

4 - IL BILANCIO IDROGEOLOGICO DEL BACINO DELL'ARNO

Il *bilancio idrologico* di un bacino idrografico, come è noto, deve essere riferito ad un periodo di tempo sufficientemente lungo (almeno 30 anni) da includere le variazioni pluriennali delle precipitazioni e della temperatura.

Nei suoi termini essenziali esso è sintetizzato dalla relazione:

$$P = E + D + I$$

dove P = afflussi meteorici, E = evapotraspirazione, D = deflussi superficiali, I = infiltrazione.

Tuttavia l'acqua che si infiltra nel sottosuolo prima o poi torna in superficie (per vie naturali, tramite le sorgenti e l'alimentazione diretta dei corsi d'acqua, o artificialmente, cioè estratta dai pozzi) e quindi si suddivide nuovamente fra E e D. Pertanto, in un bacino idrografico che coincide col bacino idrogeologico (ovvero che non ha scambi sotterranei con i bacini contigui), il bilancio idrologico pluriennale può essere ridotto alla forma

$$P = E + D$$

in quanto l'acqua che si infiltra corrisponde, mediamente, a quella che torna in superficie (sempre che i prelievi dal sottosuolo non riducano sostanzialmente le riserve).

E' evidente che il bilancio idrologico così espresso non dà indicazioni sulle risorse idriche sotterranee: considera l'infiltrazione e la riemersione in superficie una "partita di giro", di cui non importa conoscere l'entità.

Per redigere un *bilancio idrogeologico*, che comprenda anche le risorse idriche sotterranee, è necessario analizzare gli idrogrammi delle portate alla stazione di chiusura del bacino, scomponendoli in maniera da separare il deflusso di base, che è quella parte del deflusso che corrisponde appunto all'acqua che riemerge dal sottosuolo: in pratica quello che il fiume porta quando si è esaurito il ruscellamento superficiale e quello ipodermico che seguono una precipitazione.

La curva di esaurimento delle portate del fiume, quella corrispondente al periodo senza piogge significative (nel bacino dell'Arno, in genere da maggio a settembre) consente anche di calcolare le riserve stagionali, rimaste in un qualsiasi momento del periodo di esaurimento. La relazione più usata, anche per la sua semplicità, è la formula di Maillet:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

Dove Q_t e Q_0 sono le portate espresse in m^3/s al generico tempo t e al tempo t_0 , t è il tempo espresso in giorni e α è un coefficiente, detto coefficiente di esaurimento, che esprime la velocità con cui la portata decresce. In un diagramma semilogaritmico ($\log Q - t$) la curva esponenziale diviene una retta, che permette di calcolare facilmente il coefficiente angolare, anche col metodo grafico.

4.1 - Il bilancio idrologico del bacino

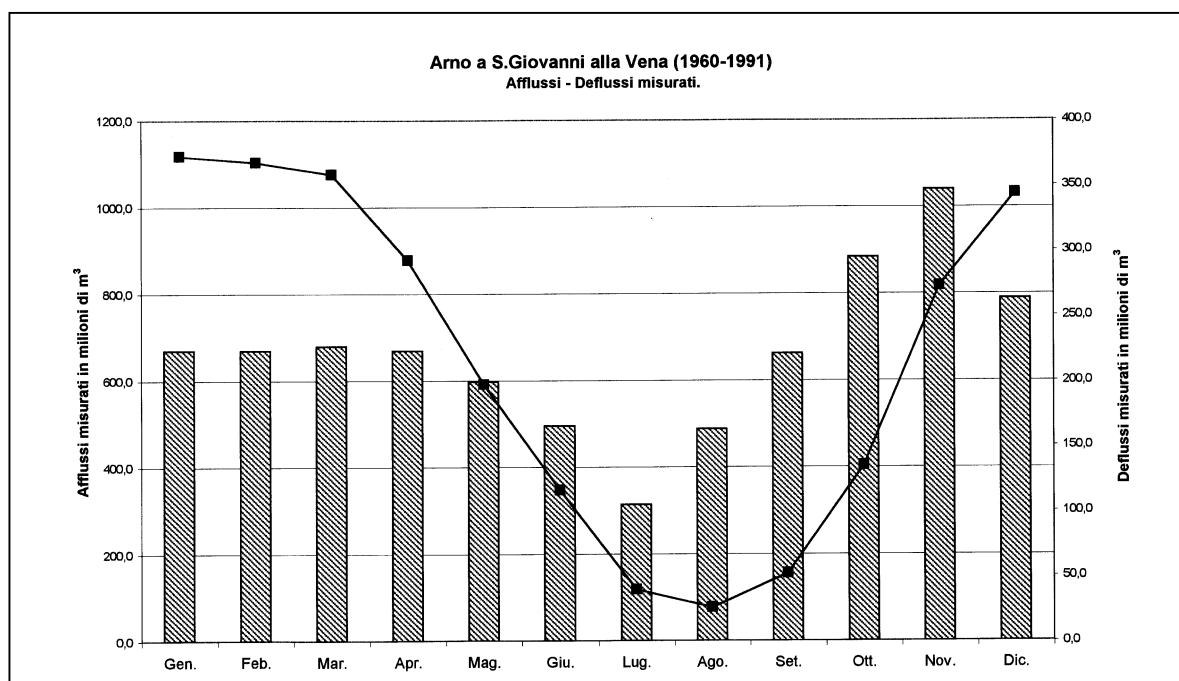
Il bilancio idrologico del bacino dell'Arno può essere redatto con riferimento alla stazione di misura delle portate di S. Giovanni alla Vena, che si trova a circa 37 Km dalla foce (a valle di quel punto non ci sono apporti al fiume, per cui da un punto di vista idrografico la pianura di Pisa non è considerata bacino dell'Arno). Per il periodo 1960 -1991 abbiamo:

$$\begin{array}{rcl} P & = & D \quad + \quad E \\ 972 & = & 314 \quad + \quad 658 \end{array}$$

con i termini espressi in mm d'acqua.

Poiché la superficie del bacino sotteso alla sezione di S. Giovanni alla Vena (PI) è di 8186 Km² (su un totale di 8228 Km²), la disponibilità idrica complessiva, ovvero il deflusso medio annuo, corrisponde a 81,6 m³/s, pari a circa 2574 milioni di m³ di acqua.

Il regime medio delle portate, insieme con quello delle precipitazioni nel bacino, è riportato nella figura allegata.



Portate medie mensili dell'Arno a S. Giovanni alla Vena (linea) e precipitazioni nel bacino (istogramma) nel periodo 1960-1991.

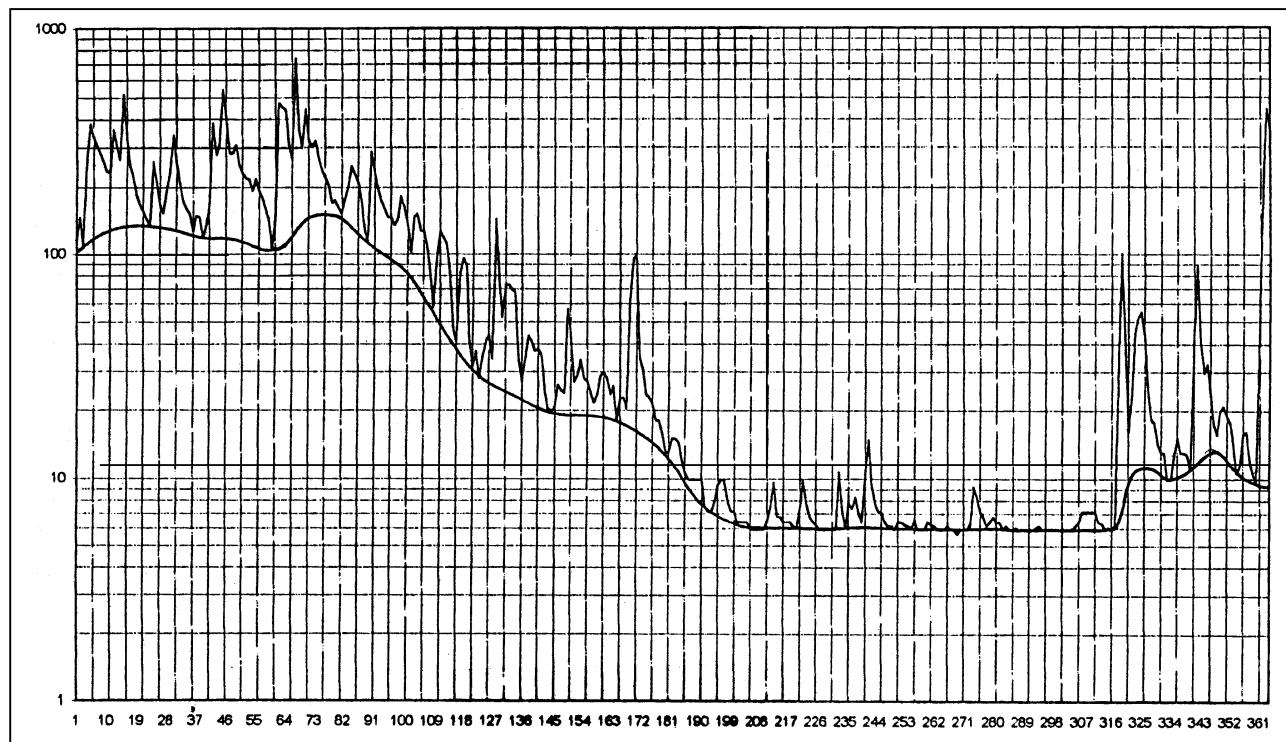
Un primo tentativo di separare il deflusso dell'Arno nelle sue componenti, ruscellamento superficiale e deflusso di base, è stato fatto per gli anni 1969-1970-1971-1972. Il metodo usato è quello di disegnare la curva che unisce tutti i minimi relativi dell'idrogramma (come esempio viene riportato nella pagina seguente l'idrogramma relativo all'anno 1970): in prima approssimazione le portate comprese al di sotto di tale curva sono da considerarsi quelle di base. I risultati ottenuti sono i seguenti.

Anno	Portata media totale Qt	Portata media di base Qb	Qb/Qt
1969	84,33 mc/s	40,59 mc/s	0,481
1970	85,90 mc/s	42,77 mc/s	0,498
1971	63,10 mc/s	32,74 mc/s	0,519
1972	52,29 mc/s	25,33 mc/s	0,484
media	71,41 mc/s	35,36 mc/s	0,495

I dati sarebbero più significativi se il calcolo fosse fatto per un maggior numero di anni. Tuttavia possiamo osservare che, nonostante nei quattro anni ci siano state delle portate medie totali anche decisamente diverse, il rapporto Qb/Qt cambia di poco ed ha il valore medio di 0,495. Quindi il metodo fornisce un risultato significativo, caratteristico del bacino.

Tuttavia un flusso di base pari al 50% del deflusso totale sembra piuttosto elevato per un bacino nel quale le risorse idriche sotterranee sono scarse, per la prevalenza di rocce a bassa permeabilità. E' probabile che la curva che unisce i minimi comprenda, oltre al deflusso di base, anche il deflusso ipodermico (l'acqua che si infila nel sottosuolo e ne riemerge dopo pochi giorni, o anche qualche ora, circolando nelle estese coperture detritiche), nonché una parte del ruscellamento superficiale delle parti

più lontane del bacino (*i tempi di corrivazione* per la sezione di S. Giovanni alla Vena probabilmente arrivano anche a 7-10 giorni).



Portate medie giornaliere dell'Arno a S. Giovanni alla Vena (anno 1970) e separazione approssimativa del deflusso di base.

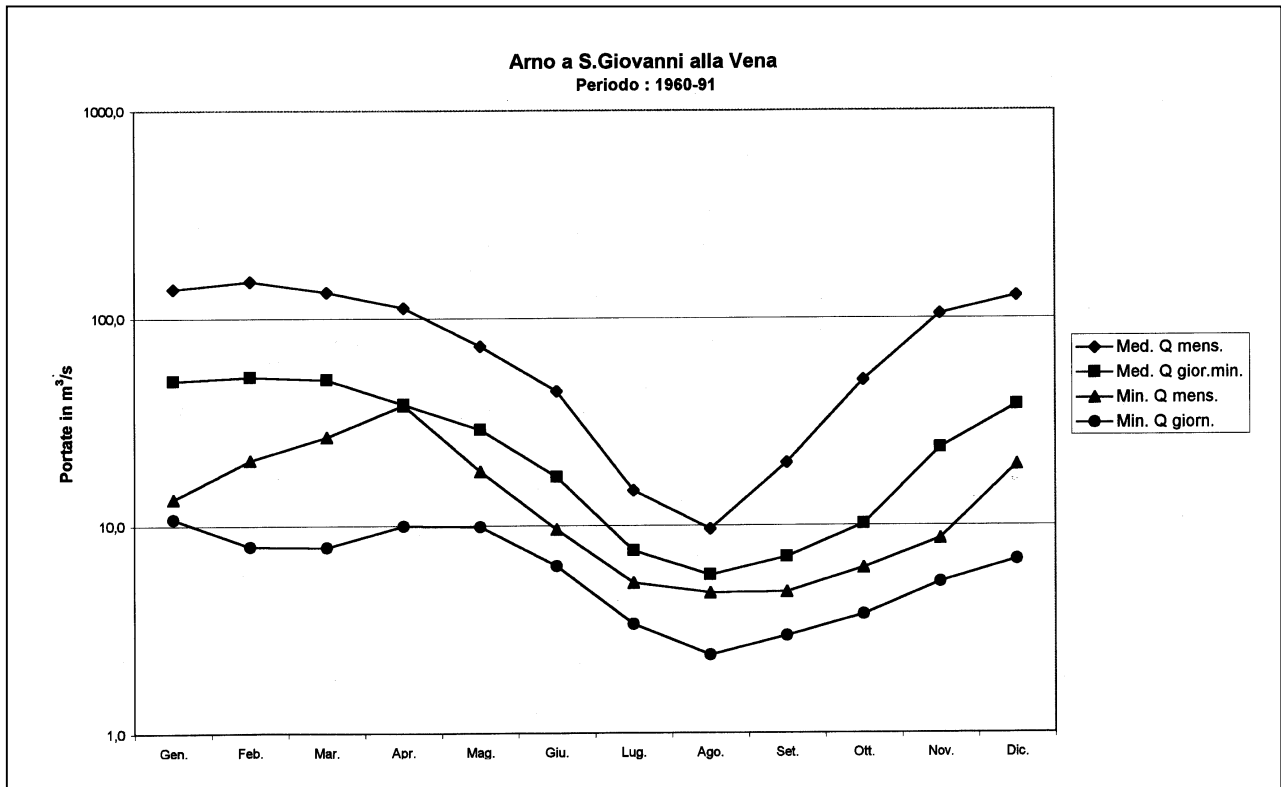
Una osservazione interessante, che si può fare analizzando gli idrogrammi dell'Arno a S. Giovanni alla Vena, è che questi non mostrano una vera curva di esaurimento durante il periodo asciutto: le portate si stabilizzano intorno a $6 \text{ m}^3/\text{s}$ e tali restano fino all'inizio delle piogge autunnali. Questo dipende dal fatto che le portate minime dell'Arno sono sostenute dagli scarichi di acque usate (e almeno in parte depurate), forse più che dalle emergenze naturali delle acque sotterranee: in sostanza sono i prelievi dalle falde che stabilizzano le portate minime dell'Arno.

A questi scarichi sono da aggiungere i rilasci delle acque immagazzinate nei bacini artificiali. Si può ricordare, a tale proposito, che di regola sono gli scarichi programmati dalla diga di Levane che sostengono le portate di magra a Firenze, consentendo all'acquedotto comunale di prelevare dall'Arno l'acqua necessaria.

Un metodo certamente più valido per separare le diverse componenti del deflusso è quello di Boni e al. (1993), basato sulle *portate mensili caratteristiche*. Esso consiste nel selezionare e mettere a confronto, in ogni mese, due valori medi e due valori estremi di portata, desunti dai dati giornalieri rilevati in una stazione di misura delle portate che abbia operato per diversi anni, anche in modo non continuo. Con tali dati si ricostruiscono (vedi la figura della pagina seguente):

- la media delle portate mensili del periodo considerato, che corrisponde al deflusso totale;
- la media delle portate giornaliere minime di ciascun mese: questa è espressione significativa del flusso di base nei periodi di scarse precipitazioni, quando il ruscellamento superficiale è ridotto a valori trascurabili;
- la minima delle portate mensili del periodo: essa può essere considerata rappresentativa del flusso di base perché presumibilmente rilevato in un periodo durante il quale il corso d'acqua non è stato alimentato da ruscellamento;
- La curva delle portate minime giornaliere rilevate nel periodo, che può essere considerata corrispondente al flusso di base nelle condizioni di aridità estrema del periodo.

In pratica il deflusso di base si può considerare corrispondente alla terza curva, più metà del campo compreso fra la seconda e la terza curva.



Portate mensili dell'Arno a S. Giovanni alla Vena (periodo 1925-1943; 1946; 1948-1956)

Applicando questo metodo, il deflusso di base dell'Arno a S. Giovanni alla Vena risulta pari a circa il 30% del deflusso totale.

In sintesi, dato che il deflusso medio annuo a S. Giovanni alla Vena è di 2574 milioni di m³, il deflusso di base annuo, corrispondente all'acqua che si infila nelle rocce del bacino e ne riemerge, è di circa 772 milioni di m³.

La separazione del deflusso di base dal deflusso totale è stata fatta, oltre che per l'intero bacino idrografico dell'Arno, anche per i sottobacini dell'Arno sottesi da stazioni di misura delle portate. E' quindi possibile separare, nel deflusso dell'Arno al San Giovanni alla Vena, i contributi dei diversi sottobacini alla portata di base, e quindi le risorse idriche sotterranee dei sottobacini stessi.

Casentino

La stazione idrometrografica di Subbiano (bacino sotteso = 738 Km²) permette un calcolo del bilancio idrologico del Casentino. Esprimendo i dati in mm, abbiamo:

$$\begin{array}{rclcl} P & = & D & + & E \\ 1235 & = & 781 & + & 454 \end{array}$$

Il deflusso totale risulta di 577 Mm³/anno. Il deflusso di base, calcolato col metodo delle portate medie caratteristiche, risulta intorno al 27% di quello totale; pertanto il contributo delle acque sotterranee al deflusso è di 156 Mm³/anno, pari a 4,9 m³/s di portata media.

Per il Casentino abbiamo pochi dati relativi alle acque di sottosuolo.

Canuti e al. (1974) hanno fatto il censimento delle sorgenti: la portata captata risultava di 5,6 Mm³/anno, quella da captare di 0,6 Mm³/anno.

Dalla falda della pianura alluvionale i pozzi comunali prelevano 40.000 m³/anno (Tarchi, 1997). Non sono noti dati sugli attingimenti privati, che devono essere tuttavia modesti, dato che i pozzi sono complessivamente pochi e la falda è poco produttiva.

Val di Chiana

La stazione di misura delle portate del Canale Maestro della Chiana (1272 Km² di bacino sotteso) permette il seguente bilancio idrologico della Val di Chiana:

$$\begin{array}{rcl} P & = & D + E \\ 790 & = & 194 + 596 \end{array}$$

Il deflusso totale risulta di 246 Mm³/anno. Il deflusso di base risulta circa il 19% di quello totale, ovvero 46,7 Mm³/anno, pari a 1,5 m³/s di portata media.

Nella Valdichiana i pozzi degli acquedotti pubblici prelevano dal sottosuolo circa 0,18 mc/s (Pranzini, 1996), pari a 5,68 Mm³/anno. I pozzi privati sono stimati intorno a 20.000, la maggior parte dei quali ad uso agricolo. Calcolando un prelievo medio per pozzo di 100 mc/anno si ottiene un prelievo complessivo di circa 20 Mm³/anno. Si tratta ovviamente di un dato assolutamente incerto, da considerare come ordine di grandezza.

Non si hanno dati sulla portata complessiva delle sorgenti.

Mugello

La stazione idrometrica di Fornacina sulla Sieve (bacino sotteso 831 Km²) consente il bilancio idrologico del Mugello:

$$\begin{array}{rcl} P & = & D + E \\ 1104 & = & 537 + 567 \end{array}$$

Il deflusso totale risulta di 446 Mm³/anno. Il deflusso di base è stato calcolato in 107 Mm³/anno (24% di quello totale), pari a 3,4 m³/s di portata media.

Gli acquedotti pubblici del Mugello distribuiscono circa 7,5 Mm³/anno, in parte da sorgenti ed in parte dai pozzi. Non si hanno dati relativi ai pozzi privati, né sulle portate delle sorgenti oltre quelle degli acquedotti pubblici.

Valdarno Superiore

I deflussi originati dalle precipitazioni nel Valdarno Superiore possono essere calcolati, sia pure con qualche approssimazione, sottraendo alle portate registrate alla stazione della Nave di Rosano (subito a monte di Firenze) le portate del Casentino, della Val di Chiana e del Mugello; per queste ultime possiamo fare riferimento alla stazione di Fornacina sulla Sieve.

Per la Nave di Rosano (bacino sotteso: 4083 Km²) abbiamo:

$$\begin{array}{rcl} P & = & D + E \\ 981 & = & 442 + 559 \end{array}$$

dove 422 mm di deflusso corrispondono a 1725 Mm³/anno. Il deflusso di base risulta di 420 Mm³/anno (circa il 24% di quello totale).

Pertanto il deflusso totale dal Valdarno Superiore risulta:

$$1725 - (577 + 246 + 446) = 456 \text{ Mm}^3/\text{anno}.$$

Ancora per differenza possiamo calcolare il deflusso di base del Valdarno Superiore:

$$420 - (156 + 46,7 + 107) = 110,3 \text{ Mm}^3/\text{anno}.$$

I pozzi e le sorgenti sfruttati dagli acquedotti pubblici forniscono complessivamente circa 63 Mm³/anno (Pranzini, 1996).

Non si conoscono i prelievi dalle falde da parte dei pozzi privati.

La portata media complessiva delle sorgenti presenti nelle arenarie del versante del Pratomagno che guarda il Valdarno Superiore è stata calcolata in 96,8 l/s, pari a 3,05 Mm³/anno (Pranzini, 1992).

Valle del Bisenzio

La stazione idrometrica di Gamberame, poco prima dell'ingresso del Bisenzio nella pianura di Prato, consente il bilancio idrologico della parte montana della valle del Bisenzio (150 Km²).

$$\begin{array}{rclcl} P & = & D & + & E \\ 1426 & = & 785 & + & 641 \end{array}$$

Il deflusso totale è di 118 Mm³/anno. Il deflusso di base risulta di 42,5 Mm³/anno, pari al 36% del deflusso totale. Esso corrisponde ad una portata media di 1,3 m³/s.

Valdarno Medio

Non ci sono stazioni idrometriche all'uscita dell'Arno dal Valdarno Medio, che consentano il bilancio idrologico del bacino. Il deflusso totale può essere calcolato, sia pure in maniera approssimativa, dalla differenza P - E. Occorre però ricordare che il Valdarno Medio non è un bacino idrografico, ma il tratto intermedio di più sottobacini dell'Arno, per cui occorre considerare i diversi apporti. Per di più, l'infiltrazione negli alvei fluviali (dell'Arno, del Bisenzio e dell'Ombrone in particolare) rappresenta un'importante componente del bilancio idrogeologico della pianura alluvionale.

Un calcolo approssimativo dei deflussi in entrata nella pianura del Valdarno Medio fornisce i seguenti valori:

- alla pianura di Pistoia (dall'Ombrone e suoi affluenti).	182	Mm ³ /anno
- dall'Arno:	1725	"
- dalla Greve	35	"
- da Mugnone e Terzolle:	20	"
- dal Bisenzio:	140	"
- dall'Agna	10	"
	<hr/>	
Totale	2112	Mm ³ /anno

Per calcolare i deflussi in uscita possiamo aggiungere ai deflussi in entrata l'acqua che piove direttamente sulla pianura e che si trasforma in deflusso. Si consideri che il bacino del Valdarno Medio non perde acqua sotterranea verso i bacini contigui, se non in quantità trascurabile ai fini del bilancio. In attesa di un calcolo più preciso, considerate le precipitazioni medie nella pianura e le perdite per evapotraspirazione, possiamo valutare in 80 Mm³/anno il deflusso che ha origine nel bacino.

Pertanto il deflusso in uscita sarebbe di circa 2192 Mm³/anno. La componente deflusso di base può essere stimata intorno al 30%, quindi circa 756 Mm³/anno.

Valdinievole

Un calcolo del bilancio idrogeologico della pianura della Valdinievole è stato fatto da Pranzini e G.T.I. di Pistoia (1995), con l'equazione:

$$\begin{array}{ccccccc} De & + & P & + & Pr & = & E & + & I & + & Du \\ 138,53 & & 125,96 & & 8,38 & & 80,10 & & 35,0 & & 157,77 \end{array}$$

dove tutti i termini sono in milioni di m³/anno e:

De = deflussi in entrata

P = precipitazioni

Pr = prelievi dalle falde

E = evapotraspirazione
 I = infiltrazione efficace
 Du = deflussi in uscita

Del deflusso totale in uscita, circa 158 Mm³/anno, la componente di base può essere valutata intorno al 20%, ovvero 31,6 Mm³/anno.

Val d'Elsa

La stazione idrometrica di Castelfiorentino (bacino sotteso = 806 Km²) consente il bilancio di circa il 90% dell'intero bacino:

$$\begin{array}{rcl} P & = & D + E \\ 828 & = & 204 + 624 \end{array}$$

Il deflusso totale risulta di 164 Mm³/anno; esso può essere stimato pari a 182 Mm³/anno riferito all'intero bacino. La portata di base, calcolata uguale al 36% del deflusso totale, risulterebbe di 66 Mm³/anno, ovvero 2,1 m³/s di portata media.

Valdarno Inferiore

Il contributo del Valdarno Inferiore al deflusso dell'Arno a S.Giovanni alla Vena può essere calcolato per differenza fra il deflusso totale a questa stazione idrometrica (2574 Mm³/anno) e i deflussi calcolati per le altre parti del bacino dell'Arno. Il calcolo è il seguente:

$$\begin{array}{l} D \text{ totale} - (D \text{ Valdarno Medio} + D \text{ Valdinievole} + D \text{ Elsa}) = D \text{ Valdarno Inferiore} \\ 2574 - (2192 + 158 + 164) = 60 \text{ Mm}^3/\text{anno} \end{array}$$

I 60 Mm³/anno corrispondono al deflusso dalla Val di Pesa, dal Valdarno Inferiore e dalla pianura di Lucca. Il contributo del deflusso di base può essere valutato circa il 25% di quello totale, quindi circa 15 Mm³/anno.

4.2 - Il bilancio idrogeologico dei singoli acquiferi

Il *bilancio idrogeologico* completo di una singola unità areale può essere espresso da:

$$P + As + Au + Ai + Po = E + D + I + Du + Ae + R$$

dove, oltre ai termini già definiti, As = afflussi di superficie, Au = afflussi di sottosuolo, Ai = acqua importata da aree contigue (mediante tubi o canali), Po = acqua estratta dal sottosuolo mediante pompaggi, Du = deflussi di sottosuolo, Ae = acqua esportata verso aree contigue, R = riserve sotterranee.

La redazione dei bilanci idrogeologici richiede quindi una serie di dati di non semplice reperimento, oltre ad una buona conoscenza della geologia di sottosuolo.

Per gli *acquiferi montani* il dato di bilancio essenziale è l'infiltrazione media annua. Questa può essere calcolata conoscendo la portata media delle sorgenti; occorre però che le condizioni geologico-strutturali siano tali che tutta l'acqua di infiltrazione riemerga alle sorgenti presenti entro l'affioramento stesso o al suo limite.

Inoltre bisogna tener conto del fatto che la portata delle sorgenti vere e proprie fornisce solo una parte del totale delle emergenze idriche dal sottosuolo: buona parte dell'acqua riemerge in forma diffusa (senza possibilità di essere misurata) od occulta (negli alvei); e questa parte è tanto maggiore quanto minore è la permeabilità delle rocce.

Nel bacino dell'Arno, solo per alcune aree montane si dispone di misure delle portate delle sorgenti abbastanza complete da fornire il valore dell'infiltrazione. In particolare sono state misurate-calcolate le portate totali delle sorgenti delle seguenti unità geografico-geologiche.

I monti della Calvana (Formazione di Monte Morello) (Cicali e Pranzini, 1987)

Il versante meridionale del Pratomagno (Arenarie del Pratomagno) (Pranzini, 1992)

I monti Pistoiesi (divisi in tre parti, corrispondenti alle aree di affioramento del Macigno, delle Arenarie di M. Modino e delle Arenarie del M.Cervarola) (Pranzini, 1992)

I bacini montani del Pescia di Pescia, del Pescia di Collodi e della Nievole (Bucci, 1993)

Un calcolo assai impreciso si può fare moltiplicando le precipitazioni (P) o le precipitazioni efficaci ($P - E$) per dei coefficienti di infiltrazione reperibili in letteratura per alcune tipologie di rocce. G. Pranzini (1992) ha calcolato tale coefficiente per gli affioramenti di alcune formazioni geologiche della Toscana, sulla base della portata totale delle sorgenti: il coefficiente ottenuto non è però trasferibile tal quale ad altre aree di affioramento delle stesse formazioni geologiche, in quanto le diverse situazioni morfologiche, climatiche, vegetazionali e di uso del suolo ne influenzano il valore. Inoltre, per la maggior parte delle formazioni geologiche del bacino dell'Arno mancano questi coefficienti.

In sintesi, il calcolo delle risorse idriche degli acquiferi montani si può fare con un accurato studio delle sorgenti e delle portate di base dei corsi d'acqua che escono dall'affioramento. La maggiore difficoltà consiste nel calcolare la portata media complessiva di tutte le emergenze sorgentizie: di solito, anche gli studi più completi riguardano solo le sorgenti con portata significativa, ma le sorgenti di portata trascurabile sono tutt'altro che trascurabili nel bilancio idrico complessivo.

Per gli *acquiferi di pianura* i dati essenziali da conoscere sono di più ed il bilancio risulta ancora più difficile.

Dove le falde idriche mostrano una sostanziale stabilità dei livelli medi annui, l'infiltrazione (I) equivale alle estrazioni (Po). Se la geometria di un sistema idrogeologico di sottosuolo e le sue caratteristiche di porosità e permeabilità, sono ben conosciute, le variazioni di livello della falda (stagionali e pluriennali) possono essere confrontate con l'infiltrazione o i prelievi.

L'infiltrazione può essere calcolata, sulla base delle caratteristiche di permeabilità dei terreni, solo con una approssimazione grossolana, in quanto la ricarica non dipende solo dalla permeabilità dei depositi alluvionali affioranti, ma anche, in molte zone, soprattutto dall'infiltrazione dai corsi d'acqua. Pertanto la conoscenza dei prelievi da una falda è indispensabile per la redazione di un bilancio valido.

Relativamente alle pianure alluvionali dell'Arno e del Serchio, il bilancio idrogeologico è stato fatto (con approssimazione maggiore o minore) per:

Falda di Prato (Landini e Pranzini, 1991)

Pianura di Pistoia (Pranzini e G.T.I. Pistoia, 1996)

Pianura della Valdinievole (Pranzini e G.T.I. Pistoia, 1996)

Pianura di Lucca (Nardi, Nolledi e Rossi, 1987)

Pianura di Pisa (Baldacci, 1996)

Per il bacino dell'Arno è in corso l'elaborazione dei dati relativi alle denunce dei pozzi, ai sensi del D.Lgs. 275/1993. Questi dati consentiranno la redazione di bilanci più affidabili di quelli consentiti dall'attuale documentazione.

Il bilancio idrogeologico degli acquiferi montani e di alcuni acquiferi delle pianure alluvionali

Gli acquiferi montani

Per quanto riguarda gli acquiferi delle aree montane, si riporta, come esempio, quello relativo al rilievo carbonatico dei Monti della Calvana (situato subito a nord di Prato, esteso per 62.49 Km²), per il quale è stato fatto un accurato studio della portata delle 98 sorgenti e della portata di base dei corsi d'acqua (41) che escono dall'affioramento carbonatico (Cicali e Pranzini, 1987).

$$P = E + I + R$$
$$80.11 = 35.85 + 12.90 + 31.36 \quad \text{milioni di mc/anno}$$

$$I = Q_s + D_s$$
$$12.90 = 11.74 + 1.16 \quad \text{milioni di mc/anno}$$

dove P sono le precipitazioni
I l'infiltrazione
R il ruscellamento superficiale
Q_s la portata complessiva delle emergenze sorgentizie
D_s il deflusso sotterraneo

In sostanza 11.74 Mmc/anno dell'acqua che si infila riemergono, attraverso sorgenti oppure in forma diffusa od occulta (nell'alveo dei torrenti) all'interno dell'affioramento carbonatico, e si uniscono al ruscellamento per dare un deflusso complessivo di 43.10 Mmc/anno. 1.16 Mmc/anno vanno invece ad alimentare la falda della pianura di Prato, attraverso la zona di contatto fra i calcari e i depositi alluvionali.

Il coefficiente di infiltrazione efficace (cie=I/P-E) risulta uguale all'8.6% della disponibilità idrica, se consideriamo solo la portata delle 98 sorgenti, ed uguale al 26.4% se consideriamo anche le emergenze diffuse ed occulte.

In futuro, secondo i programmi dell'Autorità di Bacino, verranno redatti i bilanci idrogeologici degli acquiferi montani più significativi. In una prima fase questi saranno basati sugli afflussi meteorici e sui coefficienti di infiltrazione efficace relativi alle diverse litologie, ripresi dalla letteratura. In una fase successiva i bilanci saranno affinati con i dati di portata delle sorgenti.

Gli acquiferi delle pianure alluvionali

Tra i bilanci idrogeologici delle falde delle pianure alluvionali, si riportano i seguenti, ritenuti sufficientemente validi ed attendibili.

• La pianura di Prato (Landini e Pranzini, 1991)

Per la falda presente nella pianura di Prato è stato fatto un accurato bilancio idrogeologico per l'anno 1988: i vari apporti alla falda (infiltrazione areale, dal Bisenzio e dalle falde contigue) sono stati confrontati con i prelievi noti (del Consiag), mentre quelli delle industrie sono stati ricavati elaborando i dati dell'acqua trattata dai depuratori.

Il prelievo complessivo dalla falda fu, nel 1988, di 42,1 Mmc, con un deficit fra i prelievi e la ricarica di 2,8 Mmc. I prelievi sono stati così attribuiti:

- Consiag 15 Mmc
- Industrie 24,6 Mmc
- Uso agricolo e domestico 2,5 Mmc

La riserva idrica complessiva (acqua mediamente presente nella falda del conoide di Prato) fu valutata in circa 80 Mmc.

C'è da osservare che la situazione piezometrica (ampio e profondo cono di depressione in corrispondenza del conoide di Prato) non consente deflussi sotterranei verso l'esterno dell'acquifero.

Occorre anche dire che nel 1988 il livello di falda subì un notevole abbassamento, mentre negli anni 1991 - 1994 si è registrata una risalita, anche per effetto dei provvedimenti presi: acquedotto industriale, ricarica della falda mediante traversa nell'alveo del Bisenzio, aumento dei prelievi dai torrenti montani da parte del Consiag. Dal 1995, tuttavia, la falda di Prato sta subendo un nuovo notevole abbassamento (cfr. la fig. allegata alla "scheda tecnica").

- La pianura di Pistoia (Pranzini e G.T.I. Pistoia, 1996)

I termini del bilancio della falda (per il periodo 1951-1987) sono stati calcolati con buona approssimazione dai dati meteorologici, climatici, geologici e di uso del suolo. I pompaggi sono stati calcolati assumendo un valore medio per ciascun pozzo industriale e domestico, mentre i prelievi per l'irrigazione sono stati calcolati in base alle superfici irrigue. Il numero dei pozzi è stato ricavato dalle denunce presentate al Genio Civile in base al D.L. 275/93.

I prelievi dalla falda sono stati calcolati come segue:

dai pozzi degli acquedotti pubblici	6,93	Mmc/anno
per irrigazione	4,87	"
per uso domestico	0,69	"
per uso industriale	0,16	"
<hr/>		
Totale:	12,65	Mmc/anno.

I prelievi sono risultati decisamente inferiori alla ricarica media calcolata (40,86 Mmc/anno): la situazione piezometrica è tale che il surplus di alimentazione alla falda si scarica nel reticolo idrografico. Il buono stato di salute delle falde pistoiesi trova conferma nella sostanziale stabilità della superficie freatica nella pianura, registrata dall'epoca delle prime misure, nel 1975 (Capecchi e Pranzini, 1975), al 1992, anno delle misure più recenti (Gargini e Pranzini, 1995).

- La pianura della Valdinievole (Pranzini e G.T.I. Pistoia, 1996)

I prelievi dal sottosuolo della pianura sono stati così calcolati:

dai pozzi degli acquedotti pubblici	3,36	Mmc/anno
per irrigazione	4,21	"
per uso domestico	0,63	"
per uso industriale	0,18	"
<hr/>		
Totale:	8,38	Mmc/anno.

L'infiltrazione è stata calcolata pari a 35 Mmc/anno. Pur con l'incertezza nel calcolo dell'infiltrazione, che rende il bilancio meno affidabile di quello fatto per la Pianura Pistoiese, risulta tuttavia che anche in Valdinievole la ricarica della falda è molto maggiore dei prelievi.

- La pianura di Lucca (Nardi, Nollèdi e Rossi, 1987)

L'infiltrazione diretta o indiretta di acque superficiali ammonta a 73.600.000 mc/anno. A questo valore si somma il contributo dovuto all'infiltrazione meteorica diretta sulla pianura, calcolato in 9.600.000 mc/anno, per cui il valore medio totale delle risorse idriche sotterranee, rinnovabili in termini di portata media, ammonta a 83.200.000 mc/anno.

I contributi possono essere sintetizzati come segue:

Contributo diretto del F. Serchio	42.500.000	mc/anno
Contributo dall' irrigazione	3.000.000	mc/anno
Contributo dal versante dei M. Pisani	14.400.000	mc/anno
Infiltrazione meteorica diretta	9.600.000	mc/anno
Contributo dal versante Pizzorne-Montecarlo-Altopascio	13.700.000	mc/anno
Totale	83.200.000	mc/anno

I prelievi dalla falda della pianura, con valutazione della loro entità, sono riassunti nel modo seguente:

Prelievi da acquedotti pubblici (700 l/sec)	22.225.000	mc/anno
Prelievi industriali (1100 l/sec)	34.925.000	mc/anno
Prelievi da pozzi diffusi (150 l/se)	3.850.000	mc/anno
Deflussi superficiali da risorgive	9.500.000	mc/anno
Totale	70.500.000	mc/anno

Pertanto, la differenza tra entrate ed uscite (attivo di bilancio) è, attualmente, di $12,7 \times 10^6$ mc/anno, pari a circa 400 l/sec.

Tale esubero si viene a suddividere, in uscita dalla pianura, in parte (circa il 52%) nell'area dell'alveo del Bientina (ad Est: bacino dell'Arno) ed in parte (circa il 48%) sul lato Ovest, nella stretta di Filettole-Ripafratta (bacino del Serchio).

- La pianura pisana (Baldacci, 1996)

Anche se la pianura di Pisa non fa parte del bacino idrografico dell'Arno, essa rientra però nell'area di pertinenza dell'Autorità di Bacino.

Secondo un bilancio approssimativo, conseguente alla complessità del sistema acquifero "aperto" della pianura pisana, si valuta che esso riceva dal bacino idrogeologico dell'Arno una ricarica massima sull'ordine di

155 Mmc/anno, pari a 490 l/sec

La ricarica proveniente dal "bacino idrogeologico della Pianura di Lucca" è quantificata in:

126×10^6 mc/anno pari a 400 l/sec

Tale deflusso sotterraneo in "entrata" è ripartito, mediante una verifica delle portate di falda attraverso le sezioni delle Valli di Ripafratta e di Bientina, rispettivamente in 200 e 240 l/sec.

I prelievi acquedottistici nella pianura di Pisa sono calcolati in circa 4,12 Mmc/anno. Non si hanno dati complessivi sugli attingimenti industriali.

Conclusioni

Pur con i limiti dovuti ai dati oggi esistenti, più o meno omogenei e più o meno completi sulle diverse aree, il tentativo di un bilancio, ancorché provvisorio, riveste grande importanza per definire il piano di bacino relativo alle risorse idriche nel loro insieme e in particolare quello relativo alla qualità delle acque.

Come più volte detto, la disponibilità idrica annua nel bacino dell'Arno è sull'ordine di 3.000 milioni di metri cubi. Il bilancio generale fornisce però solo l'ordine di grandezza dei volumi d'acqua in gioco, senza dare indicazioni sulla disponibilità nelle diverse aree dei bacini e nelle diverse stagioni.

Per il bacino dell'Arno considerato chiuso alla stazione idrometrica di S. Giovanni alla Vena (Pisa), un primo calcolo della portata di base del fiume (eseguito per il periodo 1969 - 1972) indica che il 50% della portata dell'Arno proviene dall'acqua che si è infiltrata nel sottosuolo e che successivamente è riemersa. Ma questa percentuale, in apparenza elevata per un bacino in cui prevalgono rocce a bassa permeabilità, risulta soprattutto dal contributo di innumerevoli sorgenti con bassa portata, in gran parte non perenni, mentre è assai ridotta la parte corrispondente allo svuotamento di acquiferi importanti; la dimostrazione sta nella rapida decrescita della portata dell'Arno nei periodi senza piogge.

La possibilità di valutare le riserve idriche sotterranee dei singoli sottobacini dell'Arno e il loro contributo ai dati globali di S. Giovanni alla Vena è possibile dove esistono stazioni di misura delle portate, i cui dati, disponibili presso il Servizio Idrografico e Mareografico di Pisa, sono riferiti solo:

- sull'Arno a Stia (AR) (fino al 1976 e dal 1992), Subbiano (AR), Nave di Rosano (FI), oltre che S. Giovanni alla Vena (PI);
- sul Canale Maestro della Chiana al Ponte della Ferrovia Firenze - Roma;
- sulla Sieve a Ponte di Bilancino (fino al 1976) e a Fornacina;
- sulla Greve a Ponte dei Falciani (fino al 1992);
- sul Bisenzio a Praticello (fino al 1976), a Gamberame e a Carmignanello (fino al 1962) e a S. Piero a Ponti;
- sull'Ombrone Pistoiese a Ponte di Calcaiola (dal 1986), a Burgianico (sul T. Brana) e a Poggio a Caiano;
- sulla Pesa a Sambuca;
- sull'Era a Capannoli;
- sull'Elsa a Castelfiorentino;
- sulla Nievole a Colonna.

Da ciò si desume che una prima difficoltà alla quantificazione del bilancio deriva dal numero limitato delle sezioni di chiusura sui corsi d'acqua presenti nel bacino.

Per ottemperare pienamente ai disposti della legge 36/1994 e del D.Lgs. 275/1993 occorre invece disporre in dettaglio dei bilanci idrogeologici non soltanto del bacino o dei singoli sottobacini, ma dei singoli complessi acquiferi sia di quelli montani, sia di quelli, generalmente più importanti, delle pianure.

Come più volte accennato, nel bacino dell'Arno solo per alcune aree montane si dispone di dati significativi per il calcolo del bilancio idrogeologico: i monti della Calvana, il versante meridionale del Pratomagno, i monti pistoiesi e i bacini montani della Pescia di Pescia, della Pescia di Collodi e della Nievole.

Relativamente alle pianure alluvionali dell'Arno, il bilancio idrogeologico è stato fatto (con approssimazione maggiore o minore) per i seguenti acquiferi o zone: Falda di Prato, Pianura di Pistoia, Pianura della Valdinievole, Pianura di Lucca e Pianura di Pisa.

Ne risulta che in questa situazione il bilancio idrogeologico dei bacini dell'Arno deve essere affrontato per gradi: attualmente è in corso l'elaborazione dei dati relativi alle denunce dei pozzi ai sensi D.Lgs. 275/1993; l'Autorità di Bacino ha già eseguito il censimento dei prelievi (derivazioni e attingimenti) e degli scarichi e sono in corso indagini sugli acquedotti e sulle reti idriche e fognarie.

Questi dati, uniti a quelli idroclimatici e geologici, permetteranno di elaborare bilanci sempre più affidabili. Ulteriori affinamenti si avranno infatti elaborando per i vari sottobacini i dati di precipitazione, di temperatura e dei deflussi disponibili, confrontandoli con altre caratteristiche (acclività, permeabilità, uso del suolo), redigendo il bilancio per le singole unità territoriali uniformi per mezzo di opportuni modelli matematici.

Ciò permetterà anche il calcolo delle portate di magra dei vari corsi d'acqua, il loro confronto con le concessioni di prelievo e gli attingimenti e, con il completamento delle indagini sul minimo deflusso vitale in diverse sezioni, si potrà valutare ulteriormente l'efficacia degli interventi programmati in una visione generale del piano di bacino inteso come strumento aperto, flessibile, in continuo aggiornamento.