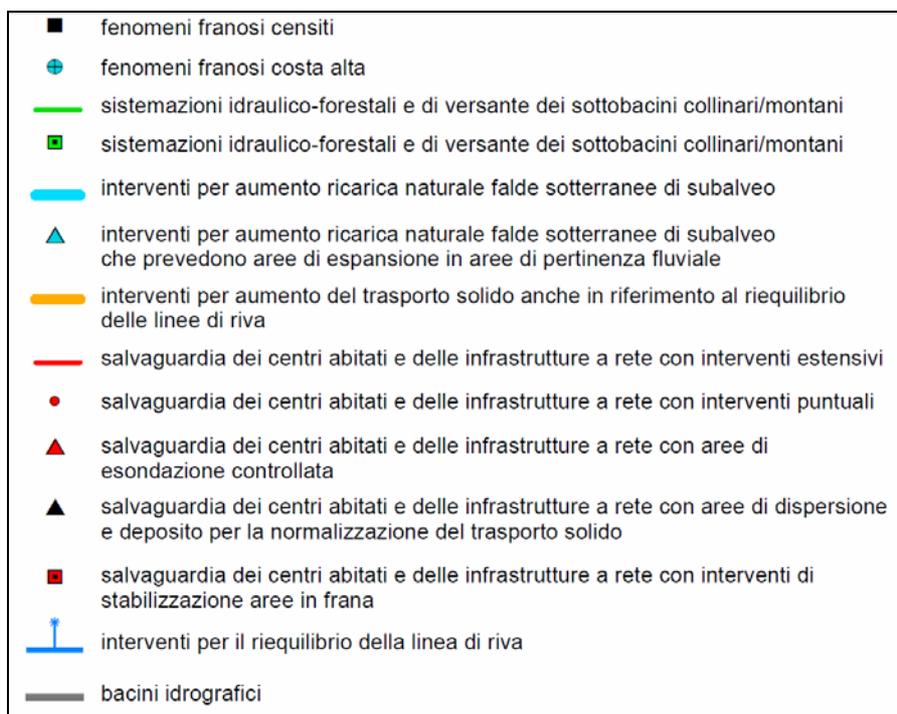


Figura 4.2 – Legenda della carta degli interventi strutturali del PAI



Dall'esame degli stralci sopra riportati si può notare come sulle aste in esame siano previsti soltanto due tipi di interventi:

- Salvaguardia dei centri abitati e delle infrastrutture a rete con interventi estensivi: in pratica questa categoria di interventi prevede l'aumento della capacità di deflusso dei corsi d'acqua analizzati, mediante ampliamento delle sezioni trasversali (innalzamento dei muretti o degli argini, allargamento degli alvei, ecc.). Un'altra possibilità per l'aumento della capacità di deflusso potrebbe essere la diminuzione della scabrezza, ma tale ipotesi risulta meno auspicabile, in considerazione delle elevate pendenze che già allo stato attuale inducono elevate velocità alla corrente in caso di piena. Per quanto l'ubicazione di questo tipo di interventi, essi riguardano il tratto basso delle aste, in prossimità dei centri abitati.
- Salvaguardia dei centri abitati e delle infrastrutture a rete con interventi puntuali: tali previsioni riguardano gli attraversamenti ritenuti più critici
- Sistemazioni idraulico-forestali e di versante dei sottobacini collinare/montani

L'approfondimento del quadro conoscitivo, necessario per la stesura del presente studio idraulico, conferma la linea di interventi previsti all'interno del PAI: sicuramente inadeguato, infatti, sarebbe il ricorso a casse di espansione o zone ad esondazione controllata, in considerazione degli scarsi spazi disponibili e della notevole acclività del territorio analizzato.

Per quanto riguarda gli interventi di salvaguardia, estesi e puntuali, le previsioni qui indicate (riportate nell'elaborato grafico TAV6) riprendono le previsioni del PAI; tuttavia si ritiene possibile ridurre l'estensione dell'area di intervento, in virtù del fatto che le insufficienze riscontrate interessano tratti più limitati vicino alla foce rispetto a quelli delineati all'interno del PAI. Tra gli interventi di aumento della capacità di deflusso, stanti gli invarianti antropici presenti lungo il tracciato dei corsi d'acqua, si indica la preferenza per l'innalzamento delle opere di sponda e in particolare dei muretti, il cui rialzamento è nell'ordine di 1m (interventi inseriti nella modellazione idraulica dello stato di progetto, allegato idraulico ALL2.I). Tali opere si collocheranno inoltre all'interno della fascia di rispetto dei corsi d'acqua individuata all'interno del RD 523/1904 (fascia di ampiezza 10m).

Si conferma la necessità di interventi di tipo idraulico-forestale, tra i quali si distinguono:

- a) interventi strutturali, necessari per la diminuzione dell'energia della corrente, come briglie o rampe
- b) interventi diffusi sui versanti, come riduzione dell'acclività tramite gradonatura

Tuttavia, gli obiettivi perseguiti con questo tipo di interventi risultano perlopiù raggiungibili attraverso una efficiente manutenzione dei corsi d'acqua, con pulizia degli stessi dalla vegetazione presente nella loro area di interesse.



5. CONCLUSIONI

Lo studio sui corsi d'acqua Vado del Porto e Aghiale è stato svolto secondo le modalità definite all'interno dei "Criteri per lo sviluppo degli studi e la valutazione di efficacia" riportati nel Piano degli interventi strutturali del PAI e secondo le successive indicazioni dettate dai tecnici dell'Autorità di Bacino. I dati di partenza sono stati forniti dalla Regione Toscana: per lo svolgimento degli studi sono stati inoltre svolti sopralluoghi per ottimizzare l'adattamento dei modelli al territorio in esame. La cartografia a disposizione è stata inoltre integrata attraverso il rilievo di dettaglio effettuato dal geom. Cristiano Pampana e aggiornato al giugno 2010. I modelli svolti sono stati costruiti su basi teoriche ampiamente trattate in letteratura e utilizzate nella pratica: i parametri impiegati nei modelli risultano assolutamente prudenziali.

Sulla base di quanto appena descritto, si ritiene che il presente studio possa essere adottato come base per la perimetrazione delle aree di pericolosità del territorio, raggiungendo l'obiettivo per cui lo studio stesso è stato compiuto.