



COMUNE DI SAN GIULIANO TERME

Provincia di Pisa

Studio idrologico-idraulico a supporto di un intervento
edilizio da realizzarsi in Via dell'Alberaccio in Comune
di San Giuliano Terme (PI)

Sistema Ambientale via dell'Alberaccio n. 9 Loc. Asciano rif. SCHEDA NORMA COMPARTO N° 106

STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO

Ubicazione:

San Giuliano (PI), Via dell'Alberaccio

Tecnico incaricato:



Ing. Daniele Pagli

Ordine degli Ingegneri della

Provincia di Firenze n° 6162 sez. A

Via delle Mimose, 8 50050 Capraia e Limite (FI) Tel. 346-313733

e-mail: dpagli9@gmail.com C.F. PGL DNL 82 T 13 D 403 F

P.IVA 06041490480



ELABORATO

REL

Relazione idraulica

File: REL Relazione idraulica

Data: **Gennaio 2019**

RELAZIONE TECNICA

Sommario

Premessa	3
I bacini idraulici di interesse	4
Grandezze geomorfologiche.....	5
Stima del tempo di corrivazione.....	6
Scelta del tempo di ritorno	7
Definizione del regime pluviometrico.....	8
Ietogramma di progetto.....	12
Quantificazione della pioggia netta	13
Trasformazione afflussi-deflussi	17
Risultati idrologici	19
Descrizione del modello matematico	20
Morfologia dell'alveo	24
Coefficiente di scabrezza	25
Modellazione attraversamenti	26
Condizioni al contorno	27
Condizione al contorno di monte.....	27
Condizione al contorno di valle	27
Condizioni al contorno per le aree 2D.....	29
Risultati delle analisi	30
Criticità individuate	33



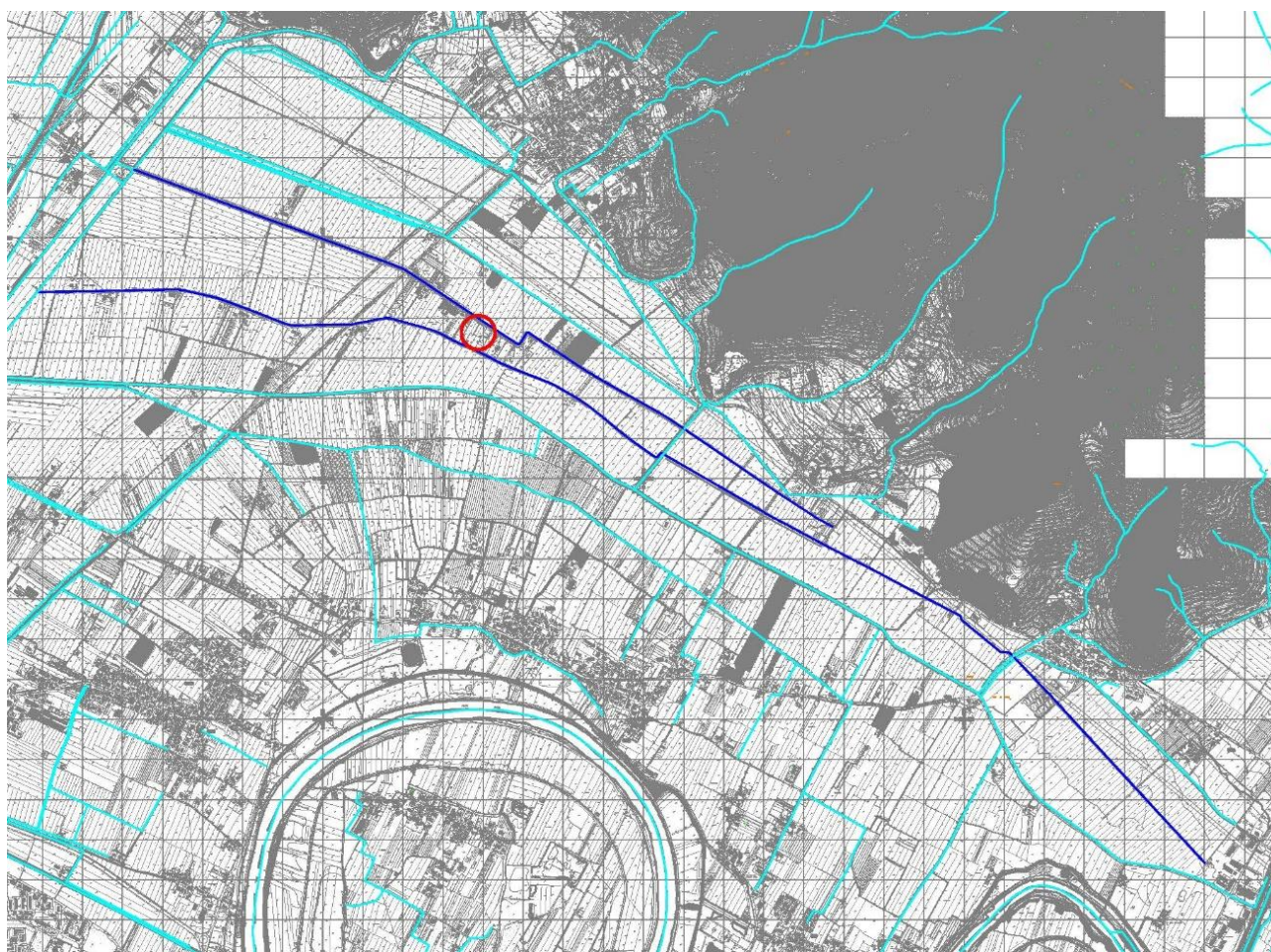
PREMESSA

Su incarico della sig.ra Chiara MORANDI si svolge il presente studio idrologico-idraulico volto alla determinazione del battente idraulico atteso in corrispondenza di un terreno di sua proprietà nel Comune di San Giuliano Terme.

La proprietà della sig.ra MORANDI, infatti, insiste all'interno di una porzione di territorio oggetto di bonifica idraulica sul quale non risultano attualmente disponibili studi idraulici.

All'interno del terreno di proprietà della Committenza è sito un edificio rurale che si intende demolire per sfruttarne la volumetria in favore di un nuovo edificio di pari dimensioni da realizzare poco distante all'interno della medesima proprietà. Ai sensi della recente LR 24 luglio 2018 n.41, infatti, è necessario determinare le condizioni di rischio idraulico sull'area, particolarmente battente e velocità previsti, al fine di determinare la quota di messa in sicurezza idraulica del nuovo edificio e le eventuali misure compensative o di tutela da porre in essere.

Di seguito si individua l'ubicazione della proprietà ed il reticolo idraulico oggetto del presente studio.





I BACINI IDRAULICI DI INTERESSE

San Giuliano Terme nasce a sud dei Monti Pisani a circa 7 km da Pisa e si estende tra i fiumi Arno a est e Serchio ad ovest. Tra i principali corsi d'acqua del territorio comunale vi sono il Serchio, il Fiume Morto ed il Fosso Demaniale.

Il territorio comunale presenta una escursione altimetrica complessiva di 830 m s.l.m., di cui il minimo è di 1 metro sul livello del mare. Infatti l'intero territorio presenta sia zone montane che balneari, anche se l'unico accesso al mare è interno al Parco naturale di Migliarino, San Rossore e Massaciuccoli, quindi totalmente privo di attrezzature per i bagnanti e interdetto alla maggior parte delle persone.

Il presente studio analizza due corsi d'acqua all'interno del territorio di bonifica posto in corrispondenza delle frazioni di Asciano e Agnano, recapitante poi nel Fiume Morto a mezzo dell'impianto di sollevamento di Agnano.

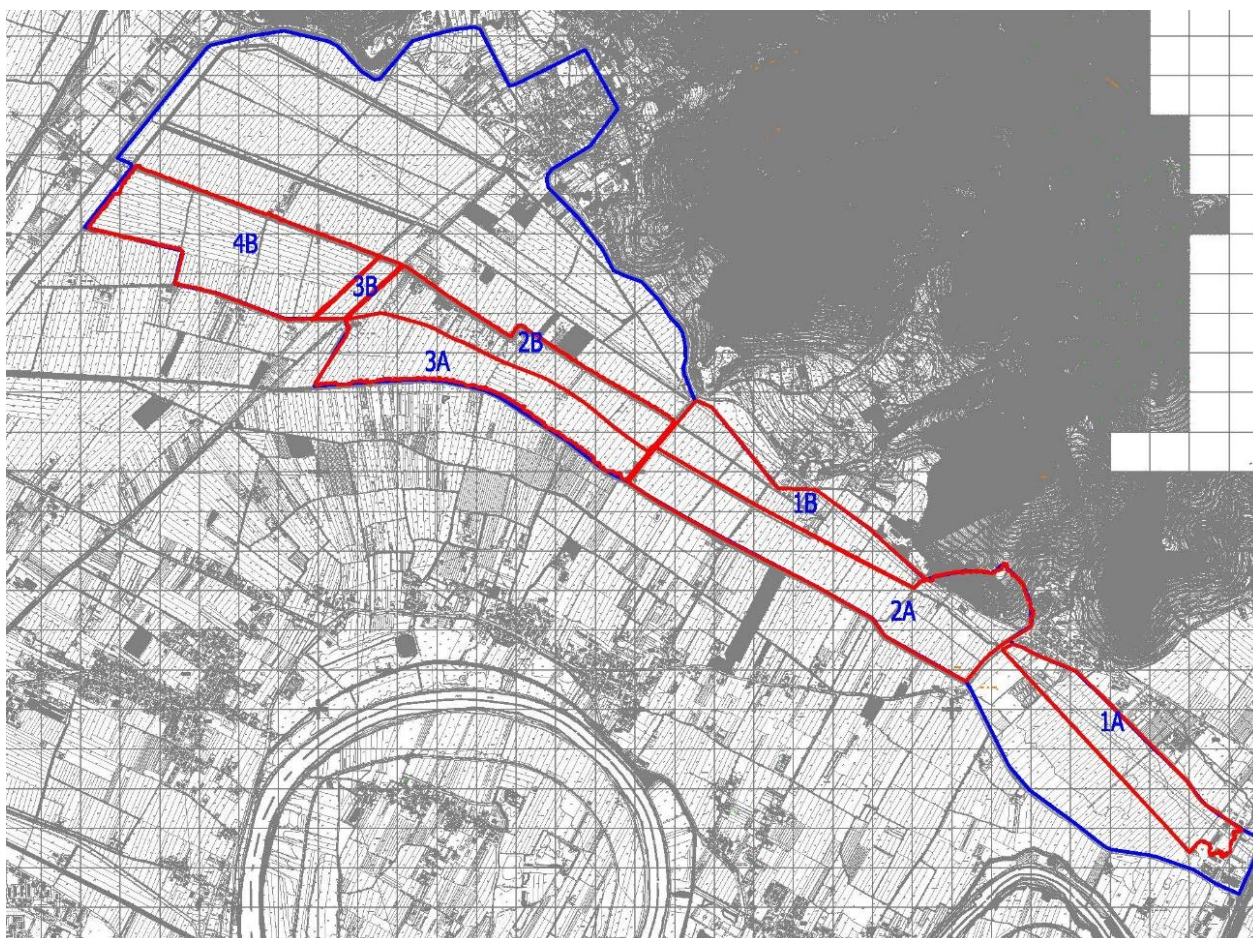
Si riportano allora nei paragrafi seguenti le analisi idrologico – idrauliche svolte sui due corsi d'acqua ed i bacini loro afferenti. In particolare è stato necessario suddividere il territorio di bonifica le cui acque recapitano ai due corsi d'acqua in indagine, in cinque differenti sottobacini, per i quali si riportano a seguire le caratteristiche geomorfologiche.

I cinque bacini sono stati perimetrati con metodologia GIS a partire dalla base cartografica di tipo lidar 1:2000 1x1m messa a disposizione dalla Regione Toscana sulla propria pagina web Geoscopio WGS. Inoltre i bacini così individuati, nonché i tracciati dei corsi d'acqua, sono stati riscontrati con quanto messo a disposizione dall'Ufficio dei Fiumi e dei Fossi.

I bacini sono individuati a linea rossa nell'immagine riportata a seguire.

È stato inoltre necessario individuare un ulteriore bacino denominato TOTALE ed individuato in blu nell'immagine che segue, relativo a tutta l'area di competenza dell'impianto di sollevamento, utile al fine di determinare le condizioni al contorno di valle per i due corsi d'acqua in analisi.

Tutte le analisi idrologiche e idrauliche svolte per il presente studio sono state supportate inoltre da ampie e attente analisi dei luoghi volte a verificare l'aderenza dei modelli alle reali caratteristiche del territorio, facendo della conoscenza del territorio il principale punto di forza del presente studio.



Grandezze geomorfologiche

Si riportano ora alcune grandezze geomorfologiche dei bacini analizzati.

- Area è espressa in kmq
- Hmax è l'altitudine massima del bacino in m.s.l.m.
- Hmin è l'altitudine minima del bacino in m.s.l.m. in corrispondenza della sezione di chiusura
- Hmedia è l'altitudine media pesata areale del bacino rispetto alla sezione di chiusura espressa in m
- i_v è la pendenza media pesata areale del bacino espressa in %
- i è la pendenza media dell'alveo espressa in %
- L è la lunghezza del corso d'acqua in km
- Lmax è la lunghezza del percorso idraulico più lungo in km

Bacino	Area	Hmax	Hmin	Hmedia	i_v	i	L	Lmax
TOTALE	5.5557	86.84	-1.05	2.67	8.4	0.111	7.651	7.963
A1	0.2945	8.82	2.31	5.13	7.45	0.032	1.387	1.617
A2	0.6101	86.84	0.78	8.16	13.08	0.032	2.035	2.135
A3	0.3794	4.52	0.38	2.22	7.26	0.032	1.715	1.815
B1	0.2762	4.40	0.11	1.96	6.36	0.111	0.880	1.463
B2	0.2974	3.34	-0.37	1.53	9.33	0.111	1.646	1.696
B3	0.0443	2.67	-0.34	1.44	9.39	0.111	0.120	0.520
B4	0.5267	2.88	-0.88	1.19	8.62	0.111	1.302	1.502



STIMA DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

Una delle grandezze più importanti da individuare in idrologia per determinare l'idrogramma relativo alla sezione di chiusura di un bacino è rappresentata dal relativo Tempo di Corrivazione. Convenzionalmente il tempo di corrivazione valutato in un determinato punto di una rete di drenaggio è definito come il tempo che occorre alla generica goccia di pioggia caduta nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura del bacino in esame.

La stima di tale grandezza spesso può risultare poco agevole e l'impiego delle relative formule di calcolo può dare perciò luogo a valori non univoci che devono essere validati da dati sperimentali, là dove disponibili, o dalla sensibilità del progettista.

Data la difficoltà di tale valutazione, la soluzione più frequentemente adottata attribuisce al tempo di corrivazione la media dei valori calcolati mediante le formule note in letteratura ritenute valide per i bacini in esame.

Le formule impiegate nel presente studio sono:

1. La formula di Viparelli

$$T_c = \frac{L}{3.6}$$

2. La formula di Ferro (da dati di Kirpich-Chow-Watt-Pezzoli)

$$T_c = 0.675A^{0.5}$$

3. La formula SCS Chow, Maidment, Mays (dipendente dal valore del parametron CN, nel caso in analisi posto pari al CNIII determinate come illustrato più Avanti)

$$T_c = \frac{0.095 \cdot L_{max}^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{\sqrt{i_v}}$$

Bacino	Tc [ore]
TOTALE	2.1191
A1	0.5218
A2	0.6248
A3	0.5824
B1	0.5053
B2	0.5157
B3	0.1856
B4	0.5216



ING. PAGLI DANIELE
Via delle Mimose, 8
50050 Capraia e Limite (FI)
P.I. 06041490480
C.F. PGLDNL82T13D403F

SCELTA DEL TEMPO DI RITORNO

In osservanza alle disposizioni contenute nel DPGR 53/R della Regione Toscana e del PGRA del Bacino del Fiume Arno, le verifiche idrauliche sono svolte sia per eventi pluviometrici con tempo di ritorno trentennale "TR30", sia duecentennale "TR200".

I valori scelti per il tempo di ritorno sono conformi anche alle necessarie verifiche ai sensi della recente L.R. 24 luglio 2018 n. 41.

Le durate di pioggia considerate sono invece le seguenti: 0.5h, 0.75h, 1h, 1.5h, 2h, 2.5h, 3h, 3.5h, 6h, 12h.



DEFINIZIONE DEL REGIME PLUVIOMETRICO

Il regime pluviometrico della zona in esame è stato determinato con riferimento allo studio a carattere regionale "ANALISI DI FREQUENZA REGIONALE DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME – LSPP – Aggiornamento al 2012" redatto grazie alla collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012, e disponibile sul sito del Settore Idrologico Regionale.

Il sistema ha provveduto alla definizione dei parametri a , n ed m descrittivi delle LSPP secondo una maglia regolare di lato 1km, e permette così di individuare i valori più appropriati dei tre parametri, semplicemente introducendone latitudine e longitudine.

Attraverso l'utilizzo del metodo statistico TCEV (Two Component Extreme Value) il citato studio definisce per il campo delle durate di pioggia minori e maggiori ad un'ora le curve di possibilità pluviometrica nella forma trinomia convenzionale

$$h = a \cdot t^n \cdot T_R^m$$

In questo caso sono presi in considerazione solo i parametri della curva di possibilità pluviometrica definiti per il campo delle durate di pioggia superiori ad un'ora. Il parametro m non è disponibile ma sono diversificati i valori a ed n per i diversi tempi di ritorno.

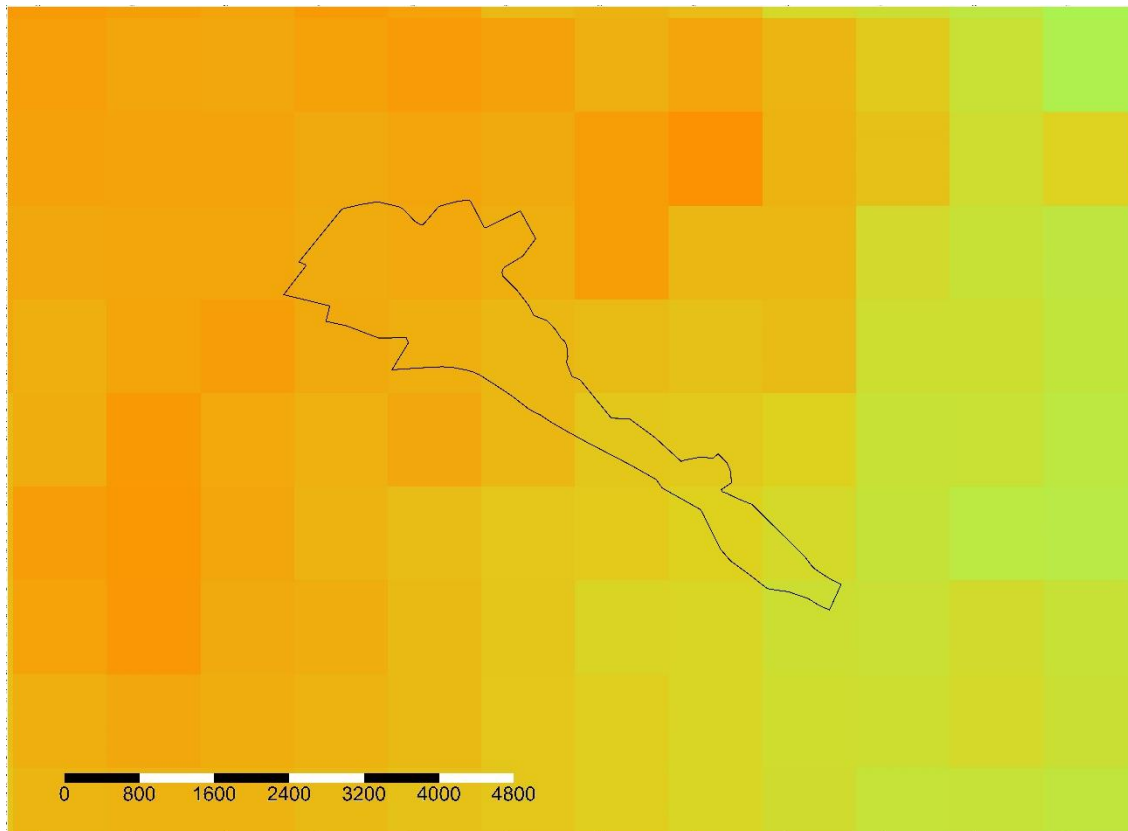
Per la presente analisi, vista l'estensione del bacino imbrifero, in accordo con quanto riportato nel documento "Guida all'uso" allegato allo stesso studio "ANALISI DI FREQUENZA REGIONALE DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME" già citato, è stato necessario considerare i parametri a ed n relativi a più di una cella della maglia regolare di lato 1km.

Per tale motivo mediante tecnologia GIS si è provveduto a caricare i files forniti dallo studio riportanti i parametri georeferenziati a ed n , ed a ritagliare tale dato secondo il perimetro del bacino considerato. Così facendo si sono individuate le sei celle della maglia significative all'interno di tale perimetro.

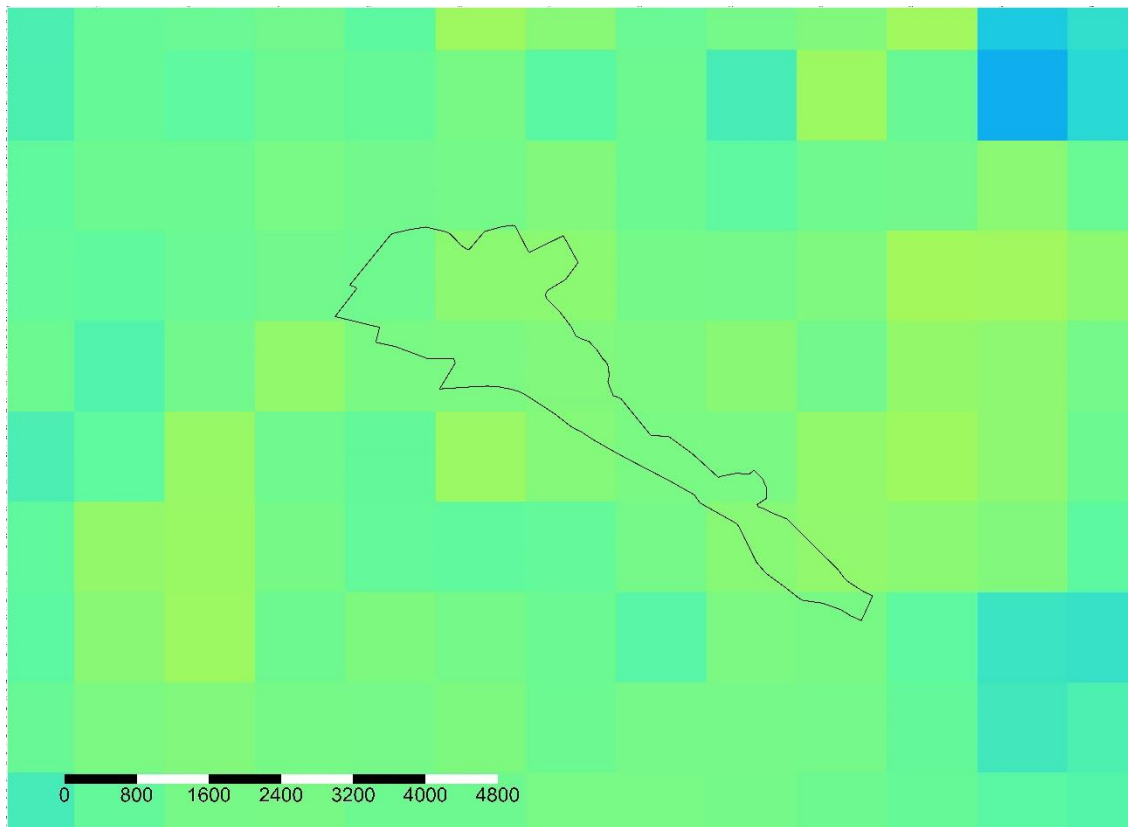


ING. PAGLI DANIELE
Via delle Mimose, 8
50050 Capraia e Limite (FI)
P.I. 06041490480
C.F. PGLDNL82T13D403F

Parametro a per TR30



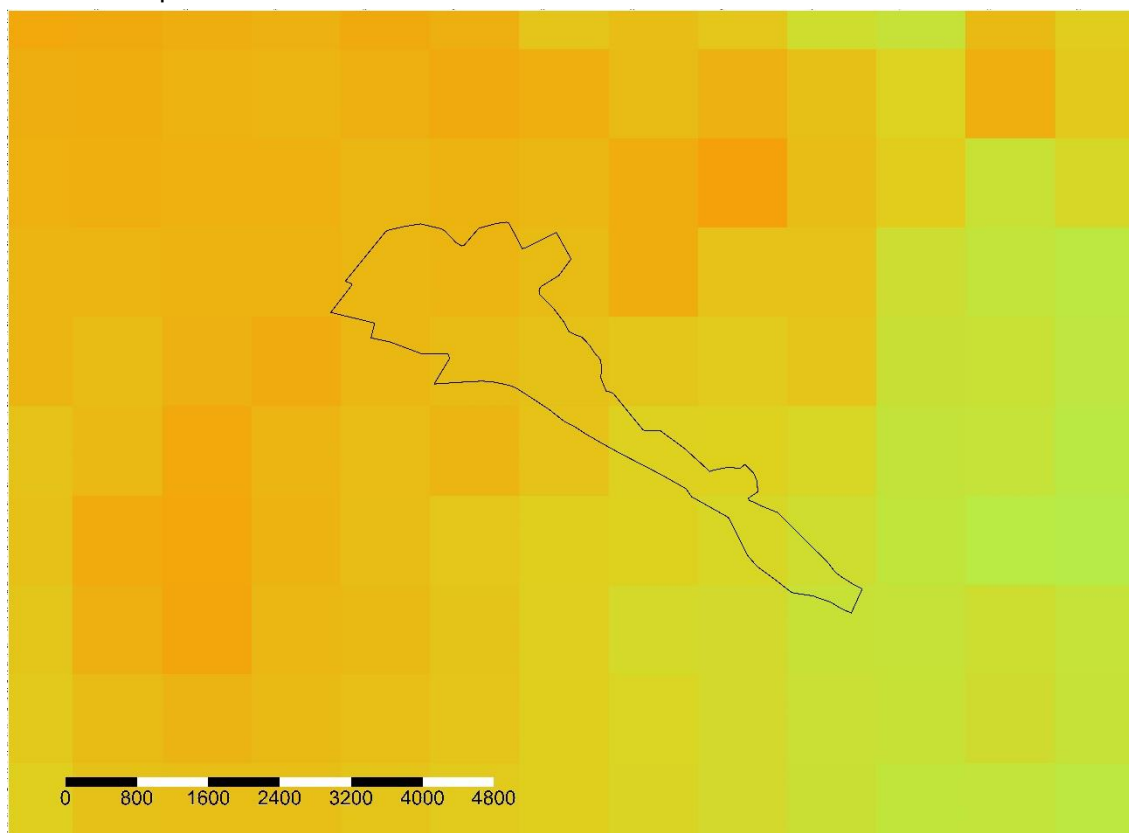
Parametro n per TR30



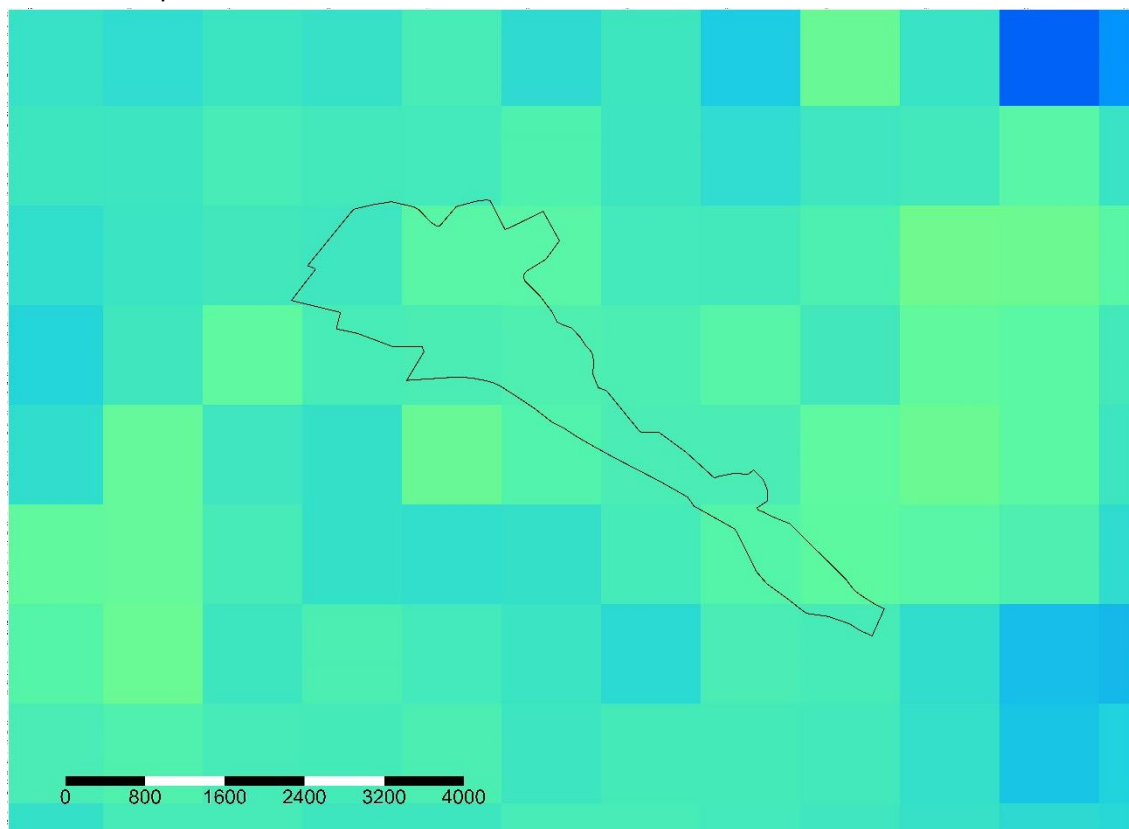


ING. PAGLI DANIELE
Via delle Mimose, 8
50050 Capraia e Limite (FI)
P.I. 06041490480
C.F. PGLDNL82T13D403F

Parametro a per TR200



Parametro n per TR200





Di seguito si riportano quindi i valori dei due parametri per ciascuna delle sei celle:

	CELLA A		CELLA B		CELLA C		CELLA A		CELLA D		CELLA E	
	"a" 1	"n"	"a"	"n"	"a"	"n"	"a"	"n"	"a"	"n"	"a"	"n"
TR30	65.59	0.29	65.37	0.29	64.92	0.30	64.10	0.29	63.55	0.30	62.91	0.30
TR200	91.27	0.31	90.97	0.32	90.35	0.32	89.21	0.32	88.44	0.32	87.55	0.32

Come descritto nella "Guida all'uso" di cui sopra, si sono ottenuti i parametri a ed n di interesse del bacino come media aritmetica dei valori sopra riportati:

	"a"	"n"
TR30	64.41	0.29
TR200	89.63	0.32

Per il campo di durate di pioggia inferiori a mezzora, la curva di possibilità pluviometrica assume parametri "a" ed "n" differenti.

Il succitato studio "ANALISI DI FREQUENZA REGIONALE DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME" e la relativa "Guida all'uso", però, non definiscono le curve nel campo di durate inferiori all'ora, né indicano una metodologia da seguire.

Tuttavia l'adozione del parametro n per il campo di durate inferiori ad un'ora pari a quello indicato dallo studio condurrebbe a consistenti sovrastime delle altezze di pioggia, come comunemente dimostrato in letteratura.

Lo stesso studio indica però la possibilità di estendere la curva sino alle durate di pioggia di 30 minuti senza incorrere in eccessivi errori.

¹ [$mm/(hr^n \cdot TR^m)$]



IETOGRAMMA DI PROGETTO

Le curve di possibilità pluviometrica forniscono i volumi integrali di pioggia attesi in funzione della durata e per un prefissato periodo di ritorno, mentre non forniscono alcuna indicazione sulla distribuzione temporale della pioggia, che rappresenta un elemento fondamentale nel processo di trasformazione afflussi-deflussi.

D'altronde la modalità con cui l'intensità di pioggia varia durante un dato evento pluviometrico è da ritenersi del tutto casuale e quindi il suo studio dovrebbe essere caratterizzato da opportune indagini statistiche atte ad individuare la forma dello ietogramma.

Nella pratica progettuale si ovvia alla mancanza di dati statistici che permettano la ricostruzione dello ietogramma, mediante l'adozione di ietogrammi detti sintetici, tali cioè da non rappresentare il reale andamento dell'evento pluviometrico, ma in grado di introdurre nelle procedure di trasformazione afflussi-deflussi una variabilità temporale della pioggia che dia luogo a risultati che si possano ritenere cautelativi. La legge di distribuzione che si introduce rappresenta, in tal modo, quello che viene definito lo ietogramma di progetto.

Tra le varie procedure note in letteratura, si è scelto di impiegare lo ietogramma di tipo rettangolare, tale cioè da simulare un evento pluviometrico di intensità costante nel tempo. Per le finalità dello studio in esame, infatti, avendo determinato gli idrogrammi di piena per molte durate di pioggia e visti i modelli di trasformazione afflussi-deflussi adottati, non risulta opportuno impiegare ietogrammi sintetici che rappresentino la variabilità temporale dell'evento pluviometrico. Diversamente l'effetto di picco introdotto contemporaneamente dallo ietogramma e dal modello di trasformazione A-D, condurrebbe a risultati eccessivamente cautelativi nei confronti dei valori di picco delle portate, e inciderebbe negativamente sulla determinazione delle esondazioni concentrandone la durata temporale.

Le durate di pioggia considerate sono invece le seguenti: 0.5h, 0.75h, 1h, 1.5h, 2h, 2.5h, 3h, 3.5h, 6h, 12h cui corrispondono le seguenti altezze di pioggia.

durata	TR30	TR200
0.5	52.5	71.8
0.75	59.2	81.7
1	64.4	89.6
1.5	72.6	102.0
2	79.0	111.9
2.5	84.3	120.2
3	89.0	127.4
3.5	93.1	133.8
6	109.1	159.0
12	133.8	198.5



QUANTIFICAZIONE DELLA PIOGGIA NETTA

Per quantificare la pioggia netta, ovvero la quota parte del volume di pioggia che va a produrre deflusso superficiale, si stimano le perdite idrologiche che avvengono per intercettazione della vegetazione, detenzione superficiale, immagazzinamento nelle depressioni superficiali, evapotraspirazione e infiltrazione.

Il metodo applicato è quello Curve Number (CN), che valuta istante per istante il quantitativo di pioggia che va a produrre deflusso superficiale in funzione della litologia del suolo, del suo uso e del grado di imbibizione iniziale (AMC). Sotto l'aspetto litologico i suoli sono distinti in 4 gruppi, indicati in Tabella 1, a cui sono legati, in funzione dell'utilizzazione, i parametri CN riportati in Tabella 2. La Tabella 2 riporta i valori di CN per la classe di imbibizione iniziale II, per passare alle altre classi si utilizzano i valori riportati nella Tabella 3.

Tabella 1 - Classificazione litologica dei suoli secondo il Soil Conservation Service (SCS)

GRUPPO	DESCRIZIONE
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla, ghiaie profonde molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi, meno profondi rispetto al gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alte. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se in quantità minore del gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Tabella 2 - Parametri CN relativi alla classe AMC II di umidità iniziale, per le quattro classi litologiche e per i vari tipi di uso del suolo

Tipo di copertura (uso del suolo)	A	B	C	D
TERRENO COLTIVATO				
Senza trattamenti di conservazione	72	81	88	91
Con interventi di conservazione	62	71	78	81
TERRENO DA PASCOLO				
Cattive condizioni	68	79	86	89
Buone condizioni	39	61	74	80
PRATERIE				
Buone condizioni	30	58	71	78
TERRENI BOSCOSI o FORESTATI				
Terreno sottile sottobosco povero di foglie	45	66	77	83
Sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
SPAZI APERTI, PRATI RASATI, PARCHI				
Buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
Condizioni normali con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
AREE COMMERCIALI				
(impermeabilità 85%)	89	92	94	95
DISTRETTI INDUSTRIALI				
(impermeabilità 72%)	81	88	91	93
AREE RESIDENZIALI				
Impermeabilità media (%)				
65%	77	85	90	92



38%	61	75	83	87
30%	57	72	81	86
25%	54	70	80	85
20%	51	68	79	84
PARCHEGGI IMPERMEABILIZZATI, TETTI	98	98	98	98
STRADE				
Pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
Inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

Tabella 3 - Conversione dei valori del CN a seconda delle condizioni AMC di umidità iniziali.

CLASSE AMC			CLASSE AMC		
I	II	III	I	II	III
100	100	100	40	60	78
87	95	98	35	55	74
78	90	96	31	50	70
70	85	94	22	40	60
63	80	91	15	30	50
57	75	88	9	20	37
51	70	85	4	10	22
45	65	82	0	0	0

Per la stima del parametro CN abbiamo scelto di avvalersi dello Studio "ATTIVITA' DI RICERCA PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO NELLA REGIONE TOSCANA" frutto dell'ACCORDO DI COLLABORAZIONE SCIENTIFICA TRA REGIONE TOSCANA E DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE DELL'UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI FIRENZE, i cui risultati sono pubblicati sul sito della Regione Toscana.

Lo Studio suddetto ha prodotto una cartografia in formato shapefile rappresentante la zonizzazione del territorio toscano, e per ogni area omogenea fornisce i dati di uso del suolo e tipo di terreno, nonché la lettera raffigurante il tipo di suolo ed il valore CN II associato.

Secondo le indicazioni suggerite dagli Uffici del Genio Civile Valdarno Inferiore e Costa, si è proceduto a correggere i valori di CN II ottenuti per le aree boscate relative ai codici Corine Land Cover 311, 312 e 313 assegnando i seguenti valori:

- Per Tipo di Suolo "A" si assume CN II pari a 36
- Per Tipo di Suolo "B" si assume CN II pari a 48
- Per Tipo di Suolo "C" si assume CN II pari a 57
- Per Tipo di Suolo "D" si assume CN II pari a 63

Si riportano allora i valori ottenuti per ciascuna area omogenea interna ai bacini.

Bacino	Uso del suolo	Terreno	Tipo suolo	CN II	Area KMq
TOTALE	Aree industriali o commerciali	SILT	B	88	0.0291
	Aree industriali o commerciali	SILTY CLAY	D	93	0.0028
	Seminitavi in aree non irrigue	CLAY LOAM	D	84	0.0215
	Seminitavi in aree non irrigue	SILT LOAM	B	73	0.0023
	Seminitavi in aree non irrigue	SILT	B	73	0.2034
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	4.5643
	Sistemi colturali e particellari permanenti	CLAY LOAM	D	84	0.0007
	Sistemi colturali e particellari permanenti	SILT	B	73	0.0616



	Sistemi colturali e particellari permanenti	SILTY CLAY	D	84	0.1656
	Tessuto urbano discontinuo	CLAY LOAM	D	92	0.0148
	Tessuto urbano discontinuo	LOAM	B	85	0.0001
	Tessuto urbano discontinuo	SILT	B	85	0.2975
	Tessuto urbano discontinuo	SILTY CLAY	D	92	0.0504
	Uliveti	CLAY LOAM	D	82	0.0043
	Uliveti	LOAM	B	65	0.0716
	Uliveti	SILT	B	65	0.0195
	Uliveti	SILTY CLAY	D	82	0.0462
A1	Aree industriali o commerciali	SILT	B	88	0.0023
	Aree industriali o commerciali	SILTY CLAY	D	93	0.0003
	Seminitavi in aree non irrigue	CLAY LOAM	D	84	0.0020
	Seminitavi in aree non irrigue	SILT	B	73	0.0169
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	0.1913
	Sistemi colturali e particellari permanenti	CLAY LOAM	D	84	0.0006
	Sistemi colturali e particellari permanenti	SILT	B	73	0.0084
	Sistemi colturali e particellari permanenti	SILTY CLAY	D	84	0.0046
	Tessuto urbano discontinuo	SILT	B	85	0.0535
	Tessuto urbano discontinuo	SILTY CLAY	D	92	0.0146
A2	Seminitavi in aree non irrigue	SILT	B	73	0.0138
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	0.4780
	Tessuto urbano discontinuo	LOAM	B	85	0.0001
	Tessuto urbano discontinuo	SILT	B	85	0.0084
	Tessuto urbano discontinuo	SILTY CLAY	D	92	0.0019
	Uliveti	LOAM	B	65	0.0710
	Uliveti	SILT	B	65	0.0062
	Uliveti	SILTY CLAY	D	82	0.0308
A3	Seminitavi in aree non irrigue	SILT	B	73	0.0021
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	0.3773
B1	Seminitavi in aree non irrigue	SILT	B	73	0.0108
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	0.2591
	Uliveti	SILT	B	65	0.0018
	Uliveti	SILTY CLAY	D	82	0.0046
B2	Seminitavi in aree non irrigue	SILT	B	73	0.0247
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	0.2727
B3	Seminitavi in aree non irrigue	SILT	B	73	0.0017
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	0.0426
B4	Seminitavi in aree non irrigue	SILT	B	73	0.0163
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	0.5104

È allora necessario valutare il parametro CN II di ciascun bacino come media pesata sull'area dei vari CN II di ciascuna area omogenea.

$$\text{Media Ponderata} = \frac{\sum_{i=1}^n [x_i \cdot p_i]}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

Così facendo si ottiene i seguenti valori medi pesati di CNII



Come di pratica comune, per tenere conto della situazione più cautelativa in cui l'evento critico possa presentarsi in corrispondenza di una condizione satura del suolo, si è scelto di adottare per l'esame in oggetto il valore relativo alla classe AMC III, ottenendo il parametro di progetto **CN III** già incontrato per la formula di calcolo SCS del tempo di corrivazione.

Si sono calcolati dunque gli altri due parametri del metodo: S è la capacità di ritenzione superficiale e Ia^2 il valore limite di pioggia che il terreno può trattenere nella fase iniziale.

Bacino	CN	CN III	S	ia
TOTALE	83.3	93.0	19.2	3.8
A1	83.7	93.2	18.5	3.7
A2	81.3	91.8	22.8	4.6
A3	83.9	93.4	18.1	3.6
B1	83.4	93.0	19.0	3.8
B2	83.1	92.8	19.5	3.9
B3	83.6	93.1	18.7	3.7
B4	83.7	93.2	18.5	3.7

Infine si è valutata la pioggia netta mediante la seguente espressione:

$$h_n = \frac{(h - Ia)^2}{h - Ia + S}$$

Si sono così ottenuti gli ietogrammi di pioggia netta per ciascun bacino analizzato, ciascun tempo di ritorno considerato e ciascuna durata di pioggia indagata.

² $Ia = 0.2 \cdot S$



TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI

Al fine di stimare le portate che defluiscono all'interno dei bacini indagati, la trasformazione afflussi-deflussi è stata svolta, per ciascun tempo di ritorno e ciascuna durata di pioggia, adottando il modello *cinematico*.

Il metodo cinematico utilizza l'equazione di continuità e l'approssimazione cinematica delle equazioni complete di De Saint Venant per trasformare la precipitazione efficace in deflusso superficiale.

Il bacino viene rappresentato tramite un modello concettuale in cui possono essere definiti due piani rettangolari, percorsi dal deflusso superficiale (overland flow planes) e tre canali che raccolgono il deflusso proveniente dai piani rettangolari.

Il calcolo inizia a partire con l'analisi del deflusso sui piani rettangolari (overland flow planes). HEC-HMS calcola l'idrogramma dei deflussi relativo al primo piano ed al secondo piano. Il deflusso proveniente dai due piani rettangolari viene sommato e poi immesso nel canale principale (main channel) come portata laterale uniformemente distribuita lungo tutto il corso del canale.

L'equazione che modella il fenomeno di trasferimento della massa liquida sia sui versanti (overland flow planes) che nell'alveo del corso d'acqua e l'equazione dell'onda cinematica:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \alpha m A^{m-1} \frac{\partial A}{\partial x} = q$$

in cui A è l'area liquida della sezione di deflusso, q la portata continua in ingresso lungo l'ascissa x del corso d'acqua, α ed m due parametri univocamente determinati dalla geometria e dalla scabrezza della sezione di deflusso, essendo per ipotesi nel metodo cinematico:

$$Q = \alpha A^m$$

Il coefficiente di scabrezza relativo al moto sui versanti (che è diverso dal coefficiente di Manning) può essere ricavato dalla seguente tabella:



n	Surface Description
0.011	Smooth asphalt
0.012	Smooth concrete
0.013	Concrete lining
0.014	Good wood
0.014	Brick with cement mortar
0.015	Vitrified clay
0.015	Cast iron
0.024	Corrugated metal pipe
0.024	Cement rubble surface
0.050	Fallow (no residue)
	Cultivated soils
0.060	Residue cover $\leq 20\%$
0.170	Residue cover $> 20\%$
0.130	Range (natural)
	Grass
0.150	Short grass prairie
0.240	Dense grasses
0.410	Bermuda grass
	Woods
0.400	Light underbrush
0.800	Dense underbrush

*When selecting n for woody underbrush, consider cover to a height of about 30 mm (0.1 ft). This is the only part of the plant cover that will obstruct sheet flow.

Per ciascun bacino si è allora assegnata l'area, il parametro CN e la pendenza media precedentemente determinati, mentre si è posta la scabrezza dei plane pari a 0.130, il manning dei channel pari a 0.03. I channel sono stati impostati con sezione trapezia e sponde in ogni caso con pendenza pari a 1H:1V. Si riportano gli altri parametri impiegati.

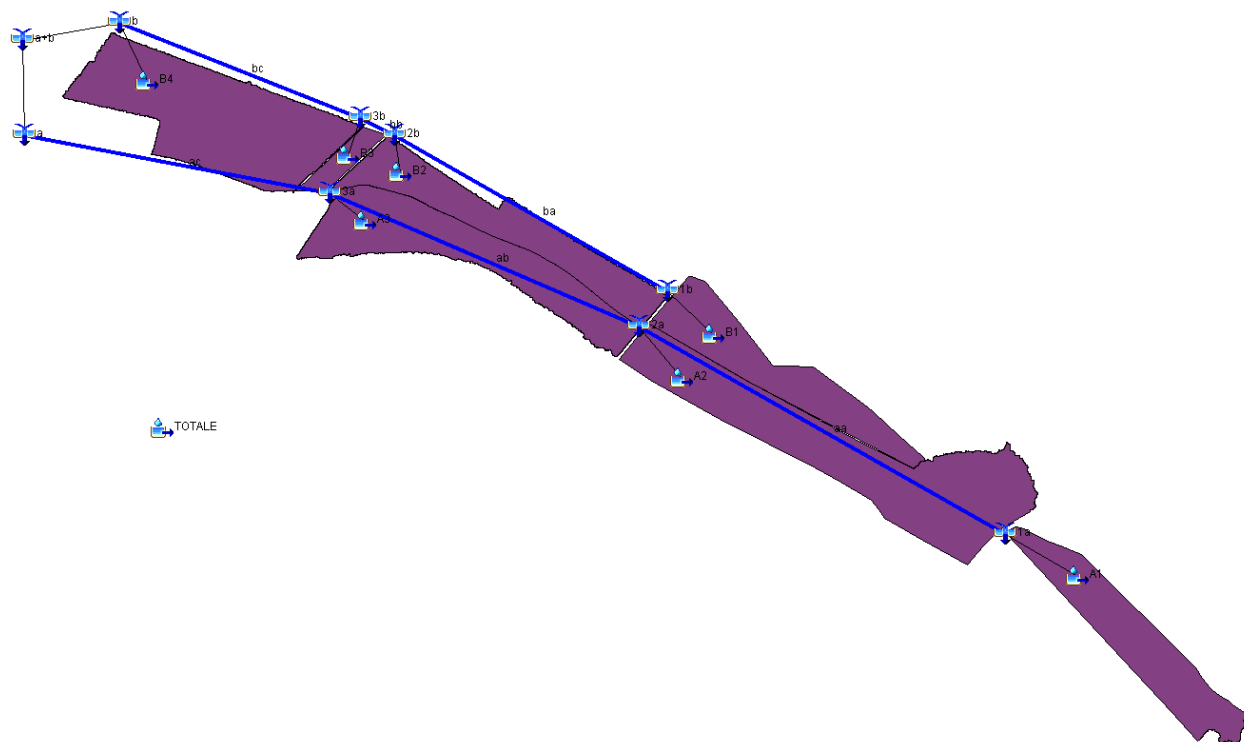
bacino	Plane Length	Area %	Channel length	Channel slope	Channel width
TOTALE	400	100	7000	0.00035	3
A1	212	100	1387	0.00032	1
A2	297	100	2050	0.00032	1
A3	188	100	1750	0.00032	2.3
B1(Plane 1)	104	50	1320	0.00111	3
B1(Plane 2)	104	50	-	-	-
B2	180	100	1650	0.00111	3
B3	370	100	120	0.00111	3.3
B4	399	100	1320	0.00111	5

Inoltre è stato modellato l'elemento reach e la successiva junction posti a valle del bacino A1, per simulare il trasferimento dell'onda sino alla sezione di monte (n. 42 in HEC-RAS) del modello idraulico del Fosso Vecchio. L'elemento reach in tal caso è stato modellato secondo il trasferimento dell'onda cinematica, considerando l'alveo lungo circa 2km, con pendenza 0.00035, manning 0.025, e sezione trapezia con larghezza alla base di 1 metro e sponde con pendenza 1:1.



RISULTATI IDROLOGICI

Si riportano ora la planimetria del modello idrologico e i valori delle portate massime al colmo d'onda per ciascun bacino analizzato, nell'allegato idraulico sono riportati gli idrogrammi in forma grafica.



PER TR30

Bacino\ore	0.5	0.75	1	1.5	2	2.5	3	3.5	6	12
A1	2,0	2,6	2,9	2,8	2,4	2,2	2,0	1,8	1,3	0,8
A2	2,7	3,6	4,3	4,9	4,6	4,2	3,8	3,5	2,6	1,7
A3	2,1	2,9	3,3	3,5	3,1	2,8	2,5	2,3	1,7	1,1
Junction A1+A2	3,0	4,0	4,7	5,4	5,9	5,9	5,5	5,1	3,8	2,5
B1	3,0	3,4	3,3	2,7	2,4	2,1	1,9	1,7	1,2	0,8
B2	2,4	3,0	3,2	2,8	2,5	2,2	2,0	1,8	1,3	0,8
B3	0,4	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1
B4	3,9	5,0	5,5	5,0	4,4	3,9	3,5	3,2	2,3	1,5
TOTALE	14,2	19,7	24,5	31,9	36,1	36,5	34,4	32,0	23,8	15,5

PER TR200

Bacino\ore	0.5	0.75	1	1.5	2	2.5	3	3.5	6	12
A1	4,3	5,2	5,3	4,5	3,9	3,4	3,1	2,8	2,0	1,3
A2	6,1	8,0	9,1	8,7	7,6	6,8	6,1	5,6	4,1	2,6
A3	4,7	6,1	6,6	5,8	5,0	4,4	4,0	3,6	2,6	1,7
Junction A1+A2	6,5	8,5	9,3	10,8	10,9	9,9	9,0	8,3	6,0	3,9
B1	6,2	6,1	5,4	4,4	3,7	3,3	2,9	2,6	1,9	1,2
B2	5,3	6,0	5,6	4,6	3,9	3,5	3,1	2,8	2,0	1,3
B3	1,0	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2
B4	9,0	10,3	9,9	8,2	7,0	6,2	5,5	5,0	3,6	2,3
TOTALE	32,8	44,8	54,5	67,0	67,4	61,6	56,2	51,6	37,5	24,2



DESCRIZIONE DEL MODELLO MATEMATICO

Il software HEC-RAS è un sistema integrato predisposto per un uso interattivo tramite un'interfaccia grafica che permette di accedere alle altre componenti quali l'analisi idraulica, l'archiviazione e la gestione dei dati e la visualizzazione dei risultati.

Il sistema dispone di tre componenti principali per la modellazione idraulica secondo lo schema monodimensionale destinate rispettivamente al regime di moto permanente, vario e a quello con fondo mobile.

La componente del sistema di modellazione relativa al regime permanente serve per calcolare la variazione del pelo libero per tali condizioni di moto lungo il corso d'acqua.

Il sistema può considerare sia una rete completa di canali, sia un sistema endoreico (alveo che si immette in un lago che assicura sempre la stessa quota liquida) e sia infine un singolo corso d'acqua.

La componente di moto permanente è in grado di modellare correnti lenti, veloci e miste.

La procedura di calcolo è basata sulla soluzione delle equazioni dell'energia secondo lo schema monodimensionale. Le perdite di energia considerate sono dovute alla scabrezza (eq. di Manning) ed alla contrazione e/o espansione della vena fluida, attraverso un coefficiente moltiplicatore della variazione dell'energia cinetica. L'equazione dei momenti è utilizzata nelle situazioni in cui il pelo libero dell'acqua subisce variazioni repentine.

Questa situazione comprende la valutazione in corrente mista (es: risalto idraulico), dell'idraulica dei ponti e dei profili in corrispondenza della confluenza tra diversi corsi d'acqua.

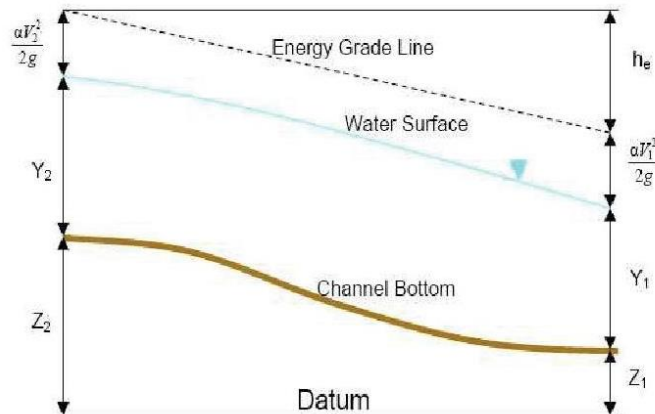
L'effetto di diverse ostruzioni quali ponti, tombini, briglie e strutture in genere lungo i corsi d'acqua può essere considerata nei calcoli idraulici.

Il sistema di calcolo in moto permanente è concepito per applicazioni nella sistemazione dei corsi d'acqua e delle pianure alluvionali e per gli studi finalizzati alla determinazione delle aree allagabili con diversi tempi di ritorno in caso di esondazioni dai corsi d'acqua. È inoltre possibile valutare il cambiamento nelle caratteristiche di moto dovuto alla rettifica della sezione e/o alla realizzazione di argini.

Il modello presuppone che siano fornite tutte le informazioni necessarie, ed in particolare la geometria di un numero sufficiente di sezioni trasversali, la scabrezza che metta in conto le resistenze idrauliche, le condizioni al contorno e le portate.

Il programma consente di inserire sezioni trasversali fittizie, interpolando quelle rilevate, in modo da assicurare che il passo di discretizzazione spaziale non ecceda un assegnato valore limite ed è in grado di modellare il comportamento di canali naturali e artificiali tenendo conto dell'influenza sul moto di manufatti di vario tipo quali ponti, briglie, paratoie che influenzano le caratteristiche della corrente.

Per l'analisi in moto permanente HEC-RAS determina il profilo del pelo libero tra una sezione e la successiva mediante la procedura iterativa denominata standard step, risolvendo l'equazione del bilancio energetico.



$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - h_e \quad (1)$$

dove:

Y_1 e Y_2 sono le altezze d'acqua riferite al fondo dell'alveo;

Z_1 e Z_2 sono le altezze del fondo rispetto ad una quota di riferimento;

V_1 e V_2 sono le velocità medie della corrente nelle due sezioni estreme del tronco fluviale considerato;

α_1 e α_2 sono coefficienti di ragguglio delle potenze cinetiche;

h_e è la perdita di carico tra le due sezioni considerate.

Il termine h_e dipende sia dalle perdite per attrito che da quelle per contrazione ed espansione. Esso si può valutare mediante la seguente relazione:

$$h_e = L \cdot \bar{S}_f + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

dove:

L è la lunghezza del tronco considerato;

\bar{S}_f è la cadente media tra le due sezioni;

C è il coefficiente di perdita di carico per contrazione o espansione.

Il primo termine rappresenta la perdita totale per attrito, prodotto tra la distanza tra le due sezioni e la cadente media. Il programma prevede diverse possibilità di calcolo della cadente, che viene determinata presupponendo una suddivisione della sezione d'alveo in sottosezioni all'interno delle quali la velocità possa ritenersi con buona approssimazione costante. Per ciascuna di queste sottosezioni (golena sinistra, alveo e golena destra) è possibile assegnare un diverso valore del coefficiente di Manning da adottare nel calcolo.



Il secondo termine della equazione per il calcolo delle perdite di carico rappresenta invece il contributo dovuto alla contrazione ed espansione dell'area bagnata; tali perdite sorgono nel momento in cui si abbia un allargamento o restringimento della sezione che determini una situazione di corrente non lineare. Il coefficiente C varia in un intervallo compreso tra 0.1 e 1 per correnti subcritiche, mentre in caso di correnti veloci generalmente si assumono valori inferiori.

L'altezza del pelo libero, in riferimento ad una assegnata sezione, viene determinata mediante una risoluzione iterativa delle equazioni (1) e (2). Il modello fornisce inoltre i valori dell'altezza critica nelle diverse sezioni fluviali. Qualora si verificano transizioni da corrente lenta a veloce o viceversa, in tali segmenti di asta fluviale l'equazione di bilancio energetico è sostituita dall'equazione globale di equilibrio dinamico.

Il modello HEC-RAS consente anche di modellare l'effetto indotto sulla corrente dalla presenza di attraversamenti fluviali, nel caso che il deflusso attraverso il ponte avvenga a pelo libero ma anche in pressione. La perdita di energia causata dal ponte è divisa in tre parti: in primo luogo le perdite che si hanno nella zona immediatamente a valle del ponte dove, generalmente, si ha un'espansione della corrente. Sono poi considerate le perdite di energia che si verificano durante l'attraversamento del ponte, nonché le perdite che si hanno immediatamente a monte, ove la corrente subisce una contrazione. Per i coefficienti di contrazione ed espansione si sono quindi adottati rispettivamente i valori di 0.1 e 0.3.

In caso di simulazione in moto vario il software HEC-RAS utilizza le equazioni di De Saint Venant secondo differenti metodi di risoluzione a seconda che l'analisi si svolga in condizioni di corrente lenta, veloce o mista.

Equazione di continuità:

$$\frac{(\partial A)}{(\partial t)} + \frac{(\partial(\Phi \cdot Q))}{(\partial x_e)} + \frac{(\partial[(1-\Phi) \cdot Q])}{(\partial x_f)} = 0$$

Equazione di conservazione della quantità di moto:

$$\frac{(\partial Q)}{(\partial t)} + \frac{(\partial(\Phi^2 Q^2 / A_e))}{(\partial x_e)} + \frac{(\partial((1-\Phi^2) Q^2 / A_f))}{(\partial x_f)} + g A_e \left[\frac{(\partial Z)}{(\partial x_e)} + S_{fe} \right] + g A_f \left[\frac{(\partial Z)}{(\partial x_f)} + S_{ff} \right] = 0$$

con:

$$Q_e = \Phi \cdot Q ; \quad \Phi = (K_e) / (K_e + K_f)$$

Per approfondimenti sulle equazioni ed algoritmi di calcolo si rimanda alla modilistica di HEC-RAS, ed in particolare all'Hydraulic Reference Manual.

MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

Il modello matematico bidimensionale utilizza le equazioni di continuità (o conservazione della massa) e della quantità di moto, risolte con uno schema ai volumi finiti.

Assumendo il fluido incompressibile l'equazione differenziale di continuità in moto vario si riduce:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(h \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial(h \cdot v)}{\partial y} + q = 0$$

In cui u e v sono rispettivamente le componenti di velocità lungo le direzioni x ed y.

Quando la dimensione orizzontale caratteristica dell'area di deflusso è molto maggiore della verticale, gli effetti legati alla componente verticale della velocità possono essere trascurati, assumendo una distribuzione



idrostatica delle pressioni. Assumendo quindi costante la densità del fluido l'equazione di conservazione della quantità di moto si riduce:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial y} = -g \cdot \frac{\partial H}{\partial x} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f \cdot u + f \cdot v$$

Dove ν_t è il coefficiente di viscosità turbolenta, C_f il coefficiente di attrito al fondo ed f è il coefficiente di Coriolis.

Per la modellazione del campo di moto HEC-RAS impiega l'approccio batimetrico con il quale riesce a rappresentare informazioni topografiche dettagliate pur utilizzando celle di calcolo di dimensioni maggiori, ricavandone la legge di variazione delle grandezze idrauliche (curva di invaso della cella e sezione idraulica lungo il bordo) con la quota del pelo libero. Tale metodologia risolutiva consente di raggiungere un elevato dettaglio dei risultati, abbattendo drasticamente i tempi computazionali rispetto ad altri software.

Preme sottolineare che nel modello in analisi per tutte le aree 2D indagate è stato applicato il modulo computazionale **Full Momentum** che adotta per il calcolo le intere equazioni 2D di De Saint Venant, senza trascurarne alcun termine, assicurando la massima accuratezza del risultato a scapito di un maggior onere computazionale.



MORFOLOGIA DELL'ALVEO

La modellazione morfologica del territorio, necessaria come dato di input per le sezioni geometriche da introdurre nel software HEC-RAS 5.0.6, è stata ottenuta a partire dal rilievo lidar restituito in formato DTM 1x1 m e messo a disposizione dalla Regione Toscana all'interno del proprio opendata sul sito web, per quanto riguarda la modellazione delle aree 2D.

Parallelamente per le modellazioni monodimensionali degli alvei sono state introdotte nel modello le geometrie delle sezioni trasversali e dei manufatti di attraversamento come ottenute dalle sezioni di rilievo GPS fornite dall'Agr. Federico Martinelli.

E' stato così implementato un modello idraulico unico per i due corsi d'acqua, Fossa Vecchia e Fosso dell'Alberaccio, per un tratto di lunghezza ampiamente significativa per la presente analisi.

Per la modellazione dell'alveo inciso si è fatto riferimento alle sezioni di rilievo topografico. L'ubicazione planimetrica delle sezioni di calcolo è riportata in allegato. Per una più corretta definizione della geometria di progetto sono state utilizzate anche delle sezioni interpolate, generate da HEC-RAS a partire dalle sezioni rilevate e ricostruite anche sulla base dei dati LIDAR disponibili.

Le caratteristiche topografiche della rete di calcolo 2D sono state desunte dal DTM generato dai dati LIDAR della Regione Toscana disponibili per l'area di studio, verificando la congruenza tra i rilievi disponibili ed i dati LIDAR. La rete di calcolo bidimensionale interessa le aree esterne all'alveo inciso ed è stata definita utilizzando le opzioni di discretizzazione automatica del dominio di calcolo presenti in RAS, definendo opportune break lines in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, rilevati, etc.

La rete bidimensionale è collegata al modello monodimensionale tramite delle lateral structure da cui si ha lo scambio di acqua (bidirezionale) tra modello monodimensionale e modello bidimensionale. La geometria delle lateral structure è ripresa dai dati dei rilievi topografici eseguiti, integrata ove necessario dai dati LIDAR.



COEFFICIENTE DI SCABREZZA

Parametro fondamentale per la modellazione dell'alveo all'interno del solutore adottato, è costituito dal coefficiente di scabrezza di Manning, che è stato posto pari a $n=0.03$ su tutto il tratto in esame, senza distinzione alcuna tra le porzioni di alveo di magra e quelle golenali.

Il coefficiente di scabrezza delle celle bidimensionali è stato assegnato a partire dall'uso del suolo derivato dal progetto Corine, secondo la seguente tabella di corrispondenza (R. Pestana et al. 2013, Calibration of 2d hydraulic inundation models in the floodplain region of the lower Tagus river, ESA Living Planet Symposium 2013).

Code	Designation	n
111	Continuous urban fabric	0.230
112	Discontinuous urban fabric	0.115
121	Industrial or commercial units	0.230
122	Roads and rail networks and associated land	0.038
124	Airports	0.230
131	Mineral extraction sites	0.104
132	Dump sites	0.115
133	Construction sites	0.115
142	Sport and leisure facilities	0.023
211	Non-irrigated arable land	0.043
212	Permanently irrigated land	0.043
213	Rice fields	0.023
221	Vineyards	0.043
222	Fruit trees and berry plantations	0.043
223	Olive groves	0.043
231	Pastures	0.298
241	Annual crops associated w/permanent crops	0.043
242	Complex cultivation patterns	0.023
243	Agriculture, w/significant natural vegetation	0.058
244	Agro-forestry areas	0.058
311	Broad-leaved forest	0.230
312	Coniferous forest	0.127
313	Mixed forest	0.230
321	Natural grasslands	0.039
322	Moors and heathland	0.058
323	Sclerophyllous vegetation	0.058
324	Transitional woodland-shrub	0.058
331	Beaches, dunes, sands	0.138
332	Bare rocks	0.104
333	Sparsely vegetated areas	0.104
334	Burnt areas	0.104
411	Inland marshes	0.115
511	Water courses	0.035
512	Water bodies	0.035



MODELLAZIONE ATTRAVERSAMENTI

La modellazione degli attraversamenti e di altre opere geometricamente rilevanti è avvenuta mediante rilievi speditivi sul posto. La geometria delle opere individuate è stata così ricollegata alla morfologia derivante dai rilievi lidar e introdotta nel software di calcolo HEC-RAS.

Oltre all'introduzione geometrica dell'attraversamento, sono stati definiti i parametri di calcolo; Per quanto riguarda il "low flow method" è stato impiegato il metodo dell'energia a standard step. Per quanto riguarda invece il "high flow method" si è scelto il metodo noto come "pressure and/or weir" per il quale è stato assegnato un coefficiente per il flusso sommerso pari a 0.8, mentre è stato assegnato 1.67 per il coefficiente weir.

Nel caso delle lateral structures

Per quanto riguarda i Contraction/Expansion Coefficients sono stati adottati rispettivamente i valori di 0.1 e 0.3 in tutte le sezioni modellate dell'alveo, localmente incrementati rispettivamente a 0.3 e 0.5 per le sezioni immediatamente a monte e a valle di tutti gli attraversamenti o altre singolarità che impongono sollecitazioni al normale deflusso.

I parametri così adottati risultano cautelativi per il caso in analisi.



CONDIZIONI AL CONTORNO

Per consentire l'avvio della simulazione di deflusso, è ancora necessario introdurre le condizioni al contorno.

Condizione al contorno di monte

La condizione al contorno di monte, nel caso di simulazioni di moto vario, è definita dall'idrogramma calcolato ai paragrafi precedenti.

In particolare alcuni degli idrogrammi calcolati sono stati introdotti nel modello come localizzati in specifiche sezioni, o distribuiti uniformemente lungo tratti del corso d'acqua, come descritto nella seguente tabella.

Idrogramma	Corso d'acqua	Tipo introduzione idrogramma	Sezioni di introduzione
Junction A1+A2	Fosso Vecchio	Localizzato	42
A3	Fosso Vecchio	Distribuito	Da 39 a 18
B1	Fosso dell'Alberaccio	Localizzato	23
B2	Fosso dell'Alberaccio	Distribuito	Da 20 a 10
B3	Fosso dell'Alberaccio	Localizzato	8
B4	Fosso dell'Alberaccio	Distribuito	Da 6 a 2

Condizione al contorno di valle

Per quanto riguarda invece la condizione al contorno di valle è necessario invece affinare alcune considerazioni.

Il territorio in analisi infatti, e con esso i due corsi d'acqua analizzati, è posto all'interno di una più vasta area di bonifica idraulica il cui recapito finale è costituito dall'idrovora di Agnano di cui si riporta a seguire la scheda tecnica disponibile sul sito internet del Consorzio 4 Basso Valdarno, da cui risulta una portata massima pari a 4.75 mc/s.

IMPIANTO IDROVORO DI AGNANO

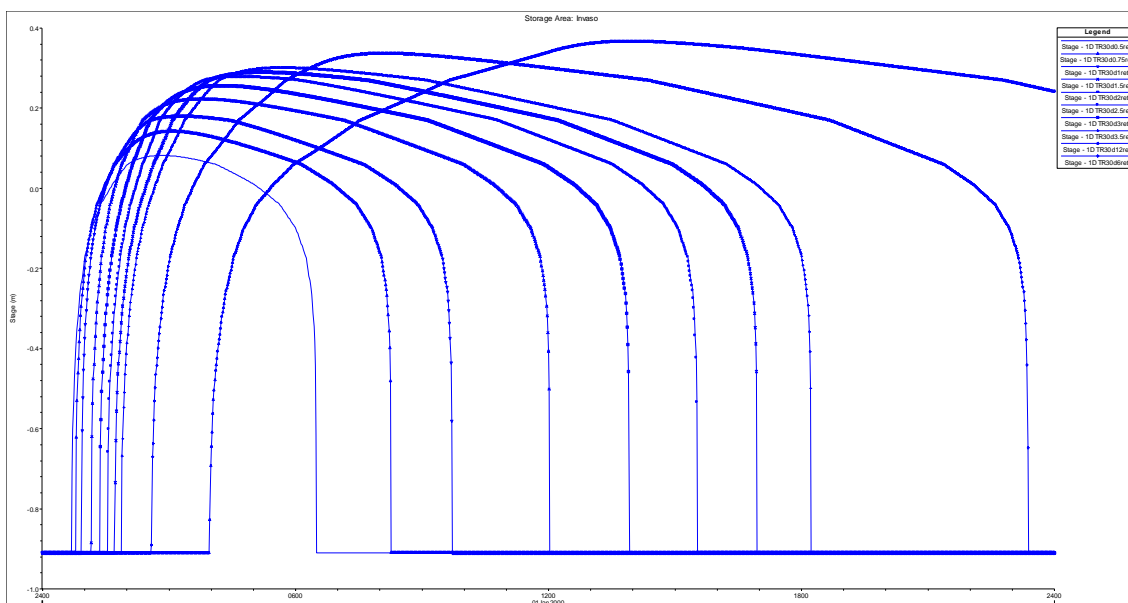
Scheda Impianto Idrovoro Agnano	
Superficie Scolante:	Ha 490
Elettropompe installate:	n. 3 elettropompe sommergibili Flygt n. 1 elettropompa sommergibile A.B.S.
Portata totale elettropompe :	4.750 litri/secondo



Al fine di introdurre la condizione al conto di valle per i due corsi d'acqua modellati, è stato perciò necessario determinare l'idrogramma delle altezze liquide in alveo in corrispondenza dell'impianto idrovoro e da questo condizionate. E' stato perciò necessario implementare un secondo modello idraulico semplificato, che schematizza tutta l'area di bonifica come un'unica storage area monodimensionale la cui curva di invaso è determinata a partire dal DTM lidar, in cui sono introdotti in ingresso gli idrogrammi calcolati per il bacino TOTALE. Alla stessa storage area è stata poi assegnata una portata costante in uscita pari a 4.75 mc/s, tale cioè da rappresentare le portate sollevate dall'impianto idrovoro.

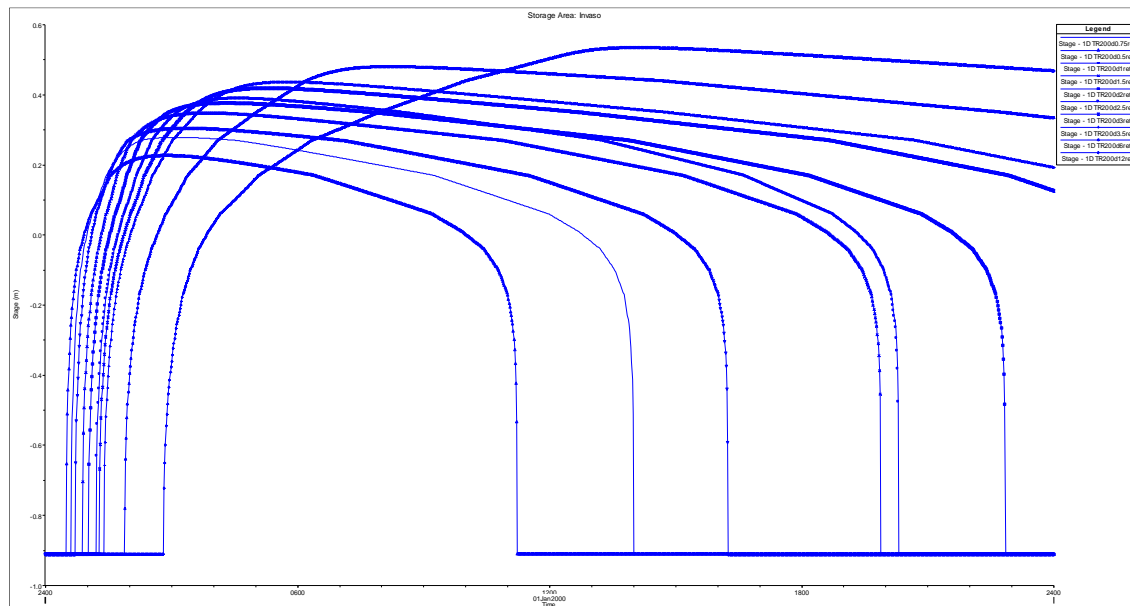
Il modello è stato quindi fatto girare per i vari eventi meteorici precedentemente calcolati, ottenendo come risultato finale le curve (associate a ciascun evento) relative alla quota liquida invasata nella bonifica in funzione del tempo, riportate di seguito.

PER TR30





PER TR200



Come è facile osservare, perciò, la quota liquida determinata per la storage area non supera la quota di 0.4 mslm per eventi con TR30 e 0.6 mslm per eventi con TR200 entrambi riferiti al medesimo sistema di riferimento del lidar.

Dalle successive prime prove di simulazione del modello idraulico implementato, si è osservato che tale condizione al contorno risulta meno cautelativa piuttosto che imporre la pendenza della linea dell'energia in deflusso di moto uniforme.

Pertanto si è preferito a favore di sicurezza imporre come condizione al contorno in entrambi casi la pendenza della linea dell'energia, assunta pari alla pendenza di fondo, perciò si è assunto 0.00035 m/m per il Fosso Vecchio, e 0.00015 m/m per il Fosso dell'Alberaccio.

Condizioni al contorno per le aree 2D

Per quanto riguarda infine le aree 2D, esse sono state connesse ai corsi d'acqua introducendo apposite lateral structures, che permettono il trasferimento dei volumi d'acqua esondanti tra le sezioni d'alveo monodimensionali e le aree 2D. La loro geometria è stata ottenuta dal lidar, mentre per il metodo computazionale per la modellazione dello sfioro si è adottato il più attendibile "normal 2D equation domain".

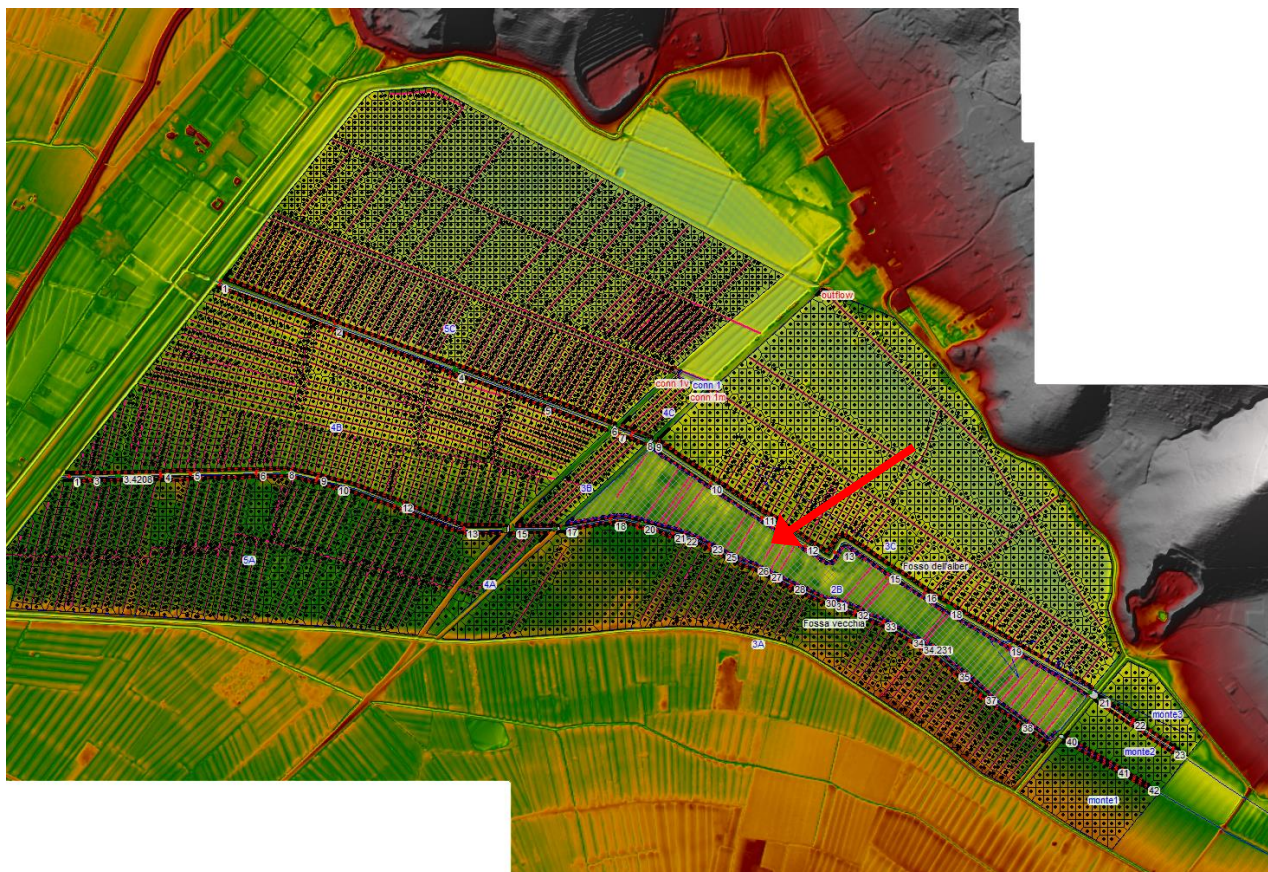
Inoltre si è reso necessario introdurre una connessione idraulica tra due aree bidimensionali (5C e 3C nel modello di HEC-RAS) in corrispondenza del tratto di Fosso della Lombarda compreso tra il sottopasso di via degli acquedotti e quello al di sotto della parallela pista ciclopedonale.

Infine è stata introdotta una condizione al contorno di outflow per l'area 2D (3C nel modello di HEC-RAS) in corrispondenza dell'antifosso del monte, cui è stato assegnato il valore di normal depth pari a 0.00015.



RISULTATI DELLE ANALISI

Il modello implementato è quindi rappresentato nella seguente immagine dove con freccia rossa è indicata l'ubicazione dell'intervento in oggetto



L'analisi è stata sviluppata per entrambi i tempi di ritorno considerati e per gli eventi di durata 1h, 2h, 3h, 6h, e 12h.

Nell'allegato idraulico si riportano integralmente i risultati delle modellazioni eseguite, mentre le tavole allegate riportano:

- Tav 1: planimetria del modello idrologico;
- Tav 2: planimetria del modello idraulico;
- Tav 3: planimetria delle esondazioni per TR30 e TR200;
- Tav 4: battenti idraulici per TR200;
- Tav 5: velocità per TR200;
- Tav 6: magnitudo.

Si precisa inoltre che la tavola 4 è ottenuta come inviluppo dei valori di battente idraulico determinato da ciascun evento modellato; il battente rappresentato per ogni area è perciò il massimo tra quelli calcolati per le varie durate indagate per gli eventi con TR200. La medesima considerazione riguarda la tavola 5, dove le velocità rappresentate sono ottenute come inviluppo di quelle determinate per i singoli eventi.



Inoltre, seppur non necessario per lo studio in analisi, le tavole 5 e 6, relative ai valori di velocità e magnitudo, sono state allegate al fine di fornire uno studio completo ed approfondito anche in ossequio alla recente LR 24 luglio 2018 n.41.

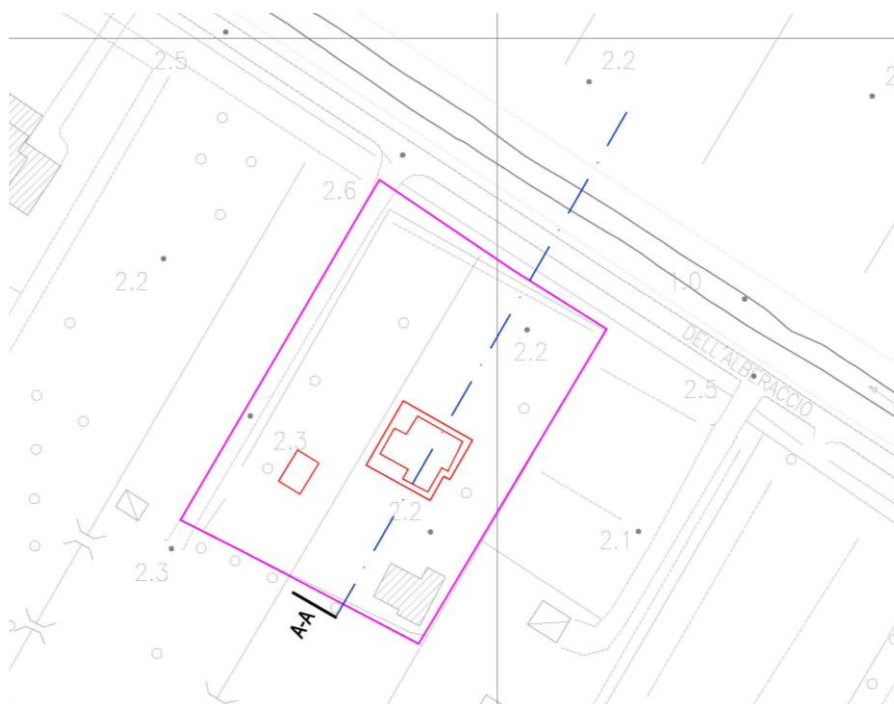
Facendo riferimento alle tavole allegate ed ai relativi grid di calcolo, sulle quali è stato riportato anche l'ingombro dei fabbricati in costruzione così come fornito dal progettista, si è verificato che l'impronta a terra del fabbricato principale, comprensivo dei marciapiedi, misura circa 150 mq, all'interno dei quali è stato calcolato il valore di battente medio duecentennale pari a circa 16 cm. Pertanto il volume d'acqua da compensare risulta pari a 25 mc, a cui devono essere aggiunti eventuali volumi ingombrati da rampe di raccordo o modellamenti del terreno.

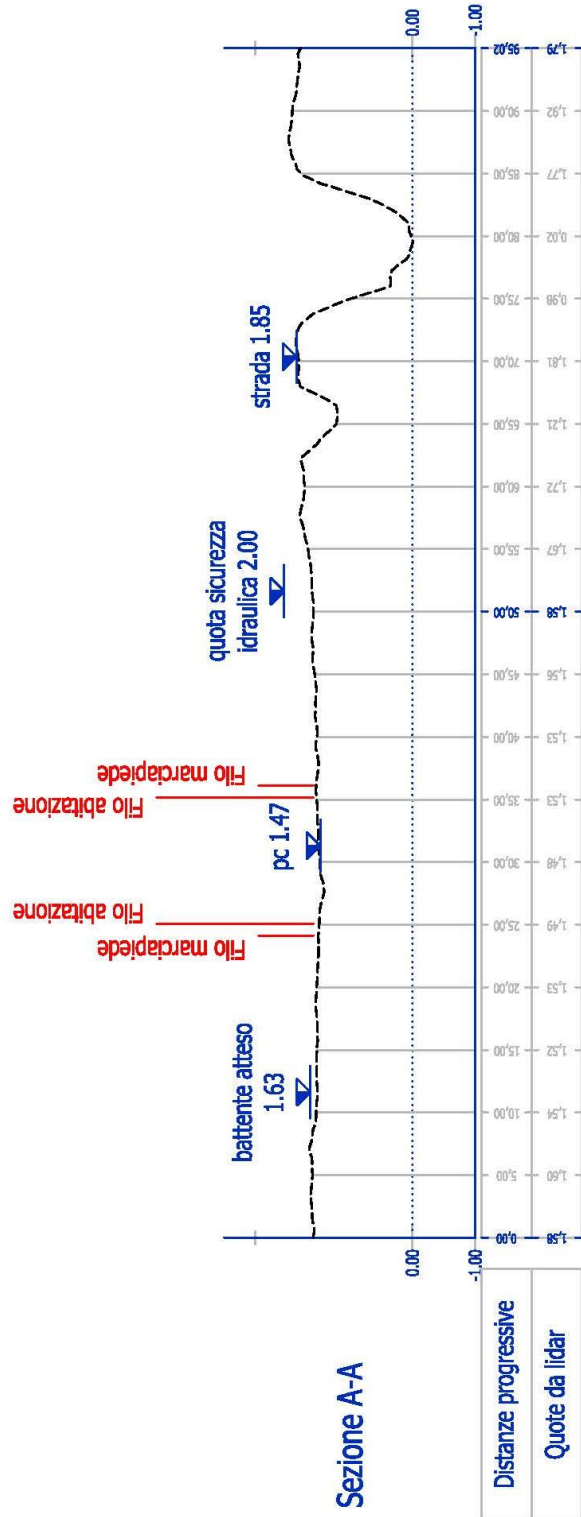
Quanto al fabbricato adibito ad autorimessa, il progettista riferisce che esso sarà realizzato a quota di piano campagna e ne sarà assicurata la trasparenza idraulica, pertanto non risulta per esso necessario alcun compenso idraulico.

Ogni altra modifica allo stato attuale dei luoghi, al momento non prevista in progetto, dovrà essere oggetto di nuove valutazioni.

Inoltre si osserva che la quota media del piano campagna in corrispondenza della costruzione ottenuta dal rilievo lidar si aggira approssimativamente attorno a 1.47 mslmm, mentre la quota della strada in corrispondenza della proprietà risulta pari a 1.85 mslmm. Riteniamo quindi che la quota di messa in sicurezza idraulica, quindi il piano finito dell'edificio, debba essere posta a quota non inferiore a 2.05 mslmm riferito alle quote lidar. In tal modo è assicurato il franco di sicurezza idraulico di 42 cm, ed è assicurato anche un dislivello tra strada e piano finito del fabbricato pari a 20 cm in favore di quest'ultimo.

Si rimanda al progettista la verifica di eventuali ulteriori vincoli imposti dalla materia urbanistica nei confronti delle quote da rispettare, anche in riferimento alla stessa strada.





CRITICITÀ INDIVIDUATE

Ci preme adesso evidenziare una criticità individuata durante l'analisi.

In sede di sopralluogo, infatti, è stato possibile constatare il collasso della bocca di monte del sifone di attraversamento del Fosso dell'Alberaccio al di sotto del Canale di Zambra (ponte 20.5 del modello HEC-RAS), si riporta di seguito ubicazione ed immagine fotografica.





In favore di sicurezza per lo studio in oggetto si è scelto di trascurare tale collasso, perciò la geometria di monte di tale attraversamento è stata posta uguale a quella di valle. Si suggerisce tuttavia di intervenire al più presto per il ripristino di tale attraversamento onde ripristinare il corretto deflusso delle acque. Nel contempo si suggerisce di verificare anche l'analogo sifone posto in corrispondenza del Fosso Vecchio, onde scongiurare ogni possibilità di successivo crollo, o eventualità di infiltrazione o commistione delle acque dello Zambra nel Fosso Vecchio.