

ove  $A_{ck}$  rappresenta la superficie allagata nell'area  $k$ -esima [ $m^2$ ],  $h_k$  è l'altezza d'acqua relativa [ $m$ ],  $Q_{ki}$  è la portata scambiata con l'area  $i$ -esima adiacente in funzione delle relative altezze idriche [ $m^3/s$ ].

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

$$Q_s = l(\mu_1 h_2 + \mu_2 h_1) \sqrt{2gh_1}$$

dove  $l$  è la lunghezza della soglia,  $\mu_1$  e  $\mu_2$  sono i coefficienti di efflusso posti pari rispettivamente a 0.65 e 0.4,  $h_1$  e  $h_2$  sono rispettivamente i livelli del pelo libero a monte e a valle, riferiti alla quota della soglia. Si assume pertanto per gli sfioratori alveo-aree potenzialmente inondabili un funzionamento di stramazzone in parete grossa, anziché di stramazzone laterale.

Per le ipotesi suddette, il fenomeno dell'allagamento di ciascuna area avviene in modo sincrono, cioè non viene messo in conto il tempo effettivo connesso alla reale propagazione sul terreno dei volumi esondati. L'approssimazione adottata è tanto più accettabile quanto maggiore è il numero di celle in cui vengono suddivise le aree complessivamente soggette a esondazione. Infatti, in tal modo, il riempimento di ciascuna cella è regolato dalle caratteristiche degli sfioratori di collegamento tra le celle che, in funzione della quota e della lunghez-

za, influenzano la velocità di riempimento della cella successiva. Si trascurano comunque gli effetti della non stazionarietà e bidimensionalità connessi al fenomeno di propagazione del fronte di inondazione.

La simulazione del fenomeno di esondazione si basa inoltre sulle ipotesi che i volumi idrici di inondazione si generano esclusivamente per tracimazione delle sommità arginali del corso d'acqua. Non sono dunque considerati altri fenomeni quali, ad esempio, il collasso delle strutture arginali o fenomeni di rigurgito diversi da quelli già considerati nel presente studio. Le aree suscettibili di inondazione sono inoltre preventivamente delimitabili sulla base delle caratteristiche morfologiche e infrastrutturali del territorio. Si ha così la definizione di *aree potenzialmente inondabili* ottenuta attraverso la fotointerpretazione di immagini alla massima scala disponibile, sull'analisi delle sezioni fluviali e della cartografia disponibile.

Si assume inoltre che il fenomeno dell'allagamento di ciascuna area avvenga in modo sincrono, con legge di riempimento del tipo

$$V = a(H-H_0)^b$$

ove  $V$  è il volume di riempimento [ $m^3$ ],  $H$  è il livello idrico, mentre i parametri  $a$ ,  $b$  e  $H_0$  possono essere calcolati in base alle caratteristiche morfologiche dell'area. Si trascurano in questo modo gli effetti della non stazionarietà e bidimensionalità connessi al fenomeno di propagazione del fronte di inondazione. Gli elementi infrastrutturali delimitanti le aree di potenziale inondazione, quali rilevati stradali o ferroviari, si considerano, al pari degli argini fluviali, tracimabili

**Tabella 2** - Estensione delle fasce inondabili per i diversi tempi di ritorno [1,2]

Bacino/ Corso d'acqua	Lunghezza asta fluviale (km)	Totale aree inondabili (kmq)	Superfici delle fasce inondabili (kmq) per assegnati tempi di ritorno (anni)			
			30	30 - 100	100-200	200-500
F.Ombrone P.se	24	110	18	41	30	21
F. Bisenzio	40	19	3	7	5	4
F. Greve	39	9.9	3.1	1.5	2.3	3.0
F. Pesa	40	23.6	2.9	7.6	5.9	7.2
F. Sieve	48	17.8	7.7	3.0	3.6	3.5
F. Elsa	23	20.4	4.2	3.1	5.4	7.7
F. Era	15	22.8	7.6	4.8	6.1	4.3
F. Arno	260	370	114	141	64	51
TOTALE	506	593	161	209	122	102

senza collasso.

## Analisi dei battenti idrici

### Definizione dell'area di studio

L'indagine sui battenti è stata condotta per le aree inondate con tempo di ritorno eguale o inferiore a 100 anni. In una prima fase è stato definito l'ambito spaziale di riferimento all'interno del quale sono state svolte le successive elaborazioni. Tale ambito, di seguito indicato come *area di studio*, è esternamente delimitato da un perimetro approssimativamente coincidente con il limite della fascia di inondazione con tempo di ritorno pari a 500 anni ed esteso al corso principale del fiume Arno e dei suoi affluenti per i quali sono disponibili gli studi analitici delle aree di inondazione.

L'area di studio comprende pertanto le aree in cui sono disponibili informazioni ricavate con modellazione matematica. Si è ritenuto opportuno integrare le informazioni ottenute per via analitica con le informazioni storico-inventariali, soprattutto per zone quali la confluenza di corsi d'acqua non studiati o l'intersezione con il reticolo minore.

### Individuazione delle zone di accumulo e delle zone di trasferimento

Sulla base di risultati più sopra citati, sono state distinte quelle aree ove le condizioni di allagamento sono prevalentemente attribuibili ai fenomeni di trasferimento dei volumi esondati dette, appunto, *aree di trasferimento*, da quelle soggette a condizioni di allagamento che permangono sul territorio per tempi lunghi rispetto alla durata dell'evento alluvionale dette *aree di invaso statico o di accumulo*. Per queste ultime sono state ulteriormente distinte le aree con battenti idrici di allagamento inferiori a 30 cm da quelle con battenti idrici superiori.

Tale operazione è stata condotta utilizzando la Cartografia Tecnica Regionale scala 1:5000 in associazione alle informazioni desumibili dal modello digitale del terreno dell'Autorità di Bacino con maglia 25 metri. Ove siano state rilevate discrepanze tra il DTM e la cartografia, sono stati ritenuti attendibili i dati cartografici.

In tal modo sono state delimitate le due sottofasce di aree destinate a invaso statico, a loro volta mappate in funzione dei battenti idrici, e di

**Tabella 3:** Classificazione della pericolosità idraulica per le aree inondate con tempo di ritorno inferiore o uguale a 100 anni, sulla base dei battenti idrici e dell'eventuale funzione di trasferimento

Tr [anni]	Aree di trasferimento	$h < 30$ cm	$h \geq 30$ cm
$Tr \leq 30$	P.I.3	P.I.3	P.I.4
$30 < Tr \leq 100$	P.I.2	P.I.2	P.I.3

aree destinate a prevalente funzione di trasferimento dei volumi esondati.

Pertanto, all'interno di ciascuna delle due fasce di aree inondabili relative ai tempi di ritorno 30 e 100 anni, sono state individuate le seguenti tre sottofasce:

1. aree soggette a prevalenti *fenomeni di trasferimento*, per le quali cioè i volumi esondati dal corso d'acqua transitano senza produrre significativi accumuli idrici che permangono per tempi superiori alla durata dell'evento;

2. aree soggette a *invaso statico*, per le quali cioè i volumi idrici permangono per tempi maggiori di quelli caratteristici dell'evento di esondazione con battenti idrici inferiori a 30 cm.

3. aree soggette a *invaso statico*, per le quali cioè i volumi idrici permangono per tempi maggiori di quelli caratteristici dell'evento di esondazione con battenti idrici superiori a 30 cm.

Sulla base dei risultati ottenuti in tale fase e attraverso il confronto con le altre informazioni disponibili, sono state inoltre analizzate le zone di raccordo tra le aree a definizione analitica con quelle a definizione storico-inventariale, al fine di rendere congruenti le diverse fasce di pericolosità. I criteri per l'attribuzione del grado di pericolosità è riportato nella tabella che segue. Il simbolo  $Tr$  denota il tempo di ritorno mentre  $h$  il battente delle acque di inondazione sul piano di campagna.

### Criteri operativi

Occorre tenere presente che, sia i fenomeni di trasferimento che quelli di accumulo devono essere intesi come condizioni a carattere prevalente di un fenomeno rispetto all'altro, da valutarsi essenzialmente in base alle caratteristiche morfologiche e infrastrutturali del territorio. Più specificatamente, le fasi operative delle elaborazioni per la mappatura della pericolosità idraulica sono state le seguenti:



1. Le indicazioni degli studi precedenti citati, riferite alla cartografia CTR 1:10.000 sono state riportate e omogeneizzate su base cartografica di maggior dettaglio in scala 1:5.000. Tale operazione consente una più precisa elaborazione nella identificazione delle diverse zone interne alla fasce relative ai tempi di ritorno 30 e 100 anni. In particolare, la disponibilità di una maggiore densità di punti quotati sul terreno permette un più agevole e corretto tracciamento dei perimetri delle diverse zone di interesse;

2. in funzione delle quote idriche raggiunte nelle aree di potenziale inondazione in corrispondenza degli eventi con tempo di ritorno 30 e 100 anni, sono state dapprima individuate, mediante l'uso del DTM, le aree di invaso statico allocando, in base alle morfologia del territorio definita dal modello digitale del terreno, i volumi di inondazione desumibili dal modello idraulico delle aree di potenziale inondazione. Le aree così definite rappresentano pertanto, su base esclusivamente morfologica, le zone ove appare ragionevole ritenere che si accumulino, per tempi significativamente superiori a quelli caratteristici dell'evento, i volumi provenienti dalle sezioni di tracimazione del corso d'acqua;

3. le perimetrazioni delle zone di accumulo ottenute nella fase precedente sono state oggetto di ulteriore affinamento mediante il confronto con i punti quotati disponibili sulla cartografia 1:5000. Ciò si è reso necessario sia per un generale controllo dell'affidabilità del DTM, sia per apportare le necessarie correzioni alla rappresentazione digitale del territorio che, in particolari condizioni quali la presenza di rilevati, infrastrutture viarie, arginature, può non risultare sufficientemente significativa;

4. all'interno di tale perimetrazione, e con la stessa metodologia prima descritta, sono state distinte le due sottofasce comprendenti rispettivamente aree con battenti idrici inferiori a 30 cm e aree con battenti idrici superiori;

5. le rimanenti aree, comprese tra la perimetrazione delle zone di accumulo e la delimitazione originale delle aree inondabili, sono state considerate aree soggette a prevalente fenomeno di trasferimento, per le quali cioè i volumi tracimati dal corso d'acqua transitano o comunque permangono

per tempi confrontabili con quelli caratteristici dell'evento. Da notare che possono ricadere in tale categoria zone anche non direttamente connesse, o comunque prossime, al corso d'acqua considerato che tuttavia possono ancora ritenersi zone di trasferimento grazie alla presenza di un reticolo di drenaggio minore verso il quale possono convogliarsi le acque di inondazione.

L'applicazione della metodologia sopra esposta deve essere applicata un insieme di informazioni vasto, caratterizzato da disomogeneità significative nella qualità e quantità dei dati. Richiede dunque la individuazione di criteri che permettano di inquadrare i diversi livelli informativi in un sistema unitario che ne consenta un utilizzo basato essenzialmente su requisiti di omogeneità, riproducibilità e aggiornabilità.

A tal fine è stato definito un riferimento spaziale individuando, come già richiamato, il perimetro dell'area di studio coincidente approssimativamente con il limite della fascia di inondazione con tempo di ritorno pari a 500 anni ed esteso al corso principale del fiume Arno e dei suoi affluenti per i quali sono disponibili gli studi analitici delle aree di inondazione.

Tale area comprende tutte le aree inondabili determinate per via analitica, nonché quelle zone, soprattutto in corrispondenza di affluenti non studiati, ove si è ritenuto necessario procedere al raccordo con le aree di inondazione di tipo storico-inventariale. Al di fuori dell'area di studio, ove non è disponibile alcuna informazione su base analitica, vengono utilizzate le informazioni disponibili contenute nei dati di tipo storico-inventariale. Con la progressiva estensione degli studi analitici al resto del territorio, l'area di studio viene conseguentemente modificata e aggiornata sulla base degli stessi criteri sopra descritti.

Come già accennato, oltre alle informazioni relative alle aree definite su base analitica, sono stati considerati tutti quei casi di "raccordo" con le informazioni provenienti dai dati storico-inventariali per i quali si è ritenuto significativo procedere alla integrazione tra le due fonti informative. Ciò al fine di rendere coerente la mappatura della pericolosità idraulica per quelle zone poste in adiacenza all'area di studio e per le quali la sola informazione analitica non risulta sufficiente a fornire un quadro esauriente

riente dei fenomeni di inondazione. È il caso di zone in prossimità di affluenti non studiati, di zone con evidenti fenomeni di ristagno, di zone con reticolo di drenaggio posto a tergo di corsi d'acqua arginati.

All'interno dell'area di studio prima definita, nelle zone ove si verificano sovrapposizioni tra aree analitiche e aree storico-inventariali, sono stati adottati i seguenti criteri:

1. per le zone di sovrapposizione ove risulta significativa dal punto di vista idraulico-morfologico la mappatura su base analitica, si assume valida esclusivamente quest'ultima ai fini della classificazione della pericolosità idraulica;

2. per le zone di sovrapposizione ove viceversa l'informazione analitica è parziale, ad esempio in corrispondenza di confluenze tra asta principale e un corso d'acqua non studiato, si procede ad un raccordo tra aree analitiche e aree storico-inventariali sulla base dei dati disponibili, attribuendo all'area così raccordata la classe di pericolosità più cautelativa;

3. per le aree poste al margine esterno dell'area di studio, è stata garantita, per quanto possibile, la continuità dei livelli di pericolosità tra l'interno e l'esterno; eventuali discontinuità sono normalmente da attribuirsi alla presenza di rilevati stradali o ferroviari; i casi in cui tali infrastrutture non ci sono ma si evidenzia comunque la presenza di un grado di pericolosità più elevato fuori dall'area di studio rispetto all'interno, sono tipici degli affluenti secondari (o delle reti di drenaggio minori, come nel caso di Ponsacco in sinistra del Fiume Cascina), che fino ad ora sono stati esclusi dallo studio analitico ma che necessitano prioritariamente di studi di approfondimento.

4. per le aree interne all'area di studio, dove lo studio analitico sul reticolo maggiore delle acque alte può non essere esauriente (ad esempio per la presenza di reti di acque basse o dei tronchi finali di affluenti secondari), l'informazione di tipo storico-inventariale è stata sovrapposta a quella analitica ed ha prevalso su di essa in tutte le situazioni in cui si è ritenuto l'inondazione fosse dovuta a parti di reticolo non studiate analiticamente.

La riproducibilità della metodologia adottata viene garantita dalla conservazione di tutti i livelli informativi utilizzati e dalla possibilità di risalire a ciascun livello di origine che ha concorso alla ge-

nerazione della mappatura finale.

La metodologia di elaborazione sopra descritta è stata applicata alle aree inondabili disponibili per i corsi d'acqua Arno, Sieve, Elsa e Era. Al fine di omogeneizzare i risultati e gli elaborati grafici, sono state incluse nel presente lavoro le elaborazioni fornite dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno relativamente ai corsi d'acqua Greve, Bisenzio, Ombrone, Pesa, e di alcuni affluenti minori del Casentino, già oggetto di perimetrazione su base analitica in precedenti studi svolti a cura dell'Autorità.

In particolare, le elaborazioni fornite sono state condotte con metodologia analoga a quella utilizzata nel presente studio, includendo nell'analisi i risultati dello studio *Bacini idrografici Torrenti Ombrone P.se e Bisenzio - Riduzione del rischio idraulico - Progettazione preliminare degli interventi* svolto dalla provincia di Prato e Pistoia che, a differenza degli altri citati, contiene maggiori informazioni sulle zone di allagamento per ristagno di acque basse nei bacini dei fiumi Ombrone Pistoiese e Bisenzio.

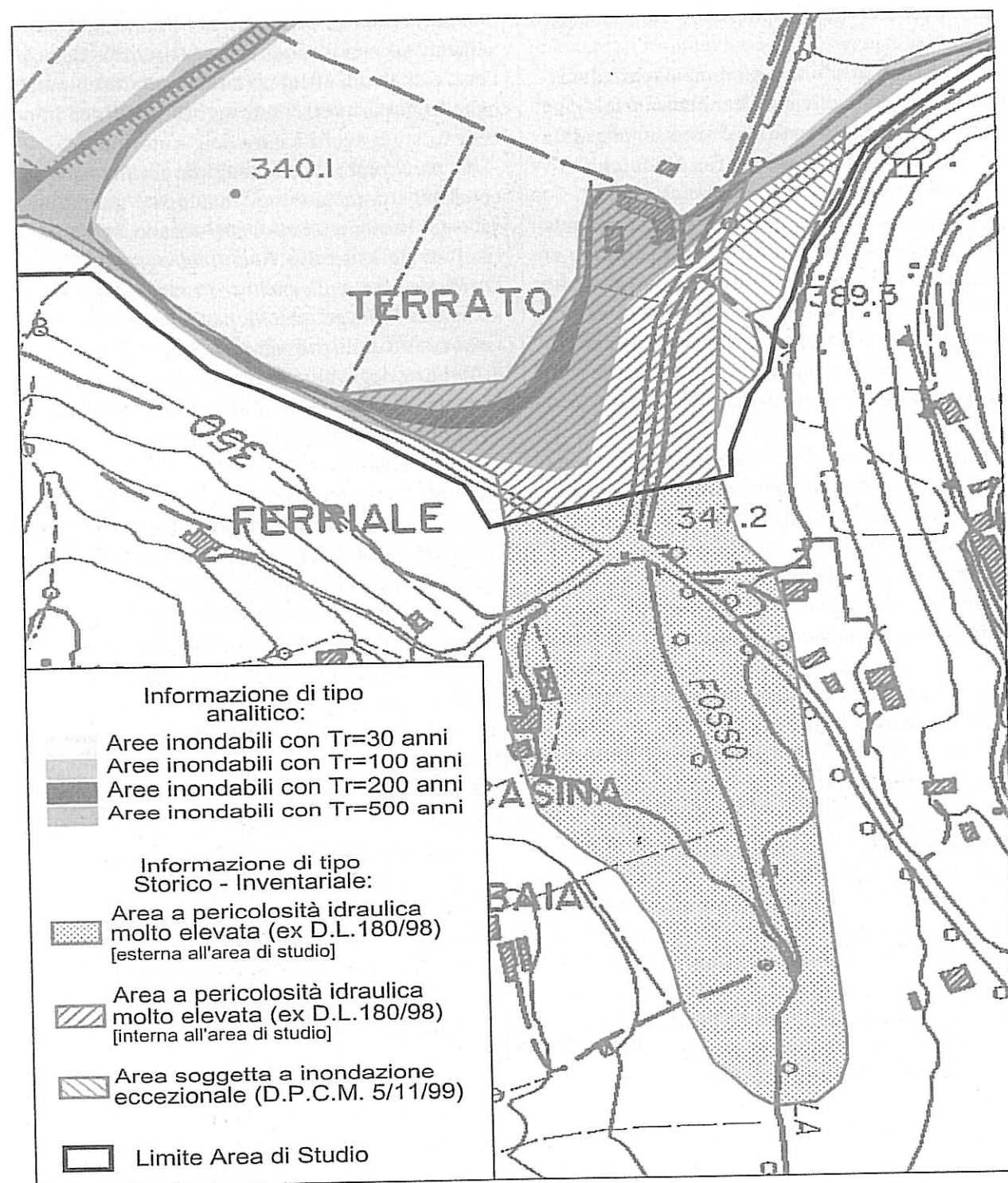
A questo proposito, conviene richiamare brevemente i criteri adottati dall'Autorità di Bacino per la elaborazione delle aree analitiche contenute nello stesso studio. Nel lavoro, difatti, sono stati valutati, per i tempi di ritorno di 10, 20, 50, 100 e 200 anni, oltre ai volumi di inondazione derivanti dal sistema "acque alte", i volumi idrici relativi ai sistemi "acque basse". Tali volumi sono stati distribuiti sul territorio assumendo nulla la portata verso il ricevente, perimetrando in tal modo aree soggette a esclusivi, o comunque prevalenti, fenomeni di ristagno.

I fenomeni di ristagno indotti dal sistema "acque basse" appaiono prevalenti rispetto ai fenomeni di esondazione indotti dal sistema "acque alte" per eventi con tempi di ritorno fino a circa 50 anni. Per eventi con tempi di ritorno superiori a 50 anni i volumi di esondazione dal sistema "acque alte" si sovrappongono ai volumi di ristagno del sistema "acque basse";

I risultati evidenziano pertanto una significativa tendenza ai fenomeni di ristagno nei bacini dell'Ombrone e del Bisenzio, che necessitano di essere messi in conto nella perimetrazione delle aree inondabili.



**Figura 1.A** – Sovrapposizione di informazioni analitiche e storico-inventariali.



**Figura 1.B** – Mappatura della pericolosità con acquisizione dell'informazione storico-inventariale.

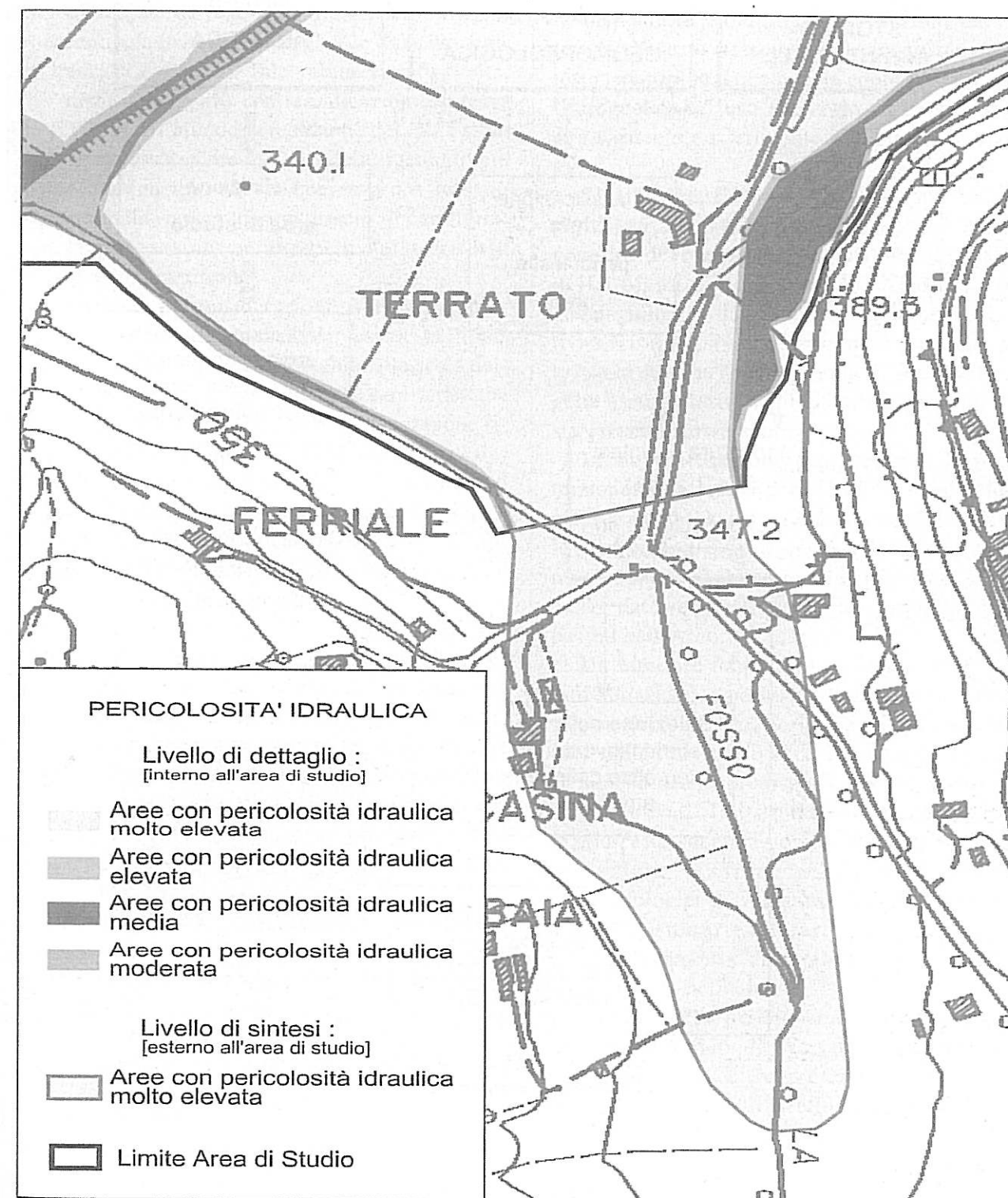
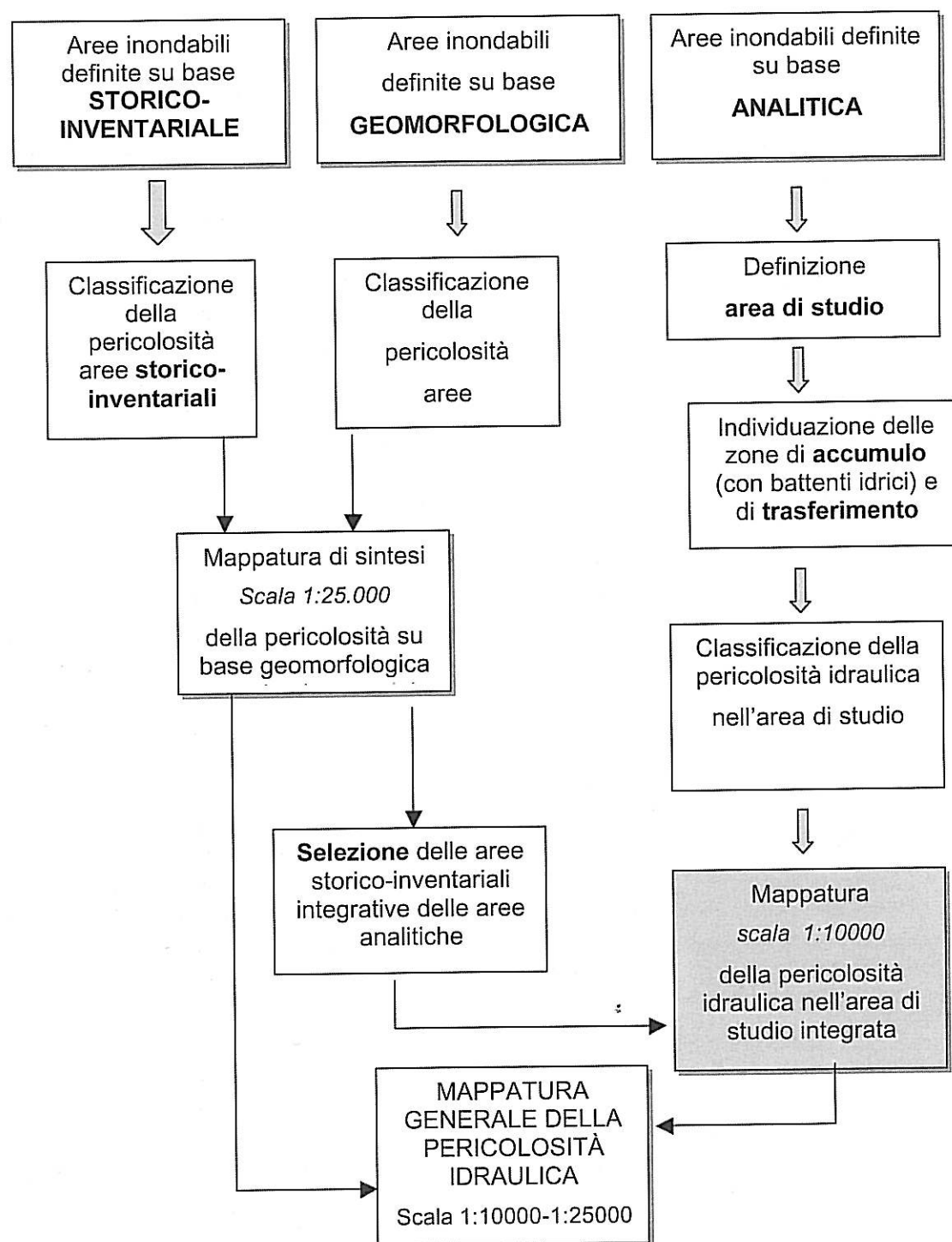


Figura 2 – Schema della metodologia adottata



## PERICOLOSITA' DA FRANA

### Introduzione

Nella redazione del *Piano Straordinario* furono perimetrate e poste sotto misura di salvaguardia, le aree interessate da fenomeni franosi noti, attivi o quiescenti, classificati a pericolosità e rischio *molto elevati* (R.F.4/P.F.4). Tale valutazione fu svolta, tra l'altro, in coerenza con le indicazioni espresse dal *GNDCI*. All'atto della redazione del *PAI* è stato tuttavia necessario individuare delle metodologie di tipo più generale che, in coerenza con lo stato dell'arte della ricerca, permettessero di caratterizzare la propensione al dissesto del territorio ancorché non manifesta.

Viste anche le considerazioni espresse nei precedenti paragrafi, emerge la complessità dell'individuare una metodologia applicabile alla scala dell'intero bacino, considerate anche le caratteristiche del quadro conoscitivo disponibile. Si è dunque ritenuto, anche in questo caso, di optare per una duplice filosofia di perimetrazione, provvedendo ad un indirizzo speditivo per la scala sinottica, al quale progressivamente sovrapporre una serie di approfondimenti su singole tessere del mosaico territoriale.

Il *PAI*, allo stato attuale, presenta dunque l'individuazione e la perimetrazione delle aree a pericolosità di tipo franoso, svolta alla scala generale, pur riportando alla scala di dettaglio l'inventario dei fenomeni noti. Inoltre viene delineata una metodologia, ancora in via di sperimentazione, con la quale procedere, nei successivi aggiornamenti, all'indagine di dettaglio. Una prima applicazione del metodo è comunque presentata, come caso di studio, sul bacino del torrente Virginio.

Tuttavia, per fornire una indicazione a livello generale, sulla propensione al dissesto valutata sulla base dei fattori predisponenti, è presentata una ulteriore applicazione speditiva estesa all'intero bacino. Questa riprende i concetti principali espressi nella metodologia *ENEA Minamb.*

### Il livello di sintesi

Le carte di pericolosità geomorfologica alla scala di sintesi sono state dunque redatte avvalendosi degli studi già in possesso dell'Autorità, nonché nelle elaborazioni contenute nei *Piani di Coordinamento Provinciali (PTC)*, peraltro in conformità

a quanto previsto nel DPCM 29/09/98, che precisa la necessità di tenere conto degli strumenti di pianificazione di area vasta prevalenti. La scala di lavoro sinottica è 1:25.000.

La pericolosità da dissesto, nella documentazione disponibile, è definita come funzione dei caratteri del dissesto stesso e dei caratteri fisici del contesto territoriale. Tra questi la geologia, la litologia, l'idrogeologia, l'uso del suolo, la geomorfologia, con particolare riferimento alla pendenza dei versanti.

L'ambito spaziale per il quale è stata definita la pericolosità coincide, almeno in generale, con la porzione del bacino idrografico a monte del limite della pianura definito con apposito studio geomorfologico dall'Autorità. In alcuni casi, relativi a frane con livello conoscitivo più approfondito, sono state perimetrate aree di fondovalle soggette a pericolosità indotta dai fenomeni di dissesto presenti sui versanti.

La documentazione utilizzata per la perimetrazione delle aree a pericolosità geomorfologica, come si è detto, è sostanzialmente composta da quella prodotta o disponibile presso l'Autorità di Bacino e quella reperibile presso le province, oltre alla banca dati vettoriale geologica disponibile per il bacino dell'Arno.

Un'ulteriore fonte di informazione ai fini della individuazione e perimetrazione deriva, nella sostanza, dai Piani Territoriali di Coordinamento redatti dalle Province o al relativo quadro conoscitivo appositamente predisposto ove essi non risultassero approvati. Tali strumenti contengono, di norma, la carta geomorfologica sulla quale sono rappresentate le frane e gli altri fenomeni geomorfologici di versante, come le forme di intensa erosione, e la carta della pericolosità idrogeologica. Ove disponibile è stata considerata la carta della pericolosità.

La carta della pericolosità geomorfologica, generalmente, suddivide i versanti in quattro classi di pericolosità, indicate con i termini *elevata*, *media*, *bassa* e *irrilevante*. Il livello del quadro conoscitivo, la scala di lavoro e i contenuti dei diversi *PTC* del Bacino dell'Arno sono piuttosto eterogenei e hanno richiesto un cospicuo lavoro di validazione, integrazione ed omogeneizzazione.

In particolare le cartografie relative alle Province di Arezzo, Firenze, Perugia, Pisa e Pistoia sono



state ritenute sostanzialmente rispondenti ai criteri prefissati per la Carta della pericolosità del PAI ed hanno richiesto modesti approfondimenti. Per la Provincia di Lucca e di Prato è stata invece necessaria la fotointerpretazione a completamento dell'informazione. La cartografia della Provincia di Livorno e Siena non è stata utilizzata, perché non omogeneizzabile: la pericolosità è stata ottenuta direttamente da fotointerpretazione e da dati di bibliografia.

Sono state effettuate verifiche a campione su tutto il territorio, attraverso tecniche di fotointerpretazione e sopralluoghi, per controllare la qualità complessiva del dato. In particolare è stata svolta una verifica specifica per quanto attiene alle aree presenti nell'inventario dei fenomeni franosi dell'Autorità di Bacino per assicurare, tra l'altro, la compatibilità tra i diversi strati informativi.

Alla scala sinottica sono state individuate tre classi di pericolosità in quanto la più elevata è integralmente riportata alla sola scala di dettaglio. Le classi così caratterizzate:

**Classe P.F.3** a pericolosità *elevata*, comprende le frane già definite a *pericolosità elevata* contenute nell'inventario dei fenomeni franosi dell'Autorità di Bacino, tutte le altre frane attive e non attive rilevate, situazioni geomorfologicamente molto precarie, come calanchi, scarpate rocciose ecc., aree rappresentate nei PTC come appartenenti alla IV classe di pericolosità. Si tratta quindi di aree interessate da frane e altri fenomeni di dissesto, attivi o quiescenti, e da condizioni geomorfologiche marcatamente sfavorevoli, causa di rischio reale o potenziale elevato. La superficie totale interessata è di 458.40 kmq pari al 6,4% della superficie totale dei versanti e al 5,1% della superficie totale del bacino.

**Classe P.F.2** a pericolosità *media*, comprende le frane definite a *pericolosità media* contenute nell'inventario dei fenomeni franosi dell'Autorità di Bacino, le aree apparentemente stabili ma interessate da litologia con caratteristiche litotecniche sfavorevoli.

**Classe P.F.1** a pericolosità *bassa*, comprende aree apparentemente stabili, interessate da litologia con interessate da litologia con caratteristiche litotecniche generalmente favorevoli, che talora possono essere causa di rischio reale o potenziale moderato.

Le due classi inferiori di pericolosità, *P.F.1* e *P.F.2* interessano, nel loro insieme, una superficie di 6728 Km<sup>2</sup>, pari al 93,5% della superficie dei versanti e al 73,7% della superficie totale del bacino.

### La metodologia per il livello di dettaglio

La cartografia allegata al PAI, per quanto attiene la individuazione e perimetrazione delle aree di pericolosità da dissesto geomorfologico è, in sostanza, la risultanza dei due lavori di inventario e censimento di dettaglio dei dissesti.

Il primo è la banca dati che andrà a confluire nell'*inventario dei fenomeni franosi italiani*, che contiene i punti di massima quota della nicchia di distacco: per 472 frane sono registrati i dati geomorfologici utili alla definizione della classe di pericolosità, ulteriori 464 frane risultano localizzate ma non ne è noto l'effettivo stato di attività.

L'Autorità ha inoltre redatto, attraverso l'integrazione di tale inventario, il *censimento e perimetrazione delle frane a rischio del bacino del fiume Arno* che contiene la caratterizzazione geomorfologica delle aree in frana e la definizione del livello di rischio stabilito attraverso uno studio specifico condotto dalle Università di Siena, Pisa e Firenze sotto la guida del prof. Carmignani. Nello studio sono indicate 40 aree a pericolosità e rischio *molto elevati* (*P.F.4/R.F.4*), 80 aree a pericolosità e rischio *elevato* (*P.F.3/R.F.3*), 43 aree a pericolosità e rischio *moderati* (*P.F.2/R.F.2*). Sulla base di tale documentazione si è sviluppato il *Piano straordinario, diretto a rimuovere le situazioni a rischio idrogeologico più alto* ai sensi della L. 226/99.

La cartografia a livello di dettaglio presenta dunque tre livelli di pericolosità così caratterizzati:

**Classe P.F.4**, a pericolosità *molto elevata*, comprende le aree a pericolosità e rischio molto elevato già indicate nel Piano Straordinario. Sostanzialmente sono aree interessate da frane attive, causa di rischio molto elevato. La superficie totale interessata è di 9.87 kmq pari allo 0,14% della superficie totale dei versanti e allo 0,11% della superficie totale del bacino.

**Classe P.F.3** a pericolosità *elevata*, comprende le frane quiescenti o frane attive causa potenziale di rischio *elevato*.

**Classe P.F.2** a pericolosità *media*, comprende le frane quiescenti causa potenziale di rischio medio.

Tale criterio, di ordine prettamente storico-inventariale, ha tuttavia carattere temporaneo e riflette la carenza di dati disponibili sul bacino, sufficienti per una valutazione del rischio basata su tecniche di analisi geografica. Il quadro conoscitivo tuttavia, ad opera di una serie di iniziative avviate dall'Autorità, sta rapidamente evolvendo. Si segnala a tale proposito:

1. la realizzazione di un nuovo inventario dei dissesti alla scala 1:10000 sull'intero territorio del bacino, svolto in collaborazione con il Dipartimento di Scienze della Terra di Firenze specificamente finalizzato all'aggiornamento della cartografia da rischio da frana ai fini della pianificazione di bacino;

2. la realizzazione di un modello digitale del terreno con passo 10 metri, basato sulle primitive della CTR, opportunamente elaborato ai fini dei calcoli geomorfologici e idraulici, sviluppato in collaborazione con la Provincia di Siena;

3. l'acquisizione in formato vettoriale degli originali d'autore alla scala 1:25000 che hanno portato alla redazione della seconda serie della Carta Geologica d'Italia, svolta in collaborazione con il Dipartimento di Scienze della Terra di Siena. È in corso l'integrazione dello strumento con i primi risultati del rilevamento geologico CARG;

4. aggiornamento della banca dati della copertura del suolo *CORINE - Land cover* secondo le informazioni e il dettaglio del satellite Landsat 7 TM;

5. realizzazione della banca dati degli elementi a rischio, estratta dalle primitive della CTR aggiornata al 2000 e integrata con l'ausilio di foto aeree alla scala 1:2000 ortocorrette.

La metodologia di aggiornamento ed integrazione del livello di dettaglio trae le basi da quella elaborata nell'ambito dell'Accordo di Programma tra Enea e Ministero per l'Ambiente e la tutela del territorio, linea *Il risanamento del territorio, delle aree urbane e delle acque*, illustrato nel dettaglio in precedenti paragrafi, che prevede la stesura di linee guida per la zonazione del rischio da frana. Viene proposto, nella sostanza, un approccio integrato tra rilevamenti geomorfologico, geologico, litotecnico, idrogeologico e di uso del suolo, relativamente a distinte tipologie di frana. Partendo dall'analisi del fenomeno si procede alla valutazione della suscettibilità anche di quelle aree non interessate in pas-

sato da dissesti franosi. In tal modo si tiene determinata anche la pericolosità associata ai processi di neoformazione.

Si tratta di una valutazione della suscettibilità e può essere intesa come una sintesi fra previsione *spaziale* e previsione *tipologica*. Tale metodologia è applicabile alla scala 1:10.000 e costituisce una fase propedeutica alle successive fasi di valutazione della pericolosità e del rischio.

Il carattere della metodologia è sostanzialmente innovativo e il coordinamento e l'omogeneizzazione dei dati disponibili in un contesto geografico così ampio e variegato, hanno imposto, in questa fase, di individuare un bacino pilota, ragionevolmente rappresentativo della dinamica di versante che caratterizza tutto il restante ambito territoriale di competenza.

Il bacino del Torrente Virginio è stato scelto come bacino pilota sulla base di valutazioni sia di carattere geomorfologico che di disponibilità di dati pregressi indispensabili per la valutazione della suscettibilità da frana. La situazione del Torrente Virginio è infatti, dal punto di vista della dinamica di versante, abbastanza rappresentativa di molti contesti geomorfologici presenti nella porzione inferiore del bacino dell'Arno, che, essendo in gran parte incisa nei termini formazionali terrigeni appartenenti alle Successioni marine neogene, presenta un certo livello di omogeneità anche dal punto di vista geologico.

L'area, inoltre, è stata oggetto, nel corso degli ultimi anni, di ricerche svolte presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze, per cui presenta una buona copertura per quanto concerne dati digitali di natura geomorfologica e geologica, indispensabili per la messa a punto del modello di valutazione della suscettibilità da frana.

La ricerca si è realizzata nelle seguenti fasi:

1. Acquisizione di dati pregressi di natura geologica, geomorfologica e geotecnica specifici del Bacino del Torrente Virginio;

2. Integrazione dei dati pregressi mediante analisi aerofotogrammetrica e rilevamento di campagna;

3. Applicazione al contesto del Bacino del Torrente Virginio della metodologia per la valutazione della suscettibilità da frana e individuazione di una specifica funzione di suscettibilità.

In estrema sintesi sulla superficie del bacino, pari





## Criticità emerse dall'analisi delle aree a rischio idraulico e di frana

### Generalità

Con l'Atto di indirizzo e coordinamento concernente la redazione dei piani di bacino (D.P.R. 18 luglio 1995) si introduce la dizione generale di squilibrio, con cui si definiscono quelle situazioni, manifeste o prevedibili, nelle quali il territorio presenta situazioni di rischio e/o di degrado per la vita e per lo sviluppo delle popolazioni. In tali aree, particolarmente, si devono concentrare le attenzioni dell'Autorità di Bacino, al fine di individuare azioni e interventi in grado di riportare le condizioni ad un livello di rischio sufficientemente accettabile e sostenibile. È evidente che il concetto di squilibrio è riferito non tanto al manifestarsi di eventi in se stessi, ma piuttosto a come tali eventi si ripercuotono sul territorio. Lo squilibrio è quindi, nella maggioranza dei casi, indotto dalla presenza di elementi, quali attività e insediamenti, in un contesto morfologicamente dinamico.

A tale dizione di squilibrio si richiama quella, forse più puntuale, di criticità oggetto di questo capitolo, con cui si vogliono intendere quelle situazioni in cui l'analisi del quadro conoscitivo e le verifiche svolte hanno condotto all'identificazione di livelli di rischio elevati e molto elevati.

Cardine del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico è la perimetrazione del bacino in aree a diversa pericolosità, sia idraulica che per frana, da cui poi ricavare i livelli di rischio, secondo il valore e la tipologia degli elementi sottoposti al grado di pericolo. Ne deriva che l'analisi delle criticità consiste, in estrema sintesi, nel valutare, in base alle peculiarità e caratteristiche degli insediamenti nel territorio, i rapporti attuali tra questi e la dinamica evolutiva del bacino, evidenziandone le aree di maggiore crisi, stimandone il danno atteso, definendone, lì dove possibile, le cause e concause che ne determinano la crisi, individuando le possibili soluzioni.

### Approccio metodologico

#### Il problema della identificazione del rischio

La stima della pericolosità costituisce il presupposto essenziale per la valutazione del rischio sul territorio. Questo, difatti, è dato dalla combinazione della probabilità di accadimento del prefissato evento calamitoso, appunto la *pericolosità*, e il danno che subiscono gli elementi esposti all'evento stesso.

La valutazione quantitativa del danno richiede, oltre ad una conoscenza dettagliata degli elementi esposti al rischio sul territorio, la stima della *vulnerabilità*, caratterizzata quest'ultima da molteplici elementi di aleatorietà, in parte connessi con la dinamica stessa dell'evento. Le valutazioni relative ad entrambe i fattori appena ricordati, implicano analisi territoriali, sociali e economiche da svolgersi a un livello di dettaglio che trascende le scale proprie della pianificazione di bacino.

Nell'elaborare il piano si è optato, come indicato con maggior dettaglio nel capitolo dedicato, per un approccio riferito essenzialmente alla *pericolosità*, derivata quest'ultima in base a criteri oggettivi.

**Tabella 1:** attribuzione delle classi di pericolosità in funzione del tempo di ritorno  $Tr$  [anni], del tipo di area (di accumulo o di trasferimento) e del battente idrico  $h$  [m] sul piano di campagna.

Tempo di ritorno	Aree trasferimento		Aree di accumulo	
	$h \leq 0,30$		$h > 0,30$	
$0 < Tr \leq 30$	P.I. 3	P.I. 3	P.I. 3	P.I. 4
$30 < Tr \leq 100$	P.I. 2	P.I. 2	P.I. 2	P.I. 3
$100 < Tr \leq 200$	P.I. 2	P.I. 2	P.I. 2	P.I. 2
$200 < Tr \leq 500$	P.I. 1	P.I. 1	P.I. 1	P.I. 1

Le classi di rischio sono dunque determinate dalla sovrapposizione della cartografia della pericolosità, con elementi cartografici risultanti dalla *Carta tecnica regionale* in scala 1:10.000, o da altre

cartografie o rilievi di maggior dettaglio. Le relative cartografie sono raccolte negli atlanti degli elementi a rischio costituenti parte integrante del progetto del PAI.

La definizione degli elementi a rischio è avvenuta facendo riferimento all'atto di indirizzo e coordinamento per la redazione del PAI (D.P.C.M. 29 settembre 1998). Gli elementi a rischio individuati, mappati direttamente sulle aree a pericolosità idrogeologica, sono riportati nella tabella 2.

**Tabella 2:** caratterizzazione degli elementi a rischio nella cartografia di piano

Classe	DPCM 29 settembre 1998	Cartografia di piano
E1	Aree disabitate o improduttive	
E2	Edifici isolati, aree agricole	Edifici isolati
E3	Agglomerati urbani, insediamenti produttivi, commerciali minori	Agglomerati urbani, insediamenti produttivi, commerciali minori
E4	Agglomerati urbani, aree sede di servizi pubblici ed privati, insediamenti produttivi, impianti tecnologici di rilievo impianti sportivi e ricreativi strutture ricettive di infrastrutture primarie, vie di comunicazione di rilevanza strategica, anche a livello locale.	Agglomerati urbani, aree sede di servizi pubblici ed privati, insediamenti produttivi, impianti tecnologici di rilievo impianti sportivi e ricreativi strutture ricettive di infrastrutture primarie, vie di comunicazione di rilevanza strategica, anche a livello locale.

La *Carta tecnica regionale*, realizzata in formato digitale, collaudata nel 2002 e riferita a rilievi aereofotogrammetrici realizzati tra il 1999 e il 2001, è uno strumento e efficace e di agevole accessibilità per la gestione delle informazioni e degli elementi topografici. L'organizzazione e la struttura dei dati consente di memorizzare e gestire le entità geometriche e logiche presenti nella cartografia, descrivendo il contenuto informativo in modo esauriente.

Partendo da tale base cartografica ed elaborando i dati e gli attributi degli elementi areali e lineari presenti, è stata realizzata la *carta degli elementi a rischio*. La diversa colorazione usata nella cartografia di piano per la definizione degli elementi, consente una intuitiva descrizione della tipologia di struttura o infrastruttura. Questo, associato alla classe di pericolosità, consente di definire con sufficiente approssimazione il rischio di ogni singola entità o areale. Tale approccio è rigoroso per gli insediamenti e le infrastrutture al momento presenti sul territorio, ma non consente di valutare il grado di rischio associabile alle previsioni urbanistiche, naturalmente non riportate in cartografia. Peraltro definire a priori classi di rischio che contemplino anche l'urbanizzazione a venire porterebbe ad una complessa schematizzazione su base previsionale del territorio, dai forti contenuti strettamente vincolistici. La

definizione del rischio per le previsioni pianificatorie locali è in ogni caso assicurata mediante lo schema della tabella 3, associando la perimetrazione alle carte della pericolosità. Associando inoltre l'architettura delle norme di salvaguardia alla pericolosità invece che al rischio, in ogni caso non vengono a mancare i presupposti giuridici per la definizione delle previsioni urbanistiche in essere e future.

In particolare sono state considerate, tra le tipologie di elementi a rischio, le classi E1 - aree disabitate o improduttive (non comprese negli elaborati grafici), E2 - edifici isolati, aree agricole (non comprese negli elaborati grafici), E3 - nuclei urbani, insediamenti industriali e commerciali minori, comprese le zone di espansione urbanistica, E4 - centri urbani, grandi insediamenti industriali e commerciali, le infrastrutture e servizi di rilevanza strategica anche a livello locale.

Mediante l'incrocio del dato relativo all'elemento con quello della classe di pericolosità, si può pertanto risalire agevolmente al grado di rischio. Per tutti gli elementi è stato considerato un coefficiente di vulnerabilità pari ad uno, corrispondente al danno massimo. Il valore degli elementi, e quindi il danno conseguente, è in definitiva assunto, in via convenzionale e qualitativa, crescente con l'indice della classe di appartenenza. Ne consegue che parimenti la valutazione del rischio non può che essere condotta su criteri qualitativi che, nell'ambito del presente lavoro, hanno condotto alla matrice riportata nel seguito.

**Tabella 3:** Individuazione delle classi di rischio in funzione della tipologia degli elementi e della classe di pericolosità

Tipologia degli Elementi a rischio	Classe di pericolosità			
	P1	P2	P3	P4
E1	R1	R1	R2	R2
E2	R1	R2	R3	R4
E3	R1	R3	R4	R4
E4	R1	R3	R4	R4

Le diverse condizioni di rischio sono aggregate in quattro classi a gravosità crescente alle quali sono attribuite le seguenti definizioni, così anche come indicato nell'atto di indirizzo e coordinamento al D.L. n. 180/98:

- **R.I.1**, rischio *moderato*, per il quale i danni sociali e economici sono marginali;
- **R.I.2**, rischio *medio*, per il quale sono possibili danni minori agli edifici e alle infrastrutture che



non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;

- **R.I.3**, rischio *elevato*, per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche;
- **R.I.4**, rischio *molto elevato*, per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici e alle infrastrutture, la distruzione di attività socio-economiche.

## Descrizione delle criticità

### Generalità

Il bacino dell'Arno, ai fini della legge 183, si sviluppa per una superficie di 9132 km<sup>2</sup>, con una lunghezza dell'asta principale di circa 241 km. Volendo portare alcune considerazioni di sintesi in merito alla crescita dell'urbanizzazione nel bacino, si può affermare che sino al 1954 lo stato dell'urbanizzazione corrispondeva, con leggeri cambiamenti, ad una situazione storica, da tempo consolidata. La crescita dell'urbanizzazione prosegue con un tasso relativamente ridotto sino al 1967, anno in cui, dopo l'alluvione del '66, si verifica l'inizio di una rilevante espansione edilizia che interesserà praticamente buona parte delle aree di fondovalle del bacino. L'urbanizzazione subisce un rallentamento alla fine degli anni settanta, anche se certo non cessa di progredire. Dalla metà degli anni novanta si avvertono i segnali di una inversione di tendenza, con una ridefinizione delle politiche di sviluppo del territorio tese più al recupero e valorizzazione di situazioni dismesse e degradate, presenti sul territorio, più che all'occupazione di nuove aree pregiate. Nel bacino le aree di pianura costituiscono il 21% dell'intero territorio (1924 km<sup>2</sup>).

## Aree soggette a rischio idraulico

### Generalità

Una estesa analisi del rischio idraulico nel bacino dell'Arno è riportata nelle Pubblicazioni dell'Autorità di Bacino, Quaderno n. 2 (1994), e nel piano stralcio relativo alla riduzione del rischio idraulico, sintetizzato nel Quaderno n. 5 (1996), disponibili presso l'Autorità e ai quali si rimanda per ogni eventuale approfondimento. In estrema sintesi si può qui ricordare che l'evento del 1966, maggiore per effetti calamitosi in oltre un secolo, interessò, per estensio-

ne della superficie inondata, circa 1280 Km<sup>2</sup>: quasi il 70% della superficie di pianura del bacino e circa il 15% di quella totale. Si tratta, è bene ricordarlo, di valutazioni approssimate che mescolano diversi fattori di criticità, quali insufficiente capacità di smaltimento, ristagno, rotte arginali ed altro ancora. Il dato è tuttavia eclatante, soprattutto se riferito ad una frequenza dell'evento, di ordine secolare e dunque eccezionale ma non catastrofico.

Il numero delle vittime fu, allora, di trentasei. Una simulazione svolta adesso, sulla base dell'attuale consistenza del patrimonio edificato, mostra che, nel perimetro allora inondato, sono ubicati oltre centocinquemila edifici, per oltre 44 milioni di metri quadrati di superficie coperta. Si tratta, per estensione, di circa un terzo del totale edificato del bacino. Nelle superfici è stato computato tanto il patrimonio abitativo che gli insediamenti produttivi, i luoghi di culto, gli edifici della pubblica amministrazione e quant'altro ancora.

Ancora, forse, più importante è il dato riferito alle inondazioni ricorrenti. Si tratta di fenomeni avvenuti nel periodo dal 1966 ad oggi, la cui frequenza stimata è di ordine decennale. Tale scenario è significativo anche alla luce delle fluttuazioni climatiche che, in questi ultimi anni, hanno ribadito l'incremento nella frequenza di processi meteorologici concentrati nello spazio e nel tempo. La superficie interessata da tali alluvioni ricorrenti è dell'ordine di 570 Km<sup>2</sup>, quasi il 30% delle pianure e il 6% della superficie dell'intero bacino. Il riferimento alla superficie edificata è di circa 10 milioni di metri quadrati, oltre il 7% del totale. Si tratta, ancora, di un insieme di fenomeni che, singolarmente, hanno importanza ed impatti del tutto diversi ma che fornisce un'idea concreta della fragilità idraulica del territorio.

### L'analisi del PAI

Come indicato nei capitoli dedicati alla metodologia utilizzata per la definizione delle aree a pericolosità, le aree perimetrate al livello di dettaglio, in scala 1:10.000, e quindi oggetto di modellazione specifica degli eventi di piena, rappresentano il 7,3% dell'intero territorio, corrispondente a circa 669 km<sup>2</sup>. Le aree invece studiate a livello di sintesi, in scala 1:25.000, identificate in base a criteri geomorfologici e storico-inventariali, costituiscono il 15% del bacino, corrispondente a 1373 km<sup>2</sup>.

Le tabelle successive indicano la ripartizione delle

classi di pericolosità identificate per il livello di sintesi e per il livello di dettaglio, in termini di estensione e percentuali.

**Tabella 4:** Superfici e percentuali delle classi di pericolosità relative al livello di sintesi (analisi storico-inventariale alla scala 1:25.000)

Classe di pericolosità idraulica livello di sintesi	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Percentuale	
		Rispetto al bacino	Rispetto alle aree di pianura
PI4	230,8	2,5%	11,9%
PI3	120,7	1,3%	6,2%
PI2	458,8	5,0%	23,7%
PI1	562,7	6,1%	29,1%
<b>Totale</b>	<b>1373,0</b>	<b>14,9%</b>	<b>70,9%</b>

Cumulando i dati delle due tabelle precedenti abbiamo che il 21,6% dell'intero bacino è interessato dalle perimetrazioni di pericolosità idraulica e che tutte le aree di pianura rientrano nelle classi considerate.

**Tabella 5:** Superfici e percentuali delle classi di pericolosità relative al livello di dettaglio (derivata da modello, alla scala 1:10.000)

Classe di pericolosità idraulica livello di sintesi	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Percentuale	
		Rispetto al bacino	Rispetto alle aree di pianura
PI4	152,2	1,7%	7,9%
PI3	148,5	1,6%	7,7%
PI2	221,3	2,4%	11,4%
PI1	74,0	1,0%	3,8%
<b>Totale</b>	<b>596,0</b>	<b>6,7%</b>	<b>30,8%</b>

**Tabella 6:** Superfici e percentuali delle classi di pericolosità relative alla somma delle classi di pericolosità ricavate dall'analisi al livello di dettaglio e al livello di sintesi

Classe di pericolosità sintesi più dettaglio	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Percentuale	
		Rispetto al bacino	Rispetto alle aree di pianura
PI4	383,0	4,2%	19,8%
PI3	269,2	2,9%	13,9%
PI2	680,0	7,4%	35,1%
PI1	636,8	7,0%	32,8%
<b>Totale</b>	<b>1968,9</b>	<b>21,6%</b>	<b>100,0%</b>

Le aree a pericolosità idraulica, come più sopra ricordato, derivano da analisi svolte a due livelli: i) un livello di dettaglio alla scala 1:10.000, ottenuto con analisi numerica, che riguarda la parte di bacino afferente all'asta principale dell'Arno ed ai principali affluenti, ii) un livello sinottico, alla scala 1:25.000, sostanzialmente ricavato mediante criteri

geomorfologici e storico analitici, che ricopre la restante parte del bacino.

La tabella che segue mostra l'incidenza delle aree a pericolosità idraulica sul territorio dei comuni ricadenti nel bacino.

**Tabella 7:** incidenza delle aree a pericolosità idraulica sui comuni ricadenti nel bacino

	PI1	PI2	PI3	PI4
Comuni interessati [Numero]	157	142	122	144
Comuni interessati [%]	95%	86%	73%	87%

Nella sostanza soltanto i comuni di Asciano, Castellina Marittima, Firenzuola, Piegara, Pienza, Piteglio, Radicondoli, Tuoro sul Trasimeno sono gli unici, su complessivi 166, che non comprendono aree a pericolosità idraulica. La loro incidenza sul territorio è, peraltro, marginale. In sintesi, quasi il 90% dei comuni, sono interessati da pericolosità idraulica elevata o molto elevata.

L'incidenza degli edifici sulle aree a pericolosità è sintetizzata nella tabella che seguono.

**Tabella 8:** numero di edifici interessati da pericolosità idraulica distinti per tipologia

Classe di pericolosità	Agglomerati urbani	Insediamenti produttivi	Servizi pubblici	Totale [-]
molto elevata	15279	2481	131	17891
elevata o superiore	44756	7380	371	52507
media o superiore	129138	19425	1039	149602
moderata o superiore	212124	30574	1664	244362

**Tabella 9:** superficie edificata [Mm<sup>2</sup>] interessata da pericolosità idraulica e distinta per tipologia

Classe di pericolosità	Agglomerati urbani	Insediamenti produttivi	Servizi pubblici	Totale [Mm <sup>2</sup> ]
molto elevata	2,78	2,36	0,52	5,67
elevata o superiore	9,26	7,57	1,96	18,79
media o superiore	30,27	20,70	5,80	56,77
moderata o superiore	50,34	31,87	10,22	92,43

Conviene dedicare qualche accenno all'impatto della pericolosità sull'assetto infrastrutturale. Nella tabella che segue è riportata l'incidenza della pericolosità idraulica sulle diverse tipologie di elementi della rete ferroviaria e stradale ritenuti strategici.



**Tabella 10:** Tratti di infrastrutture (in Km) che ricadono nelle diverse classi di pericolosità

	<i>molto elevata</i>	<i>elevata o superiore</i>	<i>media o superiore</i>	<i>moderata o superiore</i>
Ferrovie	83.9	124.0	283.8	447.5
Autostrade	47.7	99.7	276.4	411.5
Strade statali	60.8	119.9	279.9	479.5
Strade provinciali	112.8	203.1	506.6	848.6
Strade comunali	112.3	271.8	701.5	1138.5

Dai risultati si osserva come il rischio associato alla perdita, anche temporanea di infrastrutture strategiche, sia forte. D'altro canto è facile calcolare che l'evento a pericolosità *molto elevata*, il cui tempo di ritorno è stimato convenzionalmente in 30 anni, ha probabilità pari al 15% di accadere nei prossimi 5 anni e pari al 30% sullo scenario decennale.

#### **Alcune osservazioni di ordine metodologico**

È opportuno richiamare in sintesi i presupposti sui quali è stato costruito il modello *Idrarno*, appositamente realizzato per la perimetrazione della pericolosità al livello di dettaglio. La procedura adottata, a cui si rimanda per i dettagli, è in grado di segnalare le eventuali tracimazioni arginali o delle sponde, in destra o sinistra idrografica, le portate smaltibili in alveo e quelle eventualmente esondate, fornendone i relativi volumi. La tracimazione viene simulata come sfioro laterale attraverso soglia fissa, predisposto nel modello fra due successive sezioni trasversali.

Nel modello non si considera la possibilità di ostruzione delle opere d'arte interferenti e il collasso delle strutture arginali tracimate.

Le aree alluvionate derivano quindi sostanzialmente dall'insufficienza delle sezioni idrauliche, prescindendo dall'effettivo stato di manutenzione delle arginature. La realizzazione di un modello che tenesse in considerazione anche lo stato arginale è apparso, oggettivamente, estremamente oneroso, sia per i costi che per l'architettura del sistema, oltre a presentare dubbi rispetto all'attendibilità delle risposte. L'aspetto legato allo stato di manutenzione degli argini è comunque già stato oggetto di analisi ed è oltremodo normato nel Piano stralcio "Rischio Idraulico" (Norma n. 11 - Adeguamento dei tratti critici dell'Arno e Affluenti).

Per quanto riguarda invece la pericolosità al livello sinottico, questa è stata ottenuta con criteri geomorfologici e storico-inventariali, facendo riferimento, nella sostanza, all'analisi dei tratti del

fondovalle e ad eventi alluvionali che hanno interessato il territorio in passato. Questa analisi, in ogni caso rigorosa per quanto riguarda i criteri morfologici, lascia adito ad interpretazioni diverse per gli eventi storici, di cui le notizie non sempre risultano precise e spesso le cause sono condite da interpretazioni variegiate. Sono note quindi le criticità ma spesso si perde la definizione delle cause che le hanno generate.

#### **Pericolosità a livello di dettaglio**

Dall'esame della cartografia ottenuta mediante modellazione, risulta che le criticità maggiori interessano la parte bassa e mediana del bacino.

In particolare, partendo dalla foce, buona parte del territorio del Parco Regionale di Migliarino, S. Rossore e Massaciuccoli risulta ricompreso in aree a pericolosità molto elevata. E' da ricordare che in questa zona il regime meteomarinico è predominante rispetto al regime fluviale, con esondazioni spesso conseguenti all'impossibilità del regolare deflusso a mare di onde di piena anche di modesta entità ma concomitanti a mareggiate.

Proseguendo lungo il corso del fiume la prima città rivierasca che si incontra, Pisa, ha tutto il centro storico perimetrato in classi di pericolosità elevata e molto elevata. La sezione fluviale all'interno della città, infatti, risulta non sufficiente a contenere l'evento trentennale.

Altro importante centro posto in aree a pericolosità elevata molto elevata è Pontedera, interessato da eventi alluvionali sia dell'Arno ma, anche e soprattutto, del fiume Era, suo affluente di sinistra. Il piano stralcio "Rischio Idraulico" prevede la realizzazione di importanti opere per la messa in sicurezza di questa zona, tra cui numerose casse di espansione lungo il fiume Era ed i suoi affluenti nonché la realizzazione di uno scolmatore dell'Era recapitante le acque di piena direttamente nello Scolmatore dell'Arno esistente. Alcune di questi interventi sono al momento in fase di realizzazione. Sempre per l'area di Pontedera è previsto l'adeguamento dello Scolmatore dell'Arno stesso, che ha il suo incile all'interno del centro abitato. Questa grande opera, portata a compimento dopo il disastroso evento alluvionale del 1966, al momento è in grado di scolmare una portata inferiore a di 1000 mc/s. L'intervento di adeguamento dovrebbe consentire il deflusso della portata di progetto dell'ordine di 1.400 mc/s. Tale intervento dovrebbe ga-

rantire un maggior livello di sicurezza, tra l'altro, alla città di Pisa.

Altre criticità rilevanti interessano il così detto *Comprensorio del Cuoio*, che si estende per circa 300 Km<sup>2</sup> e comprende i Comuni di S. Maria a Monte, Castelfranco di Sotto, S. Croce, Montopoli, S. Miniato e Fucecchio.

È questo un territorio ad intensa vocazione industriale, ove, buona parte dell'urbanizzato e delle previsioni urbanistiche ricadono in aree a pericolosità idraulica PI4 e PI3.

In particolare emergono punti di crisi in aree industriali o a previsione industriale. Tra queste la zona industriale del Comune di S. Maria a Monte, così come le nuove zone produttive dei comuni di Castelfranco, Santa Croce e Fucecchio, i cui strumenti urbanistici recentemente approvati hanno previsto la delocalizzazione degli edifici industriali, commisti all'interno del tessuto urbano, in aree poste esternamente alla cerchia cittadina ed in prossimità delle principali vie di comunicazione. La delocalizzazione va però ad interessare, almeno parzialmente, aree di cui l'analisi idraulica ha evidenziato criticità. Alcune di queste situazioni di crisi appaiono risolubili in tempi brevi, come ad esempio quelle relative ad alcune aree classificate come a pericolosità molto elevata nel Comune di S. Croce, classificazione dovuta ad una insufficienza arginale per un tratto di modeste dimensioni, per il quale sono in corso di progettazione i lavori di adeguamento legati a finanziamenti di cui al D.L. 180/98.

Al di là di questi interventi di tipo puntuale, legati a specifiche singolarità, le criticità dell'area saranno risolte una volta realizzati le grandi di casse di espansione ivi previste dal Piano "Rischio Idraulico", tra cui la cassa di Montopoli, e le due casse in Comune di S. Miniato, tutte in corso di progettazione.

Seguendo il corso del fiume altre criticità emergono nel comune di Empoli, dovute al reticolo minore, in particolare delle acque del torrente Orme, che in condizioni di piena dell'Arno non riesce a defluire correttamente, provocando l'inondazione di un'area interessata da edificato e previsioni urbanistiche. Altra zona critica del territorio comunale per combinazione di pericolosità e presenza di elementi o previsioni a rischio, è l'area industriale in località Terrafino, parzialmente interessata da esondazioni del fiume Elsa. La messa in sicurezza

dell'area è legata alla realizzazione della cassa di espansione in località Madonna della Tosse, attualmente in corso di realizzazione.

Di fronte all'abitato di Empoli, in destra d'Arno, buona parte del centro abitato di Vinci ricade in aree a pericolosità molto alta sempre a seguito di insufficienze arginali.

Anche in questo caso le problematiche possono essere mitigate dalle realizzazioni di due case di espansione controllata previste a monte e denominate Fibbiana 1 e 2. Entro la fine del 2002 saranno redatti i progetti definitivi di tali opere.

Residue criticità interessano anche il Comune di Montelupo Fiorentino, dovute sostanzialmente alla presenza di alcuni sottopassi alla massicciata ferroviaria, che corre in fregio all'Arno fungendo anche da argine di secondo ordine. Tali problematiche possono essere risolte, predisponendo opportuni presidi alle discontinuità predette attualmente in corso di progettazione. I problemi legati invece allo smaltimento delle maggiori piene del fiume Pesa, che confluisce in Arno in corrispondenza del centro abitato di Montelupo, sono, almeno in parte, affrontate da casse di espansione già realizzate lungo l'asta a monte e da altre casse in corso di progettazione..

Una forte criticità caratterizza tutta la zona afferente ai bacini dell'Ombrone e del Bisenzio e il nodo fiorentino. E' un'ampia zona di pianura, intensamente urbanizzata e caratterizzata da un generalizzato elevato grado di pericolosità idraulica, sia dovuto ai corsi d'acqua principali, sia al reticolo delle cosiddette *acque basse*, regolate dalle opere realizzate negli anni dai vari Consorzi di Bonifica. Le *acque basse* sono state oggetto nell'ultimo decennio di numerosi interventi, anche con il contributo di questa Autorità, che hanno notevolmente ridotto il livello di rischio. Il Piano stralcio "Rischio Idraulico" prevede per tutta l'area metropolitana Firenze-Prato-Pistoia una serie di importanti opere, alcune delle quali in stato di avanzata progettazione, che ricondurranno la situazione a livelli di rischio sostenibile.

Il centro urbano della città di Firenze non ricade tra le aree a pericolosità elevata e molto elevata.

Ulteriori criticità risultano nel Valdarno Superiore e nel Casentino, anche se, per l'andamento morfologico delle aree prospicienti ai corsi d'acqua, presentano una estensione areale minore.

Criticità localizzate interessano anche l'abitato



di Arezzo, dovute al torrente Castro che attraversa il tratto cittadino con un percorso sotterraneo, con sezione insufficiente allo smaltimento delle acque di piena.

Criticità diffuse interessano il territorio del comune di Poppi e il Casentino, anche se per questa porzione di bacino la probabilità di alluvione interessa in massima parte terreni agricoli.

### Pericolosità a livello di sintesi

Riguarda le aree perimetrate alla scala 1:25.000 redatte con criteri storico-inventariali. Come per il livello di dettaglio le cartografie riportano quattro classi di pericolosità all'interno delle quali, proprio in virtù dei criteri utilizzati per la perimetrazione, non è stato tuttavia possibile individuare il battente raggiunto dalle acque di esondazione. Dato di partenza fondamentale della perimetrazione è la "cartografia delle aree allagate negli ultimi trenta anni", costituente parte integrante del piano stralcio "Rischio Idraulico". In particolare nel Piano si prevede che la predetta cartografia possa essere modificata, su richiesta delle amministrazioni comunali interessate, a seguito di presentazione di opportuna documentazione tecnica attestante le modifiche richieste.

Ovviamente le eventuali modifiche, una volta recepite, avranno riflesso sulla cartografia di PAI.

Ciò premesso, le criticità più evidenti risultano interessare il bacino dello Scolmatore d'Arno, l'alta Valdera, il Padule di Bientina, il Padule di Fucecchio e la Val di Chiana senese.

Lo Scolmatore dell'Arno percorre una vasta area di pianura, in parte caratterizzata da zone umide già in tempi storici interessate da opere di bonifica. Nello Scolmatore confluiscono una serie di canali di bonifica, di corsi d'acqua provenienti dalle colline pisane e livornesi e canali artificiali (di cui il più importante è il Canale dei Navicelli); tali corsi confluiscono a mare in corrispondenza dell'attuale foce dello Scolmatore nella così detta fiumara del Calabrone. In una situazione idraulicamente così complessa e per un territorio caratterizzato da una altimetria spesso a quote corrispondenti al livello medio mare, il canale Scolmatore ha indubbiamente creato nuove criticità. In particolare, in concomitanza delle aperture delle paratoie che regolano l'incile di Pontedera, anche per portate notevolmente inferiori a quelle di progetto, apertura ad esempio avvenuta in seguito agli eventi alluvio-

nali dei primi anni novanta, tutto il reticolo minore va in crisi per impossibilità di deflusso. Criticità inoltre sono dovute anche alle arginature del Canale, impostate su terreni limo argillosi e che nel tempo hanno manifestato problemi di subsidenza.

Le criticità maggiori interessano la parte valliva in Comune di Collesalveti, sia in destra che in sinistra idraulica. In particolare aree di crisi risultano l'area industriale interessata, tra l'altro, da importanti strutture, quali l'Interporto "Amerigo Vespucci" e il complesso siderurgico ex CMF, nonché aree oggetto di previsioni urbanistiche. Al momento sono in corso interventi di bonifica idraulica e studi di dettaglio atti ad individuare possibili interventi di mitigazione delle criticità emerse nonché la realizzazione di casse di espansione sul torrente Acqua Salsa.

Per quanto riguarda le aree afferenti al sottobacino del Tora, affluente di destra dello Scolmatore, ricadenti nei Comuni di Fauglia, Lorenzana, Crespina, e Collesalveti, interessate negli anni novanta da eventi alluvionali di fortissima intensità, le criticità emerse in fase di stesura del Piano Straordinario per la rimozione delle situazioni a rischio più alto, sono ad oggi in buona parte superate grazie ad un complesso di interventi consistenti in realizzazione di casse di espansione, sistemazioni arginali, rifacimento di ponti, sottopassi, ecc..

Problematiche dovute a pericolosità elevata emergono anche nel bacino dell'Era e del suo affluente Cascina.

In particolare le aree industriali dei Comuni di Lari, Ponsacco e parzialmente di Pontedera ricadono in aree a pericolosità elevata. Tali criticità saranno risolte, in parte, una volta completati gli interventi già previsti sui torrenti Cascina e Zannone.

Per quanto riguarda i bacini del Padule di Bientina e di Fucecchio, tra l'altro aree a forte valenza ambientale, caratterizzati da una intensa urbanizzazione, sono stati individuati dalla Regione Toscana gli Enti attuatori di studi di area vasta e di progettazioni preliminari di interventi di Piano atti a mitigare le pericolosità riscontrate.

La Valdichiana senese ricade, per buona parte del suo territorio, in classe di pericolosità molto elevata. Pur essendo un territorio sostanzialmente a destinazione agricola, emergono puntuali aree di crisi in corrispondenza dei centri abitati e lungo le prin-

cipali vie di comunicazione.

Anche in questo caso sono in corso studi di dettaglio che oltre ad affinare il quadro conoscitivo permetteranno l'individuazione di interventi atti a mitigare le condizioni di rischio.

### Aree soggette a rischio da frana

#### Generalità

La metodologia usata per la perimetrazione della pericolosità da frana, a cui si rimanda per i dettagli, ha seguito anche in questo caso due livelli di indagine: uno di dettaglio, alla scala 1:10.000, in cui sono state cartografate le aree in frana derivanti dall'inventario dei fenomeni franosi, l'altro di sintesi, alla scala 1:25.000, in cui sono state individuate le aree con diversa pericolosità derivanti dall'analisi dei Piani Territoriali di Coordinamento provinciali oltre che dal quadro conoscitivo già in possesso dell'Autorità.

Con il livello di dettaglio l'analisi del censimento dei fenomeni franosi ha condotto all'individuazione delle aree PF4, con il livello di sintesi sono state invece perimetrate le aree PF3, PF2 e PF1, a cui sono state aggiunte anche le ulteriori aree a pericolosità elevata, media e moderata presenti nel censimento. Quindi le aree PF4 sono indicate solo nella cartografia di dettaglio (scala 1:10.000).

#### L'analisi del PAI

Come si può vedere dalla tabella 11 la superficie che è stata oggetto di perimetrazione nelle

Tabella 11: Superfici e percentuali delle classi di pericolosità relative alla somma delle classi di pericolosità ricavate dall'analisi al livello di dettaglio e al livello di sintesi

Classi di pericolosità da frana	Superficie (Km²)	Percentuale	
		Rispetto al bacino	Rispetto alle aree di pianura
PF4	10,0	0,11%	0,14%
PF3	458,4	5,02%	6,37%
PF2	2234,7	24,47%	31,07%
PF1	4442,3	48,65%	61,76%
Totale	7145,4	78,24%	99,33%

diverse classi di pericolosità da frana è di 7154 km², per una percentuale totale sul bacino del 78,4%.

La tabella 12 invece mostra l'incidenza delle aree a pericolosità da frana sul territorio dei comuni ricadenti nel bacino.

Tabella 12: incidenza delle aree a pericolosità da frana sui comuni ricadenti nel bacino

	PI1	PI2	PI3	PI4
Comuni interessati [Numero]	159	157	151	35
Comuni interessati [%]	96%	95%	91%	21%

Oltre il 90% dei Comuni sono pertanto interessati da dissesti reali (PF4), derivanti dal censimento delle aree in frana, o presentano elevata propensione al dissesto (PF3).

Il numero di edifici che ricadono in ciascuna delle classi di pericolosità da frana individuate è invece l'oggetto della tabella che segue.

Tabella 13: numero di edifici interessati da pericolosità da frana distinti per tipologia

Classe di Pericolosità	Agglomerati urbani	Insedimenti produttivi	Servizi pubblici	Totale [-]
molto elevata	950	28	15	993
elevata o superiore	14907	539	176	15622
media o superiore	106986	5993	960	113939
moderata o superiore	175595	11044	1566	188205

La tabella 14 mostra invece le superfici edificate in rapporto alla tipologia e alla pericolosità.

Tabella 14: superficie edificata [Mm²] interessata da pericolosità da frana e distinta per tipologia

Classe di Pericolosità	Agglomerati urbani	Insedimenti produttivi	Servizi pubblici	Totale [Mm²]
molto elevata	0.18	0.015	0.005	0.20
elevata o superiore	0.94	0.17	0.31	2.42
media o superiore	18.69	3.33	2.74	24.76
moderata o superiore	29.71	5.71	5.03	40.45

Tabella 15: Tratti di infrastrutture (in Km) che ricadono nelle diverse classi di pericolosità da frana

	molto elevata	elevata o superiore	media o superiore	moderata o superiore
Ferrovie	0,6	16,8	105,9	361,5
Autostrade	0,6	5,6	107,5	301,2
Strade statali	2,7	40,9	273,3	824,8
Strade provinciali	9,2	121,7	844,4	2035,7
Strade comunali	11,2	171,6	1102,7	2732,5

L'analisi dell'impatto della pericolosità da frana sulle infrastrutture mostra anche qui un forte rischio, tuttavia cetamente più localizzato e circostanziato rispetto all'idraulica.



### Pericolosità a livello di dettaglio

Fra le aree *PF4* individuate alla scala di dettaglio particolare attenzione va posta in quei centri abitati di rilevante interesse storico e culturale dove, oltre a rischio per persone e cose, l'evento franoso mette in serio pericolo anche beni artistici e architettonici rilevanti.

Tra questi certamente il dissesto che interessa il Santuario di Chiusi della Verna nell'alto Casentino, in provincia di Arezzo, è uno dei più importanti. Il movimento gravitativo profondo che investe anche il Santuario è già oggetto di intervento per il cui finanziamento ha contribuito anche questa Autorità. Il dissesto è di tipo particolare e le opere per la messa in sicurezza sono sicuramente imponenti ed onerose. L'importanza del luogo in ogni caso giustifica i mezzi necessari al ripristino della sua sicurezza.

Altro luogo di interesse storico oggetto di dissesto da frana è la Pieve di Romena, sempre in Casentino nel Comune di Pratovecchio. Qui siamo in presenza di un movimento complesso che interessa materiali argilloscisti in assetto caotico, per il cui ripristino sono necessari interventi di consolidamento e drenaggio del versante su cui si pone la Pieve.

Sempre nell'aretino, di una certa rilevanza è il dissesto che interessa l'abitato di Montemignaio. Le altre frane a pericolosità molto elevata presenti nella provincia di Arezzo interessano frazioni sparse e nuclei isolati posti nel Comune di Chiusi della Verna, (Biforco, Corezzo, Giampereta, Frassineto), nel Comune di Bibbiena (Banzena), di Pratovecchio, di Poppi, di Loro Ciuffenna e Terranova Bracciolini.

In provincia di Firenze varie sono le aree *PF4* che interessano centri importanti tra cui l'abitato di Cerreto Guidi, il centro storico di Certaldo e la sua frazione Marcialla, il centro storico di Gambassi e l'abitato di Montespertoli. Sono questi tutti movimenti che si attivano nei depositi marini pliocenici dove le alternanze tra sabbie, limi e conglomerati ghiaiosi determinano movimenti franosi complessi, in cui spesso i crolli, prevalenti, evolvono in scoscese e colate.

Sempre in Provincia di Firenze, di una certa criticità appare il dissesto che interessa Carbonile nel Comune di Pelago. Altri dissesti a pericolosità molto elevata interessano nuclei abitati minori

nei Comuni di Bagno a Ripoli, Dicomano, Fiesole, Montespertoli, Reggello, Capraia e Limite.

Nella Provincia di Siena oggetto di attenzione rivestono le frane che interessano i Comuni di Montepulciano e Poggibonsi, rispettivamente nelle località di Canneto e Casalino. Sono dissesti che interessano sempre i depositi pliocenici, riconducibili alle tipologie sopra ricordate.

Nella Provincia di Pisa rilevante è il dissesto che interessa il Comune di Palaia nel centro storico, anche esso in materiali pliocenici e con caratteristiche di tipo complesso, dal crollo allo scosciamento.

Nelle province di Pistoia e Prato, numerosi sono anche i dissesti risultanti dal censimento, che insistono su abitati e nuclei sparsi.

### Pericolosità a livello di sintesi

Dall'analisi del livello di sintesi, alla scala di 1:25.000, si può notare come la distribuzione della pericolosità elevata di frana (*PF3*) sia strettamente associata all'assetto geologico-strutturale del bacino, con 4 fasce di pericolosità poste con un assetto NW-SE, che seguono gli assi del rilievo principale.

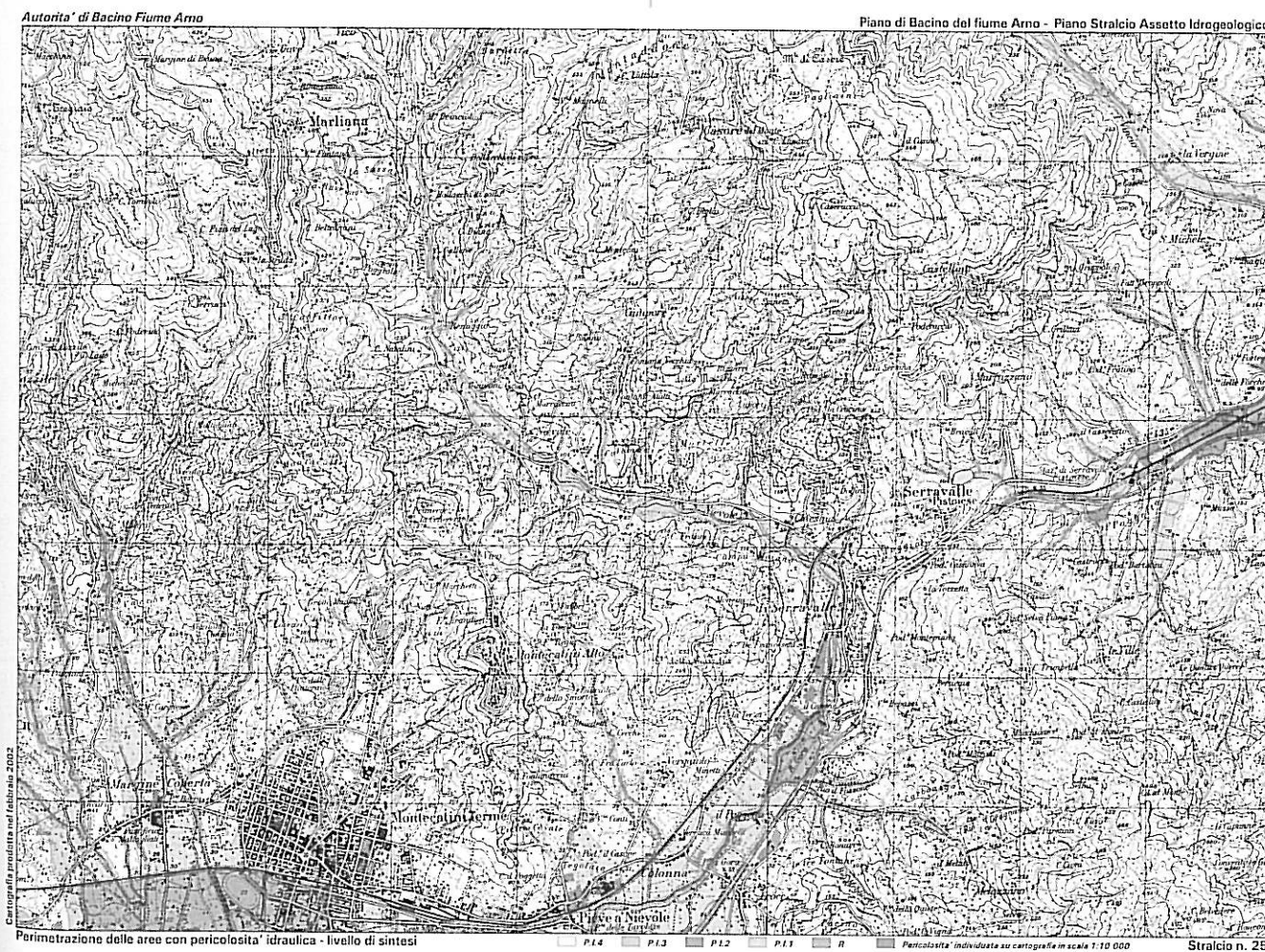
Si parte dall'estremo est del bacino con una fascia ad elevata probabilità di frana distribuita lungo il versante ovest dell'Appennino, che interessa i rilievi declinanti verso l'alta valle dell'Arno in Casentino, e nella porzione mediana della Sieve, in Mugello. Questi sono dissesti attivi nelle porzioni altimetricamente più elevate del bacino, con frane di varia tipologia e fenomeni erosivi accentuati delle coltri superficiali che possono sfociare anche in repentini e rapidi *debris flow*.

La seconda fascia parte a sud del bacino, con la maggiore densità di criticità concentrata nel Valdarno Superiore, fra Arezzo e Firenze, e prosegue a nord nei rilievi collinari e montuosi ad ovest della pianura Firenze-Prato-Pistoia. Nel Valdarno, tra i rilievi del Pratomagno ad est, e le colline del Chianti ad ovest, si tratta di aree con propensione al dissesto elevato che coinvolgono ampie zone, anche abitate o sede di infrastrutture, che interessano terreni di origine lacustre e marina recenti e relativamente recenti. Nella porzione a nord invece la propensione al dissesto è più rarefatta e connessa con particolari assetti geomorfologici locali.

La terza fascia a pericolosità elevata interessa invece i rilievi pliocenici circostanti i bacini dei fiumi Pesa, Elsa e Greve a sud, la fascia collinare tra pianura fiorentina e Padule di Fucecchio, i rilievi basso appenninici che segnano a nord il confine con il bacino del Serchio. Si tratta, con esclusione di questa ultima zona, di dissesti anche diffusi che vanno ad interessare aree densamente abitate, anche se gli insediamenti sono generalmente di tipo sparso. I terreni coinvolti sono di natura sabbioso-limosa con livelli conglomeratici e la tipologia del dissesto può variare dal crollo, allo scivolamento rotazionale, alla colata di detrito. Nella porzione settentrionale, nel rilievo basso appenninico, la distribuzione della propensione al dissesto di tipo *PF3* è estesa, con ampie zone inte-

ressate, con terreni coinvolti di natura eterogenea prevalentemente detritica e arenacea. Si tratta di una vasta zona che è stata anche oggetto di eventi calamitosi nel novembre del 2000, con il verificarsi di numerose frane che hanno interessato prevalentemente le coperture superficiali, provocando vari danni specialmente alla rete delle infrastrutture viarie.

La quarta fascia, posta nella porzione altimetricamente più bassa del bacino, interessa i rilievi circostanti il bacino del fiume Era. Si tratta di propensione al dissesto che interessa terreni pliocenici con le tipologie di frana sopra ricordate. Le aree critiche sono molto diffuse arealmente e distribuite omogeneamente, anche qui coinvolgendo nuclei abitati e case isolate.





## Perimetrazione delle aree a rischio idraulico sugli affluenti del fiume Arno

### Premessa

Il D.L.180/98 stabilisce che le Autorità di Bacino di rilievo nazionale e interregionale e le regioni per i restanti bacini adottino Piani Stralcio per l'assetto idrogeologico che contengano in particolare l'individuazione e la perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico. Il D.L.180 prevede inoltre che nelle stesse aree siano in ogni modo adottate le norme di salvaguardia.

L'Atto di Indirizzo e Coordinamento del 29.9.98 individua i criteri relativi agli adempimenti di cui ai commi 1 e 2 dell'art. 1 del citato Decreto. In particolare, fornisce le indicazioni per la stima del livello di pericolosità degli eventi e per la valutazione del rischio idraulico, prevedendo l'individuazione dei tronchi fluviali per i quali dovrà essere eseguita la perimetrazione delle aree a rischio, con compilazione per ciascun tronco di scheda descrittiva, e la perimetrazione delle aree a rischio mediante adeguati studi idraulici e idrogeologici, in corrispondenza di eventi associati a tre diversi tempi di ritorno compresi rispettivamente tra 20 e 50, 100 e 200, 300 e 500 anni. In particolare, si definiscono tre differenti classi di pericolosità: alta probabilità di esondazione ( $Tr=20-50$  anni), moderata probabilità di inondazione ( $Tr=100-200$  anni) e bassa probabilità di inondazione ( $Tr=300-500$  anni). La rappresentazione delle aree perimetrate deve essere condotta su cartografia a scala non inferiore a 1:25.000. Per quanto riguarda la procedura, i calcoli idrologici e idraulici richiesti possono essere prodotti in modo speditivo;

La presenza degli elementi a rischio (insediamenti, attività produttive e patrimonio ambientale) deve essere individuata tramite cartografia scala minima 1:25.000 integrata da foto aeree e rappresentata su carta. Tramite la sovrapposizione della carta degli elementi a rischio con quella delle aree a rischio si ottiene la carta del rischio articolata con le seguenti classi: R1-moderato, R2-medio, R3-elevato, R4-molto elevato.

Nell'ambito della normativa prima descritta, la

presente relazione sintetizza le attività svolte per la perimetrazione delle aree soggette a inondazione in conseguenza di eventi di piena di assegnata probabilità per una serie di affluenti del fiume Arno.

I corsi d'acqua per i quali di seguito si riporta la descrizione delle elaborazioni condotte e dei risultati ottenuti sono i seguenti:

- *asta principale del F. Ombrone*, dal tratto di rigurgito fino alla confluenza con il torrente Vincio di Brandeglio e torrente Stella;
- *asta principale del f. Bisenzio*, dal tratto di rigurgito fino a Praticello;
- *asta principale del f. Sieve*, dalla briglia di S. Francesco fino a Bilancino
- *asta principale del fiume Greve*, dal tratto di rigurgito fino a Greve;
- *asta principale del fiume Elsa*, dal tratto di rigurgito fino a Castelfiorentino;
- *asta principale del fiume Era*, dal tratto di rigurgito fino a Capannoli, fiume Cascina e fiume Roglio;
- *asta principale del fiume Pesa* dal tratto di rigurgito fino a Lucarelli.

Infine si ritiene opportuno premettere alcune considerazioni di carattere generale:

- l'impostazione metodologica utilizzata è conforme ai criteri generali individuati dall'Autorità di Bacino per la perimetrazione delle aree a rischio idraulico;
- i corsi d'acqua oggetto della presente proposta sono stati selezionati in funzione del livello conoscitivo attualmente disponibile;
- in analogia con quanto già svolto per l'asta principale del fiume Arno si assume che:
- le strutture idrauliche di contenimento (argini, muri di sponda, spallette) siano tracimabili senza collasso della struttura. Analogamente non si considerano fenomeni di collasso dovuti a processi di mobilità dell'alveo o a moti di filtrazione;

per altre strutture di contenimento non idrauliche (rilievati stradali e ferroviari), non si verifichi il collasso anche nel caso di tracimazione, valutandone nel contempo il grado di permeabilità dovuto agli attraversamenti.

- Le aree allagate sono conseguenza della fuoriuscita dei volumi idrici dai corsi d'acqua considerati.

### Torrente Ombrone Pistoiese e Fiume Bisenzio.

#### Generalità

Il bacino dell'Ombrone Pistoiese interessa una superficie di 489 km<sup>2</sup>, con lo sviluppo dell'asta principale di circa 41 km; ha forma ovale con oltre 30 km di lunghezza e 15 km di larghezza media. Il bacino del Bisenzio, situato ad Est dell'Ombrone, è caratterizzato da un'estensione di 320 km<sup>2</sup>, con uno sviluppo dell'asta principale di circa 46 km; le specificità del bacino del Bisenzio rispetto a quello dell'Ombrone, sono da individuarsi nella sua forma molto allungata, avendo una larghezza media inferiore a 10 km, e nella sua morfologia essenzialmente montagnosa. La superficie globalmente occupata dai due sistemi idrografici è di circa 810 km<sup>2</sup>.

I due bacini, pur con proprie specificità, hanno la caratteristica comune di avere un ampio sistema idrografico degli affluenti del tratto vallivo con deflusso impedito in caso di piena del ricevente (*sistema delle acque basse*), mentre il sistema principale, pur non avendo organi di controllo alle foci (*acque alte*), può risultare significativamente influenzato dalle condizioni di piena del ricettore Arno.

La sistematica azione antropica sul reticolo idrografico è particolarmente evidente nella struttura del reticolo di drenaggio delle *acque basse*, che deriva dall'opera di bonifica idraulica svolta sin dai tempi romani.

Le morfologie di alveo dei corsi d'acqua di pianura sono caratterizzate da geometria per lo più trapezoidale e dall'assenza di importanti processi di dinamica geomorfologica, inibiti dalla costruzione laterale costituita dagli argini. Tale costrizione ha causato, in alcuni torrenti ad elevato trasporto solido, depositi in alveo con conseguente innalzamento del fondo, fino al raggiungimento di quote superiori al piano di campagna (alveo pensile).

Rispetto ai complessi sistemi sopra accennati, le analisi idrologiche idrauliche illustrate nel presente capitolo hanno riguardato solo le aste principali del

torrente Ombrone Pistoiese e del suo principale affluente, torrente Stella, nonché del fiume Bisenzio.

Più precisamente i tronchi idraulicamente studiati sono:

- torrente Ombrone Pistoiese - da Ponte Calcaiola a Ponte a Tigliano, sezione considerata nello studio analitico dell'asta principale del fiume Arno - settembre 1999;
- torrente Stella - da Stazione Masotti alla confluenza nell'Ombrone;
- fiume Bisenzio - da La Villa al ponte sulla SS 66 Pistoiese, sezione considerata nello studio analitico dell'asta principale del fiume Arno - settembre 1999.

Nella successiva Tab.1.1.A sono evidenziate le lunghezze dei tronchi ed il numero delle sezioni trasversali utilizzate rispettivamente per l'analisi dei tre tronchi fluviali.

Le sezioni trasversali utilizzate nello studio in esame erano sostanzialmente quelle in possesso dell'Au-

Tab.1.1.A

Asta fluviale	Lunghezza studiata (km)	Sezioni Fluviali (n°)
t. Ombrone P.se	24,2	137
t. Stella	17,1	78
f. Bisenzio	39,5	141

### Analisi idrologica

La metodologia di seguito accennata per punti fa riferimento ai criteri definiti dal coordinatore Prof. Ing. Enio Paris.

Gli idrogrammi di piena per i sottobacini sono valutati con il modello ALTO [Regione Toscana 1998], consistente in un modello di trasformazione afflussi-deflussi ottenuto tramite la metodologia dell'idrogramma istantaneo unitario (IUH); i parametri dell'IUH sono determinati sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del bacino, previa regionalizzazione dei parametri, con calibratura su tutto il territorio della Regione, ottenendo un idrogramma unitario istantaneo geomorfologico (GIUH). L'input meteorico è fornito da un ietogramma sintetico, statisticamente individuato - per Tempo di ritorno ( $Tr$ ) assegnato - a partire dalle curve di possibilità climatiche ricavate per lo studio di regionalizzazione suddetto.



Una specifica procedura è stata messa a punto per conto dell'Autorità di Bacino (*IDRARNO*) e applicata per lo studio dei tronchi fluviali in oggetto, per ottenere la generazione di idrogrammi di piena per eventi di pioggia di assegnata durata. Nella procedura *ALTO*, viceversa, la durata è automaticamente

Tab. 1.2.A

Asta fluviale	Durata della pioggia (ore)			
	4	8	12	16
t. Ombrone P.se	4	8	12	16
t. Stella	1	3	5	7
f. Bisenzio	4	8	12	16

prefissata con l'obiettivo di massimizzare la portata del singolo tronco fluviale in esame.

L'analisi è sviluppata per ietogrammi costruiti per le seguenti ricorrenze: Tr=30 - 100 - 200 - 500 anni. Agli eventi di piena rispettivamente generati sono state assegnate pari ricorrenze statistiche.

Per ogni Tr sono considerate quattro durate di pioggia, assunte nell'intorno del tempo di risposta caratteristico del bacino idrografico considerato. Nella sottostante Tab. 1.2.A sono riportate, per i tre corsi esaminati, le durate di pioggia utilizzate per le simulazioni.

Tab. 1.2.B/1

OMBRONE PISTOIESE: SEZIONE DI MONTE E AFFLUENTI	
Affluente	Area (kmq)
TORRENTE OMBRONE	30,4
VINCIO DI BRANDEGLIO	13,9
FOSSO DELLA CASACCIA	0,8
RIO TORBECCHIA	11,7
RIO DELLA FALLITA	2,6
TORRENTE VINCIO DI MONTAGNANA	21,4
RIO BRUSIGLIANO	9,4
TORRENTE CALICE	90,5
TORRENTE BAGNOLO	11,5
FOSSO IOLO	17,6
TORRENTE STELLA	69,7
TORRENTE FURBA	13,4
<b>TOTALE AREA</b>	<b>292,9</b>

Gli input idrologici, generati con la procedura *IDRARNO*, sono localizzati in corrispondenza dell'immissione dei principali affluenti.

I contributi delle aree direttamente afferenti all'asta principale o provenienti da immissari di limitatissimo bacino imbrifero vengono accorpati con quelle degli immissari contigui considerati.

La superficie scolante considerata è comunque inferiore a quella del bacino complessivo afferente alle tre aste studiate, in quanto non vengono considerati i contributi delle *acque basse* e, per le aste dei due affluenti del primo ordine dell'Arno, la sezione di chiusura assunta per il bacino non è allo sbocco in Arno, ma al limite dell'area già oggetto dello studio interessante l'asta principale dell'Arno che considera anche tratti di rigurgito lungo gli affluenti del primo ordine.

Nelle sottostanti Tabb. 1.2.B/1-3, sono riportati gli affluenti considerati per le tre aste fluviali (Ombrone, Stella, Bisenzio) con le rispettive superfici che determinano contributi idrologici calcolati con le procedure suddette.

Le aree dei bacini sono state ricalcolate rispetto alla procedura automatica di regionalizzazione che determina automaticamente le aree scolanti dall'interpretazione di un DTM.

Portate al colmo (mc/s)			
Tr = 30	Tr = 100	Tr = 200	Tr = 500
126	166	194	236
60	78	90	109
4	5	5	6
46	60	70	85
11	14	17	20
66	90	104	125
38	48	55	67
205	271	317	387
29	37	43	51
29	38	45	56
121	154	176	210
41	54	63	78

**TORRENTE STELLA: SEZIONE DI MONTE E AFFLUENTI**

Affluente	Area (kmq)
TORRENTE STELLA	10,1
FORRA GRILLAIA	2,2
FOSSO SARDIGNA	1,6
FOSSO TAZZERA	6,1
RIO VINACCIANO	5,2
FOSSO DI CASTELNUOVO	6,7
RIO MORIONE	7,7
FOSSO DEL SANTONOV	4,4
FOSSO IMPIALLA	3,9
FOSSO FALCHERETO	4,0
FOSSO FERMULLA	10,5
RIO BARBERONI	3,0
<b>TOTALE AREA</b>	<b>65,4</b>

Tab. 1.2.B/2

Tab. 1.2.B/3

**FIUME BISENZIO: SEZIONE DI MONTE E AFFLUENTI**

Affluente	Area (kmq)
FIUME BISENZIO	24,0
TORRENTE CANVELLA	4,0
FOSSO FIUMICELLO	8,4
TORRENTE CARIGIOLA	21,2
FOSSO DI FIUMENTA	22,5
TORRENTE TORBOLA	11,2
FOSSO DELLE CAPANNE	5,3
RIO ALLESE	9,3
BOTRO CAMBIATICCI	4,9
RIO USOLLA	2,5
FOSSO DI MIGLIANO	14,9
FOSSO DELLE SPINAIE	2,7
RIO AL TAGLIO	1,7
FOSSO DEGLI SCALAI	7,4
RIO LA NOSA	12,6
RIO BUTI	9,3
FOSSO FILETTOLE	8,2
TORRENTE MARINELLA	14,0
TORRENTE MARINA	68,7
<b>TOTALE AREA</b>	<b>252,9</b>

La procedura *ALTO* fornisce i valori dei parametri geomorfologici per un elevato numero di corsi d'acqua. Dove non sono disponibili detti parametri sono stati implementati avendo a riferimento quelli di aste contigue e similari per le quali i parametri geomorfologici sono già disponibili dalla procedura.

*IDRARNO*, come detto, permette la generazione delle portate idrologiche in funzione delle durate di pioggia scelte. Le suddette Tabb. 1.2.B/1-3, per ogni

**Portate al colmo (mc/s)**

Tr = 30	Tr = 100	Tr = 200	Tr = 500
53	70	82	98
10	13	15	18
18	22	25	30
55	70	79	95
44	56	64	77
27	34	39	47
29	38	44	52
18	22	26	32
16	20	24	29
17	25	30	38
37	48	55	66
19	25	29	34

**Portate al colmo (mc/s)**

Tr = 30	Tr = 100	Tr = 200	Tr = 500
114	151	176	214
20	26	30	36
42	54	62	75
77	105	123	153
87	116	136	166
47	60	70	85
16	22	26	33
38	48	56	68
12	16	18	23
10	13	15	18
55	72	83	101
10	13	15	18
4	6	6	8
16	22	25	30
17	29	35	45
4	18	24	30
2	13	18	25
11	22	29	39
51	90	114	152

tempo di ritorno, forniscono le massime portate degli affluenti al colmo, inviluppo di quelle di varia durata di pioggia.

**Analisi idraulica**

Il modello di simulazione numerica adottato è in moto vario e sfrutta la procedura *IDRARNO* che è in grado di integrare gli input idrologici puntuali generati come descritto al punto precedente.

Le portate generate vengono confrontate con quel-



le smaltibili dalle sezioni fluviali. A quest'ultimo scopo con la procedura *HEC-RAS* sono state generate scale di deflusso al fine di ottenere l'associazione fra portate e livelli idrici in alveo.

La procedura *IDRARNO*, interfacciandosi con le scale di deflusso generate, è in grado di segnalare le eventuali tracimazioni arginali o delle sponde, in destra o sinistra idrografica, le portate smaltibili in alveo e quelle eventualmente tracimate, fornendo i volumi di esondazione. La tracimazione viene simulata come sfioro attraverso soglia fissa, predispunta nel modello fra due successive sezioni.

Vengono sviluppate tante simulazioni quante sono le durate di pioggia considerate. Per ogni tempo di ritorno, dal confronto delle simulazioni per le diverse durate si evince l'involuppo dei valori massimizzanti le portate, i livelli idrici e i volumi esondati.

Per la generazione delle scale di deflusso in *HEC-RAS* nelle sezioni fluviali sono stati considerati parametri di scabrezza (di Manning) corrispondenti ad ordinarie condizioni di manutenzione e controllo dello sviluppo della vegetazione in alveo.

La procedura adottata esclude la possibilità di

ostruzione delle opere d'arte interferenti e l'eventuale collasso degli argini a seguito della loro tracimazione.

Rispetto alla condizione di tracimazione oltre le sponde degli alvei, non viene considerato alcun franco idraulico.

Le condizioni di valle per l'Ombrore P.se ed il Bisenzio sono definite, secondo i criteri metodologici stabiliti, con riferimento a livelli medi di rigurgito fra quelli determinati in fase di studio analitico: *Analisi idrologica - idraulica dell'asta principale del fiume Arno e degli affluenti nel tratto di rigurgito* [Autorità di Bacino del fiume Arno - Paris, Preti, Settesoldi - settembre 1999].

La condizione di valle del torrente Stella è assunta in considerazione dei livelli determinati dall'Ombrore, con calcolo di quest'ultimo svolto sulla base della portata dello Stella idrologicamente determinata.

Nelle sottostanti Tabb. 1.3.A/1-3, per i tre corsi d'acqua sono riepilogate l'entità dei volumi esondati in corrispondenza delle località geografiche a fianco evidenziate.

Tab. 1.3.A/1 - Volumi esondati sul Torrente Ombrore

Località dell'esondazione	Tr=30 anni Volume esondato [mc]	Tr=100 anni Volume esondato [mc]	Tr=200 anni Volume esondato [mc]	Tr=500 anni Volume esondato [mc]
Località Ponte Calciola		54200	171500	457600
Località Ponte Autostrada			3100	191700
Località Ponte alla Pergola				181900
Località Castellare		219500	722700	1255000
Località Cason dei Giacomelli		42900	77300	131300
Località Castel del Fabbro		300	3100	1700
Località Bocca di Calice		390300	1424300	3483500
Cassa di espansione Ponte alle Vanne	436300	441200	470900	436700
Località Case Betti		772200	1551200	2671800
Località Ponte Caserana				200
Località Case Lombardi		64300	124800	227700
Località Guado del Molino	42300	861300	1233400	1705300
Cassa di espansione Case Carlesi	197600	251500	252700	256300
Località Bocca di Stella e Bocca Vittoria		239700	641700	1548100

Tab. 1.3.A/2 - Volumi esondati sul Torrente Stella

Località dell'esondazione	Tr=30 anni Volume esondato [mc]	Tr=100 anni Volume esondato [mc]	Tr=200 anni Volume esondato [mc]	Tr=500 anni Volume esondato [mc]
Località Stazione Masotti	34700	133100	222500	389300
Località S. maddalena	86600	189900	258300	311000
Località Bargi	109400	175300	214900	281400
Località Ponte di Cencino	228200	339600	507100	731700
Località Casa Rossa	320600	521200	646900	366000
Località Pontassio e P. Stella	378400	698900	1036400	1331500
Località S. Biagio	4500	19100	23500	41400
Località Ponte Torto di Casanuova	4200	64600	229300	430700

Tab. 1.3.A/3 - Volumi esondati sul Fiume Bisenzio

Località dell'esondazione	Tr=30 anni Volume esondato [mc]	Tr=100 anni Volume esondato [mc]	Tr=200 anni Volume esondato [mc]	Tr=500 anni Volume esondato [mc]
Località Fondagnana		si	si	si
Località Carigiola	si	si	si	si
Località Merc. San Quirico		si	si	si
Località Pozzo alla botte		si	si	si
Località Le confina		si	si	si
Località la Strada		si	si	si
Località il Fabbro		si	si	si
Località Vaiano		si	si	si
Località L'Isola		si	si	si
Località La Briglia		si	si	si
Località LA Casina		si	si	si
Località Pantano 3				168600
Località Fornello				219400
Fattoria Montalvo				957000
San Martino		2500	253500	932800

Per il corso dell'alto e medio Bisenzio, caratterizzato dalla pressoché assenza di argini e modeste aree golenali che non permettono fenomeni di accumulo significativo, vengono semplicemente segnalati i tronchi per i quali si verificano le tracimazioni rispetto alle sommità delle sponde dell'alveo. I volumi idrici vengono comunque trasferiti a valle; pertanto non si prevede, in fase di modellazione, l'inserimento figurato di sfioratori.

Con l'obiettivo di massimizzare i livelli idrici, la portata viene considerata in transito solo in alveo, trascurando le aree golenali interessate dalle piene.

### Perimetrazione delle aree inondabili

I volumi esondati come stimati al punto precedente devono essere distribuiti sul territorio circostante.

Allo scopo dall'Autorità di Bacino sono state fornite le Carte Tecniche della Regione Toscana alla scala 1:10.000 ed il DTM dell'IGM, 20 m x 20 m, che coprono l'intera area di studio.

Lo stoccaggio dei volumi esondati è stato fatto principalmente utilizzando procedure di calcolo che si appoggiano al DTM. La compartimentazione dei volumi all'interno di determinate aree è determinata



principalmente dalla presenza di infrastrutture viarie (autostrade, ferrovie, strade in rilevato) ed argini fluviali che contengono i flussi. La presenza di tali infrastrutture non può essere desunta dal DTM ma deve essere descritta a partire dalla cartografia, con controllo mediante aerofotogrammetria, verifica sul posto di eventuale presenza di sottoattraversamenti, etc.

In via preliminare, è stata definita una struttura delle aree di potenziale esondazione, con aree contigue che possono o meno essere intercomunicanti, definendo pertanto una vera e propria struttura del modello di simulazione. La limitazione delle aree è data da rilevati stradali e/o ferroviari, argini fluviali o isopse, in corrispondenza dei versanti.

Problematiche particolari si manifestano nel caso che i volumi esondati non vengano stoccati in aree naturalmente depresse poste in fregio alle aste fluviali simulate. In questi casi, devono essere individuati i percorsi di transito delle onde di piena che sormontano i cigli degli alvei fluviali, sfruttando anche tracciati di deflusso che possono essere individuati in maniera semiautomatica basandosi sul DTM (metodo *drop rain*). Tali transiti dei volumi esondati perdurano fino a che il fenomeno non si esaurisce, in quanto i volumi possono essere contenuti da confini fisici, con battenti minimi stimabili dell'ordine di 20 cm.

Le mappature considerano anche le aree interessate dai volumi di transito.

Per il Medio ed Alto Bisenzio l'estensione delle superfici allagabili, in assenza della stima di volumi stoccabili in naturali depressioni, viene determinata in base alla cartografia, con controlli sul posto nei casi non cartograficamente ben definiti, essenzialmente in presenza dei centri abitati.

Come elaborato propedeutico alla perimetrazione delle aree a diversi livelli di pericolosità idraulica, di cui al punto successivo, è stata realizzata sempre alla scala 1:10.000, la perimetrazione delle aree inondabili per esondazioni delle tre aste fluviali oggetto dello studio.

### Perimetrazione delle aree a diversi livelli di pericolosità idraulica (cartografia di piano)

Questo documento cartografico definisce la pericolosità idraulica delle aree classificandola come *P.I.1 - moderata*, *P.I.2 - media*, *P.I.3 - elevata*, *P.I.4 - molto elevata*. Per la parte oggetto di studio, è stato elaborato alla scala 1:10.000 ed essenzialmente

viene ottenuto dal raccordo fra le aree analiticamente determinate, come al punto precedente, con le aree perimetrate su base geomorfologica e storico-inventariale dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno [aprile 2001]. Alle estremità di valle dell'Ombrone e del Bisenzio sono stati operati raccordi fra le perimetrazioni suddette e quelle determinate sulla base del comportamento dell'asta principale dell'Arno [Autorità di Bacino del fiume Arno - Paris, Preti, Settesoldi - settembre 1999].

I criteri metodologici per pervenire alla ricongiunzione dei vari tematismi in quello risultante riportato nella cartografia del Piano dell'Assetto Idrogeologico (PAI) sono i seguenti:

- la perimetrazione analitica del punto precedente predomina sulla perimetrazioni storico-inventariale di minor livello di pericolosità;
- si procede a deperimetrazione di aree delimitate con criterio storico inventariale solo qualora la perimetrazione analitica, come definita al punto 1.4, fornisca condizioni di minore pericolosità e tale informazione sia del tutto esaustiva. Viceversa la deperimetrazione non viene operata qualora la pericolosità idraulica documentalmente censita possa scaturire da contributi non analiticamente considerati in questa fase del lavoro, essenzialmente apporti di affluenti non oggetto di modellazione o ristagni di acque basse.

Con i suddetti criteri sono state ottenute le cartografie in scala 1:10.000 che interessano gli ambiti spaziali oggetto dello studio.

Nella Tab. 1.5.A sono riportate l'estensione dell'ambito spaziale considerato per l'insieme dei tre corsi d'acqua studiati e l'estensione delle superfici a diversa pericolosità perimetrate al suo interno.

Tab. 1.5.A - Estensione delle superfici a diversi livelli di pericolosità idraulica

Limite dell'ambito di studio [kmq]	P.I.1 Aree a pericolosità idraulica moderata [kmq]	P.I.2 Aree a pericolosità idraulica media [kmq]	P.I.3 Aree a pericolosità idraulica elevata [kmq]	P.I.4 Aree a pericolosità idraulica molto elevata [kmq]
133	128	103	68	21

La metodologia esposta comporta la necessità di successivi aggiornamenti che dovranno essere fatti via via che verranno implementati studi analitici di ulteriori tronchi fluviali, all'interno o al limite dell'ambito analizzato

## Fiume GREVE

### Generalità

Il bacino del fiume Greve, affluente di sinistra del Fiume Arno, misura globalmente 290.1 km<sup>2</sup>.

Esso ricade interamente in Provincia di Firenze e confina ad ovest e a sud con il bacino del torrente Pesa e ad est con bacini minori del Valdarno superiore.

Nel tratto oggetto di studio l'asta principale, lunga complessivamente 39.25 km, riceve 115 affluenti minori, la maggior parte dei quali non censita nell'elenco allegato alla deliberazione 230 del 21/06/94 del Consiglio Regionale della Regione Toscana, mentre 13 affluenti formano il bacino complessivo di monte alla prima sezione dello studio, per un totale di 30.9 km<sup>2</sup>.

Lungo il tratto studiato sono state fornite dall'Autorità di Bacino le 228 sezioni già rilevate lungo l'asta principale; esse provengono da uno studio commissionato dalla Provincia di Firenze al PIN - Centro Studi Ingegneria nel 1998: "Evoluzione territoriale e fenomeni alluvionali nel bacino del Fiume Greve".

Le suddette sezioni sono state controllate in campagna e in qualche caso aggiornate.

Lo studio è stato condotto solo sull'asta principale nel tratto compreso fra la località "Casanova del Ponte", in Comune di Greve circa un chilometro a monte del capoluogo, fino alla confluenza nel Fiume Arno.

### Analisi idrologica

L'analisi idrologica è stata condotta utilizzando il modello "ALTO" unitamente ad un'applicazione, appositamente realizzata dal gruppo di coordinamento dello studio, chiamata "IDRARNO".

Quest'ultima applicazione, descritta nella relazione generale, si compone di due moduli, uno per i calcoli idrologici ed uno per i calcoli idraulici.

In particolare si è usato il modello "ALTO" per i bacini da esso già processati e la parte idrologica di "IDRARNO" per quelli non processati.

Quest'ultimo modello consente di valutare ogni singolo idrogramma affluente all'asta principale del corso d'acqua in studio, relativo ad una pioggia ragguagliata all'intero bacino, definendo la durata dell'evento di piena.

L'analisi idrologica è stata svolta, in accordo a quanto deciso in fase di coordinamento, per quattro diversi tempi di ritorno, rispettivamente 30, 100, 200

e 500 anni, e per ciascuno di essi per quattro durate di pioggia.

Le durate sono state scelte prendendo come primo valore quello calcolato come critico da ALTO per il bacino alla sezione iniziale, come terzo valore quello calcolato come critico per la sezione finale, un tempo di pioggia intermedio fra il primo e il terzo valore, ed uno leggermente superiore al terzo.

Sono dunque risultati i tempi di pioggia rispettivamente di 2, 6, 9 e 12 ore.

Gli affluenti considerati per il calcolo idrologico sono riportati nella Tab. 2.2.A, dove si evidenzia il codice dell'asta per il modello ALTO, il codice del corso d'acqua (DCRT 230), il nome, la superficie del bacino e la sezione immediatamente a valle della confluenza nella Greve:

I sottobacini che confluiscono a monte della stessa sezione sono stati poi accorpati tra loro, sommando algebricamente gli interi idrogrammi.

Nella Tab 2.2.B si riporta invece la portata al colmo degli affluenti accorpati secondo il criterio sopra descritto, dove per ogni tempo di ritorno è riportato il massimo valore della portata al colmo dell'idrogramma calcolato fra le quattro durate dell'evento.

### Analisi idraulica

Lo studio idraulico è stato condotto con l'utilizzo di un modello di moto permanente, HEC - RAS 2.2 con cui viene risolta l'equazione di moto, in accoppiamento ad un modello di moto vario, contenuto nell'applicazione IDRARNO, nel quale viene risolta l'equazione di continuità.

Il primo fornisce per ogni sezione le scale di deflusso, ottenute per vari valori di portata, mentre il secondo valuta i livelli tenendo conto degli ingressi di portata (immissione degli affluenti) e delle uscite per l'esondazione del fiume.

La scelta di non utilizzare uno schema di moto permanente è stata dettata dal fatto che, pur disponendo dell'andamento delle sezioni sull'intera valle alluvionale, lungo l'asta della Greve sono presenti 6 casse di espansione.

Per poter tenere conto del loro effetto idraulico, e per poter schematizzare le esondazioni nel tratto finale del corso d'acqua, che diventa arginato nel tratto compreso fra la località Le Bagnese e la foce, non si è potuto utilizzare un approccio di moto perma-





Tab. 2.2.A

Bac arno	Codice	Nome	Area por	Sezione
46958	2648	GREVE	5.94	f1
46907	120	LUICELLA	5.455	f2
47189	-	-	1.609	f3
48001	-	-	2.181	f4
45494	1986	ANTINA	6.493	f5
44895	-	-	0.715	f6
44684	-	-	4.454	f7
44382	153	RICHIARI	4.079	GR_0228
43996	-	-	0.892	GR_0224
43708	-	-	0.687	GR_0223
42884	-	-	1.978	GR_0221
43837	187	STECCONAIA	3.632	GR_0219
42576	-	-	1.164	GR_0210
42212	60	CONVERTOIE	7.2	GR_0212
42101	133	PAUROSIA	5.276	GR_0208
41433	-	-	0.308	GR_0198
41437	-	-	0.361	GR_0198
41257	-	-	1.105	GR_0198
41036	-	-	0.437	GR_0198
40683	-	-	0.143	GR_0196
40967	-	-	0.95	GR_0195
40578	59	CITILLE	3.921	GR_0195
41364	-	-	0.512	GR_0192
40499	-	-	0.471	GR_0192
40214	-	-	0.397	GR_0190
40122	-	-	3.22	GR_0187
40212	-	-	0.441	GR_0185
40556	-	-	0.77	GR_0183
40730	-	-	1.707	GR_0183
40773	184	SPUGNE	0.794	GR_0183
40410	-	-	0.818	GR_0183
39742	-	-	0.669	GR_0175
39155	-	-	2.632	GR_0169
38477	-	-	0.454	GR_0168
38844	114	LUCIANA	2.268	GR_0168
38334	-	-	0.26	GR_0165
37676	-	-	2.724	GR_0163
37735	75	FALCINA	5.039	GR_0162
36948	-	-	0.941	GR_0158
37265	-	-	1.19	GR_0158

(segue Tab. 2.2.A)

37297	-	-	0.532	GR_0158
36450	-	-	0.562	GR_0157
36631	-	-	1.776	GR_0145
35743	-	-	1.725	GR_0142
34082	42	CALASINA	10.086	GR_0137
33988	-	-	1.406	GR_0137
34446	-	-	1.394	GR_0132
34990	-	-	1.908	GR_0128
33422	111	ACQUACALDA	4.284	GR_0124
33483	-	-	0.899	GR_0123
33381	-	-	0.825	GR_0123
34037	-	-	0.269	GR_0122
33164	-	-	0.471	GR_0120
34451	30	BATTAGLIO	3.638	GR_0115
33516	-	-	3.653	GR_0115
32844	-	-	0.283	GR_0113
32925	-	-	0.687	GR_0113
32131	-	-	1.105	GR_0112
31929	-	-	0.575	GR_0106
31721	-	-	0.969	GR_0106
31542	-	-	0.615	GR_0106
31068	-	-	3.849	GR_0102
30299	-	-	0.549	GR_0097
29999	939	CAGNOLINO	1.177	GR_0095
29704	-	-	0.48	GR_0091
29308	-	-	0.662	GR_0090
28923	160	RIMARE	2.578	GR_0083
28694	-	-	1.83	GR_0081
28247	-	-	1.615	GR_0076
28054	1506	PESCINA	4.654	GR_0067
27839	-	-	0.684	GR_0066
26573	1612	RENICCIOLI	6.599	GR_0053
27495	-	-	1.207	GR_0049
26918	-	-	1.683	GR_0049
25929	2585	EMA	122.896	GR_0048
25445	-	-	0.828	GR_0044
25081	888	SETTE	2.371	GR_0044
24978	-	-	0.227	GR_0041
24250	-	-	0.911	GR_0038
24380	-	-	1.3	GR_0035
23123	-	-	4.185	GR_0014
22734	-	-	7.854	GR_0010



Bac arno	Codice	Nome	Sezione	Qmax 30 Anni	Qmax 100 anni	Qmax 200 anni	Qmax 500 anni
44382	153	RICHIARI	GR_0228.1	106.02	163.12	196.63	251.98
43996	-	-	GR_0224	3.90	5.21	6.01	7.34
43708	-	-	GR_0223	3.06	4.05	4.65	5.67
42884	-	-	GR_0221	7.46	10.37	12.28	15.24
43837	187	STECCONAIA	GR_0219	9.88	14.85	17.78	22.43
42576	-	-	GR_0212	4.96	6.69	7.77	9.49
42212	60	CONVERTOIE	GR_0210	22.31	31.28	36.41	45.46
42101	133	PAUROSIA	GR_0208	6.54	12.53	16.10	21.86
41433	-	-	GR_0198	7.90	11.27	13.10	16.18
40683	-	-	GR_0196	0.63	0.84	0.94	1.16
40967	-	-	GR_0195	11.45	18.13	21.79	27.81
40499	-	-	GR_0192	2.57	4.69	5.53	6.88
40214	-	-	GR_0190	1.06	1.94	2.26	2.79
40122	-	-	GR_0187	4.82	10.12	13.42	18.30
40212	-	-	GR_0185	1.09	2.06	2.43	3.02
40773	184	SPUGNE	GR_0183	4.12	12.35	16.52	23.19
39742	-	-	GR_0175	0.42	1.96	2.74	3.68
39155	-	-	GR_0169	0.78	4.84	7.77	11.66
38844	114	LUCIANA	GR_0168	2.29	7.27	9.52	13.34
38334	-	-	GR_0165	1.00	1.29	1.43	1.71
37676	-	-	GR_0163	6.42	10.00	11.81	14.69
37735	75	FALCINA	GR_0162	13.98	19.38	22.25	27.68
36948	-	-	GR_0158	9.30	12.24	13.98	16.90
36450	-	-	GR_0157	2.35	2.95	3.32	3.92
36631	-	-	GR_0145	5.32	7.42	8.64	10.58
35743	-	-	GR_0142	5.28	7.32	8.50	10.38
34082	42	CALOSINA	GR_0137	28.70	34.29	46.89	58.04
34446	-	-	GR_0132	5.02	5.96	7.61	9.10
34990	-	-	GR_0128	6.55	7.73	9.98	12.05
33422	111	ACQUACALDA	GR_0124	10.61	13.66	18.20	22.66
33483	-	-	GR_0123	6.08	7.50	9.36	11.17
34037	-	-	GR_0122	1.12	1.31	1.56	1.85
33164	-	-	GR_0121	1.84	2.19	2.64	3.13
34451	30	BATTAGLIO	GR_0115	19.22	25.20	32.40	39.96
32844	-	-	GR_0113	3.82	4.53	5.36	6.34
32131	-	-	GR_0112	4.04	4.89	5.88	6.99
31929	-	-	GR_0106	8.20	9.84	11.68	13.83
31068	-	Sorretteole	GR_0102	11.18	14.28	17.44	21.20
30299	-	-	GR_0097	2.12	2.55	2.98	3.53
29999	939	CAGNOLINO	GR_0095	4.67	5.58	6.48	7.65
29704	-	-	GR_0091	1.83	2.21	2.57	3.05
29308	-	-	GR_0090	2.46	2.98	3.49	4.15
28923	160	RIMARE	GR_0083	5.41	8.05	10.28	12.97
28694	-	-	GR_0081	5.93	7.52	9.00	10.84
28247	-	-	GR_0076	5.28	6.76	8.03	9.64
28054	1506	PESCINA	GR_0067	14.82	18.59	21.78	26.12
27839	-	-	GR_0066	2.86	3.49	3.96	4.66
26573	1612	RENICCIOLI	GR_0053	24.14	30.25	34.43	40.76
27495	-	-	GR_0049	12.48	15.50	17.49	20.54
25929	2585	EMA	GR_0048	175.05	226.27	261.55	316.68
25081	888	SETTE	GR_0044	14.15	19.69	21.35	25.44
24978	-	-	GR_0041	1.14	1.58	1.62	1.93
24250	-	-	GR_0038	4.12	5.70	6.18	7.36
24380	-	-	GR_0035	5.87	8.13	8.83	10.51

nente.

Il primo passo dell'analisi consiste nella valutazione delle condizioni al contorno di valle.

Lo studio delle condizioni di valle presuppone l'individuazione della sezione da prendere come estremo di valle dello studio.

Tale studio infatti deve ricollegarsi all'indagine a suo tempo effettuata per l'asta principale dell'Arno, durante la quale il calcolo idraulico fu spinto anche ai tronchi finali degli affluenti principali.

Lo studio dell'Arno si è spinto fino alla sezione GR\_0048, corrispondente alla confluenza Greve - Ema: questo infatti è il limite di rigurgito dal punto di vista amministrativo (competenza del Provveditorato alle OO.PP.).

In realtà il presente studio si è spinto più a valle, fino alla sezione GR\_0024, sezione alla quale si è potuto verificare che termina l'effettivo effetto di rigurgito dell'Arno.

Avendo a disposizione infatti tutti gli idrogrammi sulla Greve nelle sezioni comprese fra GR\_0001 e GR\_0048 per i tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni, e per ciascuno di essi per durate di pioggia di 3, 6, 12, 18, 24 e 36 ore, si è proceduto nel seguente

modo:

1) Si è cercato la sezione in cui i rami ascendente e discendente dell'idrogramma producono lo stesso valore del livello del pelo libero; tale sezione è risultata la GR\_0024, assumendo la medesima come ultima sezione che non risente dell'effetto di rigurgito dell'Arno;

2) si sono presi per questa sezione gli inviluppi degli idrogrammi suddetti;

3) sono stati uniti in un unico file tutti i punti degli idrogrammi;

4) si è studiata una legge polinomiale che approssimasse con il metodo dei minimi quadrati i punti così ottenuti;

5) Si è pertanto ricostruita la scala di deflusso con la legge polinomiale.

I risultati del modello evidenziano che nel tratto fra Greve e Testi l'evento più critico è di 2 ore, fra Testi e Ferrone è di 6 ore, fra Ferrone e Tavarnuzze 9 ore ed infine fra Tavarnuzze e la foce risulta di 9-12 ore.

Nelle Tab 2.3.A/1-4 si riportano le portate di transito in sezioni significative, e volumi di esondazione, in funzione del tempo di ritorno.

Tab 2.3.A/1 - Tr 30 anni

Codice Sezione	Massimi livelli	Argine sx	Argine dx	Battente sx	Battente dx	Massimi volumi
GR_0228	244.36	245	242.88	0	1.48	56.424
GR_0219	227.66	229.48	229.35	0	0	0
GR_0198	213.02	212.14	212.61	0.88	0.41	170.111
GR_0187	200.7	201.34	204.19	0	0	0
GR_0162	152.38	154.32	151.8	0	0.58	97.750
GR_0150	139.89	140.37	139.3	0	0.59	13.348
GR_0137	129.32	130.73	131.23	0	0	0

Tab 2.3.A/2 - Tr 100 anni

Codice sezione	Massimi livelli	Argine sx	Argine dx	Battente sx	Battente dx	Massimi volumi	Massime portate
GR_0228	245.4	245	242.88	0.4	2.52	61.263	149
GR_0219	229.28	229.48	229.35	0	0	0	166
GR_0198	213.89	212.14	212.61	1.75	1.28	209.249	149
GR_0187	201.09	201.34	204.19	0	0	0	166
GR_0162	153.19	154.32	151.8	0	1.39	108.462	179
GR_0150	141	140.37	139.3	0.63	1.7	13.939	178
GR_0137	130.15	130.73	131.23	0	0	0	192
GR_0123	116.65	115.57	115.06	1.08	1.59	86.706	201
GR_0048	56.38	56.25	57.69	0.13	0	0	484
GR_0032	46.63	45.54	47.94	1.09	0	379.878	450
GR_0031	46.51	48.71	45.86	0	0.65	105.738	439
GR_0030	46.52	48.72	47.49	0	0	28.243	436
GR_0024	44.66	45.41	45.53	0	0	7.118	432



Tab. 2.3.A/3 - Tr 200 anni

Codice sezione	Massimi livelli	Argine sx	Argine dx	Battente sx	Battente dx	Massimi volumi	Massime portate
GR 0228	245.76	245	242.88	0.76	2.88	56 489	180
GR 0219	230.66	229.48	229.35	1.18	1.31	0	204
GR 0198	214.58	212.14	212.61	2.44	1.97	207 718	191
GR 0187	201.34	201.34	204.19	0	0	0	208
GR 0162	153.49	154.32	151.8	0	1.69	125 924	215
GR 0150	141.38	140.37	139.3	1.01	2.08	18 289	215
GR 0137	130.66	130.73	131.23	0	0	0	231
GR 0123	116.9	115.57	115.06	1.33	1.84	95 734	243
GR 0048	57.49	56.25	57.69	1.24	0	0	578
GR 0032	46.93	45.54	47.94	1.39	0	853 635	510
GR 0031	46.78	48.71	45.86	0	0.92	233 268	490
GR 0030	46.75	48.72	47.49	0	0	80 735	481
GR 0024	44.77	45.41	45.53	0	0	25 471	472

Tab. 2.3.A/4 - Tr 500 anni

Codice sezione	Massimi livelli	Argine sx	Argine dx	Battente sx	Battente dx	Massimi volumi	Massime portate
GR 0228	246.35	245	242.88	1.35	3.47	61 513	233
GR 0219	233.32	229.48	229.35	3.84	3.97	0	269
GR 0198	215.61	212.14	212.61	3.47	3	236 593	264
GR 0187	201.56	201.34	204.19	0.22	0	0	249
GR 0162	153.89	154.32	151.8	0	2.09	129 268	267
GR 0150	141.88	140.37	139.3	1.51	2.58	18 528	264
GR 0137	131.4	130.73	131.23	0.67	0.17	0	290
GR 0123	117.26	115.57	115.06	1.69	2.2	110 193	312
GR 0048	58.68	56.25	57.69	2.43	0.99	0	660
GR 0032	47.01	45.54	47.94	1.47	0	2 059 843	526
GR 0031	46.84	48.71	45.86	0	0.98	495 396	502
GR 0030	46.81	48.72	47.49	0	0	190 481	493
GR 0024	44.8	45.41	45.53	0	0	62 911	484

### Perimetrazione delle aree inondabili

Una volta noti i volumi esondati nelle casse di espansione e nel tratto arginato, e noti anche i massimi livelli, per ogni tempo di ritorno e per ogni durata di pioggia, è stato elaborato un file, per ogni tempo di ritorno studiato, dei valori massimi di inviluppo dei volumi, dei livelli raggiunti dalla corrente e delle portate transitate in alveo su ogni sezione.

Per la mappatura dei volumi esondati si è utilizzata, oltre alla cartografia tecnica 1:10000 della Regione Toscana fornita dall'Autorità di Bacino, anche della carta tecnica regionale 1:5000 (della Re-

gione Toscana) e alcuni tratti disponibili delle cartografie comunali in scala 1:2000 dei Comuni di Greve e di Impruneta, procedendo come segue:

1) Sono state mappate le casse d'espansione quando entrano in funzione.

2) Nel tratto a monte della frazione di Le Bagnese si sono mappate le aree a quota inferiore alla massima raggiunta.

3) Sempre nello stesso tratto si è verificato, per ogni tempo di ritorno, che le esondazioni su una certa sezione interessassero terreni limitrofi anche a valle (specialmente nei tratti urbanizzati).

4) Nel tratto di valle della frazione di Le

Bagnese, dove il corso d'acqua diventa arginato ed entra nella pianura fino alla sua foce in Arno si sono individuate due ampie zone (una in sinistra e una in destra) comprese fra il tratto dove i calcoli evidenziano l'esondazione e l'arginatura dell'Arno.

5) Si sono poi calcolate utilizzando il DTM fornito dall'Autorità di Bacino (con passo 20 metri) le aree dove ristagna il volume uscito. Tale volume, per tenere conto della presenza dei fabbricati (la zona è quasi completamente urbanizzata), è stato aumentato del 30%. È da rilevare che non si è trovata una fedele corrispondenza fra i punti quota riportati sulla cartografia di riferimento (1:10000) ed il modello numerico.

6) Utilizzando i punti quota della cartografia, il DTM e la viabilità urbana si è poi cercato di ricostruire i percorsi dell'esondazione per arrivare nelle zone di ristagno precedentemente trovate, imponendo di chiudere le aree di esondazione su superfici che contengono i volumi di esondazione con battenti di una ventina di centimetri.

7) L'ultima operazione è stata quella di raccordare le aree perimetrate secondo i criteri sopra esposti con quelle precedentemente calcolate per l'asta principale dell'Arno.

### Torrente Pesa

#### Generalità

Il Torrente Pesa, affluente in sinistra del Fiume Arno, nasce dal monte S.Michele (892 m s.l.m.) e dopo circa 57 Km sfocia in Arno nel Comune di Montelupo Fiorentino drenando un'area di circa 339 km<sup>2</sup>.

Il bacino della Pesa si estende per circa 33'900 ha, interessando la provincia di Firenze (comuni di Barberino Val d'Elsa, Certaldo, Greve, Lastra a Signa, Montelupo Fiorentino, Montespertoli, San Casciano Val di Pesa, Scandicci, Tavarnelle Val di Pesa) e la provincia di Siena (comuni di Castellina in Chianti e Radda in Chianti). In particolare i centri abitati che si incontrano lungo il suo corso sono (da valle verso monte) Montelupo Fiorentino, Ginestra Fiorentina, San Vincenzo a Torri, Cerbaia, Ponte Rotto, Calzaiolo, Bargino, Sambuca Val di Pesa e Lucarelli.

Il tratto studiato si estende dalla località *Turbone* alla località *Lucarelli* per una lunghezza di circa 40 km.

Le sezioni utilizzate per caratterizzare questo tratto provengono per la gran parte dalla raccolta effettuata dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno nell'ambito del lavoro "Rilievi degli Affluenti Principali del Fiume Arno: raccolta e georeferenziazione delle sezioni ed analisi idraulica delle portate smaltibili in alveo" (I. D'Urso- G. Gigli, 2000) e limitatamente ad alcune opere d'arte da appositi rilievi fatti eseguire per questo lavoro.

In particolare delle 363 sezioni raccolte nell'ambito del sopra citato studio, ne sono state selezionate 83 sezioni che sono maggiormente rappresentative dell'alveo e della zona golenale a cui sono state aggiunte 20 sezioni rilevate in corrispondenza dei ponti e di alcune briglie.

Sebbene il rilievo dell'insieme delle sezioni è relativo a date diverse (si va dal 1967 ad oggi), la loro validità è stata verificata, sia mediante un confronto con la cartografia sia da sopralluoghi.

### Analisi idrologica

La stima della portata di piena per i tempi di ritorno di interesse lungo l'asta del Torrente Pesa, come già detto, ha fatto uso della metodologia della Regione Toscana ed adottata dall'Autorità di Bacino nei criteri metodologici per la perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica.

La metodologia è stata implementata nel codice di calcolo "Idrarno" (Physis, ALTO, Regione Toscana, 1999) che per ciascun nodo del reticolo idrografico dell'intero bacino dell'Arno calcola in modo semidistribuito l'evento critico per precipitazione di assegnato tempo di ritorno. In particolare per il Torrente Pesa sono state individuate 14 sezioni critiche le cui aree drenate e parametri idrologici sono riportati in Tab 3.2.A.

Per il calcolo delle superfici drenanti in ciascuna delle 14 sezioni è stato ricavato, mediante la generazione automatica del reticolo idrografico dal modello digitale delle quote a risoluzione di 20x20m messo a disposizione dall'Autorità di Bacino. Successivamente sono stati ricavati i parametri caratteristici di ogni singolo sottobacino e necessari alla stima della portata di piena messi a disposizione dall'Autorità di Bacino secondo la procedura regionale ALTO (file "BAC\_ARNO" di corredo al modulo Idrarno).



Tab 3.2.A - Parametri idrologici di ciascun sottobacino del T. Pesa chiuso alle sezioni critiche.

Numero Bacino	Area [kmq]	Ia	Ks	N	K	Cpp_a1	Cpp_n1	Cpp_m1	Cpp_a	Cpp_n	Cpp_m
1	52.6	12.8 7	2.09	3.8 0	0.80	21.48	0.34	0.16	19.44	0.34	0.20
2	74.3	12.8 7	2.09	3.8 0	0.95	21.48	0.34	0.16	19.44	0.34	0.20
3	87.8	12.8 7	2.09	3.8 0	1.04	21.48	0.34	0.16	19.44	0.34	0.20
4	104.9	12.8 7	2.09	3.8 0	1.13	21.48	0.34	0.16	19.44	0.34	0.20
5	116.2	12.8 7	2.09	3.8 0	1.19	21.48	0.34	0.16	19.44	0.34	0.20
6	133.8	12.8 7	2.09	3.8 0	1.28	21.48	0.34	0.16	19.44	0.34	0.20
7	140.3	12.8 7	2.09	3.8 0	1.31	21.48	0.34	0.16	19.44	0.34	0.20
8	145.9	12.8 7	2.09	3.8 0	1.33	21.48	0.34	0.16	19.44	0.34	0.20
9	168.9	12.8 7	2.09	3.8 0	1.44	21.48	0.34	0.16	19.44	0.34	0.20
10	190.7	12.8 7	2.09	3.8 0	1.53	21.48	0.34	0.16	19.44	0.34	0.20
11	208.8	12.8 7	2.09	3.8 0	1.60	21.48	0.34	0.16	19.44	0.34	0.20
12	221.6	12.8 7	2.09	3.8 0	1.64	21.48	0.34	0.16	19.44	0.34	0.20
13	232.7	12.8 7	2.09	3.8 0	1.69	21.48	0.34	0.16	19.44	0.34	0.20
14	308.8	11.7	1.83	2.6 6	2.77	21.19	0.33	0.16	19.40	0.33	0.20

Il calcolo della portata di piena per i vari tempi di ritorno indicati dai criteri metodologici e cioè 30, 100, 200 e 500 anni, sono quindi stati calcolati usando, all'interno del codice IDRARNO, l'opzione "Durata variabile" che varia la durata di pioggia

automaticamente in modo da massimizzare la portata sul bacino simulato.

I risultati ottenuti per ciascun sottobacino sono riassunti nella seguente Tab 3.2.B.

Tab 3.2.B - Portate di piena ad assegnato tempo di ritorno per le sezioni critiche

SEZIONE CRITICA	Q Tr=30 [mc/s]	Q Tr=100 [mc/s]	Q Tr=200 [mc/s]	Q Tr=500 [mc/s]
PE_0058	229.24	344.04	422.78	544.6
PE_0082	204.01	309.59	381.76	493.05
PE_0087	197.05	298.82	368.47	475.72
PE_0093	190.97	288.73	355.54	458.5
PE_0097	185.99	279.06	342.72	440.93
PE_0116	177.34	264.03	323.31	414.89
PE_0127	166.28	245.66	300.01	383.87
PE_0138	165.05	243.01	296.37	378.86
PE_0162	160.83	236.21	288	367.94
PE_0243	152.88	222.76	270.74	344.87
PE_0273	144.54	209.98	254.89	324.17
PE_0326	134.47	193.57	234.27	297.17
PE_0339	126.32	180.5	217.75	275.42
PE_0343	110.25	155.58	186.81	235.11

### Analisi idraulica

Il calcolo dei livelli di esondazione è stato condotto con tecniche di moto permanente, utilizzando i valori di portata ricavati nella fase precedente.

Fino a che i livelli sono contenuti nelle sponde d'alveo, la sezione trasversale sarà costituita dall'alveo inciso; successivamente, quando il livello idrico supera le sponde anzidette, le sezione risulterà dall'unione dell'alveo inciso e della pianura alluvionale compresa tra il corso d'acqua e la linea isoipsa corrispondente al livello idrico per la portata di calcolo.

Avendo supposto un regime di corrente lenta per il range di portate studiato si è fatto uso esclusivamente di condizioni al contorno di valle: seguendo le indicazioni dei criteri metodologici si è imposto, nella sezione iniziale (PE\_0039), per ciascun tempo di ritorno i corrispondenti livelli massimi raggiunti, in questa sezione, durante la simulazione del tratto di rigurgito effettuata nel lavoro di perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica dell'asta principale del Fiume Arno.

Tab.3.3.A. Condizioni al contorno di valle

Tempo di ritorno	Livello [m s.l.m.]
30 anni	37.09
100 anni	37.6
200 anni	37.9
500 anni	38.33

Per quanto riguarda la stima del coefficiente di Manning da adottare durante le simulazioni, data la grande varietà della tipologia delle aree allagate e della composizione del fondale, come rilevato dai numerosi sopralluoghi, anche a breve distanza non è sembrato opportuno diversificare la scabrezza, nell'impossibilità di darne una stima precisa, ma si è adottato un valore unico pari a 0,04, che è parso adatto a rappresentare il valore medio della scabrezza in tutto il tratto da noi studiato.

### Perimetrazione delle aree inondabili

In base ai livelli idrici determinati con le simulazioni di moto permanente sono state definite come allagabili tutte le porzioni di territorio limitrofe al corso d'acqua le cui quote del piano campagna risultassero minori di quella del pelo libero della corrente nelle sezioni considerate: tra sezione e sezio-

ne il raccordo è stato fatto sia seguendo l'andamento delle curve di livello e dei punti quotati del terreno sia dell'andamento di infrastrutture quali strade o ferrovie,

### Perimetrazione delle aree a diversi livelli di pericolosità idraulica

Le aree analiticamente determinate, come al punto precedente sono state integrate con eventuali zone segnalate dalla carta delle aree a frequente inondazione della Regione Toscana.

In questo modo sono state perimetrate, infatti, anche aree che risultano allagabili non per il superamento della quota arginale ma per cedimento, ad esempio, della sponda arginale. Tali aree sono state perimetrate anche in base ad una serie di sopralluoghi mirati. Di seguito si riporta l'elenco di queste situazioni.

1. area in destra idrografica presso "le Topole": tale zona non risultava allagata con la modellazione idraulica in quanto è presente un'arginatura; in base a testimonianze risulta però che questo argine ha dei problemi di stabilità e che quindi non impedisce l'allagamento della zona anche per bassi tempi di ritorno.

2. area in destra idrografica a monte del Ponte di S.Vincenzo a Torri: data la vicinanza della zona al Ponte e la sua conformazione si può desumere che la zona si allaghi per effetto di effetti localizzati generati dalla presenza dell'infrastruttura in alveo e non schematizzabili mediante modellazione.

3. area in destra in loc. La Botte: questa zona si trova immediatamente a valle di una briglia; si è ritenuto che l'allagamento di questa zona fosse dovuto a fenomeni legati all'infrastruttura e non schematizzabili con la modellazione.

4. area in sinistra presso Calzaiolo: tale area, compresa tra due sezioni è risultata, da un'analisi della morfologia del posto di possibile allagamento anche per la presenza in corrispondenza di una confluenza importate come quella con il torrente Terzona.

5. aree in destra idrografica presso Podere Mercatale e Pian di Pesa: queste due zone sono state annesse alla perimetrazione poiché in questa zona, come si rileva anche dal piano di bonifica, si verificano spesso fenomeni di instabilità spondale di cui non è possibile tener conto nel modello.

Si è poi provveduto ad effettuare i raccordi dei perimetri delle aree a pericolosità idraulica della



Pesa con quelle lungo principali affluenti derivate dai criteri storico-inventariali da parte dell'Autorità di Bacino:

- T. Turbone (sn)
- T. Virginio (sn)
- T. Terzona (dx)

Non è stato effettuato, invece, nessun raccordo, all'interno della pianura alluvionale della Pesa, con quegli affluenti di cui non era possibile stabilire l'ambito di influenza; tali affluenti risultano, comunque, non essere di grande importanza.

Qui di seguito si riporta il quadro riassuntivo, in termini di superfici perimetrate, dei risultati ottenuti.

Tab 3.5.B - Aree per le diverse classi di pericolosità

Pericolosità	Area in ha
P4	2907.3
P3	758.2
P2	585.1
P1	717.3

## Fiumi SIEVE, ELSA e ERA

### Generalità

Il sistema fluviale studiato comprende i seguenti tratti:

- Fiume Sieve da Ponte del Bilancino alla confluenza in Arno (47.6 Km);
- Fiume Elsa da Castelfiorentino a Ponte a Elsa (loc. Molino di Capocavallo) (19 Km); scolmatore di piena del fiume Elsa (4.1 Km);
- Fiume Era dal ponte di Capannoli alla località Renacci (14.7 Km); fiume Cascina dai ponti in loc. La Fornace alla confluenza in Era (7.6 Km); torrente Roglio dal ponte di Forcoli alla confluenza in Era (5.1 Km).

Il quadro conoscitivo delle caratteristiche geometriche dei corsi d'acqua (sezioni fluviali) a disposizione dell'Autorità di Bacino è stato integrato da nuovi rilievi su tutti i tratti dei corsi d'acqua privi di informazione.

Sono state inoltre acquisite, e in seguito utilizzate nella modellazione, alcune sezioni sul fiume Cascina provenienti dall'Ufficio dei Fiumi e dei Fossi della Provincia di Pisa e sezioni relative al Fiume Elsa provenienti dal Provveditorato OO.PP. della Toscana.

La consistenza complessiva dei rilievi disponibili

li sui vari corsi d'acqua è riassunta nella Tab 4.1.A

Tab 4.1.A - Sezioni utilizzate nel modello idraulico.

corso d'acqua	n. sezioni	n. sezioni/km
Sieve	233	4.89
Elsa	124	6.53
Scolmatore Elsa	15	3.66
Era	98	6.67
Cascina	27	3.55
Roglio	18	3.53

### Analisi idrologica

La produzione degli input idrologici (cioè degli idrogrammi in ingresso con cui cimentare il modello idraulico) è avvenuta in accordo con la metodologia già adottata in occasione della *Regionalizzazione delle Portate di Piena in Toscana* e sintetizzata nel pacchetto software IDRARNO. Tale approccio prevede la generazione di idrogrammi di piena valutati su base geomorfologica a partire dall'idrogramma unitario espresso nella forma di Nash.

In particolare per ogni corso d'acqua studiato è stato previsto un numero di immissioni parziali congruente con il numero di sezioni rilevate disponibile (cioè con la risoluzione spaziale del modello).

Tab 4.2.A - Immissioni nel modello idraulico

I parametri della simulazione idrologica erano disponibili per i sottobacini già monitorati in occasione del menzionato lavoro di regionalizzazione. Per gli altri bacini intermedi si è fatto ricorso a procedimenti di interpolazione: in particolare sono stati ricostruiti i legami funzionali tra il parametro *tempo di ritardo (Tl)* e l'area di bacino sottesa (*A*).

Gli scenari di simulazione riprodotti nelle varie aste fluviali prevedevano la combinazione dei quattro tempi di ritorno scelti (30, 100, 200 e 500 anni) con differenti durate scelte in funzione delle caratteristiche dei bacini con lo scopo di riprodurre le condizioni critiche su tutti i tratti fluviali studiati.

Sui tre sistemi idraulici studiati sono stati simulati (per ogni tempo di ritorno) eventi con le seguenti durate:

Tab. 4.2.B - Durate eventi simulati per i diversi bacini

	3h	6h	9h	12h	15h
Sieve	x	x	x	x	x
Elsa + scolmatore			x	x	
Era + Cascina + Roglio	x	x	x	x	

Si riportano nelle Tab. 4.2.C/1-5 i contributi al colmo provenienti da ogni sottobacino per ognuno degli scenari di simulazione.

### Analisi idraulica

Per il modello idraulico è stata adottata una schematizzazione quasi-bidimensionale del tipo proposto da Cunge (1975), che associa a un modello non stazionario delle aste fluviali una rappresentazione "a celle di accumulo" delle aree potenzialmente inondabili preventivamente individuate a margine dei corsi d'acqua, opportunamente schematizzate e connesse idraulicamente sia con le sezioni che reciprocamente tra loro.

Si tratta dello stesso algoritmo di calcolo utilizzato in occasione del lavoro di *Perimetrazione delle aree a rischio sull'asta principale del Fiume Arno e degli affluenti nel tratto di rigurgito* (Autorità di Bacino, 1999).

Le condizioni al contorno sono state imposte in termini di scala di deflusso nelle sezioni di valle sulla base delle simulazioni in moto vario effettuate sull'asta principale dell'Arno in occasione del lavoro appena citato.

La caratterizzazione geometrica delle aree di potenziale esondazione è stata condotta secondo i seguenti criteri:

- *individuazione e acquisizione delle strutture di contenimento* (argini, rilevati stradali e ferroviari, contenimenti naturali, altri corsi d'acqua);
- *delimitazione preliminare* delle aree anche sulla base delle esondazioni storiche;
- *caratterizzazione morfologica* delle aree espressa tramite la legge di riempimento quota-volume di inondazione in funzione dei livelli di piena;
- *definizione delle connessioni idrauliche* assimilabili a stramazzi in parete grossa, con possibilità di funzionamento bidirezionale, in condizioni di deflusso libero oppure rigurgitato in funzione dei livelli a monte e a valle dello stramazzone stesso.

In particolare il calcolo della legge di riempimento delle aree è stato effettuato sulla base del modello digitale del terreno a maglia 20x20m (fonte: IGM).

Le aree di potenziale esondazione individuate sono state 91 lungo il corso della Sieve, 50 nel bacino dell'Elsa e 62 nel bacino Era/Cascina/Roglio.

Gli sfioratori complessivamente predisposti sono

stati 163 per la Sieve, 217 per l'Elsa e 252 per l'Era.

Il passo temporale adottato in tutte le simulazioni è stato pari a 0.5h. La durata complessiva di ogni simulazione è stata posta pari a 36 ore.

Si riporta di seguito l'elenco schematico dei principali tratti critici riscontrati lungo i corsi d'acqua studiati.

### Fiume Sieve

- S. Piero a Sieve (in destra idrografica a monte del ponte della SS506 del Passo del Giogo; alle confluenze dei torrenti Carza e Levisone e a monte del ponte ferroviario);
- Borgo San Lorenzo (esondazioni della  $Q_{30}$  a monte del ponte);
- Sagginale (in sinistra idrografica a monte del ponte in loc. Rabatta);
- tratto a monte di Ponte a Vicchio;
- Dicomano (in sinistra, zona campo sportivo);
- Contea (a monte e a valle della confluenza del torrente Moscia);
- Rufina e Montebonello (esondazioni della  $Q_{30}$ );
- Pontassieve (loc. S. Francesco; esondazioni della  $Q_{100}$  in sinistra);
- Pontassieve (in destra a valle della traversa di San Francesco; a monte del ponte ferroviario).

### Fiume Elsa

- Castelfiorentino (esondazioni della  $Q_{100}$  nel tratto urbano);
- confluenza scolmatore (esondazioni della  $Q_{100}$  in loc. Dogana);
- località Madonna della Tosse (esondazioni della  $Q_{100}$  in destra in prossimità del depuratore);
- Osteria Bianca e Terrafino (per esondazioni diffuse della  $Q_{30}$  in destra nel tratto di Bruscia con volumi esondati stimabili in 700.000mc per la  $Q_{30}$ , 2.7Mmc per la  $Q_{100}$ , 3.8Mmc per la  $Q_{200}$  e 5Mmc per la  $Q_{500}$ ).





Tab. 4.2.C/1 - Bacino Fiume Sieve: contributi massimi degli interbacini. Tr30 e Tr100

nome interbacino	codice sezione	superficie [kmq]	TR30					TR100				
			3h	6h	9h	12h	15h	3h	6h	9h	12h	15h
bacino intermedio	SI 0391	150.7	228.9	302.5	293.0	261.1	231.1	321.1	399.0	376.5	332.8	294.4
bacino intermedio	SI 0387	2.5	7.6	5.6	4.5	3.9	3.4	9.8	7.1	5.8	4.9	4.4
bacino intermedio	SI 0333	4.7	13.1	9.8	7.6	6.3	5.4	17.4	12.3	9.7	8.1	7.0
PONTICINO DI O DI BUCCIANO	SI 0314	0.9	3.0	2.1	1.7	1.5	1.3	3.8	2.7	2.2	1.9	1.7
bacino intermedio	SI 0295	16.6	38.5	34.5	28.2	24.0	21.1	51.4	44.6	36.5	31.3	27.6
ANGUIDOLA	SI 0293	3.6	10.9	8.5	7.0	6.0	5.4	13.9	10.7	8.8	7.6	6.8
RIMOTOSO DI O RIOMOTO	SI 0290	0.3	1.0	0.7	0.6	0.5	0.4	1.2	0.9	0.7	0.6	0.5
bacino intermedio	SI 0281	66.5	56.8	85.4	82.9	71.3	60.1	103.0	132.9	121.8	103.5	88.1
CARZA E FOSSO CALICARZA	SI 0279	31.7	37.0	54.8	52.4	46.2	40.9	57.2	74.5	68.6	60.1	53.3
LEVISIONE	SI 0274	3.2	9.7	7.2	5.7	4.8	4.2	12.8	9.2	7.4	6.3	5.5
bacino intermedio	SI 0273	0.2	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3
IL FOSSATINO	SI 0272	6.3	17.1	14.8	12.1	10.4	9.2	23.5	18.9	15.4	13.2	11.8
CARDETTOLE DI	SI 0216	23.4	46.0	52.4	45.6	39.2	34.7	65.2	69.7	59.8	51.5	45.6
BAGNONE	SI 0210	0.5	1.7	1.2	1.0	0.8	0.7	2.2	1.5	1.2	1.1	0.9
bacino intermedio	SI 0209	15.0	24.7	32.9	30.1	26.3	23.4	38.5	45.5	40.5	35.3	31.4
BOSSO E FOSSO DELLA DIRCI	SI 0208	25.5	32.3	47.2	44.3	38.4	33.7	52.1	65.4	58.6	50.5	44.3
FALTONA E FOSSO DI POLCANTO	SI 0207	3.3	9.9	8.3	6.7	5.8	5.1	13.8	10.7	8.7	7.4	6.6
PATERNO DI O TORRENTE DI MONTE	SI 0204	8.4	25.6	21.5	17.5	15.0	13.3	34.1	27.8	22.6	19.4	17.2
LE CALE	SI 0203	0.8	2.5	1.7	1.4	1.2	1.0	3.2	2.2	1.8	1.5	1.3
bacino intermedio	SI 0197	0.5	1.9	1.3	1.1	0.9	0.8	2.3	1.7	1.3	1.2	1.0
RIMORELLI	SI 0196	4.9	18.0	12.7	10.3	8.8	7.8	22.7	16.0	12.9	11.0	9.8
VIGNANO	SI 0195	20.8	28.9	42.2	38.8	33.7	29.7	45.9	56.4	49.6	42.7	37.7
FISTONA O DI SANT'ANSANO	SI 0194	0.2	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4
CAVALLINA DELLA	SI 0192	9.4	25.6	23.1	18.8	16.1	14.2	35.8	29.5	23.9	20.5	18.1
STRULLA DI O STRALA O DI SEGGIANO	SI 0187	9.6	25.0	22.9	18.5	15.7	13.8	35.0	29.7	23.9	20.3	17.9
COROLLA DELLA O CAROLA	SI 0186	1.0	3.4	2.4	1.9	1.6	1.4	4.4	3.0	2.4	2.0	1.8
bacino intermedio	SI 0185	31.8	46.2	65.2	62.7	55.8	49.7	72.3	91.5	85.0	75.1	66.9
ELSA O ENSA DI RAZZUOLO	SI 0182	3.7	12.0	8.8	7.0	6.0	5.2	16.0	11.5	9.2	7.8	6.9
bacino intermedio	SI 0181	10.5	20.5	24.5	21.7	18.8	16.6	30.3	33.3	28.9	25.0	22.2
PESCIOLA	SI 0180	7.4	13.1	14.5	11.9	9.9	8.5	20.6	19.6	15.8	13.2	11.5
CAMPESTRI DI O DI RIMAGGIO	SI 0180B	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
bacino intermedio	SI 0180C	22.9	24.8	39.8	40.5	36.8	32.8	41.3	57.3	55.6	49.7	44.3
MUCCIONE	SI 0179	9.6	23.3	21.3	17.1	14.5	12.6	33.0	27.4	22.1	18.8	16.5
bacino intermedio	SI 0175	2.2	6.9	4.9	3.9	3.3	2.9	9.0	6.4	5.1	4.3	3.8
bacino intermedio	SI 0163	20.4	25.7	37.0	33.3	28.6	25.1	41.7	50.3	43.6	37.4	32.9
ARSELLA	SI 0161	29.4	28.3	46.7	44.9	39.2	34.4	47.6	64.2	58.3	50.4	44.3
BOTENA	SI 0149	8.1	21.4	17.8	14.5	12.5	11.2	29.2	22.4	18.3	15.8	14.0
ROSANI DEI O CAPANNUCCIA O FOSSO RIC	SI 0126	4.8	13.8	10.8	8.6	7.2	6.3	18.7	13.8	11.1	9.4	8.3
bacino intermedio	SI 0122	6.2	15.3	13.4	10.9	9.4	8.4	21.3	16.9	13.8	11.9	10.6
RIMAGGIO DI	SI 0118	8.7	18.9	18.8	15.4	13.3	11.9	28.2	23.8	19.4	16.7	14.9
BRICCIANA DI	SI 0084	89.8	34.5	79.0	97.1	98.9	93.4	72.5	125.8	142.0	138.4	127.7
SAN GODENZO O FOSSO DI FALTERONA	SI 0080	1.0	3.1	2.2	1.8	1.5	1.4	3.9	2.8	2.3	1.9	1.7
CELLE DI	SI 0070	5.5	15.3	12.3	9.8	8.3	7.2	21.0	15.8	12.6	10.7	9.4
bacino intermedio	SI 0067	63.6	78.1	121.9	116.1	101.7	90.0	129.8	168.1	151.7	131.6	116.4
MOSCIA	SI 0066	3.4	10.5	7.7	6.1	5.2	4.5	14.1	10.0	8.0	6.8	5.9
bacino intermedio	SI 0048	3.4	9.6	7.3	6.0	5.1	4.5	12.4	9.3	7.5	6.5	5.7
PIETRAMALA	SI 0047	2.3	7.5	5.4	4.2	3.6	3.1	10.0	7.0	5.5	4.7	4.1
bacino intermedio	SI 0045	2.7	8.8	6.3	5.0	4.2	3.7	11.7	8.2	6.5	5.6	4.9
bacino intermedio	SI 0035	10.4	23.3	22.0	17.9	15.4	13.6	33.3	27.9	22.7	19.5	17.3
USCIALI DI O TORRENTE USCIOLE	SI 0033	5.7	16.6	13.3	10.6	9.0	7.9	23.0	17.3	13.9	11.8	10.4
bacino intermedio	SI 0031	0.2	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3
bacino intermedio	SI 0028	21.7	57.2	61.7	52.5	45.4	40.4	82.7	81.8	68.6	59.2	52.7
RUFINA	SI 0024	0.2	0.6	0.4	0.3	0.3	0.2	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3
bacino intermedio	SI 0022	20.9	41.8	45.2	37.7	32.1	28.2	60.4	58.2	47.8	40.7	35.9
ARGOMENNA	SI 0020	2.0	7.1	5.0	4.0	3.4	2.9	9.3	6.4	5.1	4.3	3.8
FALCHETTO DEL	SI 0018	7.6	29.1	22.3	18.1	15.5	13.7	39.2	29.1	23.6	20.2	17.9
RICCAIANO	SI 0016	4.1	12.7	9.6	7.6	6.4	5.6	17.2	12.4	9.9	8.4	7.4
bacino intermedio	SI 0013	3.3	8.1	4.2	2.5	1.4	0.2	11.7	6.6	4.4	3.1	2.2
GRIGNANO DI	SI 0011	5.3	16.3	12.5	9.8	8.1	7.0	22.6	16.6	13.0	10.9	9.4
MACINAIE DELLE	SI 0007	3.3	10.3	7.5	6.0	5.0	4.4	13.8	9.8	7.8	6.6	5.8
bacino intermedio	SI 0004	4.0	12.4	9.3	7.3	6.2	5.4	16.7	12.0	9.6	8.1	7.1

Tab. 4.2.C/2 - Bacino Fiume Sieve: contributi massimi degli interbacini. Tr200 e Tr500

nome interbacino	codice sezione	superficie [kmq]	TR200					TR500				
			3h	6h	9h	12h	15h	3h	6h	9h	12h	15h
bacino intermedio	SI 0391	150.7	383.5	463.9	433.0	381.5	337.6	478.2	562.4	518.9	455.9	403.5
bacino intermedio	SI 0387	2.5	11.2	8.1	6.6	5.7	5.0	13.4	9.6	7.8	6.8	6.0
PONTICINO DI O DI BUCCIANO	SI 0333	4.7	20.1	14.1	11.1	9.3	8.1	24.0	16.7	13.2	11.1	9.7
bacino intermedio	SI 0314	0.9	4.3	3.1	2.5	2.1	1.9	5.1	3.6	3.0	2.6	2.3
ANGUIDOLA	SI 0295	16.6	60.2	51.5	42.2	36.2	32.1	73.6	62.1	51.0	43.9	38.9
RIMOTOSO DI O RIOMOTO	SI 0293	3.6	16.0	12.2	10.0	8.7	7.7	19.2	14.5	11.9	10.3	9.2
bacino intermedio	SI 0290	0.3	1.4	1.0	0.8	0.7	0.6	1.6	1.2	1.0	0.8	0.7
CARZA E FOSSO CALICARZA	SI 0281	66.5	134.3	164.2	147.7	125.5	107.4	182.0	211.5	187.4	159.4	137.4
LEVISIONE	SI 0279	31.7	70.7	87.7	79.6	69.6	61.8	91.4	107.7	96.5	84.2	74.9
bacino intermedio	SI 0274	3.2	14.9	10.7	8.6	7.3	6.4	18.0	12.9	10.4	8.9	7.8
IL FOSSATINO	SI 0273	0.2	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	1.0	0.7	0.6	0.5	0.4
CARDETTOLE DI	SI 0272	6.3	27.6	21.7	17.7	15.2	13.5	33.9	26.1	21.3	18.3	16.3
BAGNONE	SI 0216	23.4	78.6	81.7	69.7	60.1	53.2	99.2	100.4	85.2	73.5	65.2
bacino intermedio	SI 0210	0.5	2.5	1.8	1.4	1.2	1.1	3.0	2.1	1.7	1.5	1.3
BOSSO E FOSSO DELLA DIRCI	SI 0209	15.0	47.9	54.2	47.8	41.6	37.1	62.7	67.9	59.3	51.7	46.1
FALTONA E FOSSO DI POLCANTO	SI 0208	25.5	65.5	77.6	68.4	58.8	51.7	85.9	96.1	83.5	71.8	63.2
PATERNO DI O TORRENTE DI MONTE	SI 0207	3.3	16.4	12.4	10.0	8.6	7.6	20.3	15.0	12.1	10.4	9.2
LE CALE	SI 0204	8.4	40.0	32.2	26.2	22.5	19.9	49.2	39.1	31.8	27.3	24.2
bacino intermedio	SI 0203	0.8	3.7	2.6	2.1	1.8	1.6	4.4	3.1	2.5	2.1	1.9
RIMORELLI	SI 0197	0.5	2.7	1.9	1.5	1.3	1.2	3.2	2.3	1.8	1.6	1.4
VIGNANO	SI 0196	4.9	25.9	18.2	14.7	12.6	11.2	30.8	21.7	17.5	15.0	13.3
FISTONA O DI SANT'ANSANO	SI 0195	20.8	57.0	65.7	56.9	48.9	43.2	73.9	79.8	68.1	58.5	51.7
CAVALLINA DELLA	SI 0194	0.2	0.9	0.7	0.5	0.5	0.4	1.0	0.8	0.6	0.6	0.5
STRULLA DI O STRALA O DI SEGGIANO	SI 0192	9.4	42.4	33.9	27.4	23.5	20.8	52.4	40.7	32.9	28.2	25.0
COROLLA DELLA O CAROLA	SI 0187	9.6	41.7	34.4	27.7	23.5	20.7	51.9	41.7	33.5	28.5	25.1
bacino intermedio	SI 0186	1.0	5.0	3.5	2.8	2.4	2.1	6.0	4.2	3.4	2.9	2.5
ELSA O ENSA DI RAZZUOLO	SI 0185	31.8	90.4	109.7	100.6	88.6	79.0	118.8	138.1	125.1	110.1	98.3
bacino intermedio	SI 0182	3.7	18.6	13.3	10.7	9.1	8.0	22.7	16.1	13.0	11.1	9.8
PESCIOLA	SI 0181	10.5	37.0	39.5	34.0	29.5	26.2	47.6	49.1	42.1	36.5	32.4
CAMPESTRI DI O DI RIMAGGIO	SI 0180	7.4	25.6	23.0	18.5	15.6	13.6	32.9	28.3	22.8	19.2	16.8
bacino intermedio	SI 0180B	0.1	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2
MUCCIONE	SI 0180C	22.9	52.6	69.3	66.0	58.7	52.4	70.1	87.7	82.1	72.8	65.0
bacino intermedio	SI 0179	9.6	39.3	31.7	25.5	21.7	19.1	48.7	38.1	30.8	26.3	23.2
bacino intermedio	SI 0175	2.2	10.4	7.3	5.9	5.0	4.4	12.5	8.8	7.1	6.1	5.3
ARSELLA	SI 0163	20.4	52.3	59.0	50.5	43.4	38.2	68.2	72.3	61.2	52.6	46.5
BOTENA	SI 0161	29.4	60.3	75.6	67.2	58.0	51.1	79.3	92.5	80.8	69.6	61.4
ROSANI DEI O CAPANNUCCIA O FOSSO RICCI	SI 0149	8.1	34.1	25.6	20.8	18.0	16.0	41.2	30.4	24.8	21.4	19.1
bacino intermedio	SI 0126	4.8	21.8	15.9	12.8	10.9	9.6	26.5	19.2	15.4	13.2	11.6
RIMAGGIO DI	SI 0122	6.2	25.1	19.2	15.7	13.5	12.1	30.6	22.9	18.7	16.1	14.4
BRICCIANA DI	SI 0118	8.7	33.8	27.1	22.1	19.1	17.0	41.8	32.3	26.4	22.7	20.3
SAN GODENZO O FOSSO DI FALTERONA	SI 0084	89.8	98.3	156.9	171.6	164.5	150.7	137.6	203.8	216.0	204.0	185.9
CELLE DI	SI 0080	1.0	4.4	3.2	2.6	2.2	2.0	5.3	3.8	3.1	2.6	2.4
bacino intermedio	SI 0070	5.5	24.6	18.2	14.6	12.4	10.9	30.0	21.9	17.6	15.0	13.3
MOSCIA	SI 0067	63.6	164.6	198.9	176.1	152.3	134.8	217.3	245.5	213.6	184.4	163.3
bacino intermedio	SI 0066	3.4	16.5	11.6	9.3	7.9	6.9	20.1	14.1	11.3	9.6	8.5
PIETRAMALA	SI 0048	3.4	14.2	10.6	8.6	7.4	6.6	17.1	12.7	10.3	8.9	7.9
bacino intermedio	SI 0047	2.3	11.6	8.1	6.5	5.5	4.8	14.0	9.8	7.9	6.7	5.9
bacino intermedio	SI 0045	2.7	13.6	9.5	7.6	6.5	5.7	16.5	11.6	9.3	7.9	6.9
USCIALI DI O TORRENTE USCIOLO	SI 0035	10.4	39.7	31.9	25.9	22.3	19.8	49.1	38.2	31.0	26.6	23.6
bacino intermedio	SI 0033	5.7	27.1	20.0	16.1	13.7	12.1	33.4	24.3	19.6	16.7	14.8
bacino intermedio	SI 0031	0.2	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	1.0	0.7	0.5	0.5	0.4
RUFINA	SI 0028	21.7	100.2	95.8	80.0	69.0	61.4	127.5	117.8	97.9	84.4	75.1
bacino intermedio	SI 0024	0.2	0.9	0.6	0.5	0.4	0.4	1.0	0.7	0.6	0.5	0.4
ARGOMENNA	SI 0022	20.9	72.6	67.0	54.7	46.7	41.1	90.8	80.4	65.5	55.8	49.2
FALCHETTO DEL	SI 0020	2.0	10.7	7.5	5.9	5.0	4.4	13.1	9.1	7.2	6.1	5.4
RICCAIANO	SI 0018	7.6	46.2	33.9	27.5	23.6	20.9	57.1	41.5	33.6	28.9	25.6
bacino intermedio	SI 0016	4.1	20.2	14.4	11.5	9.8	8.6	24.7	17.5	14.0	12.0	10.5
GRIGNANO DI	SI 0013	3.3	14.2	8.4	5.8	4.3	3.2	18.1	11.1	8.0	6.1	4.9
MACINAIE DELLE	SI 0011	5.3	26.9	19.5	15.4	12.9	11.2	33.5	24.0	19.0	16.0	13.9
bacino intermedio	SI 0007	3.3	16.1	11.3	9.1	7.7	6.8	19.6	13.8	11.0	9.4	8.3
bacino intermedio	SI 0004	4.0	19.6	13.9	11.1	9.5	8.3	23.9	16.9	13.6	11.6	10.0