

COMUNE DI VINCI

Provincia di FIRENZE

STUDIO IDRAULICO A SUPPORTO DELLA VARIANTE AL PIANO STRUTTURALE RELATIVO AI CORSI D'ACQUA:
TORRENTE STREDA, RIO MARCARRO, RIO S. ANSANO E RIO DEI MORTICINI

Tavola:

15

Oggetto:

- RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA -

Scala:

--

Data:

APRILE 2013

Tecnico incaricato:

STUDIO DI GEOLOGIA - GEOL. ALBERTO TOMEI

59100 PRATO - Via del Vergaio, 19

Tel/fax 0574 41843

P.IVA 01728910975

C.F. TMOLRT61P06D612D

A4 INGEGNERIA
STUDIO TECNICO ASSOCIATO

DOTT. ING. DAVID MALOSSI

VIA ROMA 26 - 59100 - PRATO

TEL/FAX 0574442523

MAIL: info@a4ingegneria.it



Committenza:



COMUNE DI VINCI

Sede: Piazza Leonardo da Vinci 29

50095 VINCI - tel. 0571 9331

data

revisione

oggetto della modifica

Questo disegno è protetto dalle vigenti leggi di autore e pertanto non può essere riprodotto, in tutto od in parte, nè essere ceduto a terzi senza la nostra autorizzazione scritta.

Sommario

1	PREMESSA.....	2
2	FASI DELLO STUDIO.....	3
3	ACQUISIZIONE DATI TOPOGRAFICI.....	4
3.1	Caratteristiche dei bacini	7
4	ANALISI IDROLOGICA.....	8
4.1	Modello idrologico di calcolo.....	8
4.1.1	Modello di regionalizzazione delle portate di piena (AL.TO.)	8
4.1.2	Dati utilizzati per i modelli idrologici	11
4.2	Risultati	14
5	ANALISI IDRAULICA.....	16
5.1	Descrizione delle metodologie di calcolo con schema di moto vario.....	18
5.2	Dati di input del modello idraulico di calcolo	21
5.3	Simulazione del comportamento della cassa di espansione sul Rio Morticini	24
6	RISULTATI DELLO STUDIO	26
7	CONCLUSIONI.....	27

1 PREMESSA

Il presente studio idrologico idraulico risulta allegato alla variante al Piano Strutturale del Comune di Vinci. La variante riguarda la variazione delle carte di pericolosità idraulica ai sensi del DPGR 53/R e l'aggiornamento delle cartografie del Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

La possibilità di realizzare una variante alle carte di pericolosità idraulica è associata alla disponibilità dei nuovi rilievi LIDAR messi a disposizione dalla Regione Toscana, i quali hanno consentito una valutazione topografica della morfologia del terreno di estremo dettaglio.

Sono stati eseguiti anche nuovi rilievi di dettaglio delle aree di interesse dell'Amministrazione Comunale che non risultavano coperti dal LIDAR.

Il nuovo studio consentirà una lettura univoca della pericolosità idraulica derivante dalla normativa regionale e quella dettata dalle norme dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno in quanto lo studio riguarda l'intero territorio comunale compresa l'area immediatamente limitrofa al Fiume Arno.

Lo studio ha previsto la modellazione idraulica dei quattro corsi d'acqua minori presenti nel Comune di Vinci: Torrente Streda, Rio Marcarro, Rio S. Ansano e Rio dei Morticini; nonché dell'Arno.

Le verifiche effettuate sono state realizzate per tempi di ritorno di 30, 100 e 200 anni per durate di 1.5, 2 e 24 ore.

La modellazione idraulica è stata effettuata di concerto con il Genio Civile di Firenze, mediante l'utilizzo di una base modellistica da loro stessi fornita e relativa al Fiume Arno, e con l'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

2 FASI DELLO STUDIO

La relazione si articola nei seguenti capitoli che si identificano con le diverse fasi dello studio:

- ✓ Acquisizione dati topografici;
- ✓ Analisi idrologica: viene descritta la metodologia di riferimento utilizzata per la modellazione e gli strumenti utilizzati per i calcoli, vengono riportati i dati disponibili e quelli ricostruiti relativi ai bacini in esame. Si riportano inoltre i risultati ottenuti dai modelli utilizzati: tali risultati sono gli idrogrammi di piena per i tre tempi di ritorno valutati per tutti i sottobacini in cui sono stati suddivisi i bacini idrografici in esame;
- ✓ Analisi idraulica: vengono descritti gli strumenti di calcolo utilizzati, le ipotesi assunte ed i risultati ottenuti;
- ✓ Perimetrazioni di rischio: alla luce delle verifiche idrauliche sono state delimitate le aree a rischio idraulico per i diversi tempi di ritorno.

I calcoli di seguito esposti sono effettuati con le modalità ed i modelli indicati dalla Autorità di Bacino nell'Allegato 2 alle Norme del P.A.I. approvato con D.P.C.M. del 06-05-2005.

3 ACQUISIZIONE DATI TOPOGRAFICI

Per l'acquisizione dei dati topografici sono stati utilizzati il DTM (*Digital Terrain Model*) costruito sulla base del sistema LIDAR, il rilievo relativo allo studio idraulico allegato al vigente PS e nuovi rilievi diretti sul campo in particolare per la porzione di monte del Torrente Streda non coperta dal rilievo LIDAR.

Il LIDAR (Light Detection and Ranging) è una tecnica di telerilevamento "attivo" per l'esecuzione di rilievi topografici ad alta risoluzione. Si opera con un mezzo aereo, o elicottero, sul quale è posizionato il sistema laser a scansione che integra quattro unità principali: un laserscanner composto da un sensore laser che emette impulsi elettrici, un'unità di acquisizione, un apparato per il posizionamento satellitare (GPS) e un sistema inerziale di navigazione (INS), per determinare la posizione (x,y) e l'orientamento del mezzo aereo in ogni istante. A terra, viene installata una rete GPS per il posizionamento differenziale. La peculiarità del sistema LIDAR è l'altissima velocità di acquisizione dei dati abbinata ad una elevata risoluzione. La tecnologia è nata alla fine degli anni '70 negli Stati Uniti, e viene utilizzata diffusamente con impieghi molteplici quali ad esempio il monitoraggio costiero e l'analisi del rischio di ingressione marina, le valutazioni di rischio idraulico, le rilevazioni di tipo ambientale (es. ricerca di siti contaminati), la gestione delle foreste (per la misura di parametri critici quali densità, altezza dei fusti ecc.), il rilievo di infrastrutture lineari (elettrodotti; condotte), il monitoraggio delle attività estrattive.

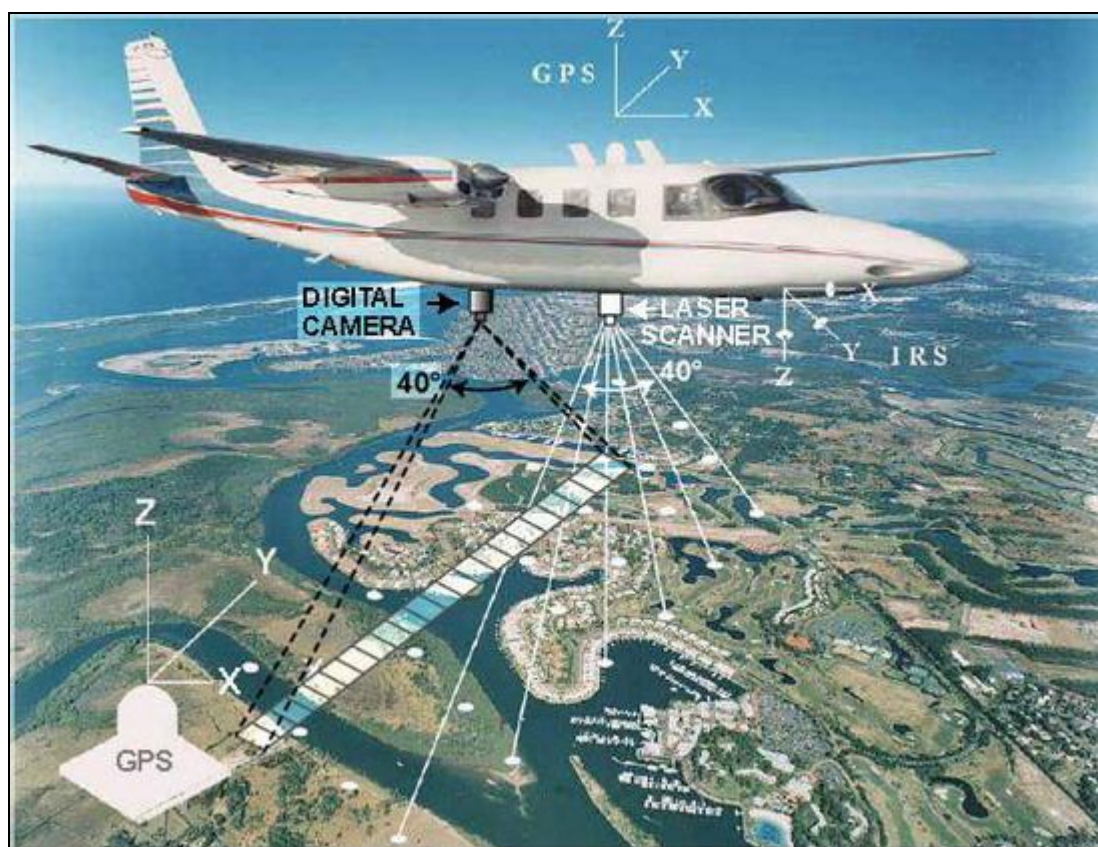


FIGURA 1. CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA LIDAR

Il LIDAR permette di determinare la distanza di un oggetto o di una superficie utilizzando un impulso laser. Come per il radar, che al posto della luce utilizza onde radio, la distanza dell'oggetto è determinata misurando il tempo trascorso tra l'emissione dell'impulso e la ricezione del segnale retro diffuso.

Il Lidar è molto più utilizzato rispetto alla rilevazione radar in quanto usa lunghezze d'onda (ultraviolette o infrarosso) che permettono di localizzare e ricavare immagini e informazioni su oggetti molto piccoli di dimensioni pari alla lunghezza d'onda usata.

Affinché un oggetto rifletta un'onda elettromagnetica, deve produrre una discontinuità dielettrica alle frequenze del radar (radio o microonde) pertanto un oggetto metallico produce un buon eco, mentre i "non metalli" come la pioggia gli specchi d'acqua o le rocce producono riflessioni molto più deboli e in alcuni casi non ne producono affatto. Il laser fornisce una soluzione a tali problemi avendo una lunghezza d'onda molto più breve rispetto al sistema radio. Questo facilita la riflessione di oggetti molto piccoli e non percepibili mediante radar, ne consegue una maggiore accuratezza e dettaglio dei rilevamenti LIDAR e dei prodotti che da esso ne derivano come i DTM ad elevata risoluzione.

Avendo a disposizione il DTM ad alta risoluzione (1m x1m) realizzato dalla regione Toscana sono state estratte le sezioni idrauliche dei tratti di studio dei corsi d'acqua direttamente dal modello digitale del terreno.

Per fare questo è stato necessario l'utilizzo del software ArcView 3.2a che permette di elaborare elementi di tipo grid o shapefile. In particolare è stata sfruttata l'estensione Hec- GeoRAS visualizzabile tramite l'interfaccia di ArcView. Con questa estensione è possibile definire le sezioni trasversali dei corsi d'acqua e le eventuali aree di potenziale esondazione o casse d'espansione ricostruendone le curve d'invaso. Definiti tali elementi è stata esportata la geometria che è stata importata in Hec-Ras 4.1.0 per eseguire le simulazioni idrauliche.

Con questa tecnica è possibile eseguire modelli idraulici molto dettagliati infatti per il Torrente Streda sono state estrapolate 200 sezioni su un tratto modellato di circa 5.2 km, per il Rio Sant'Ansano 105 sezioni su circa 4.2 km e per il Rio Morticini 105 su circa 4.0 km.

Avendo a disposizione il rilievo topografico strumentale relativo ai corsi d'acqua studiati ed allegato al vigente PS è stata effettuata una verifica di congruità tra le sezioni estratte dal LIDAR e quelle rilevate sul campo. I risultati sono stati ottimali con disomogeneità nell'ordine dei 10cm che fanno parte della normale approssimazione topografica dei rilievi dei corsi d'acqua.

Di seguito si allegano alcuni esempi di sovrapposizione di sezioni trasversali.

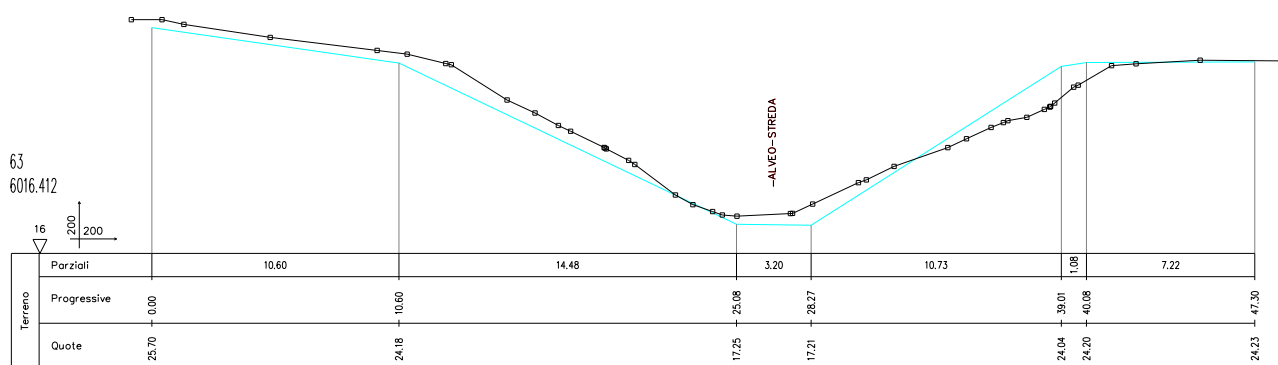


FIGURA 2. SOVRAPPOSIZIONE SEZIONI TRASVERSALI RILEVATE SUL CAMPO CON QUELLE DEDOTTE DAL LIDAR

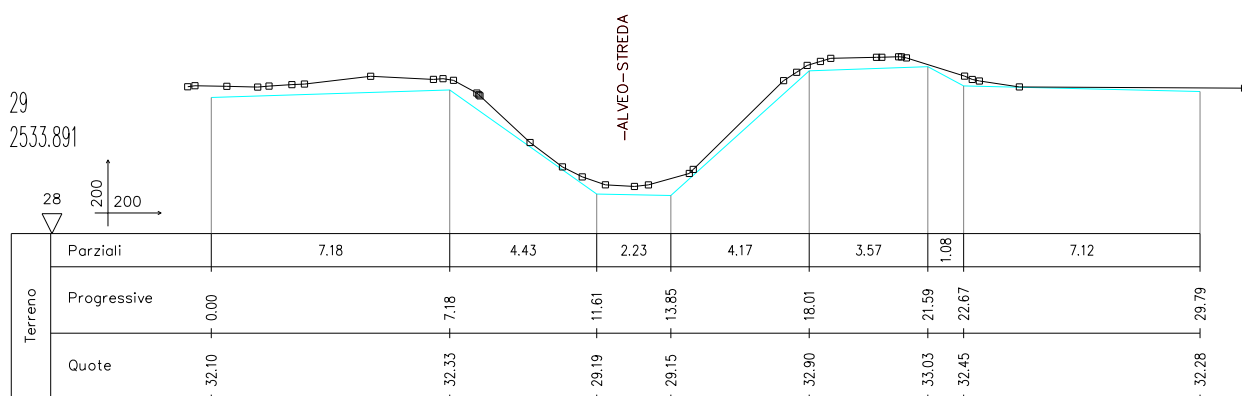
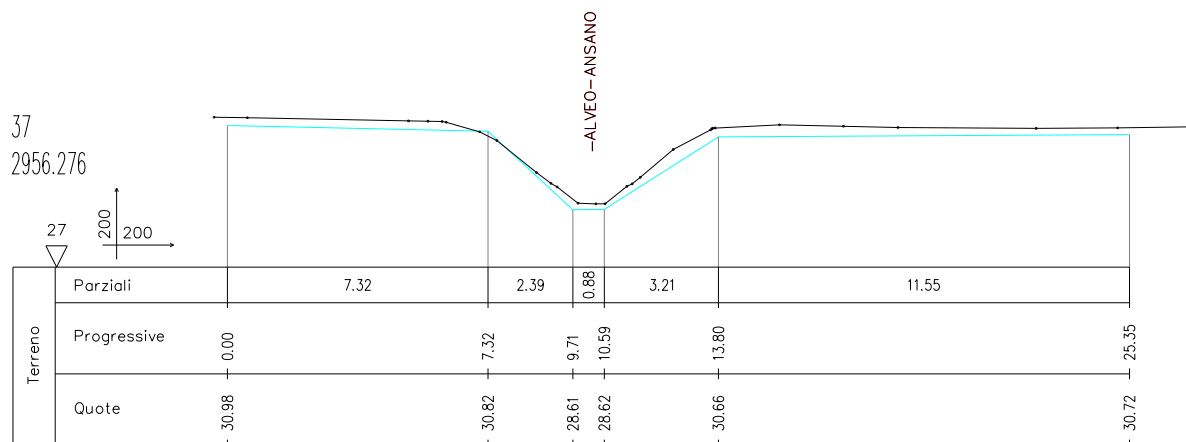
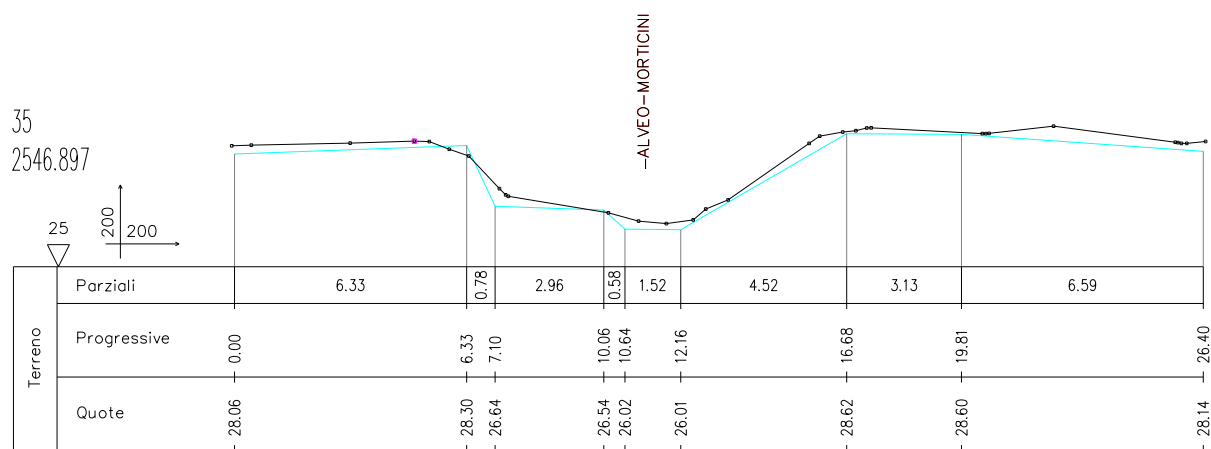


FIGURA 3. SOVRAPPOSIZIONE SEZIONI TRASVERSALI RILEVATE SUL CAMPO CON QUELLE DEDOTTE DAL LIDAR

3.1 CARATTERISTICHE DEI BACINI

Il territorio comunale di Vinci è caratterizzato da una parte collinare che si sviluppa a ridosso delle colline del Monte Albano e una limitata parte pianeggiante che si trova a ridosso del Fiume Arno.

Le caratteristiche di utilizzo del suolo sono prevalentemente di tipo agricolo o boschivo ad esclusione dei fondo valle dove nelle pianure alluvionali dei corsi d'acqua minori si è sviluppata l'attività industriale con la realizzazione di lottizzazioni artigianali e nuclei residenziali.

I bacini dei corsi d'acqua interessati hanno caratteristiche di estensione medie inferiori ai 25Kmq e di seguito si riassumono i dati riassuntivi delle caratteristiche morfologiche:

CORSO D'ACQUA	ESTENSIONE BACINO (KMQ)	H MAX (M S.L.M.)	H MIN (M S.L.M.)	LUNGHEZZA ASTA (KM)	IMMISSIONE
STREDA	23.36	635.0	15.0	6.32	ARNO
MARCARRO	2.03	102.7	15.0	2.15	ARNO
S. ANSANO	11.62	601.0	15.3	5.21	ARNO
MORTICINI	10.67	483.0	15.5	4.05	ARNO

Di seguito si allega un'immagine che rappresenta l'andamento altimetrico del territorio.

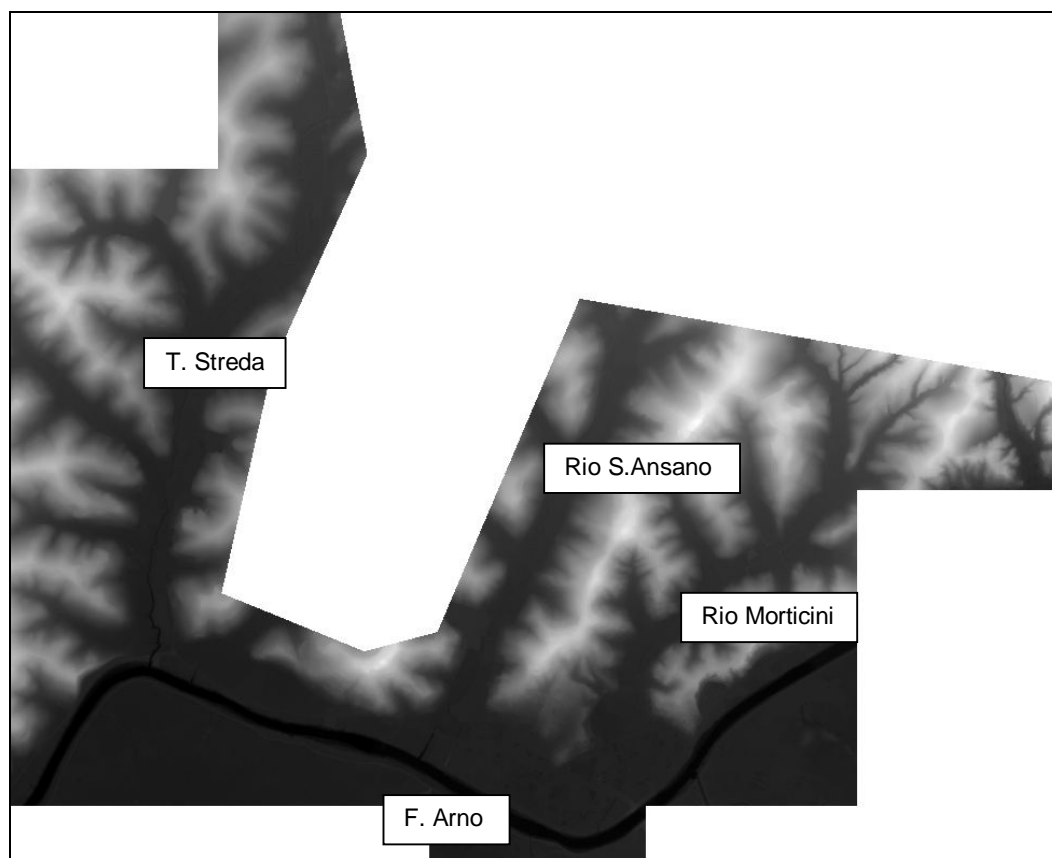


FIGURA 4. DTM LIDAR DELL'AREA DI STUDIO

4 ANALISI IDROLOGICA

4.1 MODELLO IDROLOGICO DI CALCOLO

Come accennato precedentemente i calcoli idrologici di seguito descritti sono stati svolti con le modalità indicate dal P.A.I. e nello specifico con riferimento alla metodologia definita dal modello AL.TO., di cui nel paragrafo seguente viene riportata una sintetica descrizione, unitamente ad un'applicazione, realizzata dall'Autorità di Bacino, denominata IDRARNO, che costituisce una "estensione" di AL.TO. e permette, utilizzando la medesima metodologia e dati di input, di ricostruire gli idrogrammi di piena fissando la durata dell'evento di pioggia.

4.1.1 Modello di regionalizzazione delle portate di piena (AL.TO.)

La modellistica idrologica ha lo scopo di generare gli idrogrammi di progetto nelle sezioni di interesse del reticolo fluviale a partire da ietogrammi di pioggia sintetici. La metodologia alla base degli studi effettuati dall'Autorità di Bacino mira ad un'agevole caratterizzazione degli eventi in termine di tempi di ritorno; conseguenza diretta, la possibilità di definire livelli di rischio in funzione della probabilità di accadimento. Ciò si ottiene facilmente attraverso una procedura semplificata di generazione di eventi sintetici, che si basa sulle seguenti ipotesi:

- ✓ Eventi meteorici sintetici costanti su tutto il bacino;
- ✓ Isofrequenza fra evento meteorico e portata in alveo (TR evento di pioggia = TR idrogramma di piena).

La procedura parte dalla teoria dell'idrogramma istantaneo unitario geomorfologico, di cui riportiamo di seguito le linee principali.

L'input meteorico è rappresentato da uno "ietogramma sintetico", la cui frequenza viene stimata a partire dalle curve di possibilità climatica, fornite ufficialmente dal Servizio idrologico della Regione Toscana. Il metodo utilizzato per studiare la risposta idrologica, in termini di deflussi, è quello basato sul cosiddetto idrogramma istantaneo unitario (Instantaneous Unit Hydrograph, IUH), vale a dire l'idrogramma di piena causato da un evento impulsivo di pioggia di volume unitario e durata tendente a zero. Infatti, con le ipotesi di linearità e stazionarietà della risposta, l'idrogramma di piena può essere calcolato tramite la convoluzione fra ietogramma efficace e IUH:

$$Q(t) = \int_0^t U(\tau) p(t - \tau) d\tau$$

dove:

$Q(t)$ è la portata defluente;

$p(t) = A i(t)$ con A area del bacino e $i(t)$ pioggia netta ragguagliata sul bacino;

$U(t)$ idrogramma unitario per cui $U(t)dt$ $\int_0^{\infty} U(t)dt = 1$

Il momento di primo ordine dell'IUH rispetto all'origine (baricentro), definito dalla relazione:

$$T_l = \int_0^{\infty} U(t) dt = 1$$

viene detto tempo di ritardo (lag) T_l .

Ad esempio, l'idrogramma unitario di Nash ha la seguente formulazione:

$$U(t) = \frac{1}{k\Gamma(n)} \left(\frac{t}{k}\right)^{(n-1)} e^{-\left(\frac{t}{k}\right)}$$

In questo schema il tempo di ritardo è dato dal prodotto nk (pari proprio alla media dell'idrogramma unitario).

I parametri n , k e T_l dell'idrogramma unitario di Nash sono stati ricavati sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del reticolo idrografico, mediante le seguenti espressioni:

$$n = 3.29 (R_b/R_a) 0.78 R_l 0.07$$

$$k = 0.7 [R_a/(R_b R_l)] 0.48 L_c/v$$

$$T_l = 2.3 \left(\frac{R_b}{R_a}\right)^{0.3} R_l^{-0.41} \frac{L_c}{v}$$

in unità congruenti, dove:

R_b = rapporto di biforcazione;

R_l = rapporto di lunghezza;

R_a = rapporto di area;

L_c = lunghezza del canale principale (dalla sorgente alla sezione di interesse);

v = fattore cinematico legato alla velocità della piena ("media spazio-temporale di scorrimento dell'acqua o di propagazione dell'onda di piena").

I parametri geomorfologici elencati possono essere calcolati, una volta ordinato il reticolo idrografico secondo Strahler, sulla base delle seguenti note relazioni:

$$N_u = R_b^{\omega-u}$$

$$\bar{L}_u = \bar{L}_1 R_l^{u-1}$$

$$\bar{A}_u = \bar{A}_1 R_a^{u-1}$$

dove:

ω = ordine massimo del reticolo;

N_u = numero delle aste di ordine u ;

L_u = lunghezza media delle aste di ordine u ;

A_u = area media sottesa da aste di ordine u .

La trasformazione da pioggia reale a netta adottata richiede la stima di due parametri: la perdita iniziale è schematizzata introducendo un volume unitario di perdita iniziale (indicato con l_a) che assorbe completamente la precipitazione durante i primi momenti dell'evento (dall'istante iniziale dell'evento $t=0$ sino all'istante $t=t_a$), mentre la perdita durante l'evento viene schematizzata con una infiltrazione costante a saturazione (indicata con K_s).

$$l_a(t) = l_a(0) + \int_0^{t_a} (P(\tau) - K_s) d\tau$$

se $t < t_a$:

$$P_n(t) = 0$$

$$l_a(t) = l_a$$

se $t \geq t_a$:

$$P_n(t) = P(t) - K_s$$

dove:

$P(t)$ = intensità di precipitazione ragguagliata sul bacino [mm/h];

$P_n(t)$ = intensità di precipitazione netta sul bacino [mm/h];

$l_a(t)$ = perdita iniziale all'istante t dell'evento [mm];

l_a = $l_a(t_a)$ volume di perdita iniziale per unità di area [mm];

K_s = velocità di infiltrazione a saturazione [mm/h].

Il modello di trasferimento adottato è quello, già citato, dell'idrogramma unitario di tipo $\Gamma(n, k)$ introdotto da Nash e caratterizzato dal parametro di forma (n) e da quello di scala (k).

I parametri utilizzati per il calcolo delle portate di piena risultano, in sostanza, i seguenti:

l_a = volume unitario di perdita iniziale [mm];

K_s = velocità di infiltrazione a saturazione [mm/h];

n = parametro di forma dell'idrogramma di Nash [-];

k = parametro di scala dell'idrogramma di Nash [h].

Lo studio di regionalizzazione delle portate di piena, attraverso la taratura sistematica dei dati relativi ad eventi registrati nei 42 bacini strumentati dal Servizio Idrografico, ha fornito una relazione fra i valori di T_l ed i parametri geomorfologici:

$$T_l = 0.42 \left(\frac{R_b}{R_a} \right)^{0.3} R_l^{-0.41} \frac{L_{mc}}{A^{0.075}}$$

dove A è l'area del bacino espressa in [km²] e L_{mc} la lunghezza del reticolo [km] calcolata come cumulata delle lunghezze medie per i vari ordini gerarchici L_{mc} .

I valori di l_a e K_s nel lavoro di regionalizzazione, sono calcolati in funzione dell'uso del suolo e dalla geologia dei bacini, resi indipendenti dalle dimensioni del bacino idrografico. I parametri geomorfologici provengono invece dalla gerarchizzazione secondo Strahler del reticolo idrografico sotteso per ciascuna sezione di calcolo.

4.1.2 Dati utilizzati per i modelli idrologici

Al fine di ottenere uno studio idrologico che tenesse conto del graduale aumento di portata da monte verso valle i bacini oggetto di studio sono stati suddivisi in vari sottobacini. La suddivisione in sottobacini è stata effettuata con riferimento agli affluenti individuati sulla cartografia CTR 1:10000 cercando però di accorpate i bacini più piccoli in modo tale da avere sottobacini con dimensione non inferiore a 1 kmq. Nella ricostruzione degli idrogrammi di piena di riferimento per le analisi idrauliche i contributi in termini di deflussi provenienti dai sottobacini sono stati inseriti in corrispondenza dei tratti e/o sezioni dei corsi d'acqua studiati. Nella seguente tabella sono indicati i bacini oggetto di studio ed il numero di sottobacini in cui questi sono stati suddivisi.

<i>Bacino</i>	<i>n. sottobacini individuati</i>
<i>Streda</i>	8
<i>Marcarro</i>	3
<i>S.Ansano</i>	7
<i>Morticini</i>	6

Di seguito si riporta l'estratto del modello AL.TO. nel quale si evidenziano i tratti processati (evidenziati in rosso) relativi al territorio comunale del Comune di Vinci.

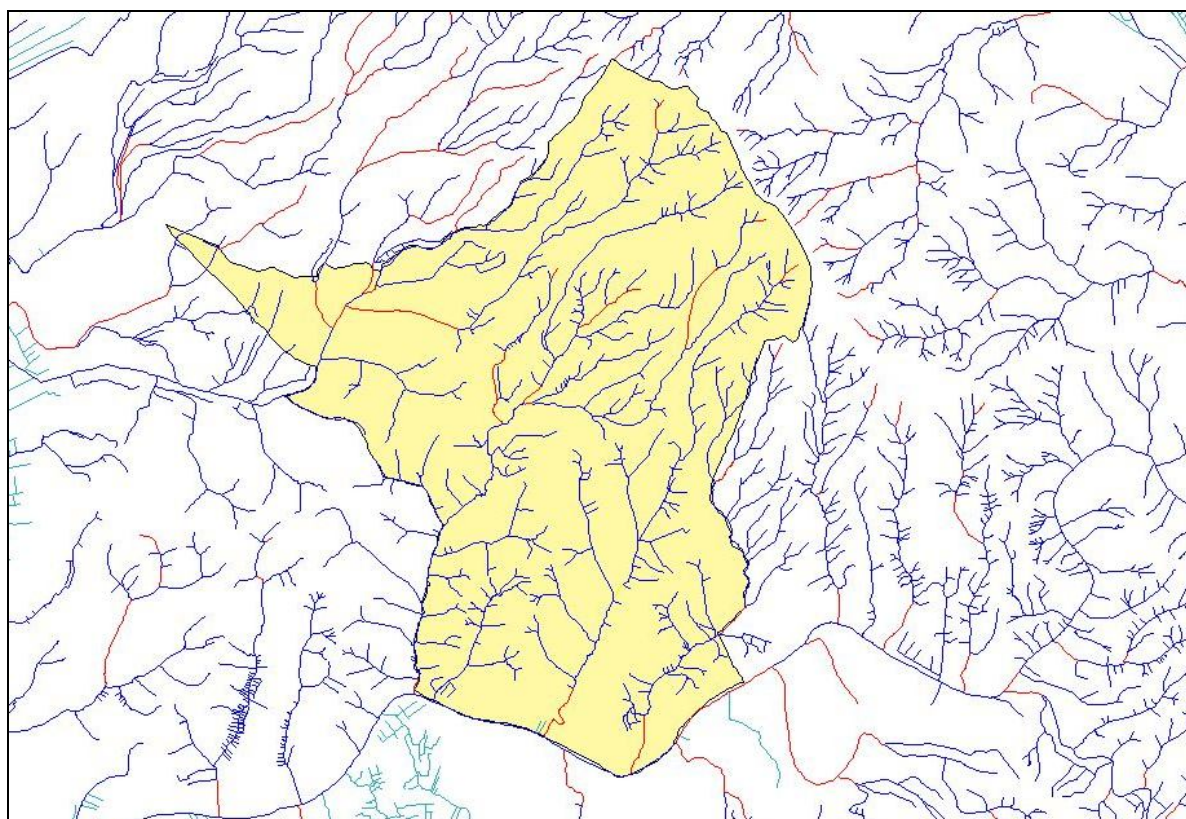


FIGURA 5. ESTRATTO DEL MODELLO AL.TO. RELATIVO AL COMUNE DI VINCI

I dati occorrenti per il modello IDRARNO sono, per ogni sottobacino:

- ✓ **Area** - superficie del bacino (kmq)
- ✓ **la** - perdita iniziale (mm)
- ✓ **Ks** - velocità di infiltrazione a saturazione (mm/h)
- ✓ **N** - parametro di forma dell'idrogramma di Nash
- ✓ **K** - parametro di scala dell'idrogramma di Nash (h)
- ✓ **Cpp_a1** - parametro della curva di possibilità pluviometrica per durate < 1 h
- ✓ **Cpp_n1** - parametro della curva di possibilità pluviometrica per durate < 1 h
- ✓ **Cpp_m1** - parametro della curva di possibilità pluviometrica per durate < 1 h
- ✓ **Cpp_a** - parametro della curva di possibilità pluviometrica per durate > 1 h
- ✓ **Cpp_n** - parametro della curva di possibilità pluviometrica per durate > 1 h
- ✓ **Cpp_m** - parametro della curva di possibilità pluviometrica per durate > 1 h
- ✓ **Qbase** - Portata di base (mc/s) – parametro opzionale
- ✓ **Sezione** - nome della sezione a valle della confluenza
- ✓ **Qmax** - Portata massima (mc/s) su cui troncare l'idrogramma – parametro opzionale

Considerate le limitate dimensioni dell'area su cui sono ubicati i bacini in esame, i parametri relativi alla distribuzione statistica delle precipitazioni sono state considerate uniformi su tutti i sottobacini analizzati. Questi sono stati ripresi dai dati disponibili nel modello AL.TO. per i bacini che, tra quelli studiati, risultano già "processati". Nella seguente tabella sono riportati i valori utilizzati.

<i>Cpp_a1</i>	<i>Cpp_n1</i>	<i>Cpp_m1</i>	<i>Cpp_a</i>	<i>Cpp_n</i>	<i>Cpp_m</i>
28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205

Per ciascun sottobacino il parametro Area è stato valutato utilizzando la C.T.R. in scala 1:10000.

Per i parametri la, Ks, N, K è necessario distinguere due casi:

- ✓ sottobacini per cui sono già disponibili i dati dal modello AL.TO. in quanto già "processati"
- ✓ sottobacini per cui non sono disponibili i dati dal modello AL.TO.

Per i bacini "processati" sono stati ovviamente utilizzati i dati già disponibili, mentre per quelli non "processati", sono stati assegnati valori pari a quelli del bacino "processato" relativo allo stesso corso d'acqua, con riferimento alla sezione di chiusura in corrispondenza della confluenza con il fiume Arno.

Per ciascun bacino in esame nelle seguenti tabelle sono riportati i dati utilizzati nei calcoli e che vanno a costituire il file ".idr" di input del software IDRARNO. In grigio sono evidenziati i dati disponibili dei sottobacini già processati con il modello AL.TO..

TORRENTE STREDA

Nome	Area	la	Ks	N	K	Cpp_a1	Cpp_n1	Cpp_m1	Cpp_a	Cpp_n	Cpp_m
STR_1	4.11	11.838	1.616	2.138	0.42	28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205
STR_2	6.21	10.076	1.511	2.392	0.395	28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205
STR_3	2.32	3.3	1.421	1.817	0.262	28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205
STR_4	1.15	7.084	1.709	2.76	0.673	28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205
STR_5	2.61	7.084	1.709	2.76	0.673	28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205
STR_6	3.23	7.084	1.709	2.76	0.673	28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205
STR_7	2.15	7.084	1.709	2.76	0.673	28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205
STR_8	1.59	7.084	1.709	2.76	0.673	28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205

RIO DELLA VALLE MARCARRO

Nome	Area	la	Ks	N	K	Cpp_a1	Cpp_n1	Cpp_m1	Cpp_a	Cpp_n	Cpp_m
MAR_1	1.14	7.084	1.709	2.5	0.137	28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205
MAR_2	0.67	7.084	1.709	2.5	0.105	28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205
MAR_3	0.22	7.084	1.709	2.5	0.06	28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205

RIO S.ANSANO

Nome	Area	la	Ks	N	K	Cpp_a1	Cpp_n1	Cpp_m1	Cpp_a	Cpp_n	Cpp_m
SAN_1	2.53	6.864	1.949	2.478	0.515	28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205
SAN_2	1.04	5.28	2.012	2.377	0.534	28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205
SAN_3	1.7	5.28	2.012	2.377	0.534	28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205
SAN_4	2.08	5.28	2.012	2.377	0.534	28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205
SAN_5	0.92	5.28	2.012	2.377	0.534	28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205
SAN_6	1.64	5.28	2.012	2.377	0.534	28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205
SAN_7	1.72	5.28	2.012	2.377	0.534	28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205

RIO MORTICINI

Nome	Area	la	Ks	N	K	Cpp_a1	Cpp_n1	Cpp_m1	Cpp_a	Cpp_n	Cpp_m
MOR_1	4.99	12.738	1.625	2.317	0.421	28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205
MOR_2	0.94	9.13	1.378	2.46	0.45	28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205
MOR_3	1.72	9.13	1.378	2.46	0.45	28.556	0.384	0.185	25.001	0.275	0.205
MOR_4	0.63	9.13	1.378	2.46	0.45	28.662	0.38	0.186	25.067	0.274	0.205
MOR_5	0.8	9.13	1.378	2.46	0.45	28.662	0.38	0.186	25.067	0.274	0.205
MOR_6	1.58	9.13	1.378	2.46	0.45	28.662	0.38	0.186	25.067	0.274	0.205

La ricostruzione degli idrogrammi di piena per ciascun sottobacino individuato è stata eseguita sulla base della normativa di attuazione del P.A.I. ossia con riferimento ad eventi di pioggia con tempi di ritorno pari a 30, 100 e 200 anni.

Per definire in maniera compiuta l'evento di pioggia di riferimento per il calcolo degli idrogrammi è necessario inoltre stabilire un eventuale coefficiente di ragguglio areale K_r delle piogge; questo, per ciascun sottobacino, è stato fissato pari a quello che risulta dal modello AL.TO. per ciascun corso d'acqua con sezione di chiusura in corrispondenza della confluenza in Arno.

Nella seguente tabella sono riportati i valori dei coefficienti di ragguglio utilizzati nei calcoli.

Bacino	Coefficiente di ragguglio K_r
Streda	0.93
S.Ansano	0.96
Morticini	0.95
Marcarro	1.00

Sono stati indagati diversi tempi di precipitazione, ed in particolare 0.5, 1.5, 2 e 24ore, al fine di tenere conto delle sia delle condizioni più critiche per i bacini dei corsi d'acqua minori che dei fenomeni di ruggito indotti dall'Arno su scenari di pioggia lunghi (24h).

In particolare l'evento critico di 0.5 ore è stato valutato solo per il Rio Marcarro avendo gli altri torrenti durate critiche intorno alle 1.5h.

In Allegato 1 sono riportati i grafici relativi agli idrogrammi che risultano dai calcoli svolti sulla base dei dati precedentemente indicati.

4.2 RISULTATI

La seguente tabella presenta in sintesi i valori di portata al colmo relativi ai singoli sottobacini/affluenti considerati ed al bacino/corso d'acqua principale. Nello specifico in tabella vengono indicati per i tre tempi di ritorno analizzati i valori massimi di portata con riferimento alla durata di pioggia che massimizza il picco.

TORRENTE STREDA

Sottobacino	Sezione di ingresso nel modello	Q_{30} (mc/s)	Q_{100} (mc/s)	Q_{200} (mc/s)	D_{cr} (min)
STR_1	4986.816	28.23	37.92	44.72	90
STR_2	4986.816	43.61	58.16	68.24	90
STR_3	4769.054	28.95	36.84	42.24	30
STR_4	4058.886	5.41	7.20	8.45	120
STR_5	2526.834	12.28	16.34	19.17	120
STR_6	2035.590	15.20	20.22	23.73	120
STR_7	1231.731	10.11	13.46	15.72	120
STR_8	550.377	7.48	9.95	11.68	120

RIO S.ANSANO

Sottobacino	Sezione di ingresso nel modello	Q_{30} (mc/s)	Q_{100} (mc/s)	Q_{200} (mc/s)	D_{cr} (min)
SAN_1	3647.203	15.87	21.09	24.72	90
SAN_2	3214.999	10.87	14.35	16.77	90
SAN_3	3647.203	6.65	8.78	10.26	90
SAN_4	2125.903	13.30	17.56	20.52	90
SAN_5	1318.262	5.88	7.76	9.08	90
SAN_6	1136.227	10.49	13.84	16.18	90
SAN_7	606.866	11.00	14.52	16.97	90

RIO MORTICINI

<i>Sottobacino</i>	<i>Sezione di ingresso nel modello</i>	Q_{30} (mc/s)	Q_{100} (mc/s)	Q_{200} (mc/s)	D_{cr} (min)
MOR_1	3195.065	33.60	45.48	53.69	90
MOR_2	2646.312	6.30	8.37	9.81	90
MOR_3	2045.780	11.52	15.31	17.96	90
MOR_4	1893.265	4.22	5.61	6.58	90
MOR_5	1204.992	5.36	7.12	8.35	90
MOR_6	64.306	10.58	14.07	16.50	90

Le portate relative al Fiume Arno per lo scenario critico di 24 ore sono state fornite dal Genio Civile di Firenze insieme al modello idraulico, mentre per le durate più brevi si è fatto riferimento alle portate presenti nel SIMI per eventi di 3 ore.

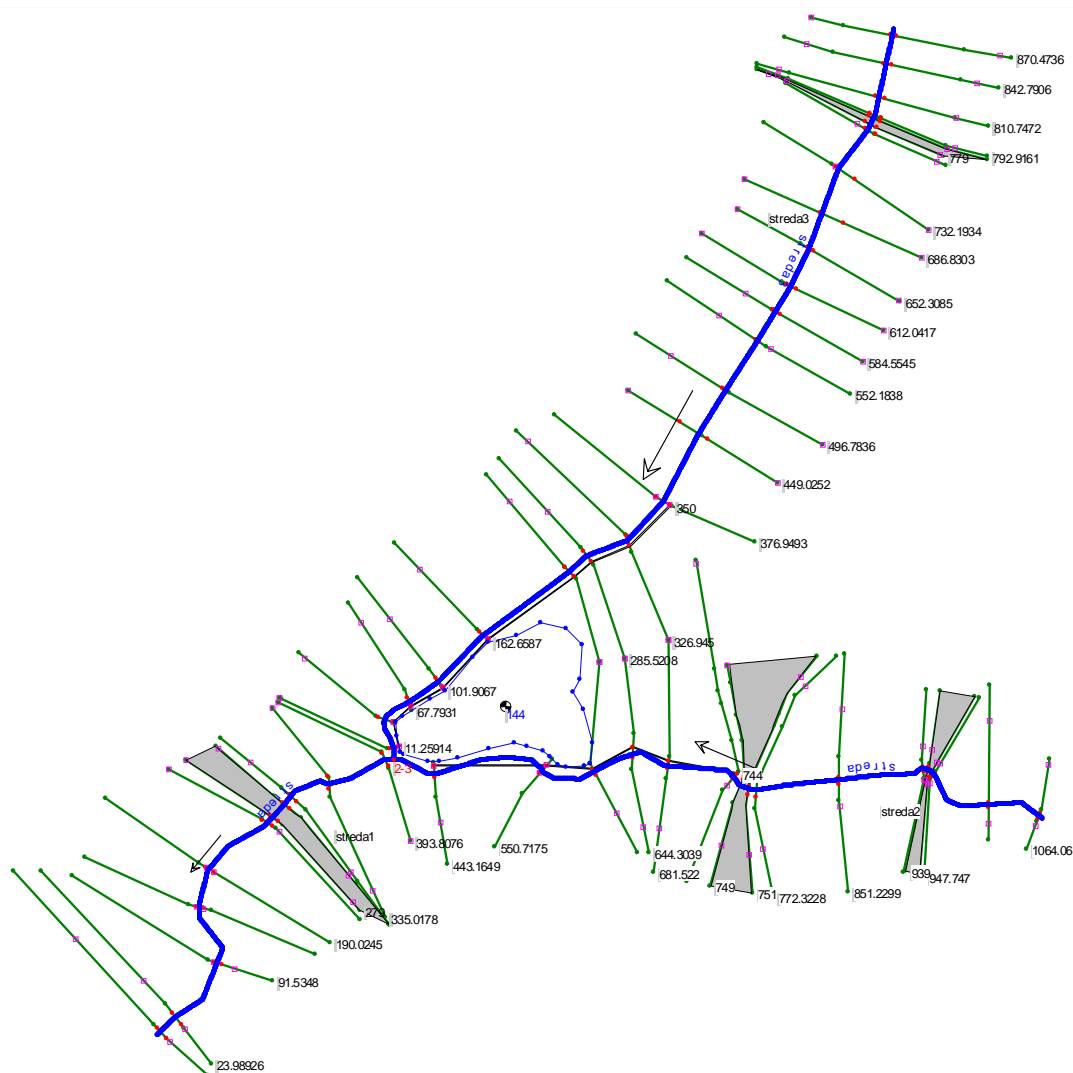


FIGURA 8. SCHEMATIZZAZIONE DEI MODELLI IDRAULICI – STREDA MONTE

5.1 DESCRIZIONE DELLE METODOLOGIA DI CALCOLO CON SCHEMA DI MOTO VARIO

Il modello idraulico utilizzato, denominato HEC-RAS, è stato sviluppato dall'US Army Corps Of Engineers; è in grado di effettuare simulazioni di tipo monodimensionale del fenomeno di propagazione dell'onda di piena su corsi d'acqua. Il modello presuppone che siano fornite tutte le informazioni necessarie, ed in particolare la geometria di un numero sufficiente di sezioni trasversali. 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 (per i corsi d'acqua studiati non è stato necessario utilizzare questa opzione).

Per l'analisi in moto permanente il software 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. Si può valutare mediante la 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;

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 dell'alveo in sottosezioni all'interno dei quali la velocità possa ritenersi con buona approssimazione costante.

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 determinato 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 e 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 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 lo studio del deflusso attraverso un ponte HEC-RAS fa riferimento a quattro sezioni fluviali trasversali: sezione a monte del ponte, sezione di ingresso al ponte, sezione in uscita al ponte e sezione a valle del ponte. Il calcolo può essere effettuato utilizzando diverse soluzioni.

Il metodo del bilancio energetico (metodo standard step), che è stato utilizzato nell'ambito del presente studio, tratta la sezione in cui è presente il ponte esattamente come le altre, ad eccezione del fatto che l'area occupata dalla struttura viene sottratta dall'area totale e che il perimetro bagnato risulta incrementato per via del contributo dato dal ponte stesso. Poiché le perdite totali sono funzione delle perdite per attrito e delle perdite per contrazione ed espansione, occorre definire in questa fase i coefficienti necessari per il calcolo. In particolare, essendovi variazioni di velocità anche notevoli, il coefficiente di contrazione e soprattutto quello di espansione risulteranno sensibilmente maggiori dei valori assunti per i normali tronchi fluviali.

Il metodo del bilancio della quantità di moto si basa invece sull'applicazione dell'omonima equazione tra le quattro sezioni fluviali in precedenza descritte. Il modello permette all'utente di utilizzare, per lo studio di ogni ponte, ciascuno dei metodi sopra citati o eventualmente di selezionarli entrambi; il software provvede a restituire il profilo che prospetta la situazione caratterizzata da maggior criticità.

Le equazioni che governano le correnti a pelo libero in moto vario sono quelle di De Saint Venant, valide nelle ipotesi di corrente gradualmente variata e pendenza d'alveo contenuta. La risoluzione di dette equazioni differenziali è effettuata da HEC-RAS utilizzando uno schema implicito alle differenze finite a quattro nodi, definito in letteratura come box scheme, nel quale deve essere indicato un peso di discretizzazione temporale θ . Questo schema risulta incondizionatamente stabile per valori di θ compresi tra 0.5 e 1, condizionatamente stabile per θ uguale a 0.5 e instabile per $\theta < 0.5$; nella realtà, soprattutto in presenza di strutture che alterino drasticamente la geometria della sezione, possono presentarsi situazioni in cui la stabilità del sistema di risoluzione non è garantita. Le equazioni di De Saint Venant si compongono dell'equazione di continuità e l'equazione di bilancio di massa, applicate ad un assegnato tronco fluviale. Nell'ipotesi di fluido incomprimibile, l'equazione di continuità si scrive come:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} - q_e = 0 \quad (3)$$

Q è la portata fluviale;

A è l'area bagnata;

S è l'area di accumulo, cioè l'area della sezione che non contribuisce al deflusso;

e q è la portata per unità di larghezza dovuta agli apporti laterali.

L'equazione del moto si scrive come:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q \cdot V)}{\partial x} + g \cdot A \cdot \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (4)$$

dove:

V è la velocità;

Q è la portata;

S_f è la cadente.

Le equazioni (3) e (4) sono di tipo differenziale e non lineari; possono essere risolte per via iterativa o mediante tecniche di linearizzazione.

L'analisi dell'effetto dei ponti in condizioni di moto vario è effettuata da HEC-RAS con due approcci alternativi: il primo si esplica sottraendo dall'area bagnata l'area occupata dalle spalle e dalle pile della struttura; il perimetro bagnato risulta incrementato sempre per la presenza del ponte e, conseguentemente, si ha una riduzione della capacità di portata. Si preferisce questa procedura nei casi di spalle non troppo alte e facilmente sommergibili. Il secondo approccio considera invece la sezione del ponte imponendo una condizione interna, con la definizione di relazioni Q-h (portata-altezza idrica) in sostituzione alle equazioni di moto vario.

5.2 DATI DI INPUT DEL MODELLO IDRAULICO DI CALCOLO

Il primo passo dell'analisi consiste nel definire le condizioni di moto con le quali svolgere le simulazioni con HEC-RAS. Poiché le condizioni geometriche e morfologiche dei tratti di corsi d'acqua interessati dalle verifiche non permettono di stabilire a priori se il moto si svolge in condizioni di corrente lenta o veloce, è stato deciso di considerare una condizione di corrente mista.

Le condizioni di monte sono rappresentate dagli idrogrammi in ingresso al modello idraulico mentre quella di valle sono stati i livelli forniti dal Genio Civile di Firenze (24 ore) e dal SIMI (3 ore) relativi all'ultima sezione dell'Arno.

E' stata ipotizzata la condizione più sfavorevole ovvero la concomitanza dei picchi di piena tra l'Arno e gli affluenti minori.

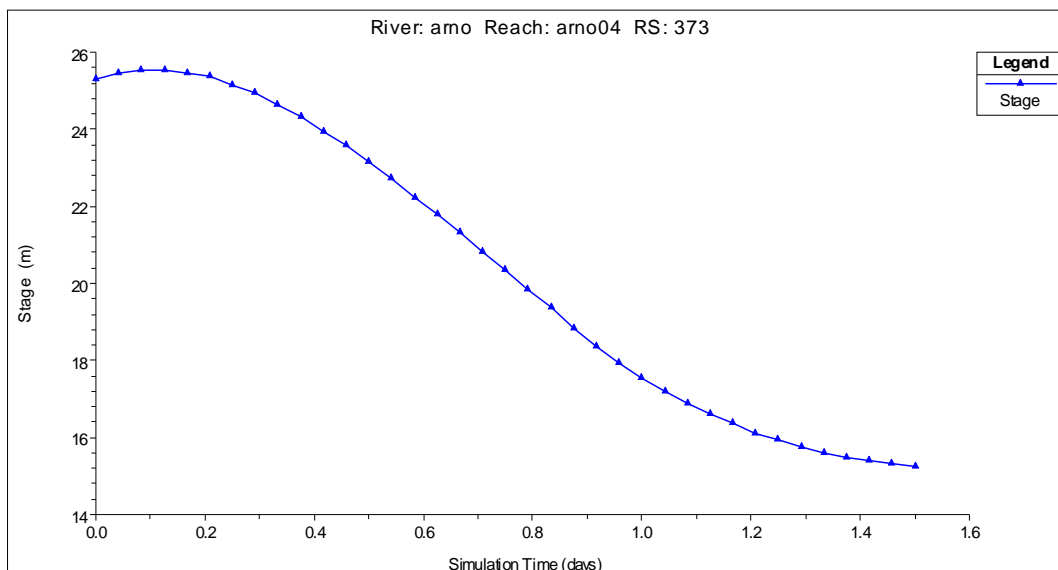


FIGURA 9. LIVELLI IN ARNO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA PER EVENTI DI 3 ORE TR200

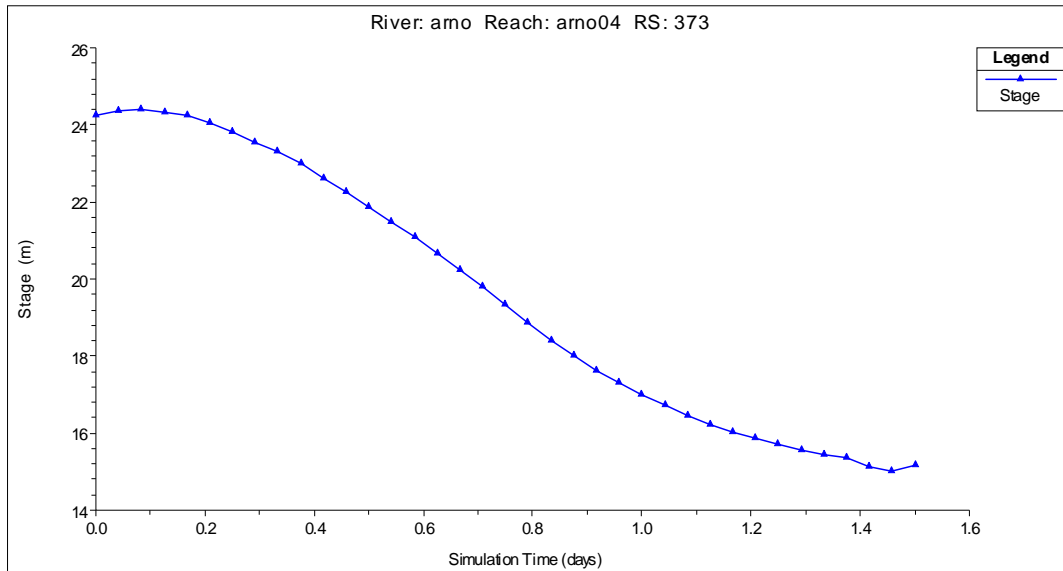


FIGURA 10. LIVELLI IN ARNO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA PER EVENTI DI 3 ORE TR100

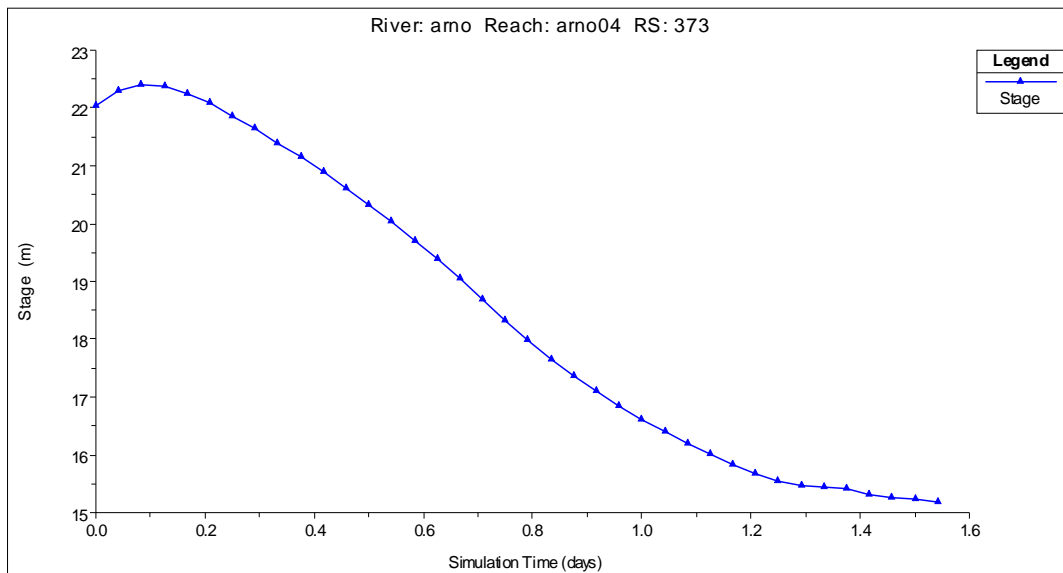


FIGURA 11. LIVELLI IN ARNO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA PER EVENTI DI 3 ORE TR30

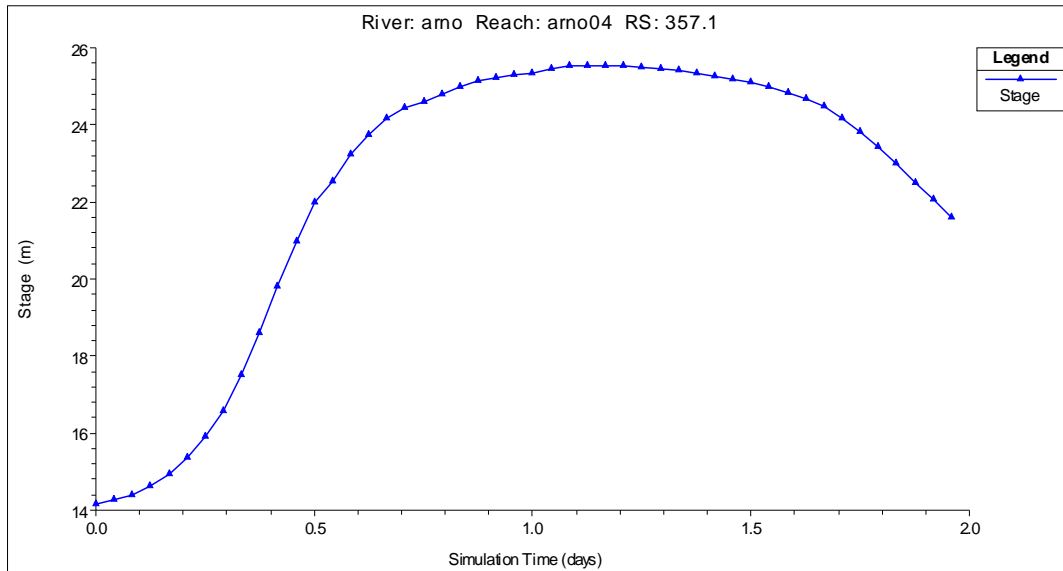


FIGURA 12. LIVELLI IN ARNO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA PER EVENTI DI 24 ORE TR200

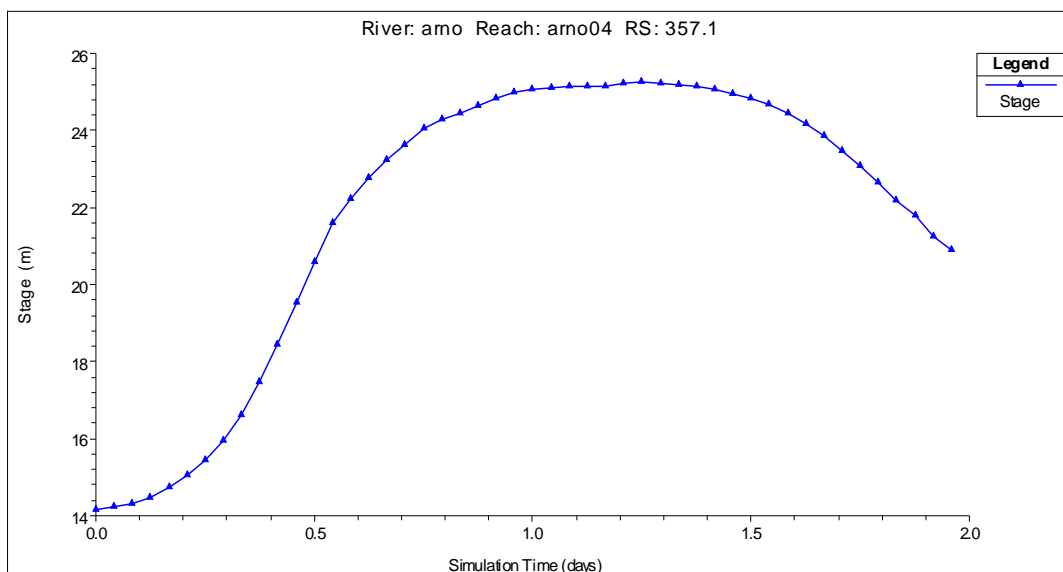


FIGURA 13. LIVELLI IN ARNO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA PER EVENTI DI 24 ORE TR100

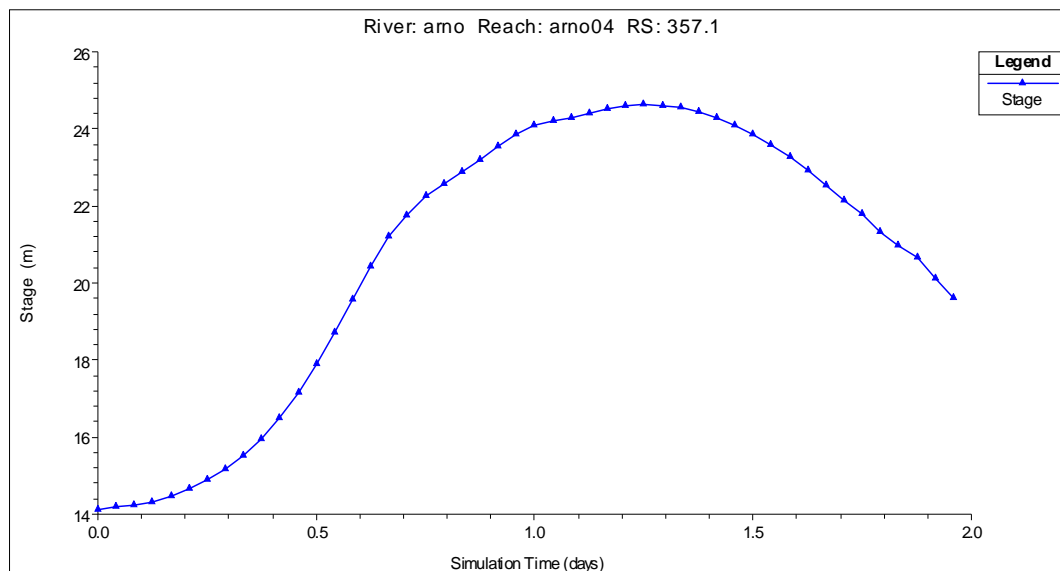


FIGURA 14. LIVELLI IN ARNO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA PER EVENTI DI 24 ORE TR30

Per il rio Marcarro sono stati inseriti come condizione al contorno i livelli delle casse di espansione di valle relativi alle modellazioni del modello generale per la condizione più gravosa riscontrata.

Per assegnare il valore del coefficiente di scabrezza si è fatto riferimento all'osservazione diretta delle condizioni del corso d'acqua. Poiché tutti i corsi d'acqua analizzati presentano sezioni con sponde/argini in terra è stato adottato un valore di scabrezza secondo Manning pari a $0.04 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$.

5.3 SIMULAZIONE DEL COMPORTAMENTO DELLA CASSA DI ESPANSIONE SUL RIO MORTICINI

Per simulare il comportamento della cassa è stato necessario ricostruire le geometrie dell'opera ossia la curva d'invaso e le dimensioni del sistema di scarico costituito da bocca di fondo e dalla gaveta con funzione di sfioratore di sicurezza.

Bocca di fondo e stramazzo di sicurezza

Il sistema di scarico della cassa in linea è costituito da uno scarico di sezione rettangolare con luce pari a 4.94 m posto a quota 30.15 m s.l.m. e da una gaveta lunga 34.6 m, posizionata a quota 34.65 m s.l.m (4.50 m dal fondo dello scarico), che funge da sfioratore di sicurezza.

In corrispondenza della bocca di scarico di forma rettangolare è posizionata una paratoia mobile sollevabile meccanicamente (vedi seguenti foto) fino a 2 m al di sopra del fondo della bocca (quota a paratoia chiusa 32.15 m s.l.m.).

Le verifiche sono state effettuate ipotizzando la paratoia mobile chiusa, condizione che ne ottimizza il funzionamento.



FIGURA 15. PARATOIA MOBILE



FIGURA 16. SOGLIA DI SFIORO

6 RISULTATI DELLO STUDIO

I risultati dello studio sono stati elaborati in tavole grafiche che mostrano i battenti idraulici di inviluppo degli eventi di piena più gravosi suddivisi per tempi di ritorno e per due scenari principali:

- Evento critico per il fiume Arno con durata di 24h;
- Evento critico per i bacini minori con durata variabile per i vari tempi di ritorno, 2 ore per i 200 anni e 1.5 ore per i 30 ed i 100 anni.

Sono state redatte inoltre le carte di pericolosità idraulica sia ai sensi del DPGR 53/R che relative al Piano di assetto Idrogeologico.

Lo studio mostra una sostanziale vulnerabilità del territorio sia nella porzione limitrofa ai tratti collinari dei corsi d'acqua minori, messi in crisi da eventi meteorici brevi, che nel fondovalle adiacente all'Arno, per eventi lunghi.

Anche per tempi di ritorno brevi la distribuzione delle aree allagate è molto ampia ed interessa una larga parte di aree densamente urbanizzate.

Per eventi duecentennali inoltre si raggiungono in corrispondenza di Sovigliana battenti che superano i 2m con punte di 4m.

I futuri interventi di messa in sicurezza idraulica del territorio comunale dovranno essere realizzati in primo luogo sul reticolo minore, con l'individuazione di aree da destinare a casse di laminazione e con la realizzazione di interventi di risagomatura degli alvei. In secondo luogo sul Fiume Arno con la realizzazione di arginature di protezione delle aree densamente urbanizzate e la realizzazione di opere di compensazione dei volumi sottratti alla libera espansione delle acque.

7 CONCLUSIONI

Lo studio è partito dall'analisi del territorio comunale alla luce di nuove informazioni topografiche.

Sono stati descritti i bacini dei corsi d'acqua oggetto di verifiche idrauliche dal punto di vista geologico e morfologico.

L'analisi idrologica è stata condotta con l'utilizzo degli strumenti informatici regionali quali ALTO ed IDRARNO al fine di ottenere le portate al colmo dei corsi d'acqua suddivisi per i vari tempi di ritorno (30, 100 e 200 anni).

Le durate di pioggia considerate sono state tre e pari a 1.5 ore, 2 ore e 24 ore in modo tale da valutare le condizioni idrologicamente più gravose per tutti i corsi d'acqua studiati.

E' stata valutata l'efficienza delle opere idrauliche realizzate dall'amministrazione sul Rio Morticini attraverso la sua modellazione idraulica.

Sono state effettuate simulazioni idrauliche con schema di moto vario dei corsi d'acqua studiati al fine di stabilire le aree soggette ad inondazioni per effetto delle piene relative ai tempi di ritorno studiati.

Per ciascun tempo di ritorno si è prodotto l'inviluppo delle situazioni più gravose mappando sulla carta tecnica regionale 1:10000 le aree a diversa pericolosità idraulica così come definite dal DPGR 53/R e dal PAI.

Sono state pertanto prodotte le carte dei battenti e delle pericolosità idrauliche.