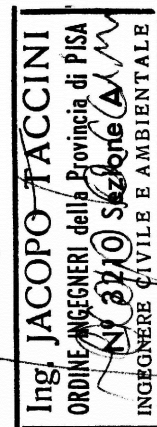


**Ing. Jacopo TACCINI**



via del Rio, 2 - 56025 PONTEDERA PI  
e-mail: [jacopo.taccini@sta-eng.it](mailto:jacopo.taccini@sta-eng.it)  
Cell. +39.328.4564561  
PEC: [jacopo.taccini@ingpec.eu](mailto:jacopo.taccini@ingpec.eu)  
Curriculum: <http://www.l2l.it/JTaccini>



Il Progettista

Il Direttore dei Lavori

ALLEGATO:

**RI**

**PROGETTO ESECUTIVO**

DATA: Luglio 2016

Pr. n°: 16-022

OGGETTO:

Studio idrologico ed idraulico del Rio Magno per variante semplificata al Regolamento Urbanistico del Comune di Buti

UBICAZIONE:

BUTI PI

COMMITTENTE:

Comune di BUTI

ELABORATO:

RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

Rev.	Data	Motivo
00	05.09.2016	Prima emissione
01	22.11.2016	Integrazioni
02		
03		
04		
05		



# RELAZIONE TECNICA

## Sommario

Premessa.....	5
Corografia.....	6
Il Rio Magno .....	8
Scelta del tempo di ritorno .....	11
Definizione del regime pluviometrico .....	12
Ietogramma di progetto.....	15
Quantificazione della pioggia netta.....	18
Trasformazione afflussi-deflussi .....	21
Validazione del modello matematico.....	23
Morfologia dell'alveo .....	26
Coefficiente di scabrezza .....	29
Condizioni al contorno.....	31
Modellazione degli attraversamenti .....	32
Risultati delle analisi .....	33



## ***PREMESSA***

Su incarico del Comune di Buti è stato studiato un tratto del corso d'acque denominato "Rio Magno", in vicinanza del quale è stata inserita la zona urbanistica Fb8 al cui interno sono previsti "Centri e residenze sanitarie".

Ciò per ottemperare alla richiesta di integrazioni avanzata dall'Ufficio del Genio Civile Valdarno Inferiore e Costa, Sede di Pisa, all'interno del parere espresso in data 04/04/2016 e riguardante la "Variante semplificata al Regolamento Urbanistico Comunale" presentata dal Comune di Buti.

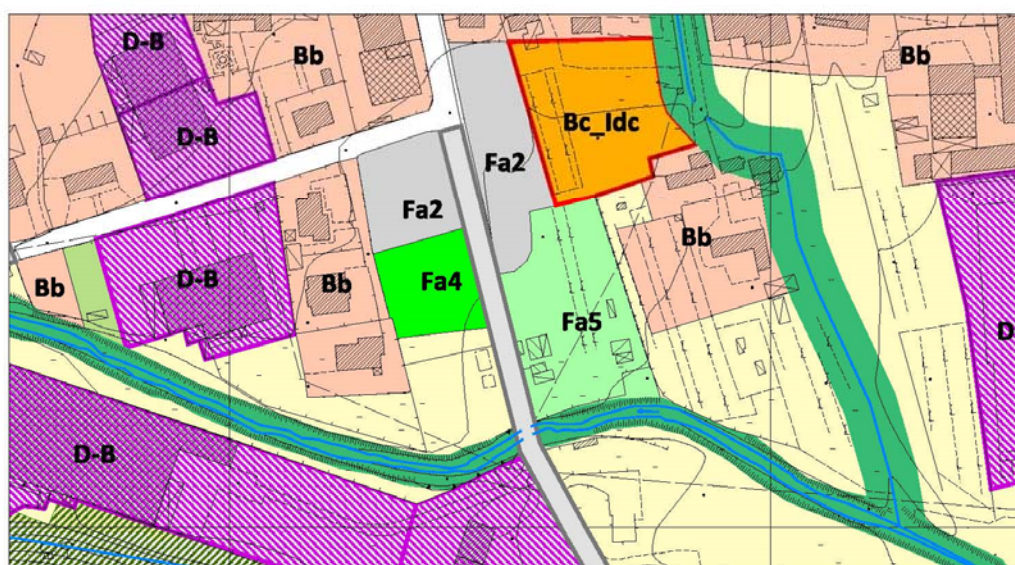
La presente relazione risulta modificata ed aggiornata secondo le indicazioni riportate nella richiesta di approfondimenti presentata dal Genio Civile Valdarno Inferiore e Costa.

## **COROGRAFIA**

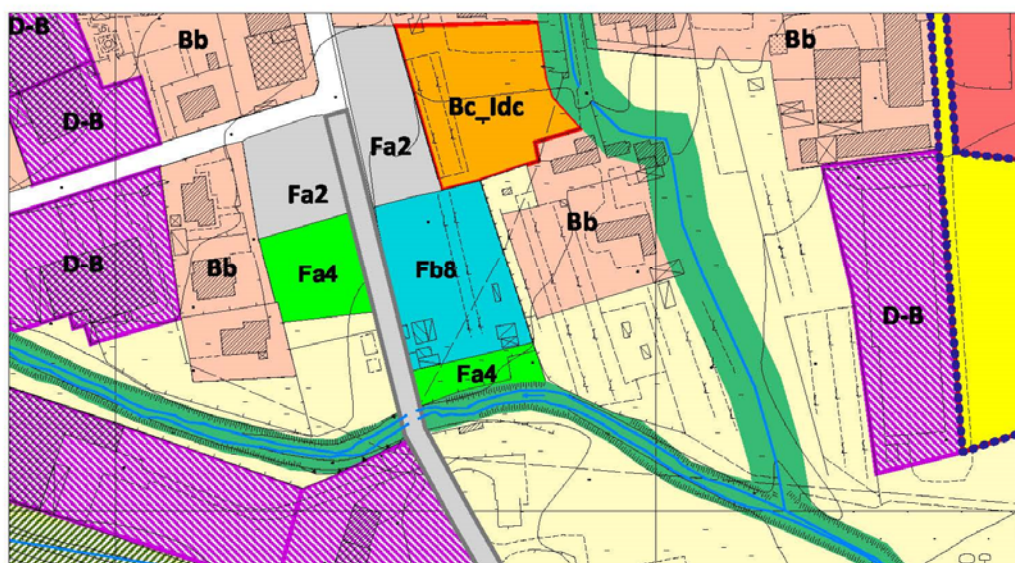
L'area di interesse oggetto della variante al Regolamento Urbanistico si colloca nella porzione sud-est del del Comune di Buti, in adiacenza al Rio Magno, principale corso d'acqua che attraversa il Territorio Comunale.

### **VARIANTE AL R.U. AI SENSI ART. 30 L.R. 65/14**

#### **1. VARIAZIONE AREA A SERVIZI, LOC. LA CROCE**



**Estratto TAV. 2 - Scala 1:2000 STATO VIGENTE**  
aggiornato alla variante resa efficace con pubblicazione BURT n. 50 del 16.12.2015



**Estratto TAV. 2 - Scala 1:2000 PROPOSTA DI VARIANTE**



## ***IL RIO MAGNO***

Il Rio Magno è un affluente del Canale Emissario di Bientina, e scorre interamente nel Comune di Buti.

Alla sezione di interesse per il presente studio il bacino imbrifero copre una porzione del Territorio Comunale pari a 10.5Kmq.

L'altitudine del bacino varia tra 910 e 30 m s.l.m.m con una quota media che si aggira attorno a 380 m s.l.m.m; la pendenza media del bacino è pari al 42% mentre quella dell'asta principale è pari al 10%.

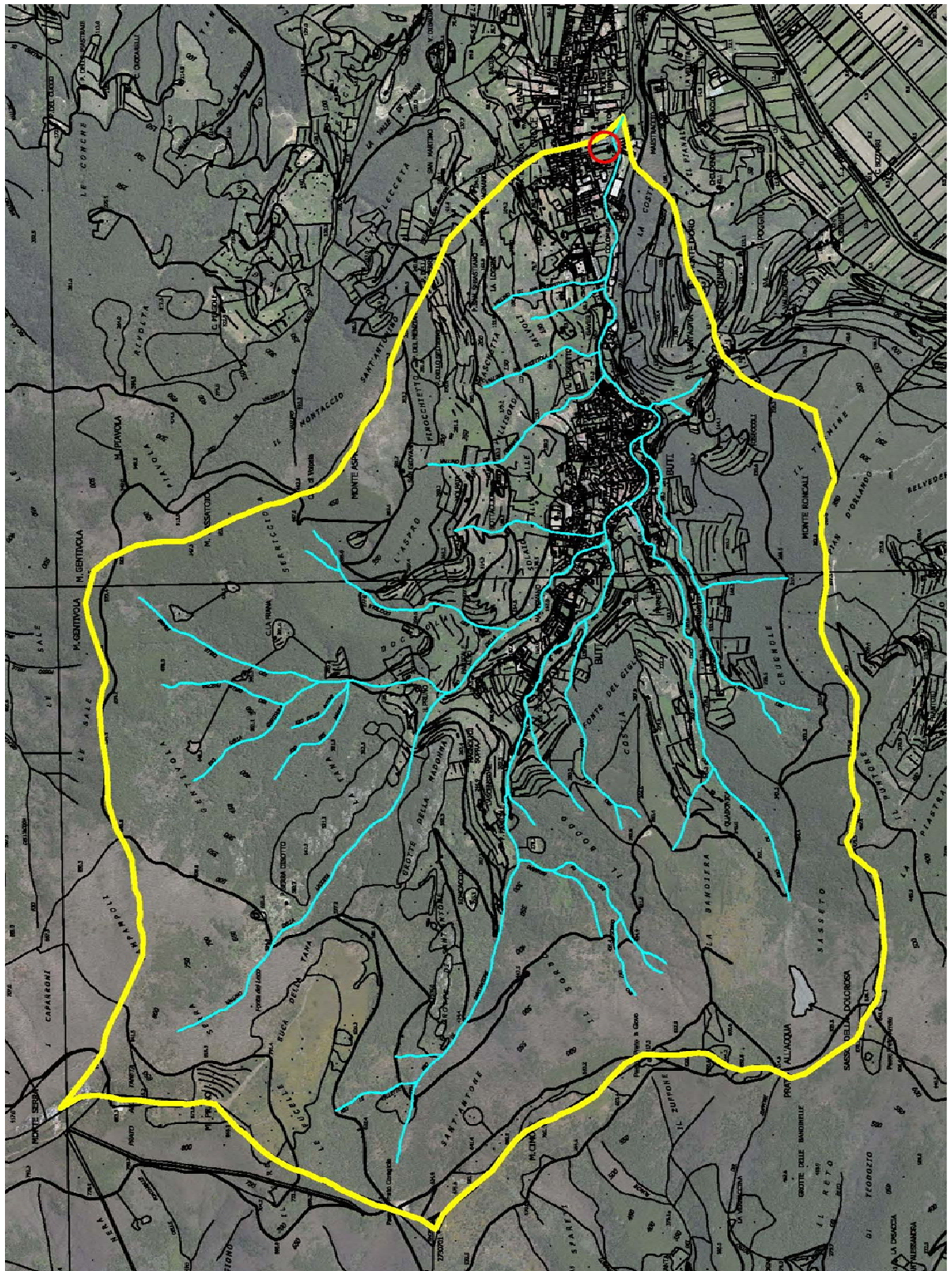
Nell'immagine a seguire è rappresentato a linea gialla il contorno del bacino imbrifero di interesse, e con un cerchietto rosso l'area in esame.

Lo sviluppo del corso d'acqua Rio Magno e dei suoi affluenti posti a monte della sezione di chiusura è evidenziato con una linea ciano.

Il bacino è stato perimetrato su base cartografica CTR 1:10.000 implementata con le curve di livello deducibili dal rilievo lidar 1:2.000 entrambi messi a disposizione dalla Regione Toscana sulla propria pagina web Geoscopio WGS.

Il corso d'acqua è invece delineato sulla base del reticolo idraulico ufficializzato dalla stessa Regione Toscana.





Il tempo di corrivazione è stato stimato secondo varie formule, ottenendo la durata dell'evento critico di progetto pari a 80 minuti pari alla media dei tempi di corrivazione ottenuti dalle varie formule.

- Secondo la formula di Viparelli il tempo di corrivazione risulta pari a 87 minuti

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

- Secondo la formula di Giandotti il tempo di corrivazione risulta pari a 86 minuti

$$T_c = \frac{1}{M \cdot d} \cdot \sqrt{A_b} + 1.5 \cdot L_b$$
$$0.8 \cdot \sqrt{H_m}$$

- Secondo la formula di Kiprich il tempo di corrivazione risulta pari a 28 minuti

$$T_c = \frac{0.95 \cdot L^{1.155}}{(H_{MAX} - H_{MIN})^{0.385}}$$

- Secondo la formula di Puglisi il tempo di corrivazione risulta pari a 113 minuti

$$t_c = 6L^{2/3} (h_{max} - h_{min})^{-1/3}$$

- Secondo la formula SCS Chow il tempo di corrivazione risulta pari a 97 minuti

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

Si è perciò scelto di adottare un tempo di corrivazione pari a **80 minuti**, come valore medio tra i tre sopra determinati.

## ***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".

## 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 ricadenti all'interno di tale perimetro.

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" <sup>1</sup>	"n"	"a"	"n"	"a"	"n"	"a"	"n"	"a"	"n"	"a"	"n"
TR2	29.416	0.23307	29.148	0.23533	29.332	0.23459	28.902	0.24286	28.794	0.2406	29.929	0.21511
TR5	40.492	0.23055	40.123	0.23281	40.377	0.23207	39.784	0.24034	39.635	0.23808	41.198	0.21258
TR10	48.403	0.23242	47.963	0.23467	48.267	0.23392	47.558	0.24221	47.38	0.23993	49.248	0.21444
TR20	56.672	0.23935	56.156	0.24162	56.511	0.24088	55.683	0.24913	55.473	0.24688	57.661	0.22138
TR30	61.947	0.24344	61.383	0.24569	61.771	0.24495	60.865	0.25322	60.636	0.25097	63.027	0.22547
TR50	68.96	0.25047	68.331	0.25273	68.765	0.25198	67.755	0.26027	67.5	0.25801	70.163	0.2325

<sup>1</sup> [ mm/(hr<sup>n</sup> · TR<sup>m</sup>) ]

TR100	79.578	0.25803	78.853	0.2603	79.352	0.25956	78.189	0.26782	77.893	0.26557	80.965	0.24008
TR150	86.318	0.26145	85.533	0.2637	86.074	0.26296	84.813	0.27122	84.494	0.26897	87.825	0.24347
TR200	91.423	0.26293	90.589	0.26519	91.163	0.26444	89.826	0.27271	89.489	0.27046	93.017	0.24496
TR500	108.6	0.26277	107.61	0.26506	108.29	0.26431	106.7	0.27257	106.3	0.27031	110.5	0.24481

Per semplicità e perché consentito anche 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"
TR2	29.2535	0.233593
TR5	40.26817	0.231072
TR10	48.1365	0.232932
TR20	56.35933	0.239873
TR30	61.60483	0.243957
TR50	68.579	0.250993
TR100	79.13833	0.25856
TR150	85.84283	0.261962
TR200	90.91783	0.263448
TR500	108	0.263305

Per il campo di durate di pioggia inferiori ad un'ora, la curva di possibilità pluviometrica rimane identica a quella sopra definita, eccetto per il parametro "n", che in questa analisi è imposto pari a 0,48 in accordo con vari studi sperimentali (CSDU 1997<sup>2</sup>).

Il succitato studio "ANALISI DI FREQUENZA REGIONALE DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME" e la relativa "Guida all'uso", infatti, 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.

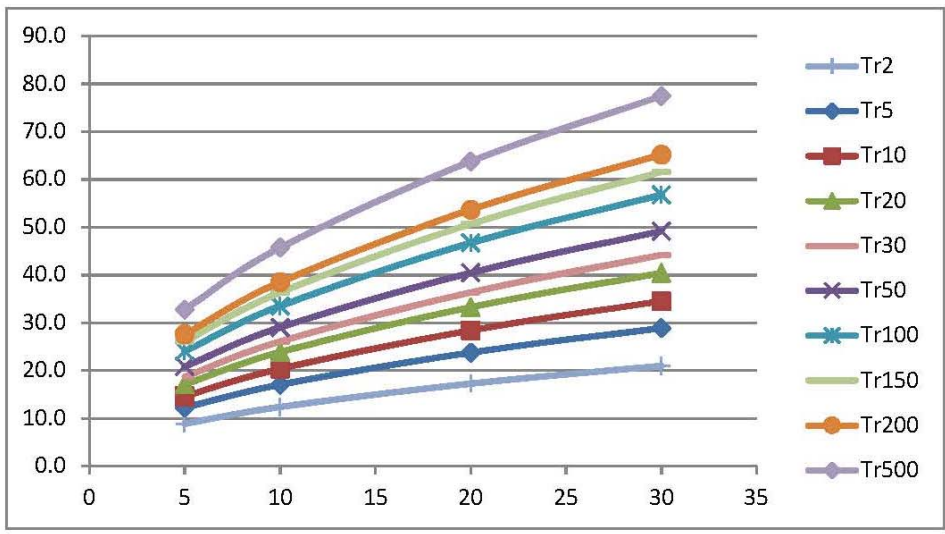
In definitiva le curve di possibilità pluviometriche adottate sono le seguenti.

	TR30		TR200	
	Parametro "a"	Parametro "n"	Parametro "a"	Parametro "n"
Durate di pioggia < 1 ora	61.60483	0.480	90.91783	0.480
Durate di pioggia > 1 ora	61.60483	0.243957	90.91783	0.263448333

<sup>2</sup> Centro Studi Deflussi Urbani, Milano.

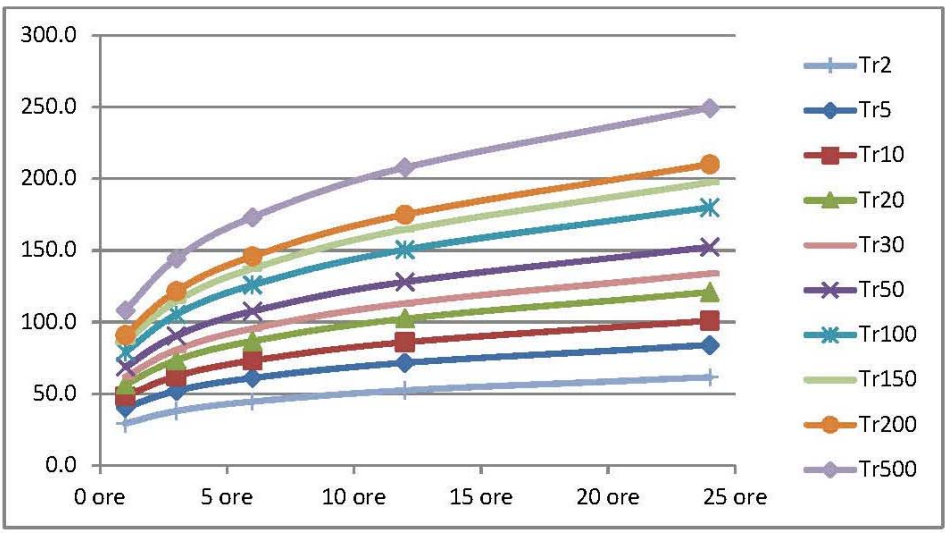
**Durata inferiore a 1 ora: altezza di precipitazione in funzione di durata e tempo di ritorno**

	5 minuti	10 minuti	20 minuti	30 minuti	
2 anni	8.9	12.4	17.3	21.0	21.0 mm
5 anni	12.2	17.0	23.8	28.9	28.9 mm
10 anni	14.6	20.4	28.4	34.5	34.5 mm
20 anni	17.1	23.8	33.3	40.4	40.4 mm
30 anni	18.7	26.1	36.4	44.2	44.2 mm
50 anni	20.8	29.0	40.5	49.2	49.2 mm
100 anni	24.0	33.5	46.7	56.7	56.7 mm
150 anni	26.0	36.3	50.7	61.5	61.5 mm
200 anni	27.6	38.5	53.7	65.2	65.2 mm
500 anni	32.8	45.7	63.7	77.4	77.4 mm



**Durata superiore a 1 ora: altezza di precipitazione in funzione di durata e tempo di ritorno**

	1 ore	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	
2 anni	29.3	37.8	44.5	52.3	61.5	61.5 mm
5 anni	40.3	51.9	60.9	71.5	83.9	83.9 mm
10 anni	48.1	62.2	73.1	85.9	100.9	100.9 mm
20 anni	56.4	73.4	86.6	102.3	120.8	120.8 mm
30 anni	61.6	80.5	95.4	113.0	133.8	133.8 mm
50 anni	68.6	90.4	107.5	128.0	152.3	152.3 mm
100 anni	79.1	105.1	125.8	150.5	180.0	180.0 mm
150 anni	85.8	114.5	137.3	164.6	197.4	197.4 mm
200 anni	90.9	121.4	145.8	175.0	210.0	210.0 mm
500 anni	108.0	144.2	173.1	207.8	249.4	249.4 mm



## ***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, è frequentemente adottato lo ietogramma tipo Chicago, che ha la caratteristica di fornire per una qualsiasi durata, un massimo dell'intensità media di pioggia congruente con quello fornito dalla curva di possibilità pluviometrica.

Qualsiasi sia la sua durata complessiva, questo ietogramma contiene al suo interno tutte le piogge di durata inferiore. Per questo motivo esso è in grado di rappresentare le condizioni di pioggia critica indipendentemente dalla sua durata.

Sono stati perciò ottenuti i seguenti ietogrammi per i due tempi di ritorno considerati.

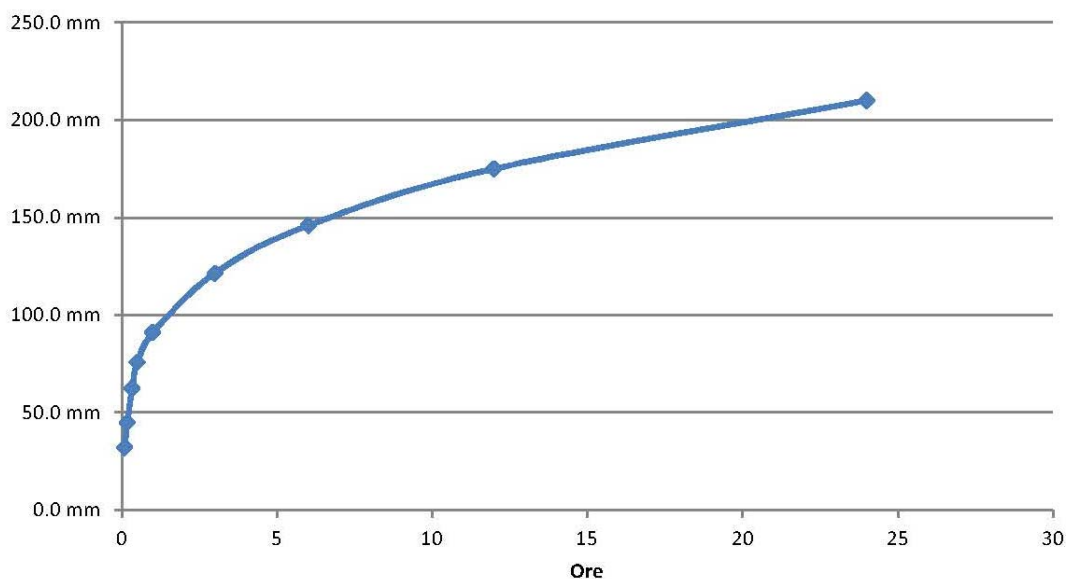
### CURVA DI POSSIBILITA' CLIMATICA DI PROGETTO

Si assume  $T_r$  (anni) = **200**

coefficienti:	durate minori di un'ora		durate maggiori di un'ora	
	a	105.642	a	90.91783133
	n	0.48	n	0.263448333

5 minuti	10 minuti	20 minuti	30 minuti	1 ore	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
32.1 mm	44.7 mm	62.3 mm	75.7 mm	90.9 mm	121.4 mm	145.8 mm	175.0 mm	210.0 mm

### LSPP

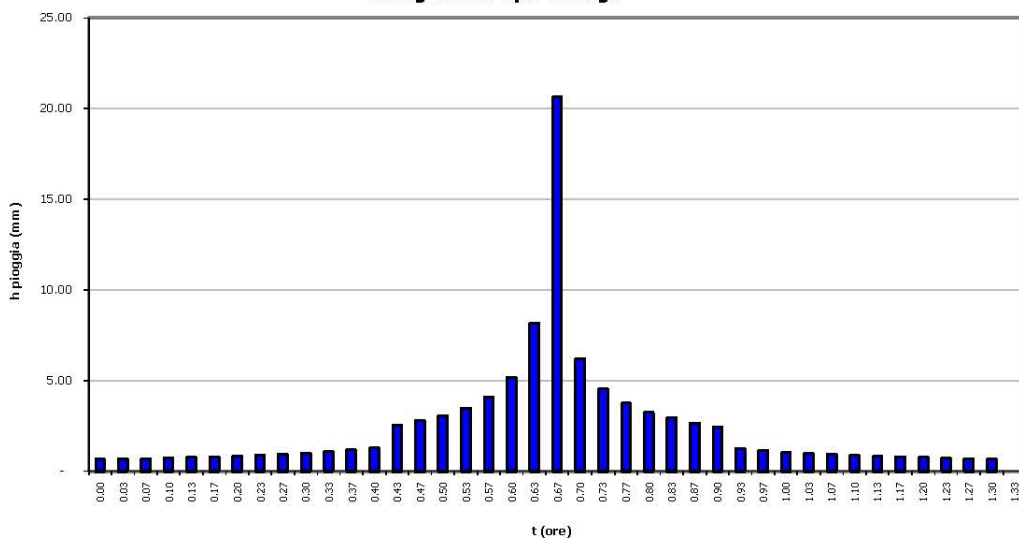


### IETOGRAMMA DI PROGETTO TR200

Si adotta la curva di distribuzione fornita dallo ietogramma tipo Chicago, assumendo:

**Durata (min): 80**  
**Intervallo discretizzazione (min): 2**  
**n° di intervalli: 40.00**

#### Ietogramma tipo Chicago





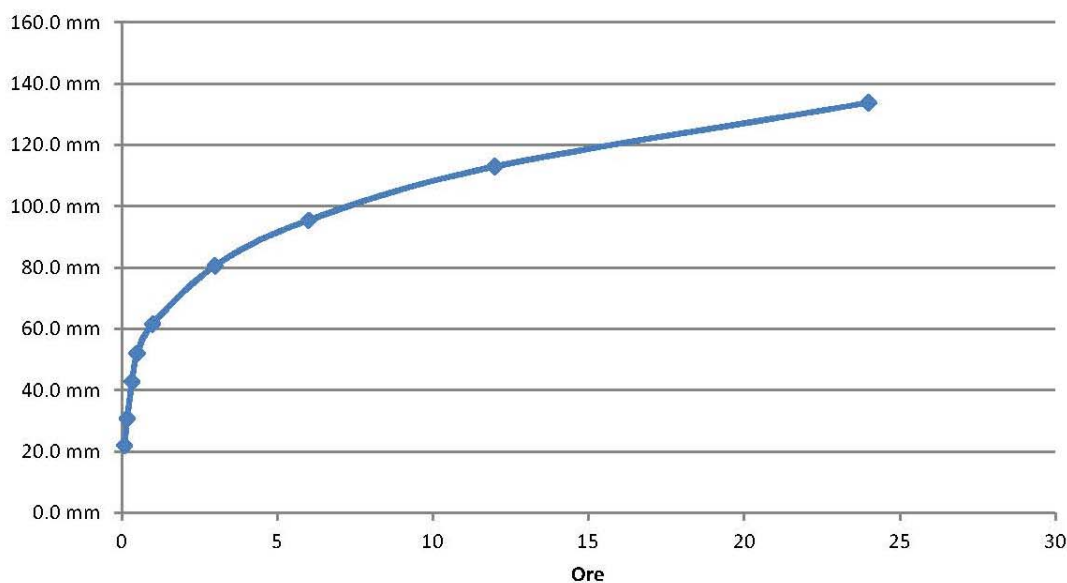
### CURVA DI POSSIBILITA' CLIMATICA DI PROGETTO

Si assume  $T_r$  (anni) = **30**

coefficienti:	durate minori di un'ora		durate maggiori di un'ora	
	a	72.556	a	61.60483367
	n	0.48	n	0.243956667

5 minuti	10 minuti	20 minuti	30 minuti	1 ore	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
22.0 mm	30.7 mm	42.8 mm	52.0 mm	61.6 mm	80.5 mm	95.4 mm	113.0 mm	133.8 mm

### LSPP

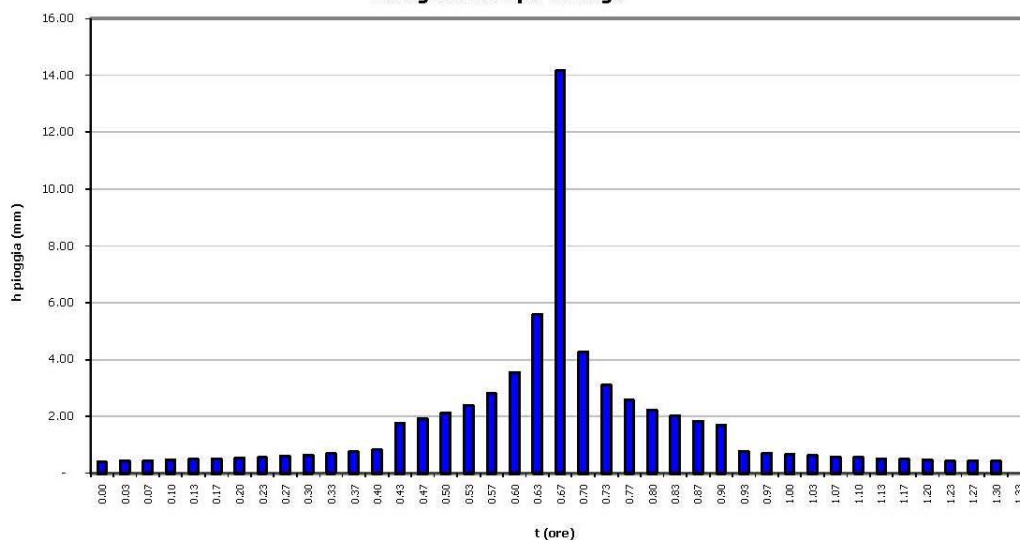


### IETGRAMMA DI PROGETTO TR30

Si adotta la curva di distribuzione fornita dallo ietogramma tipo Chicago, assumendo:

**Durata (min): 80**  
**Intervallo discretizzazione (min): 2**  
**n° di intervalli: 40.00**

#### Ietogramma tipo Chicago



## 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 colloid, 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 al bacino.

Uso del suolo	Terreno	Tipo suolo	CN II	Area KMq
Tessuto urbano discontinuo	LOAM	B	85	0.0035
Tessuto urbano discontinuo	SILT LOAM	B	85	0.3235
Tessuto urbano discontinuo	SILT	B	85	0.2363
Uliveti	CLAY LOAM	D	82	0.0602
Uliveti	LOAM	B	65	1.8486
Uliveti	SILT LOAM	B	65	0.5487
Uliveti	SILT	B	65	0.0713
Boschi di latifoglie	LOAM	B	48	1.4900
Boschi di conifere	CLAY LOAM	D	63	0.0216
Boschi di conifere	LOAM	B	48	3.3083

Boschi di conifere	SILT LOAM	B	48	0.0419
Boschi di conifere	SILT	B	48	0.0021
Boschi misti	LOAM	B	48	2.8002
Aree a vegetazione sclerofilia	LOAM	B	56	0.0842

È allora necessario valutare il parametro CN dell'intero bacino come media pesata sull'area dei vari CN 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 il valore medio pesato di CN pari a 55.5

Come usualmente 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** pari a **75**

Si sono calcolati dunque gli altri due parametri fondamentali del metodo: S è la capacità di ritenzione superficiale e  $Ia^3$  il valore limite di pioggia che il terreno può trattenere nella fase iniziale; infine si è valutata la pioggia netta mediante la seguente espressione:

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

<sup>3</sup>  $S = 25.4 \left[ \left( \frac{100}{CN} \right) - 10 \right] \quad Ia = 0.1 \cdot S$

## **TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI**

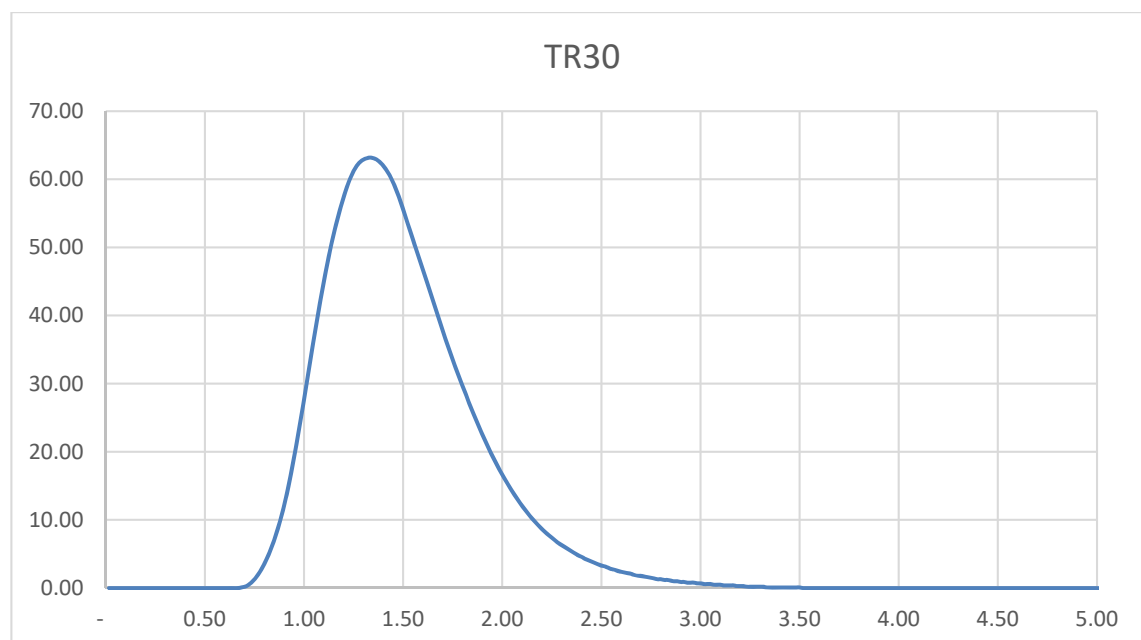
Al fine di stimare le portate che defluiscono all'interno del Rio Magno, la trasformazione afflussi-deflussi è stata svolta, per ciascun tempo di ritorno e ciascuna durata di pioggia, adottando il modello dell'*Idrogramma Unitario SCS (Soil Conservation Service)*. Questo metodo si basa sulla stima del "lag time" che rappresenta lo sfasamento temporale tra il picco dell'idrogramma ed il baricentro dello idrogramma che lo ha prodotto. Il valore del "lag time" è definito dalla seguente espressione empirica:

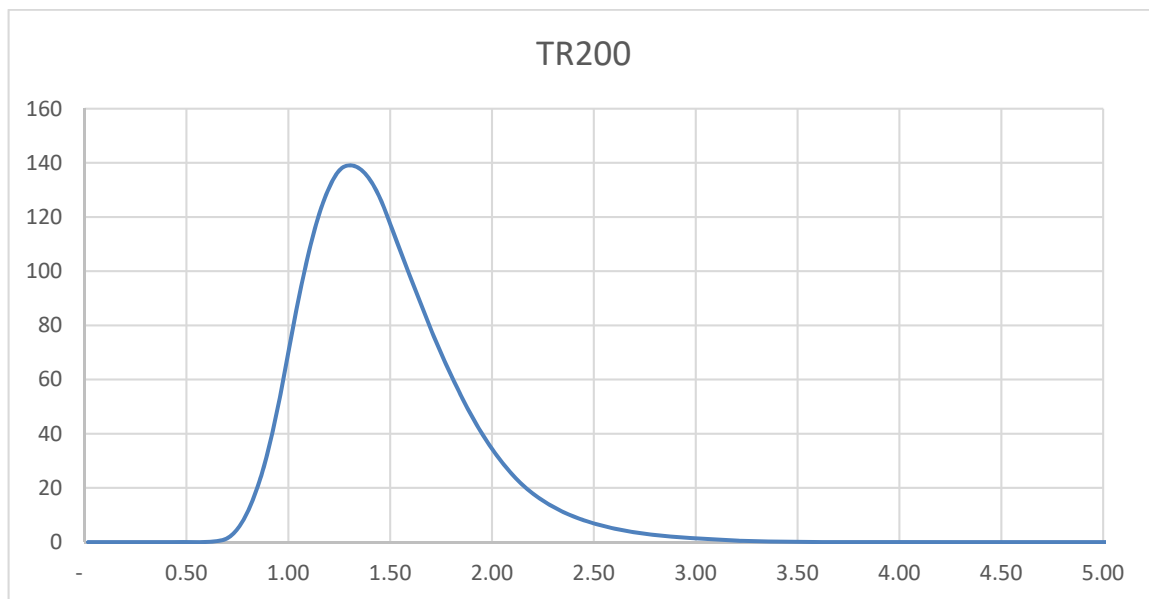
$$T_L = 0.00136 \cdot \frac{L^{0.8} \cdot \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{y^{0.5}} = 30 \text{ min}$$

Per il bacino che abbiamo contornato si è allora ottenuto un valore del lag time pari a 30 minuti.

Mediante il software di calcolo HEC-HMS 4.1 distribuito dall'Hydrologic Center (HEC), del Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli Stati Uniti d'America, si sono introdotti i dati fino ad ora descritti, ottenendo così gli idrogrammi di piena del Rio Magno per i due tempi di ritorno analizzati.

Per il bacino si sono allora ricavati i seguenti idrogrammi di piena con portata al colmo pari a 139.1 mc/s per TR200 e a 63.2 mc/s per TR30.





## **VALIDAZIONE 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.

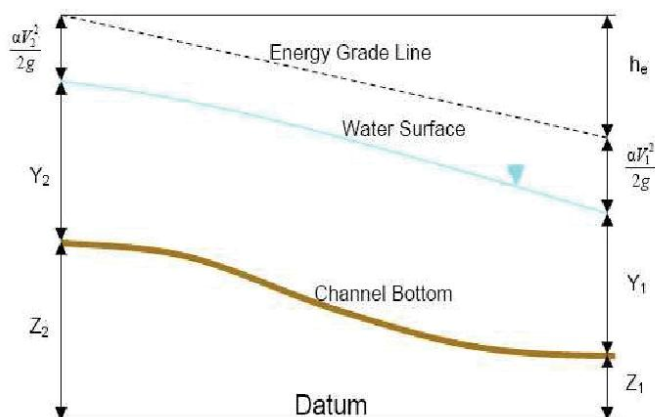
L'effetto di diverse ostruzioni quali ponti, tombini, briglie e strutture in genere lungo i corsi d'acqua può essere considerata nei calcoli idraulici.

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;

$\alpha_1$  e  $\alpha_2$  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.

## **MORFOLOGIA DELL'ALVEO**

Risultando estremamente difficoltoso procedere ad una campagna di rilievo GPS integrale del corso d'acqua, viste le condizioni in cui verte, anche in rapporto all'importanza dello studio in esame, è stato necessario procedere ad una descrizione della morfologia dell'alveo e del territorio circostante basata su una attenta implementazione dei dati disponibili.

Si è perciò provveduto al rilievo GPS mediante di 4 sezioni d'alveo in corrispondenza di ciascuno dei 5 attraversamenti presenti sul tratto di studio, per un totale di 20 sezioni. Le sezioni sono state ubicate subito in prossimità ed approssimativamente a 50 – 100 metri di distanza da ciascun attraversamento, sia a monte che a valle di esso.

Il rilievo topografico plano altimetrico delle sezioni trasversali e delle opere d'arte del corso d'acqua Rio Magno in Comune di Buti è stato eseguito dallo Studio BETTARINI E CARDINI mediante l'utilizzo di strumentazione GPS Leica VIVA e Stazione Totale Leica TS30.

Il rilievo è stato eseguito con il GPS in modalità RTK agganciato alla rete Italpos della Leica. I dati di rilievo ottenuti sono stati georeferenziati con il software Verto, utilizzando il grigliato GK2 della zona fornito dell' I.G.M. (Istituto Geografico Militare), ottenendo così la trasformazione delle coordinate originali nel sistema WGS84 nel nuovo sistema di coordinate Gauss Boaga con quote assolute s.l.m.

La Stazione Totale Leica TS30 è stata impiegata per il rilievo di dettaglio di alcune zone, non rilevabili mediante GPS o quelle che richiedevano una maggiore precisione e per il rilievo particolareggiato delle opere d'arte.

I dati di rilievo ottenuti dalla stazione totale sono stati corretti ed orientati nello stesso sistema di coordinate precedentemente determinato.

Successivamente, utilizzando il software GIS Autodesk Civil3D 2017 sono stati uniti i dati ottenuti dal rilievo topografico sotto forma di sezioni 2D con i dati ricavati dal rilievo Lidar scaricabile dal sito della Regione Toscana sotto forma di file ascii in coordinate GaussBoaga.

Di seguito riporto le specifiche tecniche della strumentazione utilizzata:

- GPS LEICA VIVA Glonass Geodetico, n° 24 canali, Doppia Frequenza, trasmissione con radio modem e telefono GSM. Modalità di misura in RTK, statico, statico rapido, Statico & go, cinematico, on the fly, DGPS, Navigazione, post-elaborazione.
- Stazione Totale Automatica Leica TS30, Stazione Totale Robotizzata di Altissima Precisione con Dispositivo ATR Sistema Automatico di Collimazione. Portata del Sistema di Puntamento Automatico ATR fino a 3000 m (Con Prisma Leica GPR1) Precisione di Collimazione Automatica con Sistema ATR : 1" (0.3 mgon), con precisione di posizionamento  $\pm 7$  mm a 3.000m, Campo di vista ATR 0°28' (0,52 gon) Lettura Angolare minimo conteggio visualizzato Hz e V = 0,1"/0,1cc Precisione Angolare 0,5"(0,15mgon =1,5cc) Portata Distanziometro 3500 m con Prisma Circolare (GPR1), Lettura 0,1 mm. Precisione 0.6 mm+1 ppm – Tempo misura tip. 7 s Misura di distanza senza riflettore (no-prisma) con spot laser fino a 1000 m, precisione 2 mm + 2 ppm – tempo misura tip 3-6 Rotazione motori con guida diretta basata su tecnologia piezo, Compensatore:range di misura 4' (0.07 gon) – compensazione quadri-assiale.

La modellazione morfologica del territorio, necessaria come dato di input per le sezioni geometriche da introdurre nel software HEC-RAS 4.1.0, è stata quindi ottenuta a partire dal rilievo

lidar 1:2000 restituito in formato DTM 1x1 m e messo a disposizione dalla Regione Toscana all'interno del proprio opendata sul sito web.

Si è quindi provveduto ad estrarre dal Lidar le sezioni di interesse per il modello idraulico, e si sono poi integrate alcune di queste con quelle rilevate con GPS. Si è provveduto poi ad una sovrapposizione di confronto tra le sezioni derivanti dal rilievo lidar e quelle GPS verificando una sufficiente corrispondenza tale da non richiedere ulteriori campagne di rilievo.

In tal senso si allega alla presente una tavola di confronto tra le sezioni ottenibili dal rilievo Lidar e quelle derivanti dal rilievo GPS da cui si può osservare mediante una sufficiente approssimazione tra le due morfologie.

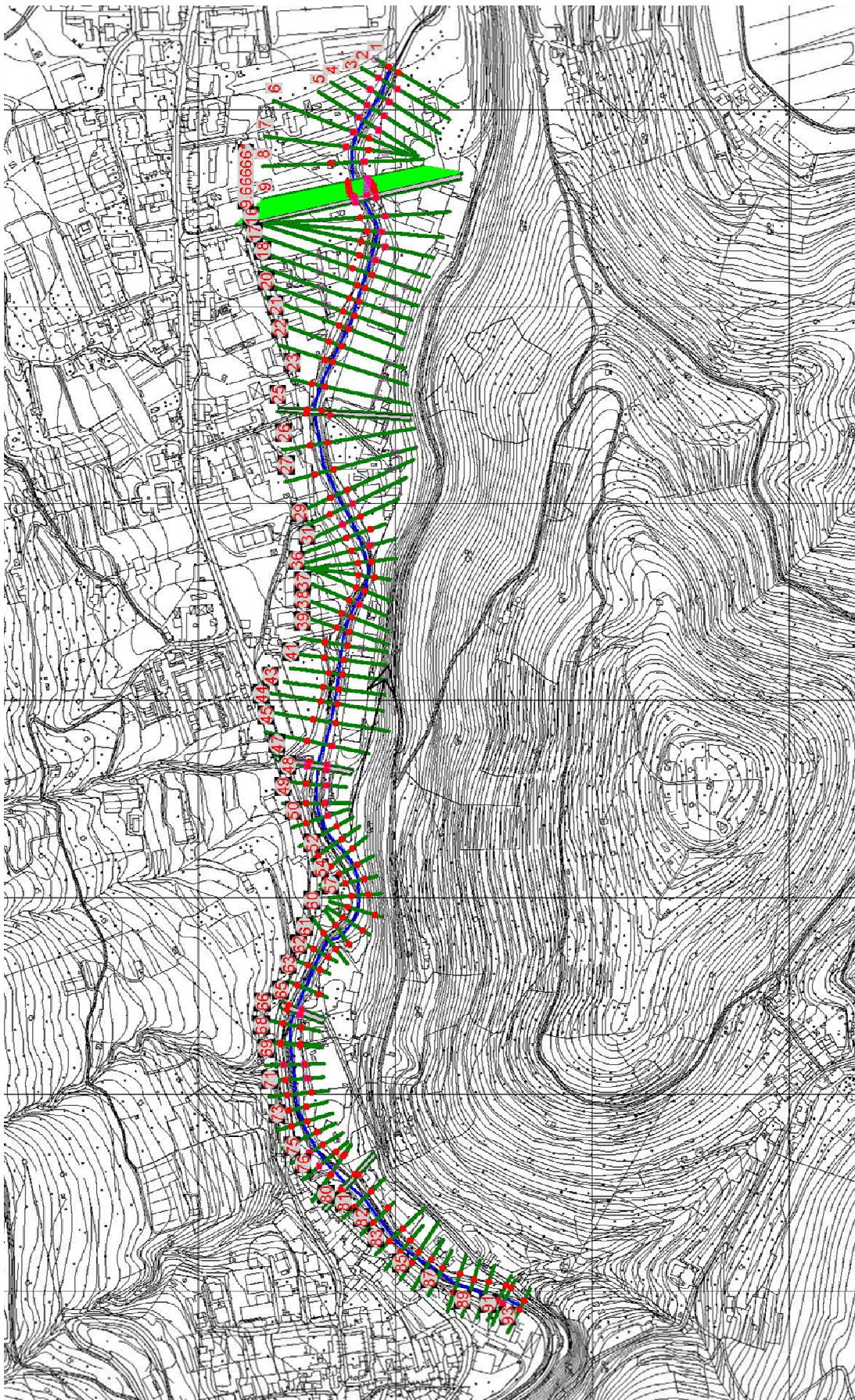
Successivamente sono stati introdotte nel modello le geometrie dei manufatti di attraversamento come ottenute dalle sezioni di rilievo GPS.

Nel modello idraulico, sebbene sarebbe stato sufficiente introdurre un tratto relativamente breve del corso d'acqua a cavallo dell'area di interesse, è stato scelto, in accordo col Comune di Buti, di introdurre la morfologia a partire dall'Oleificio Sociale sino alla sezione di chiusura del bacino, in corrispondenza della quale si ha l'immissione in sinistra di un affluente.

Tale scelta è stata dettata unicamente dalla volontà di eseguire un'analisi più ampia e maggiormente dettagliata.

È stato poi scelto di incrementare le sezioni di calcolo tra le sezioni 9 e 10 mediante interpolazione automatica di tipo lineare, per aumentare la stabilità del modello. Tale operazione non è risultata necessaria negli altri tratti.

Di seguito si riporta la disposizione planimetrica delle sezioni di calcolo impiegate per le simulazioni HEC-RAS.



## COEFFICIENTE DI SCABREZZA

Parametro fondamentale per la modellazione dell'alveo all'interno del solutore adottato, è costituito dal coefficiente di scabrezza di Manning.

Valori del coefficiente di scabrezza "n" di Manning per corsi d'acqua naturali (da "HECRAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual", Versione 4.1)

A. FIUMI NATURALI	Minimo	Normale	Massimo
<b>1. CANALI PRINCIPALI</b>			
a. Puliti, dritti, senza salti di pendenza o buche profonde	0.025	0.030	0.033
b. Come sopra, ma con più ciottoli e vegetazione erbacea	0.030	0.035	0.040
c. Puliti, sinuosi, alcune buche e barre sommerse	0.033	0.040	0.045
d. Come sopra ma con un po' di vegetazione e ciottoli	0.035	0.045	0.050
e. Come sopra, poca acqua, con più scarpate e sezioni non partecipanti al deflusso	0.040	0.048	0.055
f. Come "d" ma con più ciottoli	0.045	0.050	0.060
g. Rami poco attivi, buche profonde	0.050	0.070	0.080
h. Rami molto vegetati, buche profonde, o canali di esondazione con grandi tronchi e cespugli	0.070	0.100	0.150
<b>2. PIANE INONDABILI</b>			
a. Pascoli senza cespugli			
1. Erba bassa	0.025	0.030	0.035
2. Erba alta	0.030	0.035	0.045
b. Aree coltivate			
1. Senza colture	0.020	0.030	0.040
2. Colture a file ben sviluppate	0.025	0.035	0.045
3. Colture di campo ben sviluppate	0.030	0.040	0.050
c. Cespugli			
1. Cespugli isolati, vegetazione erbacea fitta	0.035	0.050	0.070
2. Cespugli radi e alberi, in inverno	0.035	0.050	0.060
3. Cespugli radi e alberi, in estate	0.040	0.060	0.080
4. Cespugli da mediamente a molto fitti, in inverno	0.045	0.070	0.110
5. Cespugli da mediamente a molto fitti, in estate	0.070	0.100	0.160
d. Alberi			
1. Terreno pulito con ceppi d'albero, senza germogli	0.030	0.040	0.050
2. Come sopra ma con germogli ben sviluppati	0.050	0.060	0.080
3. Grandi tronchi, alcuni alberi caduti, flusso d'acqua sotto i rami	0.080	0.100	0.120
4. Come sopra, ma con flusso d'acqua interessante i rami	0.100	0.120	0.160
5. Saliceto denso, in estate	0.110	0.150	0.200
<b>3. FIUMI DI MONTAGNA</b>			
Senza vegetazione nel canale, sponde generalmente ripide, con alberi e cespugli sulle sponde sommerse			
a. Fondo con ghiaia, ciottoli e alcuni massi	0.030	0.040	0.050
b. Fondo con ciottoli con larghi blocchi	0.040	0.050	0.070

Dall'osservazione dei luoghi e della tabella qui riportata si è assunto per l'alveo una condizione intermedia tra i punti b) e c), assumendo perciò il parametro 0,035.

Per quanto riguarda le piane inondabili si sono individuate aree caratterizzate da erba alta, o coltivazioni a filari, i cespugli e gli alberi presenti sono disposti lungo i cigli dell'alveo, ma risultano molto radi all'interno delle aree allagate. Anche per tali aree si è perciò assunto il parametro 0,035.

Alcune porzioni delle aree allagate presentano zone urbanizzate, con costruzioni rade e prati rasati, scarse superfici pavimentate. Nonostante l'edificato possa indurre ad un incremento del coefficiente di Manning, la presenza di prati rasati e ben curati, nonché la bassa densità dell'edificato, permettono di comparare tale situazione alla condizione a2).

In definitiva il coefficiente di Manning è stato posto pari a  $n = 0.035$  su tutto il tratto in esame, senza distinzione alcuna tra le porzioni di alveo di magra e quelle golenali.

Il valore assunto risulta anche in perfetto accordo con quanto adottato anche dall'Ing. Marino Nieri nel suo Studio già citato.

## **CONDIZIONI AL CONTORNO**

Per consentire l'avvio della simulazione di deflusso, è ancora necessario introdurre le condizioni al contorno definite dalla pendenza della linea dell'energia in condizioni di deflusso in moto uniforme, sia per la sezione posta a monte che quella a valle dell'intero tratto preso in analisi. In condizioni di deflusso in moto uniforme è possibile assumere tale pendenza pari al valore medio della pendenza al fondo dei rispettivi tratti.

Da considerazioni fatte sulla base del profilo longitudinale del corso d'acqua nel tratto considerato, e tenuto conto il carattere torrentizio del corso d'acqua, si è scelto di assumere tali pendenze pari alla pendenza media dell'alveo nei pressi delle sezioni di estremità, perciò si ha:

- Pendenza della linea dell'energia per la condizione al contorno di monte, in deflusso di moto uniforme, pari a: 0.0233m/m;
- Pendenza della linea dell'energia per la condizione al contorno di valle, in deflusso di moto uniforme, pari a: 0.0233m/m;

Seppur l'ipotesi appena assunta possa indurre all'introduzione di un lieve errore nella stima di tale pendenza, gli effetti di tale errore si annullano già alla prima o seconda sezione di calcolo di distanza dalle estremità. Tale imprecisione risulterebbe quindi assolutamente ininfluyente ai fini dell'area oggetto di studio.

Sono state svolte apposite simulazioni, assegnando valori estremi alle condizioni al contorno di monte e di valle, al fine di validare i parametri assunti, verificando quanto sopra affermato.

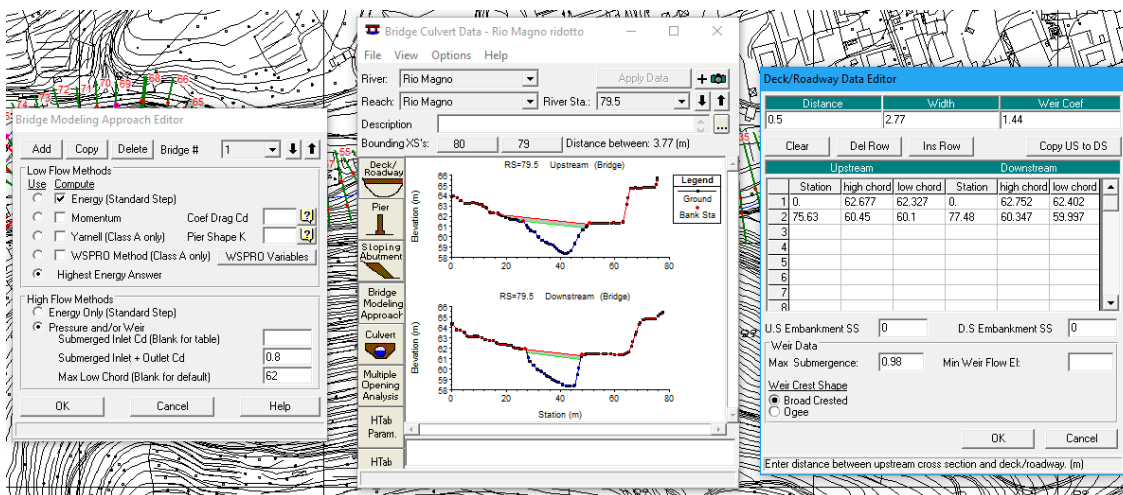
## MODELLAZIONE DEGLI ATTRAVERSAMENTI

In fine è stato necessario modellare i cinque attraversamenti presenti sul tratto indagato del corso d'acqua. Come accennato è stata introdotta la geometria d'alveo in corrispondenza di essi secondo quanto indicato nel rilievo GPS con il quale è stata integrata la morfologia lidar.

Tali attraversamenti sono stati simulati con l'apposito modulo "bridge" del software 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 1.44 per il coefficiente weir.

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

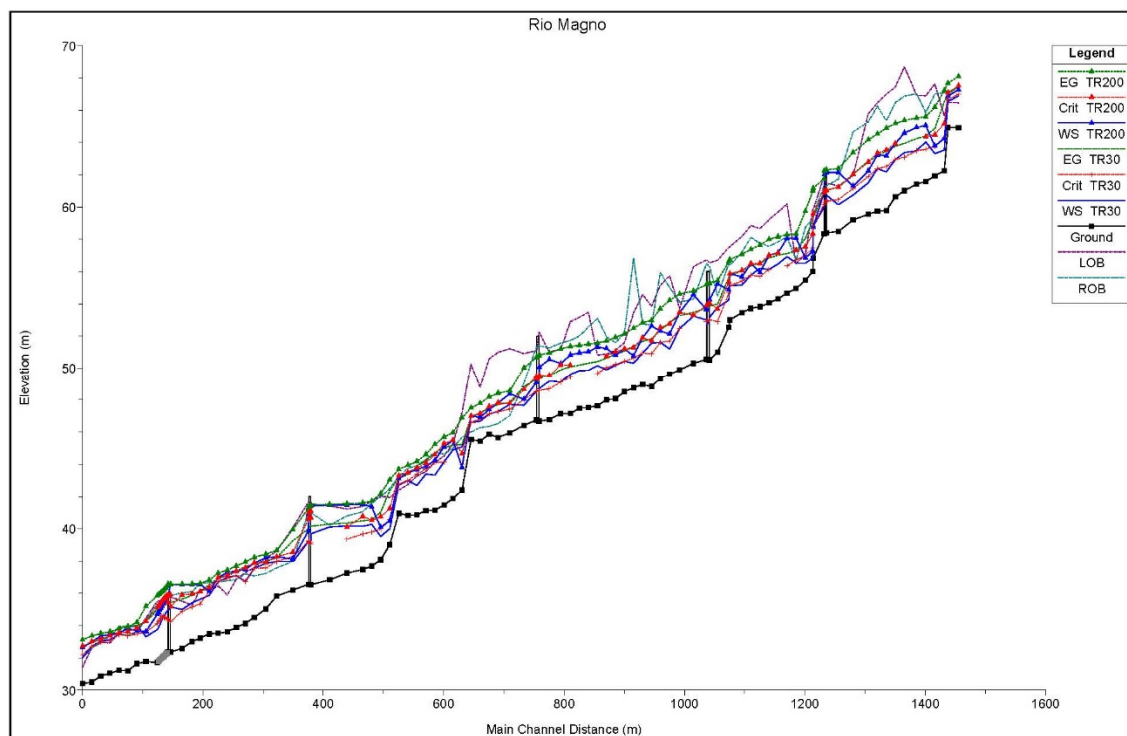


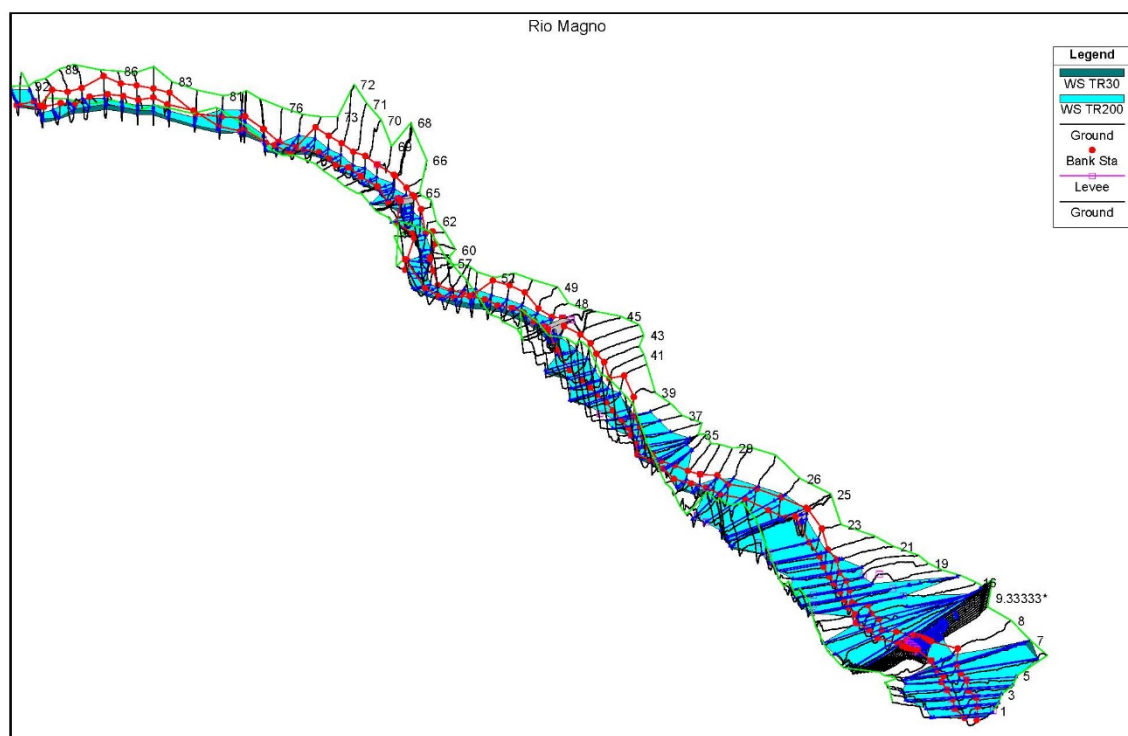


## **RISULTATI DELLE ANALISI**

In allegato alla presente relazione si riportano i risultati delle analisi svolte con il software HEC-RAS relativamente alla condizione di deflusso attuale.

Di seguito si riporta per brevità solo il profilo idraulico.





Una volta determinate così le condizioni di deflusso per ciascuna sezione di calcolo è stato necessario passare il modello di calcolo così costruito al modulo di elaborazione GIS collegato allo stesso software HEC-RAS.

L'introduzione dei risultati ottenuti nel modulo GIS RAS-Mapper, unitamente al ricaricamento della morfologia di bacino di tipo lidar DTM 1x1, ha permesso la determinazione delle aree allagate extra-alveo.

RAS-Mapper, infatti, lavorando con una metodologia GIS di tipo a layer permette l'elaborazione floodplain mapping, secondo la quale il programma genera nuovi layers riportando l'altezza di acqua calcolata nelle varie sezioni sulla superficie terrestre limitrofa. Là dove l'altezza d'acqua supera la quota altimetrica del terreno, esso calcola il deflusso e determina il battente.

L'output del programma è costituito da due layers: uno di tipo grid rappresentante il battente idraulico per ogni cella di descrizione del DTM, uno di tipo shp raffigurante unicamente il perimetro delle aree allagate.

Caricando tali layers su un qualsiasi software di tipo GIS, nel nostro caso Civil3D 2016 prodotto da Autodesk, è possibile riportare tali dati sopra la cartografia, ed eseguire tutte le analisi GIS necessarie.

Si sono ottenute così le due carte dei battenti idraulici per TR30 e per TR200 allegate alla presente relazione.

<b>Ing. Jacopo TACCINI</b> cel.3284564561 e-mail:jacopo.taccini@ordineingegneripisa.it	16.12.14 RELAZIONE.docx
	Data: Luglio 2016

Come è possibile osservare da tali carte, la presenza di alcune interruzioni nelle arginature del corso d'acqua comportano l'esondazione delle portate in talune aree pre-vallive del Territorio Comunale.

Si segnala anche la presenza di alcuni edifici a carattere industriale collocati in diretta adiacenza al corso d'acqua, e ad una quota tale da risultare in condizioni di rischio idraulico già per eventi pluviometrici con tempo di ritorno trentennale.

