

# Autorità di Bacino del Fiume Arno

Modellistica idrologica per la gestione integrata delle risorse  
idriche del bacino dell'ARNO e tutela dell'habitat fluviale in  
relazione al Deflusso Minimo Vitale

Rapporto finale

***Relazione generale***

*Maggio, 2004*

# INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>1</b>
<b>2. LA MODELLISTICA IDROLOGICA.....</b>	<b>2</b>
2.1. LE MODALITA' D'USO DELL'ACQUA PUBBLICA .....	3
2.2. ALCUNE MODALITA' D'USO PER PICCOLE CONCESSIONI .....	5
2.2.1. Derivazioni irrigue. Modalità d'uso = 10.....	6
2.2.2. Derivazioni Industriali. Modalità d'uso = 50.....	6
2.2.3. Derivazioni potabili. Modalità d'uso = 60. ....	7
2.2.4. Derivazioni potabili. Modalità d'uso = 61. ....	7
2.2.5. Immissioni extra-bacino. Modalità d'uso = 70.....	7
2.2.6. Altre derivazioni dissipative. Modalità d'uso = 80 .....	7
2.3. STIMA DELLE PORTATE NATURALI NELLE SEZIONI STRUMENTATE .....	8
2.4. STIMA DELLE PORTATE NATURALI NELLE SEZIONI NON STRUMENTATE .....	10
2.5. STIMA DELLE PORTATE MISURABILI .....	10
2.5.1. Modalità d'uso 1, 10 ÷ 19 (derivazioni Irrigue ad acqua fluente) .....	12
2.5.2. Modalità d'uso 2 (derivazioni irrigue con rifasamento).....	12
2.5.3. Modalità d'uso 3 (derivazioni idroelettriche con invaso).....	13
2.5.4. Modalità d'uso 4 (Derivazioni industriali ad acqua fluente senza by-pass) ..	15
2.5.5. Modalità d'uso 5, 50 ÷ 59: (Derivazioni industriali ad acqua fluente con by-pass).....	15
2.5.6. Modalità d'uso 6, 60 ÷ 69 (Derivazioni potabili).....	16
2.5.7. Modalità d'uso 7, 70 ÷ 79 (Immissioni extra bacino).....	17
2.5.8. Modalità d'uso 8, 80 ÷ 89 (Altre derivazioni dissipative ad acqua fluente)... 17	
2.6. STIMA DELLE PORTATE RESIDUE.....	17
2.7. CONCESSIONI DI RIFERIMENTO .....	19
2.7.1. Gli invasi di Levane e La Penna.....	22
2.7.2. L'invaso di Bilancino.....	24
2.7.3. Le immissioni dall'invaso di Montedoglio .....	26
2.7.4. I prelievi ad uso idropotabile per la città di Firenze .....	27
2.8. PORTATE DI RIFERIMENTO. ....	30
<b>3. IL RETICOLO IDROGRAFICO DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>37</b>
<b>4. LA PAGINA WEB “ARNO_RIVER” .....</b>	<b>42</b>
4.1. ACCESSO ALLA PAGINA WEB “ARNO_RIVER” .....	42
4.1.1. Soluzione A .....	42
4.1.2. Soluzione B .....	43
4.1.3. Soluzione C .....	44
4.2. GESTIONE DELLA PARTE DI ELABORAZIONE .....	45

4.3.	GESTIONE DELLA PARTE CARTOGRAFIA ED INTERCONNESSIONI CON L'ELABORAZIONE.....	45
<b>5.</b>	<b>IL DEFLUSSO MINIMO VITALE “DMV”.....</b>	<b>46</b>
5.1.	CRITERI PER LA STIMA DEL MINIMO VITALE .....	47
5.1.1.	<i>Norme a carattere nazionale .....</i>	<i>48</i>
5.1.2.	<i>Norme a carattere internazionale.....</i>	<i>49</i>
5.1.3.	<i>Metodi, biologicamente basati, per la stima della portata minima vitale.....</i>	<i>51</i>
5.2.	ANALISI CRITICA DEI METODI DISCUSSI.....	56
5.3.	IL CASO DEL BACINO DEL FIUME ARNO .....	58
<b>6.</b>	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....</b>	<b>60</b>

## 1. PREMESSA

L'esecuzione dello studio "Modellistica idrologica per la gestione integrata delle risorse idriche del bacino dell'ARNO e tutela dell'habitat fluviale in relazione al Deflusso Minimo Vitale" ha sostanzialmente visto lo sviluppo di tre filoni di approfondimento che sono avanzati sinergicamente in parallelo: *i)* modellistica idrologica; *ii)* gestione del reticolo idrografico secondo gli standard forniti dagli stessi uffici tecnici dell'Autorità di Bacino dell'Arno; *iii)* realizzazione di una pagina web che consentisse un'elevata gestione dei due aspetti precedenti secondo una logica del tipo server-client.

Il tutto in un'ottica, che potremmo definire innovativa, in cui i risultati dello studio non sono forniti tramite tradizionali carte tematiche il cui significativo nel tempo via via svanisce, bensì tramite la possibilità di consultare un sito internet in cui sia gli aspetti numerici, sia gli aspetti cartografici possono essere visualizzati ed eventualmente acquisiti in maniera sempre aggiornata in funzione delle mutate condizioni al contorno (inserimento di nuove prelievi, di regole di gestione degli stessi differenti, definizione di nuovi limiti relativi al valore di deflusso minimo vitale, acquisizione di nuovi dati di portata etc.).

Ovviamente, a fronte degli aspetti innovativi di sicuro interesse, alle potenzialità tecniche ma anche socio-culturali insite nell'uso della rete internet, tale approccio comporta un impegno non trascurabile da parte del gestore del sistema (administrator), il quale si dovrà fare carico di curare non solo l'aggiornamento tecnico del sistema (inteso sia nell'aspetto idraulico-idrologico, sia in quello informatico), ma dovrà assumersi anche la funzione di controllo dell'accesso al sistema.

Infatti, come meglio sarà esplicitato nel seguito del rapporto, la piena potenzialità di tutto il processo la si potrà avere unicamente quando la rete di utenti istituzionali interessati alla gestione della risorsa idrica nel bacino del Fiume Arno potrà interagire nel suo complesso con il sistema stesso, acquisendo dati ed informazioni, elaborando dati ed inserendo a sua volta dati, il tutto sotto il controllo dell'administartor "Autorità di Bacino del Fiume Arno".

In sintesi, i concetti precedentemente descritti rappresentano la linea logica che ha guidato lo studio, che partendo da una base metodologica di tipo idraulico-idrologico si è poi dovuto confrontare con le tecniche di rappresentazione del reticolo idrografico tipiche dell'ambiente GIS, a loro volta trasferite ed implementate su di una piattaforma di tipo WEB.

## 2. LA MODELLISTICA IDROLOGICA

La gestione delle portate in un reticolo superficiale complesso, dove l'utilizzo dell'acqua è spesso conteso tra diverse utenze, richiede una dettagliata conoscenza dei termini principali del bilancio idrico, quali le portate defluenti in alveo in condizioni non antropizzate e l'insieme dei prelievi spazialmente e cronologicamente distribuiti. Inoltre è necessario valutare l'aliquota rinnovabile della risorsa idrica in modo da definire i valori di soglia delle portate prelevabili dal sistema idrico naturale. La complessità del problema appena delineato si esplicita nell'ulteriore vincolo derivante dalla necessità di definire in termini quantitativi la portata per usi d'alveo (Deflusso Minimo Vitale, DMV) e le modalità per garantirne il rispetto.

Pertanto l'obiettivo che si pone la modellistica idrologica può essere riassunto nei tre seguenti punti:

- I. stima delle portate che defluirebbero in condizioni naturali nelle sezioni o nelle aste di interesse;
- II. stima dei corrispondenti deflussi che si avrebbero per un'assegnata distribuzione di prelievi effettuati a monte;
- III. stima, infine, delle portate potenzialmente ancora assegnabili in concessione per usi dissipativi senza restituzione in alveo, soddisfatto l'eventuale vincolo di rispetto della portata di DMV.

Per raggiungere tale risultato è necessario conoscere, da una parte, i dati relativi ai prelievi, dall'altro il regime dei deflussi reso naturale, il tutto nel contesto del sistema fisico rappresentato dalla conformazione del reticolo idrografico e nel rispetto delle condizioni ambientali, sintetizzate nella portata di minimo vitale.

La complessità del sistema è data dalla necessità di interpretare molte informazioni e di correlarle tra loro in maniera omogenea e congruente, operazione non sempre limitata alle tradizionali fasi di analisi dei dati e sintesi dei risultati, ma sempre più di frequente integrata da valutazioni e decisioni derivanti dalla conoscenza sia delle problematiche pratiche, sia dall'efficacia operativa del risultato che si vuole perseguire.

Ciò premesso, si ritiene utile precisare il significato attribuito ad alcuni termini il cui utilizzo sarà frequente nel seguito del rapporto.

- *Portate naturali*: sono le portate che defluiscono nella rete idrografica in assenza di ogni utilizzazione antropica, sia dissipativa, sia non dissipativa, effettuata a monte.
- *Portate misurabili*: sono le portate che defluiscono attraverso una sezione quando a monte vengono effettuati dei prelievi derivanti da un'assegnata situazione d'uso delle acque pubbliche, sia normativa che di fatto. Tali portate dipendono, note quelle naturali, dai soli prelievi effettuati a monte della sezione di interesse.

- *Portate residue*: sono le portate ancora attribuibili in concessione per usi dissipativi. Fissata una sezione di interesse, la portata residua di questa è data dalla minima portata misurabile, diminuita della portata di minimo vitale, registrata tra la sezione di interesse e la chiusura del bacino o, più correttamente, la foce del mare.
- *Concessioni dissipative*: sono quelle che prevedono il prelievo dell'acqua senza alcuna restituzione. Nel caso contrario le concessioni sono considerate non dissipative.
- *Efficienza dissipativa*: per situazioni intermedie alle precedenti, quali le derivazioni potabili ed alcune derivazioni industriali ed irrigue, è stato introdotto un coefficiente  $E$  ( $0.0 \leq E \leq 1.0$ ) che misura la frazione delle portate effettivamente dissipate dalla concessione. Tale coefficiente ove necessario viene stimato in base a valutazioni sintetiche sulle modalità di prelievo dell'acqua e dei luoghi ove è ubicata la concessione.

## 2.1. LE MODALITÀ D'USO DELL'ACQUA PUBBLICA

Uno dei problemi più significativi nella gestione dei dati relativi ai prelievi è quello inerente le modalità di prelievo, sia in termini quantitativi, sia in termini temporali. Infatti sono in genere disponibili informazioni sulla portata autorizzata al prelievo, anche se non sempre è specificato se il dato deve essere interpretato come portata media o massima, sul tipo di utilizzo dell'acqua, sul punto di prelievo ed eventualmente di restituzione. Tuttavia queste informazioni non sono sufficienti per dedurre come l'acqua viene effettivamente prelevata nel contesto dei valori e dell'uso autorizzati, tantomeno è ipotizzabile di acquisire questa informazione per tutta la moltitudine di prelievi autorizzati alla data odierna, ma anche negli anni passati.

Per tale motivo è necessario descrivere il fenomeno in termini generali, attraverso varie modalità di prelievo e restituzione delle acque pubbliche che descrivono alcune tipologie d'uso standard, identificate mediante un codice numerico.

Tale codice, chiamato in seguito "*Modalità d'uso*", risulta fondamentale in fase di elaborazione, per discriminare tra una concessione e l'altra in ragione delle modalità di prelievo e di restituzione dell'acqua.

- *Modalità d'uso 1. Derivazioni irrigue ad acqua fluente*. Di solito sono concessioni di una certa importanza. L'efficienza dissipativa è di norma minore di uno, vista l'importanza in questi prelievi dei sistemi di adduzione e distribuzione dell'acqua, per i quali non sempre si può ipotizzare uno stato di manutenzione soddisfacente.
- *Modalità d'uso 2. Derivazioni irrigue con invaso*. Sono derivazioni totalmente dissipative. La concessione prevede di norma una portata perenne di rilascio.

- *Modalità d'uso 3. Derivazioni industriali con invaso.* Sono derivazioni non dissipative, per lo più costituite da invasi per la produzione di energia elettrica. La restituzione in alveo delle portate turbinate può avvenire a sensibile distanza dallo sbarramento. Di norma è prevista una portata di rilascio al piede dello sbarramento.
- *Modalità d'uso 4. Derivazioni ad acqua fluente non dissipative.* L'opera di presa e di restituzione sono pressoché coincidenti, nel senso che l'acqua viene immediatamente restituita in alveo senza by-pass di tronchi di lunghezza significativa. Sono tipiche di questa modalità d'uso le derivazioni per piccole centrali di forza motrice ad acqua fluente e per usi ittigenici.
- *Modalità d'uso 5. Derivazioni ad acqua fluente non dissipative.* La restituzione delle portate derivate avviene molto più a valle dell'opera di presa. Sono tipiche di questa legge le derivazioni idroelettriche ad acqua fluente con lunghe opere di adduzione fino alla centrale.
- *Modalità d'uso 6. Derivazioni potabili.* L'efficienza dissipativa può oscillare tra il 10 ed il 30%.
- *Modalità d'uso 7. Sono concessioni fittizie che rappresentano le portate immerse che possono provenire anche da fuori del bacino idrografico in esame.* Tale legge rende più flessibile la procedura di calcolo delle portate misurabili e residue, permettendo di descrivere meglio alcune situazioni singolari quali i prelievi non dissipativi da pozzi profondi che, ai fini dei deflussi superficiali, possono assumersi come provenienti extrabacino.
- *Modalità d'uso 8. Derivazioni dissipative ad acqua fluente diverse da quelle irrigue.*

Questa prima serie di *modalità d'uso*, codificate da 1 ad 8, rappresentano concessioni di cui sono noti i dati cronologici delle portate prelevate e delle variazioni di invaso, quando, in quest'ultimo caso, sono presenti opere di regolazione significative. In termini quantitativi tali modalità d'uso sono pertanto rappresentate dalle serie storiche dei dati di prelievo, ipotesi, come già detto, non molto frequente per questo tipo di informazione.

Per tale motivo si è ipotizzata una seconda serie di *modalità d'uso*, relative ai prelievi di cui sono noti, per la stima delle portate prelevate, i soli dati medi o massimi di prelievo specificati dal disciplinare di concessione. Il loro andamento cronologico è stato quindi ipotizzato in base a delle relazioni di tipo sintetico sulla base della loro destinazione (irrigua, potabile, industriale, ecc.).

A tale proposito è stato definito con  $\alpha$  il rapporto tra la portata giornaliera prelevata  $Q(t)$  e quella massima di concessione  $Q_{max}$ , pertanto la modalità d'uso è descritta dalla variabilità nell'arco dell'anno medio del coefficiente.

$$\alpha(t) = \frac{Q(t)}{Q_{max}}$$

- *Modalità d'uso 10 ÷ 19. Derivazioni irrigue ad acqua fluente.* Il coefficiente  $\alpha$  sarà nullo nei periodi non irrigui e varierà da 0 ÷ 1 nei periodi irrigui.
- *Modalità d'uso 50 ÷ 59. Derivazioni industriali ad acqua fluente.* Di norma  $\alpha = 1$  durante tutto l'anno medio.
- *Modalità d'uso 60 ÷ 69. Derivazioni potabili.* La portata prelevata durante i periodi di esaurimento viene di norma fatta coincidere con la portata minima della sorgente, se nota; negli altri periodi del regime idrico il prelievo è limitato dalle portate concesse. Il regime delle sorgenti più piccole, prive di misure di portata continue, può essere ricavato assimilandolo a quello di sorgenti campione. Nella maggioranza dei casi, in mancanza di informazioni specifiche, può assumersi  $\alpha = \text{cost} = 1$ .

*Modalità d'uso 70 ÷ 79. Immissioni da altre fonti esterne al bacino o di fatto tali (restituzioni di prelievi da falde profonde, o rilasci programmati da invasi).* Nella maggioranza dei casi può assumersi  $\alpha = \text{cost} = 1$ .

*Modalità d'uso 80 ÷ 89. Derivazioni ad acqua fluente dissipative.* Di solito  $\alpha = \text{cost} = 1$ .

## 2.2. ALCUNE MODALITA' D'USO PER PICCOLE CONCESSIONI

L'archivio delle concessioni attualmente disponibile, come vedremo in dettaglio nel seguito, contiene informazione per lo più riconducibili quasi interamente alla seconda serie di modalità d'uso, modalità più affini ai prelievi relativi a piccole derivazioni ed attingimenti, questi ultimi intesi sotto forma di licenze annuali.

Per tale motivo si ritiene utile una descrizione più dettagliata della variabilità del coefficiente  $\alpha$ , nell'arco dell'anno medio, per una serie di modalità d'uso che si possono ipotizzare di più frequente utilizzo.

### 2.2.1. Derivazioni irrigue. Modalità d'uso = 10.

L'andamento cronologico normale dei prelievi è descritto nel prospetto seguente in termini di valore del coefficiente  $\alpha$ , mentre nella figura 1 è rappresentato l'andamento grafico.

$\alpha = 0.0$	dal 1 gennaio al 2 maggio
$\alpha = 0.0 \div 0.1$	dal 3 al 31 maggio
$\alpha = 0.1 \div 0.4$	dal 1 al 30 giugno
$\alpha = 0.4 \div 0.9$	dal 1 al 31 luglio
$\alpha = 0.9 \div 1.0$	dal 1 al 20 agosto
$\alpha = 1.0 \div 0.0$	dal 21 agosto al 30 settembre
$\alpha = 0.0$	dal 1 ottobre al 31 dicembre

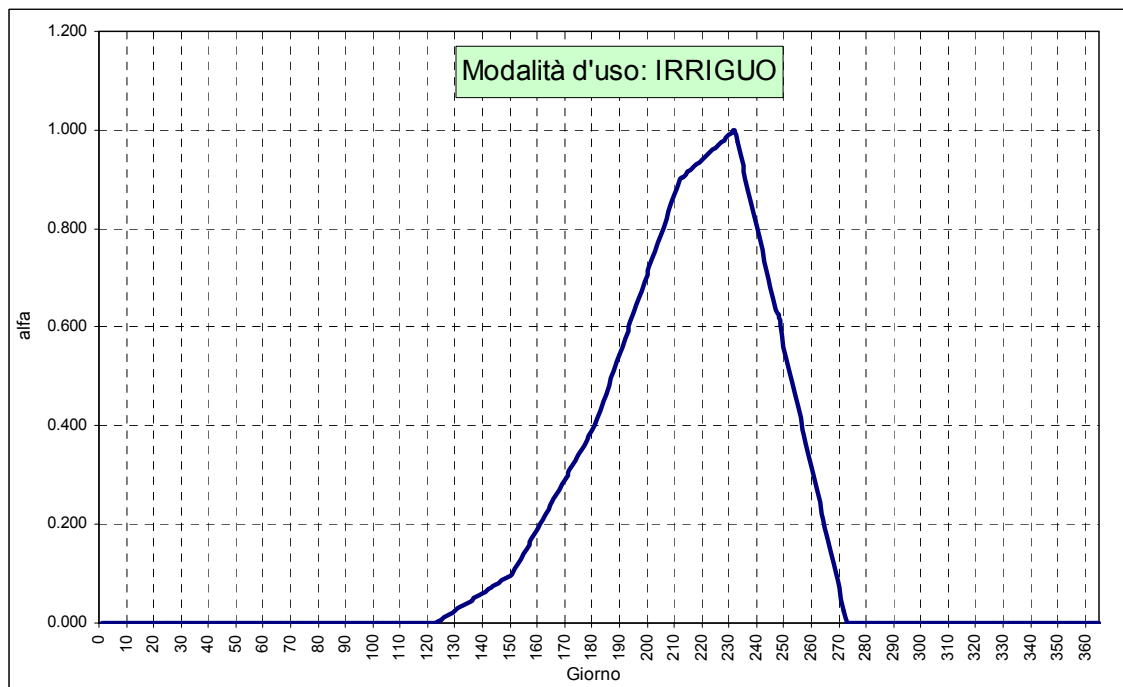


Figura 1: Rapporto  $\alpha = \frac{Q}{Q_{max}}$

### 2.2.2. Derivazioni Industriali. Modalità d'uso = 50.

Le derivazioni industriali sono prevalentemente quelle ad uso idroelettrico o per produzione di forza motrice. Il prelievo viene effettuato ad acqua fluente e le portate derivate possono ritenersi costanti tutto l'anno e pari alla portata massima di concessione. Pertanto  $\alpha = \text{cost} = 1.0$  dal 1 gennaio al 31 dicembre.

### **2.2.3. Derivazioni potabili. Modalità d'uso = 60.**

Con la modalità d'uso 60 possono indicarsi le sorgenti del bacino, od i prelievi da generici tronchi fluviali, caratterizzati comunque da una elevata costanza e regolarità.

La portata derivata è assunta costante per tutto l'anno e pari a quella massima di concessione. Pertanto  $\alpha = \text{cost} = 1.0$  dal 1 gennaio al 31 dicembre.

### **2.2.4. Derivazioni potabili. Modalità d'uso = 61.**

Con la modalità d'uso 61 potranno essere indicate tutte le sorgenti del bacino, od i prelievi da generici tronchi fluviali, nelle quali la portata derivata è comunque costante per tutto l'anno, tuttavia al valore della portata di concessione potrà essere applicato un coefficiente riduttivo  $\alpha$  per tenere conto di un prelievo ridotto non ancora a regime (valori plausibili 50% 80 %). Questo esempio di modalità uso è esemplificativo della possibilità di definire, sempre nel contesto dei casi previsti dalla modellistica idrologica, leggi d'uso che siano il più attinenti possibili alla tipologia del prelievo esaminato.

L'analisi di dettaglio delle varie situazioni consentirà di attribuire questa, od altre modalità d'uso, con  $\alpha = 0.5 \div 0.8$  dal 1 gennaio al 31 dicembre.

### **2.2.5. Immissioni extra-bacino. Modalità d'uso = 70.**

La funzione della presente legge è quella di rappresentare la restituzione nella rete idrografica delle portate di approvvigionamento potabile prelevate da sorgenti, o fonti diverse, esterne al bacino di alimentazione della rete idrografica simulata. L'applicazione della modalità d'uso 70 potrebbe comunque essere utilizzata anche per simulare rilasci mirati da invasi, in condizioni particolarmente critiche.

Con la modalità d'uso 70 si assume che tale restituzione sia costante tutto l'anno. Pertanto  $\alpha = \text{cost} = 1.0$  dal 1 gennaio al 31 dicembre.

### **2.2.6. Altre derivazioni dissipative. Modalità d'uso = 80**

Rappresenta una derivazione dissipativa diversa da quelle tipicamente irrigue. Può essere ricondotta a degli impianti industriali che per processo o raffreddamento non restituiscono tutta l'acqua derivata. Per la modalità 80 è stato assunto un prelievo costante per tutto l'anno.

Pertanto  $\alpha = \text{cost} = 1.0$  dal 1 gennaio al 31 dicembre.

## 2.3. STIMA DELLE PORTATE NATURALI NELLE SEZIONI STRUMENTATE

Per ciascuna stazione strumentata, la stima delle portate naturali è stata effettuata combinando, in sequenza cronologica, le portate misurate nelle stazioni idrografiche con i prelievi operati a monte.

In particolare la procedura di ricostruzione della serie storica delle portate naturali prevede i seguenti passaggi:

- verifica, attraverso la georeferenziazione delle stazioni di misura e delle concessioni, di tutti i prelievi situati nel reticolo idrografico a monte della stazioni di misura, distinguendo quelli con asta di restituzione diversa dall'asta di presa per i quali è necessario verificare anche la posizione della restituzione rispetto alla stazione di misura;
- controllo dell'anno di elaborazione del dato di portata con l'anno di attivazione e scadenza del dato di prelievo, verificando quindi che il prelievo sia in corso ossia compreso tra i due anni di attivazione e scadenza;
- verifica per le concessioni scadute o prive di data di scadenza della situazione d'uso, considerando attive quelle in condizioni di sanatoria, istruttoria o rinnovo, a meno di specifiche indicazioni per il singolo prelievo;
- verifica del coefficiente di efficienza da utilizzare (se richiesto) nella legge d'uso;
- applicazione della legge d'uso attribuita al prelievo, tra quelle precedentemente descritte, tramite le relazioni riportate nella tabella 1.

Eseguiti i precedenti passaggi, di fatto le portate misurate devono essere algebricamente incrementate, giorno per giorno, dei valori di portata effettivamente prelevati a monte, per ottenere infine le portate giornaliere naturali.

Ove alcuni dati di concessione risultassero eccessivi rispetto alle reali disponibilità idriche nelle sezioni di attingimento, si possono inserire alcune correzioni diminuendo il grado di efficienza dissipativa.

Attribuendo quindi ai seguenti simboli il corrispondente significato:

$QN$  = Portata Naturale;

$QM$  = Portata Misurata;

$\frac{\Delta V}{\Delta t}$  = Variazione giornaliera di invaso;

$QU$  = Portata derivata ad acqua fluente o da invaso;

$Q_{max}$  = Portata massima di concessione;

$\alpha$  = Coefficiente adimensionale che descrive la variabilità delle portate prelevate nell'anno medio;

$E$  = Efficienza dissipativa;

le portate naturali, in presenza di un quadro delle concessioni descritto con le modalità d'uso di cui al precedente paragrafo, sono state determinate mediante le relazioni indicate nella tabella 1, in cui ciascun termine rappresenta valori di portata al generico tempo  $t$  (giorni).

Tabella 1: Relazioni standard per la stima delle portate naturali.

Modalità d'uso	Stazione di misura a valle dell'asta di prelievo e di restituzione	Stazione di misura sita tra l'asta di prelievo e l'asta di restituzione
1	$QN = QM + E \cdot QU$	(1)
2	$QN = QM + \frac{\Delta V}{\Delta t} + QU$	(1)
3	$QN = QM + \frac{\Delta V}{\Delta t}$	$QN = QM + \frac{\Delta V}{\Delta t} + QU$
4	$QN = QM$	(2)
5	$QN = QM$	$QN = QM + QU$
6	$QN = QM + E \cdot QU$	$QN = QM + QU$
7	$QN = QM - (1 - E) \cdot QU$	(3)
8	$QN = QM + E \cdot QU$	(1)
10 ÷ 19	$QN = QM + E \cdot \alpha \cdot Q_{max}$	(1)
50 ÷ 59	$QN = QM$	$QN = QM + \alpha \cdot Q_{max}$
60 ÷ 69	$QN = QM + E \cdot \alpha \cdot Q_{max}$	$QN = QM + \alpha \cdot Q_{max}$
70 ÷ 79	$QN = QM - (1 - E) \cdot \alpha \cdot Q_{max}$	(1)
80 ÷ 89	$QN = QM + E \cdot \alpha \cdot Q_{max}$	(1)

(1) In quanto dissipative le portate prelevate non vengono restituite; non si pone quindi il problema della ubicazione della stazione rispetto all'asta di restituzione che, per convenzione, viene fatta sempre coincidere con quella di derivazione.

(2) L'asta di derivazione e di restituzione coincidono.

(3) Le portate immesse non prevedono una restituzione.

L'applicazione della procedura di calcolo delle portate naturali nelle sezioni strumentate richiede la percorrenza da valle a monte del reticolo idrografico di riferimento, aspetto che verrà illustrato ed approfondito nel successivo paragrafo 3 della relazione, e che comunque ha portato ad una approfondita verifica del modello di rappresentazione del reticolo fluviale fornito dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

## 2.4. STIMA DELLE PORTATE NATURALI NELLE SEZIONI NON STRUMENTATE

Le sezioni non strumentate del reticolo idrografico di riferimento sono considerate il nodo finale di ciascuna asta. Come vedremo in seguito il livello numerico di informazione in tal senso è elevatissimo, in relazione al dettaglio con cui il reticolo è stato discretizzato.

La stima delle portate naturali nelle sezioni non strumentate non segue più la logica cronologica della serie storica, per ovvi motivi di complessità, ma si è preferito adottare una tecnica di regionalizzazione applicata alle curve di durata, tecnica che è dettagliatamente illustrata nell'Appendice B del presente rapporto, per quanto riguarda gli aspetti strettamente attinenti alle curve di durata, mentre nell'Appendice A si è illustrata tutta la metodologia di calcolo e stima dell'indice del deflusso di base (BFI), argomento strettamente correlato al precedente.

In sintesi, il criterio logico che ha condotto ad una scelta in tal senso è essenzialmente di avere una modellistica che si basa su dati di input di facile reperibilità, per cui un sufficiente numero di sezioni idrometriche strumentate con una serie storica affidabile, su cui eseguire una taratura del modello, un'informazione sufficientemente ampia sui prelievi ed infine la conoscenza di alcuni parametri caratteristici dei bacini idrografici di facile interpretazione, in particolare area del bacino e conformazione geologica.

## 2.5. STIMA DELLE PORTATE MISURABILI.

Il calcolo delle portate misurabili, per una qualunque configurazione di prelievi, rappresenta il problema inverso a quello già trattato nel calcolo delle portate naturali nelle sezioni strumentate.

Note le portate naturali ed i prelievi di monte, il problema consiste nel calcolo delle portate effettivamente defluenti in alveo. Nell'ipotesi di disporre di tutti i dati necessari, questo problema è di semplice soluzione, risultando sufficiente allo scopo una sola differenza tra le portate naturali e i prelievi effettuati.

In realtà il problema, se posto in termini cronologici, cioè se si vogliano conoscere le portate misurabili secondo la loro reale sequenza temporale, si presenta molto più complesso, spesso non risolvibile per la mancanza sia delle serie storiche delle portate naturali nelle sezioni non strumentate, sia dei dati cronologici di prelievo. Le molteplici difficoltà operative di tale approccio si possono evidenziare da alcuni esempi.

Nel caso di invasi irrigui, posto  $QMS = \text{Portata Misurabile}$  a valle della diga, si ha:

$$QMS = QN - \frac{\Delta V}{\Delta t} - QU$$

Il calcolo della portata misurabile, sia pure supposta nota la legge di prelievo  $QU$  deducibile in prima approssimazione dall'andamento climatico medio annuale, presuppone la conoscenza delle variazioni di invaso  $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ . Questi ultimi dati solo raramente sono disponibili.

Lo stesso problema si pone per gli invasi idroelettrici, per i quali deve considerarsi incognita anche la legge di derivazione  $QU$  dipendente dalla variabilità del carico elettrico sulla rete, la cui previsione è tutt'altro che facile.

Quanto discusso sopra è riferito alla stima delle portate misurabili nelle stazioni strumentate, ove possono ritenersi note le serie cronologiche delle portate naturali  $QN$ . Il problema diviene ancora più complesso nel caso delle sezioni non strumentate, ove le portate naturali non sono in genere stimabili in termini cronologici di serie storica, per cui anche la stima delle portate misurabili in tal senso è di fatto impossibile.

Il problema è stato quindi affrontato con un altro approccio, come già detto delle “curve di durata”, i cui aspetti positivi consistono nella semplificazione delle procedure di calcolo, a fronte di un margine di errore ancora accettabile per gli scopi di gestione della risorsa idrica, soprattutto con un dettaglio di informazioni richieste sul reticolo idrografico così diffuso come quello in esame.

Gli aspetti metodologici sono riassunti nel concetto che nota la curva di durata delle portate disponibili in una generica sezione e definita la porzione di curva di durata utilizzata dalla generica concessione, la semplice combinazione algebrica (sottrazione o somma) delle due curve fornisce la curva di durata delle portate misurabili.

In termini simbolici, facendo riferimento alla generica concessione ed indicato con:

$QD$  = Portate defluenti in alveo già depurate dei prelievi effettuati a monte da altri concessionari.

$PA$  = Massimi prelievi possibili in base ai dati di concessione.

$QS$  = Restituzioni perenni per obblighi di disciplinare o la portata di minimo vitale

$PE$  = Prelievi Effettivi operati dalla generica concessione

sia ha per la  $j$ -esima asta:

$$PE_j = \min (QD - QS, PA)$$

dove  $PE_j$  sono i prelievi effettivi che vengono sottratti alle curve di durata di tutte le  $i$ -esime aste di valle compresa quella  $j$ -esima in esame. Pertanto le portate misurabili  $QMS$ , risultanti a valle della  $j$ -esima asta per effetto dei prelievi  $PE_j$  in essa operati, risultano pari a:

$$QMS_i = QD_i - PE_j \quad i = j, \text{ valle}$$

Gli esempi seguenti, inerenti alcune tipologie caratteristiche di prelievo, chiariscono tale concetto. Si evidenzia, peraltro, che l'algoritmo di calcolo implementato nel sistema *Arno\_River* per la stima delle portate  $PE_i$  può tenere conto anche dei vincoli di minimo vitale, secondo varie ipotesi, anche se le concessioni giuridicamente già assegnate nel passato non sono state sottoposte al rispetto di tale soglia di portata.

### 2.5.1. Modalità d'uso 1, 10 ÷ 19 (derivazioni Irrigue ad acqua fluente)

Posto che:

$$PA = \beta Q_{max}$$

dove  $Q_{max}$  rappresenta la portata massima assentita dalla concessione ed assunta, per una generica concessione irrigua, la seguente legge di variazione di  $\beta$  con la quale descrivere l'andamento medio dei massimi prelievi possibili  $PA$ :

$\beta = 0.0$	dalla durata 1 a 214 giorni
$\beta = 0.0 \div 1.0$	dalla durata 215 a 350 giorni
$\beta = 1.0$	dalla durata 351 a 365 giorni

le portate effettivamente prelevabili risultano dalla seguente relazione:

$$PE = \min (QD - QS, PA)$$

L'area retinata nella figura 2 rappresenta quindi l'insieme  $PE$  delle portate effettivamente prelevabili, cioè la porzione di curva che può essere sottratta alla curva di durata dell'asta corrente e di quelle di valle, compatibilmente con le portate disponibili  $QD$  e le portate da rilasciare  $QS$ .

### 2.5.2. Modalità d'uso 2 (derivazioni irrigue con rifasamento)

Nel caso di concessioni irrigue con invaso, l'insieme  $PE$  delle portate effettivamente prelevabili è dato dalla relazione

$$PE = \min (QD - QS, K - QS)$$

nella quale  $K$  rappresenta l'ordinata in corrispondenza della quale l'area compresa tra  $QS$ ,  $K$ , e la curva di durata è pari al volume di regolazione dell'invaso (area retinata nella figura 3). Secondo la definizione data,  $K$  si ricava dall'integrale

$$Volume\ di\ Regolazione = \int_{Q_S}^K durata\ dQ$$

Nella relazione precedente, si ipotizza a favore della sicurezza, che l'invaso abbia una regolazione annuale e che si riempia a partire dalle portate più basse e successivamente con quelle più alte fino al valore di soglia  $K$ , oltre il quale si verificano degli sfiori.

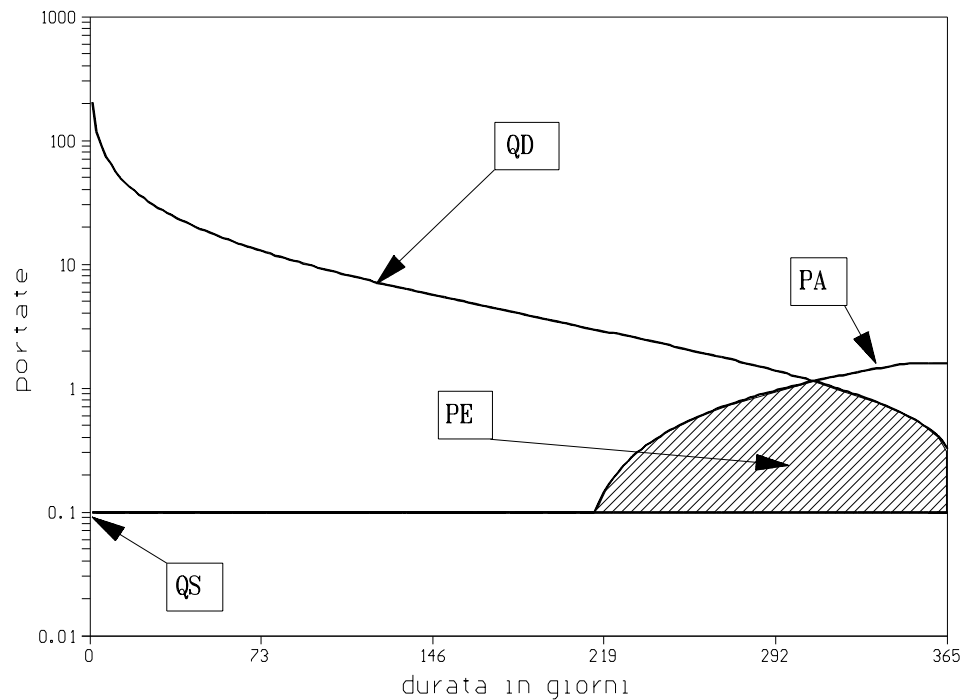


Figura 2: Derivazioni Irrigue ad Acqua Fluente. Portate prelevabili.

### 2.5.3. Modalità d'uso 3 (derivazioni idroelettriche con invaso)

Nel caso di invasi ad uso idroelettrico, nella totale mancanza di regole certe di gestione sia degli invasi sia delle centrali, si ipotizza che nel tratto compreso tra lo sbarramento e l'opera di restituzione venga trattenuta dall'invaso l'intera portata defluente, a meno ovviamente delle portate da rilasciare per obblighi di disciplinare. L'insieme  $PE$  delle portate prelevate è rappresentato dall'area retinata nella figura 4.

A valle dello scarico della centrale, sempre a favore della sicurezza, si ipotizza che le portate rilasciate corrispondano a quelle relative ad un esercizio ad acqua fluente della centrale stessa, a partire però da un valore di minima portata turbinata dalle macchine (area retinata nella figura 5). Le aree retinate nei due grafici di figura 4 e 5 sono identiche in quanto si è imposto che il volume sottratto all'alveo sia uguale a quello turbinato.

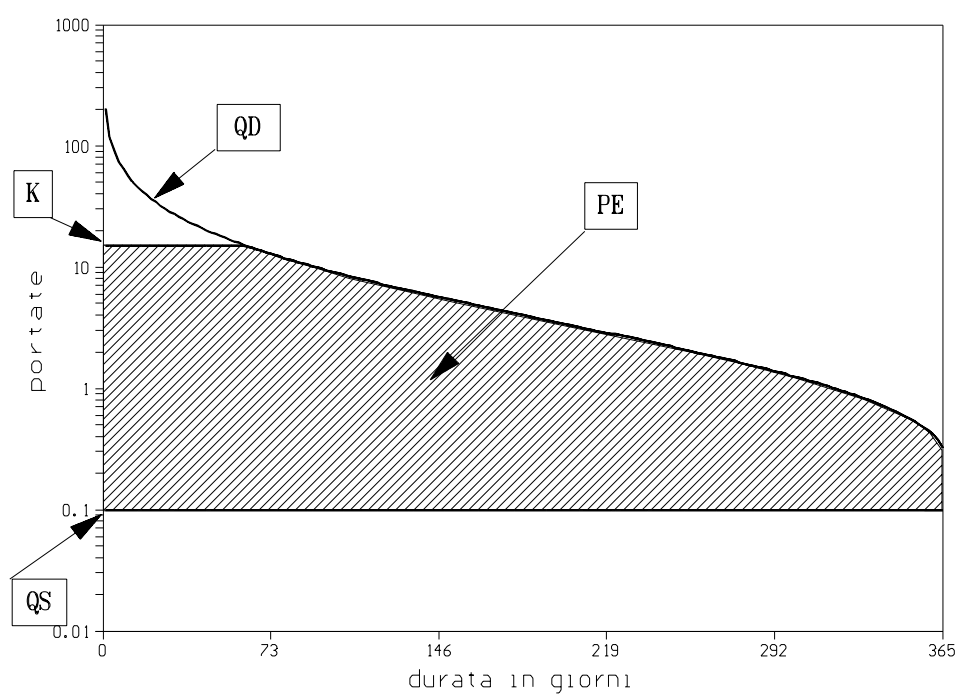


Figura 3: Derivazioni Irrigue con Invaso. Portate prelevabili.

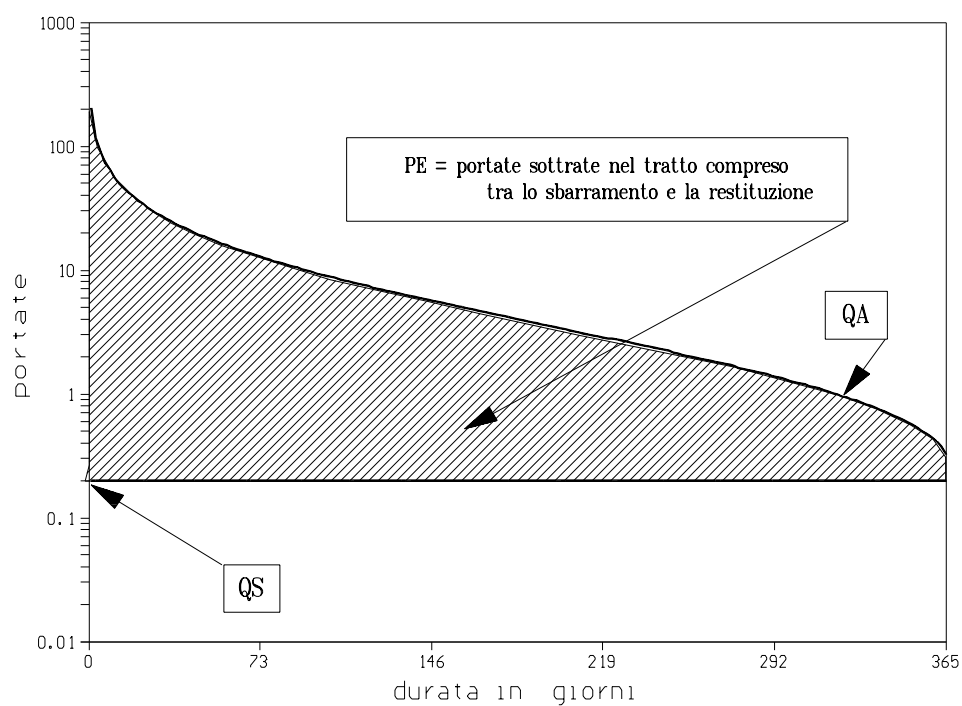


Figura 4: Derivazioni idroelettriche con invaso. Portate prelevabili.

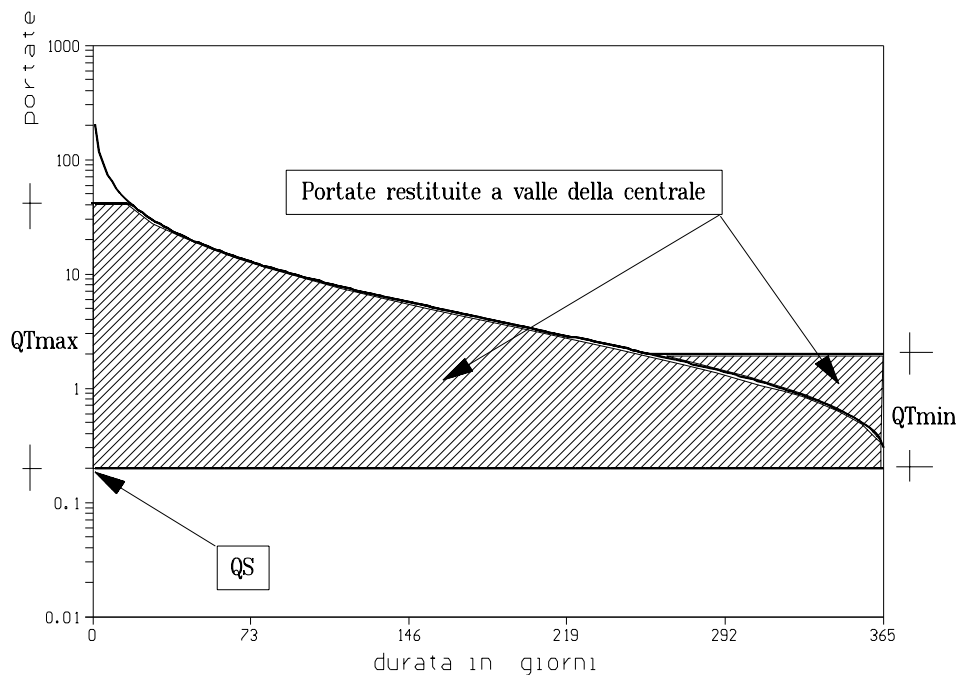


Figura 5: Derivazioni idroelettriche con invaso. Portate restituite a valle della centrale

Indicato quindi con  $QT$  la generica portata turbinata in centrale, le portate sottratte a valle risultano dalle seguenti espressioni:

$$PE = QD - QS \quad \text{per le sezioni comprese tra l'invaso e la restituzione}$$

$$PE = QD - QS - QT \quad \text{per le sezioni a valle della restituzione.}$$

#### 2.5.4. Modalità d'uso 4 (Derivazioni industriali ad acqua fluente senza by-pass)

Tali concessioni rappresentano impianti, prevalentemente idroelettrici o ad uso ittiogenico, realizzati senza by-pass significativi dell'alveo naturale. I prelievi sono esclusivamente non dissipativi, pertanto ciò equivale a porre  $PE = 0$  perché le portate prelevate sono di fatto nulle in ragione della mancanza di ogni capacità di regolazione, di fatto quello che si preleva viene immediatamente restituito in alveo.

#### 2.5.5. Modalità d'uso 5, 50 ÷ 59: (Derivazioni industriali ad acqua fluente con by-pass)

Si pone in questo caso che il coefficiente  $\beta$ , con il quale si descrive l'andamento medio delle portate prelevabili nell'anno medio, sia costante e pari ad uno, in quanto per tale tipo di concessione è ragionevole ipotizzare che si prelevi sempre la massima

portata possibile, compatibilmente con le portate  $QD$  disponibili in alveo e le portate da rilasciare  $QS$ . Sotto tali condizioni, per le aste comprese tra l'opera di presa e l'opera di restituzione si ha:

$$PE = \min (QD - QS, Q_{max})$$

In figura 6 l'area retinata rappresenta l'insieme delle  $PE$  in tale situazione.

Per le aste a valle dell'opera di restituzione, essendo tali concessioni non dissipative e mancando una capacità di laminazione asservita all'impianto, si ha:

$$PE = 0$$

Infatti le portate sottratte al normale deflusso a valle della restituzione sono complessivamente nulle in quanto, a meno di modesti sfasamenti temporali, le portate prelevate a monte sono identiche a quelle restituite a valle.

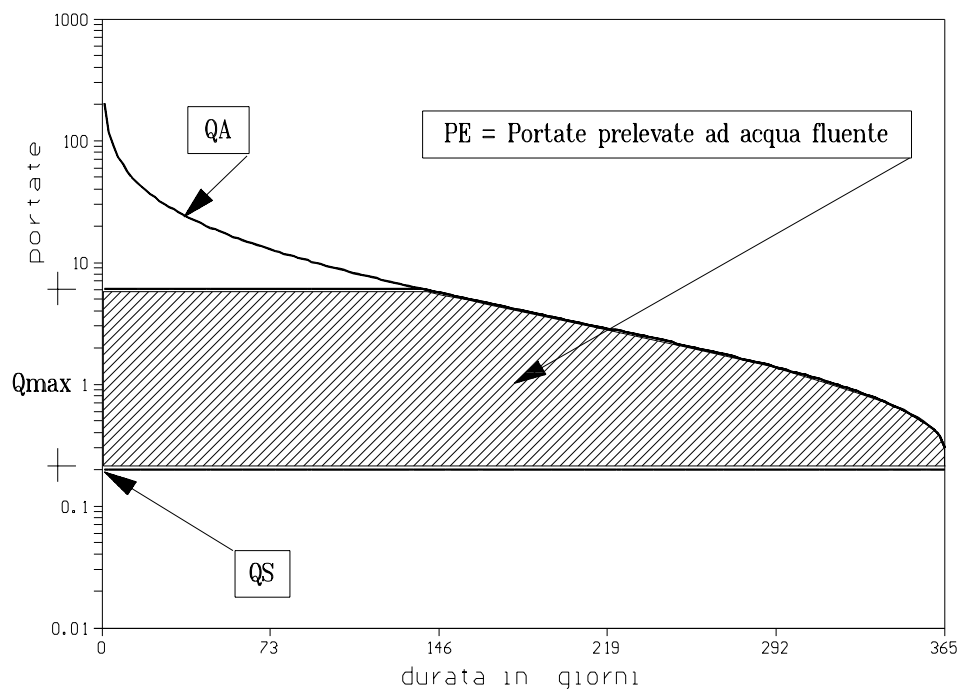


Figura 6: Derivazioni Industriali ad acqua fluente senza by-pass. Portate prelevabili.

#### 2.5.6. Modalità d'uso 6, 60 ÷ 69 (Derivazioni potabili).

Si assume a favore della sicurezza che le portate  $PE$  prelevate per uso potabile siano pari ai massimi valori assentiti dalla concessione ( $Q_{max}$ ) nei limiti, però, delle portate  $QD$  disponibili in alveo e depurate delle portate  $QS$  da rilasciare per obblighi di disciplinare. Ciò posto, ricordando che i prelievi idropotabili sono solo parzialmente

dissipativi (efficienza dissipativa  $E \approx 0.1 \div 0.3$ ) e trascurando i possibili sfasamenti temporali conseguenti ai diversi tempi di percorrenza dell'acqua in alveo e nella rete di adduzione e distribuzione fino alla restituzione, si ha:

- per le aste comprese tra l'opera di presa e la restituzione:

$$PE = \min(QD - QS, Q_{max})$$

- per le aste a valle della restituzione

$$PE = \min(QD - QS, E Q_{max})$$

#### **2.5.7. Modalità d'uso 7, 70 ÷ 79 (Immissioni extra bacino)**

Tale modalità d'uso descrive una concessione fittizia le cui portate prelevate sono negative. Consente di rappresentare eventuali restituzioni fatte nel bacino in esame di portate prelevate da altri bacini. In alcuni casi, tale modalità d'uso può risultare utile anche per descrivere prelievi non dissipativi effettuati nello stesso bacino quando ciò non provoca un'alterazione cronologicamente apprezzabile dei deflussi superficiali, come ad esempio accade per l'emungimento di falde molto profonde, oppure potrebbe comunque essere utilizzata per simulare rilasci mirati da invasi, in condizioni particolarmente critiche.

Supposto di esprimere con il solito coefficiente  $\beta$  il rapporto tra le portate effettivamente immesse nel bacino e la portata massima di concessione, le portate  $PE$  risultano dalla seguente espressione, nella quale  $E$  rappresenta l'efficienza dissipativa.

$$PE = -(1 - E) \beta Q_{max}$$

#### **2.5.8. Modalità d'uso 8, 80 ÷ 89 (Altre derivazioni dissipative ad acqua fluente).**

Ove necessario, consentono di tenere conto di derivazioni dissipative diverse da quelle irrigue. Le portate  $PE$  effettivamente prelevate, definito il coefficiente  $\beta$  che ne descrive, come per le altre modalità d'uso, la distribuzione in funzione della durata, è dato dalla

$$PE = \min(QD - QS, \beta Q_{max})$$

Tale condizione, con le dovute sostituzioni, è rappresentata in figura 2.

### **2.6. STIMA DELLE PORTATE RESIDUE.**

Nel paragrafo 2.5 sono state definite le portate misurabili, ovvero le portate defluenti in alveo a seguito dei prelievi  $PE_j$  effettuati dall'asta  $j$ , con la

$$QMS_i = QD_i - PE_j \quad i = j, \text{ valle}$$

nella quale  $QD_i$  rappresentano le portate disponibili al momento della derivazione nella generica asta  $i$  a valle dell'asta  $j$ .

Le portate residue  $QR_j$ , intese come le portate ancora assegnabili in concessione per usi dissipativi senza ledere i diritti dei preesistenti concessionari sia di monte che di valle e nel rispetto della portata di minimo vitale, risultano allora dalla:

$$QR_j = \min(QMS - QMV)_j, \text{ chiusura bacino}$$

ovvero, per ciascuna durata, la portata residua  $QR$  della generica asta  $j$  coincide con la minima portata misurabile, diminuita della portata di minimo vitale  $QMV$ , calcolata tra l'asta  $j$  e la chiusura del bacino. Infatti il prelievo di quantità superiori dalla sezione considerata, qualora disponibili, sottrarrebbero acqua alle utenze già costituite dando luogo a situazioni di sottenzione o di non rispetto della portata di minimo vitale.

La validità del criterio appena esposto per la stima delle portate residue è basato sulle seguenti DUE ipotesi, entrambe ragionevolmente accettabili:

- le nuove concessioni, per le quali si calcolano le portate residue, si ipotizzano concentrate nel nodo di valle dell'asta considerata, a valle quindi di ogni altra concessione ricadente nella stessa asta. Ciò rende di fatto ininfluenti ai fini del calcolo delle  $QR$  la presenza delle concessioni tipo 4 o delle 5, 50 ÷ 59 in assenza di by-pass;
- si ammette che i regimi idrici di tutti i fiumi ricadenti nel bacino siano in fase, nel senso che le portate massime e le minime si verificano in periodi sensibilmente identici. La validità di tale ipotesi è necessaria, altrimenti non sarebbe lecito confrontare portate che, pur avendo la stessa frequenza (stessa posizione sulla curva di durata) abbiano una collocazione cronologica diversa.

Si sottolinea ancora, come già fatto in precedenza, che le portate residue simulate dal software *Arno\_River* possono essere calcolate con diverse ipotesi di  $QMV$ , tra cui anche quella nulla. Tale calcolo al lordo della portata di minimo vitale, alla quale le concessioni già in atto non sono in genere assoggettate, consentirebbe di simulare uno scenario che non sia discriminatorio tra le vecchie concessioni già in atto e quelle di nuovo rilascio. Pertanto, al fine di rendere omogenea la procedura di calcolo in tutte le sue fasi, si è preferito procedere in questa prima elaborazione rinunciando ad imporre il vincolo della portata di minimo vitale alle portate residue. Si precisa, peraltro, che tale scelta non è assolutamente limitativa della operatività della procedura *Arno\_River*, in quanto, ove si vogliano conoscere le portate residue al netto delle portate di minimo vitale, è possibile imporre tale condizione, omogeneamente su tutti i tronchi, scegliendo tra varie ipotesi che saranno descritte in seguito (cfr. paragrafo 5).

## **2.7. CONCESSIONI DI RIFERIMENTO**

La conoscenza dell'insieme delle concessioni giuridicamente assentite oppure in istruttoria, sanatoria e rinnovo cui sono soggette le acque pubbliche, rappresenta un aspetto fondamentale del presente studio, in quanto strettamente connesso con la possibilità di definire regole di gestione ottimali per il contenimento degli eventi idrologici estremi di magra. Oltre a ciò, i dati relativi alla distribuzione spazio temporale delle concessioni, insieme ai dati di deflusso, costituisce la base conoscitiva indispensabile per lo sviluppo delle procedure del modello idrologico viste in precedenza.

La base dati disponibile in materia è riferita allo studio ultimato dalla Geotecnica nel Dicembre 1995 “Catasto georeferenziato delle piccole e grandi derivazioni” ed aggiornato al Marzo 1997, tuttavia è bene sottolineare che tale tipo di informazione andrebbe costantemente aggiornata soprattutto ai fini delle elaborazioni delle curve di durata misurabile e conseguentemente delle residue, senza ovviamente poter in alcun modo valutare il fenomeno dell’abusivismo, sia parziale (prelievi maggiori del concesso), sia totale (prelievi in assenza di qualunque tipo di richiesta di autorizzazione).

Per quanto concerne l’aggiornamento del database dei prelievi si ritiene che un notevole aiuto, ed anche una certa forma di incentivazione ad operare in tal senso, possa derivare dal sistema costituito dalla pagina WEB. Infatti in virtù delle varie competenze assunte in proposito a livello provinciale, lo strumento “internet”, opportunamente controllato dalla figura “administrator”, è il modo più semplice e rapido per unificare un’informazione che invece tenderebbe alla frammentazione, perlomeno in termini temporali.

Da un punto di vista operativo l’archivio utilizzato contiene dati sia sulle concessioni pluriennali, sia sulle licenze annuali, queste ultime riferite all’anno 1995 e con una notazione in cui si dice che un confronto con i dati del 1994, per le province di Siena, Pisa ed Arezzo, mostra una conferma dei dati intorno al 90%. Tuttavia, poiché l’aspetto temporale assume una sua importanza sia nella ricostruzione della serie storica delle portate naturali nelle sezioni strumentate, sia nella stima delle curve di durata delle portate misurabili e residue è stato necessario formulare delle ipotesi dalla data dell’ultimo aggiornamento di Marzo 1997. In particolare, poiché il numero di concessioni nel frattempo scadute risulta veramente esiguo non si è ritenuto opportuno fare ipotesi sul loro eventuale stato di rinnovo, mentre la parte cospicua di concessioni prive di data di scadenza sono state considerate in istruttoria o in sanatoria e pertanto in prevalenza attive.

Per quanto riguarda invece le licenze annuali il dato del 1995 è stato estrapolato a tutto il periodo a partire dal 1957 fino ad oggi, considerando in rinnovo quelle con data di scadenza ed in sanatoria quelle senza data di scadenza. Tale ipotesi è stata formulata in funzione di un andamento storico del numero di licenze nella provincia di Arezzo, fornito dall’Autorità di Bacino del Tevere e riportato in figura 7, nonché dalla considerazione che una eventuale variazione in meno dei volumi prelevati con licenze, rispetto all’anno 1995, compenserebbe in parte il fenomeno diffuso dall’abusivismo,

originato spesso proprio da questo tipo di prelievo. A parziale compensazione, per le licenze ad uso irriguo si è ridotto il valore di efficienza da 1 a 0.7, considerando che la provvisorietà delle strutture di prelievo potrebbe incidere sulle perdite di acqua e quindi sul recupero di acqua nel reticolo idrografico.

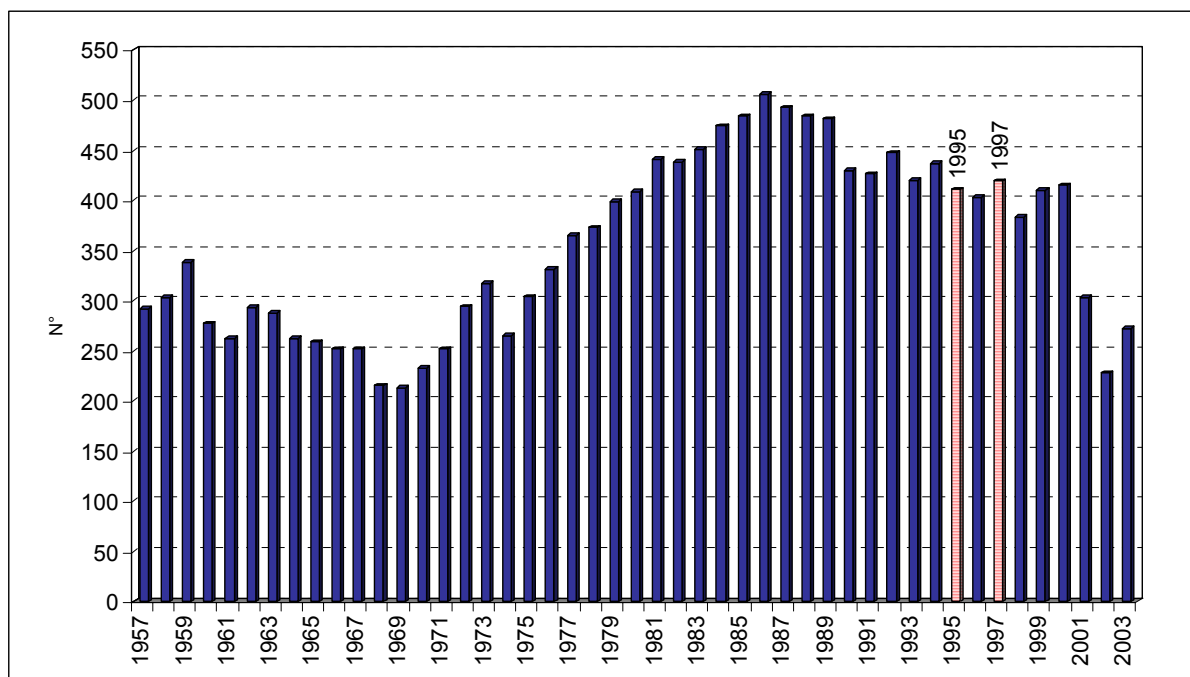


Figura 7: Variazione annuale del numero di licenze nella provincia di Arezzo.

Il dato sintetico globale sullo stato dei prelievi contenuti nell'archivio è riportato nella tabella 2 , dove è messo anche a confronto con la tabella C del rapporto Geotecno.

Tabella 2: Confronto tra il numero complessivo di dati dell'archivio prelievi.

	Attingimenti 1995	Derivazioni in atto	Derivazioni in istruttoria con prelievo	Derivazioni in istruttoria senza prelievo	Totale
Tabella C	992	546	502	121	<b>2161</b>
Database <b><i>Arno River</i></b>	987	380	659	135	<b>2161</b>

Si osserva che le derivazioni in atto nel database ***Arno River*** sono considerate le concessioni pluriennali con data 01/06/2003 compresa tra la data di attivazione e la data di scadenza, le derivazioni in istruttoria con prelievo sono le concessioni pluriennali senza data di scadenza, le derivazioni in istruttoria senza prelievo sono le concessioni pluriennali con data di scadenza anteriore al 01/06/2003, incluse 6 concessioni per cui

non è disponibile alcuna data, per cui non è possibile collocarle in nessuna delle categorie precedentemente descritte.

Considerando invece l'architettura complessiva dell'archivio delle concessioni disponibile è stato necessario eseguire alcune integrazioni, integrazioni che rappresentano delle aggiunte di informazioni, oltre quelle già contenute nell'archivio, finalizzate alla modellistica idrologica.

In particolare i campi più significativi aggiunti a ciascun record, rappresentante un prelievo, sono i seguenti:

- *hjunct\_id*, codice identificativo dell'asta del reticolo fluviale su cui la concessione viene collocata in funzione delle coordinate note del punto di presa;
- *tipo\_conc*, tipo concessione, che distingue le piccole concessioni pluriennali (P), le grandi derivazioni (G) e le licenze annuali (L);
- *efficienza*, efficienza dissipativa così come descritto nel paragrafo 2, che valuta la frazione delle portate prelevate effettivamente dissipate dalla concessione;
- *q\_max\_prel*, portata massima prelevata, che in genere è assunta uguale al valore di quantità prelevata indicata nell'archivio originario, sebbene quest'ultimo valore potrebbe rappresentare forse più un valore medio e non massimo;
- *anno\_attiv*, anno di attivazione del prelievo, in genere viene assunto uguale alla prima data cronologicamente disponibile tra tutte quelle riportate nell'archivio;
- *situaz\_uso*, situazione d'uso, intesa come stato del prelievo, in particolare possono essere previste 7 situazioni, in corso (C ), scaduta (D), in istruttoria (I), in sanatoria (S), in rinnovo (R ), rinunciata (A) e assentita (AS), ossia autorizzata ma ancora senza effettivo prelievo;
- *leggi\_uso*, legata al tipo di utilizzo dell'acqua, il cui significato è già stato descritto nei precedenti paragrafi 2.1 e 2.2;
- *priorita*, con al quale si potrebbe stabilire la priorità con cui devono essere elaborate le concessioni attribuite ad una stessa asta.

Infine l'aggiornamento è stato completato con l'inserimento di un semplice campo note, che può essere molto utile per annotare delle osservazioni sul dato archiviato. Tale aggiunta, pur non essendo significativa dal punto di vista dell'elaborazione, ha una sua importanza da un punto di vista indiretto, in quanto può consentire di commentare il contenuto di altri campi in cui il dato non è strettamente univoco, ma bensì di tipo interpretativo (ad esempio la situazione d'uso, la legge d'uso, l'efficienza, etc.) e soprattutto soggetto anche a possibili variazioni nel tempo.

Con riferimento alle nuove informazioni inserite, quelle più significative possono essere considerate le leggi d'uso e l'efficienza dissipativa.

Allo stato attuale dell'archivio delle concessioni le leggi d'uso utilizzate sono la legge 10 (attribuita a 1703 prelievi irrigui), la legge 60 (attribuita a 141 prelievi di tipo

idropotabile) e la legge 50 (utilizzata per 317 prelievi di tipo industriale, idroelettrico o comunque relativo ad utilizzi non dissipativi).

Per quanto riguarda invece l'efficienza dissipativa si è attribuito il valore  $E=0$  a tutte le leggi d'uso 50,  $E=0.1$  a tutte le leggi d'uso 60,  $E=1$  alle leggi d'uso 10 relative a concessioni pluriennali ed infine  $E=0.7$  alle rimanenti leggi d'uso 10 relative alle licenze annuali, quest'ultimo valore per le motivazioni descritte in precedenza.

Dal quadro finale del database delle concessioni che si ottiene tuttavia non emergono alcune singolarità che invece risultano essere presenti, in particolare i rilasci mirati dal sistema di invasi di Levane e La Penna, sul Fiume Arno, ugualmente i rilasci mirati dall'invaso di Bilancino, sul Fiume Sieve, le immissioni da fuori bacino derivanti dall'utilizzo idropotabile delle acque dell'invaso di Montedoglio, sul Fiume Tevere, da parte dell'ATO4 di Arezzo, i prelievi ad uso idropotabile, per la città di Firenze, dal Fiume Arno in località Anconella e Mantignano.

Tali situazioni, che non risultano parzialmente o totalmente dal database delle concessioni, meritano alcune considerazioni di approfondimento, al fine di valutarne l'influenza sui deflussi in condizioni di magra ed eventualmente schematizzarne la gestione ed il funzionamento.

### **2.7.1. Gli invasi di Levane e La Penna**

Gli invasi ad uso idroelettrico di Levane e La Penna, in funzione da poco meno di 50 anni, risultano presenti nel database delle concessioni, rispettivamente con il codice identificativo di concessione 2050 e 1815, tuttavia per il primo viene riportata una  $Q_{max}=100$  l/s, a fronte di un dato relativo alla grande derivazione di  $Q_{max}=100$  moduli, ossia  $10$  m<sup>3</sup>/s, per il secondo invece si parla di una  $Q_{max}=28.5$  m<sup>3</sup>/s, pari a 285 moduli, pari alla portata di prelievo media della grande derivazione, a fronte di una  $Q_{max}=1000$  moduli, ossia  $100$  m<sup>3</sup>/s. Tali differenze tuttavia non determinano sostanziali variazioni, perlomeno nelle aste di valle, in quanto la legge d'uso 50, applicata alle due concessioni, non influenza i deflussi in assenza di by-pass significativi.

Il problema si pone in conseguenza di un accordo (citato a pag. 76 della relazione del Prof. Pranzini) tra il comune di Firenze e l'Enel per rilasciare nel periodo estivo  $1.67$  m<sup>3</sup>/s dalla diga di Levane e  $0.5-0.8$  m<sup>3</sup>/s dal Canale Battagli. Tali tipo di gestione non viene simulata dalle legge d'uso 50 applicata alle due concessioni, pertanto si potrebbe aggiungere una concessione fittizia (legge d'uso 70÷79) che integri nei periodi estivi le modalità di funzionamento degli invasi in esame. Tuttavia i dati disponibili per quantificare questo funzionamento sono alquanto difficili da interpretare, infatti per entrambi gli invasi sono noti i livelli giornalieri dal 01/01/1997 al 07/04/2002, mentre per il solo periodo dal 01/01/2003 al 27/07/2003 sono noti i livelli giornalieri ed i corrispondenti volumi. Pertanto da questi ultimi dati si è ricostruita un'ipotesi di curva caratteristica di invaso, che applicata alla serie storica precedente ha consentito di calcolare i volumi di invaso giornalieri e quindi di evidenziare i possibili rilasci di portata giornaliera complessiva, che durante il periodo estivo, in assenza di piogge

significative, potrebbero essere più vicini agli effettivi rilasci e quindi risentirebbero anche dell'incremento previsto dall'accordo con il Comune di Firenze.

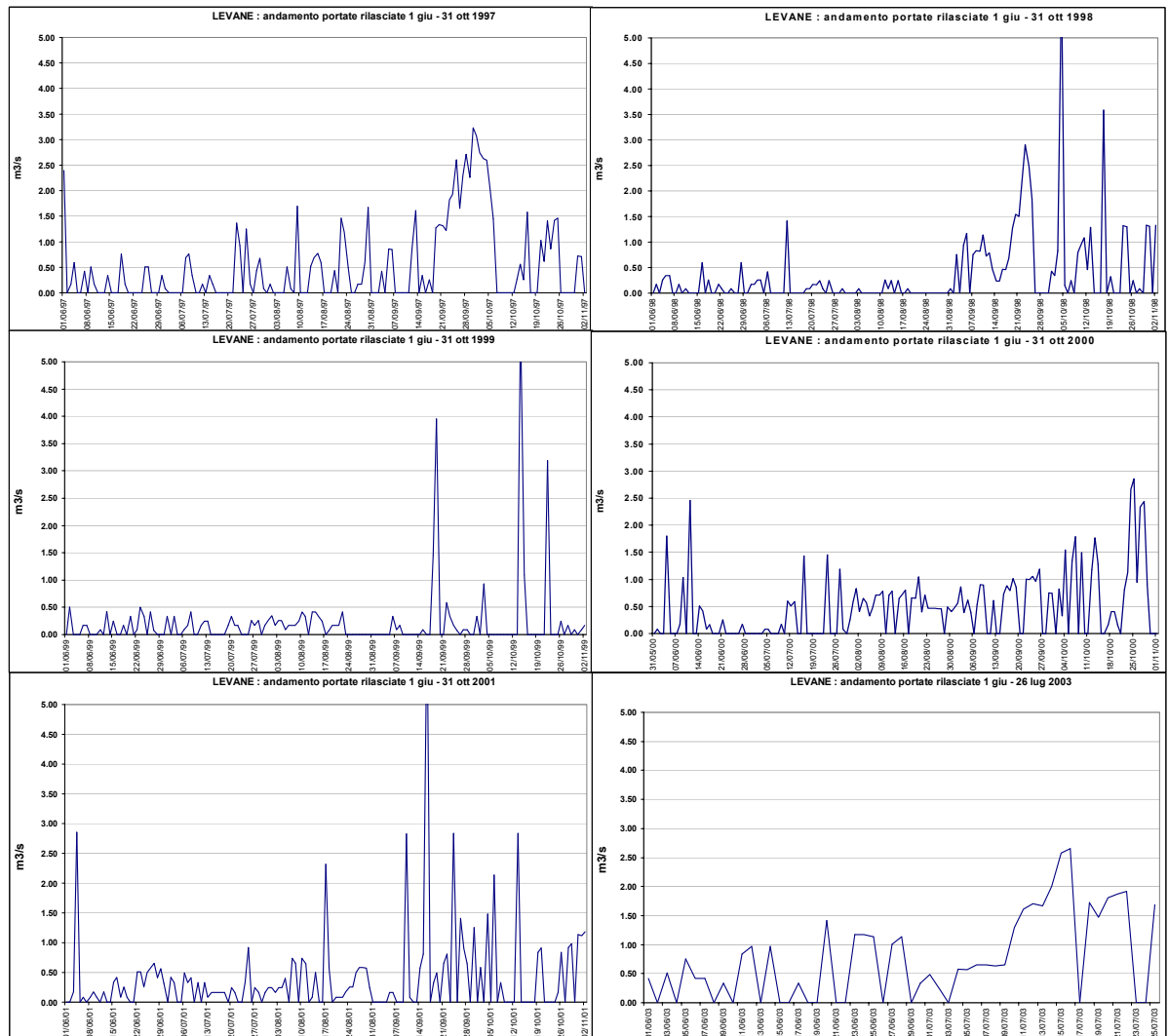


Figura 8: Andamenti dei rilasci nel periodo estivo dall'invaso di Levane (1997-2001 e 2003).

Tuttavia i risultati ottenuti, evidenziati in figura 8, non consentono di formulare alcuna ipotesi rispetto al possibile valore del coefficiente  $\beta$  presente nelle leggi d'uso 70÷79. Pertanto, con l'attuale disponibilità di dati, si possono ipotizzare due possibili approcci al problema. Il primo tiene conto del lungo periodo di attività delle dighe, del loro stato di graduale interrimento e del ruolo di questi invasi nel complesso modesti, tutto ciò potrebbe portare a considerare la gestione di questi due invasi come un elemento nel complesso naturale del sistema, la cui presenza può essere considerata poco influente a livello di ricostruzione delle curve di durata naturali nelle sezioni strumentate di valle (S. Giovanni alla Vena e Nave di Rosano).

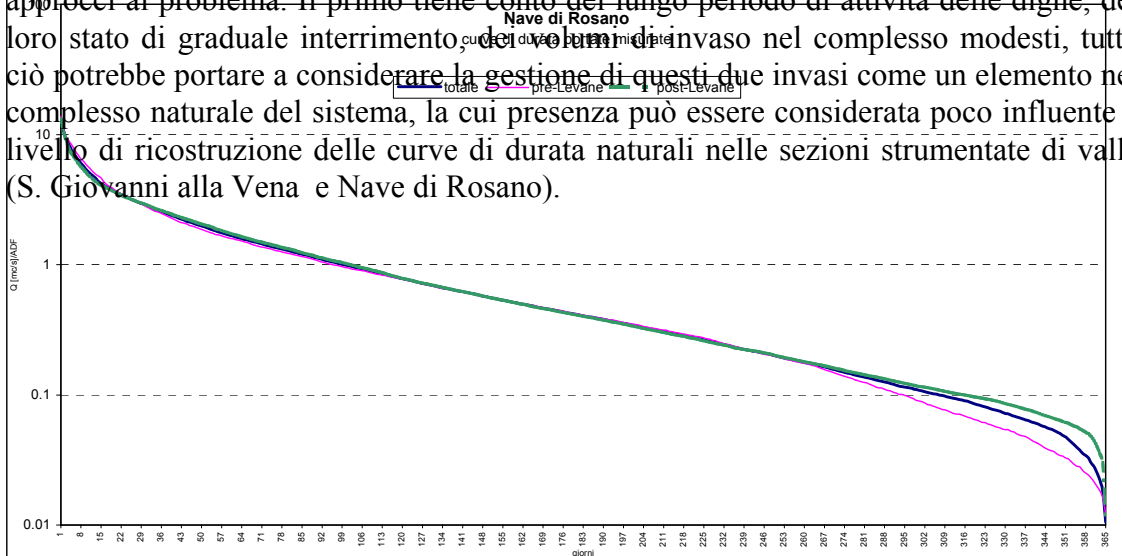


Figura 9: Curve di durata delle portate misurate a Nave di Rosano.

Nella figura 9 sono messe a confronto tre andamenti della curva di durata delle portate misurate alla stazione di Nave di Rosano, in cui è possibile individuare un periodo significativo di dati (23 annate comprese tra il 1931 ed il 1957) antecedenti la costruzione delle dighe in esame. Si può osservare come in condizioni di magra la curva di durata totale, ossia costruita sull'intera serie storica, media i valori della situazione pre-invasi (curva sottostante) con quella post-invasi (curva superiore). Nel complesso le differenze tra la curva totale e quella pre-invasi non incidono sull'andamento complessivo della curva e sulle conseguenti caratteristiche dei parametri di regolarizzazione e regionalizzazione, maggiori differenze si potrebbero evidenziare su valori di portata puntuali calcolati sull'intera serie storica (sovrastima  $Q_{7,10}$ ) ed ugualmente sulla stima di valori di portata per il range di durate caratterizzante i fenomeni di magra (270÷365 giorni). Per quest'ultimo motivo nel database delle portate la stazione di Nave di Rosano automatica è stata introdotta con l'intera serie storica, mentre la stazione di Nave di Rosano contiene solo la serie storica pre-invasi (fino al 1957).

Per quanto riguarda invece la procedura di stima delle portate misurabili sul totale dei tronchi a valle degli invasi si potrebbe introdurre una legge d'uso 70, con efficienza dissipativa  $E=0$ ,  $Q_{max}= 1.67 \text{ m}^3/\text{s}$  ed il corrispondente coefficiente uguale a quello della legge d'uso 10 dei prelievi irrigui, ipotizzando quindi che il rilascio finalizzato a mitigare le situazioni di magra vada a compensare in prevalenza l'effetto di questo tipo di prelievi, che notoriamente risultano essere quelli con i maggiore volumi prelevati e consumati, con una coincidenza di periodo tra stagione irrigua e stagione secca da un punto di vista del clima. In alternativa, nel rapporto della Physis – Ingegneria per l'Ambiente s.r.l., relativo alla simulazione idrologica dell'invaso di Bilancino e del suo effetto sulle portate dell'Arno (pag. 11), viene citato il disciplinare di concessione che avrebbe imposto all'Enel un rilascio estivo di  $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , valore che potrebbe essere mantenuto costante per tutto il periodo Giugno-Settembre.

### **2.7.2. L'invaso di Bilancino**

L'invaso di Bilancino sul Fiume Sieve può essere considerato attivo dall'anno 2000, con la funzione di integrare le portate di magra dell'Arno e del tratto a valle dello sbarramento dello stesso Fiume Sieve, con una portata rilasciata minima di  $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ , considerata come deflusso minimo vitale per la Sieve, ed una portata maggiore regolata in funzione di un obiettivo rappresentato dai  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  di portata dell'Arno alla stazione idrometrica di Nave di Rosano. Inoltre l'invaso ha anche il compito di laminare le piene dell'Arno, tale aspetto gestionale tuttavia non assume particolare interesse ai fini del presente studio.

Le regole di gestione contenute nel rapporto della Physis – Ingegneria per l'Ambiente s.r.l., relativo alla simulazione idrologica dell'invaso di Bilancino e del suo effetto sulle portate dell'Arno, hanno condotto ad un andamento dei rilasci che sono

disponibili numericamente per i periodi estivi degli anni 2002 e 2003, come rappresentato nella figura 10.

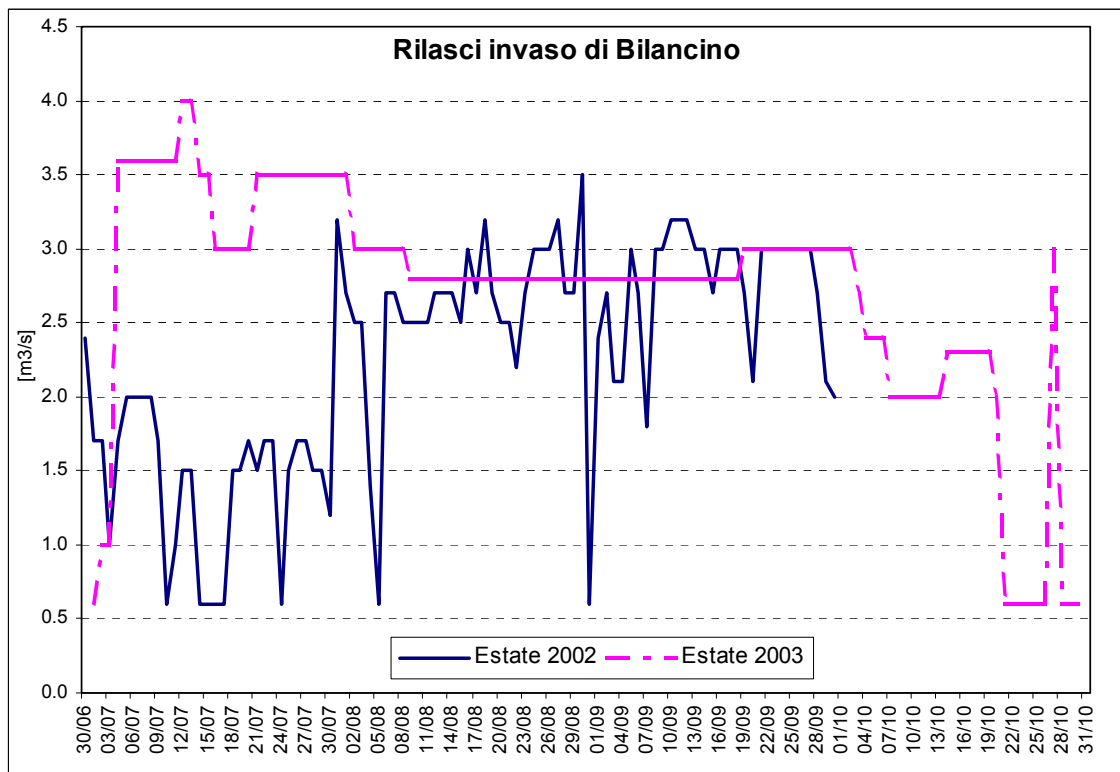


Figura 10: Andamento dei rilasci dalla diga di Bilancino, sul Fiume Sieve.

La presenza dell'invaso influenza, per il momento, in maniera molto limitata le procedure di calcolo delle serie storiche delle portate naturali e le conseguenti metodologie di regionalizzazione, infatti gli effetti degli eventuali rilasci interessano solo alcune annate finali della serie storica delle stazioni di Fornacina automatica sul Fiume Sieve (dati disponibili fino al 2000), Nave di Rosano automatica sul Fiume Arno (dati disponibili fino al 2001) e San Giovanni alla Vena sul Fiume Arno (dati disponibili fino al 2001). Al contrario, assume maggiore importanza nella stima della curva di durata delle portate misurabili e conseguentemente delle residue.

Il database delle concessioni attualmente disponibile non sembra contenere i dati relativi all'invaso di Bilancino (portata concessa 16.5 moduli,  $1.65 \text{ m}^3/\text{s}$ ), infatti le uniche due concessioni ricadenti in quel tratto fluviale (identificativo delle concessioni idconcessioni=925 e 952) sono rispettivamente una licenza annuale ed una concessione pluriennale in istruttoria con  $Q_{\text{max}}=10 \text{ l/s}$ .

Pertanto può essere introdotta una legge d'uso 71 che simula i rilasci dall'invaso ai fini della stima delle curve di durata misurabili e residue, assumendo, sulla base dei dati disponibili per i periodi estivi degli anni 2002 e 2003, efficienza dissipativa  $E=0$ ,  $Q_{\text{max}}= 6 \text{ m}^3/\text{s}$  ed il corrispondente coefficiente moltiplicativo modulato sui suddetti dati (figura 11) e comunque da aggiornare anche di anno in anno.

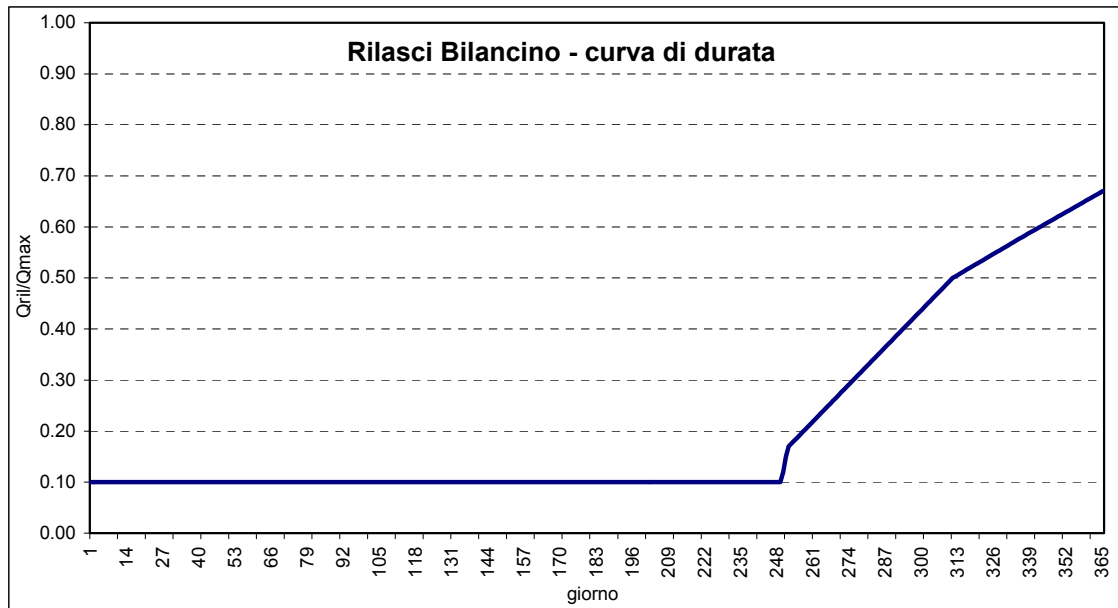


Figura 11: Andamento del coefficiente moltiplicativo della Qmax .

### 2.7.3. Le immissioni dall'invaso di Montedoglio

L'invaso di Montedoglio sul fiume Tevere, fisicamente situato fuori bacino, interagisce con il bacino dell'Arno sia attraverso il sistema di adduzione irrigua occidentale, che interesserà la Valdichiana ed in particolare il Canale Maestro, sia attraverso l'approvvigionamento idropotabile della città di Arezzo. Al momento solo questa seconda evenienza è verificata, mentre per l'utilizzo irriguo delle acque di Montedoglio nella Valdichiana non è possibile formulare ipotesi, né in termini di volumi interessati, né in termini di tempi affinché ciò abbia luogo.

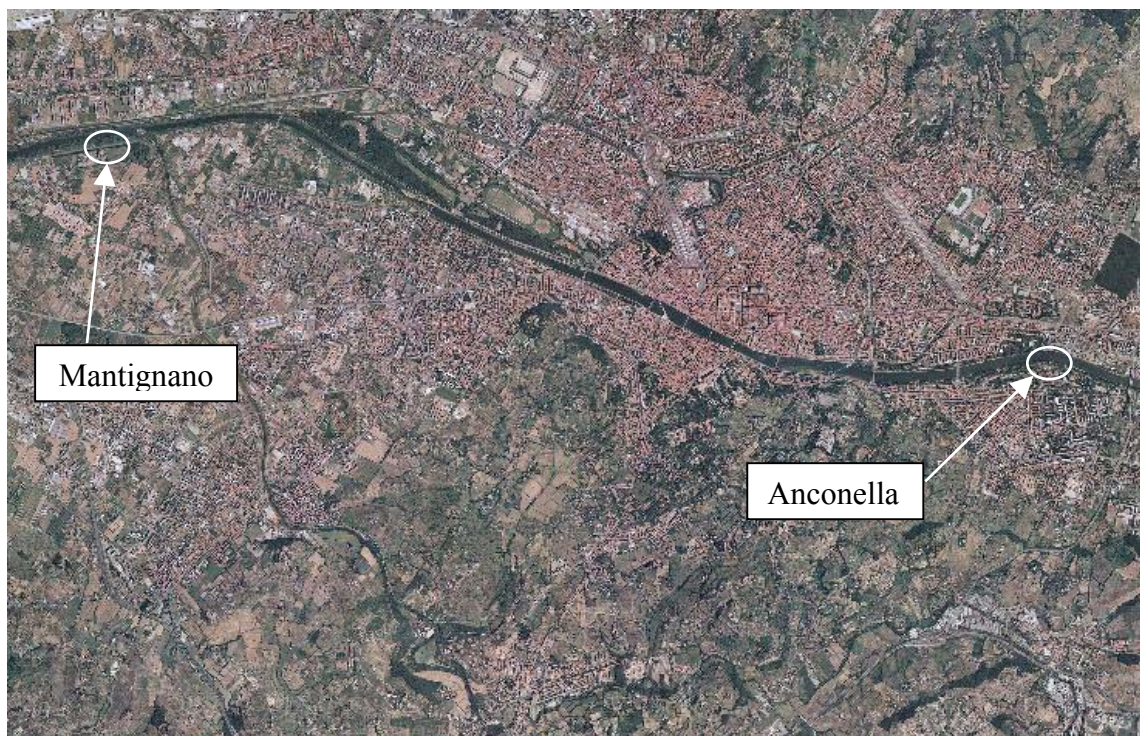
Le esigenze idropotabili di Arezzo sono di fatto integrate con circa 300÷400 l/s provenienti da Montedoglio, a partire dall'anno 2000, portata che poi in parte si riversa nel reticolo idrografico del bacino dell'Arno in corrispondenza della confluenza del Torrente Castro con il Canale Maestro della Chiana, ove è ubicato il depuratore della città (figura 12).



Tale sistema può essere simulato, ai fini della stima delle curve di durata misurabili e residue, in maniera del tutto analoga ai casi precedenti. Pertanto può essere introdotta nel database delle concessioni una immissione con legge d'uso 72, in cui l'efficienza dissipativa  $E=0.1$ , in ragione dell'uso potabile,  $Q_{max}= 400 \text{ l/s}$  ed il corrispondente coefficiente moltiplicativo costante pari ad 1.

#### 2.7.4. I prelievi ad uso idropotabile per la città di Firenze

L'approvvigionamento idropotabile della città di Firenze viene alimentato da prelievi diretti dal Fiume Arno, tramite due impianti di sollevamento, potabilizzazione e spinta. Il più consistente (circa  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ ) è situato a monte della città, in località



Anconella, a cui se ne aggiunge un secondo più a valle ( $0.75 \text{ m}^3/\text{s}$ ) in località Mantignano (figura 13). I prelievi da acquiferi nel complesso si possono considerare trascurabili, in virtù di un progressivo impoverimento qualitativo e quantitativo della falda fiorentina e di Mantignano.

Figura 13: Ubicazione degli impianti di Anconella e Mantignano rispetto alla città di Firenze.

Di fatto tali prelievi non risultano formalizzati, pertanto nel database delle concessioni non sono riportati. Valutando che il maggior prelievo avviene a monte della città di Firenze, che per l'uso idropotabile si può ipotizzare un valore dell'efficienza dissipativa  $E=0.1$ , che la restituzione avviene in prevalenza a valle della città, all'impianto di depurazione di S. Colombano, complessivamente il sistema di prelievi

ad uso idropotabile per la città di Firenze influenza soprattutto il tratto urbano del Fiume Arno, con una riduzione dei deflussi in alveo anche del 50-60 %, mentre a valle della restituzione gli effetti sono decisamente minori. Da un punto di vista della modellazione idrologica, in termini di curve di durata delle portate misurabili e residue, la presenza di un prelievo così consistente può apportare significativi vincoli alle portate ancora utilizzabili per usi dissipativi a monte.

Per tali motivi è stato introdotto nel database delle concessioni un prelievo con le seguenti caratteristiche fondamentali: legge d'uso 61, efficienza dissipativa  $E=0.1$ ,  $Q_{max}= 4 \text{ m}^3/\text{s}$  ed il corrispondente coefficiente moltiplicativo costante pari ad 1, identificativo del tratto di prelievo IDTRATTO=22107 (Anconella), identificativo del tratto di restituzione IDTRATTO=20951 (S. Colombano).

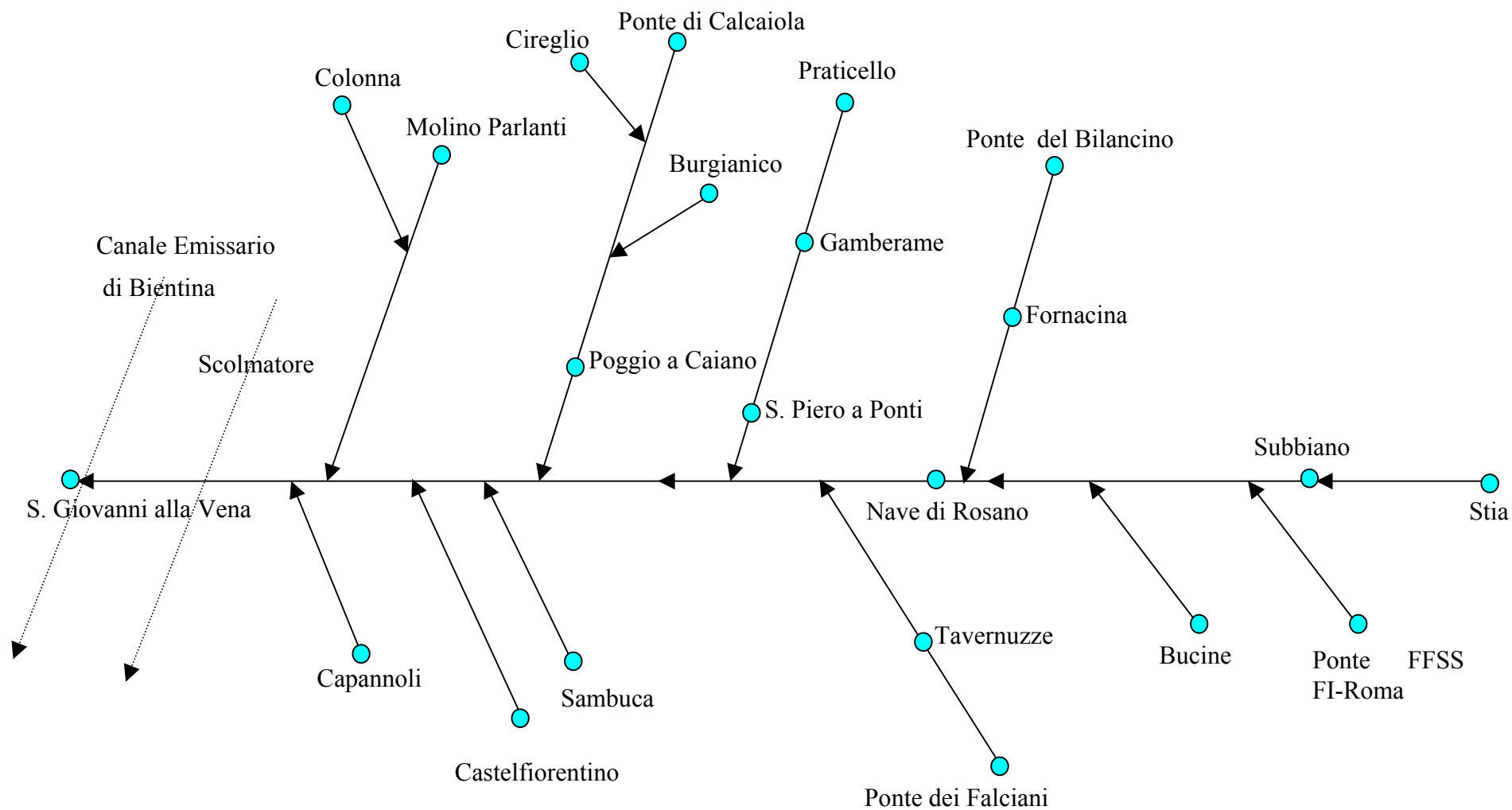


Figura 14: Schema sequenziale delle stazioni del Servizio Idrografico Italiano nel Bacino del Fiume Arno.

## **2.8. PORTATE DI RIFERIMENTO.**

I dati di portata potenzialmente disponibile per le utilità del modello sono essenzialmente quelli registrati dall'Ufficio di Pisa del Servizio Idrografico Italiano; tali dati in genere presentano buone caratteristiche di omogeneità delle serie storiche, unitamente ad elevate garanzie di validazione.

Nel complesso sono disponibili i dati di 30 stazioni di misura idrometrica, di cui 8 coincidenti tra funzionamento in automatico e normale, disposte sul reticolo idrografico secondo lo schema sequenziale riportato in figura 14.

Le annate di dati risultano essere 543, tuttavia nell'archivio delle portate sono state inserite 512 annate, scegliendo di non introdurre quelle incomplete. Nell'allegato 1 alla relazione sono riportate la tabella 1.1, con il dettaglio delle informazioni sullo sviluppo delle serie storiche, mentre nella tabella 1.2 viene messa in evidenza la presenza di annate con dati mancanti e dubbi, ove quest'ultimo termine è riferito alla presenza di dati ricostruiti. Si osserva inoltre che per la stazione di Nave di Rosano, sul Fiume Arno, nella stazione in automatico (codice stazione 4659) è stata archiviata l'intera serie storica disponibile, mentre nell'altra stazione (codice 4660) è archiviata la serie storica fino all'anno 1957, ossia l'ultimo anno prima dell'entrata in funzione definitiva degli invasi di Levane e La Penna.

In particolare dalla figura 15 si può osservare la presenza di 11 stazioni con numero di annate uguale od inferiore a 10, soglia al di sotto della quale è opportuno, in genere, evidenziare la brevità della serie storica, pur procedendo ugualmente nell'elaborazione dei dati disponibili purché privi di dati mancanti. A tale proposito nella figura 16 viene messa in evidenza la presenza di annate incomplete o dubbie nelle varie serie storiche. Nel complesso tale incidenza non appare particolarmente rilevante, tuttavia per queste stazioni sarà necessario un approfondimento (da condurre direttamente con i tecnici del Servizio Idrografico di Pisa) per valutare l'opportunità di mantenere tali informazioni, al momento sono state eliminate le annate con dati mancanti mentre sono state mantenute quelle con dati ricostruiti.

Le stazioni strumentate disponibili sono state anche ordinate per area del bacino idrografico sotteso, precisando che per le stazioni automatiche di Bucine sull'Ambra, Tavernuzze sulla Greve, San Piero a Ponti sul Bisenzio e Poggio a Caiano sull'Ombrone non essendo note le corrispondenti superfici dei bacini idrografici i valori sono stati stimati su base cartografica. La distribuzione delle superfici sottese dalle stazioni risulta interessante soprattutto per la successiva caratterizzazione idrogeologica dei bacini, si può osservare comunque dalla figura 17 che vi è una prevalenza di bacini medio piccoli, con superficie inferiore a 1000 Km<sup>2</sup>.

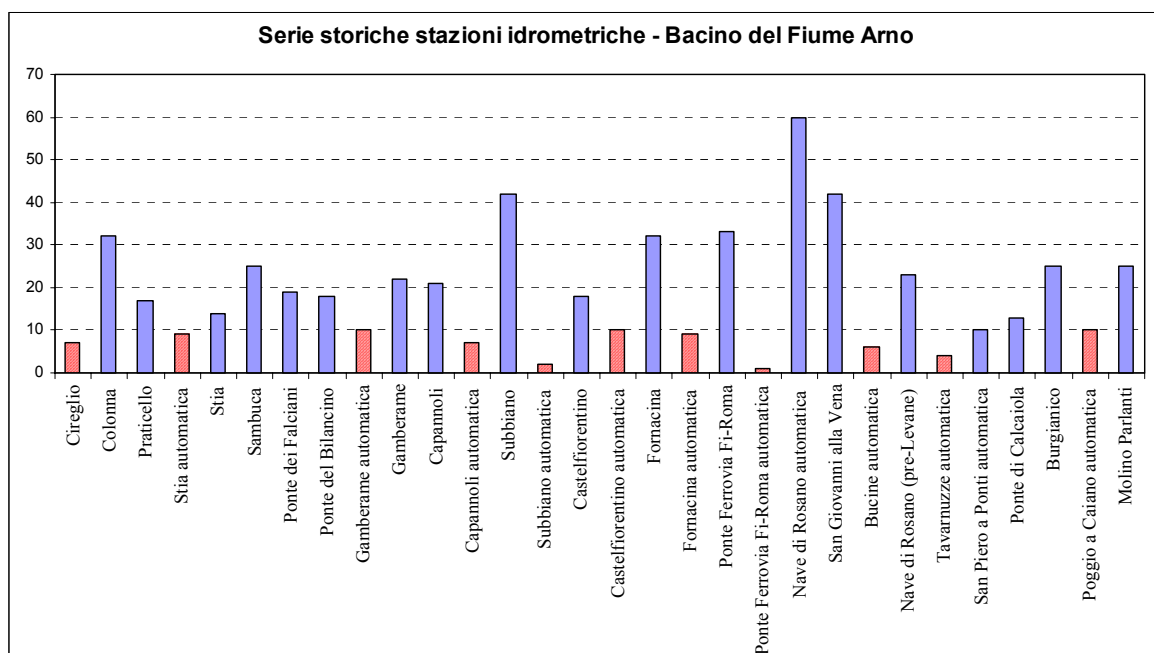


Figura 15: Ampiezza delle serie storiche. Con il tratteggio sono indicate quelle con numero di annate  $\leq 10$ .

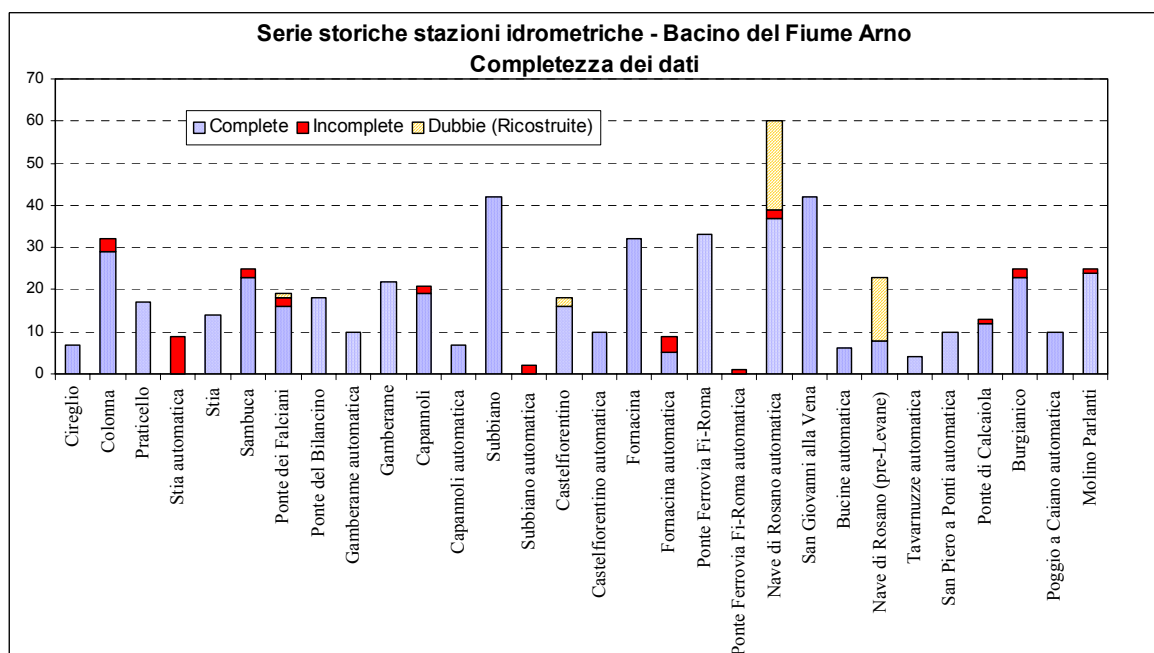


Figura 16: Ampiezza delle serie storiche. E' evidenziata la presenza di anni incompleti o con dati ricostruiti.

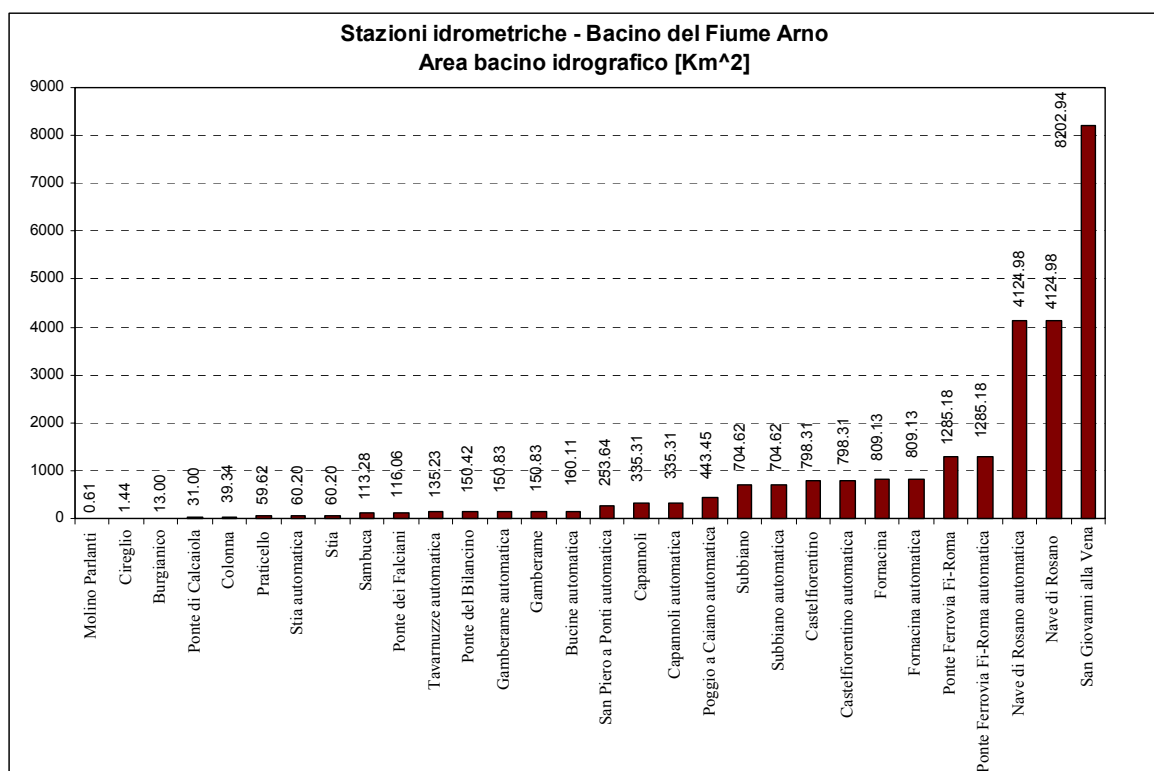


Figura 17: Andamento delle aree dei bacini idrografici strumentati.

Infine alcune considerazioni possono essere fatte sul tipo di strumento (inteso come tipo o modello di idrometro), infatti si osserva talvolta una variazione del tipo di strumento nella stessa serie storica con intervalli anche annuali. Tale aspetto non sembra tuttavia evidenziare condizionamenti sistematici sui dati registrati, mentre maggiore attenzione deve essere fatta sui dati delle stazioni automatiche. Infatti, in alcuni anni di sovrapposizione con i dati registrati con modalità tradizionali, si sono osservati andamenti non troppo concordi, soprattutto per i valori di magra o di morbida che spesso presentano andamenti troppo regolari o pressoché costanti, a cui si aggiunge la frequente mancanza di dati.

Nelle figure 18-19 sono riportati i grafici di confronto per due annate delle stazioni di Subbiano e Canale della Chiana. Nel primo caso si nota una evidente costanza dei dati in automatico per ampi periodi, nel secondo caso è più accentuata la differenza nei valori di portata di magra e di morbida. Ciò richiede un approfondimento sulle cause di queste discordanze e sull'opportunità di utilizzare tali dati, sia per le nuove stazioni di misura, sia per l'ampliamento delle serie storiche già disponibili.

Come si vedrà meglio nel seguito, nella parte riguardante le elaborazioni delle curve di durata, tali eventuali anomalie si evidenziano anche nell'andamento delle curve di durata, sia per effetto di serie storiche troppo brevi, sia per la presenza di periodi prolungati di portata costante o per entrambi gli aspetti in contemporanea.

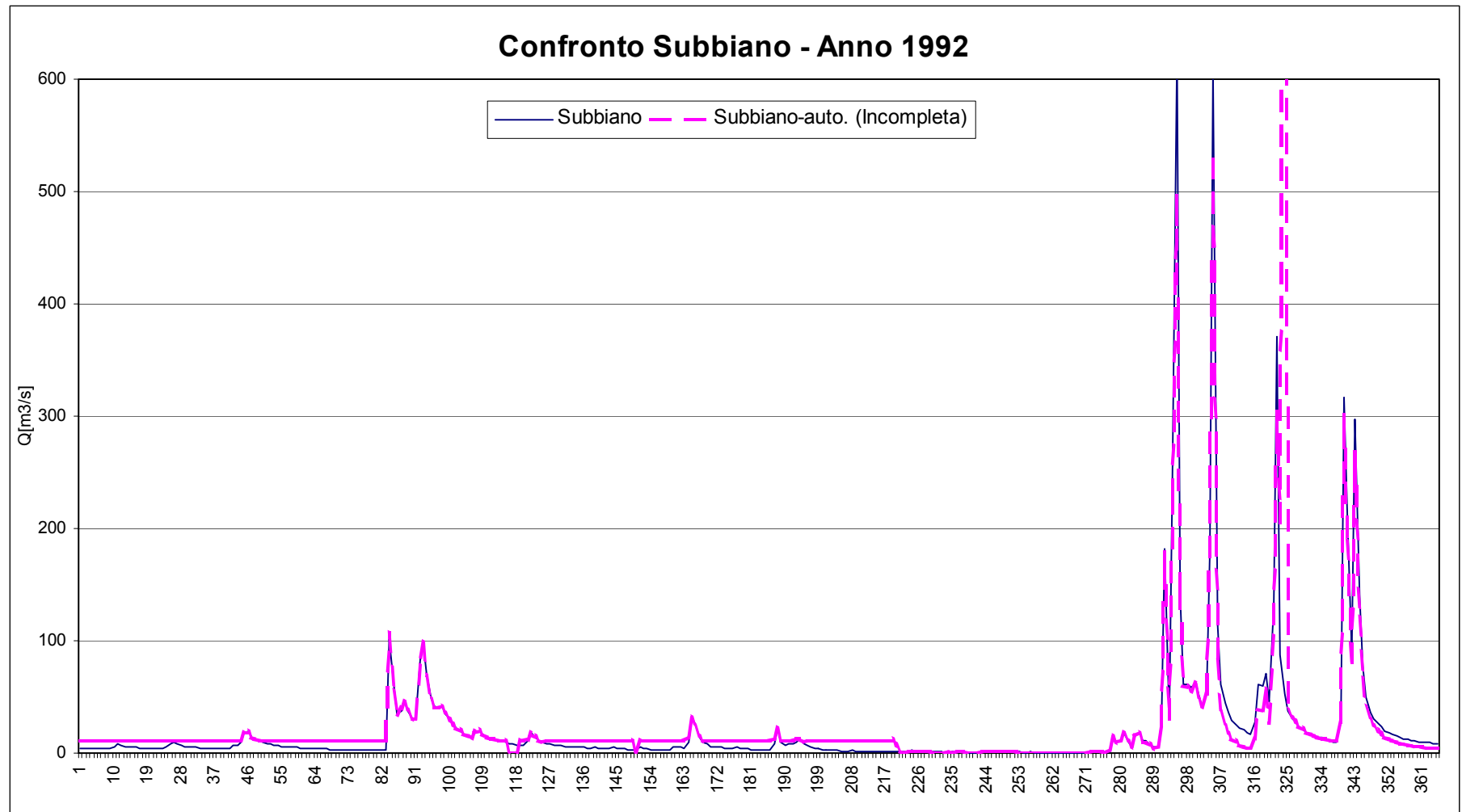


Figura 18: Stazioni Arno a Subbiano e Arno a Subbiano Automatica, confronto dati anno 1992.

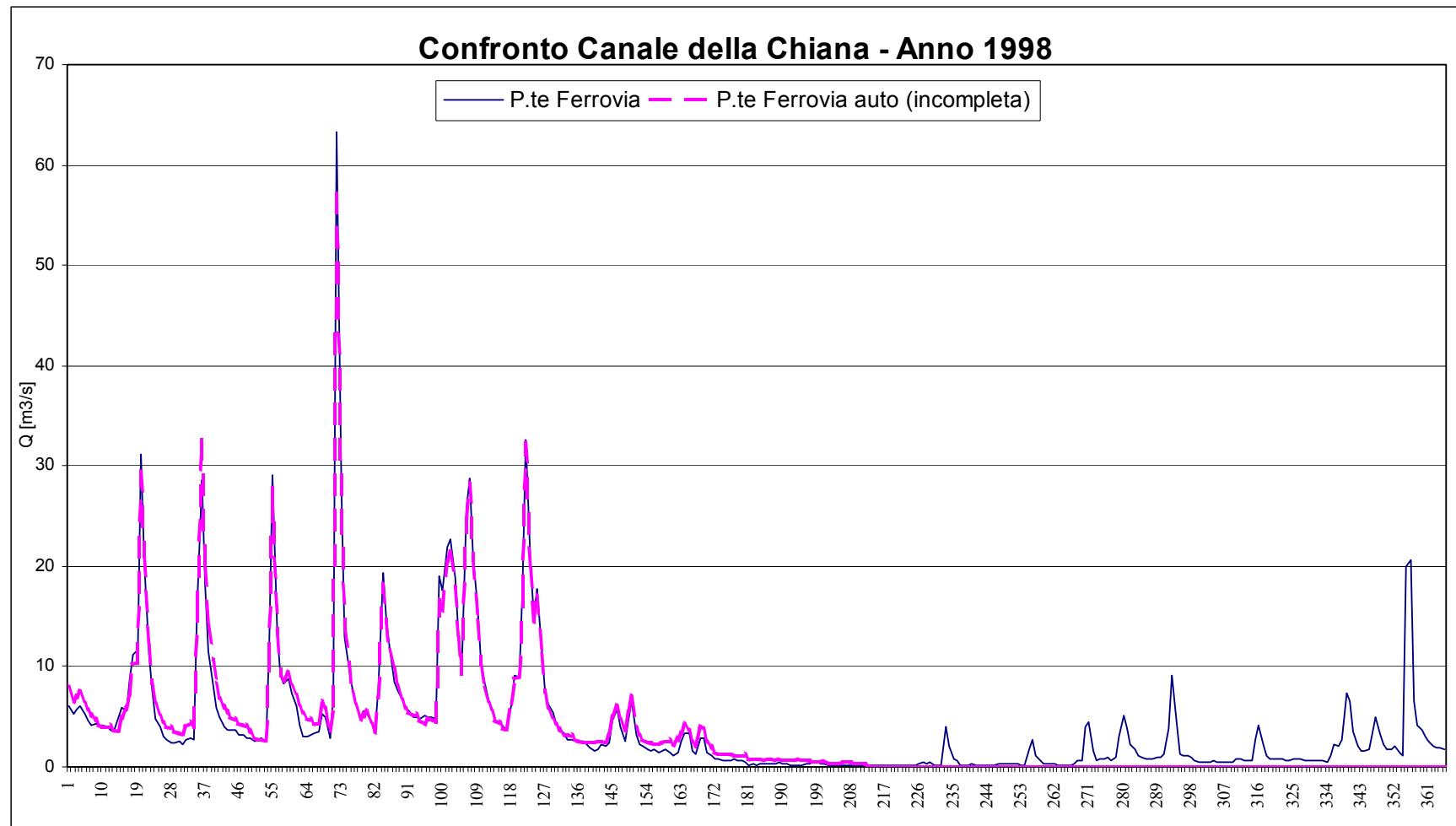


Figura 19: Stazione Ponte Ferrovia FI-Roma sul Canale della Chiana e Ponte Ferrovia FI-Roma automatica, confronto dati anno 1998.

Un'ultima considerazione sulle stazioni idrometriche prese come riferimento per le elaborazioni idrologiche riguarda la loro collocazione nell'ambito del reticolo idrografico, infatti tutta la procedura di stima delle serie storiche delle portate naturali nelle sezioni strumentate richiede la georeferenziazione sia del dato di portata, sia dei prelievi. Inoltre, tutto il sistema prevede una visualizzazione delle informazioni su base cartografica tramite ArcIMS Viewer, all'interno della pagine WEB *Arno\_River*, pertanto tutte le informazioni sia puntuali, sia lineari debbono soddisfare i criteri sulla georeferenziazione e sulla topologia.

La maggioranza delle 30 stazioni idrometriche utilizzate erano dotate di coordinate UTM determinate dal Servizio Idrografico di Pisa, mentre solo per 8 stazioni non si avevano coordinate di nessun tipo che definissero la loro posizione. Pertanto si è proceduto ad una prima ricerca sui vecchi volumi degli Annali del Servizio Idrografico, al fine di trovare tali stazioni e soprattutto le monografie che raffiguravano il loro posizionamento. Successivamente si è utilizzata la base cartografica IGM 1:25.000 in formato raster a cui si è sovrapposto il layer contenente il reticolo idrografico, quindi, evidenziando di volta in volta il corso d'acqua interessato, si è cercato di individuare il toponimo ISTAT che corrispondesse alla località citata nel nome della stazione.

Nel complesso si è riusciti a collocare tutte le 8 stazioni indeterminate, con maggiori difficoltà per Praticello sul Fiume Bisenzio e Molino Parlanti sul Fosso Candalla, per i quali non si sono trovati toponimi corrispondenti e pertanto si sono dovute interpretare informazioni di non certa attendibilità. Si precisa comunque che eventuali errori non grossolani nel posizionamento delle stazioni in esame non determinano, ai fini dello studio, una mutazione significativa dello scenario globale, sia per quanto riguarda la superficie del bacino idrografico sotteso, che risulta nota dal S.I., sia per quanto si riferisce alla posizione relativa rispetto agli eventuali prelievi, il cui effetto viene valutato a livello di tronco.

Nella tabella 3 sono indicate tutte le coordinate G.B. utilizzate per georeferenziare le stazioni di misura, mentre nell'allegato 2 sono riportate tutte le monografie corrispondenti, al fine di una eventuale confronto o verifica sul campo.

Tabella 3: Georeferenziazione delle stazioni di misura idrometrica (*in corsivo le stazioni di cui non erano note le coordinate*).

Codice	Stazione	Fiume	Coord. Est	Coord. Nord
4568	Bucine automatica	Ambra	1711753.3724	4817664.8045
4660	Nave di Rosano	Arno	1694862.0894	4849357.5810
4659	Nave di Rosano automatica	Arno	1694862.0894	4849357.5810
5190	San Giovanni alla Vena	Arno	1627757.1539	4837891.2358
4380	Stia	Arno	1716926.3013	4853626.8063
4379	Stia automatica	Arno	1716926.3013	4853626.8063
4410	Subbiano	Arno	1731587.4603	4828204.1883
4411	Subbiano automatica	Arno	1731587.4603	4828204.1883
4780	Gamberame	Bisenzio	1670786.7193	4865527.9821
4779	Gamberame automatica	Bisenzio	1670786.7193	4865527.9821
4750	<i>Praticello</i>	<i>Bisenzio</i>	<i>1672220.4387</i>	<i>4878955.8664</i>
4791	San Piero a Ponti automatica	Bisenzio	1671390.8726	4852112.5805
4520	Ponte Ferrovia Fi-Roma	Canale della Chiana	1728484.4400	4816390.9000
4521	Ponte Ferrovia Fi-Roma automatica	Canale della Chiana	1728484.4400	4816390.9000
4970	Castelfiorentino	Elsa	1658824.2154	4829573.8409
4971	Castelfiorentino automatica	Elsa	1658824.2154	4829573.8409
5130	Capannoli	Era	1635892.3510	4827772.7891
5131	Capannoli automatica	Era	1635892.3510	4827772.7891
5050	<i>Molino Parlanti</i>	<i>Candalla</i>	<i>1645662.9081</i>	<i>4859885.3133</i>
4710	<i>Ponte dei Falciani</i>	<i>Greve</i>	<i>1678525.2387</i>	<i>4838238.8634</i>
4723	Tavarnuzze automatica	Greve	1678629.9585	4842147.2997
5040	<i>Colonna</i>	<i>Nievole</i>	<i>1645471.0314</i>	<i>4860313.2557</i>
4820	<i>Ponte di Calcaiola</i>	<i>Ombrone</i>	<i>1651777.4688</i>	<i>4870515.0682</i>
4910	<i>Sambuca</i>	<i>Pesa</i>	<i>1679142.6102</i>	<i>4826260.6159</i>
4640	Fornacina	Sieve	1698537.1000	4852775.6980
4641	Fornacina automatica	Sieve	1698537.1000	4852775.6980
4610	Ponte del Bilancino	Sieve	1683529.7616	4871895.1468
4860	<i>Burgianico</i>	<i>Brana</i>	<i>1653334.1425</i>	<i>4868992.2552</i>
4875	Poggio a Caiano automatica	Ombrone	1665775.8900	4853112.6400
4830	<i>Cireglio</i>	<i>Vincio</i>	<i>1647874.3296</i>	<i>4873341.0197</i>

### **3. IL RETICOLO IDROGRAFICO DI RIFERIMENTO**

La modellistica idrologica descritta in precedenza è stata quindi applicata al bacino idrografico del Fiume Arno attraverso la schematizzazione del suo reticolo, schematizzazione peraltro estremamente dettagliata, come vedremo nel seguito, quindi in teoria estremamente precisa ma nello stesso tempo altrettanto complessa da gestire ai fini del presente studio.

L'importanza del reticolo idrografico di riferimento, sia in termini di correttezza intrinseca dello stesso, sia in termini di una sua corretta interpretazione nelle procedure di modellazione idrologica è facilmente intuibile dal fatto che si debbano gestire deflussi e prelievi in un'ottica di conoscenza di ciò che avviene da valle verso monte e viceversa. Per tale motivo una buona parte dello studio è stata dedicata ad interpretare e conoscere il reticolo idrografico di riferimento applicato alle procedure idrologiche previste nel lavoro, che da parte loro richiedono delle caratteristiche topologiche dello stesso che si possono riassumere nei seguenti punti:

- identificativo univoco di ogni nodo;
- identificativo univoco di ogni tronco;
- identificativo univoco del verso di percorrenza o del nodo iniziale e finale di ogni tronco;
- attribuzione a ciascun tronco di un'area drenante;
- attribuzione del nome del corso d'acqua a cui il tronco appartiene (ove presente e non strettamente necessario).

L'Autorità di Bacino del Fiume Arno ha messo a disposizione dello studio i dati relativi al “Sistema delle Acque” con una DVD consegnato 4 Luglio 2003, contenente il sistema completo ma ancora in fase di collaudo, successivamente aggiornato con un CD in data 27 Febbraio 2004. In data antecedente al 4 Luglio 2003 alcune simulazioni erano state condotte con dati parziali, riferiti soprattutto al bacino del Fiume Sieve, che si sono dimostrati successivamente anche notevolmente difforni dagli ultimi.

Ai fini del presente studio le informazioni ed i dati definitivi del reticolo idrografico di riferimento, su cui le procedure di vario tipo sono state implementate e validate, sono quelle contenute nell'aggiornamento consegnato dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno in data 27 Febbraio 2004.

Il “Sistema delle Acque Superficiali”, da cui sono prese le informazioni sul reticolo idrografico, rappresenta un'iniziativa dell'Area Sistema Informativo Territoriale e Cartografia della Regione Toscana che mira a coordinare, su di una base comune ed omogenea, le attività di tutti i soggetti istituzionali che hanno competenza in materia di acque e di sistemi informativi territoriali.

Il “Sistema” è indirizzato su un modello geodatabase della famiglia di ARC/INFO 8, ed in particolare sul data models “ArcGis Hydro Data Model”. In pratica HDM fornisce una struttura standardizzata nella quale possono essere organizzate varie fonti

di dati (shapefile, tabelle, ecc...), ottenendo in tal modo un database integrato delle risorse idriche finalizzato alla gestione attraverso gli strumenti propri del GIS. In sintesi i dati sono raccolti in quattro datasets principali:

- ✓ Hydrography (idrografia);
- ✓ Drainage (bacini di drenaggio);
- ✓ Channel (corsi d'acqua);
- ✓ Network (reticolo idrografico).

Il geodatabase Arno.mdb, contenuto nella consegna del 4 Luglio 2003 e successivamente aggiornato il 27 Febbraio 2004, è stato costruito ispirandosi all'Hydro Data Model di ESRI, pur non ricalcandolo fedelmente. Dal punto di vista operativo l'aspetto di maggiore interesse per il presente studio è la suddivisione in tronchi del reticolo idrografico e l'individuazione del chatment di ogni tronco, dove il tronco è l'entità minima base per la costruzione della geometria del grafo delle acque ed il chatment dovrebbe rappresentare la corrispondente entità per la superficie del bacino.

Il tronco a sua volta presenta altre caratteristiche che lo contraddistinguono, in particolare:

- ◆ HEDGETYPE = 1 , rappresentano i reali corsi d'acqua;
- ◆ HEDGETYPE = 2 , indicano la "virtuale" direzione principale di flusso di specchi d'acqua e permettono la connessione del network attraverso i laghi;
- ◆ HEDGETYPE = 3 , indicano le shorelineedge ossia i bordolago;
- ◆ HEDGETYPE = 4 , rappresentano le linee di costa;
- ◆ ENABLED= 1 , tronco attivo rispetto al flusso;
- ◆ ENABLED= 0 , tronco inattivo rispetto al flusso.

Le procedure della modellistica idrologica in sostanza percorrono il reticolo idrografico suddiviso in tronchi tenendo conto delle suddette caratteristiche e della definizione del nodo iniziale (FNODE) e finale (TNODE) di ogni tronco. Attraverso tali attività è stato anche possibile effettuare un'ulteriore verifica della bontà del grafo delle acque, evidenziandone alcuni aspetti caratterizzanti.

Nella tabelle 4 e 5 il reticolo complessivo del Fiume Arno (65794 tronchi) è analizzato in funzione delle caratteristiche di tronco viste in precedenza.

Inoltre, per quanto riguarda esclusivamente i 63.604 tratti con Hedgetype 1 e 2 ed Enabled = 1, possiamo distinguere in realtà tre reticoli indipendenti ai fini delle valutazioni rivolte soprattutto ai fenomeni di magra. Nelle tabelle 6, 7 e 8 sono evidenziati tali aspetti.

Tabella 4: N. 65794 tronchi distinti per HEDGETYPE e ENABLED (solo per HEDGETYPE≠1).

NUMERO TRONCHI	HEDGETYPE	ENABLED
62229	1	
1464	2	1
2090	3	0
11	4	0

Tabella 5: N. 62229 tronchi distinti per ENABLED.

NUMERO TRONCHI	HEDGETYPE	ENABLED
89	1	0
62.140	1	1

Tabella 6: Reticolo principale che termina alla foce (tronco IDTRATTO=29917), totale 60.215 tronchi.

NUMERO TRONCHI	HEDGETYPE
58.827	1
1.388	2

Tabella 7: Reticolo dello Scolmatore e del Canale Emissario di Bientina (tronco finale IDTRATTO=40158), totale 3.028 tronchi.

NUMERO TRONCHI	HEDGETYPE
2.968	1
60	2

Tabella 8: Reticolo a nord della foce dell'Arno (Fiume Morto), costituito da 361 tratti.

NUMERO TRATTI	HEDGETYPE
345	1
16	2

Un'analisi dettagliata dei 60.215 tronchi che costituiscono il reticolo principale ha messo in evidenza alcuni aspetti che hanno comportato la necessità di cambiare le caratteristiche di alcuni tronchi. In particolare per i seguenti tronchi è stato necessario cambiare HEDGETYPE da "3" a "2": RETICOLO1\_ = 4540, 22660, 41495, 43301, 48085, 52841, 52844, 54221, 63402, 63930, 64691, 65326, 31054, 35517, 39998, 43679, 55820, 56705, 57797, 63681, 63700, 63701, 64982.

Tale modifica si è fatta in prevalenza per tronchi di pertinenza di piccoli invasi, in cui sembra che il tipo HEDGETYPE 3 venisse quasi a sovrapporsi al 2 (figura 20), determinando di fatto l'interruzione della procedura di risalita lungo il reticolo idrografico, procedura che non prevede di percorrere i tronchi di tipo 3.

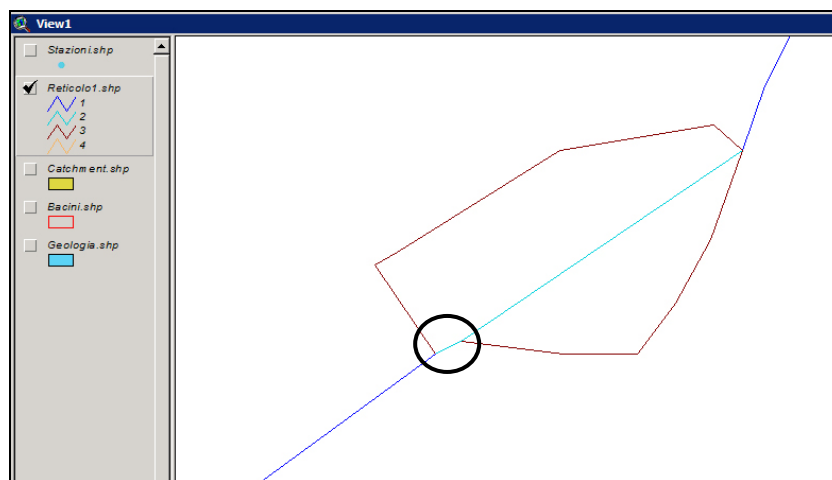


Figura 20: Esempio di un tronco HEDGETYPE 3 cambiato in 2.

Una seconda modifica ha riguardato alcuni tronchi in cui il nodo iniziale (FNODE) e quello finale (TNODE) erano evidentemente invertiti, determinando anche in questo caso l'interruzione della procedura di risalita lungo il reticolo idrografico. Al fine di verificare ed evidenziare tale aspetto anche nel data models originario vengono di seguito riportati i corrispondenti codici identificativi dei tronchi soggetti a tale variazione: RETICOLO1\_ = 24093, 24094, 31054, 35517, 39998, 43679, 55820, 56705, 57797, 63681, 63700, 63701, 64982, 30826, 47017, 51520, 59272.

Il secondo aspetto di interesse è rappresentato dall'informazione relativa ai chatcment, dalla cui somma dovrebbe essere possibile determinare per ogni tronco l'area del corrispondente bacino idrografico sotteso. La delimitazione del chatcment di ogni tronco è stata realizzata sfruttando l'informazione derivante da un DEM determinando talvolta intersezioni tra i vari confini, tuttavia l'aspetto più importante è che non vi è una corrispondenza biunivoca tra tronchi e chatcment, in quanto alcuni tronchi sono compresi nello stesso chatcment (figua 21).

Volendo mantenere nella modellazione idrologica un'informazione distinta per tronchi elementari è stato necessario ripartire in questi casi la superficie del catchment tra i due tronchi, in prima approssimazione in misura proporzionale alle rispettive

lunghezze (informazione nota nel campo LENGTH). Tale correzione ha permesso di calcolare per tutti i 60215 tronchi il corrispondente bacino idrografico sotteso, denominato area di calcolo o stimata, in quanto una verifica in corrispondenza dei tronchi in cui sono presenti le stazioni di misura ha mostrato delle evidenti differenze, comunque tollerabili ed in parte dovute alla non perfetta coincidenza dei rispettivi bacini, chiusi in un caso nel punto di ubicazione della stazione e nell'altro al nodo finale del tronco.

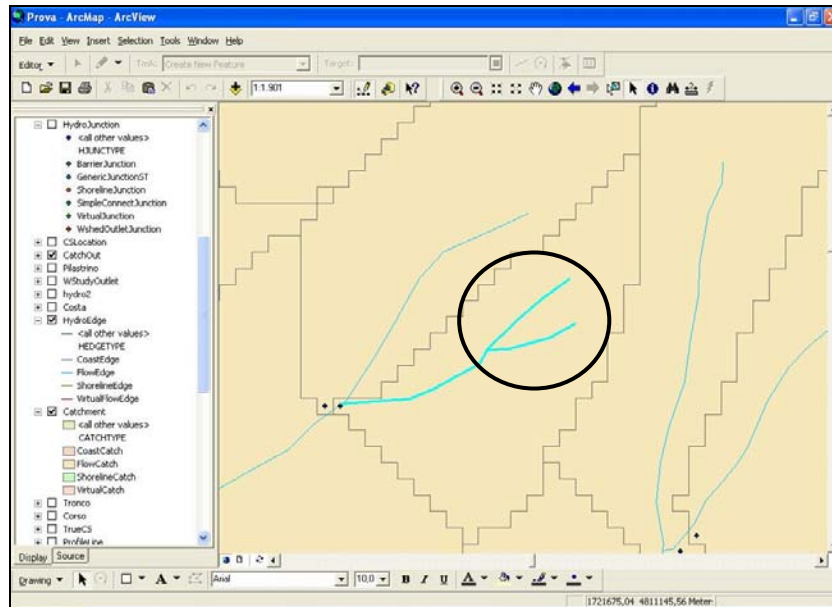


Figura 21: Esempio di più tronchi attribuiti allo stesso catchment.

Nel complesso, al termine di questo consistente lavoro di studio e verifica del reticolo idrografico di riferimento, si ritiene di aver raggiunto un elevato grado di sinergia con la modellistica idrologica, elemento che certamente costituisce un presupposto fondamentale per la logica prosecuzione dell'intero studio.

## **4. LA PAGINA WEB “ARNO\_RIVER”**

Il trasferimento di tutte le procedure in una pagina WEB rappresenta uno degli obiettivi dello studio e certamente uno degli aspetti di maggiore interesse. Tuttavia il funzionamento server\_client applicato alla logica del presente studio pone una serie di problemi, che possono essere riassunti nei seguenti punti:

- modalità di accesso alla pagina WEB “*Arno\_River*”;
- gestione della parte di elaborazione;
- gestione della parte cartografia ed interconnessioni con l’elaborazione.

Nei paragrafi seguenti verranno specificati gli aspetti metodologici con cui sono stati affrontati e risolti i vari problemi, mentre si rimanda all’Appendice C per la manualistica dettagliata sull’utilizzo di tutte le procedure di archiviazione, aggiornamento, gestione, elaborazione, visualizzazione di dati ed informazioni.

### **4.1. ACCESSO ALLA PAGINA WEB “ARNO\_RIVER”**

Il problema dell’accesso da parte di un’utenza esterna al sito in questione è collegato al livello di protezione e/o controllo che si vuole avere dei dati contenuti nel sito e della loro manipolazione ed elaborazione. Si ricorda infatti che all’interno della pagina web sono comunque attive delle procedure di elaborazione e simulazione proprie della “Modellistica idrologica per la gestione integrata delle risorse idriche del bacino dell’ARNO e tutela dell’habitat fluviale in relazione al Deflusso Minimo Vitale”.

Appare evidente che la soluzione a tale problema è legata essenzialmente al tipo di impegno a cui si pensa di sottoporre la struttura che gestirà nel tempo il sito ed in particolare la figura denominata webmaster. In base alle esperienze ormai diffuse nell’ambito delle rete internet ed alle specifiche caratteristiche che dovrebbe avere la pagina in esame, si possono prospettare le tre soluzioni che sono sintetizzate negli schemi seguenti.

#### **4.1.1. Soluzione A**

Tale soluzione rappresenta l’ipotesi minima, con due livelli di utenti di cui il secondo (User) con due opzioni alternative di accesso che tuttavia non ne condizionano l’operatività in termini di azioni. Nel complesso, sia in termini di sicurezza, sia in termini di impegno, tale soluzione non sembra rappresentare l’ipotesi ottimale.

LIVELLO	TIPO UTENTE	AZIONI	TIPO DI ACCESSO
Livello 1	Utente esperto (Administrator)	Utente che ha la possibilità di utilizzare il software in tutte le sue funzioni. Aggiornare i dati utilizzando le procedure di importazione o inserendoli manualmente, dove previsto, e soprattutto lanciare le procedure di calcolo.	Autenticazione con login e password attribuite <u>direttamente</u> dal webmaster.
Livello 2	Utente base (User)	Utente che ha la possibilità di utilizzare il software con alcune limitazioni, ma che può comunque inserire dei dati (di concessioni, etc.) che dovranno però essere validati dall'A.d.B.	○ Libero.
			○ Autenticazione con login e password ottenute tramite procedura di autoregistrazione libera.

#### 4.1.2. Soluzione B

LIVELLO	TIPO UTENTE	AZIONI	TIPO DI ACCESSO
Livello 1	Utente esperto (Administrator)	Utente che ha la possibilità di utilizzare il software in tutte le sue funzioni. Aggiornare i dati utilizzando le procedure di importazione o inserendoli manualmente, dove previsto, e soprattutto lanciare le procedure di calcolo.	Autenticazione con login e password attribuite <u>direttamente</u> dal webmaster.
Livello 2	Utente base (User)	Utente che potrà consultare le anagrafiche, interrogare il database sia alfanumerico che geografico, inserire in modo condizionato alcuni dati e visualizzare, stampare o esportare i report.	○ Autenticazione con login e password ottenute tramite procedura di autoregistrazione libera.
			○ Autenticazione con login e password ottenute tramite procedura di autoregistrazione sottoposta al controllo del webmaster.
Livello 3	Visitatore (Guest)	Utente che può solo visitare il sito, senza poter aggiungere o modificare nulla e comunque fare un download dei dati.	Libero.

Questa seconda soluzione con tre livelli di utenti introduce la figura del visitatore (Guest), prevedendo comunque per il secondo utente (User) due opzioni alternative di accesso comunque entrambe controllate. Nel complesso tale soluzione permette un evidente maggior grado di sicurezza rispetto alla soluzione A.

#### 4.1.3. Soluzione C

La terza soluzione presenta sempre tre livelli di utenti, dove però le alternative di accesso sono limitate al terzo livello (Guest), mentre il secondo livello (User) viene equiparato, per tipo di accesso, al primo (Administrator).

LIVELLO	TIPO UTENTE	AZIONI	TIPO DI ACCESSO
Livello 1	Utente esperto (Administrator)	Utente che ha la possibilità di utilizzare il software in tutte le sue funzioni. Aggiornare i dati utilizzando le procedure di importazione o inserendoli manualmente, dove previsto, e soprattutto lanciare le procedure di calcolo.	Autenticazione con login e password attribuite <u>direttamente</u> dal webmaster.
Livello 2	Utente base (User)	Utente che potrà consultare le anagrafiche, interrogare il database sia alfanumerico che geografico, inserire in modo condizionato alcuni dati e visualizzare, stampare o esportare i report.	Autenticazione con login e password attribuite <u>direttamente</u> dal webmaster.
Livello 3	Visitatore (Guest)	Utente che può solo visitare il sito, senza poter aggiungere o modificare nulla e comunque fare un download dei dati.	○ Libero.
			○ Autenticazione con login e password ottenute tramite procedura di autoregistrazione libera.

In conclusione sembrerebbe opportuno scartare l'ipotesi A, in accordo anche con le strutture competenti dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno. Tra le due ipotesi rimanenti l'ultima sembra la più opportuna, in quanto fornisce la maggiore flessibilità di accesso in rapporto alla sicurezza senza un aggravio eccessivo di impegno a carico del webmaster (limitando eventualmente all'accesso libero l'utente visitatore).

## **4.2. GESTIONE DELLA PARTE DI ELABORAZIONE**

La parte di elaborazione, nella sua interpretazione più ampia che include anche le procedure di archiviazione, aggiornamento, gestione e visualizzazione dei dati e delle informazioni, rappresenta il corpo fondamentale della pagine Web “Arno\_River”.

Il linguaggio di programmazione adottato è il Perl (Processing Estraction Report Language), che è un linguaggio finalizzato principalmente alla trattazione di stringhe e file di testo. In linguaggio Perl è estremamente naturale effettuare ricerche di sequenze di caratteri all'interno di stringhe (pattern matching), sostituzioni di sottostringhe (pattern substitution), operazioni su file di testo strutturati in campi e record oppure non strutturati. Per questi motivi il Perl è particolarmente indicato nella scrittura di procedure installate su un server web, o per lo sviluppo di procedure di manutenzione delle attività di un server. Certamente, quindi, il Perl diventa quasi una necessità per chi debba gestire un sito web che non sia solamente testo ed immagini, in particolare risulta anche vantaggioso l'utilizzo del Perl nella gestione di database in ambiente web.

L'interprete Perl non compila mai il codice in codice-macchina, come fanno i compilatori C, ogni volta che si esegue uno script in Perl questo viene immediatamente interpretato. Ci sono 2 versioni di Perl, il Perl4 ed il suo successore Perl5, in linea di massima compatibile con il Perl4 con l'aggiunta di features addizionali. Nello specifico, la versione utilizzata nella scrittura della pagine Web in esame è il Perl 5.6.1 .

Tutte le procedure possono essere, in linea di massima, gestite dal client, solo le elaborazioni di calcolo con tempi superiori a circa 5 minuti vengono demandate al server, in quanto non compatibili con le normali caratteristiche dei browser commerciali, conservando comunque il client la possibilità di lanciare e successivamente controllare lo stato di avanzamento della procedura stessa.

Il tutto ovviamente in un contesto di estrema amichevolezza della pagina Web, utilizzando sistemi di download ed upload estremamente comuni in internet, unitamente alla possibilità di copiare ed incollare dati e grafici con gli usuali comandi di Windows.

## **4.3. GESTIONE DELLA PARTE CARTOGRAFIA ED INTERCONNESSIONI CON L'ELABORAZIONE**

Da un punto di vista applicativo la base realizzativa è rappresentata da ArcIMS, strumento che presenta un'interfaccia utente semplice ed intuitiva. Infatti a lato della mappa l'utente trova tutti i principali strumenti di zoom, navigazione e consultazione della stessa, mentre una legenda dinamica illustra i temi attivi rappresentati in cartografia.

La cartografia conterrà tutte le informazioni del “Sistema delle Acque Superficiali”, secondo gli standard di Hydro Data Model, integrate dalle informazioni che derivano dalle gestione e dalle elaborazioni del modello idrologico.

Tale operazione veniva ipotizzata, in un primo momento, in automatico, ossia l'inserimento di una nuova concessione o di una nuova stazione di misura, ad esempio,

dovevano essere trasferite automaticamente sulla cartografia attraverso la georeferenziazione, realizzando tecnicamente un aggiornamento automatico dei corrispondenti shapefile gestiti da ArcIMS. Tuttavia tale procedura si è dimostrata piuttosto complessa ed estremamente difficile da realizzare, inoltre si è ritenuto che l'inserimento di nuovi dati, la loro elaborazione e quant'altro venisse aggiunto in sede di elaborazione dovesse essere prima valutato e validato, solo successivamente aggiornato nella mappa.

Secondo questa ottica si è quindi sviluppato un sistema che consentisse praticamente una completa visualizzazione di tutti i dati di interesse a livello di gestione della parte di elaborazione (cartella "ASTA"), mentre si è demandato al webmaster, o comunque ad un operatore qualificato, l'aggiornamento mirato degli shapefile corrispondenti nella gestione della parte cartografica, operazione che verrà eseguita periodicamente o comunque quando si ravvisa la necessità o l'opportunità di un aggiornamento definitivo anche a tale livello.

In conclusione si potrebbero individuare due ambienti di lavoro, il primo più marcatamente di elaborazione e quindi di maggiore interesse per un utente administrator o user, il secondo esclusivamente di consultazione di dati ormai consolidati ad uso prevalente, ma non esclusivo, di un utente guest.

## **5. IL DEFLUSSO MINIMO VITALE "DMV"**

Il concetto di minimo deflusso vitale è ormai entrato stabilmente nell'ambito della gestione della risorsa idrica superficiale, questo sia per un'evoluzione normativa nel settore durante gli ultimi 15 anni, sia per una accresciuta sensibilità sociale verso il problema ambientale in genere.

Pertanto l'aver affrontato la problematica della conservazione dell'ecosistema fluviale ha fatto sì che negli ultimi anni venissero definiti diversi metodi per la stima della portata minima capace di conservare le biocenosi acquatiche (minimo vitale). Nello stesso tempo, in maniera quasi parallela, si è sempre più sviluppata la tendenza a tutelare gli aspetti paesaggistici dell'ambiente fluviale, basti pensare ai numerosi parchi, siti di interesse comunitario, od altro, che gravitano intorno ai corsi d'acqua, tutto ciò ha spostato l'attenzione verso un problema di uso ambientale dell'acqua, che non necessariamente coincide con il concetto di deflusso minimo vitale..

La definizione della portata di minimo deflusso vitale ha alimentato una bibliografia abbastanza ampia (Collings, 1974; Tennant, 1976; Geer, 1980; Hoppe, 1975; Larsen, 1980; Binns, 1979; Nelson, 190; Wesche, 1980; Santoro, 1994; Caporali et al., 1998) a cui si affiancano anche alcune significative determinazioni legislative. Tuttavia il problema non può considerarsi di facile soluzione a causa della estrema variabilità delle tipologie biologiche ed ambientali alle quali mal si adattano procedure

troppo semplificate, oltre ad una interdisciplinarietà di competenze sull'argomento che spesso produce anche conflitti di opinione.

Allo stato attuale dell'arte, i criteri seguiti possono essere collocati nell'ambito di due linee di approccio principali, in cui prevalgono rispettivamente gli aspetti idrologici e gli aspetti biologico-naturalistici.

La prima prevede il calcolo del minimo vitale a partire da parametri sintetici, quali l'area del bacino sotteso dalla sezione di interesse, la portata media del corso d'acqua (mensile o annuale), un particolare valore della durata dei deflussi, ecc. Di solito, tali metodi sono tarati su valori di portata che assicurano il normale sviluppo di una specie animale di riferimento e traducono l'esigenza di generalizzare i risultati su ambiti territoriale più ampi, rispetto a quelli esplorabili con tecniche di campionamento e misura, applicando procedure di regionalizzazione.

La seconda linea invece è basata su tecniche di rilevamento sperimentali finalizzate all'accertamento puntuale delle condizioni ambientali ottimali per una prefissata specie, per la quale siano noti i valori di idoneità ambientale (habitat) espressi spesso in termini di profondità, velocità, temperatura dell'acqua e di caratteristiche del substrato. Di norma, al termine della campagna di misura, vengono costruite delle curve che danno, in funzione della portata, la larghezza dell'alveo o della sezione bagnata disponibile per lo sviluppo della specie di riferimento. Massimizzando tali curve in funzione della portata può essere stimato il valore ottimale di questa. I risultati di una campagna di rilevamento condotta in tal senso a scala di bacino, possono essere di base per successive elaborazioni regionali.

La schematizzazione di tipo metodologico proposta rappresenta in realtà due aspetti, tra loro complementari, di uno stesso problema, con due diversi e prioritari livelli di approfondimento. Si osserva, infine, che in entrambi gli approcci non entra, se non in maniera indiretta, l'aspetto legato alla qualità dell'acqua, elemento che potrebbe influire in maniera non trascurabile sulla quantificazione finale della portata di deflusso minimo vitale.

## **5.1. CRITERI PER LA STIMA DEL MINIMO VITALE**

Il concetto di minimo vitale è in realtà balzato all'attenzione di molti nel momento in cui tale terminologia è stata introdotta a livello normativo, anche se il problema era alquanto evidente a chiunque studiasse o comunque fosse al corrente delle problematiche di gestione della risorsa idrica e dei prelievi in particolare.

Per tale motivo appare utile un'analisi di quanto le normative, succedutesi negli ultimi 15 anni, hanno detto in proposito, perlomeno per gli aspetti più salienti.

La legge 183/99 ha praticamente introdotto per la prima volta il termine di Minimo Deflusso Vitale in maniera esplicita, portandolo all'attenzione critica anche dei non addetti ai lavori ed evidenziandone soprattutto il carattere di parametro vincolo per la fattibilità di qualsiasi derivazione antropica.

La successiva legge 36/94 introduce una chiave di lettura dell'argomento apparentemente più flessibile, infatti, dal concetto piuttosto rigido di portata minima costante da garantire al corso d'acqua, si passa a parlare di derivazioni che vanno regolate al fine di garantire un livello di deflusso che sia compatibile con la vita degli alvei sottesi e tale da non provocare danni agli equilibri degli ecosistemi interessati.

Il D.Lgs. 152/99, all'art. 22 comma 1, pone in evidenza tutta la complessità del problema, infatti enunciando che "La tutela quantitativa della risorsa concorre al raggiungimento degli obiettivi di qualità attraverso una pianificazione delle utilizzazioni delle acque volta ad evitare ripercussioni sulla qualità delle stesse e a consentire un consumo idrico sostenibile" sottolinea in pratica lo stretto e scontato legame di dipendenza quantità-qualità. Pertanto l'elaborazione dei piani di tutela dovrà necessariamente contenere delle chiare indicazioni in proposito, che coinvolgeranno necessariamente anche il concetto di DMV.

Si ricordano, infine, anche le linee guida per la predisposizione del bilancio idrico di bacino del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, che nel frattempo è divenuto competente di gran parte delle prerogative inerenti il settore dell'acqua, in cui sono contenuti i criteri per l'attuazione di quanto sopra enunciato. In particolare si può osservare come concettualmente si pone in evidenza lo stretto rapporto quantità-qualità, ma nello stesso tempo a livello di metodologie si rimanda ai metodi che vengono illustrati nel seguito, seppure specificando testualmente "*per una sua prima stima orientativa*".

Nel frattempo, comunque, numerose attività sono state portate avanti per la determinazione del DMV in situazioni specifiche, per lo più a scala di singoli corsi d'acqua o di bacino, attività che sono anche sfociate nell'emanazione di norme.

#### **5.1.1. Norme a carattere nazionale**

Allo stato attuale, non si ravvisa ancora un disegno organico operativo a scala nazionale per la soluzione del problema inerente la determinazione del DMV. Da più parti, per lo più da amministrazioni locali, sono stati proposti diversi criteri per i quali non sempre viene indicato il fondamento scientifico di deduzione. Nel seguito si fornisce un quadro, a titolo di esempio, di alcune di tali iniziative.

##### Provincia Autonoma di Bolzano - (D.P.R. 11-4-1986. Piano Generale per l'Utilizzazione delle Acque Pubbliche).

Il Piano prescrive che "nelle derivazioni idroelettriche, siano esse piccole che grandi, si dovrà assicurare il mantenimento delle portate residue fluenti nei tratti sottesi dei corsi d'acqua necessarie per scopi igienico-sanitari ed antincendio, per la pesca, ai fini della tutela del paesaggio, e per non alterare il profilo naturale di equilibrio degli stessi corsi d'acqua. In particolare per la conservazione degli ecosistemi dovranno essere garantite portate minime residue adeguate, da valutarsi di volta in volta dagli organi preposti alla tutela dell'ambiente e comunque non inferiori al valore corrispondente al contributo massimo unitario di  $2 \text{ l/s/Km}^2$  di bacino sotteso".

Provincia Autonoma di Trento - (D.P.R. 22-12-1986 Piano Generale per l'Utilizzazione delle Acque Pubbliche).

Il Decreto stabilisce che, sia per le vecchie che per le nuove derivazioni, "nei corsi d'acqua sottesi da opere di derivazione sia garantita una portata di rispetto pari ad almeno un terzo della portata minima annua".

Regione Piemonte.

La costruzione di un impianto Enel sul torrente Anza è stata autorizzata alle seguenti condizioni. "Immediatamente a valle degli sbarramenti dei singoli corsi d'acqua dovrà sempre essere rilasciata la portata istantanea pari al 10% della portata naturale in arrivo da monte, salvo sospendere la captazione ogni qualvolta la portata in arrivo da monte risulti inferiore o uguale ai seguenti valori minimi: 120 l/s per il torrente Anza, 5 l/s per il Rio Rosso, 30 l/s per il torrente Olocchia, 5 l/s per il torrente El Ri, 20 l/s per il torrente Segnara, 5 l/s per il torrente Selvanera".

Amministrazione Provinciale di Torino - (Normativa Provinciale del 1990).

La portata minima defluente in alveo deve essere compresa tra 1 e 4 l/s/Km<sup>2</sup> in relazione alle caratteristiche idroclimatiche del corso d'acqua.

Ministero dei Lavori Pubblici, Magistrato per il Po - (Adeguamento delle Concessioni Idroelettriche nei Territori della Valtellina. Legge 102/90).

La Commissione fa propria la definizione di minimo vitale data dall'Ufficio Federale Svizzero per l'Ambiente, le Foreste ed il Paesaggio - Gruppo di Lavoro sulle Portate Residuali dell'Istituto Federale per la Sistemazione, Depurazione e Protezione delle Acque (EAWAG - Berna, 1989), secondo il quale a proposito delle garanzie di vita dei corsi d'acqua: "la portata residua deve permettere la salvaguardia a lungo termine delle strutture naturali del corso d'acqua e la presenza di una biocenosi (complesso degli organismi viventi) corrispondenti alle condizioni naturali locali". Riconosce inoltre, dopo un'analisi di dettaglio dei più importanti pronunciamenti normativi nazionali ed internazionali, che il valore del deflusso minimo vitale debba essere stimato caso per caso sulla base di verifiche specifiche (riduzione degli impatti negativi). Ciò nonostante per esigenze di praticità tecnica ed amministrativa propone, salvo verifiche sperimentali da protrarsi per almeno cinque anni, un valore di riferimento del minimo vitale pari a 1,6 l/s/Km<sup>2</sup>.

## **5.1.2. Norme a carattere internazionale**

Francia - Legislazione sulla Pesca (20 luglio 1984).

"Tutte le opere da costruire in un corso d'acqua devono contenere dei dispositivi che garantiscano un deflusso minimo vitale per le specie ittiche. Tale deflusso non potrà essere minore al decimo del modulo del corso d'acqua che corrisponde alla portata media interannuale valutata a partire dalle informazioni disponibili su di un periodo minimo di cinque anni o alla portata immediatamente a monte dell'opera se questa fosse inferiore. Tuttavia, per i corsi d'acqua o parte dei corsi d'acqua con modulo superiore ad  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ , decreti del Consiglio di Stato possono, per ciascuno di loro, attribuire al minimo vitale un limite inferiore che non dovrà essere più piccolo di un ventesimo del modulo. Tutte le predette disposizioni non si applicano per i fiumi Reno e Rodano, in ragione del loro statuto internazionale".

#### Svizzera - Legislazione sulla Protezione delle Acque (1987).

"In caso di prelievi da corsi d'acqua con deflusso permanente, il deflusso residuale si ricava dalla seguente tabella 9 in funzione della portata con durata pari a 347 giorni. Per i valori intermedi è prevista l'interpolazione lineare.

Tabella 9: Deflusso residuale secondo la Normativa Svizzera (Legislazione sulla protezione delle Acque)

Portata di durata 347 giorni (l/s)	deflusso residuale (l/s)
$\leq 60$	50
160	130
500	280
2500	900
10000	2500
$> 60000$	10000

Le disposizioni sui deflussi residuali si applicano unicamente ai corsi d'acqua con deflusso permanente, escludendo cioè quelli che, su una media di dieci anni, sono in secca per più di diciotto giorni all'anno".

#### Stati Uniti d'America.

Molte Agenzie per la Tutela dell'Ambiente basano gli standards di portata ai fini della qualità dei corsi d'acqua sulla condizione di magra individuata dalla portata indice  $Q_{7,10}$ , definita come la minima portata media settimanale (media mobile) con Tempo di Ritorno di 10 anni.

### 5.1.3. Metodi, biologicamente basati, per la stima della portata minima vitale

I metodi che seguono consentono la stima della portata che assicura le condizioni normali e/o ottimali per lo svolgimento del ciclo biologico di una determinata specie ittica. Di norma la taratura di tali procedure è stata riferita a specie ittiche del gruppo dei Salmonidi, quindi in ambienti tipici per il loro sviluppo caratterizzati da acque ossigenate di buona qualità.

#### Metodo di Baxter.

La procedura proposta da Baxter è finalizzata alla tutela della specie *Salmo Salar*. L'ambiente di taratura è costituito da un campione di 15 corsi d'acqua piccoli e grandi della Scozia e dell'Inghilterra. Baxter, nel corso di un periodo di osservazione sufficientemente lungo, ha rilevato le portate dei corsi d'acqua in corrispondenza della larghezza ottimale della sezione idrica per lo sviluppo della specie di riferimento. In questo modo è pervenuto alla tabella 10 che esprime, per ciascun mese distinguendo tra piccoli e grandi corsi d'acqua, le portate residuali in percento della media mensile delle portate giornaliere. L'autore raccomanda un uso prudente dei valori proposti in ambienti diversi da quelli studiati.

#### Metodo Montana.

Tale metodo, che prende il nome dall'omonimo stato degli USA, è basato sulle osservazioni condotte su circa 100 corsi d'acqua. Le portate residuali suggerite, che assicurano diversi livelli di protezione per la vita acquatica (Salmonidi), per la pesca, per gli usi ricreativi e per gli aspetti paesaggistici, sono espresse in % della portata annua. La tabella 11 riassume tali risultati per due periodi dell'anno (ottobre-marzo; aprile-settembre).

#### Metodo delle Curve di Durata.

Il metodo presuppone la preventiva determinazione della portata residuale minima e/o ottimale per lo sviluppo della specie biologica di riferimento ed il calcolo della corrispondente durata in alcune sezioni di controllo. Nell'ipotesi che in corsi d'acqua di caratteristiche morfologiche ed idrauliche simili si conservi costante la durata del deflusso residuale, la conoscenza di questo parametro consente di stimare la portata residuale anche in altre sezioni di interesse per le quali sia nota la corrispondente curva di durata dei deflussi. Tale metodo costituisce un primo criterio esplicito di regionalizzazione e ad esso può ritenersi ispirata la normativa svizzera.

Tabella 10: Portate residuali proposte da Baxter (1961) per la tutela del *Salmo Salar* nei corsi d'acqua scozzesi ed inglesi. Le portate sono espresse percentualmente rispetto alla media mensile.

Mesi	Piccoli corsi D'acqua	Grandi corsi d'acqua
Ottobre	15÷12,5	15÷12,5
Novembre	25	15
Dicembre	25÷12,5	15÷10
Gennaio	12,5	10
Febbraio	12,5	10
Marzo	20	15
Aprile	25	20
Maggio	25	20
Giugno	25÷20	20÷15
Luglio	20÷15	15÷12,5
Agosto	15	15÷12,5
Settembre	15÷12,5	15÷12,5

#### Metodo di Rantz o della Equazione di Regressione.

Il metodo propone una relazione regressiva tra i valori della portata  $Q_0$ , cui corrisponde la massima area idrica idonea per la riproduzione e lo sviluppo della specie considerata (Salmonidi), ed alcuni parametri caratterizzanti la morfologia e l'idrologia del bacino sotteso dalla sezione di misura. Le variabili indipendenti, assunte per la taratura di tale equazione, sono la portata media  $Q_m$  ed il rapporto tra la larghezza  $L$  del corso d'acqua e la superficie del bacino  $H$ . L'equazione proposta da Rantz (1964), tarata sulla base di osservazioni decennali di tratti d'alveo ove ha luogo la fase riproduttiva della specie di riferimento, è la seguente ( $Q_0$  e  $Q_m$  sono espressi in  $\text{feet}^3/\text{s}$ ,  $L$  in feet,  $H$  in  $\text{feet}^2$ ):

$$Q_o = 0,89 Q_m^{1,09} \left( \frac{L}{H} \right)^{1,44}$$

Tabella 11: Percentuali della portata naturale che assicurano diversi livelli di protezione per la pesca, per la vita acquatica, per gli usi ricreativi e per gli aspetti paesaggistici secondo il metodo del Montana (USA). Le portate sono espresse percentualmente rispetto alla media annuale.

Portata	Ottobre÷Marzo	Aprile÷Settembre
Massima	200	200
Ottima	60÷100	60÷100
Più che eccellente	40	60
Eccellente	30	50
Buona	20	40
Scarsa	10	30
Insufficiente	10	10
Molto insufficiente	10÷0	10÷0

#### Metodo McKinley.

Anche in questo caso l'obiettivo del metodo è la protezione di una particolare specie di Salmonidi durante la fase riproduttiva. A questo scopo vengono assunti come parametri caratterizzanti l'habitat fluviale la profondità e la velocità della corrente. La procedura che consente il calcolo della larghezza utile alla riproduzione per un determinato stato idraulico del fiume, è illustrata in figura 22. Nota la distribuzione trasversale delle velocità medie ed il campo  $a$  dei valori di velocità idonei alla riproduzione, può essere individuata la larghezza  $b$  utile a tale scopo. Altrettanto viene fatto in termini di profondità; noto, cioè, l'intervallo  $e$  della profondità dell'acqua ottimale, si individua la corrispondente larghezza  $d$ . Tenuto conto che le condizioni ottimali devono coesistere sia in termini di velocità che profondità, la larghezza utile è data dalla intersezione delle due zone  $b$  e  $d$ . I valori delle larghezze così ottenuti, per diversi stati idraulici, possono essere associati alle corrispondenti portate ed espressi in funzione di queste. Dalla curva corrispondente può essere quindi individuato il valore della portata per la quale è massimo l'habitat per la riproduzione.

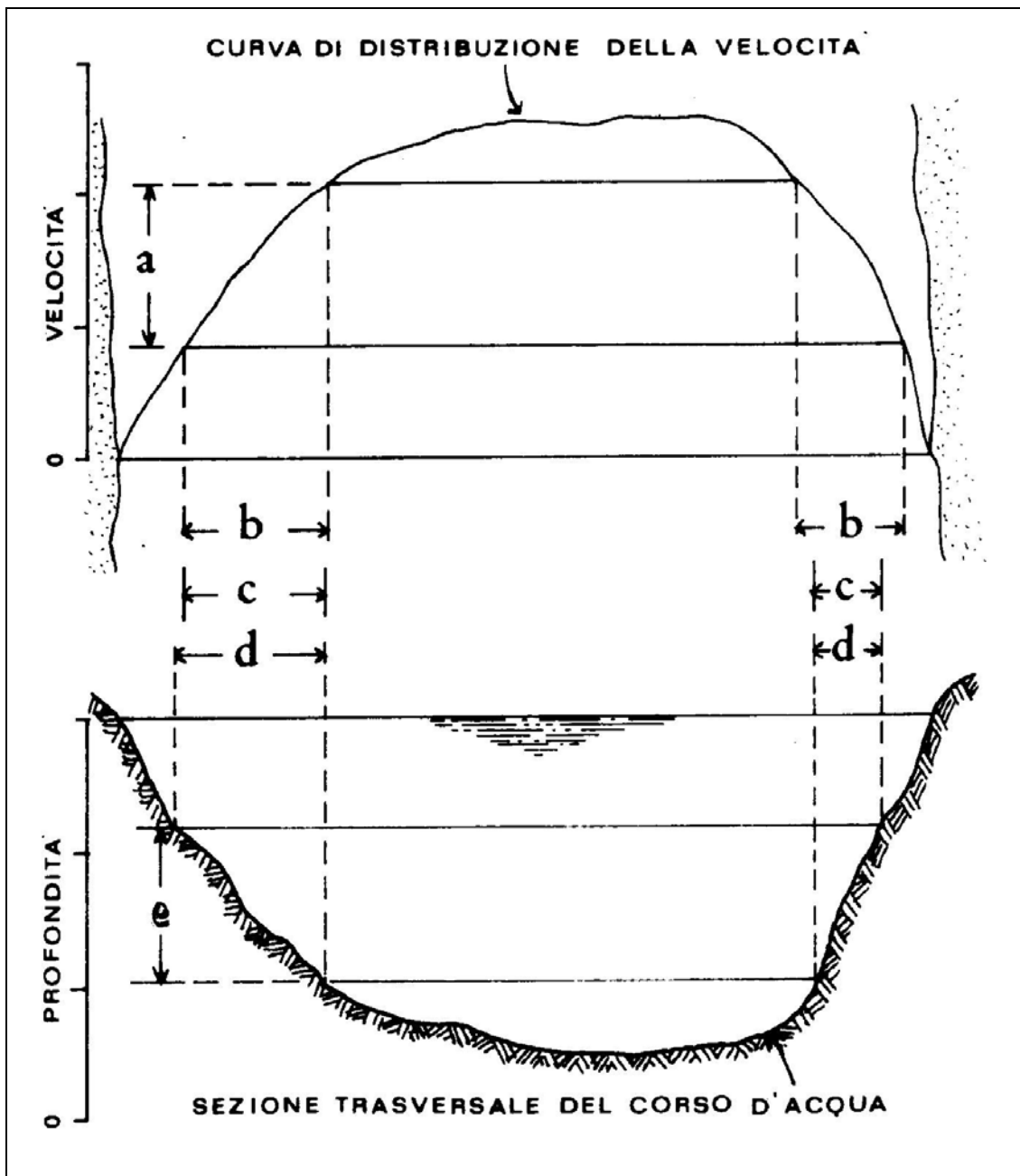


Figura 22: Metodo di McKinley per la valutazione dell'ampiezza utile dell'alveo.

#### Metodo dei "Microhabitats".

Il principio informatore è simile a quello proposto da McKinley. In questo caso, invece della larghezza, viene individuata la dimensione areale dell'habitat utile allo sviluppo delle specie animali nei loro diversi stadi di vita. I parametri utilizzati in questo caso per caratterizzare l'idoneità di una porzione della sezione idrica (cella) sono la velocità, la profondità dell'acqua e le caratteristiche del substrato. L'idoneità di ciascuna cella è pesato mediante uno o più indici variabili da 0 ad 1, che di norma sono

espressi graficamente in funzione dei parametri appena ricordati. Tali curve hanno tipicamente una forma a campana. A titolo esemplificativo sono rappresentate in figura 23 per un *Salmo Fario* allo stato di avannotto e di adulto. Individuato un tratto rappresentativo del corso d'acqua con caratteristiche idrauliche e morfologiche sufficientemente omogenee, si procede al rilievo della sezione trasversale ed alla sua suddivisione in  $n$  celle elementari. Per ciascuna di queste viene calcolata la velocità media  $v_i$ , la profondità media  $p_i$  e la natura del substrato  $s_i$ , codificata in base ai valori di tabella 12 sempre per un *Salmo Fario*. La dimensione areale dell'habitat utile, ovvero l'area disponibile ponderata ADP, si stima quindi in base alla relazione

$$ADP = \sum_{i=1}^n A_i f(v_i) g(p_i) h(s_i)$$

nella quale  $f$ ,  $g$  ed  $h$  sono dei coefficienti ponderali deducibili dalle già citate curve di idoneità di figura 23.

Tabella 12: Codificazione dei tipi di substrato per un *Salmo Fario* secondo Bovee (1978)

Substarto	Codice
Detrito vegetale e materiale organico	1
Argilla – Limo	2
Fango	3
Sabbia	4
Ghiaia	5
Ciottoli – Pietre	6
Massi	7
Fondo roccioso	8

L'ADP può essere espressa in funzione della portata per diversi stati idraulici. La curva ADP-Q che ne consegue è tipicamente caratterizzata da un unico massimo, passa per l'origine ed è fortemente asimmetrica con coda a destra che tende asintoticamente a zero. La portata che massimizza tale curva rappresenta la portata ottimale per lo sviluppo della specie considerata e del relativo stato vitale.

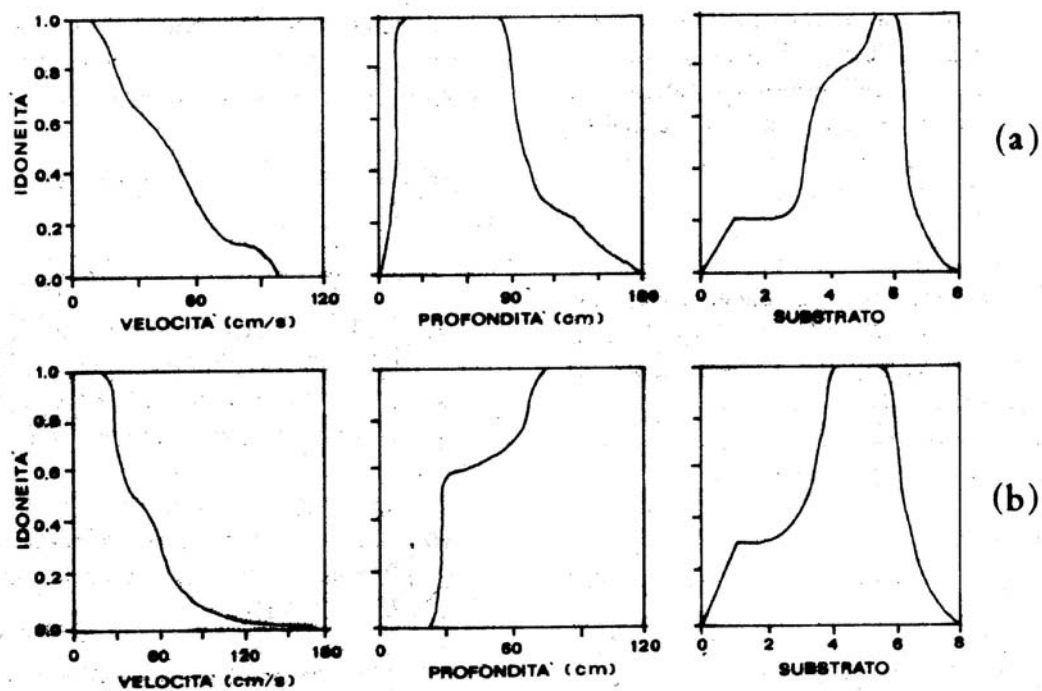


Figura 23a e 23b: Curve di idoneità per la *Salmo Fario* allo stadio di avannotto ed adulto.

## 5.2. ANALISI CRITICA DEI METODI DISCUSSI

Nonostante le apparenti differenze riscontrate in ciascuno dei metodi analizzati, comune a tutti è l'esigenza di stimare un particolare valore di portata tale da salvaguardare l'ecosistema fluviale inteso come habitat per lo sviluppo di particolari specie ittiche. Proprio per tale motivo, appare più opportuno definire tale valore con la dizione "portata minima raccomandata"  $Q_r$ , indipendentemente dalle specifiche finalità per la quale è determinata.

Come accennato nelle premesse, i metodi esaminati possono essere inquadrati in due gruppi principali: *metodi regionali*, *metodi sperimentali*.

Il primo riunisce un insieme di metodi che esprimono la  $Q_r$  in funzione di variabili idrologiche e morfologiche di bacino e pertanto costituiscono dei veri e propri modelli di regionalizzazione. Schematizzando ulteriormente, possono distinguersi quattro approcci diversi per la stima della  $Q_r$  a seconda delle variabili indipendenti adottate:

- *variabili morfologiche*: appartengono a questa categoria tutti i metodi basati sulla definizione di un contributo specifico e la variabile indipendente è la sola superficie di bacino. Di norma, come ulteriore semplificazione, il valore del contributo specifico minimo è assunto costante in un ambito territoriale abbastanza ampio (Provincia di Trento, Provincia di Bolzano, Valtellina, Provincia di

Torino). Il pregio di tale approccio sta tutto nella semplicità della procedura di calcolo e nella oggettività delle determinazioni. I limiti più significativi sono da attribuire alla impossibilità di rappresentare situazioni territoriali particolari. Per tale motivo, sono richiesti, al fine di aumentare l'accuratezza delle determinazioni, alcuni fattori correttivi, peraltro già introdotti da alcuni Enti (Provincia di Torino, Valtellina);

- *variabili idrologiche semplici*: a questa categoria appartengono numerosi dei metodi analizzati. La portata  $Q_r$  viene fatta dipendere, di solito secondo legami di diretta proporzionalità, da alcuni valori caratteristici del deflusso nella sezione di interesse. Ad esempio la portata media mensile nel metodo Baxter; la portata media annua nel caso della normativa francese; la portata fluente istantanea nel caso della Regione Piemonte relativamente all'impianto Enel sul torrente Anza; la portata annuale secondo il metodo Montana. A meno della corretta determinazione dei coefficienti di proporzionalità, una caratteristica sicuramente positiva di tale approccio è quella di ancorare la stima di  $Q_r$  a valori di portata effettivamente defluite in alveo da cui dipende lo sviluppo delle biocenosi acquatiche;
- *variabili idrologiche e morfologiche*: possono ascrivere a questa categoria tutti i metodi che esprimono una equazione di regressione tra la portata  $Q_r$  ed alcune variabili idro-morfologiche. Un esempio in tal senso è rappresentato dal metodo Rantz nel quale le caratteristiche idrologiche sono espresse dalla portata media e le caratteristiche morfologiche dall'area del bacino. Le limitazioni di tale approccio sono identiche a quelle manifestate a proposito dei metodi basati su variabili morfologiche. Conservandone tutti i pregi, offrono rispetto a questi un maggior grado di approssimazione conseguente ad una più accurata scelta delle variabili indipendenti;
- *variabili statistiche*: possono essere attribuiti a questa categoria tutti i metodi basati sulla curva di durata dei deflussi. Nel caso più semplice (metodo della curva di durata), fissata la durata caratteristica della portata  $Q_r$ , questa può essere immediatamente dedotta per ogni sezione ove sia stimabile la curva di durata dei deflussi. Altrettanto semplice è il metodo basato sul  $Q_{7,10}$ . Più articolato è l'approccio proposto dalla normativa Svizzera in quanto, stabilita una durata di riferimento (347 giorni), il valore di  $Q_r$  è espresso in funzione di  $Q_{347}$ . Vale per questi metodi quanto già detto, in termini positivi, a proposito delle variabili idrologiche semplici, in quanto è indubbio che la portata  $Q_r$  dipenda dalle vicende idrologiche del corso d'acqua. In particolare è ragionevole ammettere che tale approccio presenti un grado di approssimazione maggiore di quelli idrologici semplici, in quanto la portata  $Q_r$  può ritenersi più direttamente legata ai minimi valori dei deflussi ( $Q_{347}$ ,  $Q_{7,10}$ ).

Il secondo gruppo riunisce metodi, definibili sperimentali, la cui caratteristica peculiare è la singolarità della stima del  $Q_r$ . A meno di costituire la base per la taratura di modelli di regionalizzazione, tali determinazioni hanno valore esclusivamente locale e limitato

alla specie ittica considerata. Fanno parte di questo gruppo sostanzialmente le due ultime procedure discusse:

- *metodi sperimentali semplici*: la portata  $Q_r$  è correlata al contorno bagnato, o più semplicemente alla larghezza della sezione, utile per lo sviluppo della specie animale considerata. In corrispondenza del massimo di tale curva può essere individuata la portata ottimale. La semplicità è da ascrivere al criterio di solito binario (on-off) di valutazione dell'idoneità di alcuni parametri ambientali.
- *metodi sperimentali complessi*: sono, come visto, concettualmente simili ai precedenti. La complessità consegue dall'uso di particolari curve continue per valutare gli ambiti di idoneità dei parametri ambientali. Il risultato dei rilievi consente la taratura di una curva che correla l'Area Ponderale Utile (ADP) per lo sviluppo della specie animale di riferimento alla  $Q_r$ .

### 5.3. IL CASO DEL BACINO DEL FIUME ARNO

L'approccio del presente studio al tema del deflusso minimo vitale nel bacino del Fiume Arno è più rivolto a predisporre delle metodologie e degli strumenti operativi per valutarne l'effetto nell'ambito della gestione della risorsa idrica, piuttosto che definirne il valore nei vari tronchi di interesse.

Tuttavia le elaborazioni condotte hanno sicuramente portato all'individuazione di valori di portata significativi anche a livello di indicatori di DMV. In particolare nell'ambito dei metodi regionali a variabili statistiche è stato calcolato sia il valore del  $Q_{7,10}$ , sia i valori dell'intera curva di durata ed in particolare il  $Q_{355}$ .

Nella tabella 13 sono riportati tali dati, precisando che i valori naturali sono chiaramente condizionati dal quadro dei prelievi, pertanto a livello di valori puntuali in condizioni di magra un aggiornamento del quadro dei prelievi o delle leggi d'uso può comportare anche delle variazioni non trascurabili.

I valori naturali delle portate in tabella 13 sono calcolati anche a livello di regionalizzazione, quindi per tutti 60215 tronchi che schematizzano il reticolo idrografico. Tali valori infatti possono essere utilizzati nella procedura *simula* → *calcolo misurabili*, dove si può optare per definire una portata di deflusso minimo vitale, quindi non disponibile per i prelievi, secondo tre opportunità:  $Q=0$ ;  $Q=Q_{7,10}$ ;  $Q=Q_{355}$ ;  $Q=Q_n$  con  $n$  generica durata della curva.

Tabella 13: Valori di Q7,10 e Q355, misurati e naturali nelle stazioni del S.I.  
(N.E. dati non elaborati)

Codice	Stazione	Fiume	S [KM^2]	Anni elaborati	Q7-10mis	Q7-10nat	Q355mis	Q355nat
4568	Bucine automatica	Ambra	160.11	6	0.014	0.034	0.02	0.03
4660	Nave di Rosano (pre-Levane)	Arno	4124.98	23	0.845	N.E.	1.52	N.E.
4659	Nave di Rosano automatica	Arno	4124.98	58	1.206	1.408	2.09	2.36
5190	San Giovanni alla Vena	Arno	8202.94	42	3.307	5.789	5.26	6.43
4380	Stia	Arno	60.202	14	0.049	0.050	0.08	0.08
4379	Stia automatica	Arno	60.202	0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
4410	Subbiano	Arno	704.619	42	0.324	0.462	0.56	0.68
4411	Subbiano automatica	Arno	704.619	0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
4780	Gamberame	Bisenzio	150.828	22	0.220	0.230	0.36	0.36
4779	Gamberame automatica	Bisenzio	150.828	10	0.163	0.196	0.23	0.24
4750	Praticello	Bisenzio	59.619	17	0.089	0.090	0.12	0.12
4791	San Piero a Ponti automatica	Bisenzio	253.64	10	0.071	0.107	0.13	0.17
4520	Ponte Ferrovia Fi-Roma	Canale della Chiana	1285.18	33	0.063	0.275	0.15	0.32
4521	Ponte Ferrovia Fi-Roma automatica	Canale della Chiana	1285.18	0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
4970	Castelfiorentino	Elsa	798.309	18	0.792	0.871	1.21	1.24
4971	Castelfiorentino automatica	Elsa	798.309	10	0.643	0.874	0.74	0.87
5130	Capannoli	Era	335.313	19	0.014	0.036	0.02	0.05
5131	Capannoli automatica	Era	335.313	7	0.010	0.038	0.02	0.03
5050	Molino Parlanti	Candalla	0.61	24	0.000	0.000	0.00	0.00
4710	Ponte dei Falciani	Greve	116.057	17	0.000	0.001	0.01	0.01
4723	Tavarnuzze automatica	Greve	135.23	4	0.000	0.003	0.00	0.00
5040	Colonna	Nievole	39.337	29	0.000	0.004	0.00	0.01
4820	Ponte di Calciaiola	Ombrone	31	12	0.025	0.034	0.03	0.04
4910	Sambuca	Pesa	113.281	23	0.008	0.011	0.02	0.02
4640	Fornacina	Sieve	809.131	32	0.351	0.650	0.60	0.74
4641	Fornacina automatica	Sieve	809.131	5	0.238	0.277	0.49	N.E.
4610	Ponte del Bilancino	Sieve	150.421	18	0.019	0.032	0.05	0.06
4860	Burgianico	Brana	13	23	0.009	0.012	0.01	0.02
4875	Poggio a Caiano automatica	Ombrone	443.45	10	0.661	1.285	0.89	1.48
4830	Cireglio	Vincio	1.44	7	0.001	0.001	0.00	0.00

In sintesi lo studio fornisce un quadro di valori di portate caratteristiche di magra per l'intero bacino che può essere certamente utile per delle successive valutazioni di bilancio idrico, permettendo anche di simulare diversi scenari, sia di portate minime, sia di gestione dei prelievi, in funzione degli obiettivi di tutela da raggiungere.

## 6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le valutazioni finali sono ovviamente rivolte sia agli aspetti metodologici, sia ai risultati ottenuti.

Dal primo punto di vista il modello proposto ha mostrato nuovamente la sua versatilità, a conferma delle solide basi teoriche. Per cui, anche in presenza di dati di input differenti da quelli precedentemente usati in altri ambiti, quindi in parte integrando la base dati di input ed in parte adattando le funzionalità del modello, è stato possibile raggiungere comunque gli obiettivi finali: *i)* calcolo delle portate naturali nelle sezioni strumentate; *ii)* regionalizzazione dell'informazione idrologica; *iii)* stima delle curve di durata misurabili e residue sull'intero bacino. Il tutto con un dettaglio, definito dai 60215 tronchi, certamente esuberante rispetto agli obiettivi dello studio, ma che comunque non ha inciso in maniera significativa sul raggiungimento dei risultati, se non in termini temporali legati alla gestione di un reticolo idrografico così complesso.

Se da un punto di vista metodologico il risultato è certamente soddisfacente, dal secondo punto di vista dei risultati ottenuti le problematiche sono più ampie. Infatti la grande mole di numeri di output (circa 66 milioni di valori considerando solo le curve di durata naturali, misurabili e residue per 60215 tronchi) pone un problema non solo di verifica puntuale, a livello di curve di durata (circa 180000 curve), ma anche di valutazione complessiva.

Certamente esistendo la possibilità di scegliere uno qualsiasi dei 60215 tronchi (*Aste*→*Visualizza valori*) e di evidenziarne le caratteristiche fondamentali in termini di idrogeologia, geologia e curve di durata, il problema di testare tale output appare evidente. Al momento le verifiche più immediate sono quelle sui tronchi in cui sono localizzate le stazioni di misura più affidabili, procedimento che di fatto consente la validazione del modello, successivamente si potrà approfondire la verifica per sottobacini principali, mentre una validazione globale si avrà unicamente con l'utilizzo nel tempo del sistema.

Unitamente a quanto sopra, occorre porre l'attenzione sul quadro dei prelievi, in quanto rappresenta l'elemento su cui lo strumento messo a punto deve consentire di esercitare la maggiore influenza in termini di aggiornamento. A tale proposito risulta fondamentale la collocazione di tutto il sistema nella rete internet, secondo una logica server-client. Oltre l'aggiornamento, allo stato attuale vi sono alcuni prelievi sulla cui gestione è fondamentale un approfondimento in termini di conoscenze, talvolta non ben definite, ed anche di monitoraggio vero e proprio. In particolare si possono citare quelli più recenti nel tempo, ossia i rilasci dall'invaso di Bilancino e le immissioni dall'invaso di Montedoglio sul Fiume Tevere.

Da ultimo, seppure proseguendo l'attività di studio nell'ambito dei termini contrattuali, si vuole sottolineare che allo stato attuale qualsiasi dato e risultato estratto dalla pagina Web "*Arno\_River*" necessita di una dovuta fase di interpretazione, precisazione questa necessaria in virtù del libero accesso alla pagina suddetta.