



LAVORO - JOB NAME:
IMPIANTO DI TERMOVALORIZZAZIONE 'I CIPRESSI'

COMMESSA - JOB: **C03040**

CLIENTE - CUSTOMER: VALDISIEVE

TITOLO - TITLE:

OPERE IDRAULICHE - RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA

OPERE CIVILI – PROGETTO DEFINITIVO

Proprietà:



Progettazione impiantistica generale:



Progettista Responsabile e
coordinatore generale:

Giovanni Cardinale

Progettazione architettonica:

**Giovanni Cardinale
Lara Righi -Antonio Viceconti**

Progettazione strutturale:

**Giovanni Cardinale- Paolo Spinelli
Michelangelo Micheloni - Eleonora Rossi
Stefano Mazzanti – Simone Cannelli
Maurizio Sacchetti**

Consulenti :

Procedimento amministrativo:
Idraulica:

**Andrea Failli
Tiziano Staiano StudioHydrogeo**

3	REVISIONE	T.S.	G.C.	G.C.	Gennaio 06
2	REVISIONE	T.S.	G.C.	G.C.	Giugno 05
1	REVISIONE	T.S.	G.C.	G.C.	02.07.04
0	EMISSIONE	T.S.	G.C.	G.C.	14.05.04
REV	DESCRIZIONE -DESCRIPTION	ESEG PREP'D	CONTR. CHK'D	APPR. APPR'D	DATA DATE
Il presente documento è di proprietà G.P.A. Ingegneria s.r.l. A termini di legge ogni diritto è riservato This document is the property of G.P.A. Ingegneria s.r.l. All right are reserved according to law		ELABORATO REF. N: DOC50009			

INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	ANALISI DEL RISCHIO IDRAULICO	4
2.1	METODOLOGIA PER LA VERIFICA DELLE AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA	4
2.1.1	<i>Fase 1 - Definizione e caratterizzazione dell'area di studio</i>	<i>5</i>
2.1.2	<i>Fase 2 - Input idrologici</i>	<i>6</i>
2.1.3	<i>Fase 3 - Modellistica idraulica.....</i>	<i>6</i>
2.1.4	<i>Fase 4 – Mappature della pericolosità idraulica</i>	<i>7</i>
2.2	DEFINIZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO	8
2.2.1	<i>L'invaso di Bilancino</i>	<i>9</i>
2.2.2	<i>L'area di studio.....</i>	<i>9</i>
2.2.3	<i>Raccolta ed analisi critica dei dati disponibili</i>	<i>10</i>
2.2.4	<i>Sopralluoghi.....</i>	<i>12</i>
2.2.5	<i>Caratterizzazione topografica del corso d'acqua.....</i>	<i>15</i>
2.2.6	<i>Caratterizzazione geometrica delle aree di potenziale esondazione.....</i>	<i>17</i>
2.2.7	<i>Coefficiente di scabrezza</i>	<i>18</i>
2.3	ANALISI IDROLOGICA	19
2.3.1	<i>Idrogrammi di piena ante Bilancino.....</i>	<i>19</i>
2.3.1.1	<i>La trasformazione afflussi – deflussi</i>	<i>21</i>
2.3.2	<i>Idrogrammi di piena laminati dall'invaso di Bilancino</i>	<i>24</i>
2.4	MODELLISTICA IDRAULICA.....	26
2.4.1	<i>Il modello idraulico di moto vario</i>	<i>26</i>
2.4.2	<i>Implementazione del modello idraulico.....</i>	<i>28</i>
2.4.2.1	<i>Modellazione del reticolo idrografico in moto permanente</i>	<i>28</i>
2.4.2.2	<i>Parametri della modellistica idraulica</i>	<i>29</i>
2.4.2.3	<i>Verifiche idrauliche in moto vario ante Bilancino</i>	<i>29</i>
2.4.3	<i>Efficacia dell'invaso di Bilancino per la riduzione del rischio idraulico.....</i>	<i>29</i>
2.5	ANALISI DEI RISULTATI	31

1 Premessa

Lo studio associato "Hydrogeo - Ingegneria per l'ambiente ed il territorio" è stato incaricato di predisporre uno studio idrologico e idraulico sul Fiume Sieve finalizzato alla verifica del rischio idraulico, ed alla progettazione a livello definitivo degli eventuali interventi di messa in sicurezza idraulica, nelle aree destinate alla realizzazione del nuovo impianto di Termovalorizzazione "I Cipressi", nel Comune di Rufina in Provincia di Firenze.

L'attuale studio, mirato alla verifica di dettaglio del rischio idraulico nella zona di interesse, fa parte di una più ampia modellistica idrologico – idraulica che gli scriventi avevano implementato quale osservazione al Piano di Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Arno redatto ai sensi e per gli effetti della L. 183/89 e del D.L. 180/98 e s.m.i.

Complessivamente saranno messi a punti due modelli idraulici distinti:

- A) MODELLO IDROLOGICO IDRAULICO DI DETTAGLIO: per valutare il rischio idraulico nell'ambito fisico d'interesse. Da un punto di vista strettamente numerico si associa allo schema monodimensionale di moto vario una rappresentazione a celle di accumulo delle aree di potenziale esondazione.
- B) MODELLO IDROLOGICO IDRAULICO: valuta la propagazione dei deflussi di piena laminati dall'invaso di Bilancino fino alla sezione di testa del MODELLO A). La modellistica idrologico-idraulico è di tipo monodimensionale è comprese un ampio tratto del F. Sieve, dalla sezione SI0387 in loc. Ponte a Bilancino fino alla sezione SI0068, in loc. Contea nel comune di Rufina.

Per quanto riguarda l'implementazione della modellistica di dettaglio si farà di conseguenza riferimento all'intera asta fluviale del Fiume Sieve afferente al Comune di Rufina, mentre per quanto riguarda l'analisi dei risultati, il presente lavoro si concentrerà esclusivamente sulla aree destinate alla realizzazione del nuovo intervento.

Per valutare gli effetti dell'invaso di Bilancino sull'asta di valle del F. Sieve ed in particolare nelle aree di interesse è stato ipotizzato un livello di invaso iniziale pari alla quota di massima regolazione 252 m s.l.m. ed in assenza di paratoie mobili.

La scelta di adottare modelli in moto vario nasce dalla necessità di valutare gli effetti di laminazione delle portate e gli effetti di sfasamento del deflusso sull'asta della Sieve. La modellistica implementata considera quindi un sistema Sieve-Affluenti che è in grado di valutare i reciproci effetti indotti.

L'ambito fisico studiato comprende l'asta del Fiume Sieve nel tratto fra la confluenza con il Torrente Moscia, in località Contea, e la confluenza con il Fosso Macinaie, in località Stentatoio.

Si riportano di seguito le fasi operative che consentono l'individuazione delle aree a rischio idraulico e la progettazione degli interventi di messa in sicurezza:

- ⇒ Individuazione e caratterizzazione dell'ambito fisico oggetto di studio;
- ⇒ Analisi idrologica;
- ⇒ Modellazione idraulica in alveo e nelle aree inondate;
- ⇒ Analisi dei risultati;
- ⇒ Individuazione degli interventi.

2 Analisi del Rischio Idraulico

2.1 METODOLOGIA PER LA VERIFICA DELLE AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA

La verifica delle aree a pericolosità idraulica avviene attraverso l'implementazione di specifici modelli idrologici ed idraulici.

Lo schema metodologico scelto si basa essenzialmente su criteri analitici che, partendo dagli eventi di precipitazione, conducono alla definizione delle aree soggette ad inondazione attraverso la simulazione dei fenomeni di formazione, propagazione ed esondazione dell'onda di piena.

Ai fini dell'individuazione delle aree soggette a rischio, l'approccio deve necessariamente considerare un corso d'acqua nella sua più completa caratterizzazione spaziale, sia in termini d'estensione, sia in termini di contributi laterali provenienti dagli affluenti considerati.

La determinazione delle aree soggette ad inondazione dipende in sostanza dalla distribuzione spazio-temporale dei volumi di piena; pertanto, in ogni sezione del corso d'acqua, i volumi d'esondazione dipendono, a parità d'evento che li genera, dalla dinamica di propagazione e d'esondazione verificatasi nelle sezioni precedenti. Lo stesso ragionamento vale per i contributi di piena al corso d'acqua principale provenienti dagli affluenti.

E' pertanto necessario da un lato stimare gli idrogrammi di piena in arrivo al corso d'acqua, e dall'altro analizzarne la loro propagazione e laminazione per effetto d'opere, esondazioni, diversivi ed immissioni laterali.

Di qui la necessità di un approccio integrato di tipo idrologico-idraulico che consideri l'asta fluviale d'interesse, il relativo bacino afferente e le connessioni idrauliche laterali per la simulazione dei fenomeni di tracimazione e inondazione.

Le sollecitazioni idrologiche al sistema, costituite in generale da eventi caratterizzati da intensità di pioggia variabili nel tempo e nello spazio e dalle "condizioni fisiche iniziali" del bacino idrografico, vengono rappresentate da idrogrammi sintetici definiti in base alle curve di possibilità pluviometrica per preassegnata durata di pioggia e tempo di ritorno. Attraverso la modellistica idrologica, vengono definiti gli idrogrammi di piena nelle varie sezioni d'interesse del corso d'acqua considerato, tenendo conto che i contributi di piena degli interbacini sono valutati adottando la stessa durata di pioggia e un coefficiente di ragguaglio areale tale da garantire una distribuzione spaziale coerente dell'evento.

La propagazione dei deflussi di piena così generati e la valutazione dei fenomeni esondativi lungo l'asta fluviale considerata, avviene tramite il modello idraulico di moto vario, più avanti descritto, in grado di fornire in ogni sezione dell'asta fluviale l'idrogramma di piena in transito e i volumi eventualmente tracimati dalle strutture di contenimento.

Da evidenziare che l'analisi svolta ipotizza che i fenomeni esondativi si manifestino esclusivamente per tracimazione delle portate di piena attraverso le strutture di contenimento del corso d'acqua considerato e la loro successiva diffusione nel territorio adiacente.

Risultano pertanto esclusi i fenomeni esondativi indotti da:

- collassi di strutture di contenimento (argini, sbarramenti, canali)
- ostruzioni temporanee delle sezioni fluviali dovute a fenomeni di dinamica d'alveo o al trasporto di materiale flottante;

Le simulazioni idrologiche-idrauliche sopra descritte vengono ripetute, a parità di tempo di ritorno, per varie durate dell'evento di pioggia in modo da coprire le varie condizioni critiche che ragionevolmente possono presentarsi nel bacino considerato.

Vengono infine delimitate le aree soggette ad inondazione assumendo le condizioni più gravose che in ciascuna sezione si verificano in termini d'altezza d'acqua, mediante l'involuppo dei valori massimi ottenuti da ciascuna simulazione.

Si perviene quindi alla mappatura delle aree soggette a rischio per i diversi tempi di ritorno considerati, ed in base a queste alla individuazione degli interventi di regimazione idraulica.

La procedura sopra riportata si caratterizza e concretizza attraverso quattro fasi di lavoro ben distinte. Ognuna di esse risulta essere propedeutica alla successiva e giustifica le scelte del set di parametri utilizzati nella modellazione dei vari fenomeni in gioco. Si riportano di seguito i dettagli operativi per le diverse fasi che saranno in seguito sviluppati per il caso di studio:

2.1.1 Fase 1 - Definizione e caratterizzazione dell'area di studio

Comprende i criteri per l'individuazione del reticolo idrografico ed i bacini oggetto di studio nonché per la predisposizione del quadro conoscitivo di base, necessario alle elaborazioni successive.

In particolare in questa fase si effettuano le seguenti attività:

- raccolta degli studi esistenti sulla perimetrazione delle aree a rischio idraulico disponibili presso l'Autorità di Bacino (D.P.C.M. 05/11/1999, Piano per l'Assetto Idrogeologico PAI) e gli altri enti territoriali;
- raccolta ed analisi critica dei dati disponibili con particolare riguardo agli eventuali rilievi di sezioni trasversali esistenti;
- elaborazione di indagini integrative sulla base dei capitolati e delle linee guida elaborate dall'Autorità di Bacino;
- delimitazione del perimetro di studio attraverso l'acquisizione della cartografia disponibile con particolare attenzione all'individuazione della rete idrografica, e delle aree di potenziale esondazione.
- Caratterizzazione geometrica del territorio oggetto di studio mediante l'analisi e la validazione delle sezioni fluviali e dei dati territoriali disponibili.

Ognuna di queste attività è corroborata da sopralluoghi e da indagini specifiche presso gli enti territoriali.

2.1.2 Fase 2 - Input idrologici

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 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:

1. Eventi meteorici sintetici costanti su tutto il bacino;
2. Isofrequenza fra evento meteorico e portata in alveo (T_r evento di pioggia = T_r idrogramma di Piena).

La trasformazione afflussi –deflussi è stata ottenuta utilizzando la teoria dell'Idrogramma Istantaneo Unitario o IUH, dove i parametri in gioco sono stati ricavati dalle caratteristiche geomorfologiche del bacino, ottenendo così un Idrogramma Unitario Geomorfologico. Il modello di trasferimento adottato è quello proposto da Nash. Il set di parametri che caratterizza una determinata sezione di chiusura è dato dunque da:

- ✓ I_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]

La banca dati della Regione Toscana sviluppata nel progetto Regionalizzazione delle Portate di Piena consente di avere un quadro esaustivo di detti parametri su tutto il territorio Regionale. In alternativa si utilizzano stime empiriche, che si basano principalmente sul confronto fra bacini con caratteristiche simili. Per maggiori dettagli sulla modellistica idrologica adottata si rimanda alle pagine seguenti ed alla letteratura di riferimento.

Per ciò che attiene il presente lavoro si tiene a precisare che gli input idrologici utilizzati nel modello idraulico, sono analoghi a quelli utilizzati dall'Autorità di Bacino nello studio per la perimetrazione delle aree inondabili. Le attività si sono quindi concentrate sulla verifica del set di parametri, e sulla schematizzazione dei sottobacini.

Nelle pagine seguenti saranno descritti gli eventi sintetici simulati che si diversificano per "Durata di Pioggia" e "Tempo di ritorno".

2.1.3 Fase 3 - Modellistica idraulica

Consente la determinazione dei livelli idrici associati agli eventi di piena definiti nella fase precedente, su ciascuna delle sezioni fluviali elaborate. Nel caso in cui l'alveo inciso e le aree golenali risultino insufficienti al transito dell'onda di piena, la modellistica adottata deve consentire la stima dei volumi tracimati.

I parametri in ingresso alla modellistica idraulica, oltre agli input idrologici, sono costituiti essenzialmente da tre tipologie di condizioni al contorno:

1. Scabrezza – Parametro di resistenza al moto per la valutazione delle perdite di carico distribuite;
2. Coefficienti di espansione/contrazione – necessari per la valutazione di perdite di carico effettivo indotte da variazioni di sezione, quali allargamenti o restringimenti;
3. Condizione al contorno di valle – generalmente costituita dalla scala di deflusso della sezione più a valle nel modello idraulico.

Le prime due grandezze devono essere definite per ogni sezione utilizzata nella modellistica e possono essere valutate a seguito di sopralluoghi e confronti diretti con i valori riportati in letteratura.

Una stima accettabile della condizione al contorno di valle può essere invece ricavata attraverso la modellistica idraulica in moto permanente; scelto un set di portate significativo, ed avendo a disposizione ulteriori sezioni a valle del tratto di studio, è possibile implementare un modello in moto permanente che consenta di definire, seppure in condizioni stazionarie, la relazione livelli-portate in alveo per la sezione di interesse.

Una volta parametrizzato l'intero tronco fluviale di interesse si può passare all'implementazione delle procedure necessarie alla definizione delle aree allagate.

Nel caso oggetto di studio, si è optato per una schematizzazione quasi-bidimensionale dei processi di propagazione dell'idrogramma di Piena, del tipo proposto da Cunge; ad un modello idraulico non stazionario, è associata una rappresentazione "a celle d'accumulo" delle aree potenzialmente inondabili adiacenti il corso d'acqua, opportunamente connesse idraulicamente al corso d'acqua e fra loro.

Il codice di calcolo utilizzato è il Software Hec-Ras v. 3.1. La risoluzione dello schema di moto viene ottenuta per via numerica, discretizzando le equazioni nel dominio spazio-temporale mediante opportuni schemi numerici. La soluzione viene pertanto ottenuta solo nei punti di discretizzazione (e non con continuità su tutto il dominio). Tali punti sono rappresentati dalle sezioni trasversali (discretizzazione spaziale) e dalla scansione temporale utilizzata nella rappresentazione dei fenomeni (discretizzazione temporale).

Il grado di risoluzione che si ottiene deriva quindi dalla densità delle sezioni rilevate e dal passo temporale adottato.

2.1.4 Fase 4 – Mappature della pericolosità idraulica

La classificazione delle aree a pericolosità idraulica viene effettuata a partire dagli output della modellistica idraulica.

Per ognuno dei tempi di ritorno analizzati nella modellazione (30 e 200 anni), e per ciascuna delle durate degli eventi (3h-6h-9h-12h-15h) la modellistica idraulica restituisce i valori significativi delle grandezze idrauliche, ed in particolare livelli in alveo e volumi esondati.

L'inviluppo delle grandezze di cui sopra permette di stimare in ciascun nodo della discretizzazione spaziale adottata, il maggiore livello di rischio idraulico.

2.2 DEFINIZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO

Il sottobacino della Sieve, situato tra la dorsale Appenninica ed i contrafforti del Mugello, si estende per circa 831 Km²; la lunghezza dell'asta principale risulta di 61 Km dalla sorgente di Montecuccoli alla confluenza nel Fiume Arno in corrispondenza dell'abitato di Pontassieve.

Il bacino presenta una forma piuttosto regolare, con sviluppo prevalente in direzione Nord-ovest Sud-est che segue il corso dell'asta principale; partendo da monte si denota immediatamente una spiccata asimmetria del reticolo drenante, prevalente in sinistra idrografica. I maggiori affluenti che scendono dal versante appenninico sono Il Torrente Lova, il Torrente Stura ed il Torrente Travaiano. In corrispondenza della confluenza di quest'ultimo si trova l'imposta dell'invaso di Bilancino che sottende un bacino di circa 150 km². Fatta eccezione per il sottobacino del torrente Carza, tributario in destra idrografica in corrispondenza dell'abitato di S. Piero a Sieve, l'asimmetria si mantiene inalterata fino a valle della confluenza del Torrente Moscia, dove l'asta principale del fiume Sieve cambia direttrice, portando il suo corso in direzione Nord-est sud-ovest fino alla confluenza con il Fiume Arno. I principali corsi d'acqua affluenti che si incontrano a valle della Diga di Bilancino sono riportati in tabella seguente

Codice P.I.T.	Nome	Area Bacino [kmq]	Affluenza	Asta Principale [m]
2521	CARZA E FOSSO CALICARZA	66.49	dx	16152
2665	LEVISIONE	31.67	sx	15280
2963	BAGNONE	23.36	sx	12544
2484	BOSSO E FOSSO DELLA DIRCI	15.02	sx	12374
2597	FALTONA E FOSSO DI POLCANTO	25.53	dx	13477
2612	FISTONA O DI SANT'ANSANO	20.78	sx	11973
2581	ELSA O ENSA DI RAZZUOLO	31.81	sx	15057
957	CAMPESTRI DI O DI RIMAGGIO	7.43	dx	5221
2683	MUCCIONE	22.9	sx	15572
2454	ARSELLA	20.44	sx	11766
2485	BOTENA	29.44	sx	13430
2820	SAN GODENZO O FOSSO DI FALTERONA	89.83	sx	22662
2717	MOSCIA	63.6	sx	14174
211	USCIALI DI O TORRENTE USCIOLO	10.36	dx	4934
2812	RUFINA	21.72	sx	8784
2453	ARGOMENNA	20.89	dx	6870

TABELLA 1: PRINCIPALI AFFLUENTI DEL FIUME SIEVE DA VALLE DELL'INVASO DI BILANCINO ALLA CONFLUENZA CON IL FIUME ARNO

L'altitudine massima del bacino è di circa 1657 m s.l.m. (Monte Falco) nella parte a sud est, dove si trova la sorgente del Torrente San Godenzo, affluente di sinistra; la quota del piano campagna alla confluenza con il Fiume Arno è pari a 77 – 78 m. s.l.m.

2.2.1 L'invaso di Bilancino

L'invaso di Bilancino ha un bacino afferente di circa 150 kmq e un volume di massimo invaso di 84 milioni mc, di cui 15 milioni destinati alla laminazione delle piene. Il contributo alla riduzione delle portate al colmo risulta quindi rilevante, soprattutto per l'effetto di ritardo del picco in uscita dall'invaso nei confronti delle onde di piena dei tributari di valle.

Le caratteristiche dell'invaso e delle opere di scarico di seguito riportate sono state desunte dal progetto esecutivo:

- Quota del coronamento: 259 m s.l.m.
- Superficie del bacino imbrifero sotteso: 150 Km²
- Quota di massimo invaso: 254.5 m s.l.m.
- Volume di massimo invaso: $84 \cdot 10^6$ mc
- Superficie di massimo invaso: 6.82 Km²
- Quota di massima regolazione: 252 m s.l.m.
- Volume di massima regolazione: $69 \cdot 10^6$ mc
- Superficie di massima regolazione: 4.89 Km²
- Volume di laminazione (tra 252 e 254,5 m s.l.m.): $15 \cdot 10^6$ mc

L'opera è munita di due scarichi di superficie, di uno scarico di fondo e di uno di esaurimento:

Sfioratore a soglia fissa

- Quota della soglia: 252 m s.l.m.
- Lunghezza: 75 m
- Portata massima alla quota di massimo invaso: 652 mc/s

Sfioratore con paratoia mobile

- Quota della soglia: 249 m s.l.m.
- Lunghezza: 12 m
- Altezza della paratoia: 3 m
- Portata massima alla quota di massimo invaso: 288 mc/s

Lo scarico di fondo

- Due paratoie di 2.8x4.2 m
- Portata massima alla quota di massimo invaso: 260 mc/s

L'Autorità di Bacino del fiume Arno (Piano Stralcio Rischio Idraulico, 1999), stima che, nel caso di un evento pari a quello del 1966, la laminazione dovuta all'invaso di Bilancino avrebbe abbattuto di circa il 5% la portata a Firenze.

2.2.2 L'area di studio

L'ambito fisico studiato comprende i territori del Comune di Rufina interessati dal corso del Fiume Sieve. L'asta fluviale ha una lunghezza di circa 12300 m, da monte della confluenza con il Torrente Moscia in località Contea, alla confluenza con il Torrente Macinaie, in località Stentatoio. Le due località si trovano rispettivamente ad una distanza dalla confluenza del Fiume Sieve con il Fiume Arno, calcolata lungo l'asta, rispettivamente di 15920 e 3680 m. Le aree afferenti all'impianto di incenerimento esistenti, dove è prevista la realizzazione del

Termovalorizzatore possono essere collocate a partire dalla progressiva 4370 m fino alla progressiva 4720 m; in tale tratto il Fiume Sieve scorre in direzione Nord- Est e Sud-Ovest, con andamento pressoché rettilineo, in un alveo inciso di larghezza media al ciglio di sponda di 55 – 66 metri. In corrispondenza del lembo più a Sud della suddetta area si ha evidenza un'ansa fluviale che porta il corso fluviale sulla direttice prevalente Nord- Sud.

2.2.3 Raccolta ed analisi critica dei dati disponibili

La base dati necessaria per lo svolgimento delle elaborazioni previste è stata acquisita dai vari enti territoriali. In particolare sono stati acquisiti:

1. Cartografia tecnica regionale C.T.R. 1:10.000 e C.T.R. 1:2.000;
2. Cartografia numerica 1:2.000 realizzata dal Comune di Rufina;
3. Elaborati grafici e relativi strati informativi numerici del "Progetto di Piano per l'assetto idrogeologico del Fiume Arno";
4. Elaborati grafici e relativi strati informativi numerici del "Piano stralcio Rischio Idraulico";
5. Banca dati dell'Autorità di Bacino relativa ai risultati dell'analisi idrologica e idraulica effettuata per la stesura del Progetto di Piano;
6. Rilievi di sezioni fluviali esistenti;
7. Modello digitale del terreno del territorio del bacino del Fiume Sieve, maglia 10x10m;
8. Dati idropluviometrici delle stazioni idrotermopluviometriche di interesse.

Per ciò che riguarda la banca dati dell'Autorità di Bacino, sono disponibili i seguenti set di dati:

Tipologia dati	Descrizione
Sezioni fluviali	Sezioni fluviali dell'asta principale in formato dxf.
Aree di potenziale esondazione	Aree di potenziale esondazione definite sulla C.T.R. 1:10.000.
Connessioni idrauliche	Connessioni idrauliche fra aree di potenziale esondazione e sezioni fluviali e fra aree attigue.
Immissioni	Afflussi laterali all'asta principale relativi ad affluenti o ad interbacini drenanti.

Per ognuno di queste famiglie sono disponibili i database dei risultati della modellistica, che consentono di ricostruire sia nella variabile spaziale che temporale, l'evento sintetico simulato.

È stato inoltre acquisito il software IDRARNO per l'implementazione della modellistica idrologica.

Il modello digitale del terreno maglia 10x10m è stato acquisito dall'Ufficio Sit dell'Autorità di Bacino, precisando che tale strato informativo non è stato ancora "collaudato" e sarà quindi verificato con altri dati cartografici in nostro possesso.

I principali rilievi topografici effettuati sul Fiume Sieve sono i seguenti:

Ente Fornitore	Anno realizzazione
Servizio Idrografico	anno 1989
Comm.per Bil.	dic.1995 - apr. 1996
Comm.per Bil.	anno 1996
Com. Mont. Alto Mugello e Val di Sieve	anno 1996
CAVET	agosto-98
CAVET	febbraio-99
Com. Mont. Alto Mugello e Val di Sieve	settembre-99
Com. Mont. Alto Mugello e Val di Sieve	ottobre-99

Per gli studi sul tronco fluviale del Fiume Sieve effettuati dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno, sono state utilizzate 232 sezioni fluviali su un totale di 396 sezioni disponibili.

La diversa provenienza dei rilievi ed i diversi tempi di realizzazione degli stessi ha reso necessaria un'accurata e metodica revisione di tali dati.

Il confronto diretto fra i dati geometrici e le verifiche in campagna ha evidenziato svariate incongruenze nel tratto oggetto di studio, quali per esempio la mancanza del rilievo di opere idrauliche come briglie, soglie di fondo o arginature. Si è altresì verificato che la densità spaziale delle sezioni fluviali risultava molto alta in corrispondenza di opere idrauliche quali ad esempio i ponti, mentre non appare soddisfacente in corrispondenza dei centri abitati o di aree di interesse strategico.

Alla luce delle considerazioni sopraccitate, nell'ambito dello studio finalizzato alle osservazioni al Progetto di Piano per l'Assetto Idrogeologico dell'A.d.B. del Fiume Arno, nel 2003 si è quindi deciso di approntare una **nuova campagna di rilievi topografici**, effettuata secondo le specifiche del capitolato dell'Autorità di Bacino, per un totale di 62 sezioni trasversali ed una densità spaziale media di 5 sezioni al Km.

Nell'ambito del presente lavoro, nell'aprile 2004 si è provveduto poi alla realizzazione di un rilievo di dettaglio sul tronco fluviale afferente all'area dell'impianto "I Cipressi"; in totale sono state rilevate 8 nuove sezioni trasversali riportate identificate dai codici 00037_04, 00036_04, 00035_04, 00034_04, 00033_04, 00032_04, 00031_04 e 00029_04.

2.2.4 Sopralluoghi

Al fine di individuare i parametri fisici necessari alla corretta definizione della modellistica idraulica e per l'individuazione planimetrica delle nuove sezioni longitudinali oggetto di rilievo si è proceduto ad un sopralluogo su tutta l'asta oggetto di studio, ed in particolare nella zona dell'impianto.

Si riporta di seguito una breve descrizione di tutto il reticolo studiato e delle aree adiacenti.

Tratto "Abitato Contea":

Il fiume si presenta in buono stato di manutenzione. Il tratto a monte della confluenza con il Torrente Moscia, nel Comune di Dicomano, risulta sistemato con massi cementati in sponda sinistra. Nel mese di maggio 2003 è stato inoltre completato il nuovo argine a protezione dell'abitato di Contea, realizzato dalla Comunità Montana Mugello. A valle della confluenza si evidenzia la presenza di protezioni di sponda in sinistra idraulica, realizzate con gabbionate a 4 livelli per circa 300 m. In destra idrografica è possibile individuare un'area di pertinenza fluviale di larghezza variabile fra i 30 ed i 100 m.

In località Pizzicotto, in corrispondenza della ricongiunzione fra Fiume e la S.S. 67, sono stati recentemente realizzati, dalla stessa Comunità Montana, interventi di protezione con opere trasversali sia in destra che in sinistra idrografica.

Il Fiume scorre poi per circa 300 m incassato fra la strada statale e il versante in destra idraulica.

Tratto "Abitato Casini":

All'ingresso dell'abitato di Casini il Fiume si allontana nuovamente dalla statale con un'ansa che si chiude con il ponte della Ferrovia. In tale tratto la sinistra idraulica risulta arginata, con un vecchio argine rivestito in pietra in buone condizioni di manutenzione. Si evidenzia altresì la presenza di una fitta vegetazione arbustiva in alveo, con chiari segni del passaggio di eventi di piena. L'opera di ritenuta ha termine improvvisamente a circa venti metri dal ponte ferroviario, punto in cui il dislivello fra testa dell'argine e piano campagna è dell'ordine dei 3 metri.

Il tratto a valle del ponte è invece caratterizzato dalla mancanza di opere di ritenuta o di difesa spondale fino al ricongiungimento con la S.S., a valle della confluenza con il Fosso di Pianettole.

Fatta eccezione per una piccola area golenale in destra idrografica a monte del ponte della ferrovia, nel restante tratto, la destra idrografica si trova a ridosso del piede collinare.

Per circa 700 m il corso d'acqua corre incassato fra la strada (in sinistra idraulica) e la collina, con elevate pendenze del fondo ed evidenti tracce di forti fenomeni di trasporto solido.

Tratto "Abitato Scopeti":

Tale tratto comprende circa 3.5 km di Fiume. Partendo da monte si incontra una prima area caratterizzata dalla presenza di un nuovo attraversamento ferroviario e, poco più a valle di un ponte stradale. A monte del ponte ferroviario si ha la separazione fra la strada statale ed il

fiume; le aree che ricadono al loro interno risultano piuttosto depresse fino all'ingresso dell'abitato di Scopeti, situato ad una quota sensibilmente più alta. La zona, in sinistra idrografica risulta protetta da un muro a retta in pietra che termina in corrispondenza del rilevato ferroviario; le aree delimitate a monte dal ponte e dal rilevato ferroviario, a valle dal rilevato e dal ponte stradale, sono invece prive di opere di contenimento sebbene siano presenti alcune opere trasversali e delle protezioni di sponda in gabbioni. Le due aree sono interconnesse dal sottopasso stradale alla ferrovia.

Muovendosi verso valle si evidenzia un forte allargamento della sezione idraulica e la presenza di un'area golenale in sinistra idraulica in corrispondenza della confluenza del Fosso degli Uscioli, affluente di destra. Proprio in corrispondenza della confluenza ha inizio un muro di contenimento in destra idrografica a protezione dell'area che nel Piano di Bacino è destinata alla realizzazione di una cassa di espansione di tipo A. Il muro, realizzato in pietra e largo da 1 a 1.5m, faceva probabilmente parte di un contesto di opere più ampio; la principale delle quali doveva essere una grossa briglia di cui oggi rimangono soltanto le spalle laterali. Al rigurgito provocato dalla briglia si avviava con il contenimento del muro sovrastante.

La restante parte dell'area non risulta né arginata né tanto meno sono presenti opere di protezione di sponda.

Il tronco successivo è invece adiacente alle aree, in sinistra idraulica, che nel Piano di Bacino sono destinate alla realizzazione di una cassa di espansione di tipo B. Tale zona risulta confinata ad ovest dal Fiume e ad est dal rilevato ferroviario, ed è caratterizzata dalla presenza di numerosi fossi che la solcano trasversalmente. In corrispondenza di ognuno di essi si ritrovano arginature trasversali poste in destra idrografica degli stessi. Tutto il tronco della Sieve risulta inoltre arginato ed in alcuni punti sono presenti alcune opere di difesa trasversali.

Si ha inoltre la presenza di una briglia di grandi dimensioni asservita alla derivazione delle acque, utilizzate dalla vecchia cartiera che si trovava nel paese di Montebonello. Gli effetti di tale opera si evidenziano in tutto il tratto di monte, con correnti lente ed alti battenti in alveo; dopo il salto, di circa 3-4 metri si hanno invece forti fenomeni di trasporto solido al fondo con formazione di banche di rilevanti dimensioni. La dissipazione energetica sul fondo briglia è garantita dalla presenza di una corona di massi ciclopici.

Tratto "Abitato Rufina":

Il centro abitato di Rufina si trova all'interno di una grande ansa del Fiume Sieve che ha inizio poco a monte della confluenza del Torrente Rufina e termina a valle della confluenza con il Fosso Ricaiano. Lo sviluppo longitudinale del fiume è di circa 2.3 km. Tutto il tratto risulta in buono stato di manutenzione, fatta eccezione per la sponda destra nel suo tratto terminale, dove si presenta una folta vegetazione arbustiva.

La zona confinata a valle del ponte di collegamento fra Montebonello e Rufina è caratterizzata dalla presenza, in sinistra idrografica, di un muro di protezione con funzione di sostegno del piede del rilevato ferroviario sovrastante; le zone dell'abitato di Rufina adiacenti sono interconnesse al Fiume Sieve da alcuni sottopassi al rilevato ferroviario e, soprattutto dall'alveo del Torrente Rufina. La riva destra è caratterizzata dalla presenza di un'area nell'abitato di Montebonello non protetta da muri arginali.

Il tratto a valle del ponte stradale può essere suddiviso in due tronchi di caratteristiche omogenee.

Il primo ha termine alla confluenza con il Torrente Argomenna, affluente di destra; in riva destra si trova la parte artigianale-industriale dell'abitato di Montebonello. I muri di cinta dell'edificato costituiscono l'unica opera di ritenuta e vengono meno in corrispondenza del centro sportivo ubicato in adiacenza del T. Argomenna. Sulla riva sinistra si ritrova una doppia opera di protezione, costituita da un argine in frodo e da un argine maestro distanziati dai 20 ai 70 m; le aree golenali così delimitate si caratterizzano per la presenza di setti trasversali che formano vasche di dissipazione, probabilmente utilizzate in passato per la produzione di sabbie da costruzione.

Per il restante tratto in destra idrografica non sono presenti opere idrauliche mentre in sinistra idraulica continua la presenza dell'argine maestro che prosegue fino alla nuova stazione di pompaggio delle acque reflue di recente realizzazione. L'ultimo tratto di circa 250 m risulta privo di protezioni di sponda con evidenti segni di erosione al piede della scarpata.

Tratto "Valle Abitato Rufina – località Stentatoio":

Il tronco fluviale a valle dell'abitato di Rufina corre praticamente a fianco della S.S. n°67.

Non risultano presenti opere di ritenuta di rilevante entità, fatta eccezione per opere di protezione locali; da rilevare la presenza della briglia in località Molino di Vico, da cui parte un canale di derivazione per il mulino omonimo ancora in funzione. Scendendo verso valle, in località Fornacina si trova la stazione idrometrica dell'Ufficio Idrografico; in tale zona il fiume presenta forti pendenze con evidenti segni di forte trasporto solido al fondo. Da evidenziare anche i fenomeni erosivi in sponda destra.

Alla fine del tratto rettilineo del fiume si trovano una serie di sistemazioni ed interventi di mitigazione in sponda sinistra a protezione dell'Impianto di Incenerimento Rifiuti dell'A.E.R., situato fra la S.S. ed il Fiume stesso. Patendo da monte si evidenziano tre diverse opere e sistemazioni idrauliche, che sono:

1. Ampliamento area golenale, per un tratto di circa 100 m, realizzato come intervento di mitigazione del rischio idraulico generato dalla realizzazione del nuovo Piazzale per il parcheggio automezzi dell' "Impianto I Cipressi";
2. Protezione di sponda in blocchi prefabbricati rinverditi, per un tratto di circa 70 m quale intervento di protezione lato fiume del piazzale sopraccitato. La quota di imposta del parcheggio risulta essere di circa 100.40 m s.l.m.;
3. Opera di Contenimento in C.A., per un tratto di circa 85 m, realizzata a difesa dell'impianto di incenerimento esistente e che presenta un'altezza media rispetto al ciclo di sponda di circa 2.7 m, attestando ad una quota media di 99 m s.l.m.;

Da rilevare inoltre che la S.S. 67 risulta protetta con continuità su tutto il tratto da un muro in pietra dell'altezza di circa 1 m e della larghezza di 50 cm.

L'ultimo tratto è quello situato a monte della confluenza con il Torrente Macinaie in cui si rileva la presenza di alcune edifici ad uso produttivo fra la S.S. ed il Fiume.

2.2.5 Caratterizzazione topografica del corso d'acqua

Come specificato precedentemente, ad integrazione delle informazioni plano-altimetriche disponibili, nell'aprile 2004 sono state rilevate ulteriori 8 sezioni nella zona oggetto dell'attuale intervento con una densità spaziale di 1 sezione /35 m.

Il rilievo è stato inoltre esteso:

- alle principali strutture antropiche presenti nell'area, e ritenute significative come opere di ritenuta o di scolo delle acque d'esondazione;
- Ai terreni adiacenti ai tratti fluviali studiati che siano stati individuati come aree di possibile esondazione in modo da poterne definire con più dettaglio la capacità d'invaso.

Si riportano di seguito le specifiche del rilievo in ottemperanza del capitolato sui "Rilievi di sezioni fluviali" dell'Autorità di Bacino.

Il rilievo topografico è stato effettuato dalla "STUDIO ASSOCIATO OIKOS- Lavori topografici" dei geometri Pacini F. – Malesci M. – Martini F, con sede in in Via Liguri Magelli n.11/A SAN PIERO A SIEVE (FI).

La strumentazione utilizzata è il GPS (sistema SR 530 Leica) e la strumentazione ottico-elettronica tradizionale per rilievi celerimetrici (stazione totale Nikon 520).

Il rilievo è stato appoggiato alla rete nazionale dell'I.G.M. e restituito sul sistema di coordinate Gauss-Boaga utilizzando nr. 2 punti GPS IGM 95, un caposaldo di livellazione IGM e nr. 13 capisaldi di livellazione del SERVIZIO IDROGRAFICO DI PISA.

Il rilievo dei punti delle sezioni è stato realizzato secondo l'allineamento perpendicolare all'asse del corso d'acqua congiungente gli estremi di sezione ed individuato in loco mediante l'ausilio di due paline poste ognuna su un estremo. Le operazioni sono state condotte nel modo seguente: per alvei arginati si è proceduto al rilievo dell'alveo e del contenimento arginale; per alvei privi d'arginatura si è estesa la sezione fino ad incontrare la prima barriera morfologica (antropica e non). I punti caratteristici delle sezioni sono stati rilevati ad una distanza parziale mediamente inferiore a 3 m.

Nel caso di sezione localizzata in corrispondenza di una traversa si è provveduto al rilievo delle sezioni a monte ed a valle dell'opera stessa al fine di restituire il profilo longitudinale del salto del corso d'acqua; nel caso di sezione localizzata in corrispondenza di ponti si è provveduto al rilievo delle pile, dell'intradosso, dell'estradosso e della forma dell'impalcato.

E' stata inoltre eseguita la batimetria del fondo fluviale in corrispondenza delle sezioni dove è risultato impossibile accedere con la strumentazione tradizionale.

Per quanto riguarda la restituzione del rilievo, le sezioni sono state sviluppate proiettando i punti battuti sull'allineamento congiungente il punto di riferimento di sinistra e quello di destra e quindi calcolando la distanza progressiva a partire dal punto di riferimento di sinistra verso quello di destra. La distanza dei punti battuti dall'allineamento non è superiore a $L/20$, dove L è

la distanza tra i capisaldi della sezione. I profili longitudinali (linea di talweg del corso d'acqua) riportano per ogni sezione la quota minima dell'alveo.

Sulla sezione in corrispondenza di un'opera d'arte è stata riportata questa ultima con le relative dimensioni degli elementi principali (pile, intradosso, estradosso, tipo impalcato, ecc..)

Le principali attività svolte durante il rilievo topografico possono essere così riassunte:

- a) Reperimento dei punti IGM95 presso l'IGM di Firenze per il riferimento del lavoro sulla rete nazionale;
- b) Triangolazioni di collegamento fra i punti IGM95 per l'inquadramento del rilievo nella rete nazionale con il posizionamento di una rete primaria di capisaldi per mezzo di sistema GPS;
- c) Triangolazioni di collegamento per mezzo di sistema GPS fra i capisaldi precedentemente creati e i punti di livellazione quotati reperiti presso il SERVIZIO IDROGRAFICO DI PISA per l'inquadramento in quota del rilievo;
- d) Realizzazione per mezzo di sistema GPS di una rete di capisaldi secondaria utilizzata per la determinazione delle sezioni fluviali;
- e) Realizzazione per mezzo di Stazione Totale di sezioni fluviali;
- f) Batimetria per mezzo di rotella metrica con sonda applicata ad asta telescopica di 7 mt o a guado.
- g) Restituzione plano-altimetrica del rilievo su cartografia regionale scala 1:10000 e redazione di sezioni fluviali su programma AUTOCAD.

Le sezioni precedentemente descritte e identificate all'assegnazione dei lavori sono state verificate in loco e con sopralluoghi congiunti.

La rete di capisaldi utilizzata può essere così schematizzata:

- Ricognizione, per mezzo di strumentazione GPS, sui vertici IGM95:
 - 1) n.106701 SAN FRANCESCO (Piazza G.Verdi) Firenze;
 - 2) n.107904 COLLINA (Serbatoio) Comune di Vicchio di M.Ilo Firenze;
- Ricognizione, per mezzo di strumentazione GPS, sui capisaldi di livellazione del SERVIZIO IDROGRAFICO DI PISA:
- I 13 capisaldi di livellazione utilizzati, le cui monografie sono state reperite presso il SERVIZIO IDROGRAFICO DI PISA, sono i numeri :
205, 206, 207, 209, 211, 212, 215, 216, 220, 221, 227, 229, 230;
- Rilievo con metodologia GPS della rete (primaria e secondaria) d'inquadramento plano-altimetrico effettuata sia in modalità post-elaborazione che in modalità Real Time (RTK);
- Ricognizione per la posa di capisaldi di raffittimento:
- Per il rilievo sono stati realizzati nr. 3 capisaldi di rete primaria (st 100, st 200, st 300) e nr. 19 capisaldi di rete secondaria (st 607, st 0104, st 0107, st 0108, st 0110, st 0111, st 0112, st 0114, st 0115, st 0119, st 0120, st 301, st 302, st 303, st 304, st 307, st 308, st 150, st 151).

2.2.6 Caratterizzazione geometrica delle aree di potenziale esondazione

La fase di sopralluogo risulta propedeutica anche per la definizione delle cosiddette Aree di potenziale esondazione. La caratterizzazione di tali aree permette la parametrizzazione della loro capacità di invaso statico.

Fatto salvo il caso in cui tali aree siano d'ampiezza confrontabile con quella dell'alveo attivo, e non protette da strutture idrauliche di contenimento, situazione che permette molto semplicemente di assumere in ogni istante come quota d'inondazione quella idrometrica in alveo, come nel caso specifico delle sezioni in corrispondenza dell'impianto "I Cipressi", il problema è quello di simulare la potenziale esondazione in aree arginate, al fine di valutare i volumi esondati e la laminazione dell'onda di piena per effetto di tali esondazioni.

Nel modello quasi-bidimensionale a celle interconnesse, si assume che il fenomeno dell'allagamento di ciascuna cella avvenga in modo sincrono, cioè non viene messo in conto il tempo reale di propagazione sul terreno dei volumi esondati. Quest'ultimo è peraltro di difficile stima, soprattutto in casi d'aree fortemente antropizzate, ove la presenza di strutture e infrastrutture condiziona la velocità e le direzioni lungo le quali l'allagamento si propaga.

L'approssimazione adottata è tanto più accettabile quanto maggiore è il numero di celle in cui vengono suddivise le aree complessivamente soggette ad esondazione. Infatti, in tal modo, il riempimento di ciascuna cella è regolato dalle caratteristiche degli sfioratori di collegamento tra le celle, che, in funzione della quota e della lunghezza, influenzano la velocità di riempimento della cella successiva. Sono comunque trascurati gli effetti della non stazionarietà e bidimensionalità connessi al fenomeno di propagazione del fronte d'inondazione.

La simulazione del fenomeno esondativo si basa inoltre sulle seguenti ipotesi:

- i volumi idrici d'inondazione si generano esclusivamente per tracimazione sulle sommità arginali del corso d'acqua. Non sono considerati altri fenomeni quali, ad esempio, il collasso delle strutture arginali o fenomeni di rigurgito diversi da quelli già considerati nel presente studio; anche gli elementi infrastrutturali delimitanti le aree di potenziale inondazione, quali rilevati stradali, ferroviari, ecc., si considerano, al pari degli argini fluviali, tracimabili senza collasso.
- le aree suscettibili d'inondazione sono preventivamente delimitabili sulla base delle caratteristiche morfologiche e infrastrutturali del territorio. Si definiscono in tal modo le aree potenzialmente inondabili;
- l'identificazione delle aree potenzialmente inondabili, suddivise in celle elementari, si basa sull'analisi delle sezioni fluviali, della cartografia 1:2.000 e 1:10.000 e soprattutto sui sopralluoghi atti all'individuazione di caratteristiche locali non individuabili dalla carta;
- il fenomeno dell'allagamento di ciascuna cella in cui sono suddivise le aree potenzialmente inondabili avviene con una legge di riempimento ricavata in base alle caratteristiche morfologiche dell'area. Si trascurano in questo modo gli effetti della non stazionarietà e bidimensionalità connessi al fenomeno di propagazione del fronte d'inondazione.

La propagazione dei livelli idrici nelle celle avviene pertanto attraverso la sola legge di continuità. A tale scopo è necessario considerare il volume accumulato nella singola cella e le sue variazioni dovute agli scambi di portata con le celle circostanti.

Ad ogni passo temporale l'equazione di continuità impone il bilancio tra i volumi netti transitati attraverso la cella e la variazione di volume locale, sotto le ipotesi che il volume

accumulato in ciascuna cella è univocamente correlato all'altezza idrica nella cella stessa, e le portate scambiate sono funzione dei livelli a monte e a valle delle connessioni idrauliche.

Il trasferimento dei volumi d'esondazione, sia dall'alveo alle celle d'accumulo sia tra le stesse celle avviene tramite soglie sfioranti assimilabili a stramazzi in parete grossa, con possibilità di funzionamento bidirezionale, in condizioni di deflusso libero oppure rigurgitato, in funzione dei livelli a monte e a valle dello stramazzo.

A livello operativo si è proceduto come segue:

A) Nei tratti ove è prevalente il fenomeno del trasporto, cioè in generale per le aree strettamente adiacenti al corso d'acqua, la caratterizzazione delle aree di potenziale esondazione è stata condotta attraverso un'estensione della sezione fluviale, come nel caso della zona dell'impianto.

B) La caratterizzazione geometrica delle aree invece è stata condotta secondo i seguenti criteri:

1. Individuazione delle aree di potenziale esondazione: tale operazione è stata condotta sovrapponendo alla base cartografica scala 1:2.000 i dati sulle aree storicamente allagate riportati nelle tavole dell'Autorità di Bacino.
2. Caratterizzazione morfologica delle aree di potenziale esondazione: in tale fase si è proceduto alla definizione delle caratteristiche plano-altimetriche delle aree di potenziale esondazione attraverso il DTM fornito dell'Autorità di Bacino a maglia 10x10 m con l'obiettivo di ricavare la legge di riempimento volumi-quote d'inondazione $V=V(H)$.
3. Definizione delle connessioni idrauliche: sulla base di quanto ottenuto nelle fasi precedenti e dell'analisi dettagliata delle caratteristiche morfologiche, infrastrutturali e idrauliche del territorio sono state definite le connessioni idrauliche tra l'alveo principale e le celle di potenziale esondazione, e tra celle e celle.
4. La quota di sfioro per le connessioni alveo/cella è definita come la quota di sommità dell'argine ricavata dalle sezioni. Per gli sfioratori cella/cella è identificata attraverso la definizione del profilo di contenimento fra le celle.

La larghezza del fronte di sfioro per gli sfioratori d'alveo è stata fissata sulla base delle attuali conoscenze dei fenomeni esondativi, in funzione della densità spaziale delle sezioni fluviali nonché della loro estensione. Per gli sfioratori cella/cella, la lunghezza della soglia è stata fissata pari alla lunghezza del tratto di contatto, salvo casi particolari rappresentati da sottopassi, tombinature e zone ristrette in cui viene assunta la larghezza effettiva della luce.

2.2.7 Coefficiente di scabrezza

Uno dei parametri fondamentali per una corretta modellistica della propagazione dell'onda di piena è la scabrezza. Attraverso il confronto con i parametri riportati in letteratura ed il supporto dei sopralluoghi effettuati è stato possibile associare, ad ogni sezione fluviale, il coefficiente di scabrezza secondo Manning più appropriato. Lo sviluppo della sezione fluviale è stato suddiviso in tre aree, rispettivamente golena destra, alveo inciso, golena sinistra, ed ad ognuna di esse sono stati assegnati parametri diversi. I valori di scabrezza assegnati nella modellazione variano tra 0.045 e 0.03 secondo Manning.

2.3 ANALISI IDROLOGICA

2.3.1 Idrogrammi di piena ante Bilancino

Nelle analisi idrauliche degli eventi di piena lungo un corso d'acqua ove sia necessaria la conoscenza della distribuzione dei contributi di piena laterali prodotti dagli affluenti, in funzione di preassegnati eventi meteorici, occorre stimare l'idrogramma di piena per ciascun affluente imponendo una durata di pioggia pari a quella considerata per l'asta principale. Il codice applicativo "IDRARNO – modulo idrologico" consente di valutare i contributi di piena laterali non attraverso l'analisi dell'evento critico per il sottobacino, bensì attraverso la generazione di idrogrammi per preassegnata durata di pioggia coerentemente con l'evento considerato sul bacino principale. Si rimanda alla documentazione dell'Autorità di Bacino per un approfondimento sul funzionamento del codice di calcolo.

La disponibilità dei parametri della Regionalizzazione delle Portate di Piena, permette di attivare due procedure distinte per il calcolo degli afflussi laterali:

a) calcolo dei contributi laterali di piena per preassegnato tempo di ritorno, nelle sezioni di calcolo della Regionalizzazione. Si attribuisce all'interbacino considerato un tempo di pioggia pari a quello del bacino principale, i valori di N , K , l_a e K_s definiti dalle procedure di Regionalizzazione, e un coefficiente di ragguglio areale K_r tale da conservare le caratteristiche generali di variabilità spazio-temporale dell'evento considerato.

b) Calcolo dei contributi laterali di piena per preassegnato tempo di ritorno, nelle sezioni non elaborate dalla Regionalizzazione, per le quali si possono presentare i seguenti casi:

- 1) la sezione di interesse ricade all'interno di un interbacino per il quale esistono altre sezioni di calcolo. In tal caso si assumono gli stessi parametri N , K , l_a e K_s già noti e, calcolando la superficie dell'interbacino, è possibile utilizzare la procedura IDRARNO come descritto al punto precedente;
- 2) la sezione di interesse ricade in un interbacino per il quale non è disponibile alcuna informazione dalla Regionalizzazione. Si possono utilizzare le informazioni relative a bacini limitrofi e procedere come al punto a);
- 3) se non sono disponibili i parametri di bacini limitrofi, si può assumere per N il valore medio di 2.5 (Rossi e Villani, 1994; Bacchi, 1998), e effettuare la stima del parametro K tramite la relazione empiriche (Bacchi et Al, 1989)

Il tratto fluviale oggetto di studio conta numerosi affluenti sia in destra che in sinistra idrografica. In questa sede si ritenuto opportuno mantenere lo schema concettuale alla base della modellistica idrologica utilizzata nel PAI; si sono invece verificati i parametri in ingresso al modello per verificarne la congruità.

Nella tabella seguente si riportano i valori dei parametri per ognuno dei contributi laterali. Ognuno dei contributi riporta la sezione di immissione e l'area di bacino sotteso alla sezione di chiusura considerata. Da notare che i contributi sono ordinati da monte verso valle.

Le righe in cui si riporta il nome "Bacino" rappresentano interbacini fra affluenti successivi.

Codice	Nome	Area bacino [kmq]	la [mm]	Ks [mm/h]	N [-]	K [h]	Cpp a	Cpp n	Cpp m	Sezione
2717	MOSCIA	63.60	21.930	0.400	2.840	0.870	20.560	0.360	0.200	SI_0067
45	Bacino	3.35	18.020	0.820	2.520	0.290	20.980	0.360	0.200	SI_0066
1522	PIETRAMALA	3.43	10.650	0.210	1.400	0.630	19.520	0.360	0.190	SI_0048
47	Bacino	2.32	18.020	0.820	2.520	0.240	20.980	0.360	0.200	SI_0047
48	Bacino	2.74	18.020	0.820	2.520	0.260	20.980	0.360	0.200	SI_0045
211	USCIOLI	10.36	18.480	0.210	2.300	0.460	19.520	0.360	0.190	SI_0035
50	Bacino	5.65	17.970	0.810	2.520	0.370	20.990	0.370	0.200	SI_0033
51	Bacino	0.15	17.970	0.810	2.520	0.060	20.990	0.370	0.200	SI_0031
2812	RUFINA	21.72	18.410	0.020	2.270	0.820	22.110	0.370	0.220	SI_0028
53	Bacino	0.16	18.000	0.780	2.520	0.060	21.000	0.370	0.200	SI_0024
2453	ARGOMENNA	20.89	17.800	0.260	2.170	0.730	20.810	0.340	0.190	SI_0022
74	FALCHETTO DEL	2.00	11.310	0.140	2.540	0.330	21.470	0.320	0.210	SI_0020
1618	RICCAIANO	7.61	16.850	0.050	2.410	0.400	22.140	0.360	0.220	SI_0018
57	Bacino	4.14	17.840	0.810	2.520	0.320	21.000	0.360	0.200	SI_0016
1278	GRIGNANO DI	3.32	14.300	4.650	2.550	0.080	21.470	0.320	0.210	SI_0013
1369	MACINAIE DELLE	5.32	16.630	1.140	1.980	0.480	21.740	0.340	0.210	SI_0011
60	Bacino	3.25	17.840	0.810	2.520	0.280	21.000	0.360	0.200	SI_0007
61	Bacino	4.00	17.840	0.810	2.520	0.310	21.000	0.360	0.200	SI_0004

TABELLA 2: PARAMETRI DELLA MODELLISTICA IDROLOGIA

Per procedere ad un verifica speditiva della schematizzazione attuata si è proceduto alla definizione dei bacini e sottobacini attraverso la digitalizzazione sulla cartografia C.T.R. 1:10.000. Nella tabella seguente si riporta la verifica della schematizzazione effettuata, confrontata con quella del PAI.

Nuova Analisi			PAI			
Nome	Area bacini [kmq]	Somma parziale bacini di monte [kmq]	Nome	Area bacini [kmq]	Somma parziale bacini di monte [kmq]	Sezione di immissione
MOSCIA	63.6	63.6	MOSCIA	63.6	63.6	SI_0067
Bacino	6.9	70.5	Bacino	3.4	67.0	SI_0066
PIETRAMALA	2.3	72.8	PIETRAMALA	3.4	70.4	SI_0048
Bacino	3.2	76.0	Bacino	5.1	75.4	SI_0047
		76.0	Bacino		75.4	SI_0045
USCIOLI	10.1	86.1	USCIOLI	10.4	85.8	SI_0035
Bacino	5.9	91.9	Bacino	5.8	91.6	SI_0033
		91.9	Bacino		91.6	SI_0031
RUFINA	21.0	112.9	RUFINA	21.7	113.3	SI_0028
Bacino	0.6	113.5	Bacino	0.2	113.5	SI_0024
ARGOMENNA	20.3	133.8	ARGOMENNA	20.9	134.4	SI_0022
interbacino	3.1	136.9			134.4	
		136.9	FALCHETTO	2.0	136.4	SI_0020
RICCAIANO	5.8	142.6	RICCAIANO	7.6	144.0	SI_0018
Bacino	2.1	144.7	Bacino	4.1	148.1	SI_0016
FALCHETTO	2.9	147.5			148.1	
Bacino	1.3	148.9			148.1	
GRIGNANO DI	0.6	149.5	GRIGNANO DI	3.3	151.4	SI_0013
Bacino	2.6	152.1			151.4	
MACINAIE	4.5	156.6	MACINAIE	5.3	156.8	SI_0011
		156.6			156.8	

TABELLA 3: VERIFICA DELLA SCHEMATIZZAZIONE DELLE IMMISSIONI LATERALI

Nonostante le differenze, anche notevoli, sui singoli bacini e sottobacini, queste non risultano apprezzabili nel complesso; si è quindi deciso di mantenere inalterato il set di portate utilizzato dall'Autorità di Bacino.

Per il bacino della Sieve sono state considerate durate di pioggia pari a 3, 6, 9, 12 e 15 ore e tempi di ritorno di $T_r = 30$ e 200 anni. Per ognuna delle combinazioni fra tempo di ritorno e durata di pioggia si ottengono gli idrogrammi dei contributi laterali considerati. L'idrogramma in ingresso alla prima sezione del modello idraulico, risulta pari all'idrogramma risultante dalle verifiche idrauliche del modello PAI, nella sezione spazialmente corrispondente.

In ALLEGATO A sono riportati i dati relativi a tutti i contributi laterali ed agli idrogrammi in ingresso alla sezione di monte del modello idraulico.

Si riporta di seguito una breve descrizione del modello concettuale utilizzato nella trasformazione afflussi deflussi del codice di calcolo.

2.3.1.1 La trasformazione afflussi – deflussi

La determinazione degli idrogrammi di piena non può prescindere dai parametri, ormai generalmente utilizzati e condivisi, della procedura di Regionalizzazione delle portate di piena (AITo). Tale procedura parte dalla teoria dell'idrogramma istantaneo unitario geomorfologico, di cui riportiamo di seguito le linee principali.

L'input meteorico è rappresentato da uno "idrogramma sintetico" la cui frequenza viene stimata a partire dalle curve di possibilità climatica, ricavate come descritto in seguito.

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

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

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

viene detto *tempo di ritardo* (lag) Tl .

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

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

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

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

$$n = 3.29 (Rb/Ra)^{0.78} RI^{0.07}$$

$$k = 0.7 [Ra/(Rb RI)]^{0.48} Lc/v$$

$$Tl = 2.3 \left(\frac{Rb}{Ra}\right)^{0.3} RI^{-0.41} \frac{Lc}{v}$$

in unità congruenti, dove:

Rb = rapporto di biforcazione;

RI = rapporto di lunghezza;

Ra = rapporto di area;

Lc o $L\omega$ = 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:

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

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

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

dove:

ω = ordine massimo del reticolo;

N_u = numero delle aste di ordine u ;

\bar{L}_u = lunghezza media delle aste di ordine u ;

\bar{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 la) che assorbe completamente la precipitazione durante i primi momenti dell'evento (dall'istante

iniziale dell'evento $t=0$ sino all'istante $t=ta$, mentre la perdita durante l'evento viene schematizzata con una *infiltrazione costante a saturazione* (indicata con Ks):

$$la(t) = la(0) + \int_0^{ta} (P(\tau) - Ks) d\tau$$

se $t < ta$

$$Pn(t) = 0$$

$$la(t) = la$$

se $t \geq ta$

$$Pn(t) = P(t) - Ks$$

dove:

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

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

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

$la=la(ta)$ volume di perdita iniziale per unità di area [mm];

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

Il modello di trasferimento adottato è quello, già citato, dell'idrogramma unitario di tipo $I(n, k)$ 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:

- la volume unitario di 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].

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 Tl ed i parametri geomorfologici:

$$Tl = 0.42 \left(\frac{Rb}{Ra} \right)^{0.3} RI^{-0.41} \frac{Lmc}{A^{0.075}} \quad [h]$$

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

I valori di la e Ks 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 geomorfici provengono invece dalla gerarchizzazione secondo Strahler del reticolo idrografico sotteso per ciascuna sezione di calcolo.

2.3.2 Idrogrammi di piena laminati dall'invaso di Bilancino

La laminazione dell'idrogramma di piena dipende dalla quota iniziale di invaso e dalla legge di asservimento della paratoia mobile. Nel presente studio si è assunto cautelativamente come quota iniziale dell'invaso quella di massima regolazione; d'altra parte la riduzione delle massime portate in uscita sarebbe tanto più efficace quanto maggiore fosse la possibilità di invaso durante gli eventi meteorici e quindi, tanto minore fosse il livello iniziale nel serbatoio. Per quanto riguarda la soglia mobile è stata ipotizzata chiusa.

Gli effetti dell'invaso sulle portate per i due scenari sono valutati a partire dalle seguenti ipotesi:

- gli idrogrammi di piena in ingresso al serbatoio per i vari tempi di ritorno sono stati forniti dall'Autorità di Bacino del fiume Arno;
- non vengono considerate successioni d'eventi; ogni evento di piena è analizzato in forma isolata, indipendentemente cioè da eventi precedenti o seguenti;
- non si è tenuto conto della gestione degli scarichi di fondo che si presume vengano utilizzati per accelerare la fase di svasso del bacino quando ormai le portate sfiorate sono sufficientemente basse;
- la soglia fissa è una luce a stramazzo, per cui vale la relazione:

$$Q = \mu L h \sqrt{2gh}$$

dove h rappresenta il carico sullo stramazzo, μ il coefficiente di deflusso e L la larghezza dello stramazzo. Il coefficiente di deflusso per la soglia fissa rimane costante;

- per la soglia fissa si assume un coefficiente di deflusso pari a 0.47 (Paris e Montefusco);
- la legge d'invaso che correla il livello H e il volume invasato V non è rappresentabile con un'unica legge per tutto l'intervallo di variabilità di H . Per tale ragione il serbatoio è diviso in fasce altimetriche, ognuna delle quali è rappresentabile con una curva. Dalla Relazione Idrologica annessa al Progetto Esecutivo del Serbatoio di Bilancino sono state ricavate seguenti le leggi d'invaso:

Intervallo di quota	Volume
250-252	$V = \left(\frac{H}{110.6865} \right)^{21.91540}$
252-253	$V = \left(\frac{H}{108.011} \right)^{21.27659}$
253-254	$V = \left(\frac{H}{107.1826} \right)^{21.0858}$

TABELLA 4 – LEGGI DI INVASO DEL SERBATOIO DI BILANCINO

L'effetto della laminazione dipende dalla differenza fra gli afflussi e i deflussi ed è rappresentabile attraverso la legge di conservazione della massa per l'invaso, ovvero

$$\frac{dV}{dt} = Q_i - Q_u$$

L'equazione differenziale può essere riscritta per passi temporali discreti nella forma

$$\Delta V = (Q_i - Q_u) \Delta t$$

dove ΔV è il volume accumulato nel serbatoio nell'intervallo di tempo Δt , Q_i e Q_u rispettivamente la portata in ingresso e quella in uscita.

Come già accennato, la portata in ingresso è valutata attraverso l'idrogramma a Ponte a Bilancino prima della costruzione dell'opera; quella in uscita attraverso la legge di stramazzo sopra enunciata. Il battente sulle soglie è determinato utilizzando le leggi d'invaso.

Le equazioni citate sono state usate in un procedimento di calcolo iterativo assumendo $\Delta t = 30'$, intervallo di tempo in cui il gradiente delle portate può essere considerato costante.

L'andamento delle portate in uscita e l'effetto di laminazione per la durata di 12h è osservabile nel grafico seguente.

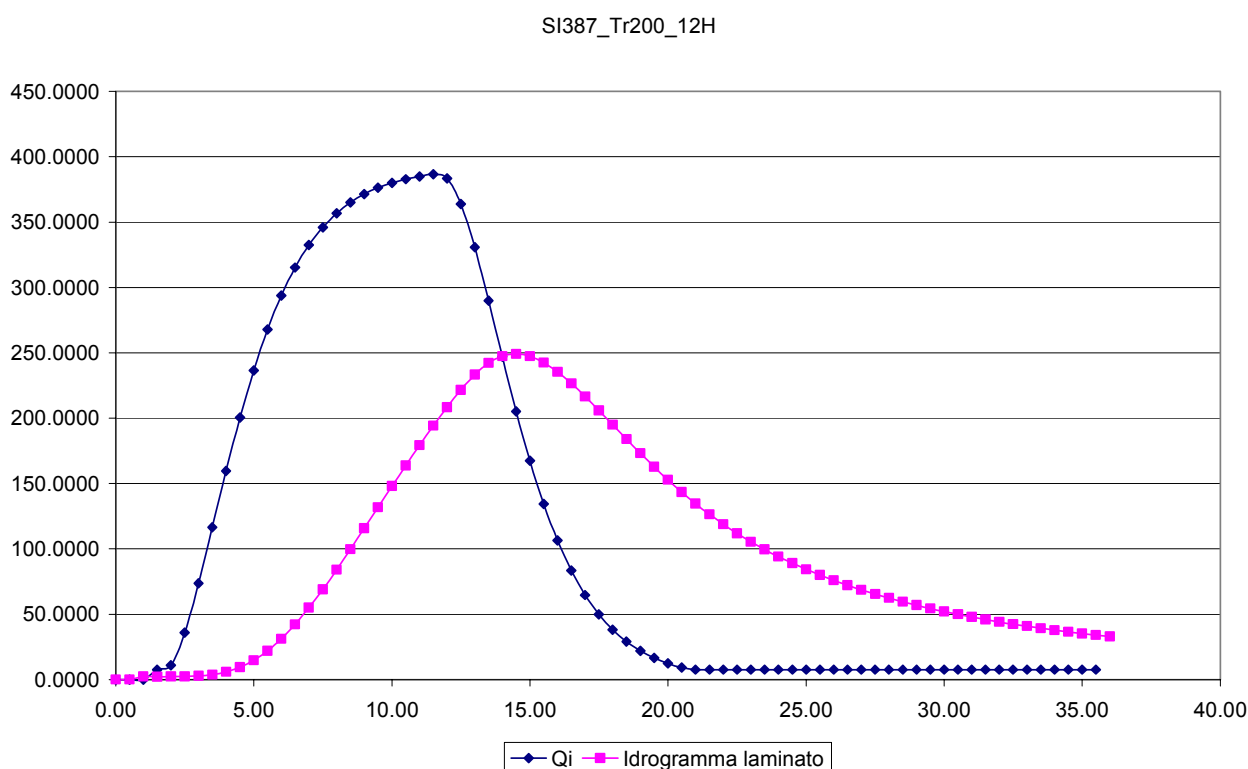


FIGURA 2.1 – LAMINAZIONE DELL'IDROGRAMMA DI PIENA TR=200 ANNI E D=12H A PONTE A BILANCINO

2.4 MODELLISTICA IDRAULICA

2.4.1 Il modello idraulico di moto vario

Il modello di moto vario simula i processi di trasferimento e di accumulo cui sono soggetti i volumi di piena durante il verificarsi degli eventi. In particolare, il modello di moto vario risolve, in forma numerica, le equazioni di continuità e del moto per una corrente liquida in condizioni non stazionarie che risultano, rispettivamente:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q(x) = 0$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} - J$$

in cui:

- A = area della sezione liquida [m²]
- Q = portata [m³ /s]
- q (x) = portata laterale (positiva se entrante) [m² /s]
- H = carico totale della corrente [m]
- g = accelerazione di gravità [m/s²]
- U = velocità media della corrente [m/s]
- J = perdite di carico effettivo per unità di lunghezza
- x = ascissa corrente lungo l'alveo [m]
- t = tempo [s]

Assumendo la gradualità spazio-temporale del fenomeno, la perdita di carico effettivo può essere stimata con un'equazione analoga a quella adottata per il moto uniforme:

$$J = \frac{U|U|}{gC^2 R}$$

ove, oltre ai simboli già noti, R è il raggio idraulico e C il coefficiente di resistenza esprimibile nella forma:

$$C = \frac{KsR^{\frac{1}{6}}}{\sqrt{g}}$$

ove Ks [m^{1/3}s⁻¹] è il coefficiente dimensionale di Gauckler-Strickler.

Per includere nel modello gli effetti dissipativi indotti da variazioni di sezione, quali allargamenti o restringimenti, si valutano le perdite di carico effettivo addizionali, ΔH , mediante la formula:

$$\Delta H = \frac{Q^2}{2g} \xi \Delta(\alpha / A^2)$$

ove α è il coefficiente di ragguglio della energia cinetica e ξ può assumere valori compresi tra 0.1 e 0.8 maggiori nel caso di allargamento della sezione e minori nel caso di restringimento.

Per la risoluzione del sistema di equazioni è necessario conoscere le condizioni al contorno di ciascun tratto sia a monte che a valle.

La condizione di valle può essere costituita da un idrogramma di livelli idrometrici, oppure da un legame funzionale tra portata e livelli ovvero una scala di deflusso.

A monte invece è necessario imporre una condizione sulla portata in ingresso attraverso un idrogramma di piena che è ricavato sulla base dell'analisi idrologica già descritta al paragrafo precedente.

Dal punto di vista strettamente numerico l'associazione allo schema di moto vario di una rappresentazione a celle di accumulo, comporta lo studio di fenomeni non stazionari attraverso la sola legge di invaso:

$$A_{ck} \frac{\partial h_k}{\partial t} = \sum_i Q_{ki}(h_k, h_i)$$

Ove A_{ck} e h_k rappresentano rispettivamente l'area e il livello idrico della cella k-esima, h_i il livello idrico nella generica cella i-esima circostante, e Q_{ki} la portata scambiata con detta cella.

In questa trattazione la determinazione delle curve d'invaso delle aree adiacenti al corso d'acqua risulta di fondamentale importanza per la corretta simulazione dell'inondazione e della successiva propagazione dell'onda di piena laminata in alveo. Il modello digitale del terreno fornito dall'Autorità di Bacino maglia 10x10 m consente, a partire dai perimetri di dette aree, di determinare i volumi invasabili al variare delle altezze d'acqua in cassa.

2.4.2 Implementazione del modello idraulico

Il modello idraulico è stato sviluppato, per tutto il tronco del Fiume Sieve studiato, attraverso il software Hec Ras 3.1, nel sistema numerico internazionale (SI). Le fasi operative che si sono susseguite nel lavoro sono le seguenti:

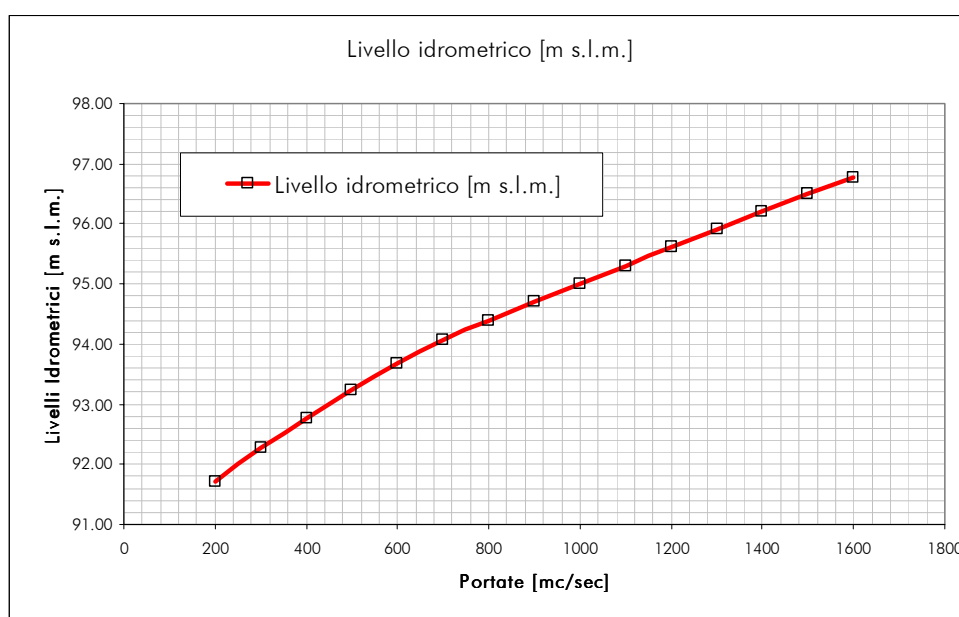
1. Modellazione del reticolo idrografico studiato in moto permanente;
2. Analisi delle condizioni al contorno e scelta dei parametri del modello;
3. Verifiche idrauliche in moto vario;

In corrispondenza di opere idrauliche in alveo, di opere di attraversamento e di connessioni idrauliche fra alveo e aree di potenziale esondazione si è provveduto alla duplicazione delle sezioni fluviali interpolando le sezioni di rilievo.

2.4.2.1 Modellazione del reticolo idrografico in moto permanente

Al fine di valutare la condizione di valle della modellistica idraulica adottata, è stato implementato un modello in moto permanente. Il set di portate utilizzato va da 200 a 1600 mc/sec; il tronco fluviale modellato comprende alcune sezioni fluviali aggiuntive a valle dell'ultima sezione considerate nel presente studio. La legge Portate-Livelli che si è ricavata per la sezione 0010_03 (sezione di valle della modellistica adottata), è senza dubbio un'approssimazione accettabile della scala di deflusso reale; infatti, il tronco fluviale aggiuntivo simulato non risente degli effetti di rigurgito dell'Arno, ed è abbastanza lungo da minimizzare gli errori indotti dalla schematizzazione della condizione di valle nel modello in moto permanente.

Nella figura seguente si riporta il grafico della Scala di deflusso adottata:



2.4.2.2 Parametri della modellistica idraulica

I parametri in ingresso alla modellistica idraulica, oltre agli input idrologici, sono costituiti essenzialmente da tre tipologie di condizioni al contorno:

- Scabrezza – Parametro di resistenza al moto per la valutazione delle perdite di carico distribuite;
- Coefficienti di espansione/contrazione – necessari per la valutazione di perdite di carico effettivo indotte da variazioni di sezione, quali allargamenti o restringimenti;
- Condizione al contorno di valle – generalmente costituita dalla scala di deflusso della sezione più a valle nel modello idraulico.

Per ciò che attiene ai coefficienti di scabrezza da associare alle singole sezioni fluviali, si rimanda al paragrafo 2.2.6.

La scelta dei coefficienti di contrazione ed espansione è stata fatta con particolare attenzione in corrispondenza delle sezioni che evidenziano la presenza di opere antropiche; i valori utilizzati sono stati ricavati dalla letteratura disponibile.

Per quanto attiene, invece, la condizione al contorno di valle si rimanda al paragrafo precedente.

2.4.2.3 Verifiche idrauliche in moto vario ante Bilancino

Definiti i parametri idraulici per l'intero tronco fluviale di interesse e la schematizzazione degli input idrologici, è possibile passare all'implementazione delle procedure necessarie alla definizione delle aree soggette a rischio idraulico. Per ogni combinazione fra tempo di ritorno e durata dell'evento meteorico, sono stati simulati i processi di propagazione dell'onda di piena, ottenendo un output nei punti della discretizzazione spazio-temporale adottata.

I risultati completi della modellistica sono riportati nell'elaborato DOC50013, ALLEGATO B .

I risultati della modellistica idraulica in termini di livelli idrometrici sono invece riportati nell'elaborato IDR10003, Ambiti Sezioni fluviali e profilo longitudinale e nell'elaborato IDR10004, Perimetrazione aree allagate e battenti idrometrici.

2.4.3 Efficacia dell'invaso di Bilancino per la riduzione del rischio idraulico

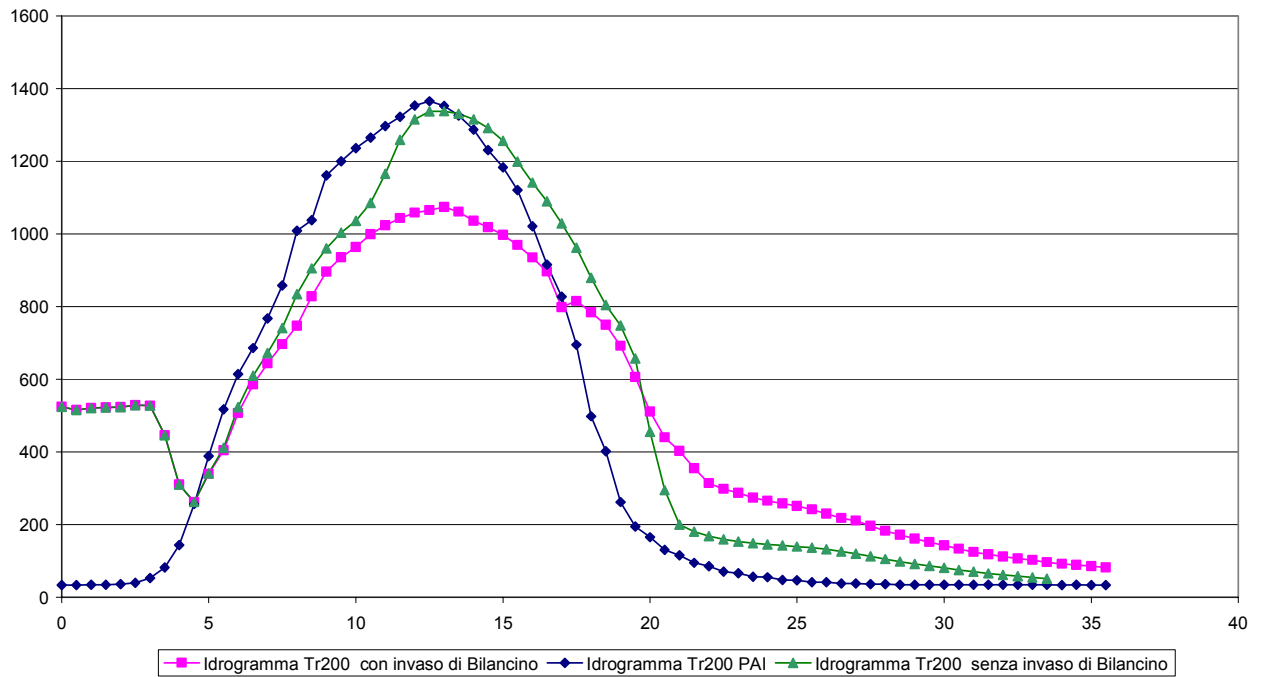
Per valutare l'efficacia dell'invaso di Bilancino ai fini della mitigazione del rischio idraulico nelle aree d'intervento, è stato messo a punto una modellistica idraulica monodimensionale in moto vario, sollecitata con l'idrogramma laminato dalla diga di cui al paragrafo 2.3.2.

L'implementazione del modello interessa il tratto del fiume Sieve dalla sezione SI 0387 alla sezione SI 0068 ed è condotta in moto vario, senza l'utilizzo di casse di accumulo, e con coefficiente di resistenza al moto costante pari a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$.

L'idrogramma laminato alla sezione SI 0068 viene poi ripreso come input idrologico del modello idrologico di dettaglio che copre tutto il tratto del F. Sieve nel Comune di Rufina che va dalla SI 0068 (00410_03) alla SI 0011 (00010_03).

Si riporta di seguito, per la durata critica di 12 h, il confronto alla sezione SI 0068 fra l'idrogramma con e senza l'invaso di Bilancino.

Confronto idrogrammi alla sezione SI_0068



2.5 ANALISI DEI RISULTATI

Il Progetto Definitivo dell'impianto di Termovalorizzazione I Cipressi prevede la realizzazione di opere Civili ed Impiantistiche nelle aree di proprietà della committenza, identificabili, dal punto di vista idraulico, come la porzione di territorio posta fra la S.S. n°67 Tosco Romagnola e ed il Fiume Sieve fra le sezioni fluviali 00040_03 e 00029__04.

La superficie totale prevista è pari a circa 13.500 mq di cui 6200 facenti parte delle aree occupate dall'attuale impianto di incenerimento, ed i restanti 7300 sulla porzione di territorio posta immediatamente a valle della precedente, in direzione sud-ovest.

Dall'analisi dei battenti idraulici nelle aree sopra descritte si evidenzia quanto segue:

1. l'attuale impianto di incenerimento non risulta interessato da eventi esondativi per eventi con tempi inferiori o uguali a 200 anni; come già specificato, infatti, l'impianto attuale risulta protetto da un muro a retta in C.A.
2. le aree destinate a nuova edificazione al di fuori dell'attuale perimetro murario sono interessata da eventi alluvionali anche per tempi di ritorno non elevati; da notare come l'evento duecentennale interessi tutta l'area in questione per fermarsi sul paramento murario della S.S. 67.

In tabella seguente e negli allegati al modello idraulico sono riportati i livelli idrometrici raggiunti in ciascuna sezione per le diverse durate analizzate, ed il loro inviluppo.

Tr 200 anni							
Codice Sezione	River Station	Durata Evento					Inviluppo
		03h	06h	09h	12h	15h	
Water Surface Elevation							
00040_03	4	97.7	98.69	99.08	99.02	98.95	99.08
00037__04	3.7	97.6	98.58	98.97	98.91	98.84	98.97
00036__04	3.6	97.51	98.49	98.87	98.79	98.74	98.87
00035__04	3.5	97.38	98.35	98.75	98.67	98.61	98.75
00034__04	3.4	97.27	98.22	98.63	98.5	98.47	98.63
00033__04	3.3	97.27	98.24	98.62	98.63	98.52	98.63
00032__04	3.2	97.16	98.15	98.54	98.61	98.43	98.61
00031__04	3.1	96.93	97.96	98.38	98.43	98.27	98.43
00030__03	2	96.79	97.77	98.22	98.23	98.1	98.23
00029__04	1	96.66	97.64	98.09	98.07	97.96	98.09

TABELLA 4: LIVELLI IDROMETRICI PER EVENTI CON TR 200 ANNI

L'attuale muro di contenimento a protezione dell'impianto esistente presenta una quota media di 99 m s.l.m.; le tre sezioni fluviali in cui si evidenzia la presenza di tale opera sono la:

00037__04 dove si registra un franco di sicurezza di circa 10 cm

00036__04 dove si registra un franco di sicurezza di circa 5 cm

00035__04 dove si registra un franco di sicurezza di circa 15 cm

Franchi di sicurezza così ridotti non garantiscono la sicurezza idraulica dell'area pur evidenziando che l'attuale impianto non risulta soggetto ad inondazioni per eventi con tempo di ritorno duecentennale.

A partire dalla sezione 00033__04 si sviluppa la nuova previsione edificatoria che ricade come già detto in aree soggette a fenomeni esondativi. Si evidenzia come l'evento critico per tali aree corrisponde all'onda di piena generata da un evento meteorico di durata pari a 12 h.

Tuttavia come mostrato nei paragrafi precedenti, la presenza a monte dell'invaso di Bilancino consente una sostanziale riduzione del rischio idraulico nelle aree interessate dall'ampliamento dell'impianto di termovalorizzazione.

Si riportano di seguito un confronto fra i livelli idrometrici nelle sezioni di interesse con e senza l'invaso di Bilancino. La valutazione degli effetti della diga di Bilancino è stata effettuata per la sola durata di pioggia di 12 h, che risulta essere la durata critica nelle aree di interesse.

SEZIONI	CON INVASO DI BILANCINO		SENZA INVASO DI BILANCINO		Riduzione dei livelli in alveo [m] Tr200 d = 12 h
	Portate - Tr200 d=12 h [mc/s]	Livelli - Tr200 d=12 h [m slm]	Portate - Tr200 d=12 h [mc/s]	Livelli - Tr200 d=12 h [m slm]	
00029_04	1227.74	97.21	1669.29	98.07	0.86
00030_04	1227.58	97.34	1669.33	98.23	0.89
00031_04	1227.72	97.53	1668.98	98.43	0.9
00032_04	1227.74	97.74	1668.99	98.61	0.87
00033_04	1227.74	97.82	1669	98.63	0.81
00034_04	1227.74	97.79	1669.1	98.5	0.71
00035_04	1227.87	97.92	1669	98.67	0.75
00036_04	1227.87	98.06	1669.11	98.79	0.73
00037_04	1227.88	98.16	1669.12	98.91	0.75
00040_04	1227.88	98.27	1669.12	99.02	0.75

TABELLA 5.3: CONFRONTO LIVELLI IDROMETRICI ANTE E POST BILANCINO

Si osserva che il livello idrometrico massimo che può essere raggiunto nell'area d'intervento in caso di allagamento è sensibilmente minore se si valuta l'efficacia dell'invaso di Bilancino ai fini della laminazione degli idrogrammi di piena e quindi dei livelli in alveo.

In termini di riduzione dei livelli l'efficacia dell'invaso è mediamente di circa 0.8 m.

A vantaggio di sicurezza anche in ragione della tipologia d'intervento, la riduzione dei livelli attesa per effetto della diga di Bilancino è stata valutata solo in minima parte, entro i livelli di rischio ufficiali definiti nel P.A.I. dall'Autorità di Bacino del F. Arno. (la riduzione è quindi ben inferiore e di circa 0.1-0.2 m).

Il quadro normativo vigente, per la cui disanima si rimanda alla relazione tecnica, prevede nel caso di realizzazione di nuove opere pubbliche, una serie di norme di salvaguardia che possono così riassumersi:

- ❑ fattibilità dell'intervento condizionata alla messa in sicurezza idraulica;
- ❑ fattibilità dell'intervento condizionata al non aggravio del rischio idraulico nelle aree situate sia a monte che a valle dell'intervento stesso;

- ❑ realizzazione di interventi di mitigazione del rischio idraulico in accordo con gli interventi di riduzione del rischio previsti a scala di bacino

Nell'elaborato IDR10004 sono riportati i seguenti tematismi:

- ❑ modello digitale del terreno in cui sono evidenziati i perimetri del nuovo ampliamento e della fascia di rispetto dove non potranno essere realizzati gli eventuali interventi di mitigazione del rischio;
- ❑ Perimetrazioni delle aree allagate per eventi con tempo di ritorno 30 e 200 anni;
- ❑ Carta dei battenti idrometrici registrati per venti con tempo di ritorno 200 anni
- ❑ Carta della profondità di scavo delle aree in cui è previsto l'intervento di mitigazione del rischio idraulico.

Le aree occupate dall'ampliamento dell'esistente impianto comportano una diminuzione dei volumi statici potenzialmente esondabili di circa 8.950 mc; l'intervento proposto, per la cui descrizione si rimanda alla relazione tecnica, deve quindi garantire il recupero di tali volumi di esondazione.

Dall'analisi dei risultati si evince quindi che l'intervento risulta fattibile alle seguenti condizioni:

- 1. Piano di imposta delle nuove aree posto ad una quota superiore 99.90 m.s.l.m;**
- 2. Rialzamento muro esistente fino alla quota 99.90 m.s.l.m;**
- 3. Venga realizzato un intervento di compenso dei volumi statici di esondazione che garantisca il recupero di 9.000 mc.**