



COMUNE
di
CAPANNOLI

CONSORZIO
4 BASSO
VALDARNO



Con la Collaborazione scientifica:

UNIVERSITA' DI PISA
Dipartimento di Scienze Agrarie,
Alimentari e Agro-ambientali



TITOLO DEL PROGETTO

**RIQUALIFICAZIONE E VALORIZZAZIONE DEL FIUME ERA
PARCO FLUVIALE
PROGETTO DEFINITIVO**



STRUTTURA DI PROGETTAZIONE

Arch. Maria Antonietta Vocino - Responsabile del Procedimento

Dott. Ing. Gianluca Soro - Coord. ed integrazione delle figure specialistiche

Ing. Marco Del Turco - idrologia e idraulica

Geol. Silvia Lorenzoni - geologia e modellazione geotecnica

Geom. Luca Palazzuoli - sicurezza e coordinamento ed espropri

Ing. Andrea Capecchi - strutture e calcoli geotecnici

Dott. Carlo Scoccianti - ecologia applicata

Dott.ssa Elisabetta Norci - agricoltura e paesaggio

Dott. Andrea Bertacchi - Università di Pisa - geobotanica

Geom. Alessandro Bettarini - rilievi topografici

TITOLO ELABORATO

**Relazione
idrologico-idraulica**

CODICE ELABORATO

IDR.DOC.D

1

SCALA

REVISIONE

DATA

MARZO 2018



Consorzio 4 Basso Valdarno

Relazione Idrologica-Idraulica

**Riqualificazione e valorizzazione del fiume Era -Parco
Fluviale - Progettazione definitiva**

redatta da:

ing. Marco Del Turco

Ponte a Egola – marzo 2018

INDICE.

Indice.....	2
1 Premessa.....	3
2 Descrizione dell'intervento.....	4
Dati Autorità di Bacino.....	6
3 Valutazioni idrologiche.....	10
3.1 Piano urbanistico del Comune di Capannoli.....	10
3.2 Evento di piena del 3-4 marzo 2018.....	12
3.3 Analisi delle frequenze di allagamento dell'area.....	20
3.3.1. Stima del Tempo di Ritorno.....	20
3.3.2. Analisi delle frequenze di superamento di una determinata soglia idrometrica.....	21
4 Valutazioni sul livello idraulico dell'area.....	25
5 Analisi comportamento idraulico della passerella.....	26
5.1 Descrizione del modello HEC-RAS.....	26
5.2 Inserimento dati in modellazione.....	29
5.2.1. Geometria.....	29
5.2.2. Condizioni al contorno.....	30
5.3 Scenari di verifica.....	30
5.4 Sintesi dei risultati di calcolo.....	30
6 Conclusioni.....	33

1 PREMESSA.

La presente relazione fa parte del progetto di rinaturalizzazione dell'area del comune di Capannoli (PI), posta in prossimità di un meandro del fiume Era, con lo scopo di creare un'area di fruizione pubblica definita Parco Fluviale.

Lo scopo questa relazione è quello di descrivere il comportamento idraulico dell'area oggetto di intervento, in funzione degli eventi di piena che possono interessare il fiume Era.

Per quanto riguarda gli aspetti idrologici è stato fatto riferimento alla relazione idrologica-idraulica facente parte del Regolamento Urbanistico del Comune di Capannoli, approvato con Delibera di Consiglio Comunale n. 19 del 20 aprile 2009, successiva variante manutentiva approvata con Deliberazione di Consiglio Comunale n. 29 del 31 luglio 2013 e successiva variante per aggiornamento quinquennale approvata con Deliberazione di Consiglio Comunale n. 43 del 26 settembre 2017.

Sono stati poi utilizzati i dati dell'idrometro posto poco più a valle dell'area oggetto del progetto, relazionandone i livelli misurati con le esondazioni effettivamente verificate nell'area del parco, attraverso sopralluoghi puntuali durante tali eventi di piena; i dati in parola (livelli idrometrici e relative portate) sono stati forniti dal Servizio Idrologico della Regione Toscana

Con quanto ricavato sono state fatte valutazioni circa le dinamiche idrauliche nell'area in oggetto in funzione delle piene in transito, allo stato attuale e allo stato di progetto, facendo riferimento al rilievo effettuato facente parte del presente progetto e delle quote idriche rilevate dopo eventi di piena monitorati.

È stata infine condotta la verifica idraulica della passerella realizzata in sostituzione dell'attuale.

2 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO.

L'area di intervento ricade nel comune di Capannoli in prossimità del meandro del fiume Era indicato nella Figura 2.1.



Figura 2.1 – Area di intervento

Allo stato attuale durante le piene, al crescere del livello liquido in alveo, l'acqua inizia a sfiorare nel punto A, correndo verso il punto B dove ritorna nel letto, "tagliando" il meandro. All'aumentare della portata, la superficie delimitata dall'ansa dell'Era è progressivamente allagata da est verso ovest.

Il progetto consiste nella piantumazione di essenze locali che ben si adattano alle varie quote dell'area e alle conseguenti diverse situazioni di allagamento. L'intervento si completa con l'individuazione in tale area di percorsi pedonali, tra i quali per alcune porzioni a quota più bassa sono previsti tratti palafittati, in modo da non ostacolare il deflusso, e garantire la fruibilità anche subito dopo l'evento di piena. Per la realizzazione di tali percorsi è previsto il ripristino dell'attuale passerella che collega le due sponde del fiume Era.

Allo stato di progetto la dinamica idraulica nell'area racchiusa dal meandro non subisce alcuna modifica rispetto a quello che già oggi si verifica, in quanto non sono previste variazioni di percorso, né tanto meno opere di invaso o di trattenuta.

DATI AUTORITÀ DI BACINO.

Con le delibere del Comitato Istituzionale n. 231 e 232 del 17 dicembre 2015 è stato adottato il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del bacino del fiume Arno con apposizione delle misure di salvaguardia. Successivamente con delibera del Comitato Istituzionale n. 235 del 3 marzo 2016 il Piano è stato definitivamente approvato.

Di seguito sono riportate le perimetrazioni per quanto riguarda la Pericolosità da Alluvioni e il Rischio Idraulico.

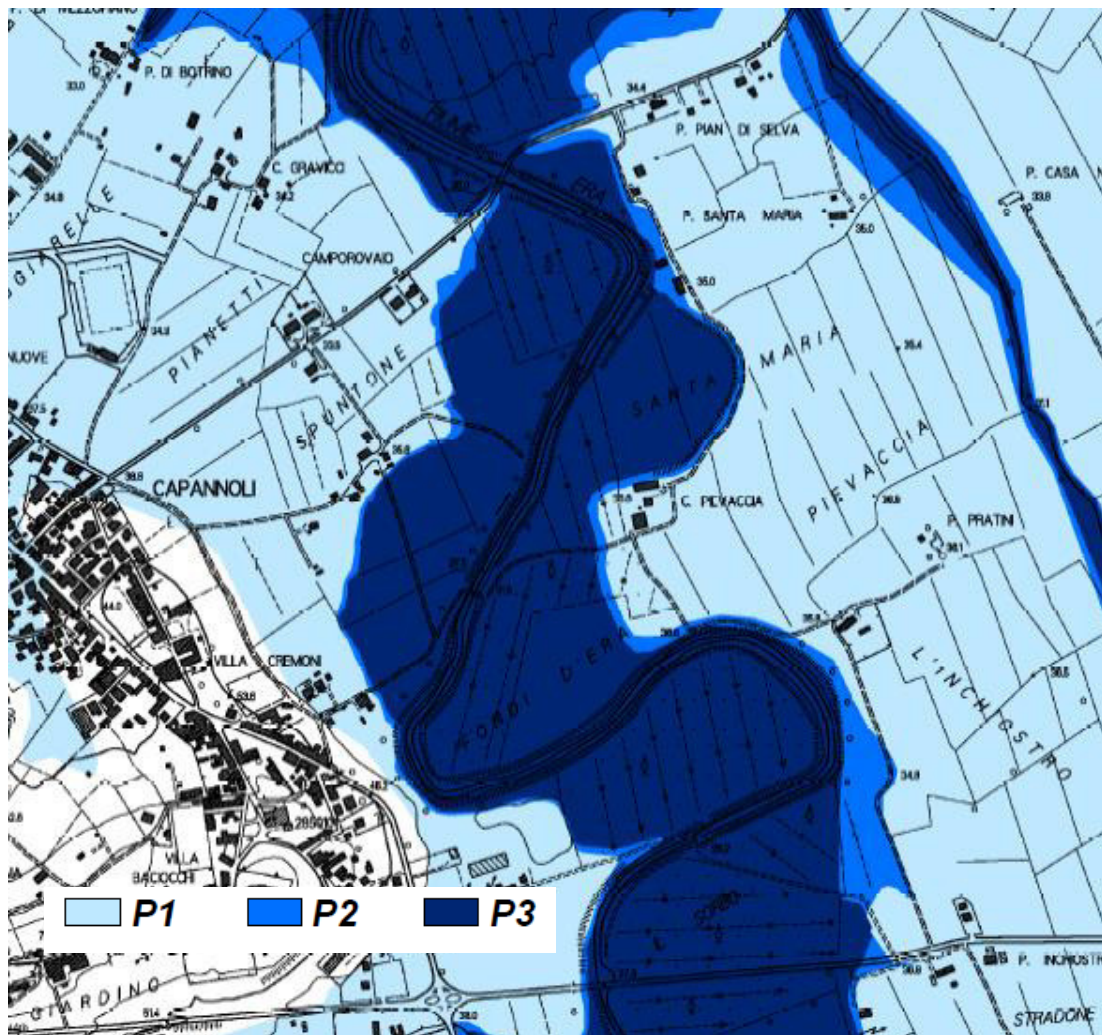


Figura 0.1 – Perimetrazione della pericolosità idraulica, estratto dello stralcio 528 della cartografia del P.G.R.A..

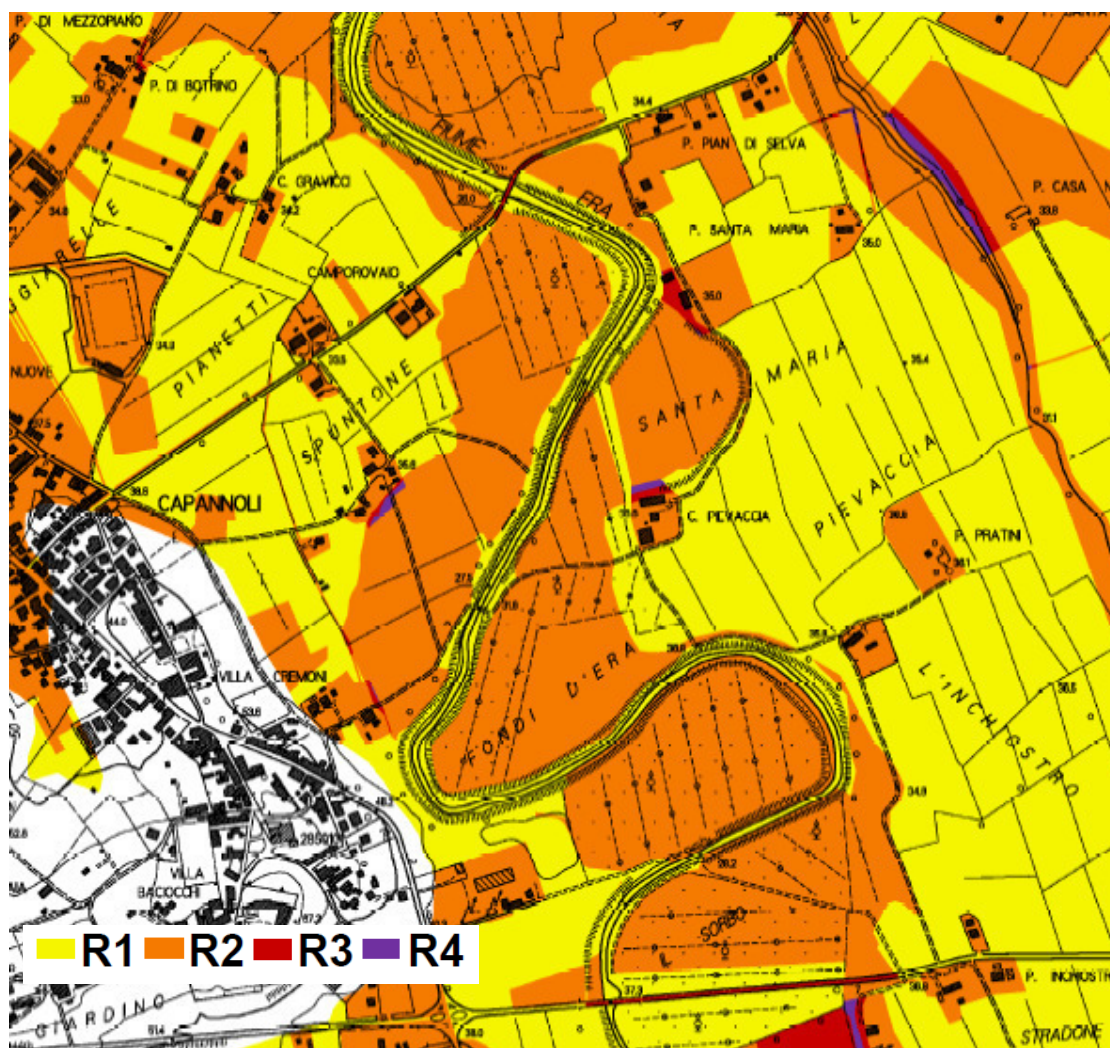


Figura 0.2 – Perimetrazione del rischio idraulico, estratto dello stralcio 528 della cartografia del P.G.R.A..

Dagli estratti sopra riportati si evince che l'area in cui ricade il parco è classificata a **pericolosità idraulica P3** (pericolosità da alluvione elevata, corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno minore/uguale a 30 anni) e **rischio idraulico R2** (rischio medio).

Il rischio scaturisce dalla sovrapposizione della pericolosità idraulica con il potenziale danno che può scaturire. L'area oggetto di progetto rientra nella classe di danno potenziale D2 (Danno potenziale medio): aree con limitati effetti sulle persone e sul tessuto socio-economico. Aree attraversate da infrastrutture secondarie e attività produttive minori, destinate sostanzialmente ad attività agricole o a verde pubblico;

Di seguito si riporta quanto descritto nelle Discipline di piano circa tali perimetrazioni:

Art. 7. Aree a pericolosità da alluvione elevata (P3) – Norme

1. Nelle aree P3, per le finalità di cui all'art. 1 sono da consentire gli interventi che possano essere realizzati in condizioni di gestione del rischio idraulico, con riferimento agli obiettivi di cui all'art. 1 comma 4, fatto salvo quanto previsto ai commi 2 e 3.
2. Nelle aree P3 per le finalità di cui all'art. 1, l'Autorità di bacino si esprime sugli interventi di seguito elencati, in merito alla compatibilità degli stessi con il raggiungimento degli obiettivi di PGRA delle U.O.M. Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone:

- a) *misure di protezione previste dal PGRA delle U.O.M. Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone e misure previste dal PGA;*
 - b) *interventi di sistemazione idraulica e geomorfologica, ad eccezione delle manutenzioni ordinarie, straordinarie e dei ripristini;*
 - c) *interventi di ampliamento e ristrutturazione delle opere pubbliche o di interesse pubblico esistenti, riferite ai servizi essenziali, e della rete infrastrutturale primaria, nonché degli impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo n. 152/2006 dichiarati di interesse pubblico;*
 - d) *nuovi interventi relativi alla rete infrastrutturale primaria, se non diversamente localizzabili;*
 - e) *nuovi impianti di potabilizzazione e depurazione, compresi i servizi a rete e le infrastrutture*
 - f) *a questi connessi; nonché interventi di ampliamento, di ristrutturazione di tali impianti e infrastrutture.*
3. *Fatto salvo quanto previsto all'art. 14 comma 8, nelle aree P3 non sono consentite:*
- a) *previsioni di nuove opere pubbliche e di interesse pubblico riferite a servizi essenziali;*
 - b) *previsioni di nuove aree destinate alla realizzazione di impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo n. 152/2006;*
 - c) *previsioni che comportano la realizzazione di sottopassi e volumi interrati;*
4. *Le Regioni disciplinano le condizioni di gestione del rischio idraulico per la realizzazione degli interventi nelle aree P3.*

Art. 8 – Aree a pericolosità da alluvione elevata (P3) – Indirizzi per gli strumenti di governo del territorio

1. *Fermo quanto previsto all'art. 7 e all'art. 14 comma 8, nelle aree P3 per le finalità di cui all'art. 1 le Regioni, le Province e i Comuni, nell'ambito dei propri strumenti di governo del territorio si attengono ai seguenti indirizzi:*
- a) *sono da privilegiare le trasformazioni urbanistiche tese al recupero della funzionalità idraulica, alla riqualificazione e allo sviluppo degli ecosistemi fluviali esistenti, nonché le destinazioni ad uso agricolo, a parco e ricreativo – sportive;*
 - b) *sono da evitare le previsioni e le realizzazioni di nuove edificazioni, salvo che non siano possibili localizzazioni alternative. In ogni caso, le previsioni di nuova edificazione non diversamente localizzabili sono da subordinare al rispetto delle condizioni di gestione del rischio idraulico. PGRA - Uom Arno*
 - c) *le previsioni e realizzazioni di interventi di ristrutturazione urbanistica sono da subordinare al rispetto delle condizioni di gestione del rischio idraulico.*

Dal Piano Stralcio Rischio Alluvioni, il cui aggiornamento è stato approvato con Decreto del Segretario Generale n. 67 del 30 novembre 2015, le aree oggetto di intervento sono classificate di tipo A, ovvero di inedificabilità assoluta come recita la norma 2 delle norme di attuazione di seguito riportata:

Norma 2 Norma di attuazione del piano stralcio per la riduzione del rischio idraulico nel bacino dell'Arno: vincolo di non edificabilità (aree A).

Le aree A del Piano di Bacino, stralcio Rischio Idraulico, e cioè le aree degli interventi di piano per la mitigazione del rischio idraulico sulle quali si può procedere alla progettazione, sono soggette a vincolo di inedificabilità assoluta.

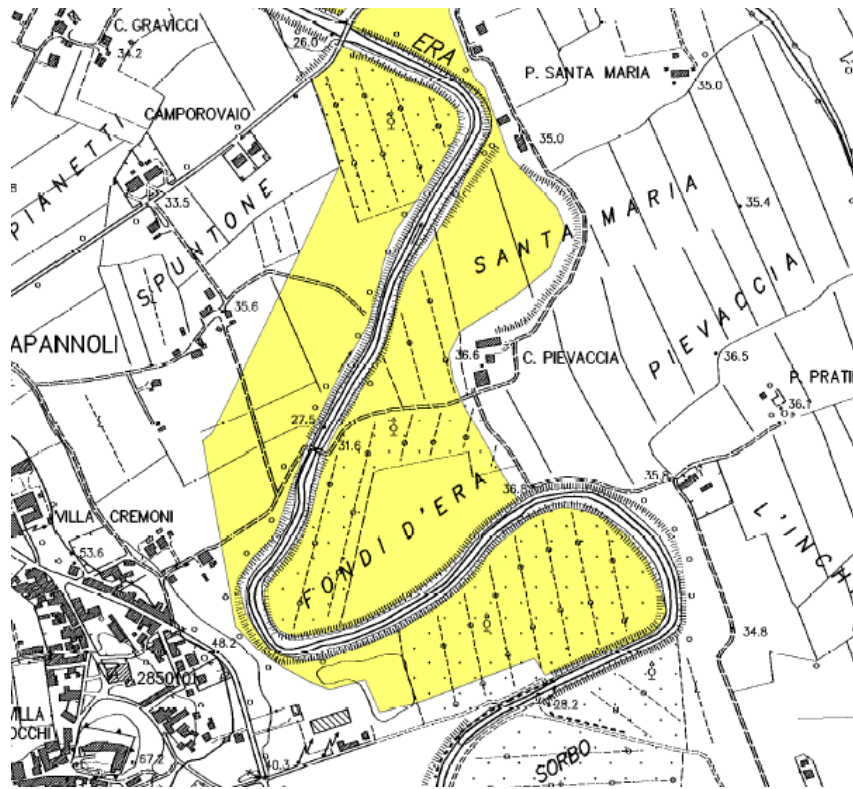


Figura 0.3 – Area tipa A del Piano Stralcio Rischio Idraulico

3 VALUTAZIONI IDROLOGICHE

3.1 PIANO URBANISTICO DEL COMUNE DI CAPANNOLI.

I dati di seguito riportati sono stati ricavati dalla relazione idrologica-idraulica facente parte del Regolamento Urbanistico del Comune di Capannoli, approvato con Delibera di Consiglio Comunale n. 19 del 20 aprile 2009, successiva variante manutentiva approvata con Deliberazione di Consiglio Comunale n. 29 del 31 luglio 2013 e successiva variante per aggiornamento quinquennale approvata con Deliberazione di Consiglio Comunale n. 43 del 26 settembre 2017.

Facendo riferimento alle sezioni inserite in tale studio, che sono esse stesse riferite a quelle presenti nella banca dati dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno e che sono evidenziate nella Figura 3.1 che segue, le portate attese in funzione del tempo di ritorno sono state sintetizzate in Tabella 3-1 e i conseguenti livelli liquidi nelle sezioni evidenziate riportati in Tabella 3-2.

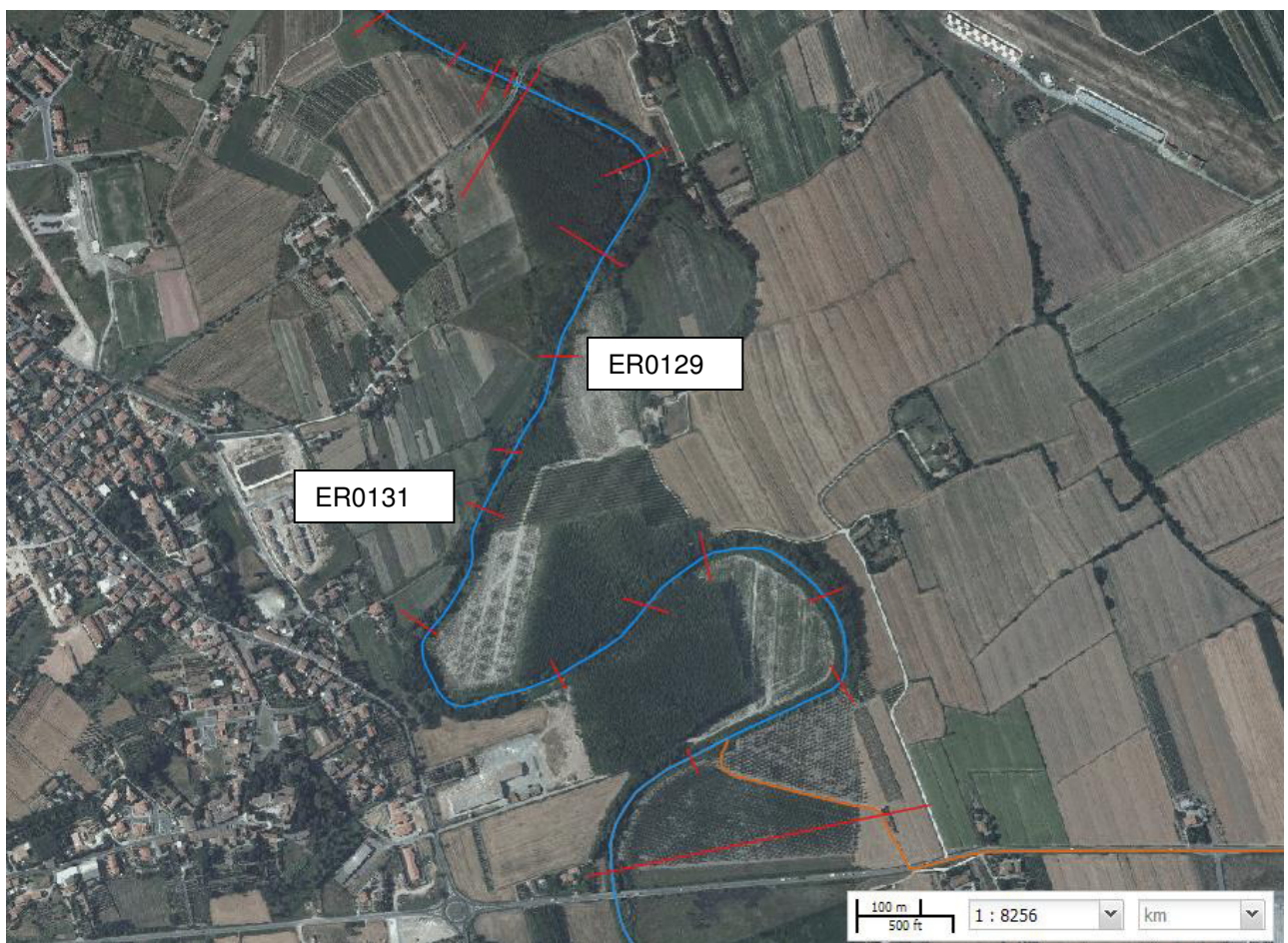


Figura 3.1 – Area di intervento con evidenziate le sezioni riportate nel regolamento urbanistico del comune.

<i>sezione</i>		Q_{030}	Q_{100}	Q_{200}
ER0126	S44	472.1	637.01	753.01

Tabella 3-1 – Portate stimante per i vari tempi di ritorno

<i>sezione</i>		TR_{030}	TR_{100}	TR_{200}
ER0129	S41	32.61	33.21	33.78
ER0131	S38	33.01	33.47	33.93

Tabella 3-2 – Livelli idrometrici alle sezioni di riferimento

3.2 EVENTO DI PIENA DEL 3-4 MARZO 2018.

Il giorno 3 marzo, a seguito delle piogge che si erano registrate nella mattinata nel bacino dell’Era, è stato deciso di monitorare il transito della conseguente piena. Il fine di tale monitoraggio era quello di correlare i dati misurati dall’idrometro di Capannoli (vedi dati in Tabella 3-3) con gli effetti della piena sull’area oggetto di intervento.

Era a Capannoli - Capannoli (PI)		
Codice	TOS01005131 • 735309 • 5131	
UTM [m]	E 635969	N 4827969
GB [m]	E 1635916	N 4827789
WGS84 [°]	LAT 43.59	LON 10.68
Bacino	ARNO	
Zero idrom. slm [m]	25.00	
Livello szl [m]	4.65 -> 16/03/2018 15:15	

Tabella 3-3 – Monografia dell’idrometro sull’Era a Capannoli.

Di seguito sono riportati dei dettagli fotografici con indicata l’ora dello scatto, in modo da riferire il livello rilevato con quello misurato dall’idrometro.

Ore 16:20; la portata è contenuta in alveo.

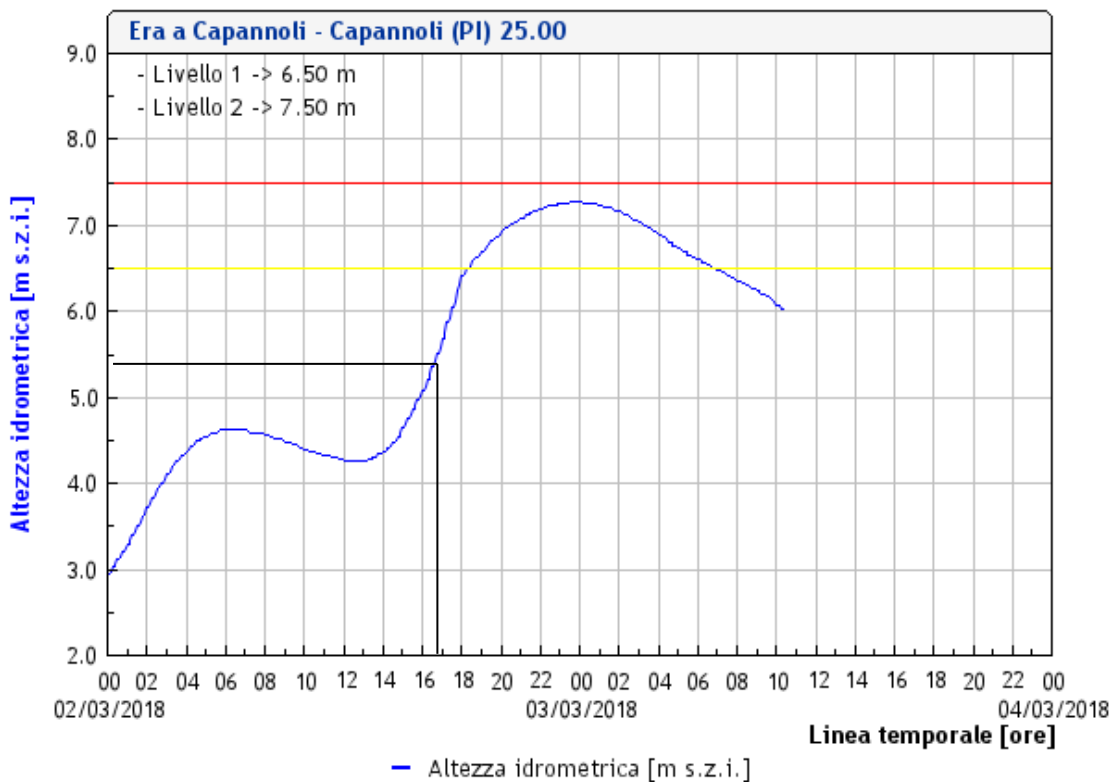


Figura 3.2 – Punto di sfioro visto dalla destra idraulica; a destra il parco in progetto; in sfondo Capannoli.

Ore 16:30; la portata inizia a sfiorare nell'area del parco, per un'altezza rilevata di 5.40-5.50



Figura 3.3 – Punto di sfioro dalla destra idraulica; si nota il flusso entrante; sotto la misura idrometrica.



Centro Funzionale Regione Toscana <http://www.cfr.toscana.it>

Ore 16:39; l'area inizia a invasare acqua dell'Era, ancora circoscritta al punto di sfioro.



Figura 3.4 – Punto di sfioro visto dalla destra idraulica; a destra il parco in progetto; sullo sfondo il capannone prima dell'abitato di Capannoli.

Ore 16:54; punto di immissione in Era; presente solo acqua di ristagno da piena precedente.



Figure 3.5 – Area interna al parco; in fondo a sinistra il punto di reimmissione in Era; l’acqua esondata non è ancora arrivata qui.



Figure 3.6 – Area interna al parco vicino al punto di reimmissione in Era; si nota il vecchio tracciato della strada; ancora l’acqua esondata non è arrivata qui.

Ore 17:05; il flusso dentro l'area del parco è iniziato in maniera evidente.



Figura 3.7 – Punto di sfioro visto dalla destra idraulica; a destra il parco in progetto; sullo sfondo l'abitato di Capannoli.

Ore 17:15; il flusso ha raggiunto il punto di immissione in Era.

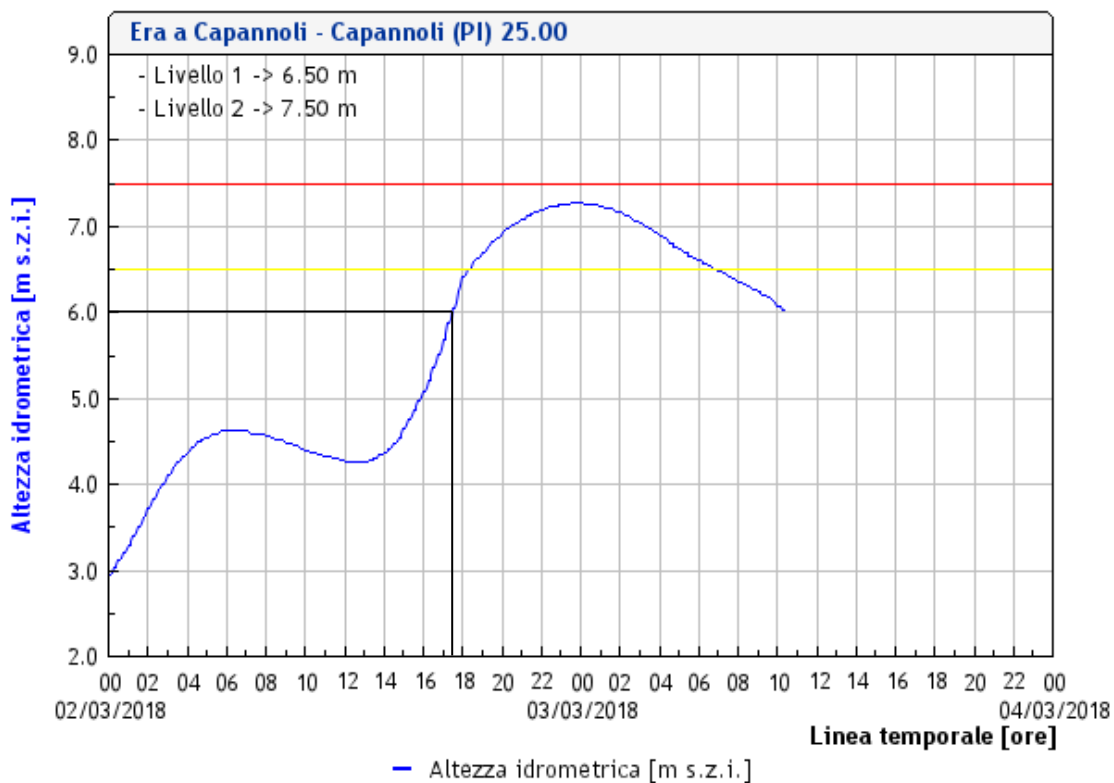


Figure 3.8 – Area interna al parco vicino al punto di reimmissione in Era; si nota il vecchio tracciato della strada ormai sormontato; l'acqua esondata ha impiegato circa 30-40 minuti ad arrivare fino a qui.

Ore 17:25; situazione al punto di sfioro. Livello rilevato all'idrometro 6.00 m



Figura 3.9 – Punto di sfioro visto dalla destra idraulica; a destra il parco in progetto; sullo sfondo l’abitato di Capannoli; il flusso liquido è deciso ed ampio allo sfioro prima di ricanalizzarsi verso valle.



Centro Funzionale Regione Toscana <http://www.cfr.toscana.it>

A seguito del monitoraggio di questo evento di piena, è stato possibile identificare quali sono le altezze relative all'idrometro di Capannoli, oltre le quali si ha una esondazione nell'area del parco fluviale. In particolare si vede che con altezza misurata di 5,40-5,50 m si ha l'inizio dell'esondazione, che però rimane molto circoscritta all'area di sfioro.

Quando il livello misurato arriva a 6,00 m, la superficie di sfioro è molto ampia, si è formato un deflusso regolare che taglia il cappio dell'Era e rientra a valle.

L'onda di piena ha toccato il suo picco di 7,25 m all'idrometro, circa intorno alla mezzanotte; da successivo sopralluogo sull'area si è visto che tale piena ha interessato tutta l'area del cappio, anche quella più interna la cappio, più vicina al Fiume e risulta avere una quota maggiore.

Da rilievo eseguito, si vede che il livello raggiunto dall'acqua è di circa 32,6 m s.l.m. nella zona vicina al punto di sfioro e di circa 32,1 m s.l.m. sul tracciato del vecchio sentiero di collegamento che conduce alla passerella

3.3 ANALISI DELLE FREQUENZE DI ALLAGAMENTO DELL'AREA.

3.3.1. STIMA DEL TEMPO DI RITORNO.

Con i dati forniti dal Servizio Idrologico Regionale della Regione Toscana, circa le altezze misurate dall'idrometro di Capannoli nell'intervallo di tempo dal 1998 al 2017, è stato possibile analizzare la frequenza con cui l'area del parco fluviale è interessata da una inondazione. Il set di dati è relativo a 19 anni di misurazioni perché nel 2009 non sono state effettuate registrazioni.

Anno	h_{max}
1998	6.26
1999	7.46
2000	7.28
2001	7.00
2002	6.72
2003	6.71
2004	6.78
2005	7.01
2006	6.41
2007	6.46
2008	6.12
2010	7.06
2011	7.04
2012	7.21
2013	7.18
2014	7.63
2015	6.66
2016	7.00
2017	6.93

Tabella 3-4 – Altezze massime registrate all'idrometro di Capannoli

Analizzando statisticamente questi dati, con il modello di Gumbel, sono state stimante le seguenti altezze idrometriche in funzione del tempo di ritorno:

$[m]$	h_{003}	h_{005}	h_{010}	h_{030}	h_{100}	h_{200}
altezza idrometro	6.99	7.17	7.41	7.76	8.13	8.34

Tabella 3-5 – Altezze idrometriche stimante all'idrometro di Capannoli in relazione al tempo di ritorno

Osservando questi risultati si deduce che la frequenza di allagamento dell'area non ha il carattere dell'eccezionalità (cosa per altro confermata sia dall'esperienza del Consorzio di Bonifica, che dalla toponomastica dei luoghi).

3.3.2. ANALISI DELLE FREQUENZE DI SUPERAMENTO DI UNA DETERMINATA SOGLIA IDROMETRICA.

È stata quindi condotta una analisi dei dati, in funzione delle altezze di riferimento dedotte al paragrafo 3.2, valutandone la frequenza di superamento media nel periodo di riferimento, sia suddivisa per anno che per mese, in modo da evidenziare i periodi con maggior carenza di acqua.

Le tabelle che seguono riportano il numero di volte che, nel periodo di riferimento (1998-2017, con escluso il 2009), è stata superata l'altezza di soglia rispetto a cui ciascuna si riferisce; gli anni sono ordinati in base al numero di superamenti registrati che sono suddivisi per i dodici mesi dell'anno. I valori di media riportati rappresentano rispettivamente:

- media : la media di tutti i dati
- media1 : la media di tutti i dati escluso il maggiore e il minore;
- media 2 : la media di tutti i dati esclusi i due maggiori e i due minori.

soglia di riferimento 5 m													
anno	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	somma
2007	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1998	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3
1999	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	5
2008	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
2001	3	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	6
2011	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
2017	1	2	1	0	0	0	0	0	2	0	0	1	7
2002	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	9
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	9
2004	2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	1	3	10
2003	4	3	0	1	0	0	0	0	0	0	4	0	12
2005	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	8	3	13
2006	6	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	3	13
2015	2	6	3	1	0	0	0	0	0	1	0	0	13
2013	3	2	4	2	0	0	0	0	0	2	3	0	16
2014	5	9	3	1	0	0	1	0	0	0	3	1	23
2016	2	11	1	5	0	0	0	0	0	1	3	0	23
2000	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	14	6	24
2010	8	2	2	0	3	0	0	0	0	1	12	10	38
somma	44	45	21	13	5	0	1	0	5	6	60	36	236
media	2.3	2.4	1.1	0.7	0.3	0.0	0.1	0.0	0.3	0.3	3.2	1.9	12.4
media1	2.1	2.5	1.1	0.8	0.1	0.0	0.1	0.0	0.3	0.3	2.8	1.5	11.6
media2	2.3	2.8	1.1	0.8	0.1	0.0	0.1	0.0	0.3	0.3	2.2	1.3	11.3

Tabella 3-6 – Numero di volte che l'altezza idrometrica all'idrometro di Capannoli ha superato il valori di 5 m. Sotto tale soglia il livello è contenuto in alveo.

soglia di riferimento 5.5 m													
anno	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	somma
1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
2007	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2008	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
1999	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3
2001	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4
2017	0	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	5
2002	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	6
2003	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	6
2004	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	3	6
2011	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	8
2013	1	1	3	0	0	0	0	0	0	2	2	0	9
2006	6	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	10
2005	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2	11
2015	2	6	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	12
2000	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	9	3	13
2014	3	7	3	0	0	0	1	0	0	0	2	1	17
2016	2	11	1	4	0	0	0	0	0	1	2	0	21
2010	7	0	1	0	1	0	0	0	0	0	10	7	26
somma	29	35	16	9	1	0	1	0	4	3	45	24	167
media	1.5	1.8	0.8	0.5	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	2.4	1.3	8.8
media1	1.3	2.1	0.9	0.5	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	2.0	1.0	8.2
media2	1.3	1.5	0.9	0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.3	0.1	2.1	1.1	7.9

Tabella 3-7 – Numero di volte che l’altezza idrometrica all’idormetro di Capannoli ha superato il valori di 5,5 m. A tale soglia inizia lo sfioro, ma se il livello non cresce la superficie allagata rimane circoscritta all’area di sfioro.

soglia di riferimento 6 m													
anno	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	somma
1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
2007	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2008	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1999	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3
2006	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
2017	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
2001	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4
2003	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	4
2004	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	4
2011	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
2015	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	6
2013	0	0	3	0	0	0	0	0	0	2	2	0	7
2014	3	5	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	12
2000	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	9	3	13
2016	0	10	1	3	0	0	0	0	0	1	2	0	17
2010	5	0	1	0	1	0	0	0	0	0	6	5	18
somma	19	21	13	6	1	0	0	0	0	3	28	21	112
media	1.0	1.1	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.5	1.1	5.9
media1	0.8	1.2	0.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.2	0.9	5.5
media2	0.9	0.7	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.3	1.0	5.0

Tabella 3-8 – Numero di volte che l'altezza idrometrica all'idrometro di Capannoli ha superato il valori di 6 m. A tale soglia, l'area di sfioro è ampia ed il flusso sifiorato genera un deflusso continuo; il cappio è "tagliato".

soglia di riferimento 7 m													
anno	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	somma
1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
2011	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2010	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
2014	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
2013	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3
2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	5
somma	3	0	2	0	0	0	0	0	0	2	3	8	18
media	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.9
media1	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.8
media2	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.7

Tabella 3-9 – Numero di volte che l’altezza idrometrica all’idormetro di Capannoli ha superato il valori di 7 m. A tale soglia, il cappio risulta mediamente tutto allagato.

Analizzando i dati riportati in tabella si hanno risultati ovvi, come il fatto che il cappio risulta “tagliato” nei mesi tardo autunnali-invernali (Tabella 3-8). Si evince però che tale fenomeno si verifica più volte in tale periodo, mediamente circa 5. Si osserva invece che il completo allagamento dell’area su cui insisterà il parco (vedi Tabella 3-9) non è avvenuta tutti gli anni, ma mediamente circa ogni 2-3 anni con situazioni particolarmente umide in particolari periodi, come già evidenziato con la stima dei tempi di ritorno di cui al paragrafo 3.3.1.

4 VALUTAZIONI SUL LIVELLO IDRAULICO DELL'AREA.

Considerando l'idea progettuale di realizzare un percorso palafittato che dalla passerella sull'Era attraversi il parco lungo la direttrice est-ovest, preme fare delle valutazioni, sulla quota dei livelli liquidi per capire quanto questa possa essere interessata dalle esondazioni dell'Era.

La quota media attuale del percorso indicato può essere assunta pari a valori che oscillano tra 31 e 31.5 m s.l.m.

La quota di sicurezza idraulica dedotta dagli studi di cui al paragrafo 3.1, impongono quote di calpestio che oscillano da circa 33 m (tempo di ritorno trentennale) a circa 34 m (tempo di ritorno duecentennale), con dislivelli dal piano di campagna che variano mediamente dai 1,5 – 3 m, a seconda del tempo di ritorno assunto come riferimento.

Tali quote sono dedotte al netto del franco di sicurezza imposto dalla normativa.

Ammettendo l'ipotesi che il percorso palafittato possa essere sommerso un certo numero di volte l'anno, sarebbe possibile realizzare un percorso con dislivelli minori rispetto al piano di campagna attuale. Conseguentemente risulterebbe necessario costituire un protocollo di utilizzo di tale area, in modo tale da evitarne la fruizione in caso di eventi di piena o previsione degli stessi.

Sviluppando tale ipotesi, conseguentemente a quanto dedotto al paragrafo 3.2, potrebbe essere considerato come evento di riferimento quello per cui si registra una altezza idrografica massima all'idrometro di Capannoli pari a 7 m. Tale esondazione genera lungo il percorso indicato livelli liquidi di circa 32,1 m s.l.m., come misurato dal rilievo facente parte di questo progetto, durante la campagna di misura del 9 marzo 2018. Imponendo 32,1 m s.l.m., come quota di calpestio si avrebbe un percorso palafittato con dislivelli dal piano di campagna che variano mediamente da 0,6 a 1,1 m nel punto più depresso; tale percorso sarebbe però interessato da sormonto secondo quanto già riportato al paragrafo 3.3.2.

5 ANALISI COMPORTAMENTO IDRAULICO DELLA PASSERELLA .

Le due sponde dell'Era sono collegate da una passerella pedonale ad oggi completamente in disuso.

Dato che il ripristino di questo manufatto è oggetto di questo progetto, sulla base degli input idrologici di cui alla Tabella 3-1, è stata condotta una analisi a moto permanente in modo da poter apprezzare gli effetti che la presenza della passerella genera in termini di profili di rigurgito nel tratto di monte. Tale analisi è stata condotta con il programma di calcolo Hec-Ras, di cui di seguito se ne riporta una breve descrizione.

5.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO HEC-RAS.

Il programma di calcolo "HEC RAS" (River Analysis System) r. 5.0.3, sviluppato dall'US. Army Corps of Engineers - The Hydrologic Engineering Center, consente di tracciare il profilo di rigurgito nel caso di correnti gradualmente variate, indicando, per ogni sezione inserita come input e caratterizzata dalle sue grandezze idrauliche, l'altezza d'acqua corrispondente alla portata di progetto.

La procedura di calcolo si basa sulla soluzione dell'equazione del moto permanente gradualmente variato con un metodo alle differenze finite.

L'equazione differenziale del profilo liquido di una corrente in moto permanente gradualmente variato risulta la seguente:

$$(1) \quad \frac{dH}{ds} = -J$$

con :

$$(2) \quad H = z + \frac{v^2}{2g}$$

in cui :

H = carico totale della corrente nella sezione generica di ascissa s misurato rispetto ad un riferimento orizzontale;

J = perdita di carico unitaria dovuta alle resistenze continue;

z = quota del pelo liquido misurato rispetto ad un riferimento orizzontale;

v = velocità media della corrente nella sezione generica di ascissa s;

g = accelerazione di gravità.

Per il calcolo delle perdite di carico si utilizza l'equazione di Manning che risulta:

$$(3) \quad J = v^2 n^2 / R^{\frac{4}{3}}$$

in cui :

n = coefficiente di scabrezza;

R = raggio idraulico della sezione (rapporto tra l'area liquida ed il contorno

bagnato).

Passando alle differenze finite la (1), applicata tra due sezioni distanti Δs , può essere scritta come segue:

$$(4) \quad H_2 - H_1 = - J_m \cdot \Delta s$$

in cui:

H_1 = carico totale della corrente nella sezione iniziale;

H_2 = carico totale della corrente nella sezione finale;

J_m = perdita di carico unitaria media dovuta alle resistenze continue tra le due sezioni.

Tenendo conto della (2) ed indicando con i pedici 1 e 2 rispettivamente le grandezze relative alla sezione iniziale e quelle relative alla sezione finale la (4) diviene:

$$(5) \quad z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - z_2 - \frac{v_2^2}{2g} + \frac{J_1 + J_2}{2} \cdot \Delta s = 0$$

ovvero:

$$(5') \quad z_1 + \frac{Q^2}{2gA_1^2} - z_2 - \frac{Q^2}{2gA_2^2} + \frac{1}{2} \left(\frac{Q^2 n^2}{A_1^2 R_1^{4/3}} + \frac{Q^2 n^2}{A_2^2 R_2^{4/3}} \right) \cdot \Delta s = 0$$

in cui:

Q = portata;

A_1 = area liquida della corrente nella sezione iniziale;

A_2 = area liquida della corrente nella sezione finale.

Poiché nel caso di moto permanente le caratteristiche geometriche ed idrauliche di una data sezione sono funzione della sola altezza liquida, la (5') permette di determinare la quota liquida nella sezione terminale di un tratto di corrente di lunghezza Δs una volta che sia nota la quota liquida in corrispondenza della sezione iniziale. L'equazione (5') rappresenta quindi una equazione non lineare in cui l'incognita è rappresentata dal valore z_2 della quota liquida finale.

Per la determinazione del profilo liquido relativo ad un dato tronco di un corso d'acqua occorre suddividere tale tronco in una successione di tratti delimitati da sezioni di cui sia nota la geometria.

Partendo quindi da una delle sezioni estreme, in cui deve essere noto il valore della quota liquida (condizione al contorno), l'applicazione reiterata della (5') permette di determinare le quote liquide nelle sezioni successive.

La sezione di partenza in cui è nota la quota liquida deve essere posta in corrispondenza dell'estremo di valle del tronco del quale si vuole tracciare il profilo nel caso che la corrente sia lenta (subcritica); dovrà essere posta invece in corrispondenza dell'estremo di monte nel caso di corrente veloce (supercritica).

Il modello di calcolo automatico HEC-RAS messo a punto dall' Hydrologic Engineering Center dell' U.S. Army Corps of Engineers è basato sulla soluzione per via numerica, mediante il metodo di Newton-Raphson, dell'equazione (5') e permette di determinare le quote liquide (WSEL: Water Surface Elevation) in corrispondenza di sezioni predefinite del corso d'acqua.

Per la valutazione delle perdite di carico è stata assunta la seguente equazione di Manning:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}$$

in cui :

- n = coefficiente di scabrezza di Manning;
- A = area liquida;
- R = raggio idraulico della sezione;
- i = pendenza del fondo.

Come "n" è stato assunto un valore di n=0,025 per le sezioni con parti in muratura o in c.a. (corrispondente ad un coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler di 40) mentre per le sezioni con argini in terra è stato assunto un n=0,030 (corrispondente ad un coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler di 33).

5.2 INSERIMENTO DATI IN MODELLAZIONE.

5.2.1. GEOMETRIA.

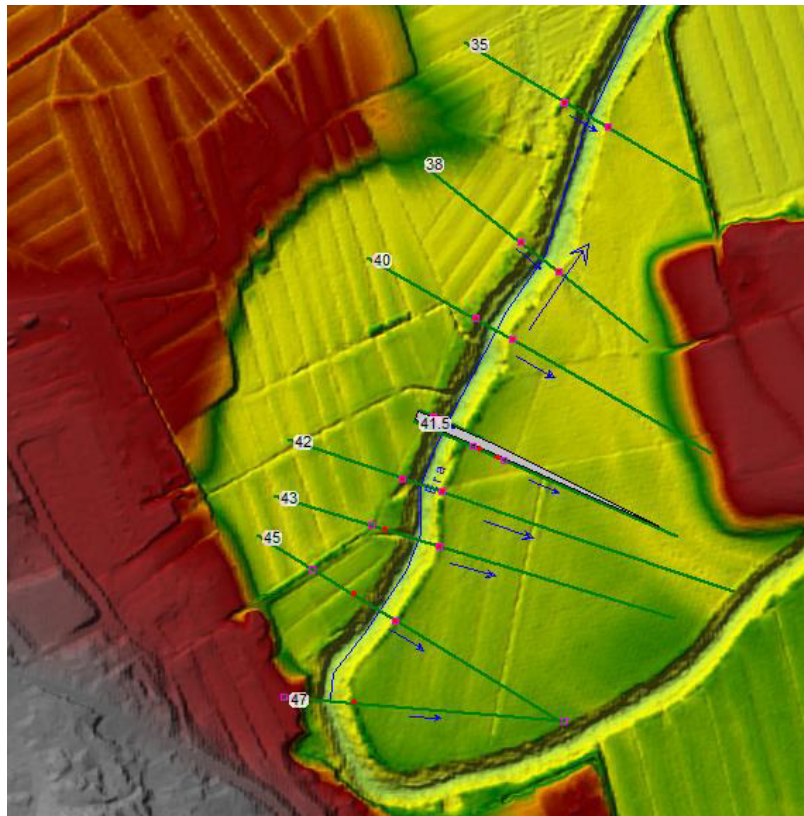


Figura 5.1 – Schema delle sezioni usate per la verifica idraulica della passerella. “Fonte dei dati: Ministero dell’Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare – “Rilevi Lidar”.

È stato usato il tronco di corso d’acqua riportato in Figura 5.1, essendo lo studio condotto solo ad evidenziare gli effetti della presenza di detto manufatto

La geometria dello stato attuale è derivata dal rilievo eseguito, e facente parte di questo progetto, e dai dati LIDAR disponibili, senza considerare la presenza della passerella (nemmeno il rudere ad oggi presente).

Allo stato di progetto è stata considerata la presenza della passerella con un ingombro pari a 1 m di spessore, larga 3 m posizionata ad una quota dell’intradosso di 31,10 m s.l.m. e costituita da un’unica campata¹.

¹ Misure ricavate da progetto strutturale.

5.2.2. CONDIZIONI AL CONTORNO.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno, è stata considerata una pendenza di fondo alla sezione iniziale e finale pari allo 0,1%, derivante da quella rilevata.

Per quanto riguarda gli input idrologici, sono state considerate le seguenti portate, derivanti come detto da quelle di cui alla Tabella 3-1, in modo da poter confrontare i comportamenti delle due geometrie in funzione delle diverse sollecitazioni:

$$Q_{30} = 472.10 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{100} = 637.01 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{200} = 753.01 \text{ m}^3/\text{s}$$

5.3 SCENARI DI VERIFICA.

Gli scenari di verifica, denominati *plan*, corrispondono alle due diverse configurazioni geometriche:

- a) stato attuale SENZA passerella;
- b) stato modificato CON passerella.

5.4 SINTESI DEI RISULTATI DI CALCOLO.

Dalla modellazione effettuata è stato possibile evincere quanto segue.

La passerella risulta insufficiente per le portate di calcolo in quanto è ampiamente sormontata Figura 5.2.

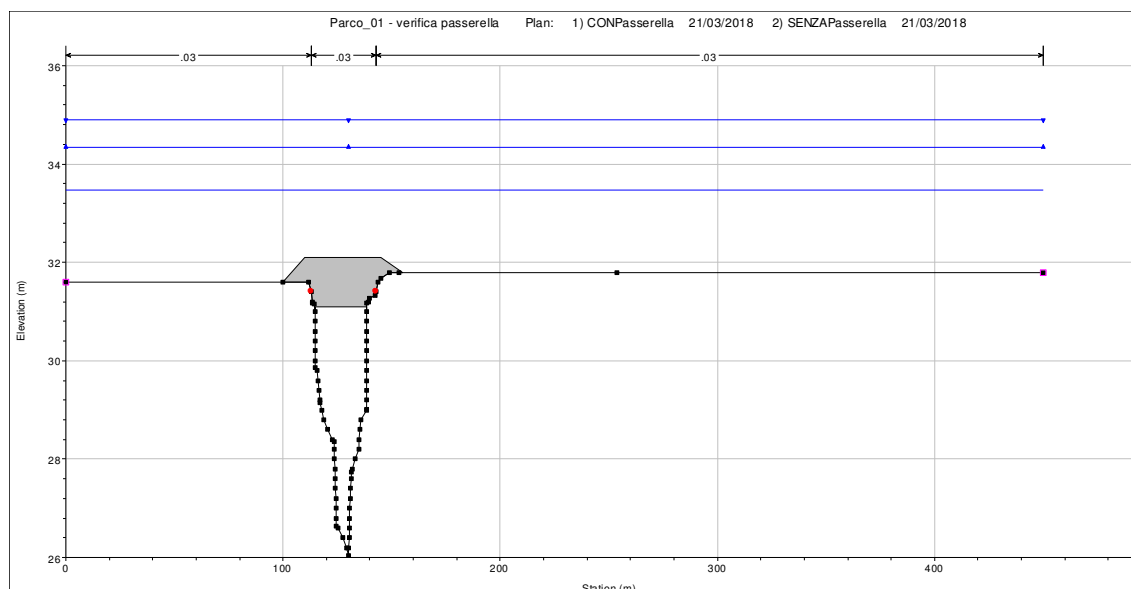


Figura 5.2 – Risultati verifica idraulica della passerella.

Per quanto riguarda invece gli effetti che essa produce sul corso d’acqua, si deduce che, per le portate oggetto di studio, essa risulta quasi indifferente, perché, come mostrato nella seguente Figura 5.3, i profili di rigurgito che si generano risultano coincidenti con quelli in alveo in assenza della passerella.

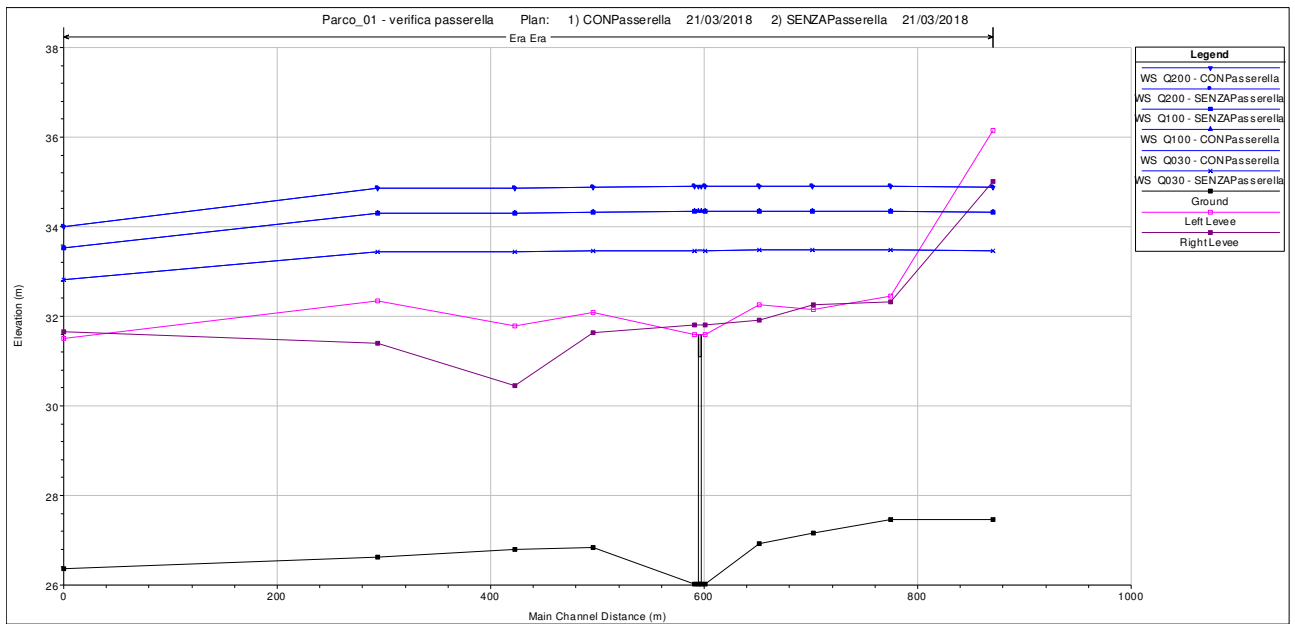


Figura 5.3 – Profili di rigurgito per la presenza della passerella.

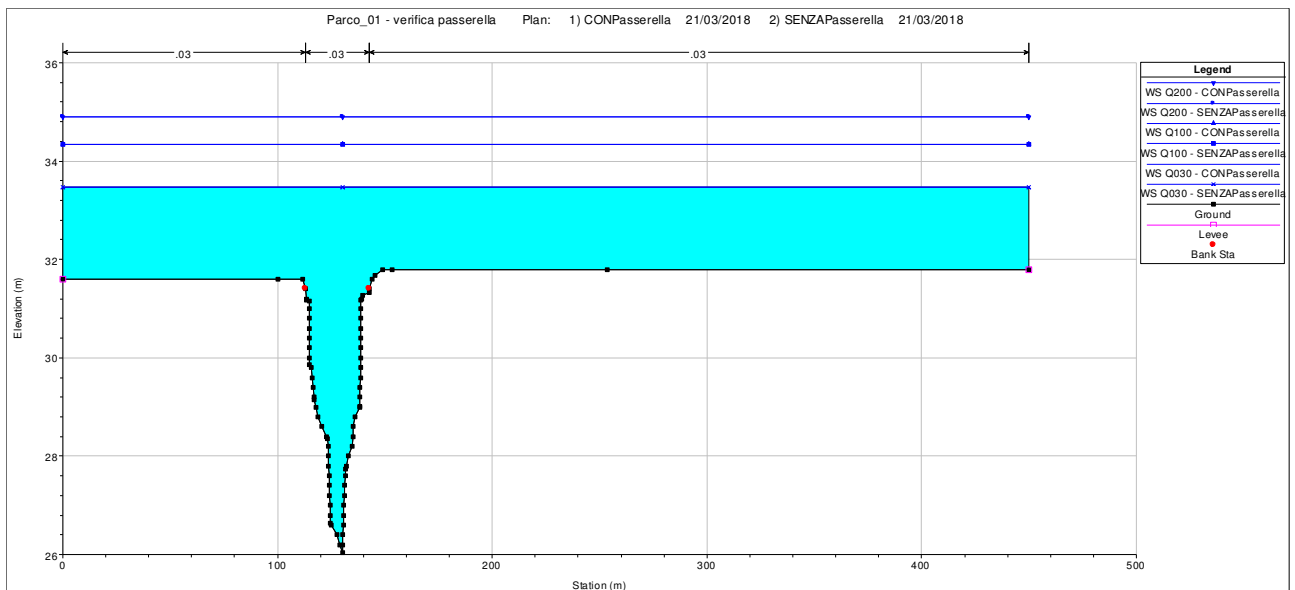


Figura 5.4 – Livelli liquidi nella sezione a monte della passerella.

Per portate inferiori a quelle di calcolo, ma tali da generare livelli liquidi prossimi alla quota di imposta della passerella, si notano effetti di rigurgito che arrivano a circa 50 cm che si risentono nel tratto di monte per circa 300-400 m (Figura 5.5).

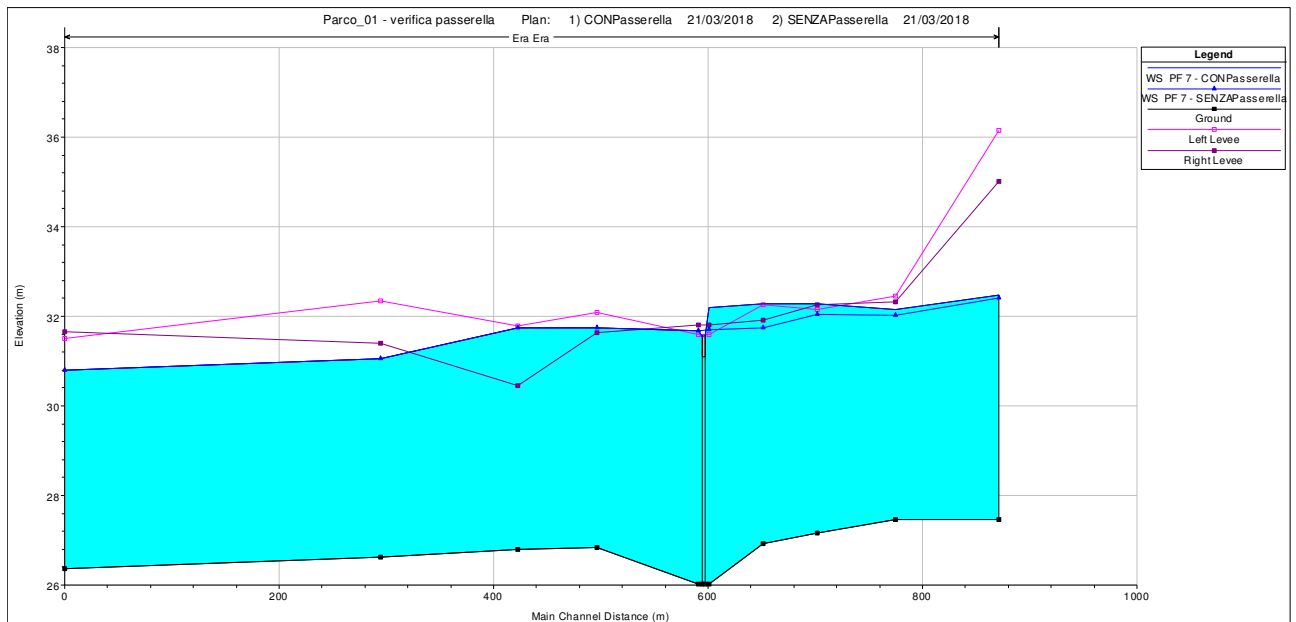


Figura 5.5 – Profili di rigurgito per la presenza della passerella con portate di morbida.

Considerando la passerella attuale come integra, ovvero con la geometria tale da generare uno spessore di impalcato di 30 cm, tale differenza diminuisce di qualche decina di cm.

6 CONCLUSIONI.

Lo scopo della presente relazione è quello di descrivere il comportamento idraulico dell'area oggetto di intervento, in funzione degli eventi di piena che possono interessare il fiume Era.

Per quanto riguarda gli aspetti idrologici è stato fatto riferimento alla relazione idrologica-idraulica facente parte del Regolamento Urbanistico del Comune di Capannoli, approvato con Delibera di Consiglio Comunale n. 19 del 20 aprile 2009, successiva variante manutentiva approvata con Deliberazione di Consiglio Comunale n. 29 del 31 luglio 2013 e successiva variante per aggiornamento quinquennale approvata con Deliberazione di Consiglio Comunale n. 43 del 26 settembre 2017.

Sono stati poi utilizzati i dati dell'idrometro posto poco più a valle dell'area oggetto del progetto, relazionandone i livelli misurati con le esondazioni effettivamente verificate nell'area del parco, attraverso sopralluoghi puntuali durante tali eventi di piena; i dati in parola (livelli idrometrici e relative portate) sono stati forniti dal Servizio Idrologico della Regione Toscana

Con quanto ricavato sono state fatte valutazioni circa le dinamiche idrauliche nell'area in oggetto in funzione delle piene in transito.

- Le quote di sicurezza idraulica dedotta dagli studi di cui al paragrafo 3.1, impongono quote di calpestio che oscillano da circa 33 m (tempo di ritorno trentennale) a circa 34 m (tempo di ritorno duecentennale), con dislivelli dal piano di campagna che variano mediamente dai 1,5 m a 3 m, a seconda del tempo di ritorno assunto come riferimento; a tali quote si deve aggiungere il franco di sicurezza imposto dalla norma.
- Dall'analisi della frequenza di allagamento si è dedotto che il "taglio" del cappio (altezza misurata all'idrometro di circa 6 m) si è verificato mediamente 5 volte l'anno, mentre il completo allagamento (altezza misurata all'idrometro di circa 7 m) poco meno di una l'anno, ovvero mediamente non tutti gli anni si verifica un completo allagamento; è stato stimato un tempo di ritorno di 3 anni per tale accadimento.
- Ammettendo l'ipotesi che il percorso palafittato possa essere sommerso un certo numero di volte l'anno, sarebbe possibile realizzare un percorso con dislivelli dal piano di campagna minori rispetto la quota di sicurezza. Conseguentemente risulterebbe necessario costituire un ben strutturato protocollo di utilizzo di tale area, in modo tale da evitarne la fruizione in caso di eventi di piena o previsione degli stessi.
- La passerella progettata in sostituzione dell'attuale risulta insufficiente per le portate usate nella verifica (ovvero per Tempo di ritorno 30 – 100 – 200 anni); la presenza della stessa comunque non genera incrementi dei profili liquidi per tali portate. Per portate inferiori si hanno effetti di rigurgito dell'ordine dei 50 cm che si risentono nel tratto di monte per circa 300-400 m, ma che interessano comunque solo aree già oggetto di esondazione.

il tecnico
dott. ing. Marco Del Turco