

Autorità di Bacino
DEL FIUME ARNO



Autorità di Bacino
BACINO PILOTA DEL FIUME SERCHIO
Legge 5849 del 28 - Legge 250/1983 art. 9
del 14/6/88

Carta delle precipitazioni
Anno idrologico 1951/1952

Scala 1: 200.000
Proiezione UTM

isole

stazioni pluviometriche

Stazioni idrodrometriche
calibrate con curva di deflusso.

Stazioni idrodrometriche da
calibrare con curva di deflusso.

Limite amministrativo Autorità di Bacino

Limite di Comune

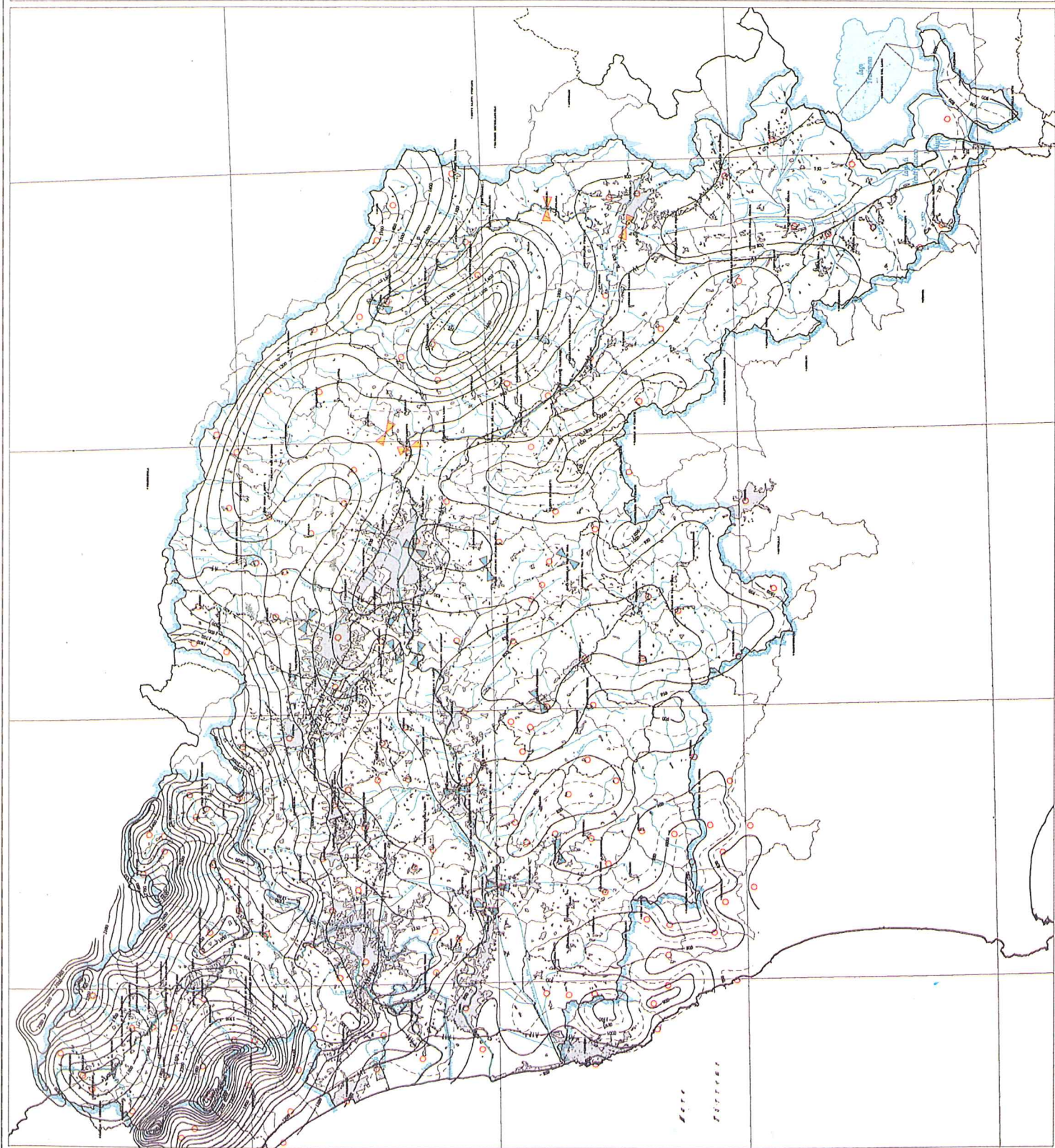
Limite di Provincia

Limite di Regione

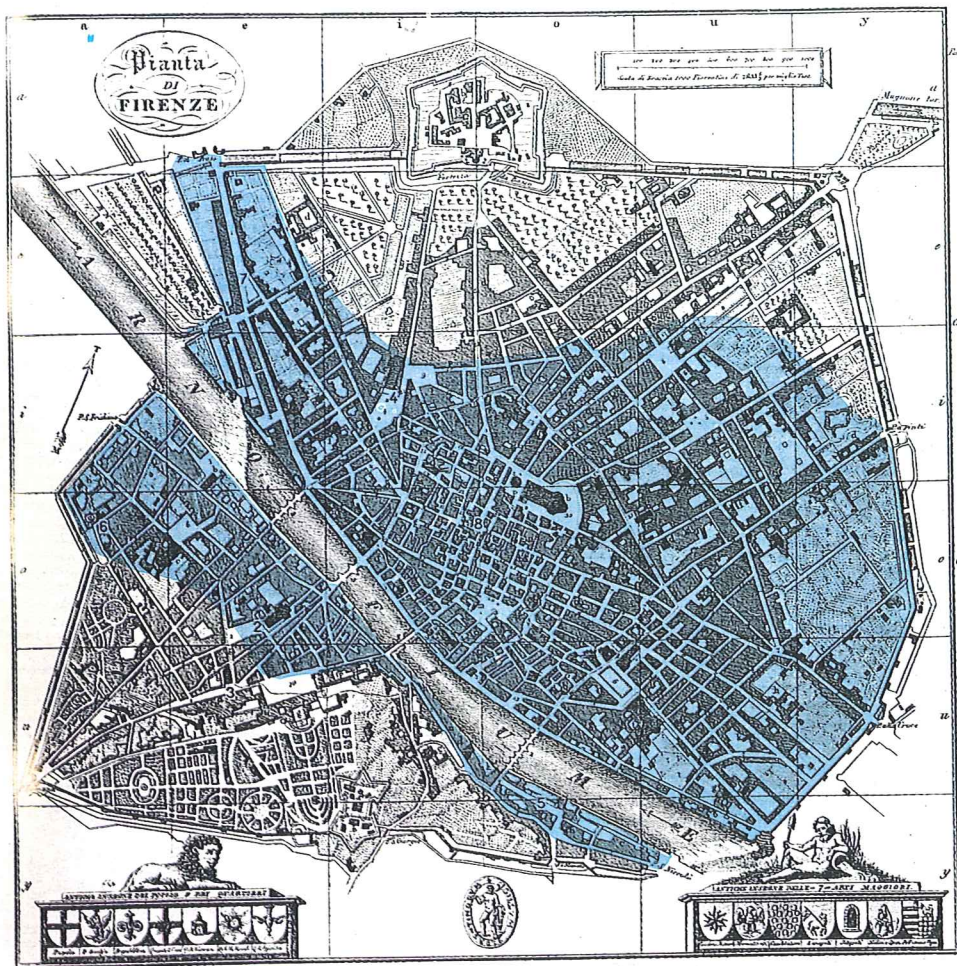
Reticolo idrografico

Canti e nuclei abitati

La base cartografica di riferimento adottata è costituita dal quadricarto in scala 1:250.000 della Regione Toscana, aggiornata con dati del 1979 del IGT 0502008. I dati meteorologici sono stati elaborati e alla scala idrografica. La cartografia è stata elaborata con alcuni dati informativi (origine della
divenne originarie del 1941.



Cartografie di riferimento: Carta della permeabilità dei terreni e delle rocce nel bacino dell'Arno.



Piene storiche dell'Arno - Zone inondate dalla piena dell'1 Novembre 1333, che distrusse anche Ponte Vecchio (da F. Morozzi, 1766).



Piene storiche dell'Arno - Firenze: zona inondata dalla piena del 31 Ottobre 1589 (da F. Morozzi, 1766).



Autorita' di Bacino DEL FIUME ARNO

Carta degli interventi proposti dal "Progetto Pilota" e da altri progetti per la riduzione del rischio idraulico nel bacino dell'Arno

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
proiezione Gauss-Boaga

LEGENDA:



INTERVENTI PROPOSTI DAL "PROGETTO PILOTA" (Lotti)
Opere inserite nel modello definitivo di progetto
(anche rilevati da altri progetti)

- 26 Invaso di Laterina
- 27 Invaso di Poggi
- 28 Invaso di Bilancino
- 29 Invaso di Pratofelice
- 30 Invaso di Poggio
- 31 Invaso di S. Felice
- 32 Invaso di Ponte S. Giulio
- 33 Invaso di La Casina
- 34 Invaso di Mulinello
- 35 Invaso di Ponte a Buriano
- 36 Invaso di Casa Gallina
- 37 Canale diversivo di Castelfiorentino
- 38 Canale scematore Arno - Arno
- 39 Canale scematore Arno
- 40 Intervento in alveo a Firenze



INTERVENTI PROPOSTI DA ALTRI PROGETTI

- 80 Canale Arno - Trastevere (Lotti)
- 81 Canale Arno - Trastevere - Erna - Greve (Fasso')
- 82 Canale Arno - Trastevere - Erna (Uzzani)
- 83 Intervento in alveo a Firenze (Rodio - G. Chiti)
- 84 Canale diversivo di Castelfiorentino (Gentile Chiti)
- 85 Canale Arno - Fucecchio (Evangelisti - Simonelli)
- 86 Sottopasso Fucecchio - scematore (Simonelli)
- 87 Canale scematore Arno - Arno (Supino - G. Chiti Pisa - Lotti)
- 88 Canale scematore Arno (Gentile Chiti)
- 89 Casso di espansione di Fucecchio (Supino)
- 90 Casso di espansione di Poggio a Caiano (Evangelisti)
- 91 Casso di espansione di Poggibonsi (Simonelli)
- 92 Casso di espansione di Castelfiorentino (Simonelli)
- 93 Casso di espansione di Fucecchio (Simonelli - Evangelisti)



Invasi ENEL esistenti (Levane e La Penna)



Centri e nuclei (solo per quanto riguarda la Regione Toscana)



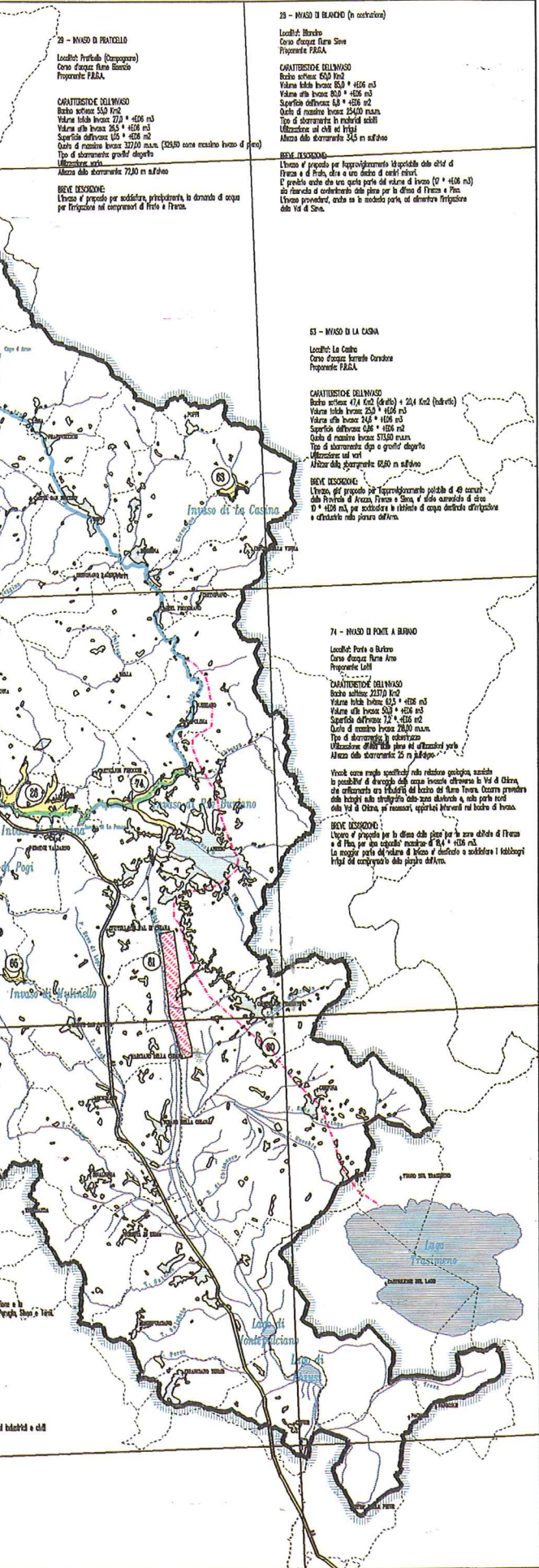
Limite bacino idrografico F. ARNO

Dati relativi alla rete idrografica ed al limite di bacino

foriti dal Servizio Idrografico - Ufficio di Pisa

Elaborazione cartografica e informatica di C. Magnarola e M. Redini

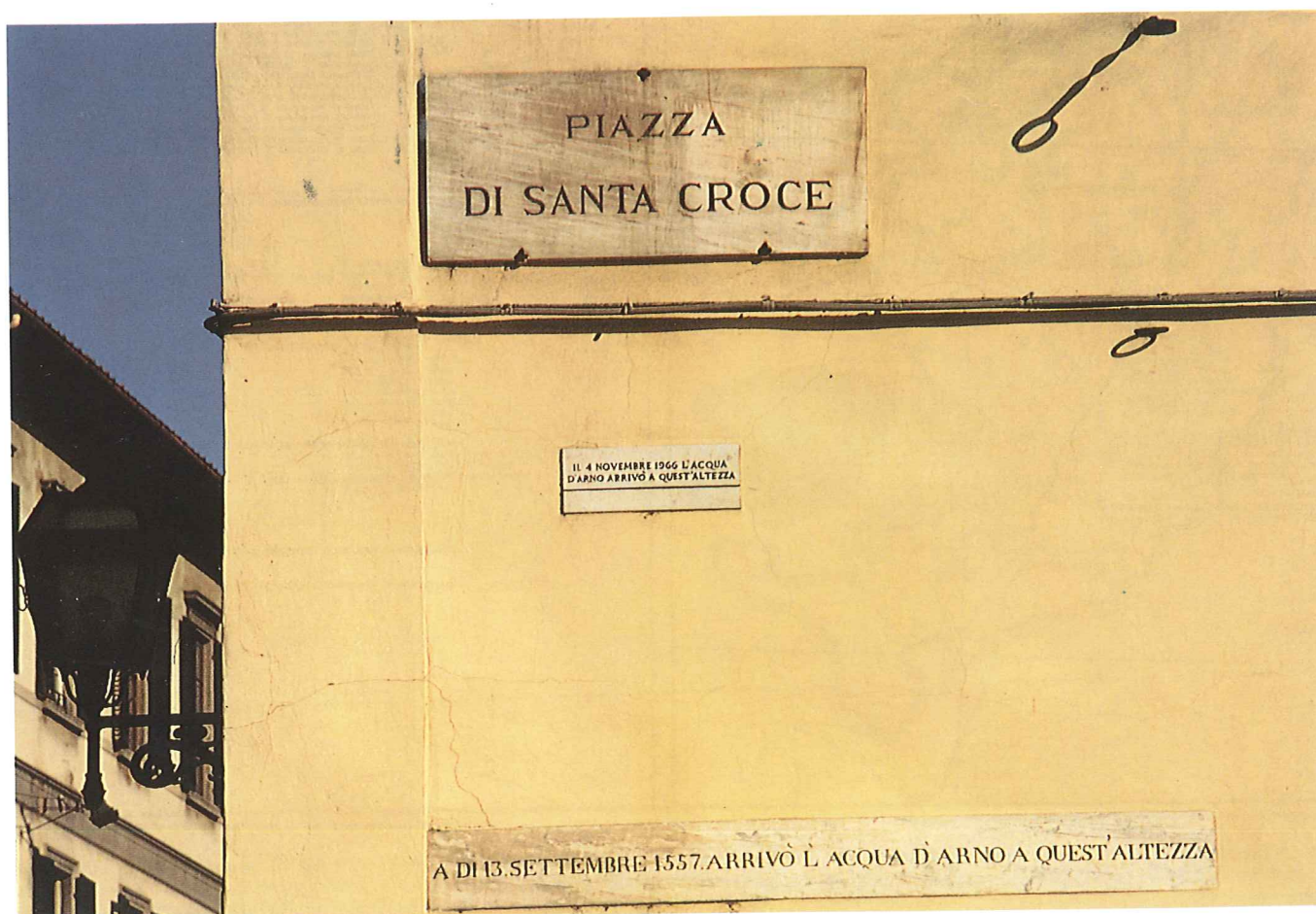
Coordinatore P. Mogorovich (CNUCE-CNR, Pisa)



Fucecchio. Nel frattempo, specialmente per il soddisfacimento di nuove esigenze (approvvigionamento idrico per usi civili, irrigui ed industriali, qualità dell'acqua) venne sviluppato dallo Studio Lotti di Roma, per conto del Ministero del Bilancio e della Programmazione Economica, d'intesa con la Regione Toscana, il "Progetto Pilota" per la sistemazione del Bacino dell'Arno, che prevedeva la realizzazione di 11 serbatoi a scopo multiplo, per una capacità complessiva di circa 400 milioni di metri cubi, di cui 117 destinati alla laminazione delle piene. Altri studi e progetti (Grazi, Evangelisti, Fasso', Collegio degli Ingegneri di Firenze, etc.) individuarono come interventi di difesa efficaci la realizzazione di invasi, eventualmente da integrare con casse di espansione e diversivi. Ad esclusione dell'invaso di Bilancino sulla Sieve, del completamento dello scematore di Pontedera e dello sbassamento delle platee di fondazione tra Ponte Vecchio e Ponte S. Trinità, in Firenze e della realizzazione del diversivo di Castelfiorentino sull'Elsa, gli altri interventi strutturali previsti non sono stati realizzati.



Piene storiche dell'Arno - "Casa del diluvio su la piazza di Santa Croce" in Firenze, come la definisce Ferdinando Morozzi nell'opera "Dello stato antico e moderno del fiume Arno e delle cause e de' rimedi delle sue inondazioni ..." (Firenze, 1766).



Piene storiche dell'Arno - Le due iscrizioni marmoree in piazza S. Croce in Firenze, riferite alle alluvioni del 1557 e del 1966.



Piene storiche dell'Arno - Chiesa dei SS. Jacopo e Lorenzo in via Ghibellina a Firenze.



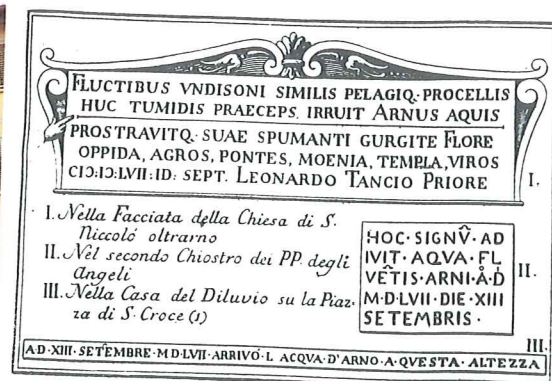
Piene storiche dell'Arno - Il livello raggiunto dalle piene, inciso sul fianco destro della porta della chiesa. E' ben visibile quello dell'alluvione del 1557.



Piene storiche dell'Arno - Altri segni, relativi ad inondazioni dal XVI al XIX secolo (1547, 1740, 1844), sono ormai quasi illeggibili a causa dell'alterazione superficiale della pietra arenaria.



Piene storiche dell'Arno - Facciata della chiesa di S. Niccolò oltrarno (Firenze).



Piene storiche dell'Arno - Illustrazione dal libro di Ferdinando Morozzi (1766). Si osservi, tra le altre, l'iscrizione "nella facciata della chiesa di S. Niccolò oltrarno".



Piene storiche dell'Arno - Lapidi a ricordo di eventi alluvionali sulla facciata della chiesa di S. Niccolò oltrarno (Firenze), relative alle inondazioni del 1557 e del 1966.

Tabella 5.1.1 - Regime pluviometrico in alcune località caratteristiche (mm per stagione).

Inverno		Primavera	Estate	Autunno	Tipo di regime
Stazioni	I	P	E	A	
Cortona	196	206	129	255	Sublitoraneo (APIE)
Pistoia	412	311	174	407	Mediterraneo (IAPE)
Pisa	239	209	129	325	Submediterraneo (AIPE)
Camaldoli	467	444	252	498	Submediterraneo (AIPE)

Tabella 5.1.2 - Precipitazioni massime da 1 a 120 ore per tempi di ritorno di 25 anni in alcune stazioni di diversa altitudine e posizione geografica.

Stazioni	Q.m.	1 ora	6 ore	24 ore	72 ore	120 ore
Coltano	1	62.3	97.5	137.8	181.4	206.1
Pisa	6	72.0	123.3	186.9	259.8	302.9
Pontedera	14	52.7	83.8	120.1	158.0	182.8
Ponte Buggianese	18	50.4	83.2	122.5	166.8	192.5
Borgo S.Lorenzo	193	43.8	75.0	113.7	158.0	184.3
Cantagallo	582	42.6	95.5	178.1	292.1	367.5
Boveglio	635	46.8	92.6	156.6	237.5	288.5
Camaldoli	1111	41.1	83.9	146.1	226.7	278.1

Il regime pluviometrico è caratterizzato da due massimi, che si verificano generalmente nelle stagioni intermedie, con la prevalenza del tipo sublitoraneo (APIE), come a Cortona; ma si osservano anche il tipo mediterraneo (IAPE), come a Pistoia e quello submediterraneo (AIPE), come a Pisa e a Camaldoli.

Sono state calcolate anche le precipitazioni massime da un'ora a cinque giorni consecutivi, per tempi di ritorno di 10, 25 e 50 anni. Generalmente è stato osservato che per precipitazioni di durata fino a 12 ore i massimi si registrano in pianura, a causa della maggiore frequenza dei temporali estivi; per quelle di durata superiore alle 24 ore, invece, i massimi si verificano nei rilievi, per la prevalenza delle piogge frontali e di versante. La distribuzione delle precipitazioni massime di 24 ore, per tempi di ritorno di 25 anni, mostra valori elevati in pianura (Padule di Fucecchio), superiori a quelli del resto del bacino planiziale e collinare e di poco inferiori a quelli che si verificano nell'Appennino pistoiese.

Il numero dei giorni consecutivi senza precipitazioni aumenta da nord, dove si registrano in media meno di 60 giorni, verso sud, dove, nella Val di Chiana, si possono superare gli 80 giorni.

Lo studio della temperatura e delle precipitazioni, sia pure relativo ad un periodo di 35 anni, consente di ottenere valori medi sufficientemente vicini alla media normale. Un periodo di tale lunghezza non consente però di individuare le fluttuazioni e le tendenze degli elementi del clima, la cui conoscenza è oggi fondamentale in campo applicativo.

L'analisi delle tendenze pluviometriche di lungo periodo si presenta invece particolarmente favorevole, poiché nel bacino esistono ben 9 stazioni ultrasecolari. Dallo studio dei dati emerge una diminuzione generalizzata delle precipitazioni medie annue, in accordo con ciò che è stato osservato in tutta la penisola. Accanto alla flessione delle precipitazioni annue è risultata, a partire dalla fine degli anni trenta, anche una flessione delle precipitazioni autunnali ed un incremento di quelle primaverili.

Da questa analisi si può desumere, in accordo anche con altri tipi di verifiche e di studi, che gran parte del rischio, legato alle frequenti esondazioni che avvengono attualmente nel bacino dell'Arno, appare causato non da un presunto aumento medio delle precipitazioni o della frequenza di eventi di grande piovosità,

ma piuttosto dagli effetti indotti da una pianificazione territoriale che ha destinato aree di stretta pertinenza fluviale a zone di sviluppo edilizio e industriale.

5.2 - La formazione e la propagazione delle piene lungo il corso dell'Arno

La ricerca, di cui si forniscono nel seguito i risultati significativi, ha avuto come obiettivo specifico l'analisi della propagazione delle onde di piena lungo il corso del fiume Arno, con particolare riferimento agli effetti indotti dalle aree di espansione considerate sul fenomeno della laminazione, sia nelle condizioni attuali sia in quelle modificate dalle ipotesi progettuali.

Per il raggiungimento dell'obiettivo sono stati messi a punto un modello idrologico ed un modello idraulico in grado di rappresentare la dinamica del sistema fluviale. Ciò ha comportato la necessità di raccogliere una notevole mole di dati idrologici, idraulici e fisici, al fine di pervenire ad una corretta schematizzazione dei fenomeni di base. Scelti gli eventi di piena significativi, sono state esaminate le modalità del deflusso individuando le aree di espansione suscettibili di potenziamento della propria efficienza di laminazione, al fine di verificare la possibilità di ridurre i picchi di portata lungo il corso d'acqua. L'incremento della capacità di laminazione è stato ottenuto dalla trasformazione delle aree inondabili in casse di espansione, in cui l'inondazione avviene in forma "controllata" attraverso soglie di sfioro poste a quote opportune.

Lo studio si è svolto attraverso le seguenti fasi:

- fase conoscitiva: comprendente l'acquisizione e l'archiviazione dei dati idrologici, idraulici e territoriali relativi al bacino dell'Arno;
- fase di analisi: studio mediante modello idrologico distribuito di formazione delle piene del fiume Arno e dei suoi principali affluenti per la definizione della variabilità spazio-temporale degli eventi considerati;
- studio idraulico mediante modello di moto non stazionario del fenomeno di propagazione delle piene nel corso principale del fiume, mirato in particolare all'analisi degli effetti delle aree di espansione sulla laminazione delle portate;
- fase progettuale: studio di interventi sulle aree di espansione idonei ad ottimizzare e/o recuperare capacità di invaso in relazione ad una più efficace laminazione delle portate al colmo;
- fase di verifica: analisi comparata di quattro scenari di intervento mirati alla riduzione dei colmi di piena relativi agli eventi considerati.

I risultati hanno evidenziato la grave condizione deficitaria della capacità di smaltimento delle piene del fiume Arno, condizione particolarmente critica a valle di Firenze, ove praticamente tutto il Valdarno Inferiore costituisce una grande area di espansione per le portate di piena tipo 1966.

Una sensibile riduzione dei colmi di piena, e quindi delle aree inondabili, appare comunque perseguibile attraverso la realizzazione di zone destinate all'esondazione controllata (casse di espansione) che, opportunamente dislocate e dimensionate, consentirebbero l'accumulo di quei volumi di piena che altrimenti, al ripetersi di un evento tipo 1966, andrebbero nuovamente ad allagare le aree anzidette. La fattibilità di dette opere, insieme alla valutazione degli effetti di laminazione indotti da un eventuale rialzamento delle dighe Enel di Levane e La Penna, sono stati verificati in varie ipotesi di intervento.

La metodologia di indagine è stata successivamente estesa all'analisi e alla verifica di ulteriori scenari, comprendenti diversi sistemi di casse di espansione, gli interventi sugli affluenti, le varie ipotesi di rialzamento delle dighe Enel di Levane e La Penna, la realizzazione degli scolmatori di Fucecchio e di Bientina, l'adeguamento delle strutture arginali. I risultati relativi alle verifiche idrauliche delle diverse ipotesi sono contenuti nel capitolo 8.

5.2.1 - Acquisizione dei dati

I dati provengono in maggioranza dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (Ufficio di Pisa), che ha permesso le ricerche di archivio e la consulenza necessaria al trattamento corretto dei dati.

I dati raccolti sono disponibili su supporto magnetico, secondo gli standard di archiviazione dell'Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa.

I dati acquisiti comprendono:

1. - *I dati idrometrici relativi al periodo 1943-1993, registrati nelle 14 stazioni idrometriche del bacino dell'Arno in occasione dei massimi eventi annuali di piena.* Di seguito sono riportate le stazioni idrometriche prese in considerazione sul corso dell'Arno e sui suoi principali affluenti (nelle figg.2.1 - 2.6 è riportata l'ubicazione delle stazioni idrometriche poste lungo l'asta principale dell'Arno).

E' da rilevare che il funzionamento delle stazioni non è stato continuo nel tempo, avendo avuto interruzioni molto prolungate, che influiscono sull'affidabilità delle elaborazioni statistiche.

- *Stazioni idrometriche sul corso dell'Arno:*

- 1) Stia
- 2) Pollino
- 3) Subbiano
- 4) Ponte del Romito
- 5) Nave di Rosano
- 6) S. Giovanni alla Vena

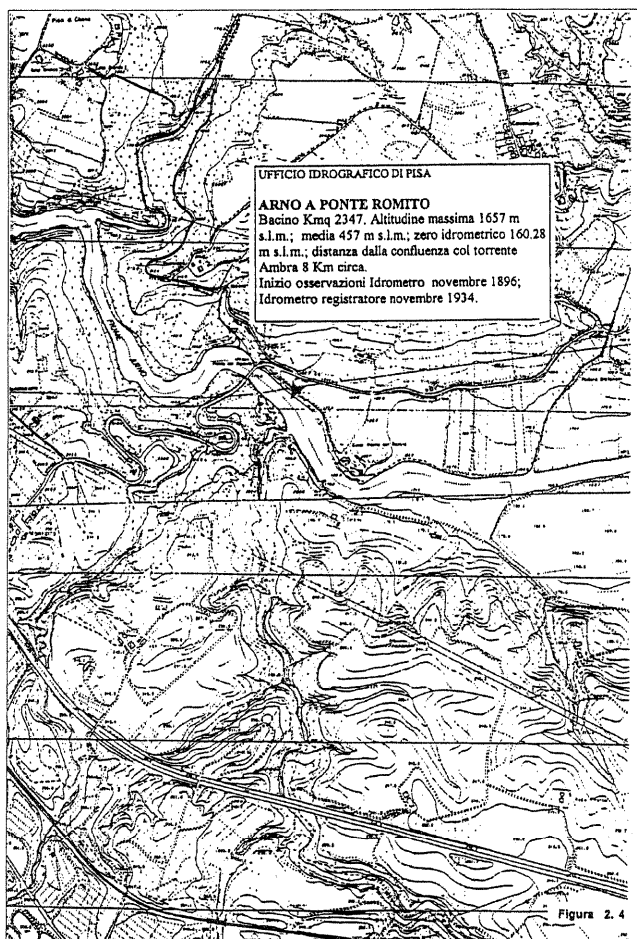
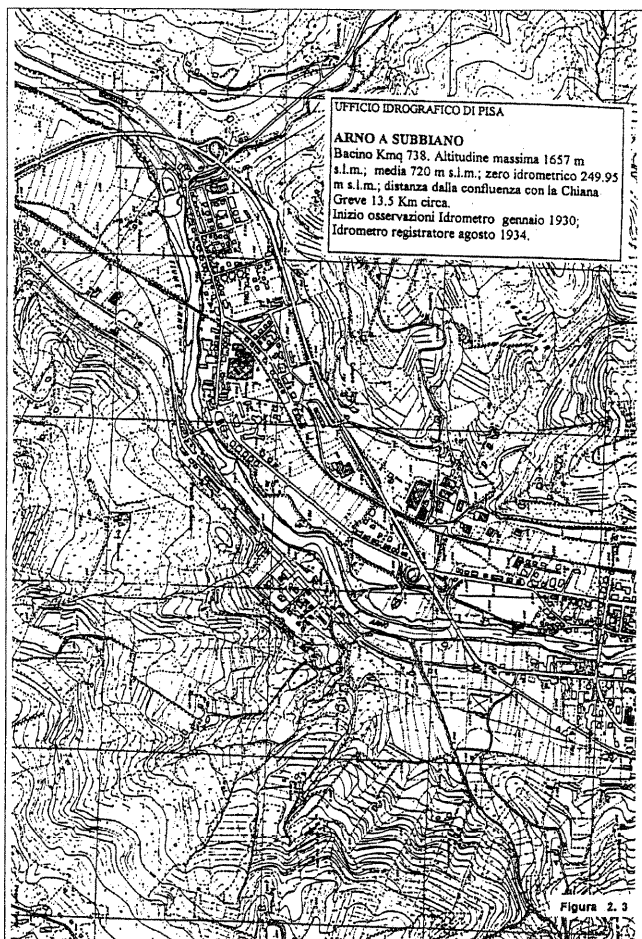
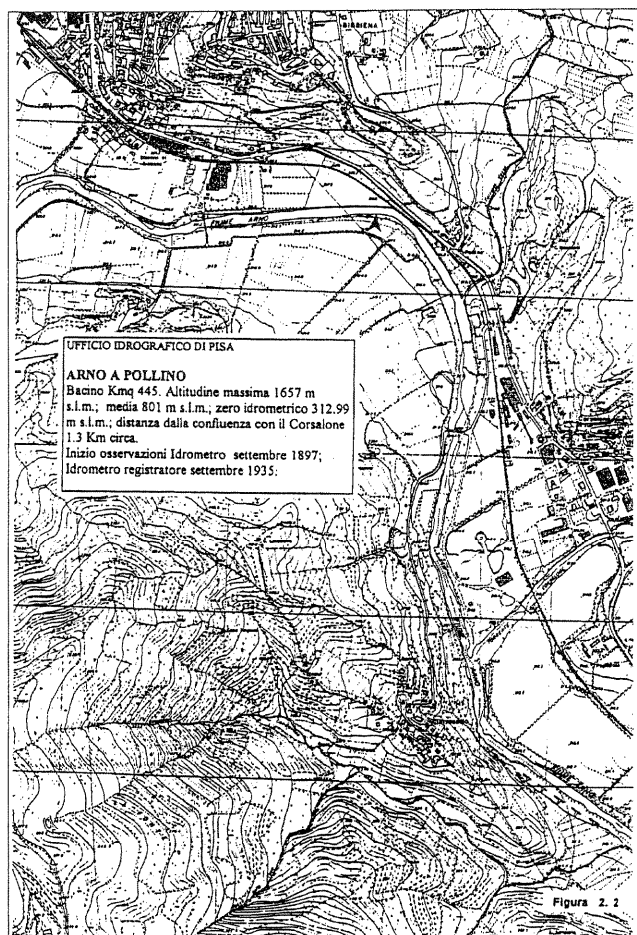
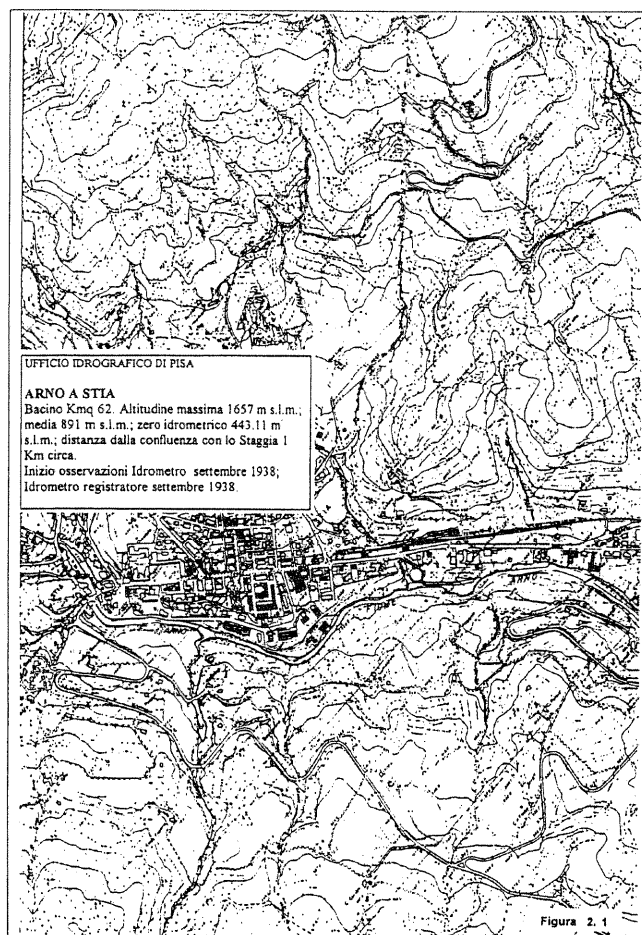
- *Stazioni idrometriche sui principali affluenti:*

- 7) Canale della Chiana alla ferrovia Firenze-Roma
- 8) Sieve a Fornacina
- 9) Greve a Falciani
- 10) Bisenzio a Gamberame
- 11) Ombrone Pistoiese a Poggio a Caiano
- 12) Pesa a Sambuca
- 13) Elsa a Castelfiorentino
- 14) Era a Capannoli

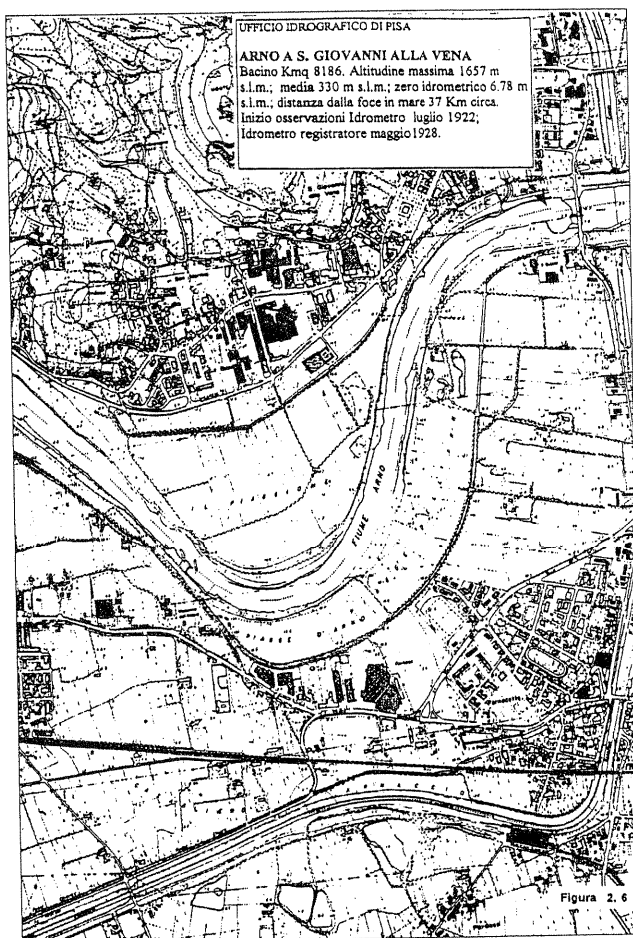
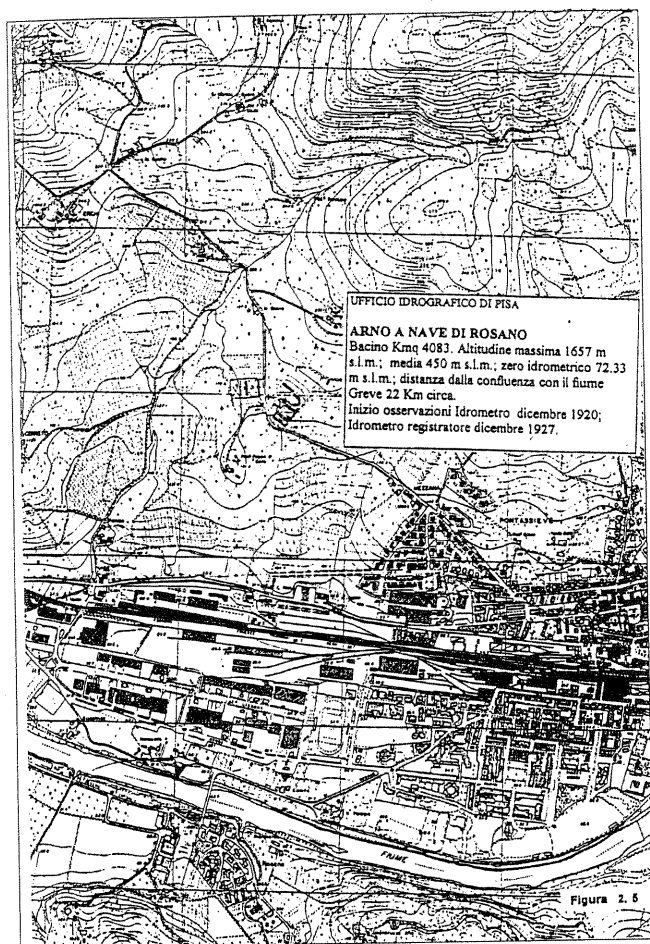
Per ciascun anno del periodo esaminato è stato individuato l'evento di piena maggiore, facendo per questo riferimento alla stazione di Nave di Rosano, la più vicina a Firenze. Per gli anni in cui non era disponibile il dato di Nave di Rosano si è utilizzato quello misurato presso la stazione di S.Giovanni alla Vena.

In corrispondenza dei 51 eventi individuati, sono stati raccolti i dati idrologici dell'evento di piena con scansione oraria per circa una settimana a cavallo del colmo, in modo da ricostruire il completo idrogramma di piena.

Oltre al Servizio Idrografico, anche l'ENEL ha fornito utili dati di portata e di altezze idrometriche relativamente agli impianti di Levane e La Penna. Si tratta in particolare della ricostruzione dell'onda di piena del 1966, con le regolazioni effettuate sugli organi di manovra delle dighe. Tale rilievo risulta di estrema importanza, poiché la piena rese non funzionanti gli idrometri più significativi disposti lungo l'Arno, per cui l'idrogramma ENEL costituisce uno dei pochi punti di riferimento idrometrico. Lo stesso Ente ha reso disponibili le leggi di deflusso degli organi di scarico degli invasi, necessarie per le simulazioni modellistiche.



Figg. 2.1 - 2.4 - Stazioni idrometriche lungo l'asta dell'Arno: Stia, Pollino, Subbiano e Ponte Romito. Ubicazione e dati caratteristici.



Figg. 2.5 e 2.6 - Stazioni idrometriche lungo l'asta dell'Arno: Nave di Rosano (FI) e San Giovanni alla Vena (PI). Ubicazione e dati caratteristici.

Relativamente all'evento del 1966 sono stati raccolti anche altri dati, risultato di elaborazioni ed estrapolazioni da parte del Servizio Idrografico o di periti coinvolti nelle vicende giudiziarie susseguenti all'alluvione. Essi sono stati utilizzati come punti di riferimento, laddove non erano disponibili altri tipi di misura, per confermare o contraddire alcune ipotesi di rappresentazione dei fenomeni.

Dal 1992 è in funzione una rete di telemisura che permette il monitoraggio delle altezze idrometriche in alveo, anche in punti diversi dalle stazioni di misura della portata. In queste sezioni non è nota la scala di deflusso e non è quindi possibile arrivare ad una stima della portata; tuttavia i dati sono stati raccolti al fine di validare il modello di moto vario tarato per il 1992, confrontando i valori calcolati con quelli misurati direttamente dalla rete di telemisura.

2. - I dati pluviometrici giornalieri per tutte le stazioni presenti nel bacino, nonché i dati di pioggia ad alta risoluzione (passo temporale di 10 minuti) per gli eventi significativi. Individuate le piene massime annuali per il periodo in esame (1943 - 1993), si è proceduto all'analisi delle precipitazioni per ciascun evento. A tale scopo sono state inserite le piogge giornaliere, raccogliendo sia i dati pubblicati sugli Annali Idrologici, che quelli già elaborati dal Servizio Idrografico, ma non pubblicati. Le stazioni esaminate sono state tutte quelle funzionanti nel bacino dell'Arno durante ogni evento.

Il passaggio dai dati puntuali a quelli distribuiti è stato possibile utilizzando criteri di regressione multivariata, che hanno permesso l'elaborazione di carte in formato raster.

A tale scopo è stato utilizzato il Modello Digitale Numerico elaborato dalla Regione Toscana con maglia 400x400 metri, avendo cura di completarlo per le parti di bacino mancanti, perché non ricadenti nel territorio amministrativo della Regione. In questo modo il bacino dell'Arno è stato suddiviso in oltre 55.000 celle.

Sulla base dei deflussi misurati in ciascun evento di piena e della caratterizzazione idrologica degli stessi è stato possibile individuare due eventi significativi, con i quali cimentare il sistema fluviale in esame ed in particolare le casse di espansione.

Gli eventi scelti risultano quelli verificatisi nel:

Novembre 1966

Ottobre 1992.

Per ciascuno dei due eventi la raccolta dei dati idrologici è stata ulteriormente sviluppata raccogliendo, negli archivi dell'Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa, per un numero elevato di stazioni pluviometriche (oltre 40), le strisce di misura. Queste sono state digitalizzate secondo le procedure in atto all'Ufficio di Pisa, pervenendo alla produzione di precipitazioni ad alta risoluzione (intervallo di tempo 10 minuti). Per ciascuna stazione i dati sono stati stampati sia in termini di mm per intervallo di tempo, che come precipitazione cumulata. I dati sono stati utilizzati per la creazione di modelli afflussi-deflussi.

3. - *I dati cartografici alle varie scale (1:5.000, 1:10.000, 1:25.000, 1:100.000).* La cartografia di base adottata è la Carta Tecnica (CTR) della Regione Toscana in scala 1:5.000 ed 1:10.000 (riduzione fotomeccanica da 1:5.000). Essa risulta essere la cartografia più aggiornata del territorio in esame in quanto fa riferimento, generalmente, a rilevamenti ed allestimenti cartografici degli anni '80. Per le rappresentazioni a scala di bacino è stata utilizzata la cartografia edita dall'Istituto Geografico Militare (scala 1:100.000).

4. - *I dati geometrici rilevati dal Servizio Idrografico in circa 1000 sezioni del corso principale dell'Arno da Levane alla foce, per un totale di circa 1700 rilievi effettuati in periodi diversi negli ultimi quarant'anni; apposita campagna topografica per la caratterizzazione del tratto a monte delle dighe Enel.* La definizione geometrica dell'alveo del Fiume Arno, necessaria per l'implementazione del modello di moto vario, è stata eseguita utilizzando diverse fonti bibliografiche, rilievi diretti e ricostruzione sulla base della cartografia disponibile (circa 1000 siti rilevati in periodi diversi per un totale di quasi 1700 sezioni). Successivamente è stato necessario procedere all'integrazione dei dati ed alla verifica della loro attendibilità. Il corso d'acqua è stato rappresentato utilizzando oltre 500 sezioni. Per il tratto a valle di Levane, dove esistono i rilievi del Servizio Idrografico, sono state utilizzate quelle del Servizio che le indica con un numero crescente da valle a monte (1- 990). A monte di Levane, per un tratto complessivo di circa 58 Km, sono state invece costruite le sezioni fluviali con numerazione da 1000 a 1620, sempre con ordinamento crescente da valle a monte.

I rilievi eseguiti dal Servizio Idrografico non sono aggiornati in tutto il tratto dell'Arno, il che comporta una diversa precisione geometrica a seconda del tratto considerato. Il tratto meglio rappresentato è quello compreso fra la sezione 327 e la 617, dove si hanno rilievi piuttosto recenti (1980-1990) per quasi tutte le sezioni.

Per molte sezioni è stata operata un'estensione alle aree golenali utilizzando la cartografia disponibile e sopralluoghi diretti.

5. - *I dati aerofotogrammetrici relativi ai voli dell'Autorità di Bacino (1993-1995).* Pur essendo la Cartografia Tecnica Regionale piuttosto recente, è stato necessario integrarla con l'esame delle foto aeree, con scala approssimativa 1:50.000, rilevate con volo effettuato nella primavera 1993 sull'asta principale e nella primavera 1995, specialmente con riferimento agli affluenti.

L'analisi stereoscopica di tutto il corso d'acqua ha permesso l'individuazione delle opere trasversali in alveo e l'individuazione di alcune modifiche, rispetto alla cartografia, significative ai fini dello studio idraulico.

6. - *Le opere in alveo, mediante censimento e caratterizzazione delle principali strutture presenti lungo il corso dell'Arno.* Pur operando ad una scala ampia (tutta l'asta principale dell'Arno) è stato necessario ubicare alcune opere in alveo e fuori alveo aventi interferenza idraulica significativa con il deflusso. In particolare hanno importanza le opere trasversali (ponti, traverse, etc.) che provocano restringimenti della sezione idraulica, con conseguenti modifiche significative del profilo di rigurgito.

Per questa ragione si è proceduto al censimento completo delle opere trasversali con verifica in campagna.

Sulla base della lettura della cartografia, dell'analisi delle foto aeree e dei sopralluoghi diretti, sono state identificate 101 opere trasversali comprendenti:

- 63 ponti;
- 31 traverse;
- 2 passerelle di attraversamento;
- 2 dighe;
- 2 ponti tubo;
- 1 scolmatore.

Ciascuna di esse è stata ubicata su cartografia 1:10.000, fotografata e schedata.

In fase di implementazione del modello tutte le opere sono state idraulicamente schematizzate.

Per quanto riguarda più specificamente argini, sponde e opere idrauliche, si è fatto riferimento a precedenti rilievi, riportati in maniera schematica nel Quaderno n.2: "Rischio idraulico nel bacino dell'Arno: contributo conoscitivo all'elaborazione del piano di bacino",

7. - *Le mappe di esondazione.* La necessità di valutare i volumi di esondazione ed i livelli raggiunti per le piene più importanti ha reso necessario la ricostruzione di mappe di esondazione sulla base delle indagini compiute da diversi Enti interessati. Alla scala di studio adottata, i lavori di sintesi già esistenti, corredati di maggiore dettaglio, sono quelli della Regione Toscana, dell'Autorità di Bacino, della Provincia di Firenze, della Provincia di Arezzo e della Provincia di Pisa. In alcuni tratti non vi è coincidenza fra le informazioni raccolte sia per la non uniformità delle fonti utilizzate sia per la scala di rappresentazione adottata: la Regione Toscana ha utilizzato una cartografia in scala 1:25.000, la Provincia di Firenze in scala 1:25.000 e la Provincia di Arezzo in scala 1:10.000. Nella rappresentazione cartografica sono state riportate tutte e tre le fonti in modo da evidenziare le differenze e valutarne l'attendibilità maggiore o minore in fase di analisi idraulica. Le mappe sono in scala 1:25.000 per tutto il corso dell'Arno ed in scala 1:10.000 per le aree di laminazione destinabili a cassa di espansione.

Nel già citato studio di Evangelisti, nonché nella pubblicazione del Ministero LL.PP. "L'evento alluvionale del Novembre 1966", si forniscono indicazioni sull'estensione delle aree alluvionate. In particolare, Evangelisti calcola lungo l'asta dell'Arno, le seguenti superfici: 1000 ha le aree a monte di Firenze, 1700 ha nel tratto urbano di Firenze, e 13000 ha a valle, per un totale di 15700 ha.

Il Ministero dei LL.PP. indica, per ciascun corso d'acqua, le aree allagate: per l'Arno risultano 15780 ha, 5600 per il Canale Usciana, 2630 per l'Ombrone Pistoiese, 500 per la Greve, 1210 per l'Elsa, 100 per l'Ambra, 210 per il Chiassa, 5700 per il Canale della Chiana, per un totale di circa 32000 ha.

8. - *I rilievi topografici.* La mancanza di rilievi sistematici a monte della diga di Levane ha reso necessario la programmazione ed esecuzione del rilievo di alcune sezioni fluviali importanti, in particolare in corrispondenza delle opere trasversali in alveo (senza il quale non sarebbe stato possibile applicare l'analisi modellistica) e dei punti ritenuti morfologicamente significativi per la rappresentazione dell'alveo fluviale e delle aree golenali. Il rilievo ha interessato complessivamente 27 sezioni fluviali.

5.2.2 - *Analisi dei dati. Precipitazioni medie sul bacino dell'Arno per evento di piena.*

Eventi di piena (1943-1993)

Per ciascun anno del periodo 1943-1993 sono stati raccolti i dati pluviometrici delle stazioni funzionanti nel bacino dell'Arno durante l'evento di piena di maggior importanza per ciascun anno.

La ricostruzione distribuita è stata effettuata a partire dal 1946, essendo le stazioni del periodo 1943-45 in numero troppo limitato. Nella tabella allegata sono riportati i totali della precipitazione per ciascun evento espressi in termine di media sul bacino. La distribuzione spaziale delle precipitazioni è avvenuta con le modalità multiregressive già descritte.

Evento del 10 novembre 1946

La precipitazione complessiva fu pari a 62.6 mm. L'area interessata dai maggiori quantitativi di precipitazione fu quella della Chiana, del Casentino e dell'Alto Valdarno. In quest'area le precipitazioni furono comprese generalmente fra i 60 ed i 90 mm, con punte leggermente superiori sui rilievi appenninici. La precipitazione dimostra un chiaro gradiente negativo spostandosi verso la foce dell'Arno, dove l'area fu interessata da debolissime precipitazioni. Non è molto alto il gradiente relativo alla quota: la precipitazione aumenta di 0.0148 mm per ogni metro di elevazione. L'affidabilità della regressione multipla, espressa attraverso il valore del coefficiente di regressione lineare (R^2), è pari a 0.78, che ci indica una sufficiente affidabilità del metodo adottato.

Le stazioni idrometriche funzionanti sull'Arno furono:

- Stia;
- Pollino;
- Nave di Rosano;
- S. Giovanni alla Vena.

L'evento di piena non fu significativo per l'Arno, presentando nelle varie stazioni tempi di ritorno molto bassi, con un massimo di 5.5 anni a Stia.

Evento del 4 febbraio 1947

La precipitazione complessiva sul bacino fu pari a 34.1 mm. Le aree con precipitazione più scarsa furono quelle dei fondovalle ed in generale in tutto il bacino a valle della confluenza con la Pesa. La distribuzione spaziale evidenzia la presenza di un significativo gradiente con la quota (0.0694 mm/m) e, parzialmente, con la posizione (minori precipitazioni verso il litorale). La regressione multiparametrica adottata come modello per la ricostruzione spaziale della precipitazione ha un buon grado di attendibilità ($R^2 = 0.87$). Nonostante le precipitazioni siano complessivamente inferiori a quelle dell'evento del 1946 la portata registrata a Nave di Rosano risulta essere significativamente superiore anche se l'evento (tempo di ritorno 5.5 anni) deve essere considerato modesto. Le altre stazioni funzionanti sull'Arno furono quelle del Ponte del Romito e di S. Giovanni alla Vena, anche se non per tutto il periodo della piena.

Evento del 27 gennaio 1948

La precipitazione complessiva sul bacino fu pari a 45.4 mm. Essa interessò tutto il bacino dell'Arno esclusa la Valdichiana ed una limitata porzione del bacino dell'Era. È abbastanza significativo (0.201 mm/m) il gradiente di precipitazione rispetto alla quota. Più consistente la pioggia nell'area appenninica, fra 60 e 90 mm. Ottima la spiegazione offerta dal modello multiregressivo ($R^2 = 0.94$).

Le stazioni idrometriche funzionanti sull'Arno furono:

- Stia;
- Ponte del Romito;
- Nave di Rosano;

- S. Giovanni alla Vena.

La piena ebbe il suo massimo effetto alla stazione di S. Giovanni alla Vena, in cui il picco corrisponde ad un tempo di ritorno di 6.6 anni. La piena si presentò con due colmi distanziati di circa 24 ore (a S. Giovanni alla Vena).

Evento del 26 novembre 1949

È un evento importante per il bacino dell'Arno, con precipitazione media di circa 95 mm. La distribuzione meteorica spaziale evidenzia un'area con precipitazione molto scarse (la Valdichiana) ed il resto del bacino soggetto a precipitazioni che trovano il loro culmine nella piana Firenze - Prato e nei tratti montani dei bacini dell'Era e dell'Elsa dove si superarono i 120 mm. Le precipitazioni presentano gradienti medi rispetto alla quota (0.04 mm/m). Sempre ottimo il coefficiente di regressione lineare del modello di distribuzione spaziale della precipitazione: 0.93. La piena risulta più gravosa a S. Giovanni alla Vena, in cui si presentò con tempo di ritorno pari a 12.7 anni. L'idrogramma è caratterizzato da un unico colmo che si trasferisce da Nave di Rosano a S. Giovanni in circa 10 ore. La Sieve appare grosso modo in sincronismo con l'idrogramma dell'Arno a Nave di Rosano.

Le stazioni funzionanti lungo il corso del Fiume furono:

- Stia;
- Subbiano;
- Nave di Rosano;
- S. Giovanni alla Vena.

Evento del 22 novembre 1950

In questo anno non fu registrata alcuna piena significativa. L'evento maggiore rilevato corrisponde ad una precipitazione media sul bacino di soli 23.6 mm, che ha interessato prevalentemente l'area appenninica. Piuttosto elevato il coefficiente di regressione della distribuzione spaziale: 0.92. La piena ha il suo colmo maggiore a Nave di Rosano, ma comunque con tempo di ritorno non superiore all'anno. La traslazione del colmo da Nave di Rosano a S. Giovanni alla Vena è di circa 8 ore.

Evento del 5 febbraio 1951

L'evento del 1951 comportò una precipitazione media sul bacino di circa 93 mm. La ricostruzione spaziale è attendibile, come indicato dal valore del coefficiente di regressione (0.82). Grossa parte del bacino fu interessato da precipitazioni, con esclusione della Valdichiana e dei tratti montani degli affluenti in sponda sinistra dell'Arno a valle della Greve. Le precipitazioni maggiori furono registrati sui rilievi appenninici (area Nord del bacino) con particolare rilevanza (più di 240 mm) sul tratto pistoiese. Nelle aree a maggiore precipitazione è molto forte il gradiente esercitato dalla variazione di quota, mentre diventa trascurabile o addirittura negativo nelle aree a Sud del bacino dove la distribuzione della pioggia, legata alla posizione spaziale rispetto alla meteorologia, vede valori più bassi nei tratti montani dei bacini.

Le stazioni idrometriche funzionanti sull'Arno furono:

- Stia;
- Subbiano;
- Ponte del Romito;
- Nave di Rosano;
- S. Giovanni alla Vena.

L'evento presentò un tempo di ritorno di 7.1 anni a Nave di Rosano e 8.9 a S. Giovanni alla Vena, dove superò i 2000 mc/s. Il colmo transitò a S. Giovanni alla Vena 24 ore dopo la registrazione a Nave di Rosano.

Evento del 27 gennaio 1952

Di scarso significato l'evento del 1952. Le precipitazioni distribuite sul bacino non superarono i 22 mm interessando unicamente, e comunque in maniera modesta, i rilievi appenninici. Molto buono il modello di rappresentazione spaziale delle precipitazioni ($R^2 = 0.94$). Le stazioni idrometriche funzionanti furono quelle di:

- Stia;
- Subbiano;
- Ponte del Romito;
- Nave di Rosano;
- S. Giovanni alla Vena.

La traslazione del colmo di piena da Nave di Rosano a Firenze, fu di circa 7,5 ore. L'evento si presentò ovunque con tempi di ritorno intorno all'anno.

Evento dell'1 gennaio 1953

La precipitazione media sul bacino fu di 30.8 mm. A Nave di Rosano il colmo di piena manifestò un tempo di ritorno prossimo ai 7 anni (6.9). Essendo scarso l'apporto degli affluenti a valle di Firenze, la piena diminuì di intensità e a S.Giovanni alla Vena presentò un tempo di ritorno pari a 3.9 anni. Il colmo raggiunse S.Giovanni circa 10 ore dopo Nave di Rosano. Le stazioni funzionanti sull'Arno, oltre alle già citate, furono:

- Stia;
- Subbiano;
- Ponte del Romito;

per le quali l'evento fu di tipo ordinario.

Evento del 3 maggio 1954

La precipitazione media sul bacino fu pari a 53.3 mm. La regressione multipla per la distribuzione della precipitazione ci fornisce un coefficiente di regressione discreto (0.87). Non molto alto il gradiente rispetto alla quota (0.020 mm/m). Le precipitazioni furono piuttosto uniformi sul bacino con aree a maggiore precipitazione (comunque compresa fra 60 e 90 mm) nei tratti montani del Casentino, nell'alta val di Greve e in una parte della Valdichiana.

La piena formatasi sull'Arno non ebbe rilevanza particolare attestandosi al di sotto dei 3 anni di tempo di ritorno per Nave di Rosano e S. Giovanni alla Vena. Al Ponte del Romito raggiunse i 4.5 anni. Il colmo raggiunse S.Giovanni alla Vena circa 14 ore dopo Nave di Rosano.

Su Stia e Subbiano, le altre due stazioni funzionanti, non si ebbe particolare rilevanza della piena.

Evento del 26 febbraio 1955

Di scarsa importanza, tale evento interessò principalmente il Casentino, l'alto Valdarno e la Valdichiana, comunque con precipitazioni comprese fra 30 e 60 mm. Il valore medio di precipitazione per tutto il bacino è pari a circa 34 mm ($R^2=0.93$). Fra le stazioni idrometriche funzionanti sull'Arno:

- Stia;
- Subbiano;
- Ponte del Romito;
- Nave di Rosano;
- S. Giovanni alla Vena;

l'evento si presentò con maggiore rilevanza a Ponte del Romito (tempo di ritorno 3.7 anni). Il colmo della piena impiegò circa 12 ore a passare da Nave di Rosano a S.Giovanni alla Vena.

Evento del 28 aprile 1956

Molto modesto anche l'evento del 1956. Basse le precipitazioni medie sul bacino (39.6 mm) calcolate con il modello multiregressivo ($R^2=0.81$), interessarono tutto il bacino tranne il basso Valdarno. Sulle stazioni idrometriche funzionanti:

- Stia;
- Subbiano;
- Ponte del Romito;
- Nave di Rosano;
- S. Giovanni alla Vena;

l'evento si presentò assolutamente ordinario.

Il colmo della piena impiegò circa 10 ore da Nave di Rosano a S.Giovanni alla Vena.

Evento dell'11 aprile 1957

Anch'esso poco significativo. Precipitazione media sul bacino scarsa (36.9 mm), interessante in maniera piuttosto uniforme l'intero bacino tranne una consistente porzione a Sud-Ovest. Sulle stazioni funzionanti sull'Arno:

- Subbiano;
- Nave di Rosano;
- S. Giovanni alla Vena;

l'evento non superò il tempo di ritorno di 1 anno. La piena impiegò circa 8 ore da Nave di Rosano a S. Giovanni alla Vena.

Evento del 23 dicembre 1958

La precipitazione media sul bacino, calcolata con il modello multiregressivo ($R^2=0.87$), fornisce un valore di circa 57 mm, distribuiti abbastanza uniformemente su tutto il bacino con aree a maggiore quantità (60-90 mm) nell'area appenninica, nella val d'Elsa

e nella val di Pesa.

Fra le stazioni funzionanti sull'Arno:

- Stia;
- Subbiano;
- Nave di Rosano;
- S. Giovanni alla Vena;

l'evento ebbe maggiore rilevanza a Nave di Rosano, in cui il colmo si presentò con tempo di ritorno pari a 5.3 anni. Il tempo di traslazione della piena da Nave di Rosano a S. Giovanni alla Vena fu di circa 12 ore.

Evento del 22 dicembre 1959 e del 24 dicembre 1959

In questo caso dobbiamo parlare di due eventi consecutivi all'interno della stessa perturbazione meteorica. La precipitazione del periodo interessò, per complessivi 64 mm medi sul bacino, prevalentemente il tratto appenninico ed il Casentino. Il modello di distribuzione spaziale delle precipitazioni presenta un ottimo coefficiente di regressione lineare (0.94).

Sulle stazioni idrometriche funzionanti sull'asta principale del fiume:

- Stia;
- Subbiano;
- Nave di Rosano;
- S. Giovanni alla Vena;

l'evento ebbe il suo colmo a Nave di Rosano (5.8 anni il tempo di ritorno). In entrambi i colmi la piena superò, a quella stazione, di poco i 1600 m³/s, con un tempo di traslazione a S. Giovanni alla Vena compreso fra le 11 e le 12 ore.

Evento del 17 febbraio 1960

L'evento del 1960 interessò esclusivamente la parte Nord del bacino dell'Arno mentre risultò quasi nullo nella restante parte. La precipitazione media calcolata su tutto il bacino è di 48.6 mm, ma, vista la disomogeneità della distribuzione, vi furono aree con pochi millimetri ed altre con oltre 120. Il modello di distribuzione spaziale ha un valore del coefficiente di regressione lineare pari a 0.85.

Sulle stazioni idrometriche dell'Arno:

- Stia;
- Subbiano;
- Nave di Rosano;
- S. Giovanni alla Vena;

l'evento ebbe il suo culmine a Nave di Rosano, dove le elaborazioni statistiche danno un tempo di ritorno superiore ai 10 anni per gli oltre 2000 m³/s registrati. La piena traslò, laminando significativamente a S. Giovanni alla Vena, in circa 12 ore.

Evento del 26 dicembre 1961

Caratterizzato da una piovosità media sul bacino piuttosto elevata (83 mm). La distribuzione spaziale calcolata ($R^2=0.88$) indica una certa uniformità sul bacino ad esclusione della Valdichiana (precipitazioni < 30 mm) e Casentino-Val di Sieve (in alcuni punti oltre 120 mm).

Le stazioni sull'Arno:

- Stia;
- Subbiano;
- Nave di Rosano;
- S. Giovanni alla Vena;

presentarono colmi con tempo di ritorno compreso fra 3 e 5 anni.

Evento del 6 aprile 1962

Poco significativo. Le precipitazioni complessive medie sul bacino furono poco superiori a 37 mm, con ampie porzioni del bacino non soggette a particolari precipitazioni (Valdichiana e basso Valdarno). La piena non presentò tempi di ritorno significativi per nessuna delle stazioni idrometriche funzionanti sull'Arno:

- Stia;
- Subbiano;
- Nave di Rosano;
- S. Giovanni alla Vena.

Il tempo di traslazione del colmo da Nave di Rosano a S. Giovanni alla Vena fu di circa 8 ore.

Evento del 5 gennaio 1963

La precipitazione media sul bacino fu di circa 63 mm, calcolata con il modello multiregressivo ($R^2=0.81$). Evento abbastanza simile al 1961 per quanto riguarda la distribuzione spaziale della precipitazione: maggiore nelle aree a Nord del bacino, inferiore nella porzione Sud.

Per le stazioni funzionanti:

- Stia;
- Subbiano;
- Nave di Rosano (dove tuttavia il funzionamento è limitato a pochi dati);
- S. Giovanni alla Vena;

l'evento si presentò con più alto tempo di ritorno a Stia (7.4 anni)

Evento del 27 dicembre 1964

La precipitazione complessiva fu di circa 43 mm, distribuiti in modo uniforme sul bacino dell'Arno. La distribuzione spaziale presenta un buon coefficiente di regressione lineare (0.90). Sulle stazioni funzionanti l'evento non ebbe significativi tempi di ritorno:

- Stia;
- Subbiano;
- Nave di Rosano (non completo);
- S. Giovanni alla Vena.

Evento del 28 gennaio 1965

Evento piuttosto basso, con una precipitazione media sul bacino di circa 36 mm ($R^2=0.93$). Sulle stazioni funzionanti:

- Stia;
- Subbiano;
- Nave di Rosano;
- S. Giovanni alla Vena;

i tempi di ritorno del colmo sono ordinari. Il tempo di traslazione della piena fra Nave di Rosano e S. Giovanni alla Vena fu inferiore a 8 ore.

Evento del 3 novembre 1966

L'evento sarà descritto con dovizia di particolari nei successivi capitoli, essendo stato preso come piena di riferimento per la verifica delle casse di espansione. La precipitazione, ricostruita con il modello di regressione multipla, fornisce un valore medio sul bacino di oltre 166 mm, con soddisfacente grado di approssimazione ($R^2=0.86$). In termini di quantitativi totali di precipitazione è di gran lunga l'evento maggiore finora registrato nel bacino dell'Arno. La precipitazione interessò tutto il bacino tranne la val di Chiana (specie nel suo tratto a monte), con punte sui rilievi del Casentino, presso Badia Agnano e sui rilievi pistoiesi (oltre 300 mm).

Purtroppo non sono disponibili gli idrogrammi di piena per tutte le stazioni funzionanti sull'Arno, in quanto alcuni idrometri furono messi fuori uso dalla piena stessa. In particolare, per quanto riguarda Nave di Rosano, esistono unicamente stime basate sulle tracce lasciate dalla piena e rilevate dal Servizio Idrografico nei giorni successivi all'alluvione. Le elaborazioni statistiche eseguite indicano l'assoluta eccezionalità dell'evento per il tratto montano del Fiume (a Stia il colmo presenta tempo di ritorno superiore a 1000 anni). Sempre eccezionale per Subbiano (221 anni), andando verso valle, pur mantenendo caratteristiche di straordinarietà, risulta più frequente. A Nave di Rosano la piena ha un tempo di ritorno di 56 anni (ma si tenga conto della non completa fedeltà della stima del colmo), mentre a S. Giovanni alla Vena 13 anni. Tale singolarità dell'evento risulta ulteriormente enfatizzata se si trascurasse dalla serie storica in esame proprio la piena del 1966. In questo caso, infatti, quell'evento ha tempo di ritorno superiore a 1000 anni anche per Subbiano, 289 anni per Nave di Rosano e 24.3 per S. Giovanni alla Vena.

Evento del 17 maggio 1967

Le precipitazioni si distribuirono prevalentemente sull'area Nord del bacino, diminuendo verso Sud, fino a non essere quasi presenti nella Valdichiana. Il quantitativo medio sul bacino, ricostruito con il modello multiregressivo, fu pari a circa 56 mm ($R^2=0.95$). Il gradiente medio rispetto alla quota fu di 0.03 mm/m. Le stazioni idrometriche presenti sull'Arno furono unicamente:

- Subbiano;
- S. Giovanni alla Vena;

a causa del danneggiamento subito dagli altri due idrometri di Stia e Nave di Rosano l'anno precedente. In entrambe le stazioni la piena si presentò come assolutamente ordinaria (tempo di ritorno non superiore ad 1 anno).

Evento del 22 febbraio 1968

Dal punto di vista del quantitativo complessivo medio sul bacino le precipitazioni furono simili all'evento del 17 maggio 1967 (56 mm circa); tuttavia la distribuzione spaziale ($R^2=0.87$) indica che l'evento fu più concentrato a monte di Firenze e sui rilievi pistoiesi, risultando molto basso (precipitazioni < 30 mm) a valle dell'Elsa. Questo determinò un colmo di piena più significativo (anche se comunque non elevato) sulle stazioni di Subbiano e Nave di Rosano (che da questo anno riprese a funzionare) con tempi di ritorno intorno ai 4 anni. A S. Giovanni alla Vena la piena si presentò con più basso tempo di ritorno (2.6 anni) a distanza di circa 8 ore dal colmo a Nave di Rosano. La stazione di Stia non era funzionante. Significativo il gradiente di precipitazione medio con la quota (0.049 mm/m).

Evento del 14 gennaio 1969

Evento modesto, sebbene caratterizzato da una precipitazione media sul bacino non scarsa (52 mm circa). La distribuzione spaziale ($R^2=0.87$) indica l'interessamento di tutto il bacino con una netta prevalenza sui rilievi pistoiesi. Di assoluta ordinarietà l'effetto registrato sugli idrometri funzionanti di:

- Subbiano,
- Nave di Rosano,
- S. Giovanni alla Vena.

Il tempo di traslazione della piena fra Nave di Rosano e S. Giovanni alla Vena fu di circa 10 ore.

Evento del 5 gennaio 1970

Assolutamente non significativo. Le precipitazioni interessarono una modesta porzione di bacino (settore Nord), con un quantitativo medio di 32 mm circa ($R^2=0.91$). Le stazioni idrometriche registrarono una piena assolutamente ordinaria, con tempo di ritorno non superiore ad 1 anno. Non funzionante la stazione di Nave di Rosano, ricompare quella di Stia, che si affianca a Subbiano e S. Giovanni alla Vena.

Evento del 20 gennaio 1971

Poco significativo anche l'evento del 1971. Con precipitazione media sul bacino poco superiore a 41 mm, secondo quanto calcolato con il modello di distribuzione della precipitazione ($R^2=0.89$). Sempre non funzionante l'idrometro di Nave di Rosano sulle altre stazioni funzionanti di Stia, Subbiano e S. Giovanni alla Vena il tempo di ritorno registrato fu pari ad 1 anno.

Evento del 30 novembre 1972

Quantitativi di pioggia abbastanza alti (70 mm, circa, la media sul bacino), ma uniformemente distribuiti nel tempo e nello spazio. L'evento interessò l'intero bacino dell'Arno con esclusione della Valdichiana. Le piene registrate dagli idrometri di Stia, Subbiano, Nave di Rosano e S. Giovanni alla Vena, indicano un idrogramma molto allungato, ma con colmo molto basso (tempo di ritorno circa 1 anno).

Evento del 25 settembre 1973

La precipitazione media sul bacino fu piuttosto elevata (95 mm circa), ma sia a causa della distribuzione nel tempo, che per le condizioni di bassa saturazione del suolo (mese di settembre) l'effetto prodotto sull'Arno fu molto modesto. Le precipitazioni interessarono sostanzialmente tutto il bacino con esclusione di una porzione della Valdichiana.

Le stazioni idrometriche funzionanti (Stia, Subbiano, Nave di Rosano e S. Giovanni alla Vena) registrarono un evento ordinario con tempi di ritorno compresi fra 1 e 3 anni, caratterizzato da picchi modesti distanziati di circa 24 ore.

Evento del 29 aprile 1974

Minore la precipitazione complessiva media sul bacino (57 mm circa), ma effetto sull'Arno maggiore rispetto all'evento dell'anno precedente, anche se comunque ordinario. La precipitazione interessò tutto il bacino dell'Arno, con maggiore concentrazione nel Casentino, come indicato dalla ricostruzione spaziale ($R^2=0.92$). Tempi di ritorno del colmo registrato a Subbiano e Nave di Rosano di poco superiori a 2 anni. Di nessun rilievo il colmo di S. Giovanni alla Vena, molto più basso di quello di Nave di Rosano, a causa della laminazione in alveo non bilanciata dagli apporti degli affluenti a valle di Firenze.

Evento del 18 marzo 1975

Precipitazioni assolutamente basse. Il quantitativo medio sul bacino non superò i 33 mm, interessando unicamente la porzione a monte di Firenze. Sulle stazioni funzionanti di Stia, Subbiano, Nave di Rosano e S. Giovanni alla Vena, la piena si presentò con tempi di ritorno non superiori ad 1 anno, quindi assolutamente ordinaria. Di circa 12 ore il tempo impiegato per la traslazione

della piena da Nave di Rosano a S.Giovanni alla Vena, che si presentò notevolmente laminato rispetto a monte, a causa degli scarsi apporti degli affluenti a valle di Firenze.

Evento del 7 dicembre 1976

Molto modesto anche l'evento del 1976 in termini di precipitazioni media sul bacino, poco superiori a 30 mm. La distribuzione spaziale, costruita con il modello multi-regressivo, presenta un ottimo livello di attendibilità, come dimostrato dal valore (0.93) del coefficiente di regressione. L'evento non interessò la porzione Sud del bacino. Significativo il colmo registrato a Subbiano (tempo di ritorno 7.7 anni). A Nave di Rosano si presentò attenuato dalle scarse precipitazioni a valle del Casentino (tempo di ritorno 2.7 anni) ed assolutamente ordinario a S.Giovanni alla Vena, dove i pur alti contributi di alcuni affluenti in sponda destra non compensarono la laminazione in alveo. Il tempo di traslazione della piena da Nave di Rosano a S.Giovanni alla Vena fu di circa 12 ore.

Evento del 21 febbraio 1977

In termini di distribuzione spaziale delle precipitazioni l'evento presentò indubbe similarità con quello dell'anno precedente: basse piogge nella porzione Sud, apporti significativi dal Casentino, val di Sieve e rilievi pistoiesi. Buona la rappresentazione spaziale ricostruita con il modello ($R^2=0.89$). Fra le stazioni idrometriche il colmo si presentò con massimo tempo di ritorno a Subbiano (8.7 anni), mentre non superò 1 anno nelle altre stazioni funzionanti di Nave di Rosano e S. Giovanni alla Vena. Il tempo di traslazione della piena fra queste due stazioni fu di circa 10 ore con una significativa laminazione del colmo, nonostante i contributi degli affluenti in sponda destra.

Evento del 29 gennaio 1978

Non molto elevate le precipitazioni medie sul bacino (circa 42 mm). L'evento interessò sostanzialmente il tratto del bacino dell'Arno a monte di Firenze, come indicato dalla ricostruzione spaziale ($R^2=0.94$). Non essendo funzionante Stia, sulla prima stazione di Subbiano fu registrato un colmo di piena avente tempo di ritorno pari a 3.6, che si attenuò a 2.5 a Nave di Rosano. Di trascurabile entità il colmo a S.Giovanni alla Vena, che subì una notevole laminazione nelle circa 10 ore di traslazione da Nave di Rosano.

Evento del 10 gennaio 1979

Precipitazioni medie sul bacino di poco superiori a 50 mm. Non interessata dall'evento la Valdichiana, le piogge si concentrarono prevalentemente sui rilievi appenninici. Di 4.2 anni il tempo di ritorno del colmo registrato a Subbiano (Stia non era funzionante), di circa 2 anni a Nave di Rosano, poco superiore ad 1 anno a S.Giovanni alla Vena. La traslazione del picco fra Nave di Rosano a S.Giovanni fu di circa 18 ore a causa delle dinamiche di contribuzione degli affluenti a valle di Firenze.

Evento del 5 novembre 1980

Afflussi complessivamente più consistenti (76 mm), ma molto distribuiti nel tempo secondo la ricostruzione del modello di precipitazione ($R^2=0.88$). Spazialmente le piogge furono maggiori a monte di Firenze per attenuarsi verso la foce. L'evento non presentò alcun rilievo nelle piene registrate dagli idrometri (2 anni a Nave di Rosano), mentre fu particolarmente intenso per la Pesa (tempo di ritorno superiore a 80 anni). Intorno ad 1 anno il tempo di ritorno registrato a Subbiano e S. Giovanni alla Vena. Caratteristica dell'evento fu quello di presentarsi con tre picchi successivi a distanza di meno un giorno l'uno dall'altro, con il primo di maggiore importanza.

Evento del 28 dicembre 1981

Minori le precipitazioni complessive durante l'evento (circa 54 mm) rispetto all'anno precedente, ma più localizzate spazialmente e, soprattutto, temporalmente. L'area maggiormente interessata dalle piogge fu il Casentino ed l'Alto Valdarno, come indicato dalla ricostruzione spaziale del modello multiregressivo ($R^2=0.91$). Tempo di ritorno del colmo registrato a Subbiano superiore a 11 anni. A Nave di Rosano la piena superò i 1600 m³/s che corrispondono ad un tempo di ritorno di circa 6 anni. Non funzionanti gli idrometri di Stia e S.Giovanni alla Vena.

Evento del 14 novembre 1982

La precipitazione media sul bacino fu poco superiore a 63 mm, come stimato con il modello multiregressivo ($R^2=0.91$), interessando la quasi totalità del bacino con esclusione del Valdichiana. A Subbiano il colmo ebbe tempo di ritorno intorno ai 5 anni,

mentre a Nave di Rosano fu non superiore ad 1 anno (circa 900 m³/s). Non funzionanti le stazioni idrometriche di Stia e S. Giovanni alla Vena.

Evento del 13 febbraio 1983

Poche precipitazioni complessive (27.8 mm) sul bacino. L'evento registrato a Nave di Rosano ebbe un colmo con tempo di ritorno 2.5 anni e 1.8 a S. Giovanni alla Vena, in cui transitò dopo circa 12 ore. Piena con tempo di ritorno non superiore ad 1 anno a Subbiano. La stazione di Stia non fu funzionante.

Evento del 19 novembre 1984

Sempre scarse le precipitazioni complessive dell'evento. Il modello di regressione multipla indica infatti una media sul bacino di circa 32 mm, con ottimo grado di affidabilità ($R^2=0.92$). Molto bassa la precipitazione nella Valdichiana. Non significativi i colmi registrati sulle tre stazioni funzionanti di Subbiano, Nave di Rosano e S. Giovanni alla Vena. Il trasferimento del colmo di piena fra Nave di Rosano e S. Giovanni alla Vena avvenne in circa 12 ore.

Evento del 22 marzo 1985

Non essendo in funzione nessuno dei due idrometri principali dell'Arno (Nave di Rosano e S. Giovanni alla Vena) è stato scelto come evento di riferimento quello che determinò il colmo maggiore alla stazione di Subbiano. Fu comunque un evento molto limitato con 35 mm di precipitazione media sul bacino ed irrilevanti valori al colmo anche alla stessa stazione di Subbiano, con tempo di ritorno non superiore ad 1 anno.

Evento del 30 gennaio 1986

Precipitazione media sul bacino di circa 52 mm. La ricostruzione distribuita con il modello ($R^2=0.85$) indica una maggiore rilevanza dell'evento nella Valdichiana e nel Casentino. La piena sull'Arno, rilevata agli idrometri di Subbiano e S. Giovanni alla Vena, non fu comunque significativa. Sulla Chiana, alla stazione della ferrovia Firenze-Roma, l'evento ebbe un tempo di ritorno pari a 3.5 anni. Non funzionanti gli idrometri di Stia e Nave di Rosano.

Evento del 24 novembre 1987

Elevate le precipitazioni complessive sul bacino, con un valore medio di 94.6 mm, desunto dalla modellizzazione distribuita ($R^2=0.89$). La pioggia fu distribuita su tutto il bacino con particolare rilevanza nel Casentino e sui rilievi pistoiesi. L'evento presentò un colmo significativo a Subbiano, con tempo di ritorno pari a 7 anni. Non registrato a Stia e Nave di Rosano, ebbe a S. Giovanni alla Vena portata modesta (inferiore a 1200 m³/s), con tempo di ritorno pari a 1.8 anni.

Evento del 21 maggio 1988

Evento modesto con una precipitazione media sul bacino poco superiore a 35 mm. L'area maggiormente interessata fu quella in prossimità della foce, mentre molto bassa risultò nelle aree solitamente più generose in termini di afflussi meteorici, come il Casentino e l'alto Valdarno. Non superiore ad 1 anno il tempo di ritorno del colmo registrato alle stazioni di Subbiano e S. Giovanni alla Vena.

Evento del 5 novembre 1989

Precipitazioni complessive superiori a 70 mm, ben spiegate dal modello multiregressivo ($R^2=0.90$). L'evento interessò tutto il bacino dell'Arno ed in particolare il Casentino, l'alto ed il medio Valdarno. Di non particolare menzione le piene registrate ai due idrometri funzionanti di Subbiano e Nave di Rosano.

Evento del 9 dicembre 1990

Le precipitazioni sul bacino furono di poco inferiori a 70 mm, senza tuttavia comportare particolari piene sul corso dell'Arno. Nelle due stazioni funzionanti di Subbiano e S. Giovanni alla Vena, il colmo non superò i 2 anni di tempo di ritorno. Spazialmente l'evento interessò prevalentemente l'area Nord del bacino.

Evento del 16 settembre 1991

Il bacino dell'Arno fu interessato da precipitazioni complessive superiori a 70 mm. La distribuzione spaziale indica a Capo

d'Arno il punto con maggiore quantità di pioggia. L'evento si presentò con tempo di ritorno pari a 3.5 anni alla stazione di Subbiano e 2.1 anni a quella di S. Giovanni alla Vena. Rilevante il colmo sulla Sieve (tempo di ritorno 24.9 anni). Non funzionanti le stazioni di Nave di Rosano e Stia.

Evento del 31 ottobre 1992

Evento di particolare rilevanza fra quelli registrati negli ultimi 50 anni. La distribuzione spaziale delle precipitazioni mediante il modello multiregressivo (elevato il suo grado di affidabilità visto il coefficiente di regressione lineare pari 0.98) indica come le piogge interessarono una gran parte del bacino con esclusione della sola Valdichiana (79.9 mm, la precipitazione media sul bacino). Le precipitazioni maggiori (superiori a 180 mm) furono registrate sui rilievi appenninici ed in particolare nell'alto Casentino, sul Pratomagno e sui rilievi pistoiesi. Importanti le portate rilevate dalle stazioni idrometriche funzionanti di Subbiano (32.6 anni tempo di ritorno) e Nave di Rosano (4.9 anni). Non rilevanti invece a Stia (1 anno) e S. Giovanni alla Vena (3.3 anni). Il colmo raggiunse quest'ultima stazione circa 14 ore dopo Nave di Rosano. L'evento, scelto fra quelli significativi, sarà descritto più ampiamente in fase di verifica del sistema di casse di espansione adottato.

Evento dell'8 ottobre 1993

Rilevante anche questo evento sia in termini di precipitazione complessiva media sul bacino (92.5 mm), che come portate registrate in alveo. La ricostruzione spaziale delle precipitazioni, sempre molto affidabile ($R^2=0.92$), indica maggiormente interessati il Monte Falterona, una parte dell'Alto Valdarno e, in particolare, i bacini dell'Era e della bassa Val d'Elsa. Alla stazione di Nave di Rosano l'evento al colmo fece segnare un tempo di ritorno pari a 13.2 anni. Meno importante a S. Giovanni alla Vena (3.3 anni). Non erano funzionanti le stazioni di Stia e Subbiano.

Sulla base dell'analisi delle precipitazioni e delle portate misurate agli idrometri, situati sul corso principale dell'Arno e dei suoi principali affluenti, è possibile individuare alcune caratteristiche generali che permettono di scegliere gli eventi ritenuti più idonei per la simulazione del sistema di casse di espansione.

Scartati gli eventi che non generano, di fatto, alcuna piena significativa, per gli altri eventi va notato come essi si presentino con una distribuzione spaziale molto simile, ad esclusione dell'evento del Novembre 1949. Il bacino presenta precipitazioni scarse nel settore Sud (in particolar modo nella Valdichiana) ed elevate nell'area appenninica, rilievi pistoiesi, Pratomagno e Casentino. Quando il fenomeno raggiunge livelli di eccezionalità, si accentuano proporzionalmente le precipitazioni, mantenendo comunque la stessa "forma" spaziale. Indubbiamente la piena del 4 Novembre 1996 spicca per il suo carattere assolutamente anomalo in termini quantitativi di precipitazione. L'evento interessò profondamente tutto il bacino (con esclusione della Valdichiana) e può essere considerato effettivamente come il test più significativo per un sistema di casse di espansione, il cui limite principale è proprio quello di poter vedere saturata la capacità di laminazione a causa del precoce riempimento del volume disponibile.

Fra gli altri eventi quelli del 1951 e del 1992 presentano caratteristiche molto simili: interessamento della maggior parte del territorio del bacino, significativa piena a S. Giovanni alla Vena (più che a Nave di Rosano). Queste caratteristiche permettono di analizzare le casse di espansione a valle di Firenze che nell'evento del 1966 sarebbero state di scarso significato visto l'interessamento "totale" del basso Valdarno dal punto di vista delle esondazioni. Fra l'evento del 1951 e quello del 1992 la scelta si è indirizzata verso l'ultimo principalmente per la vicinanza "storica" che permette una verifica più significativa del modello utilizzato, perché basato su dati (morfologia d'alveo, uso del suolo, occupazione delle aree golenali) praticamente attuali.

Tabella 5.2.2 - Eventi di piena significativi e relative precipitazioni medie sul bacino dell'Arno (periodo 1946-1993).

Anno	Precipitazione [mm]
1946	62.6
1947	34.1
1948	45.4
1949	95.1 *
1950	23.7
1951	93.5 *
1952	21.9
1953	30.8
1954	53.4
1955	34.2
1956	39.7
1957	36.9
1958	57.1
1959	64.9
1960	48.6
1961	83.0 *
1962	37.4
1963	62.9
1964	43.1
1965	36.4
1966	166.9 **
1967	56.5
1968	56.9
1969	52.3

Anno	Precipitazione [mm]
1970	32.5
1971	41.6
1972	70.4
1973	95.3 *
1974	57.2
1975	32.7
1976	30.1
1977	37.3
1978	42.1
1979	51.2
1980	76.0 *
1981	53.8
1982	63.6
1983	27.8
1984	31.8
1985	35.2
1986	52.3
1987	94.6 *
1988	35.8
1989	70.7
1990	66.9
1991	71.5
1992	79.9 *
1993	92.5 *

Analisi delle sezioni fluviali e dei profili altimetrici

a) Le sezioni fluviali

I dati relativi alle sezioni geometriche del corso d'acqua sono stati analizzati per verificarne l'idoneità all'impiego nel modello matematico. Per quanto riguarda il tratto da Stia a Ponte a Buriano, sono disponibili 60 sezioni su una lunghezza complessiva di circa 58 km, con una densità spaziale di circa una sezione al chilometro.

Nel restante tratto, da Ponte Buriano fino a S.Giovanni alla Vena, sono disponibili le sezioni del Servizio Idrografico ottenute però da rilievi effettuati in periodi diversi e disomogenei nella distribuzione spaziale. Per poter disporre di una risoluzione spaziale sufficientemente omogenea, tutti i rilievi sono stati accorpati in tre periodi principali: 1° periodo, comprendente tutte le sezioni rilevate antecedentemente il 1966, per un numero complessivo pari a 1032; 2° periodo, comprendente le sezioni rilevate tra il 1966 e il 1978, per un totale di 378 sezioni; 3° periodo, comprendente tutti i rilievi posteriori al 1978, relativi a 281 sezioni.

Sezioni fluviali lungo l'Arno, rilevate prima del 1966

997	940	885	828	770	714	657	607	547	493	436	381	326	272	214	156	98	46
993	939	884	827	769	713	656	606	546	492	435	380	325	271	213	155	97	45
992	938	883	826	768	712	655	605	545	491	434	379	324	270	212	154	96	44
991	937	882	825	767	711	654	604	544	490	433	378	323	269	211	153	95	43
990	936	881	824	766	710	653	603	543	489	432	377	322A	268	210	152	94B	42
989	935	880	823	765	709	652	602	542	488	431	376	322	267	209	151	94	41
988	934	879	822	764	708	651	601	541	487	430	375	321	266	208	150	93	40
987	933	878	821	763	707	650	600	540	486	429	374	320	265	207	149	92	39
986	932	877	820	762	706	649	599	539	485	428	373	319	264	206	148	91	38
985	931	876	819	761	705	648	598	538C	484	427	372	318	263	205	147	90	37
984	930	875B	818	760	704	647	597	538B	483	426	371	317	262	204	146	89	36
983	929	875	817	759	703	646	596	538	482B	425	370B	316	261	203	145	88	35
982	928	874	816	758	702	645	595	537	482	424	370	315	260	202	144	87	34
981	927	873	815	757	701	644	594	536	481	423D	369	314	259	201	143	86	33
980	926	872	814	756	700	643	593	535	480	423C	368	313	258	200	142	85	32
979	925	871	813	755	699	642	592	534B	479	423B	367	312	257	199	141	84	31
978B	924	870	812	754	698	641	591	534	478	423	366	311	256	198	140	83	30
978	923	869	811	753	697	640	590	533	477	422	365	310	255	197	139	82	29
977	922	868	810	752	696	639	589	532	476	421	364	309	254	196	138	81	28
976	921	867	809	751	695	638	588	531	475	420	363	308	253	195	137	80B	27
975	920	866	808	750	694	637	587	530	474	419	362	307	252	194	136	80	26
974	919B	865	807	749C	693	636	586	529	473	418	361	306C	251	193	135	79	25
973	919	864	806	749B	692	635	585	527	472	417	360	306B	250	192	134	78B	24
972	918	863	805	749	691	634	584	526	471	416	359	306	249	191	133	78	23
971	917	862	804	748	690	633	583	525	470	415	358B	305	248	190	132	77	22
970	916	861	803	747	689	632	582	524	469	414	358	304	247	189	131	76	21
969	915B	860	802	746	688C	631	581	523	468	413	357B	303	246	188	130	75	20
968	915	859	801	745	688	630	580	522	467	412	357	302	245	187	129	74	19
967	914B	858	800	744	687	629	579	521	466	411	356	301	244	186	128	73	18
966B	914	857	799	743	686	628	578	520	465	410	355	300	243	185	127	72B	17
966	913	856	798	742	685	627	577	519	464	409	354	300	242	184	126	72	16
965	912	855	797	741	684	626	576	518	463	408	353	299	241	183	125	71	15
964	911	854	796	740	683	625	575	517	462	407	352	298	240	182	124	70B	14
963	910	853	795	739	682	624	574	516	461	406	351	297	239	181	123	70	13
962	909	852	794	738	681	623	573	515	460	405	350	296	238	180	122	69	12
961	908	851	793	737	680	622	572	514	459	404	349	295	237	179	121	68B	11
960	907	850	792	736	679	621	571	513	458	403	348	294	236	178	120	68	10
959	906	849	791	735	678	620	570	512	457	402	347	293	235	177	119	67	9
958	905	848	790	734	677	619	569	511C	456	401	346	292	234	176	118	66	8
957	904	847	789	733	676	618	568	511B	455	400	345	291	233	175	117	65	7
956	903	846	788	732	675	617	567	511	454	399	344	290	232	174	116	64	6
955	902	845	787	731	674	616	566	510	453	398	343	289	231	173	115	63	5
954	901	844	786	730	673	615B	565	509	452	397	342	288	230	172	114	62	4
953	900	843	785	729	672	615	564	508	451	396	341	287	229	171	113	61	3
952	899	842	784	728	671	614B	563	507	450	395	340	286	228	170	112	60	2
951	898	841	783	727	670	614	562	506	449	394	339	285	227	169	111	59	1
950	897	840	782	726	669	613B	561	505	448	393	338	284	226	168	110	58	
949	896	839	781	725	668	613	560	504	447	392	337	283	225	167	109	57	
948	895	838	780	724	667	612B	559	503	446	391	336	282	224	166	108	56	
947	894	837	779	723	666	612	558	502	445	390	335	281	223	165	107	55	
946B	893	836	778	722	665	611B	556	501	444	389	334	280	222	164	106	54	
946	892	835	777	721	664	611	555	500	443	388	333	279	221	163	105	53	
945B	891	834	776	720	663	610B	554	499	442	387	332	278	220	162	104	52	
945	890	833	775	719	662	610	553	498	441	386	331	277	219	161	103	51	
944	889	832	774	718	661	609B	552	497	440	385	330	276	218	160	102	50	
943	888	831	773	717	660	609	551	496	439	384	329	275	217	159	101	49	
942	887	830	772	716	659	608B	549	495	438	383	328	274	216	158	100	48	
941	886	829	771	715	658	608	548	494	437	382	327	273	215	157	99	47	

In questo modo si è cercato di caratterizzare il corso dell'Arno e la sua dinamica individuando l'evento del 1966 come particolarmente significativo ai fini delle modificazioni morfologiche e geometriche dell'alveo, e assumendo come "condizione attuale" quella definita dai rilievi effettuati dopo il 1978 fino ai più recenti del 1993 (alcune sezioni relative alle opere di attraversamento possono tuttavia appartenere anche ai periodi precedenti).

In totale sono state considerate oltre 1691 sezioni trasversali, delle quali circa 250 sono state selezionate per essere utilizzate nella modellazione matematica. I criteri di selezione sono stati i seguenti:

- la densità spaziale non deve essere superiore a un chilometro;
- l'asse della sezione deve risultare approssimativamente ortogonale alla direzione della corrente (per alcune sezioni sono state operate le correzioni in tal senso);
- l'ubicazione deve essere tale da risultare rappresentativa delle condizioni di variabilità geometrica del tratto di appartenenza;
- l'ubicazione deve essere tale da mettere in conto gli effetti di opere in alveo che possono influire sulle condizioni del deflusso (ponti, traverse, restringimenti);
- la sezione deve comprendere, oltre alla zona centrale dell'alveo inciso, l'eventuale area golenale e gli argini maestri. Ove questi non erano rappresentati, si è proceduto all'estensione della sezione sulla base della cartografia 1:5000.

b) *Il profilo altimetrico*

L'analisi dei profili altimetrici, effettuata per i vari periodi in cui sono stati effettuati i rilievi, ha permesso di evidenziare l'entità delle modificazioni del fondo cui è andato soggetto il letto dell'Arno negli ultimi 40 anni. Ovviamente tale analisi è stata condotta soltanto per il tratto a valle delle dighe in quanto per il tratto a monte non si dispone di rilievi antecedenti a quello effettuato nell'ambito del presente studio. I risultati mostrano una generale tendenza erosiva che si estende praticamente per tutto il corso esaminato, con situazioni localizzate in cui il fenomeno appare particolarmente accentuato.

In particolare, è possibile effettuare le seguenti considerazioni:

- nel tratto compreso tra le dighe ENEL e la sez. 813 (Figline Valdarno), si osserva una modesta tendenza all'erosione, che tende ad attenuarsi via via che si procede verso valle; il tratto che appare in forte erosione subito a monte della sez. 904 (diga di Levane) è poco significativo in quanto definito da sole due sezioni;
- nel tratto, compreso tra le sezioni 812 e 625 (S. Andrea a Rovezzano) si distingue il tronco tra Figline e Incisa (sez. 776), dove si è verificato un abbassamento medio di circa 1-1.5 metri, il tronco tra Incisa e Rignano (sez. 730) ove l'abbassamento appare superiore, dell'ordine di 2 metri, mentre per tutto il tratto a valle fino alle Sieci (sez. 660) l'erosione risulta mediamente più contenuta e inferiore a 1 metro. Nell'ultimo tronco si hanno erosioni di tipo localizzato che arrivano a punte di circa 5 metri.
- nel tratto a valle di Firenze (sez. 539) si hanno fenomeni di abbassamento del letto che, seppur localizzati, raggiungono valori dell'ordine di 8 metri (sezz. 540 - 538) con oscillazioni che tendono a smorzarsi fino in prossimità di Signa (sez. 510);
- a valle il fenomeno erosivo tende nuovamente a manifestarsi, ma in tal caso in modo praticamente continuo, con un abbassamento medio dell'ordine di 3-4 metri che si propaga fino poco a monte di Pontedera (sez. 240), con tendenza poi a ridursi verso valori medi dell'ordine di 2 metri e inferiori, fino ad annullarsi praticamente in prossimità di Pisa (sez. 100).

Sezioni fluviali lungo l'Arno, rilevate tra il 1966 e il 1978

990	844	691	614	591	582D	562	543B	518	430	298	275	224	195	163	123	45	21
989	840	688C	613	590	582B	560	538B	517	428	297	274	223	194	162	121	43	20
987	838	688B	612	588	582A	559	538	516	426	296	273	222	193	159	119	42	19
981	834	675	611	586	578	558	536	515	423B	295	271	221	192	156	118	41	18
970	815	674	610	585C	577	557	535	512	423	294	269	220	191	153	116	40	17
953	813	670	609	585B	577D	556	534	511D	417	293	267	218	189	150	114	39	16
950	811	664	608	585A	577C	555	533	511C	386	292	263	215	187	148	112	38	15
948	809	661	607	585	577B	554	532	511B	325	291	259	212B	186	147	108	37	14
945	800	658	606	585	577A	553	531	510	322	290	256	212	184	145	102	36	13
935	789	651	605	584E	576	551	530	501	318	289	253	210	183	144	98	35	12
934	775	633	604	584D	576B	549	529	496	317	288	250	209	182	142	93	33	11
933	773	632	603	584C	576A	548	528	495	316	287	246	208	181	140	89	31	10
903	767	629	601	584B	576	547	527	487	315	286	243	207	179	139	84	30	9
895	756	628	599	584A	574	546	526	482B	314	285	241	206	176	137	79	29	8
875	755	620	598	584	572	545	525	479	313	284	238	205	174	135	74B	28	7
871	750	619	597	583	571	544	524	465	312	283	236	204	173B	133	71	27	6
869	743	618A	595	583D	570	543D	523	464	311	282	234B	203	172	131	67	26	5
867	735	618	594	583C	569	543D	522	462B	309	281	231	201	170	130	59	25	4
860	731B	617	594	583B	569	543C	521	460	306A	279	230	200	169	129	55	24	3
852	724	616	593	582	565	543C	520	452	306	277	229	198	166	127	51	23	2
848	699	615	592	583A	564	543B	519	445	302	276	227	196	164	125	48	22	1

Sezioni fluviali lungo l'Arno, rilevate dopo il 1978

881	847	809	775	732	697	674	613	607	591	576	560	544	516	456	408	365	327
880	846	807	773	730	693	670	612B	606	590	575	559	543	515	452	403	358B	212B
875	845	805	771	729	692	669	612	605	589	574	558	542	513	450	401	356	212
873	844	799	770	728	690	666	611B	604	588	573	557	540	508	448	399	354	211
870	843	795	769	727	689	664	611	603	587	572	556	539	501	445	397	352	210E
869	840	792	767	724	688C	661	610B	602	586	571	555	538B	497	443	395	350	210D
868	839	789	760	722	688B	659	610	601	585	570	554	538	495	441	390	348	210C
867	829	787	759	720	688	658	609B	600	584C	569	553	534	492	438	383	346	210B
863	827	786	758	719	687	617	609	599	584	568	552	532	489	435	381	344	210A
859	826	785	755	717	686	616C	608B	598	583	567	551	530	487	433	379	342	
855	819	784	753	716	684	616	608	597	582	566	550	528	479	428	377	340	
852	816	783	752	712	680	615B	607E	596	581	565	549	526	476	420	375	336	
851	813	781	751	710	679	615	607D	595	580	564	548	524	473	417	373	332	
850	812	780	742	709	678	614B	607C	594	579	563	547	522	470	415	371	331	
849	811	779	739	708	677	614	607B	593	578	562	546	521	466	413	369	330	
848	810	778	734	699	675	613B	607A	592	577	561	545	518	463	411	367	329	

In totale si può stimare un aumento del volume in alveo dell'ordine dei 12 Mmc che peraltro non è immediatamente traducibile in una capacità di invaso utile alla laminazione delle piene in quanto occorrerebbe mettere in conto anche gli effetti di una variata capacità di smaltimento delle portate dovuta sia ad un aumento della sezione idraulica, sia ad una diminuzione della pendenza. Si assume comunque che, tenendo conto anche delle numerose soglie e traverse dislocate lungo il corso del fiume, che agiscono da sezioni di controllo sia sulla dinamica del fondo sia sulle condizioni del deflusso, ai fini della dinamica generale del fenomeno propagatorio l'influenza dell'evoluzione altimetrica recente del fiume Arno induca effetti confrontabili con l'ordine di approssimazione utilizzato nel presente studio.

5.2.3 - Modellistica idrologica e idraulica

L'accentuata variabilità spazio-temporale del fenomeno idrologico-idraulico ha reso necessario il ricorso a modelli matematici in grado di simulare il comportamento idraulico della corrente in condizioni

di moto non stazionario e di riprodurre, ove necessario, gli input idrologici e i corrispondenti idrogrammi di ingresso delle varie aree tributarie dell'Arno.

In particolare, è stato predisposto un modello idraulico unidimensionale alle differenze finite in grado di simulare la dinamica propagatoria della corrente anche in presenza di elementi capacitivi ad essa direttamente connessi, quali aree e casse di espansione e serbatoi.

Contemporaneamente è stato sviluppato il modello idrologico afflussi-deflussi a parametri distribuiti, idoneo a ricostruire nelle varie sezioni di interesse l'onda di piena conseguente a determinati eventi di precipitazione, comunque distribuiti nel tempo e nello spazio sul bacino di afferenza.

A tal fine il bacino dell'Arno è stato suddiviso in circa 30 sottobacini di dimensione variabile, corrispondenti ai principali affluenti ed alle aree distribuite lungo il corso del fiume e ad esso direttamente drenanti. Per l'implementazione dei modelli il bacino è stato discretizzato in parti elementari costituite da celle di dimensione quadrata aventi lato pari a 400 metri, corrispondenti al modello digitale del terreno elaborato dalla Regione Toscana. Ogni cella è individuata nello spazio in base alle sue coordinate UTM ed è caratterizzata dalla quota sul livello del mare.

Il modello digitale del terreno è stato verificato e corretto al fine di renderlo idoneo alle elaborazioni idrologiche; in particolare sono state verificate le linee di impluvio che definiscono i percorsi del deflusso superficiale dalla singola cella fino alla foce del bacino.

Per ciascun sottobacino il modello idrologico utilizzato può essere schematicamente identificato come semi-distribuito: si possono infatti distinguere nel modello delle componenti di tipo "lumped" (ovvero governate da parametri unici per tutto il bacino) ed altre di tipo distribuito (cioè governate da parametri diversi e tipici di ciascuna cella).

La rappresentazione distribuita consente una rappresentazione più efficace della variabilità spaziale delle grandezze considerate e soprattutto una più corretta riproduzione della varianza spaziale dei fenomeni idrologici.

Dal punto di vista concettuale il deflusso da ogni cella elementare è regolato da tre elementi in serie:

- un modello cinematico (o di corrivazione), secondo cui il contributo proveniente dalla singola cella viene trasferito alla foce con tempo di ritardo proporzionale alla pendenza della rete drenante che connette la cella alla foce;
- un modello di infiltrazione basato sull'equazione di moto nel suolo non-saturo;
- un modello di serbatoio lineare per rappresentare la capacità di invaso superficiale.

Il modello opera un bilancio su base oraria. Le fasi computazionali per ogni passo di simulazione possono essere così sintetizzate:

- distribuzione spaziale della precipitazione a partire dalle misure puntuali disponibili (i singoli pluviometri) tramite tecniche statistiche di regressione;
- calcolo dell'acqua che si infiltra nel suolo e dell'acqua che resta invasata nel volume superficiale;
- calcolo dell'acqua che diventa deflusso superficiale;
- trasferimento del deflusso superficiale alla foce nell'ipotesi cinematica di sovrapposizione degli effetti sulla base dei tempi di trasferimento calcolati.

La taratura del modello consiste nello stimare in modo euristico un set di parametri unici per ciascun bacino in modo da minimizzare lo scarto tra i deflussi misurati e quelli calcolati dal modello.

Rappresentazione delle sezioni fluviali

Il modello idraulico consente di caratterizzare la sezione fluviale sia dal punto di vista geometrico che idraulico. In particolare è possibile suddividere a priori la sezione fluviale nella porzione dell' alveo inciso, dove avviene in prevalenza il moto della corrente e in zone golenali, alle quali attribuire una semplice funzione di invaso.

È anche possibile definire una scabrezza variabile nella sezione.

Sulla base dei diversi valori di scabrezza e delle diverse altezze d'acqua da un punto all'altro della sezione il programma calcola i coefficienti correttivi dell'energia cinetica e della quantità di moto.

Possono essere inoltre inserite nella sezioni arginature e soglie sfioranti, queste ultime afferenti o meno a una cassa di laminazione.

Taratura e verifica del modello idrologico-idraulico

Al fine di ricostruire correttamente i fenomeni di formazione e propagazione delle piene del fiume Arno per i due eventi presi in considerazione è stato necessario procedere alla taratura e a una verifica sia del modello idrologico di formazione della piena a livello degli affluenti che di quello di propagazione della piena nel fiume Arno da Pratovecchio a S. Giovanni alla Vena in relazione ai due eventi del Novembre 1966 e dell'Ottobre 1992.

Il modello idrologico e quello idraulico sono stati tarati in funzione delle portate misurate, sia nelle stazioni idrometriche del Servizio Idrografico che in corrispondenza delle dighe di Levane e La Penna.

Si è poi proceduto a una verifica delle tarature, confrontando i valori dei livelli idrometrici calcolati con quelli misurati in sezioni intermedie non utilizzate nella fase di stima dei parametri.

Gli eventi che sono stati ricostruiti sono eventi simili per quanto riguarda le portate defluite e le modalità di formazione della piena, mentre la verifica effettuata sulle altezze d'acqua ha solo uno scopo indicativo; infatti, le sezioni fluviali utilizzate sono per ciascun tratto quelle del rilievo più recente e quindi non coincidono né con quelle dell'evento del 1966 né con quelle dell'evento 1992. La presente considerazione risulta assai importante alla luce di quanto evidenziato in relazione al generale abbassamento delle sezioni dell'Arno lungo tutto il suo corso.

Nonostante che i parametri del modello idrologico adottato abbiano un significato fisico, la complessità dei fenomeni idrologici a livello dei sottobacini ha fatto sì che non fosse possibile definire un set di parametri validi per entrambi gli eventi.

I parametri adottati hanno inoltre tenuto in conto delle differenti caratteristiche idrologiche dei bacini in esame e delle tarature effettuate sui singoli affluenti dotati di stazioni di misura (Sieve, Bisenzio, Elsa).

La taratura è stata condotta utilizzando un passo temporale orario e un livello di accuratezza del 5% sulle portate e sui livelli.

Le sezioni fluviali

Le sezioni selezionate per ciascun tratto fluviale, sono state analizzate al fine di verificarne la geometria, valutarne la scabrezza e definirne i marcatori di suddivisione tra alveo inciso e aree golenali.

Dove le sezioni risultavano insufficienti alla rappresentazione delle aree di espansione laterale, queste sono state ampliate.

Le opere in alveo

Le opere in alveo influenti ai fini della dinamica di piena sono state riportate sul profilo longitudinale dei diversi tratti. Nella tabella 5.1 si riporta il posizionamento di ciascuna opera (ponti e traverse) in relazione alle sezioni utilizzate per la simulazione. Alcune delle opere individuate, in particolare alcuni ponti di nuova costruzione, non sono stati inseriti nella simulazione in quanto le nuove tipologie costruttive consentono di ridurre al minimo il rigurgito. Pertanto, per gli scopi del progetto di piano, si è ritenuto che l'influenza degli stessi sulla propagazione dell'onda di piena fosse trascurabile.

Le portate affluenti al canale

Il modello di simulazione della propagazione delle onde di piena richiede la conoscenza delle portate affluenti al canale.

I bacini identificati sono complessivamente 32: nella tabella 5.2 si riportano per ciascun bacino la denominazione, la sezione di immissione nel canale e l'area sottesa.

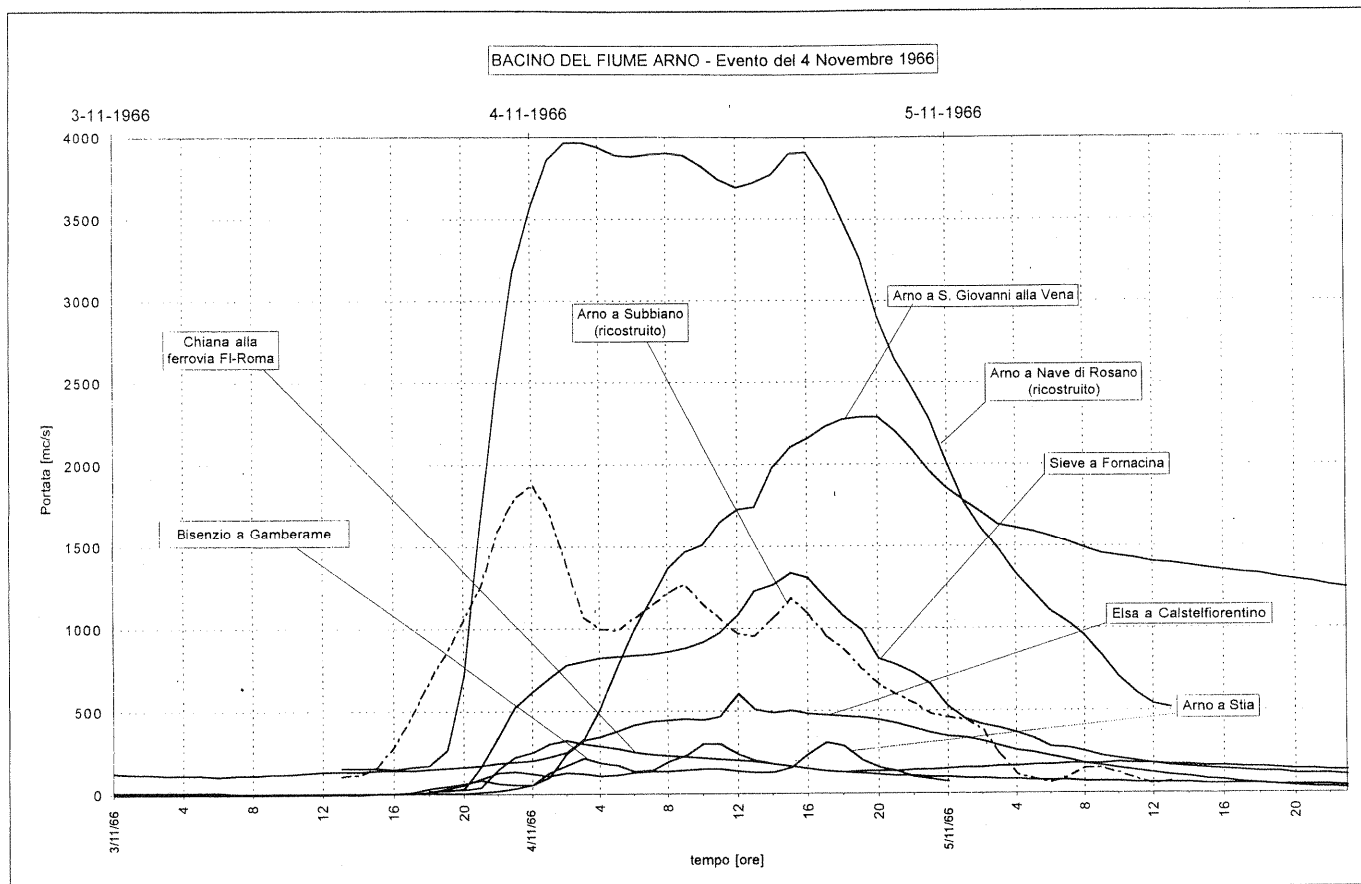
Per i bacini 12 e 20, ovvero per la Chiana a Ponte della Ferrovia e per la Sieve a Fornacina, sono state utilizzate le portate effettivamente registrate durante gli eventi del Novembre 1966 e dell'Ottobre 1992.

Gli spartiacque di ciascun bacino sono riportati in figura 5.1 insieme all'area relativa (tab. 5.2).

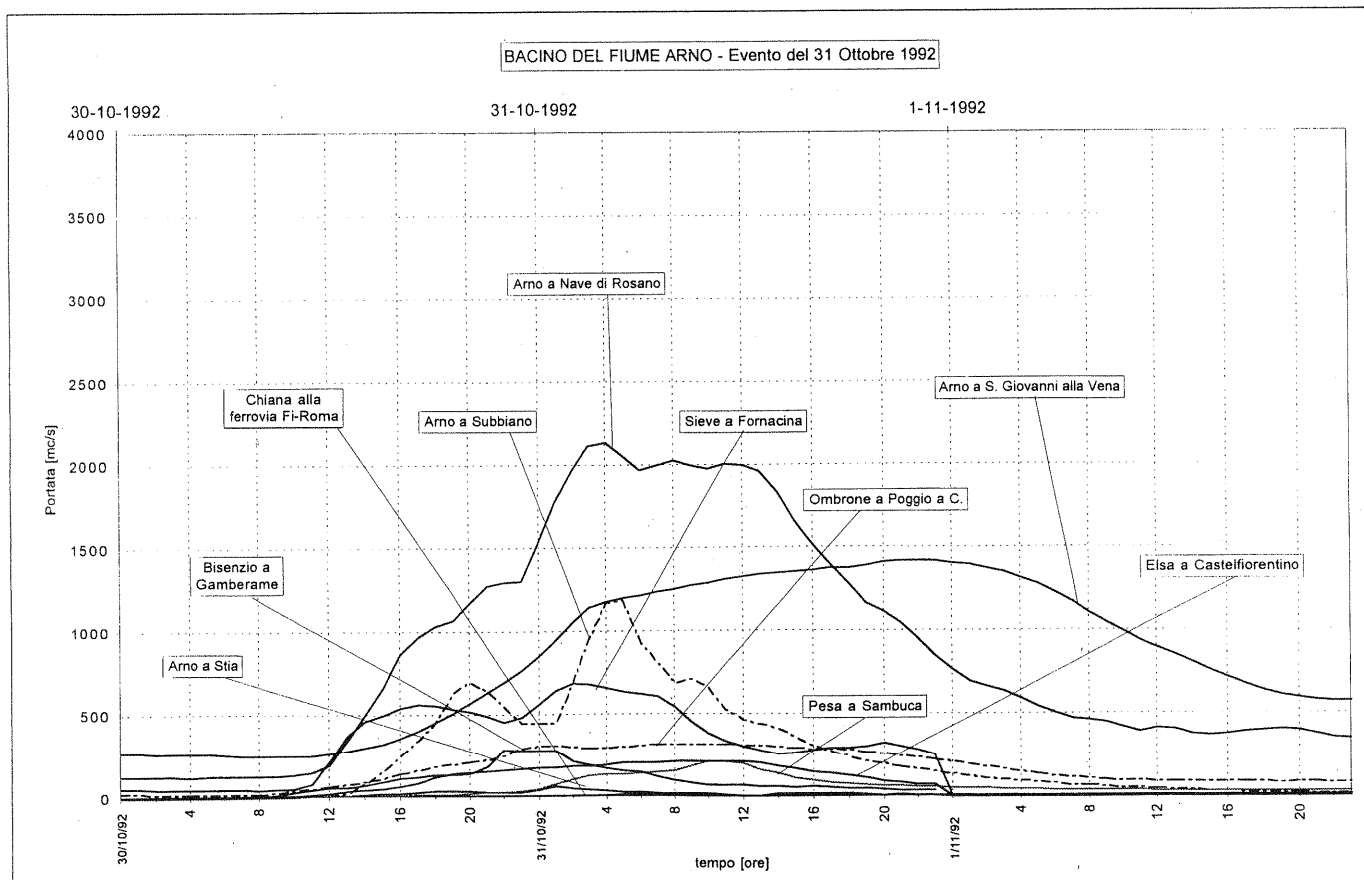
Le condizioni di valle per ciascun tratto

Per ciascun tratto sono state definite nella sezione di valle le scale di deflusso.

Per i tratti che comprendono le dighe di Levane e La Penna la condizione di valle è imposta dalle modalità di regolazione degli organi di scarico. Dove sono attivi più di un organo di scarico, i parametri della scala di deflusso sono stati ricostruiti interpolando numericamente i valori delle portate evacuate per i vari livelli idrometrici.



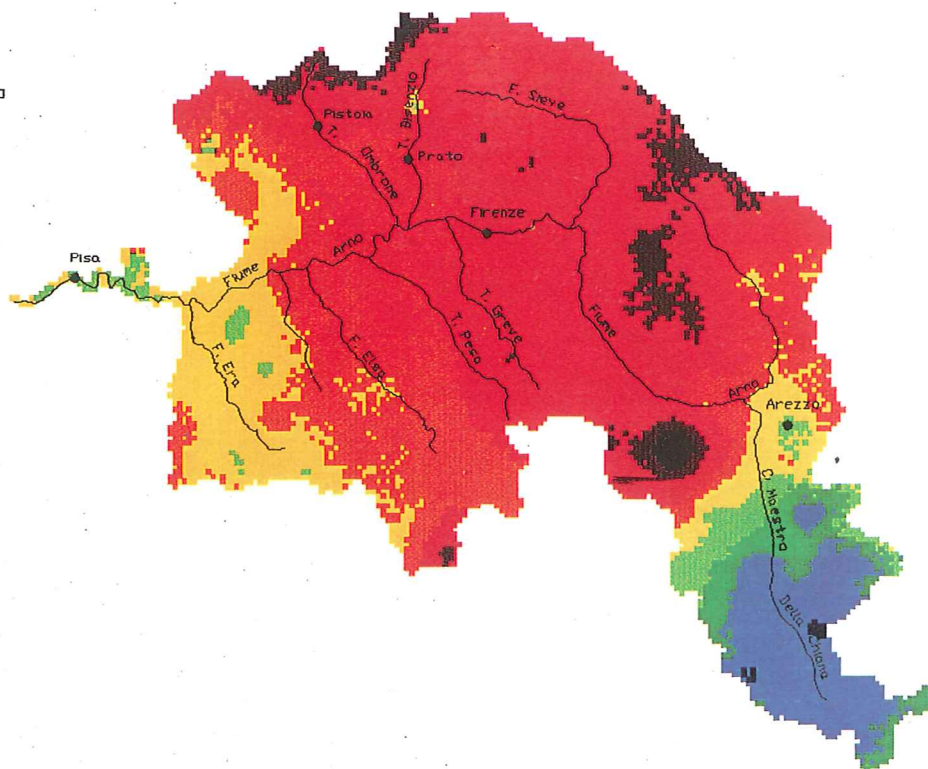
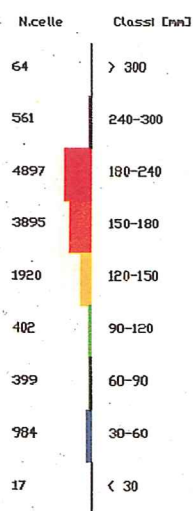
Eventi alluvionali di riferimento per il piano di bacino: 1966 e 1992 - Confronto tra gli idrogrammi di piena dell'Arno e degli affluenti nei due eventi significativi verificatisi dal 3 al 6 Novembre 1966 e dal 29 Ottobre all'1 Novembre 1992, durante i quali si raggiunsero a Firenze portate rispettivamente di circa 4.100 m³/s e 2.200 m³/s.



BACINO FIUME ARNO

Precipitazione dal 03-11-66 ore 9 al 06-11-66 ore 9

Raster 800x800 - Numero di celle 13139

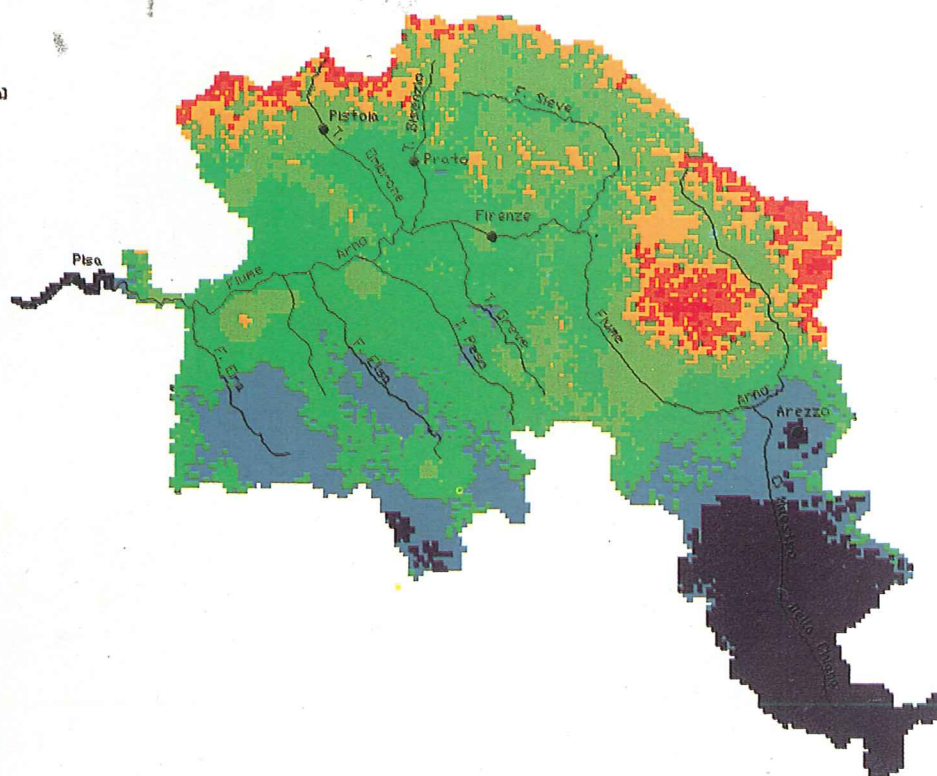
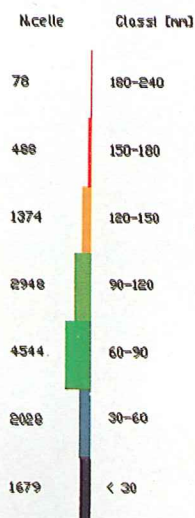


Eventi alluvionali di riferimento per il piano di bacino: 1966 e 1992 - Confronto tra la quantità delle precipitazioni e la loro distribuzione sul bacino dell'Arno negli eventi verificatisi dal 3 al 6 Novembre 1966 e dal 29 Ottobre all'1 Novembre 1992.

BACINO FIUME ARNO

Precipitazione dal 29-10-92 ore 9 al 01-11-92 ore 9

Raster 800x800 - Numero di celle 13139





Evento alluvionale del 4 novembre 1966 - Firenze: l'Arno nel centro cittadino (Italfoto Gieffe).



L'Arno a Pisa - La foto evidenzia, nel centro della città, il restringimento dell'alveo del fiume, che limita il transito delle portate di piena. Lo scolmatore di Pontedera, a monte, mitiga oggi gli effetti di tale situazione anche se in maniera non sufficiente nel caso di eventi straordinari.



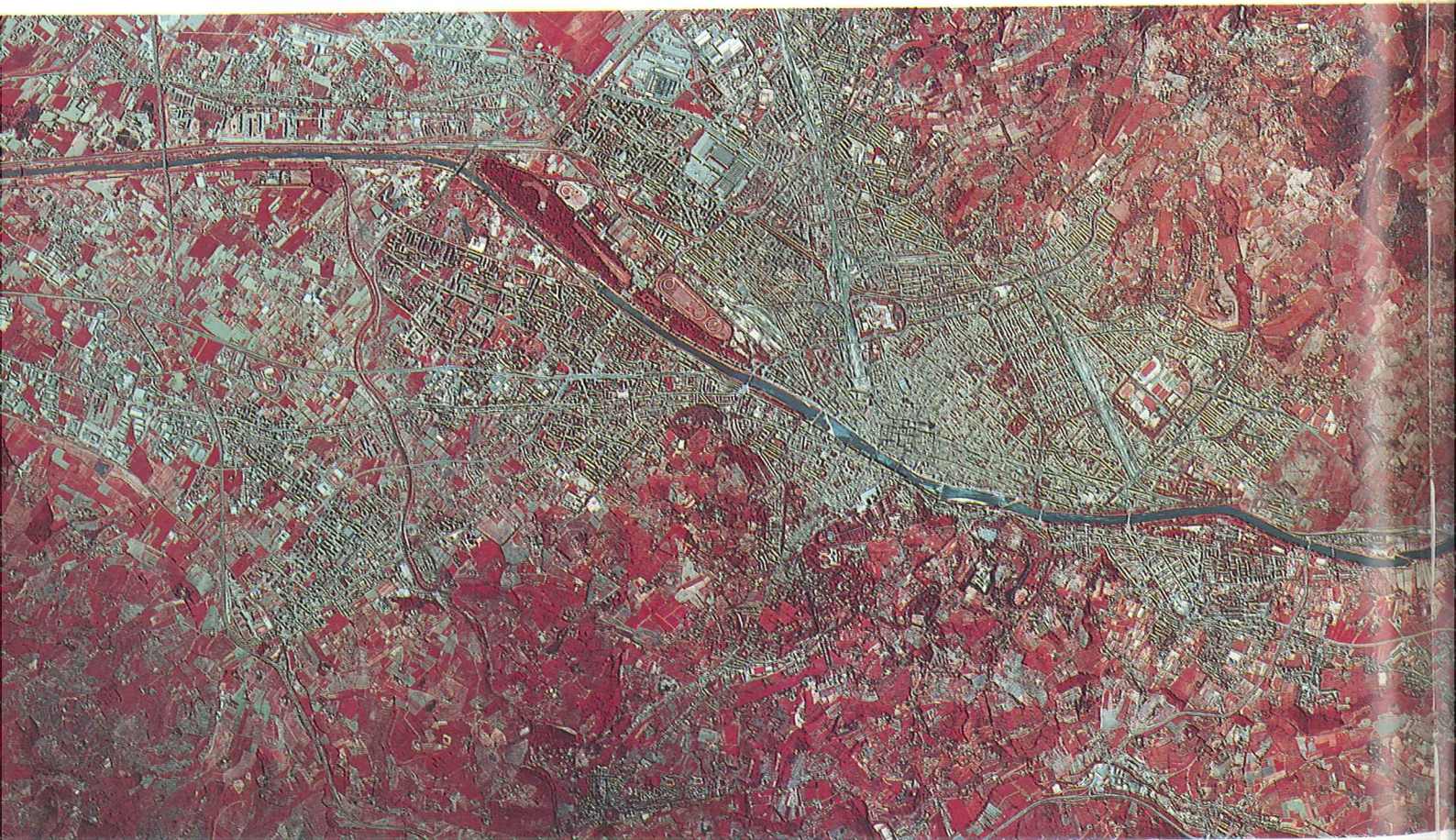
Interventi recenti di difesa idraulica - L'Arno nel tratto che attraversa Firenze (in alto) e un particolare (in basso) che evidenzia il restringimento dell'alveo in corrispondenza di Ponte Vecchio (al centro della foto) e a valle del Ponte della Vittoria (a sinistra), all'inizio delle Cascine.

Fra gli interventi realizzati dopo l'alluvione del 1966, è stata incrementata localmente la portata di piena che può transitare nell'Arno nel centro di Firenze, portandola da 2.500 a 3.100-3.400 m³/s senza franco, sbassando le platee di fondazione di Ponte Vecchio e di Ponte alle Grazie e innalzando le spallette del Lungarno.

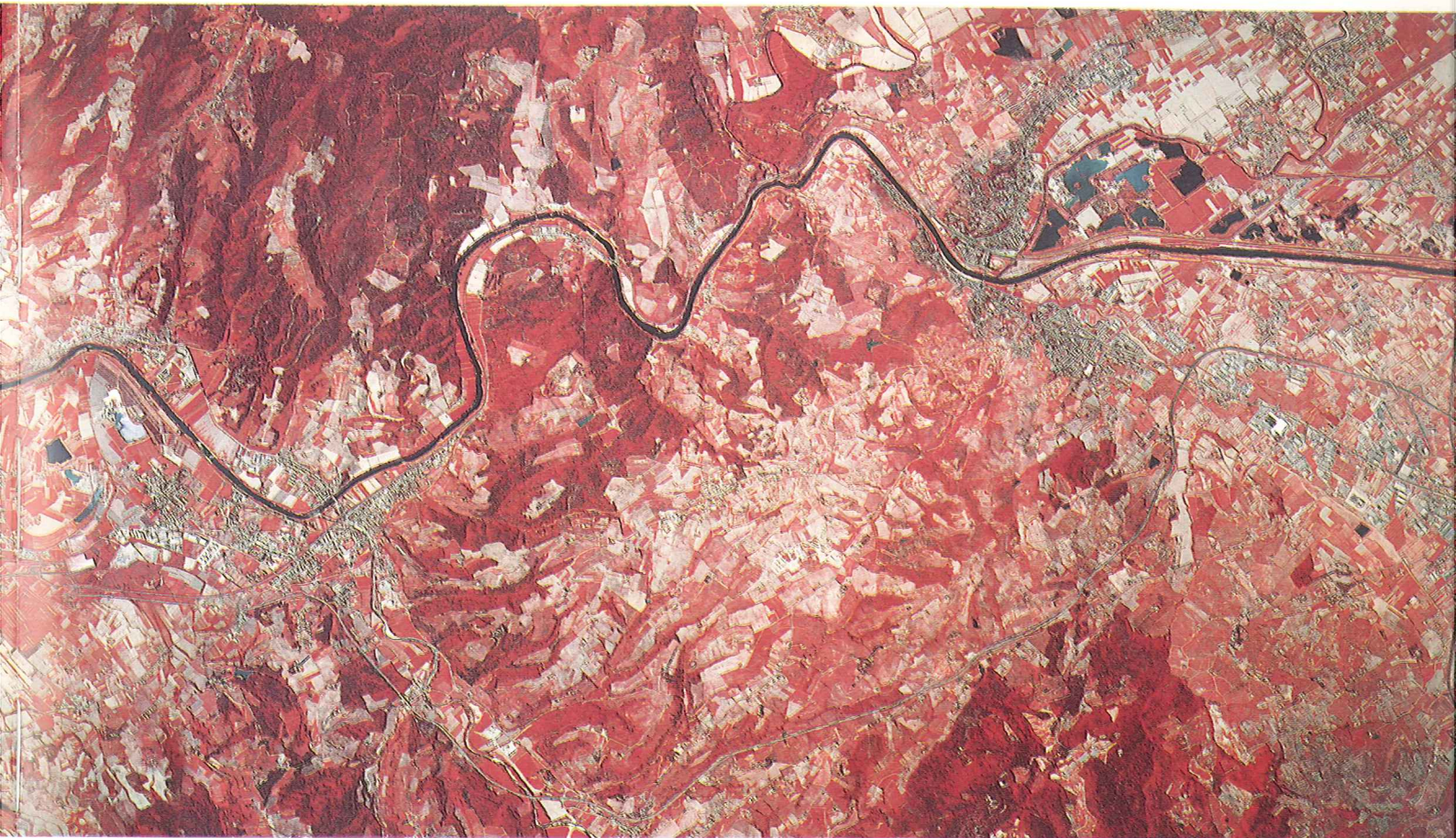




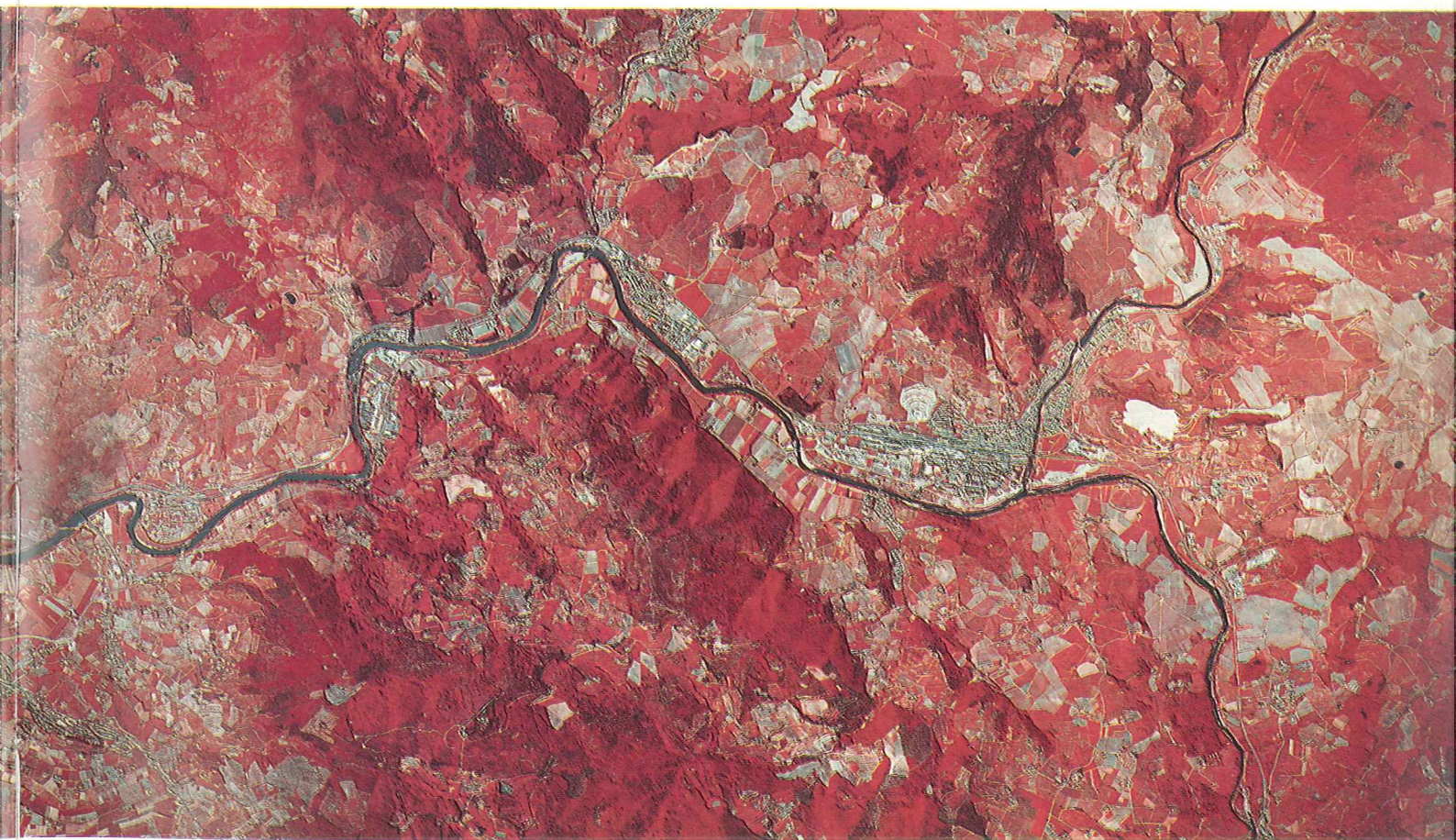
L'ARNO: tratto da S. Croce sull'Arno (Pisa) a Signa (Firenze) - Il fiume, a valle di Firenze, si presenta completamente canalizzato e stretto fra gli argini, secondo la sistemazione della metà dell'800. L'Arno attraversa incassato la stretta montuosa della Gonfolina, conservando solo qui i meandri, che una volta caratterizzavano la pianura e dei quali resta traccia nel cosiddetto "Arno Vecchio", in loc. Fibbiana, a est di Empoli (al centro della foto) e nella confluenza del F. Bisenzio con l'Arno, in prossimità di Signa (a destra nella foto),



L' ARNO: tratto da Firenze a Pontassieve (Fi) - Il fiume attraversa Firenze (a sinistra della foto) completamente canalizzato. Nel centro della città si nota il restringimento dell'alveo all'altezza di Ponte Vecchio, che storicamente ha rappresentato un punto critico per il deflusso delle piene. A questo proposito si ricorda che il ponte fu distrutto dall'evento alluvionale del 1° novembre 1333: dopo la piena del 4 novembre 1966 sono state abbassate le platee di fondazione del ponte stesso e rialzate le spallette del Lungarno in modo da incre-



dove ai "Renai" sono presenti specchi d'acqua, dovuti all'affioramento della falda freatica in vecchie escavazioni di sabbia. Nella foto sono visibili anche, a sinistra e a destra di Empoli, le confluenze con l'Arno rispettivamente dei fiumi Elsa e Pesa e, più a monte, in destra d'Arno, si intravede l'immissione del F.Ombrone Pistoiese in loc. Porto di Mezzo.



mentare la portata massima defluibile, dai 2500 m³/s del 1966 ai 3.100-3.400 m³/s attuali. Nella foto sono visibili anche: in sinistra, a valle di Firenze, la confluenza del F. Greve in Arno presso Mantignano; in destra, poco più a est, l'immissione del T. Mugnone al limite del parco delle Cascine. La foto mostra anche la confluenza del F. Sieve con l'Arno. Si osservi come, nel tratto da Firenze a Pontassieve, le aree di pertinenza fluviale, in tempi recenti siano state occupate da costruzioni a carattere residenziale e industriale.



Autorità di Bacino
DEL FIUME ARNO



Autorità di Bacino
BACINO PILOTA DEL FIUME SERCHIO

Carta della Permeabilità

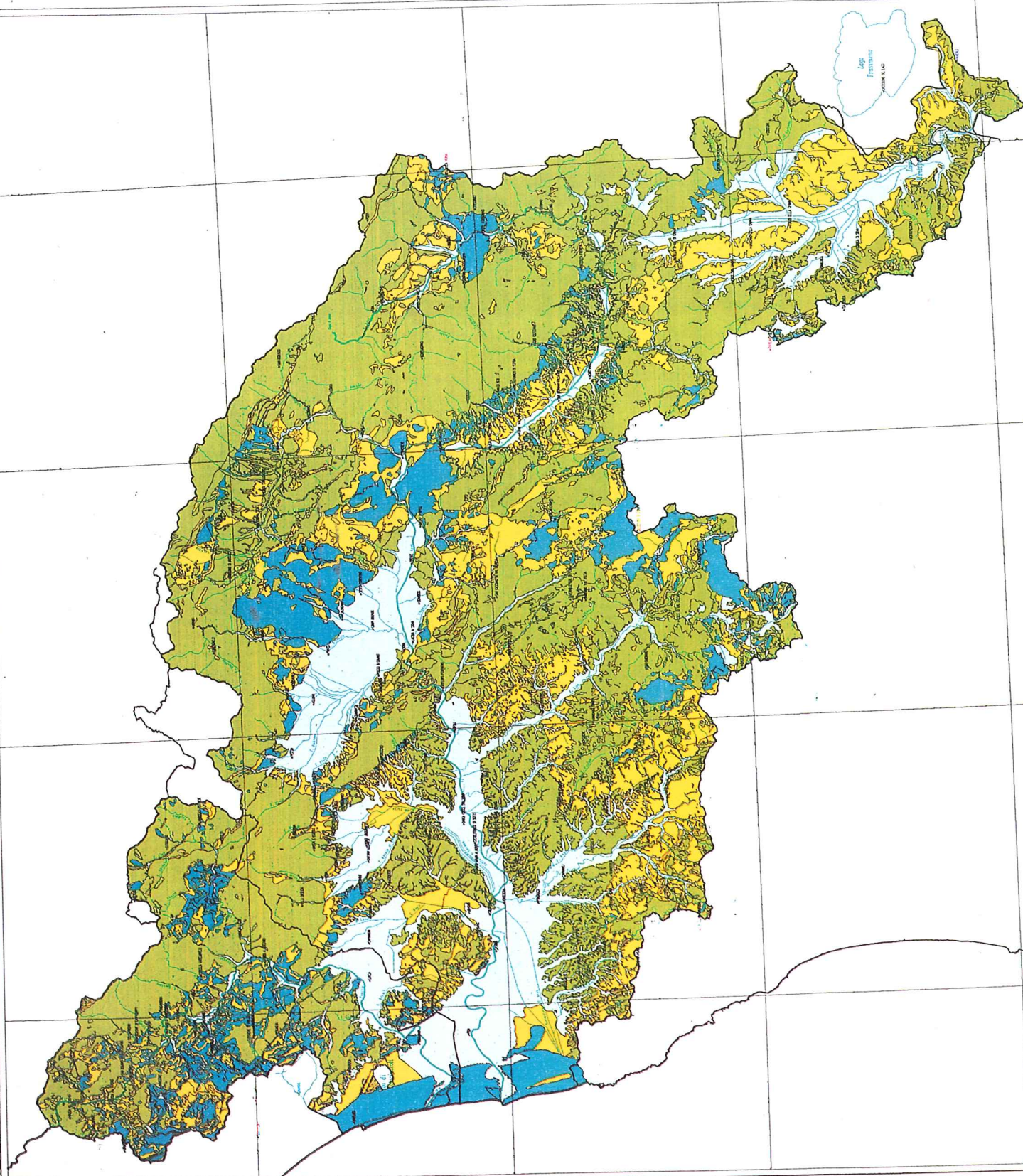


Proiezione UTM

- Permeabilità alta
- Permeabilità medio alta
- Permeabilità media
- Permeabilità bassa



La base cartografica di riferimento adottata è costituita dai quadretti in scala 1:50000 della Regione Toscana, aggiornati con dati del 1990 del tipo "A" (carta di dettaglio) e "B" (carta di sintesi) della serie "A" e "B". La cartografia è stata elaborata dalla Regione Toscana, Servizio Regionale per la Protezione dell'Ambiente, in collaborazione con l'Autorità di Bacino del Fiume Arno e l'Autorità di Bacino del Fiume Serchio.





Trasformazioni agricole recenti e impermeabilizzazione del territorio - Nella pianura pesciatina, di cui un esempio è rappresentato nella figura, e in quella pistoiese si sono di recente diffuse strutture coperte per il vivaismo e la floricoltura in serra, che hanno reso impermeabile una forte percentuale di terreno agricolo.

L'intensificarsi dell'attività vivaistica e floricola ha stimolato la costruzione di un grande numero di impianti coperti, di notevole superficie singola e complessiva; nei terreni, dove si praticava in passato un'agricoltura di pieno campo con connesse opere di sistemazione idraulico-agrarie per la regimazione delle acque, si sono realizzate serre, tendoni, gallerie, con corredo di strade, piazzali ed altri servizi: congiuntamente anche gli edifici ad uso abitativo si sono moltiplicati. Si è resa in tal modo letteralmente impermeabile una notevole frazione di quei terreni con corsi d'acqua le cui caratteristiche di sezione e pendenza sono però rimaste inalterate, divenendo quindi insufficienti al contenimento delle portate fortemente aumentate per l'impermeabilizzazione.

La trasformazione ha comportato infatti una riduzione della capacità d'invaso delle aree, una riduzione dei tempi di corrivazione, con conseguente aumento del coefficiente di deflusso. L'effetto combinato di tali alterazioni idrologiche ha avuto come conseguenza che la rete idraulica di raccolta e conduzione dell'acqua non è più adeguata alle necessità e quindi con insolita frequenza si hanno esondazioni e prolungati ed estesi allagamenti. E' da osservare che in generale si tratta inoltre di zone bonificate, aventi pendenze minime e canalizzazioni dimensionate in rapporto all'utilizzazione agricola, alle cui esigenze la bonifica si rivolgeva.

Si calcola, nell'esempio della figura che rappresenta la situazione nel 1990, che la riduzione di circa il 20% del terreno destinato a coltivazioni di pieno campo (oggi occupato da impianti coperti) abbia comportato un aumento delle portate superiori al 50%.

Anche in zone collinari l'abbandono dell'agricoltura ha portato inevitabilmente ad alterazioni idrauliche che si ripercuotono anche a valle. La diminuita efficacia delle opere di sistemazione idraulico-agraria, non più mantenute per l'assenza degli agricoltori, non è stato il solo elemento che ha determinato il peggioramento delle condizioni idrauliche: i nuovi metodi di coltivazione legati alle esigenze di un'agricoltura apparentemente più redditizia e gli effetti di direttive che inducono alla rinuncia a coltivare i terreni destinandoli al "set-aside", richiedendo tuttavia il mantenimento della loro fertilità, stanno producendo danni di notevole entità.

(da S. Grazi, 1995)



Sistemazioni idraulico-forestali e di difesa del suolo nelle aree montane - Esempi di "briglie", ben inserite nell'ambiente montano naturale, lungo un fosso minore del Falterona (in alto) e nell'alveo di un torrente del Casentino (in basso). Le opere di correzione dei corsi d'acqua montani erano il risultato di interventi organici sui bacini montani, iniziati nella prima metà dell'Ottocento e sviluppati nei primi decenni di questo secolo.



Dagli anni Sessanta si è assistito a una progressiva perdita di efficacia degli interventi; a livello di bacino sono state censite oltre 2.700 briglie, delle quali oggi circa 900 presentano danni medio-gravi e oltre 700 risultano parzialmente danneggiate (foto S. Grazi).

Tabella 5.1 - Opere trasversali lungo il corso dell'Arno

Ponti	Sezione	Sottobacino
Ponte Foderino	1551	Casentino
Ponte a Poppi	1510	"
Ponte di Toppoli	1450	"
Corsalone	1420	"
Rassina	1360	"
Bacino Ferroviario	1252	"
Subbiano	1210	"
Subbiano SS 71	1200	La Penna
Capolona	1170	"
Capolona ferroviario	1160	"
Capolona SS 71	1130	"
Giovi passerella	1101	"
Buon Riposo	1050	"
Ponte a Buriano	987	"
Rondine ferroviario	970	"
Laterina	946	Levane
Romito	932	"
Viadotto autostradale Romita	916	"
Levane	901	Valdarno Sup. 1
Montevarchi ferroviario	891	"
Montevarchi	870	"
S. Giovanni (a monte)	848	"
S. Giovanni (a valle)	842	"
Figline	810	"
Figline ferroviario	799	"
Incisa ferroviario	785	"
Incisa (a monte)	780	"
Incisa (a valle)	770	"
Incisa ferroviario LL	759	Valdarno Sup. 2
Incisa ferroviario DD	759	"
Ponte d'Annibale	752	"
Viadotto autostrada	742bis	"
Leccio	742	"
Rignano	728	"
S. Ellero ferroviario	709	"
Rosano	678	Valdarno Sup. 3
Pontassieve	672	"
Rovezzano ferroviario	626	"
Ponte dell'Indiano	537	Valdarno Medio
Viadotto autostradale Brozzi	527	"
Signa (a monte)	508	"
Signa (a valle)	503	"
Camaioni ferroviario	460	"
Camaioni	451	"
Montelupo F.no	428	"
Empoli (a monte)	390	"
Empoli (a valle)	381	"
Marcignana	362	"
Fucecchio	336	Valdarno Inf.
S. Croce sull'Arno	322	"
Castelfranco di Sotto	302	"
Ponte alla Navetta	259	"
Calcinaia	227	"
Calcinaia ferroviario crollato	223	"
S. Giovanni alla Vena	210	"

Traverse	Sezione	Sottobacino
Traverse di Subbiano	1220	Casentino
Traverse di Subbiano	1230	"
Briglia di Capolona	1180	La Penna
Traversa ENEL di Capolona	1150	"
Traversa ENEL di Capolona	1140	"
Opera di deriv. - S. Martino sopr'Arno	1112	"
Traversa di Giovi	1553	"
Opera di derivazione - La Penna	951	Levane
Traversa ENEL - S. Giovanni V.no	837	Valdarno Sup. 1
Traversa 1 - Incisa V.no	775	"
Traversa 2 e 3 - Incisa V.no	767	"
Traversa 4 (monte) - Incisa V.no	752	Valdarno Sup. 2
Ponte di Annibale	752	"
Traversa di Rignano	725b	"
Traversa S. Ellero	717	"
Traversa di Le Sieci	660	Valdarno Sup. 3
Traversa dell'Ellera	653b	"
Traversa di Compiobbi	648b	"
Traversa 1 - Il Girone	635b	"
Traversa 2 - Il Girone	634b	"
Traversa di S. Andrea a Rovezzano	625b	"
Traversa di Rovezzano	620b	"
Traversa Cascine	543	Valdarno Medio
Traversa Porto di Mezzo	497	"
Traversa Camaioni	456c	"
Traversa Fibbiana	415c	"
Traversa La Tinaia	399c	"
Traversa Empoli	379	"
Traversa Bassa	354c	"
Scolmatore Arno	332	Valdarno Inf.

Tabella 5. 2 - Bacini afferenti all'asta principale

Bacino	Progr.	Sezione	Area (Km ²)
Pratovecchio	1	1620	156
Pratovecchio - Campaldino	2	1540	137
Campaldino - Poppi	3	1500	31
Poppi - Bibbiena	4	1440	127
Bibbiena - Corsalone	5	1410	104
Rassina - Rassina	6	1360	109
Corsalone - Rassina	7	1330	44
Rassina - S. Mama	8	1300	28
S. Mama - Subbiano	9	1250	30
Subbiano - Buriano	10	1090	137
Chiana - (Castro)	11	982	1289
Chiana - P.te ferrovia	12	980	102
Chiana - Romito	13	943	92
Romito - Ambra	14	881	296
Ambra - S. Giovanni	15	859	127
S. Giovanni - Figline	16	839	150
Figline - Incisa	17	807	179
Incisa - Rignano	18	742	66
Rignano - Rosano	19	712	130
Sieve	20	688	837
Rosano - Rovezzano	21	659	115
Rovezzano - Mugnone	22	537	104
Greve	23	534	291
Greve - Renai	24	513	380
Renai - Ombrone	25	479	486
Ombrone - Pesa	26	420	375
Pesa - Orme	27	395	88
Orme - La Roffia	28	356	972
La Roffia - Egola	29	329	145
Egola - La Rotta	30	292	123
Padule di Fucecchio	31	267	470
Era	32	246	618

Taratura e verifica dell'evento del Novembre 1966

Per l'evento del Novembre 1966 sono state utilizzate le seguenti misurazioni di portata lungo il corso dell'Arno:

- portate scaricate dalla diga di La Penna;
- portate scaricate dalla diga di Levane;
- idrogramma ricostruito a Rovezzano nell'ambito della perizia del prof. Cocchi;
- massime portate transitate in altre sezioni ricavate sulla base delle tracce lasciate dalla piena.

Per quanto riguarda i livelli idrometrici utilizzati per la verifica abbiamo:

- livelli idrometrici massimi ricostruiti sulla base delle testimonianze raccolte nel bacino del Casentino;
- livelli idrometrici a monte delle dighe ricavati dalla perizia del prof. Cocchi;
- livelli idrometrici a S.Giovanni V.no ricostruiti sulla base delle tracce lasciate dalla piena.

Nella tabella 5.3 sono riportati, per ciascuno dei sottobacini identificati, i valori delle diverse componenti di deflusso.

La simulazione è stata effettuata dalle ore 12 del 3 novembre 1966 alle ore 12 del 5 novembre 1966 con passo di simulazione orario.

Per la diga di La Penna si è supposta una regolazione con scarichi di fondo, diversivo e di superficie aperti nelle condizioni attuali. Per la diga di Levane si è supposto uno scarico a stramazzo con paratorie completamente sollevate.

Il modello idrologico-idraulico è stato tarato, a monte della diga di La Penna, in funzione sia della massima portata calcolata in base alle tracce di piena nella stazione idrometrica di Subbiano che dell'idrogramma delle portate evacuate dalla diga di La Penna.

La portata di colmo stimata dal Servizio Idrografico per Subbiano è di 2250mc/s; nella simulazione si hanno 1900mc/s circa. In figura 5.2 si riporta l'andamento delle portate evacuate nel 1966 dalla diga di La Penna (ricostruite dai periti) e quelle ricostruite dal modello. Come è possibile osservare la ricostruzione ben si adatta alle portate misurate: la massima portata è intorno ai 2500mc/s. L'idrogramma di piena presenta una rapida risalita iniziale, un picco di piena e una parte successiva in cui la portata si mantiene comunque elevata per un lungo periodo di tempo.

Nella figura 5.3 si osserva invece la stessa onda di piena trasferita a Levane e incrementata del contributo dell'interbacino. Anche in questo caso si osserva una buona corrispondenza tra l'idrogramma ricostruito e quello misurato.

La taratura del modello idraulico ha avuto come scopo la stima della scabrezza da attribuire ai diversi tronchi fluviali individuati. Nel caso dei tronchi da Pratovecchio a Subbiano, da Subbiano a La Penna e da La Penna a Levane, un coefficiente di Gauckler-Strickler pari a 24 offre la migliore simulazione in termini di altezze d'acqua e di velocità di propagazione della piena.

Il tronco dalla diga di Levane a Rovezzano (composto dai tratti: Levane - Incisa, Incisa - Nave di Rosano e Nave di Rosano - Rovezzano) è stato tarato al fine di ottenere a Rovezzano un idrogramma confrontabile con quello ricostruito nella perizia del prof. Cocchi. Nella figura 5.4 si riporta l'idrogramma ricostruito dal modello insieme a quello ricostruito dai periti. Si osserva un ottimo accordo tra i due idrogrammi, anche se quello prodotto dal modello risulta avere un volume leggermente superiore.

Per i tratti a valle delle dighe è stato assunto un coefficiente di Gauckler-Strickler pari 30 (tale valore corrisponde di fatto con quello utilizzato nel "Modello Matematico delle Piene dell'Arno" dell'IBM, dove si assumeva mediamente un valore del coefficiente di Manning pari a 0.035).

Tabella 5. 3 - Evento novembre 1966: variabili idrologiche dei bacini afferenti all'asta principale dell'Arno

Bacino	Progr.	Sezione	Precipitazione totale [mm]	Infiltrazione totale [mm]	Volume superf. max [mm]	Volume suolo max [mm]	Volume superf. medio [mm]	Volume suolo medio [mm]	Deflusso suolo tot. [mm]	Deflusso superf. tot. [mm]
Pratovecchio	1	1620	221.1	53.1	4.8	150.9	0.4	124.8	168.5	23.9
Pratovecchio-Campaldino	2	1540	220.9	53.1	4.8	150.9	0.4	124.5	168.2	23.9
Campaldino-Poppi	3	1500	226.8	65.2	4.3	150.9	0.4	132.9	162.1	25.5
Poppi-Bibbiena	4	1440	218.6	60.5	6.1	150.9	0.4	129.9	158.7	24.9
Bibbiena-Corsalone	5	1410	187.3	46.4	6.1	150.9	0.3	122.2	121.4	23.4
Rassina-Rassina	6	1360	183.3	48.4	7.6	146.8	0.3	123.7	135.5	23.7
Corsalone-Rassina	7	1330	161.0	44.3	6.1	133.2	0.3	120.9	117.2	23.2
Rassina-S. Mama	8	1300	161.0	44.3	6.1	133.2	0.3	121.0	117.2	23.2
S. Mama-Subbiano	9	1250	221.7	53.6	4.3	150.9	0.4	125.1	168.6	24.0
Subbiano-Buriano	10	1090	156.7	39.9	17.1	134.8	0.6	123.5	117.3	11.8
Chiana - (Castro)	12	980	81.8	26.0	17.1	134.8	0.3	112.5	56.3	10.8
Chiana-Romito	13	943	231.5	89.7	15.8	183.3	0.7	159.4	142.3	15.3
Romito-Ambra	14	881	232.8	125.3	23.6	170.3	1.1	137.3	108.0	13.1
Ambra-S. Giovanni	15	859	232.1	126.0	23.6	180.7	1.1	137.6	106.7	13.2
S. Giovanni-Figline	16	839	232.8	125.3	23.6	170.3	1.1	137.4	108.0	13.1
Figline-Incisa	17	807	225.1	129.5	23.6	180.7	1.0	138.9	96.0	13.3
Incisa-Rignano	18	742	195.3	133.9	23.6	180.7	0.7	139.7	61.9	13.3
Rignano-Rosano	19	712	214.4	136.8	13.0	180.7	0.8	141.4	78.0	13.5
Rosano-Rovezzano	21	659	183.6	111.2	14.3	136.1	0.8	94.6	72.9	9.0

Tabella 5. 4 - Confronto tra livelli idrometrici misurati e calcolati per l'evento del Novembre 1966

Sezione di riferimento	Denominazione	Livello misurato [m s.l.m.]	Livello calcolato [m s.l.m.]
1530	Campaldino	348.8	349.2
1450	Poppi	326	325.7
1320	Rassina	290	290.4
986	Ponte a Buriano (monte)	206.5	206.8
936	Laterina	175.5	175.8
933	Ponte del Romito (monte)	174.2	174.8
842	S. Giovanni	130.9	132.1

Come detto in precedenza, il confronto delle altezze d'acqua (tab. 5.4) va valutato tenendo presenti le variazioni della geometria delle sezioni tra gli eventi considerati e quelle utilizzate nel modello.

Si osservi che nel Casentino le altezze d'acqua risultano simili a quelle ricostruite dal modello (le quote "misurate" nel Casentino sono state ricavate in base alle testimonianze raccolte individuando i punti sulla cartografia scala 1:10000). Analogamente nelle sezioni a monte delle dighe di La Penna e di Levane i livelli sono confrontabili con i valori di livello riportati sulla perizia del prof. Cocchi

Per la parte a valle di Firenze non è stato possibile effettuare nessuna taratura attendibile che fosse basata sulle misure di portata e livello nel fiume Arno. Infatti a partire da Firenze le ingenti esondazioni hanno fortemente laminato l'onda di piena rendendo di fatto impossibile una stima delle portate transitate nelle diverse sezioni. Si fa infatti osservare che a fronte di una portata di picco a Rovezzano, stimata in 4200mc/s, la portata a S. Giovanni alla Vena è stata di soli 2290mc/s.

Taratura e verifica dell'evento dell'Ottobre 1992

Per l'evento dell'Ottobre 1992 sono state utilizzate le seguenti misure di portata lungo il corso dell'Arno:

- idrogramma di piena a Subbiano;
- idrogramma di piena a Nave di Rosano;
- idrogramma di piena a S. Giovanni alla Vena.

Per quanto riguarda le misure di livello utilizzati per la verifica si è fatto ricorso ai dati delle seguenti stazioni appartenenti alla rete di monitoraggio in tempo reale:

- idrometro di Montevarchi;
- idrometro di Incisa monte;
- idrometro di Montelupo;
- idrometro di Fucecchio valle;
- idrometro di Pontedera.

Nella tabella 5.6 sono riportati, per ciascuno dei sottobacini identificati, i valori delle diverse componenti di deflusso.

La simulazione è stata effettuata dalle ore 8 del 30-10-92 alle ore 8 del 01-11-92 con passo orario.

Nella simulazione dello stato attuale dell'evento Ottobre 1992 la diga di La Penna è stata ipotizzata con scarichi di fondo e diversivo chiusi e solo scarico di superficie attivo. La diga di Levane è stata ipotizzata con un funzionamento a stramazzo e paratorie completamente sollevate.

Tabella 5. 5 - Confronto tra livelli idrometrici misurati e calcolati per l'evento dell'Ottobre 1992

Sezione di riferimento	Denominazione	Livello misurato [m s.l.m.]	Livello calcolato [m s.l.m.]
869	Montevarchi	138.73	138.37
744	Incisa monte	113.4	111.79
465	Montelupo	34.34	35.43
336	Fucecchio valle	23.22	22.37
241	Pontedera	16.2	17.43

In figura 5.6 si riporta l'idrogramma di portata misurato e Subbiano e quello ricostruito dal modello.

In figura 5.7 si riporta l'idrogramma misurato a Nave di Rosano e quello ricostruito dal modello.

Nella figura 5.8 si riporta l'idrogramma misurato a S. Giovanni alla Vena e quello ricostruito, osservando che non è stato considerato l'effetto dello scolmatore d'Arno che ha funzionato prelevando una portata di circa 750mc/s.

Nella tabella 5.5 è riportato, per ciascuno degli idrometri prima elencati, il valore del livello idrometrico misurato e quello calcolato.

La corrispondenza tra i valori misurati e quelli calcolati dal modello presenta degli scostamenti dell'ordine del metro. Ciò è attribuibile in parte alla presenza di fenomeni locali (quasi tutti gli idrometri del sistema di telerilevamento sono posizionati sui ponti), in parte alla differenza tra i valori reali e simulati delle portate che cimentano il canale. Non essendo lo scopo principale del presente lavoro quello di stimare localmente i livelli idrometrici lungo l'asta dell'Arno, ma quello di ricostruire una dinamica di propagazione a scala di bacino, si ritiene che tali scostamenti possano essere accettabili.

Tabella 5. 6 - Evento Novembre 1992: variabili idrologiche dei bacini afferenti all'asta principale dell'Arno

Bacino	Progr.	Sezione	Precipitazione totale [mm]	Infiltrazione totale [mm]	Volume superf. max [mm]	Volume suolo max [mm]	Volume superf. medio [mm]	Volume suolo medio [mm]	Deflusso suolo tot. [mm]	Deflusso superf. tot. [mm]
Pratovecchio	1	1620	106.5	85.7	7.5	63.5	0.1	18.4	21.4	43.6
Pratovecchio-Campaldino	2	1540	131.6	85.5	7.5	63.5	0.2	19.6	46.6	46.6
Campaldino-Poppi	3	1500	126.6	83.6	7.2	58.2	0.2	18.9	43.5	44.8
Poppi-Bibbiena	4	1440	136.8	82.8	7.5	63.5	0.2	18.6	54.5	44.1
Bibbiena-Corsalone	5	1410	157.7	93.1	7.2	57.1	0.2	21.9	65.1	52.1
Rassina-Rassina	6	1360	121.7	79.8	7.2	51.6	0.1	18.9	42.4	44.9
Corsalone-Rassina	7	1330	153.2	94.5	7.2	57.1	0.2	22.6	59.2	53.7
Rassina-S. Mama	8	1300	125.7	83.5	4.1	57.1	0.1	20.3	42.7	48.3
S. Mama-Subbiano	9	1250	129.5	85.3	7.5	63.5	0.2	19.4	44.7	46.1
Subbiano-Buriano	10	1090	63.4	49.1	3.0	55.5	0.0	14.2	14.8	27.1
Chiana - (Castro)	12	980	31.5	31.0	2.2	37.7	0.0	9.4	1.0	17.9
Chiana-Romito	13	943	69.2	67.5	2.8	78.5	0.0	20.7	2.2	39.5
Romito-Ambra	14	881	73.5	66.7	6.4	76.5	0.0	25.2	7.3	48.2
Ambra-S. Giovanni	15	859	113.8	91.5	6.4	85.9	0.1	29.4	22.8	56.2
S. Giovanni-Figline	16	839	117.2	89.6	7.6	85.9	0.1	29.3	28.1	56.0
Figline-Incisa	17	807	115.1	94.8	9.9	91.4	0.1	30.6	20.8	58.4
Incisa-Rignano	18	742	96.9	81.5	8.7	82.2	0.1	27.7	15.9	52.9
Rignano-Rosano	19	712	103.4	85.9	10.1	82.2	0.1	28.8	18.0	54.9
Rosano-Rovezzano	21	659	93.8	78.7	13.6	75.1	0.1	39.8	15.6	76.3
Rovezzano-Mugnone	22	537	109.1	84.6	4.9	130.8	0.1	82.5	25.0	7.9
Greve	23	534	86.4	59.7	17.6	127.0	0.2	65.5	27.2	6.3
Greve-Renai	24	513	98.0	69.1	17.6	128.8	0.2	75.3	29.4	7.2
Renai-Ombro	25	479	87.7	64.7	12.6	132.5	0.3	73.5	23.5	7.0
Ombro-Pesa	26	420	79.7	58.7	10.9	114.0	0.2	66.4	21.5	6.4
Pesa-Orme	27	395	89.2	71.8	18.6	81.9	0.9	29.0	17.8	2.8
Orme-La Roffia	28	356	77.4	64.4	18.1	73.3	0.7	25.0	13.5	2.4
La Roffia-Egola	29	329	86.1	82.5	20.0	85.1	0.2	31.7	4.1	6.0
Egola-La Rotta	30	292	93.0	82.6	20.0	85.1	0.6	33.7	10.9	6.4
Padule di Fucecchio	31	267	99.9	90.2	20.0	108.1	0.5	38.6	10.1	7.3
Era	32	246	92.7	81.4	20.0	85.1	0.6	27.4	11.8	5.2

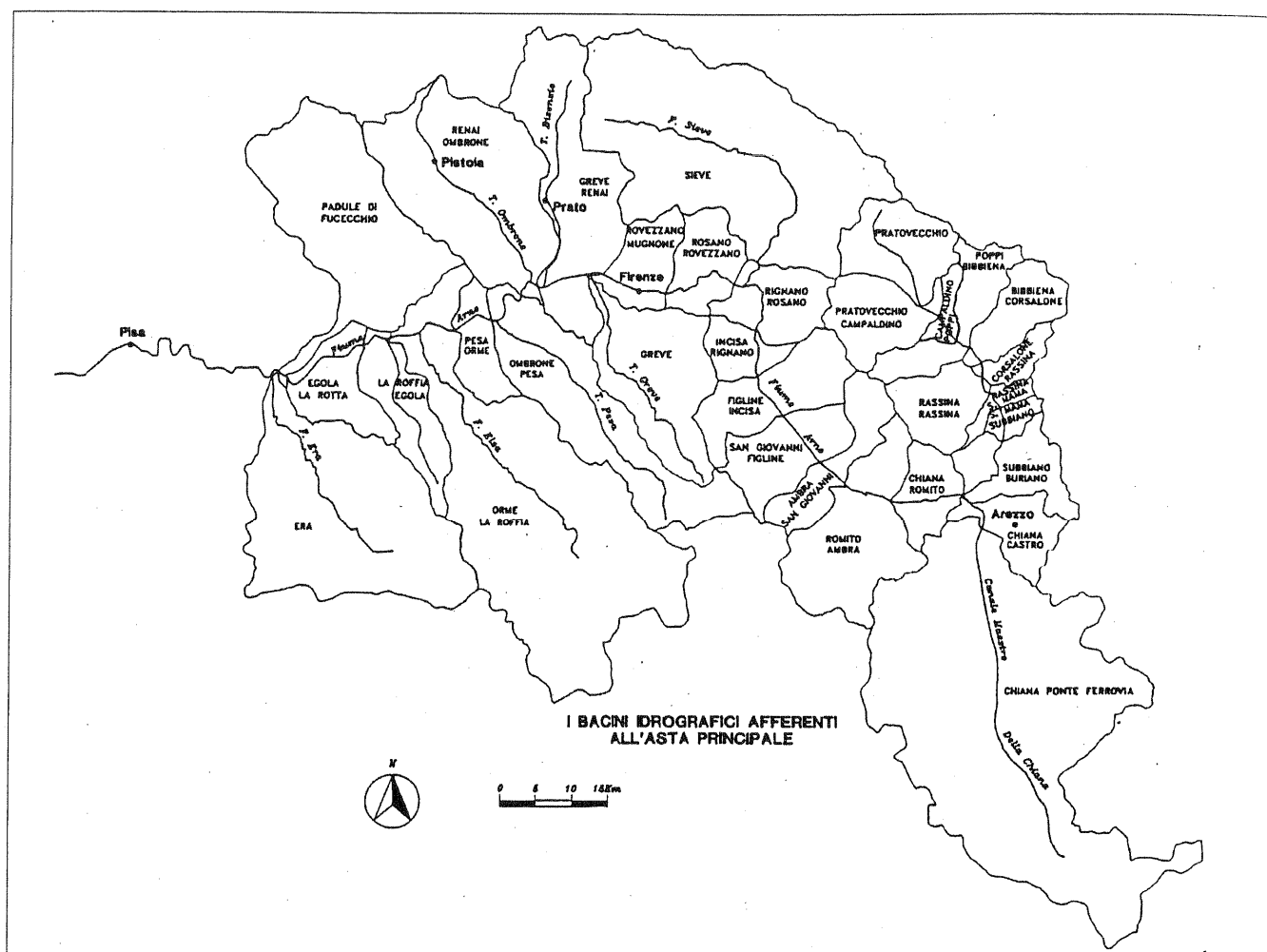


Fig. 5.1 - I bacini idrografici afferenti all'asta principale dell'Arno

5.2.4 - La propagazione delle piene lungo il corso dell'Arno: condizioni di deflusso e capacità di laminazione attuali

Allo stato attuale il corso dell'Arno si presenta con numerosi interventi di arginatura che hanno limitato fortemente la capacità di laminazione naturale delle piene; l'unico tratto in cui tali interventi sono circoscritti a situazioni locali è costituito dal Casentino. A valle delle dighe di Levane e La Penna, le aree che in origine si inondavano in occasione degli eventi di piena più significativi, fornendo quindi un naturale controllo e mitigazione delle portate, sono attualmente protette da strutture arginali che limitano il fiume al solo alveo inciso. Tale assetto, che determina un aggravio del carico idraulico verso valle, non evita comunque il verificarsi di estese esondazioni qualora tali strutture arginali vengano sormontate. In questo senso il fiume tende a recuperare, in modo incontrollato, quelle aree che naturalmente gli competerebbero. Per esempio, tutto il Valdarno Inferiore, e la stessa piana fiorentina (città di Firenze inclusa), fungono di fatto, nelle condizioni attuali, da area di laminazione della piena.

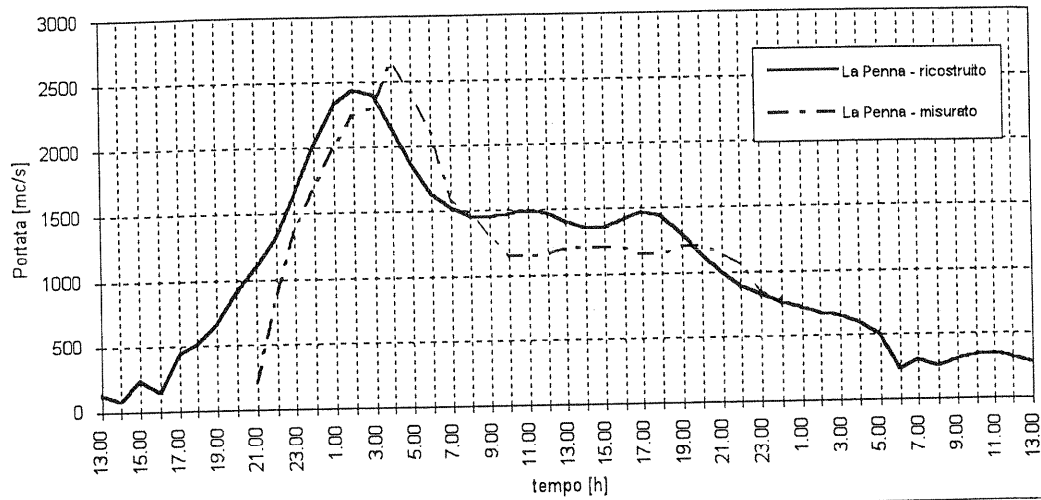
Di seguito si fornisce una descrizione sintetica delle principali caratteristiche degli eventi di piena considerati nella presente analisi.

L'evento del Novembre 1966

L'evento del 1966 ha fortemente cimentato tutto il reticolo idrografico del bacino dell'Arno. In particolare, a Subbiano si è verificato un idrogramma caratterizzato da un picco iniziale di rilevante entità (1900

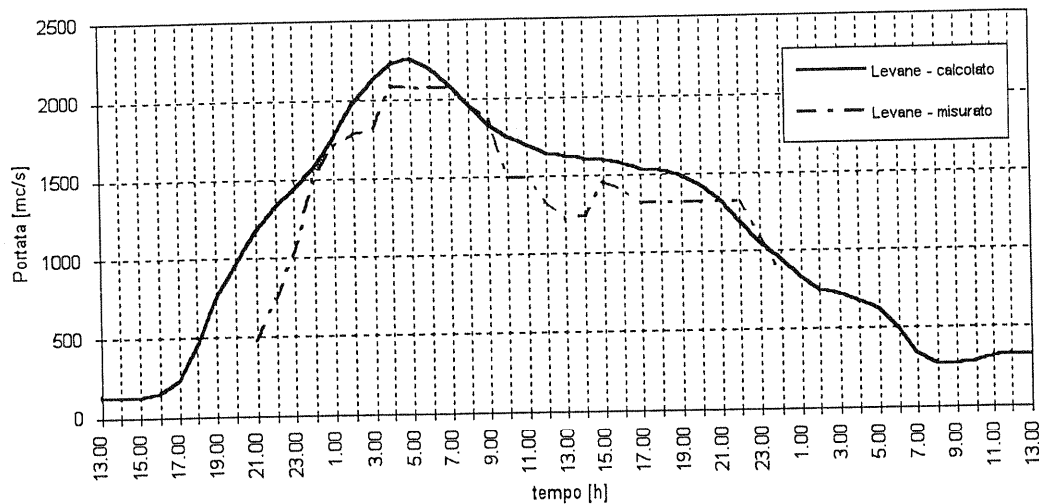
Evento del Novembre 1966 - Taratura a La Penna
Onde di piena a partire dalle ore 13:00 del 03-11-1966

fig. 5.2



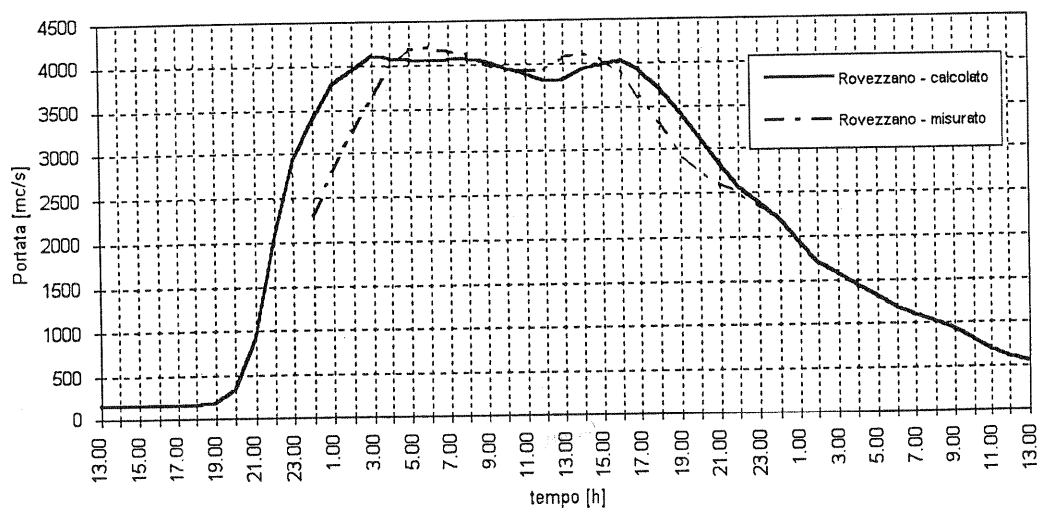
Evento del Novembre 1966 - Taratura a Levane
Onde di piena a partire dalle ore 13:00 del 03-11-1966

fig. 5.3



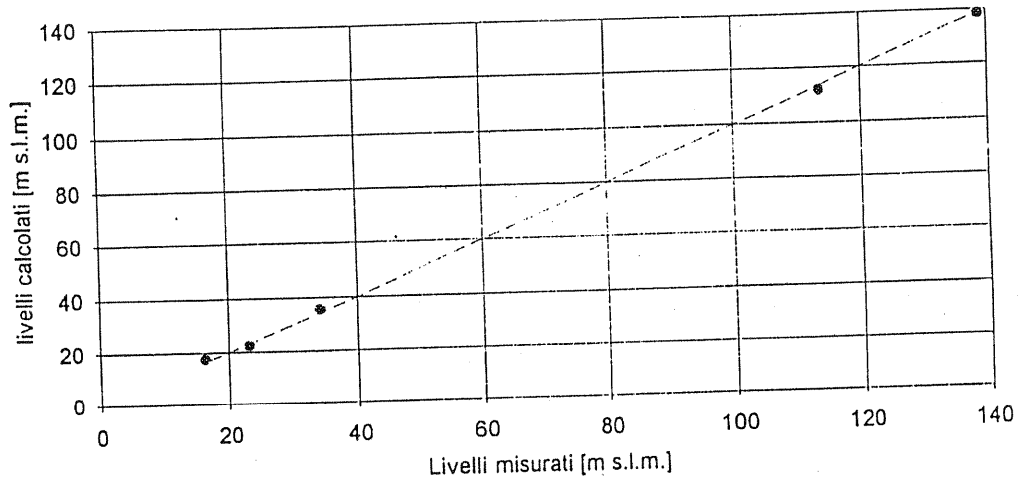
Evento del Novembre 1966 - Taratura a Rovezzano
Onde di piena a partire dalle ore 13:00 del 03-11-1966

fig. 5.4



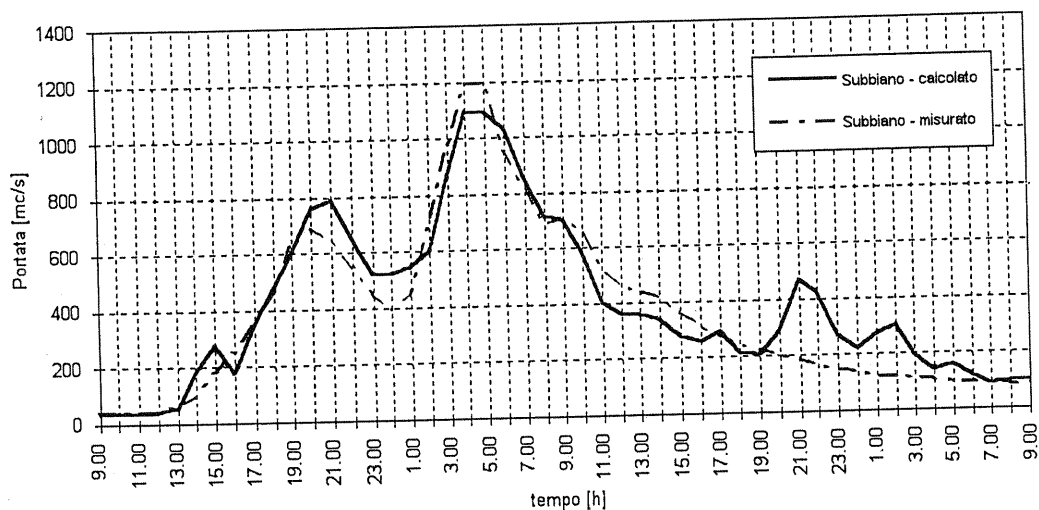
Evento dell'Ottobre 1992
Confronto tra i livelli idrometrici "misurati" e calcolati

fig. 5.5



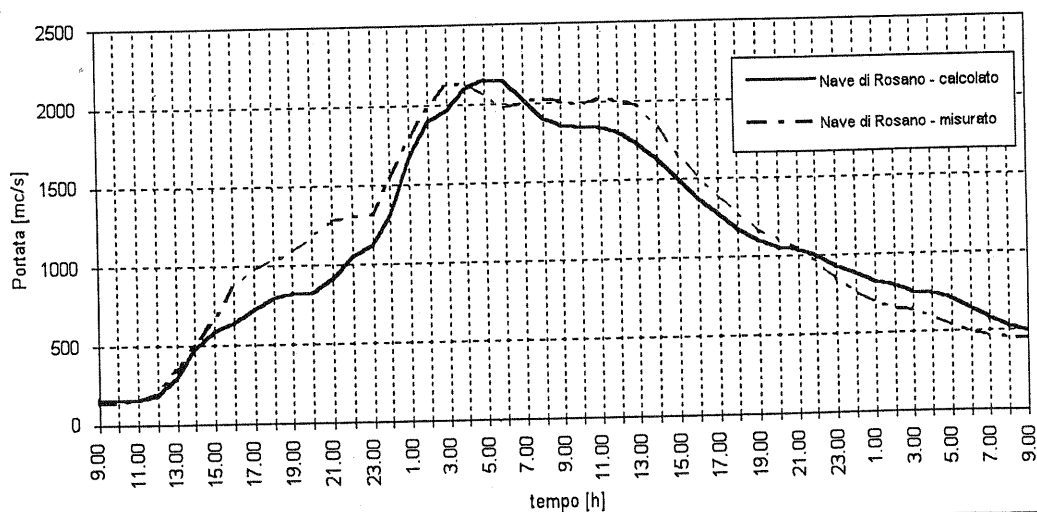
Evento dell'Ottobre 1992 - Taratura a Subbiano
Onde di piena a partire dalle ore 9:00 del 30-10-1992

fig. 5.6



Evento dell'Ottobre 1992 - Taratura a Nave di Rosano
Onde di piena a partire dalle ore 9:00 del 30-10-1992

fig. 5.7



mc/s) e da una fase di portata elevata (1100 mc/s) nella seconda parte della piena per una durata di circa 12 ore. Il primo picco è stato prodotto in prevalenza dalla parte terminale del bacino che è stata interessata da precipitazioni di notevole entità, mentre la parte superiore ha contribuito in modo maggiore al sostegno della piena nella fase successiva.

Nella figura 6.2 e 6.3 si riportano gli idrogrammi a Levane e a La Penna: dai diagrammi si osserva il fenomeno della traslazione della piena associato a un aumento della portata e dei volumi, dovuto sia agli affluenti minori tra Subbiano e La Penna sia al contributo del Canale della Chiana. La portata di picco in uscita da La Penna è di circa 2500 mc/s.

Come detto anche in precedenza, si è assunto che alla diga di La Penna fossero aperti gli scarichi di fondo, il diversivo e quelli di superficie.

Nel tratto dalla diga di La Penna alla diga di Levane la piena subisce una attenuazione del picco, nonostante il contributo rilevante dell'interbacino, soprattutto a causa degli allagamenti verificatisi nella piana di Laterina e a monte del ponte a Buriano, che in occasione della piena del 1966 provocò un notevole rigurgito (pare anche a causa di una parziale ostruzione delle luci dovuta alla presenza di materiale flottante accumulatosi a monte del ponte).

A Incisa, come si può osservare nella figura 6.4, la piena assume una forma caratterizzata da tre parti, la prima dovuta al contributo dell'interbacino (il solo fiume Ambra fornì in tale occasione un contributo di circa 1000 mc/s) che rappresenta la componente anomala dell'evento del Novembre 1966, con un picco superiore ai 3000 mc/s; una parte centrale, sostenuta dai deflussi della diga di Levane e una parte terminale, dovuta ancora agli apporti dell'interbacino cimentato da un ultimo periodo di precipitazioni.

A Nave di Rosano la piena assume una forma piatta con portate al disopra dei 3500 mc/s per un periodo di circa 18 ore. Come si può osservare dal confronto tra gli idrogrammi riportati in figura 6.5, la piena viene incrementata decisamente dall'immissione della Sieve che si presenta con portate superiori agli 800 mc/s già alle ore 01 del 4 Novembre 1966 per arrivare ai circa 1350 mc/s alle 15 dello stesso giorno. Il secondo picco chiaramente visibile è quindi provocato dal picco di piena della Sieve, sostenuto anche dal picco secondario dell'interbacino visibile già nell'idrogramma di Incisa.

A Rovezzano, la piena presenta due picchi intorno ai 4100 mc/s e un volume complessivo di circa 400 milioni di m³ dalle 12 del 3 Novembre alle 12 del 5 Novembre 1966.

Per la parte a valle di Firenze non è stato possibile procedere con la simulazione dell'evento del 1966, in quanto l'entità delle esondazioni ha reso impossibile qualsiasi operazione di taratura del modello.

Si è comunque proceduto ad una simulazione di massima, assumendo in uscita da Firenze un'idrogramma teorico troncato a 3500 mc/s.

Tale simulazione, per il tratto del fiume Arno da Firenze a S. Giovanni alla Vena, fornisce un valore indicativo dei volumi esondati pari a circa 160 milioni di m³.

L'evento dell'Ottobre 1992

L'evento dell'Ottobre 1992 ha cimentato specialmente il reticolo idrografico secondario: molte sono state le esondazioni sugli affluenti mentre per l'Arno, nonostante l'entità della piena, non si sono avuti problemi particolari di smaltimento ad eccezioni di alcuni tratti localizzati.

Questo evento ha prodotto nella stazione di Subbiano una piena composta da due picchi, uno iniziale di minore entità e uno principale, che ha raggiunto una portata intorno ai 1100 mc/s.

Nella propagazione da Subbiano a La Penna e da La Penna a Levane, la piena non ha modificato sostanzialmente la sua forma.

Per la diga di La Penna si è supposta una regolazione con i soli scarichi di superficie, mentre per la diga di Levane si è assunta una regolazione con paratoie completamente sollevate. Da notare il contributo assai ridotto del Canale della Chiana.

Tabella 6.1 - 6.2 - Fiume Arno: simulazione dell'evento di piena 1966 (portate - livelli idrometrici)

portate

Casentino sez. portata [mc/s]	La Penna sez. portata [mc/s]	Levane sez. portata [mc/s]	Valdsup 1 sez. portata [mc/s]	Valdsup 2 sez. portata [mc/s]	Valdsup 3 sez. portata [mc/s]
1620	634,9	1210	1870,3	954	2418,1
1610	637,4	1200	1868,2	951	2410,9
1600	634,8	1180	1856,7	948	2396,7
1590	628,1	1170	1858,2	947	2380,3
1589	627,4	1160	1859,3	946B	2379,9
1580	620,6	1150	1859,5	946	2379,4
1570	608,7	1140	1859,5	945	2379,0
1560	605,1	1130	1858,6	945	2378,7
1551	598,8	1120	1857,4	943	2439,8
1540	1018,3	1112	1858,4	943B	2432,8
1539	1012,3	1111	1858,3	942	2410,5
1531	932,3	1110	1858,2	941	2368,5
1530	942,8	1100	1860,3	940	2340,3
1529	947,0	1101	1862,1	939	2335,7
1520	937,3	1090	2302,7	938	2330,6
1510	925,2	1080	2301,9	937	2325,8
1500	947,5	1070	2300,3	936	2324,1
1490	934,6	1060	2299,7	935	2323,1
1489	928,5	1050	2302,3	934	2322,5
1480	869,9	1040	2294,8	933	2322,5
1470	835,6	1039	2292,9	932	2322,4
1460	821,7	1030	2254,6	931	2322,4
1450	797,3	990	2192,7	930	2322,3
1440	1014,2	988	2162,2	929	2321,6
1439	1012,2	987	2162,0	928	2321,4
1436	1007,3	986	2161,6	927	2321,1
1435	1006,1	984	2436,8	926	2318,9
1434	1006,9	982	2501,3	925	2318,4
1430	993,7	980	2496,7	924	2316,2
1420	992,7	978	2494,8	923	2312,7
1410	1265,3	977	2484,7	922	2301,1
1409	1264,9	972	2463,6	921	2293,8
1401	1250,0	968	2442,0	920	2283,6
1400	1248,9	966	2437,6	919	2276,3
1399	1248,1	961B	2433,7	918	2265,1
1390	1228,4	961	2429,8	916	2255,5
1380	1228,8	957		914	2255,9
1370	1235,0			912	2257,1
1360	1643,1			910	2258,4
1350	1613,6			908	2259,9
1349	1612,3			905	2259,96
1341	1589,6				
1340	1587,8				
1339	1585,5				
1331	1603,1				
1330	1699,2				
1329	1698,3				
1320	1670,8				
1310	1708,8				
1300	1733,9				
1290	1726,8				
1280	1730,9				
1270	1732,3				
1260	1731,9				
1252	1731,6				
1250	1827,1				
1240	1828,7				
1230	1835,5				
1220	1835,7				
1210	1837,8				

livelli idrometrici

Casentino sez. livello [m s.l.m.]	La Penna sez. livello [m s.l.m.]	Levane sez. livello [m s.l.m.]	Valdsup 1 sez. livello [m s.l.m.]	Valdsup 2 sez. livello [m s.l.m.]	Valdsup 3 sez. livello [m s.l.m.]
1620	394,8	1210	256,7	954	182,9
1610	388,7	1200	257,3	951	179,8
1600	381,6	1180	256,1	948	179,2
1590	375,0	1170	254,7	947	178,9
1589	374,5	1160	252,0	946B	178,6
1580	367,8	1150	251,6	946	177,8
1570	358,9	1140	250,3	945	177,8
1560	355,9	1130	248,8	945	177,8
1551	353,2	1120	244,9	943	177,4
1540	350,6	1112	243,4	943B	177,4
1539	350,5	1111	237,2	942	177,3
1531	349,2	1110	235,4	941	177,1
1530	349,0	1100	228,5	940	177,0
1529	349,0	1101	227,3	939	176,3
1520	343,3	1090	225,9	938	176,2
1510	340,7	1080	220,8	937	176,1
1500	338,0	1070	218,1	936	175,9
1490	336,9	1060	215,8	935	175,8
1489	336,8	1050	213,6	934	175,3
1480	333,1	1040	211,7	933	174,8
1470	330,3	1039	211,5	932	172,9
1460	329,0	1030	208,8	931	172,9
1450	325,7	990	207,3	930	173,1
1440	323,8	988	206,8	929	172,9
1439	323,5	987	206,8	928	172,9
1436	321,9	986	206,8	927	172,8
1435	321,8	984	206,7	926	171,5
1434	321,6	982	206,7	925	171,4
1430	319,0	980	206,2	924	171,2
1420	314,6	978	204,9	923	170,3
1410	312,1	977	204,8	922	170,6
1409	311,9	972	204,3	921	170,6
1401	309,9	968	204,0	920	169,9
1400	309,8	966	204,1	919	169,9
1399	309,5	961B	204,1	918	169,9
1390	307,5	961	204,0	916	169,4
1380	306,8	957	203,9	914	169,4
1370	306,6			912	169,2
1360	302,1			910	169,1
1350	297,6			908	169,0
1349	297,5			905	166,4
1341	296,3				
1340	296,1				
1339	296,0				
1331	294,3				
1330	293,9				
1329	293,6				
1320	290,4				
1310	287,7				
1300	285,2				
1290	280,5				
1280	277,7				
1270	277,2				
1260	275,8				
1252	274,9				
1250	269,8				
1240	265,3				
1230	263,7				
1220	263,6				
1210	261,7				

Tabella 6.3 - 6.4 - Fiume Arno: simulazione dell'evento di piena 1992 (portate - livelli idrometrici)

portate

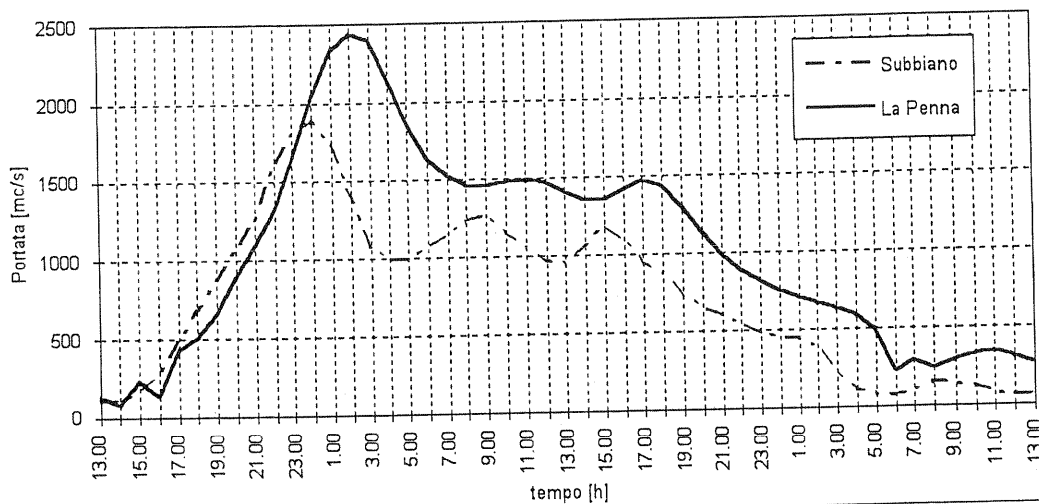
Casentino sez.	La Penna sez.	Levane sez.	Valdisup 1 sez.	Valdisup 2 sez.	Valdisup 3 sez.	Valdmedio sez.	Valdinfer sez.
portata [mc/s]	portata [mc/s]	portata [mc/s]	portata [mc/s]	portata [mc/s]	portata [mc/s]	portata [mc/s]	portata [mc/s]
1620 272,1	1210 1095,5	954 1114,8	901 1076,2	766 1483,0	674 2141,1	543 2172,2	353 2911,2
1610 264,4	1200 1097,9	951 1115,4	897 1077,0	759 1492,1	672 2141,6	540 2173,8	352 2906,7
1600 251,5	1180 1085,8	948 1115,2	895 1079,6	752 1489,8	670 2141,9	537 2179,7	3528 2905,6
1590 240,5	1170 1096,7	947 1114,6	893 1080,5	749 1483,5	666 2142,9	534 2350,1	350 2899,3
1589 240,7	1160 1097,2	946B 1114,5	891 1080,4	745 1483,3	663 2144,4	532 2340,3	348 2890,7
1580 250,0	1150 1086,7	946 1114,4	889 1082,5	742 1513,0	661 2144,6	530 2330,9	346 2882,8
1570 260,1	1140 1096,3	945 1114,3	887 1084,9	742B 1512,5	660B 2144,5	528 2320,4	344 2865,8
1560 261,2	1130 1086,0	943 1137,4	883 1082,2	739 1490,5	659 2184,6	527 2315,7	342 2852,1
1551 260,2	1120 1107,2	943B 1137,0	881 1208,2	737 1478,1	657 2182,8	526 2311,0	340 2841,5
1540 659,9	1112 1110,1	942 1135,1	879 1200,9	734 1462,9	654 2182,8	524 2298,2	336 2836,5
1539 648,8	1111 1113,4	941 1127,7	877 1198,5	732 1466,4	653B 2183,7	522 2288,7	332 2830,5
1531 582,1	1110 1116,2	940 1118,5	875 1201,0	728 1467,2	651 2185,0	521 2284,6	331 2823,5
1530 578,2	1100 1120,2	939 1096,5	870 1203,1	726 1467,2	649 2184,0	521 2284,5	330 2816,9
1529 566,9	1101 1123,0	938 1090,2	863 1202,0	725 1467,2	648 2183,9	518 2283,7	329 2811,8
1520 591,0	1090 1173,8	937 1090,2	859 1331,1	724 1467,2	647 2184,1	516 2283,2	324 2788,1
1510 562,5	1080 1181,0	936 1080,8	854 1325,8	722 1467,3	643 2185,2	515 2282,7	322 2788,0
1500 594,8	1070 1163,7	935 1091,8	849 1323,4	720 1466,8	639 2187,3	513 2570,5	317 2783,2
1490 515,3	1060 1187,4	934 1092,3	845 1322,9	717 1466,4	636 2190,0	508 2569,2	314 2772,7
1489 629,6	1050 1184,3	933 1092,2	842 1318,2	716 1465,5	635B 2191,2	503 2568,7	311 2757,5
1480 555,6	1040 1182,2	932 1092,2	839 1366,2	712 1511,1	634B 2190,4	497 2566,9	302 2744,5
1470 574,2	1039 1181,7	931 1082,1	837 1388,6	709 1510,8	633 2188,7	492 2559,5	297 2706,6
1460 515,7	1030 1142,2	930 1092,0	833 1392,2	707 1509,2	630 2184,5	479 2772,6	294 2581,5
1450 530,9	990 1142,9	929 1090,8	831 1393,8	705 1505,6	627 2179,1	475 2769,9	292 2504,4
1440 794,1	988 1140,5	928 1090,2	815 1393,9	702 1502,7	626 2175,4	470 2762,3	290 2452,3
1439 788,2	987 1140,6	927 1089,3	829 1393,8	699 1501,7	625B 2174,3	465 2758,1	288 2401,2
1436 779,8	986 1140,8	926 1085,8	827 1393,5	697 1501,1	624 2174,1	462 2754,8	286 2358,6
1435 782,4	984 1141,1	925 1085,2	824 1392,5	696 1500,8	621 2174,4	460 2754,1	286B 2358,0
1434 782,1	982 1146,1	924 1085,5	821 1390,1	693 1500,7	620 2174,0	456 2749,6	284 2338,7
1430 756,9	980 1150,5	923 1086,9	819 1388,2	692 1500,0	620B 2173,9	456c 2749,4	282 2328,1
1420 776,7	978 1148,5	922 1085,6	816 1385,5	690 1496,3	456B 2751,6	277 2336,6	
1410 1003,5	977 1147,3	921 1083,6	810 1378,8	688 1495,8	451 2743,2	275 2342,0	
1409 1003,0	972 1139,3	920 1079,6	807 1495,6	684 2152,9	444 2731,4	273 2347,3	
1401 996,4	968 1124,7	919 1080,6	804 1494,0	679 2151,0	438 2718,1	269 2355,7	
1400 999,2	966 1111,6	918 1080,9	799 1496,5	675 2150,9	433 2718,1	267 2479,7	
1399 1026,6	961B 1113,0	916 1080,5	798B 1496,6		428 2717,3	263 2469,2	
1390 1026,8	957 1115,3	914 1080,8	798 1496,8		420 2822,9	259 2487,4	
1380 1026,8		912 1080,1	795 1496,9		415 2820,8	253 2462,5	
1370 1036,2		910 1079,1	794 1497,2		415B 2820,9	250 2468,9	
1360 1114,1		908 1077,6	791 1498,4		411 2815,1	234 2571,2	
1350 1125,5		905 1076,4	789 1498,8		407 2811,2	230 2564,6	
1349 1125,2			785 1498,5		402 2808,7	227 2559,8	
1341 1092,7			780 1498,7		399 2804,0	223 2552,4	
1340 1089,8			778 1498,7		399c 2803,9	219 2545,2	
1339 1087,8			775 1498,8		398B 2804,1	212 2550,4	
1331 1097,6			770 1498,8		395 2799,0	210 2554,9	
1330 1111,2			769 1498,8		390 2795,6		
1329 1111,1			767 1498,5		385 2791,7		
1320 1095,8					381 2782,7		
1310 1098,2					379 2776,3		
1300 1108,2					379c 2776,2		
1290 1088,8					379B 2776,5		
1280 1086,2					375 2766,5		
1270 1086,4					371 2768,4		
1260 1084,9					367 2770,4		
1252 1090,7					362 2771,0		
1250 1110,8					356 2914,2		
1240 1095,1					354c 2913,8		
1230 1097,2							
1220 1087,4							
1210 1097,7							

livelli idrometrici

Casentino sez.	La Penna sez.	Levane sez.	Valdisup 1 sez.	Valdisup 2 sez.	Valdisup 3 sez.	Valdmedio sez.	Valdinfer sez.
livello [m s.l.m.]	livello [m s.l.m.]	livello [m s.l.m.]	livello [m s.l.m.]	livello [m s.l.m.]	livello [m s.l.m.]	livello [m s.l.m.]	livello [m s.l.m.]
1620 383,1	1210 256,3	954 190,8	901 149,7	766 116,7	674 78,9	543 40,6	353 23,3
1610 387,2	1200 254,7	951 178,3	897 147,6	759 115,2	672 78,1	540 40,4	352 23,3
1600 380,0	1180 253,3	948 174,8	895 147,0	752 114,3	670 77,3	537 40,3	352B 23,3
1590 373,9	1170 252,3	947 174,1	893 146,6	749 113,3	666 76,4	534 40,2	350 23,1
1589 373,1	1160 250,6	946B 174,1	891 145,1	745 111,8	663 74,8	532 40,0	348 23,0
1580 366,8	1150 250,3	946 173,6	889 144,2	742 111,1	661 74,2	530 40,0	346 22,8
1570 357,7	1140 249,1	945 173,6	887 143,3	739 110,6	659 72,4	528 39,7	344 22,7
1560 354,4	1130 248,7	943 172,7	883 142,4	737 109,6	657 71,1	526 39,7	340 22,6
1551 351,8	1120 244,1	943B 172,6	881 141,8	734 108,8	654 70,2	524 39,6	336 22,4
1540 349,1	1112 242,3	942 172,3	879 140,5	732 108,5	653B 69,6	522 39,4	332 22,3
1539 349,0	1111 235,6	941 171,9	877 139,4	732 108,5	653B 69,6	521 39,4	331 22,1
1531 347,7	1110 233,9	940 171,6	875 138,4	728 107,9	651 67,5	519 39,3	330 22,1
1530 347,5	1100 227,2	939 171,0	870 137,0	726 107,8	648 66,2	518 39,2	329 22,0
1529 347,5	1101 224,2	938 170,6	863 136,0	725 107,6	647 65,6	516 39,1	324 21,7
1520 342,0	1090 223,1	936 170,2	854 133,5	722 105,8	643 64,1	515 36,9	322 21,6
1510 339,6	1080 218,7	935 170,2	849 131,5	720 103,8	639 63,1	513 36,8	317 21,5
1490 336,5	1070 213,9	934 169,6	845 131,3	717 102,2	636 62,3	508 36,3	314 21,3
1489 336,5	1050 211,4	933 169,6	842 130,1	716 101,3	635B 62,3	503 36,1	311 21,1
1480 331,4	1040 209,4	932 168,6	839 129,2	712 100,0	634B 60,4	497 37,9	302 20,8
1470 328,8	1039 209,2	931 168,6	837 128,4	709 99,5	633 59,8	492 37,6	297 20,5
1460 327,5	1030 206,3	930 168,6	833 127,5	707 97,2	630 59,4	479 36,9	294 20,4
1450 324,9	990 204,8	929 168,4	831 126,9	705 95,6	627 58,7	475 36,3	292 20,3
1440 323,2	988 204,0	928 168,4	831B 126,8	702 93,1	626 58,5	470 36,1	290 20,1
1439 322,9	987 204,0	927 168,3	829 126,7	699 89,7	625B 57,1	465 35,4	288 20,0
1436 321,1	986 204,0	926 167,3	827 126,4	697 88,8	624 55,6	462 35,1	286B 19,8
1435 321,0	984 203,7	925 167,1	824 126,1	696 87,2	621 53,4	460 34,7	284 19,7
1434 320,8	982 203,2	924 166,9	821 125,7	693 84,4	620 53,2	456c 34,7	282 19,6
1430 317,8	980 203,0	923 164,6	819 123,5	692 83,3	620B 52,5	456 34,8	277 19,3
1420 313,9	978 202,4	922 164,8	816 122,2	688 82,2		451 34,0	275 19,2
1410 311,4	977 202,4	921 164,6	810 122,3	684 80,4		444 32,8	273 19,1
1409 311,2	972 202,2	920 164,1	807 121,9	684 80,4		438 32,1	269 18,9
1401 309,1	968 202,0	919 164,0	804 121,6	679 79,7		433 31,6	267 18,8
1400 308,9	966 202,1	918 164,0	799 121,1	675 79,1		428 30,9	263 18,5
1399 308,7	961B 202,1	916 163,5	799B 121,0			420 30,6	259 18,4
1390 306,6	961 202,0	914 163,4	798 120,9			415c 30,2	253 18,3
1380 305,4	957 202,0	912 163,3	795 120,8			415B 30,3	250 18,2
1370 305,0		910 163,1	794 120,5			415 30,3	246 18,1
1360 300,7		908 163,1	791 120,3			411 30,0	234 17,4
1350 296,1		905 161,2	789 119,4			402 27,5	227 17,3
1349 296,1			785 119,3			399c 26,7	223 17,2
1341 294,8			780 119,1			399B 26,8	219 17,0
1340 294,7			775 119,0			399 26,8	212 16,8
1339 294,5			770 118,1			395 26,4	210 16,8
1331 292,5			769 118,1			390 25,8	
1330 292,3			767 117,9			385 25,3	
1329 291,9						381 24,6	
1320 288,5						379c 24,7	
1310 286,0						379B 24,7	
1300 283,4						379 24,7	
1290 278,8						375 24,4	
1280 275,9						371 24,1	
1270 275,3						367 23,8	
1260 274,3						362 22,9	
1252 273,6						356 22,5	
1250 268,1						354c 22,2	
1240 263,4							
1230 259,7							
1220 259,6							
1210 258,1							

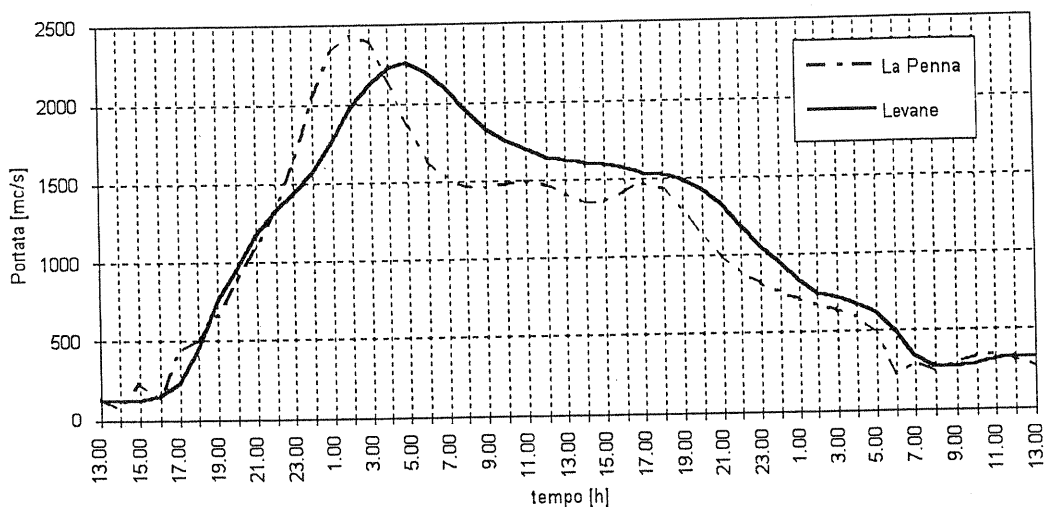
*Evento Novembre 1966 - Propagazione dell'onda di piena da Subbiano a La Penna
a partire dalle ore 13:00 del 03-11-1966*

fig. 6.2



*Evento Novembre 1966 - Propagazione dell'onda di piena da La Penna a Levane
a partire dalle ore 13:00 del 03-11-1966*

fig. 6.3



*Evento Novembre 1966 - Propagazione dell'onda di piena da Levane a Incisa
a partire dalle ore 13:00 del 03-11-1966*

fig. 6.4

