

INDICE

PREMESSA.....	1
PARTE I – METODOLOGIA.....	2
1. INTRODUZIONE.....	2
2. METODOLOGIA DI CALCOLO DEI TERMINI DEL BILANCIO IDRICO.....	4
3. CALCOLO DELLA RISERVA IDRICA.....	13
PARTE II - BILANCI DEGLI ACQUIFERI ALLUVIONALI PIÙ SIGNIFICATIVI DEL BACINO DELL'ARNO	15
4 . INTRODUZIONE.....	15
4.1 CASENTINO	18
4. 2 VAL DI CHIANA.....	21
4.3 PIANURA DI AREZZO	24
4.4 VALDARNO SUPERIORE.....	27
4.5 MUGELLO	29
4.6 PIANURA DELLA PROVINCIA DI FIRENZE.....	31
4.7 CONOIDE DI PRATO.....	34
4.8 PIANURA DI PISTOIA	37
4.9 VAL DI PESA	40
4.10 PIANURA DI EMPOLI.....	42
4.11 VALDINIEVOLE	44
4.12 VAL D'ELSA.....	46
4.13 PIANURA DI FUCECCHIO-SANTA CROCE	48
4.14 VAL D'ERA	50
4.15 PIANURA DI LUCCA.....	52
4.16 PIANURA DI BIENTINA	54
4.17 PIANURA DI PISA.....	56
5 . VALUTAZIONI CONCLUSIVE	58
BIBLIOGRAFIA	61

Autorità di Bacino del Fiume Arno

IL BILANCIO IDRICO DEGLI ACQUIFERI ALLUVIONALI PIÙ SIGNIFICATIVI DEL BACINO DELL'ARNO

Premessa

Questa Nota fa riferimento al Contratto di studio (Rep. N. 06/05 del 12.07.2005) stipulato con lo scrivente dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno per la "Definizione dei criteri e dei metodi di caratterizzazione degli acquiferi alluvionali più significativi del Bacino dell'Arno, finalizzata alla redazione del bilancio idrico".

La Parte I, relativa alla metodologia di redazione del bilancio di un acquifero di sottosuolo, è stata redatta dallo scrivente, come da impegno contrattuale, mentre la Parte II, che contiene i bilanci degli acquiferi alluvionali più significativi, è stata sviluppata in collaborazione con il Geol. Francesco Consumi dell'Autorità di Bacino. La collaborazione ha riguardato il reperimento degli studi utili alla redazione dei bilanci, la definizione dei criteri e dei parametri di calcolo più idonei per le diverse situazioni e la redazione del testo.

I bilanci sono riferiti al decennio 1993-2003 (in realtà 11 anni). Alcuni sono stati redatti aggiornando bilanci precedenti, nella maggior parte contenuti nel Quaderno n. 10 dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno, uniformando anche lo schema dei bilanci: l'aggiornamento è stato fatto con i dati pluviometrici medi del decennio suddetto e con i dati dei prelievi da pozzi secondo gli aggiornamenti al 2005 degli archivi informatici delle Province, degli ATO e dei gestori del servizio idrico integrato. Per gli acquiferi dei quali non erano stati redatti bilanci precedenti, è stato fatto un primo bilancio con la metodologia descritta nel cap. I, basata soprattutto su stime. Ne risulta che i bilanci non sono ugualmente attendibili e richiedono pertanto un diverso grado di approfondimento per giungere ad un quadro omogeneo delle risorse idriche di sottosuolo più importanti del bacino dell'Arno.

PARTE I – METODOLOGIA

1. INTRODUZIONE

Per redigere il bilancio idrico di un acquifero di una pianura alluvionale occorre innanzi tutto delimitarlo e definirne le condizioni al contorno.

In buona parte dei bacini in cui si trovano gli acquiferi d'interesse del bacino del F. Arno, i limiti degli acquiferi corrispondono al contatto superficiale fra i depositi alluvionali attuali e recenti con le rocce incassanti, che sono di solito a permeabilità bassa. E' il caso, ad esempio, del Valdarno Superiore, dove i sedimenti alluvionali recenti dell'Arno sono stati depositi in una valle scavata nelle argille lacustri; oppure della pianura del Medio Valdarno, dove i depositi alluvionali recenti sono delimitati da rocce litoidi a bassa permeabilità, salvo nella conca di Firenze dove le alluvioni dell'Arno sono comprese entro depositi lacustri, comunque a granulometria fine prevalente. In altri bacini, invece, i depositi alluvionali recenti confinano con altri depositi simili, quali alluvioni antiche o sedimenti fluviolacustri, che non possono essere considerati dei limiti di permeabilità. In tale condizione si trovano il Casentino e la Valdichiana. In questi casi si deve decidere se considerare il solo acquifero alluvionale, tenendo conto degli scambi idrici con i sedimenti confinanti oppure estendere il bilancio all'intero sistema geologico.

In generale il bilancio idrico di un acquifero alluvionale può essere sintetizzato secondo la seguente equazione, nella quale i termini di sinistra rappresentano le entrate e quelli di destra le uscite:

$$I_a + A_v + I_f + P_c + P_f + A_s = E_m + D_f + D_s$$

dove

I_a = infiltrazione diretta delle acque di pioggia;

A_v = infiltrazione delle acque che scorrono sui versanti ed alimentano le falde nella fascia pedecollinare;

I_f = infiltrazione negli alvei fluviali;

P_c = perdite delle reti acquedottistiche

P_f = perdite delle reti fognarie;

A_s = apporti di acque sotterranee;

E_m = emungimenti dei pozzi;

Df = drenaggio da parte dei corsi d'acqua;

Ds = deflusso sotterraneo verso gli acquiferi confinanti.

Nel caso di una falda molto superficiale si dovrebbe tenere conto anche delle perdite per evapotraspirazione; nei nostri casi possiamo non tenere conto di questo termine, perché tutte le falde hanno una tavola d'acqua sufficientemente profonda da rendere trascurabile le perdite per evapotraspirazione.

Ovviamente il bilancio va riferito ad un anno medio, per tenere conto della diversa piovosità da un anno all'altro. Trenta anni sono considerati dai climatologi un tempo sufficiente per avere un valore medio statisticamente significativo; in trent'anni, però, l'entità dello sfruttamento degli acquiferi potrebbe essere variata in maniera significativa. Pertanto, può essere opportuno ridurre il periodo del bilancio, oppure tenere conto della tendenza climatica in atto. Questo è tanto più importante alla luce dei cambiamenti della piovosità e della temperatura che stiamo osservando negli ultimi 10-15 anni.

La redazione del bilancio idrico degli acquiferi sotterranei serve per valutare lo stato di sfruttamento delle risorse idriche: se il bilancio medio pluriennale presenta un saldo negativo, evidentemente si sta facendo uno *sfruttamento di tipo minerario*, che porta all'esaurimento delle riserve geologiche.

Occorre però avere chiaro che la valutazione dei vari termini del bilancio è di solito imprecisa, perché sono incerti i dati d'ingresso, sia quelli relativi alla dinamica naturale (la ricarica e le uscite naturali) sia quelli dovuti all'attività antropica (i prelievi). Conseguentemente, nel valutare il saldo di bilancio, occorre tenere conto del margine d'incertezza, che può essere superiore al saldo stesso.

In generale, l'eventuale sovrasfruttamento delle risorse idriche sotterranee emerge con maggiore chiarezza dall'analisi storica dei livelli piezometrici: se questi indicano un progressivo abbassamento, è evidente che i prelievi medi superano la ricarica.

Anche con queste limitazioni, la redazione del bilancio è importante perché fornisce una prima valutazione dei termini in gioco, che potrà essere progressivamente affinata, man mano che si amplieranno i dati di conoscenza tramite tutte quelle attività che la legislazione in materia di risorse idriche (in particolare il D. Lgs. 11 Maggio 1999 N. 152) richiede.

2. METODOLOGIA DI CALCOLO DEI TERMINI DEL BILANCIO IDRICO

In questo capitolo sono descritti i metodi di calcolo dei termini del bilancio, con specifica attenzione alla situazione del bacino dell'Arno. Il calcolo dei vari termini richiede rilievi di campagna (ad es. dei tipi di suolo, dei livelli idrici nei pozzi), misure (ad es. misure di portata dei corsi d'acqua in sezioni diverse ed in tempi diversi) e il reperimento di dati aggiornati e completi (quali i prelievi tramite i pozzi).

Queste attività richiedono notevole impegno di tempo e di mezzi. Con l'obiettivo di redigere in breve tempo un primo bilancio degli acquiferi più importanti del bacino dell'Arno, sono qui presentati i metodi che, in mancanza delle misure dirette di cui sopra, permettono di fare una valutazione, sia pure approssimativa, dei volumi d'acqua interessati nei bilanci.

Ia: infiltrazione diretta dell'acqua di pioggia

La misura *diretta* dell'infiltrazione efficace, ovvero quella che va ad alimentare le falde idriche, è possibile solo tramite i lisimetri, attrezzature che in pratica fanno il bilancio idrogeologico di un piccolo volume di terreno. Di fatto i lisimetri non vengono utilizzati per i bilanci, sia per la complessità dell'attrezzatura sia perché forniscono un dato puntuale, difficilmente trasferibile a livello di bacino.

Generalmente il calcolo dell'infiltrazione dell'acqua che piove direttamente sulle pianure si fa moltiplicando i valori delle precipitazioni medie annue per dei coefficienti d'infiltrazione $C_i = I/P$ diversi a seconda della permeabilità del suolo. La letteratura scientifica riporta varie tabelle con questi C_i per le diverse granulometrie medie dei suoli. Nel nostro caso conviene fare riferimento ai valori riportati da Civita (Tab. 1), che, nella descrizione della metodologia per la redazione delle Carte di Vulnerabilità con il metodo SINTACS (Civita, 1994), ha fornito dei valori medi per ciascun tipo di suolo.

Una maggiore precisione della Ia si ottiene tramite i *coefficienti d'infiltrazione efficace* $C_{ie} = I/(P-E)$, che fanno riferimento alla precipitazione efficace $P-E$. Questo metodo richiede però il calcolo dell'evapotraspirazione per i diversi affioramenti di litotipi diversi; inoltre i dati di C_{ie} sono meno disponibili in letteratura.

Suolo assente, suolo con ghiaie e sabbie prevalenti	0,45
Suolo franco sabbioso	0,20
Suolo franco	0,15
Suolo franco limoso	0,10
Suolo franco limoso-argilloso	0,07
Suolo franco argilloso	0,02
Suolo argilloso	0,02

Tabella 1 – Valori del Coefficiente d'infiltrazione per i diversi tipi di suolo

I valori della P media vanno aggiornati rispetto a quelli del bilancio idrico del Quaderno n. 10 dell'Autorità di Bacino (2001), che riguarda il periodo 1960-1991. Sarebbe inoltre opportuno ricostruire le isoiete relative alle pianure in oggetto: infatti, per alcune di queste pianure si dispone delle isoiete medie che, pur essendo di periodi diversi da quello del nostro bilancio, forniscono tuttavia la distribuzione areale delle piogge, che può essere utilizzata per aggiornare i valori di P con quelli più recenti registrati alle stazioni pluviometriche. L'impiego del solo valore medio di P nelle singole pianure fornisce comunque un valore sufficiente per un primo aggiornamento (o prima stesura) dei bilanci.

Per quanto riguarda i tipi di suolo, si deve osservare che non c'è, al momento, una Carta dei Suoli del bacino del F. Arno. Per alcune aree alluvionali (Valdarno Medio, Mugello, Valdinievole) disponiamo della distribuzione areale dei tipi granulometrici ricavati indirettamente dalla descrizione dei litotipi attraversati da pozzi per acqua e sondaggi geognostici, al fine della redazione delle Carte di Vulnerabilità. Per le altre aree, mancando nelle carte geologiche reperibili (quali i Fogli 1:100.000 della Carta Geologica d'Italia) anche una differenziazione litologica dei depositi alluvionali, possiamo solo fare una delimitazione approssimativa dei tipi di suolo in base alle conoscenze dell'evoluzione sedimentaria delle pianure.

Buona parte degli acquiferi alluvionali si trovano al di sotto di aree più o meno urbanizzate, quindi con diversa percentuale di suolo coperta da strade, tetti o piazzali impermeabili. Il ruolo di queste aree ai fini dell'infiltrazione dell'acqua piovana non è valutato in maniera unanime nelle ricerche internazionali di geologia urbana. In generale, tuttavia, si ritiene conveniente applicare un coefficiente di riduzione del Ci: per le aree urbane vere e proprie (ad es. i centri storici) il Ci viene moltiplicato per 0,5; per le aree miste, cioè quelle urbane con spazi verdi pari ad almeno il 40% del totale, viene moltiplicato per 0,7.

Av = infiltrazione delle acque che scorrono sui versanti ed alimentano le falde nella fascia pedecollinare;

Le carte con le curve isopiezometriche delle pianure alluvionali mostrano di solito isopieze circa parallele ai contatti con le rocce incassanti ed un gradiente idraulico elevato ai margini delle pianure, dove ci sono depositi di conoide e di versante. Ciò significa che dai versanti arriva un contributo di alimentazione alle falde della pianura, che può avvenire secondo percorsi diversi:

- a. ruscellamento superficiale, durante le piogge;
- b. deflusso ipodermico, durante le piogge e per qualche tempo dopo la loro cessazione;
- c. deflusso sotterraneo.

Il termine Av è certamente di entità molto diversa da zona a zona: dove i terreni di bordo pianura sono depositi colluviali provenienti da rocce a bassa permeabilità, la maggior parte dell'acqua di scorrimento dai versanti verrà incanalata nel reticolo idrografico e solo una piccola parte s'infiltrerà nel sottosuolo; dove ci sono conoidi alluvionali permeabili, una parte consistente dell'acqua di ruscellamento superficiale andrà ad alimentare gli acquiferi della pianura. Nel caso che i sedimenti della pianura siano a contatto con rocce permeabili, da queste può venire anche un importante afflusso sotterraneo, che però è difficilmente separabile dagli altri due apporti.

Nonostante che il contributo Av sia non trascurabile nel bilancio degli acquiferi di pianura, non ci sono metodologie di calcolo codificate ed anzi, spesso, questo contributo viene trascurato.

Un calcolo approssimativo del contributo Av si può fare se si dispone di ricostruzioni piezometriche. Il metodo consiste nel calcolare la portata Q della falda attraverso la sezione dell'acquifero posta alla distanza di 100 metri dal contatto con le rocce incassanti, mediante la legge di Darcy: $Q = K \cdot S \cdot i$, dove:

- K è il coefficiente di permeabilità;
- S la sezione dell'acquifero, prodotto del suo spessore per la lunghezza del contatto rocce incassanti-alluvioni;
- i è il gradiente idraulico in corrispondenza della stessa distanza.

Il calcolo può essere fatto per tratti omogenei, tenendo conto principalmente della posizione dei conoidi alluvionali.

Questo metodo ha il vantaggio di comprendere nel calcolo anche il deflusso sotterraneo dalle rocce incassanti, salvo che questo avvenga dal substrato roccioso più a valle dei 100 metri dal contatto. Ovviamente il calcolo sarà tanto più preciso quanto migliore è la conoscenza del sistema idrogeologico: a tale scopo sono utili i dati litostratigrafici di pozzi e sondaggi geognostici, per la valutazione dello spessore dell'acquifero, e i valori di K.

In mancanza di dati sufficienti, una valutazione approssimativa di questo contributo A_v si può fare ipotizzando che una parte dell'acqua che piove nella fascia inferiore delle rocce confinanti arrivi per ruscellamento superficiale e per deflusso ipodermico ad alimentare la falda alluvionale.

Capecchi e Pranzini (2001a) hanno valutato che le precipitazioni cadute in una fascia di 100 metri (in proiezione sull'orizzontale, e cioè misurati sulla cartografia), meno l'evapotraspirazione, arrivino ad alimentare gli acquiferi alluvionali: questa valutazione deriva dalla considerazione che ad A_v contribuisce l'acqua che piove su una fascia di maggiore ampiezza ma che una parte di quest'acqua viene incanalata nel reticolo idrografico e quindi rientra nel termine I_f . Quindi, per ciascuna delle pianure alluvionali della provincia di Firenze, lo sviluppo lineare del margine in metri (ottenuto dal SIT) è stato moltiplicato per 100 e per un coefficiente, variabile da 0,3 a 0,5 (per tenere conto delle perdite per evapotraspirazione).

Un metodo analogo, adottato per alcuni bilanci degli acquiferi alluvionali del bacino del Fiume Arno riportati nel seguito, consiste nel moltiplicare le precipitazioni sulla fascia inferiore delle rocce confinanti per un coefficiente che tenga conto della permeabilità dei terreni nella fascia pedecollinare: in particolare le precipitazioni che arrivano nella fascia dei 100 metri sono state moltiplicate per un coefficiente d'infiltrazione diverso per le diverse aree, lo stesso utilizzato per l'infiltrazione diretta delle acque di precipitazione.

In alcune pianure del bacino dell'Arno nelle quali il termine A_v è stato calcolato con il metodo precedente (applicazione della legge di Darcy) l'applicazione di questo metodo semplificato ha fornito risultati simili. Ciò autorizza ad applicare questo metodo laddove mancano i dati per calcolare il termine con il metodo scientificamente più valido.

I_f : infiltrazione dagli alvei dei corsi d'acqua.

Questo termine del bilancio è spesso importante, perché gli alvei fluviali sono, per buona parte del loro percorso nelle pianure, più alti del livello freatico delle falde: questo comporta una ricarica degli acquiferi per infiltrazione negli alvei, che sono per lo più ghiaiosi e quindi molto permeabili.

Il calcolo dell'infiltrazione richiederebbe misure di portata contemporanee in sezioni diverse dell'asta fluviale e con portate diverse, in maniera da ricostruire la relazione fra le portate in arrivo e le perdite di portata. Applicando a tale relazione la portata media annua, si può ottenere la portata media infiltrata. Tuttavia, l'esperienza fatta con il Bisenzio a Prato (Giacomelli, 2004) insegna che la relazione non è univoca: a parità di portata in arrivo può cambiare in maniera consistente la portata infiltrata. Questo per due motivi:

1. l'infiltrazione non dipende solo dalla portata, ma anche dalle condizioni dell'alveo, la cui permeabilità varia in relazione al trasporto solido del corso d'acqua;
2. l'infiltrazione dipende anche dalla situazione della falda: se la falda è alta, a seguito di un periodo piovoso, si possono anche invertire i rapporti, con il fiume che drena la falda.

Pertanto, solo la misura in continuo delle portate nella sezione di monte ed in quella di valle può fornire dati certi sull'infiltrazione nell'alveo di un fiume.

In mancanza di queste misure, una valutazione approssimativa si può ottenere utilizzando la freatimetria della fascia dell'acquifero percorsa dal corso d'acqua. Il calcolo si fa applicando ancora la legge di Darcy alle sezioni di acquifero coincidenti con i due argini fluviali. L'incertezza del calcolo nasce dalla variabilità nel tempo dei rapporti fiume-falda: anche se si dispone di una freatimetria di morbida e di una di magra, occorre considerare che l'infiltrazione aumenta notevolmente nei giorni di piena.

Capecchi e Pranzini (2001a), sulla base delle ricostruzioni freatiche disponibili per le pianure della provincia di Firenze, e considerate le diverse situazioni (permeabilità delle alluvioni, ampiezza degli alvei, gradiente idraulico della superficie freatica nei tratti fluviali perdenti) hanno adottato valori d'infiltrazione compresi fra 500 e 600 m³/anno per metro lineare di tratto perpendente.

Pc = perdite delle condotte degli acquedotti

Le perdite dai tubi della rete acquedottistica danno un contributo di alimentazione non trascurabile alle falde urbane. Negli anni '80 le perdite di rete dell'acquedotto

fiorentino erano considerate il primo fattore di ricarica della falda di Firenze (Capecchi et al., 1976a). Nel comprensorio dell'ex Schema 23, comprendente all'incirca i comuni delle province di Firenze e di Prato, il volume di acqua fatturata era solo il 48,2 % di quella prodotta (Pranzini, 1981) (anche se dobbiamo considerare che una parte dell'acqua utilizzata non era fatturata ma utilizzata, come ad es. quella delle scuole, per l'innaffiamento dei giardini ecc.).

In Italia, le perdite degli acquedotti, calcolate come differenza fra l'acqua prodotta e quella arrivata alle utenze, è in media del 30,4%, con un massimo in Molise (46,0%) ed un minimo in Lombardia (18,4%); in Toscana siamo nella media nazionale (30,2%).

Sono numeri piuttosto alti, che sottolineano la necessità di tenere conto di questo termine P_c nel bilancio delle falde urbane.

Dati validi ed aggiornati sono disponibili solo per la falda di Prato (Landini, 2005); qui le perdite dell'acquedotto sono state calcolate in oltre 9 milioni di mc/anno, pari al 34% dell'acqua immessa nella rete; Landini ha calcolato che il 25 % dell'acqua immessa, pari a 6,57 milioni di mc/anno, vada ad alimentare la falda.

Per gli altri acquiferi alluvionali del Bacino dell'Arno, dove non ci sono dati calcolati, è possibile una valutazione di massima delle perdite della rete degli acquedotti, nelle aree di pianura, moltiplicando l'acqua prodotta, sia proveniente da pozzi che dalla superficie, per un coefficiente variabile da 0,20 a 0,05 a seconda della permeabilità del primo strato di terreno: il valore di 0,25 calcolato per l'area pratese deve essere considerato un valore massimo, relativo ad un'area di conoide nella quale il terreno superficiale ha una permeabilità relativamente alta, rispetto alle aree di pianura in genere. In terreni a bassa permeabilità una parte consistente dell'acqua persa dalle tubature viene ripresa dalle radici delle piante e quindi si perde per evapotraspirazione.

P_f = perdite delle fogne

Anche le perdite della rete fognaria costituiscono un fattore di alimentazione delle falde. Per la falda di Prato, le perdite delle fogne sono state valutate in 2,6 milioni di mc/anno (5 % del flusso annuo) (Landini, 2005).

Il calcolo di questo fattore nelle altre aree di pianura è problematico, perché occorrerebbe conoscere sia il flusso annuo che il tipo di fognature. Conoscendo il flusso medio di un anno (dai volumi in arrivo ai depuratori, sempre che questi trattino tutte le acque di fogna), si può ritenere che moltiplicando questo volume per 0,05, come calcolato per Prato, si ottenga un valore accettabile delle perdite in falda.

In mancanza del dato relativo al flusso medio annuo (perché non si conoscono i volumi in arrivo ai depuratori e/o la percentuale non depurata) si può adottare un criterio di larga massima, partendo dal dato pratese. I 2,6 milioni di mc/anno di perdite calcolati per Prato corrispondono ad una perdita di 0,037 Mmc per Km² dell'area (pari a circa 71 Km²). Questo coefficiente può essere applicato all'area dei vari acquiferi alluvionale dell'Arno, con fattori correttivi legati alla densità di urbanizzazione confrontata con quella di Prato.

Si tratta di un criterio molto soggettivo, che porta certamente a risultati grossolani, ma che ha lo scopo di includere nei bilanci un fattore non trascurabile, di cui dovranno tenere conto i bilanci più accurati.

As = apporti di acque sotterranee.

Le falde delle pianure possono essere alimentate da acquiferi confinanti, generalmente corrispondenti alle rocce incassanti, se queste hanno una certa permeabilità. Tale apporto è difficilmente calcolabile, se non tramite il bilancio di questi acquiferi confinanti: è il caso dell'acquifero pratese, per il quale è stato calcolato l'apporto sotterraneo dai calcari della Calvana (Cicali e Pranzini, 1987), e del sistema acquifero pisano, per il quale Baldacci et. al (1994) hanno calcolato gli apporti dalle aree di alimentazione collinari e montane.

Se il bilancio riguarda solo una parte di un acquifero alluvionale, dalle parti confinanti può venire un flusso alimentante. E' il caso, ad esempio, del valdarno Inferiore, dove ci sono scambi fra gli acquiferi di Empoli, di Fucecchio - Santa Croce e di Pisa. Il calcolo di questo apporto si può fare applicando la legge di Darcy alla sezione di confine, conoscendo lo spessore dell'acquifero, la piezometria media annua e la permeabilità dell'acquifero.

Em = emungimenti dei pozzi

Nelle falde delle pianure alluvionali considerate costituisce certamente il principale termine in uscita del bilancio delle falde. In teoria, essendo gli emungimenti direttamente misurabili tramite i contatori ai pozzi, potrebbe essere il termine più certo; di fatto, in Italia (o almeno in Toscana) siamo ancora lontani dalla completa conoscenza degli emungimenti.

Il Decreto Legislativo n. 275/1993 (*Riordino in materia di concessione di acque pubbliche*), dice che i proprietari, possessori o utilizzatori dei pozzi esistenti, a qualunque uso adibiti, ancorché inutilizzati, sono obbligati a denunciarli alla Regione e alla

Provincia competenti per territorio. L'omessa denuncia comporta una multa ed il pozzo può essere sequestrato e chiuso a spese del proprietario. Il termine per la denuncia, che inizialmente era il 20 Agosto 1994, è stato più volte prorogato e la denuncia va fatta ora alla sola Provincia, a seguito del riordino delle competenze.

Le difficoltà di avere dati completi e attendibili sono di due ordini:

1. la mancata denuncia di molti pozzi da parte dei proprietari, oppure la denuncia infedele;
2. la mancanza, quasi generalizzata, di archivi completi e facilmente consultabili presso le Province.

Il primo punto dipende principalmente dal fatto che alcuni proprietari di pozzi vogliono evadere il pagamento dell'acqua di falda, come previsto dalla legge per i pozzi ad uso produttivo. Per lo stesso motivo alcuni proprietari dichiarano di volere realizzare pozzi ad uso domestico, che, salvo casi particolari, non sono soggetti ad autorizzazione, mentre in realtà usano l'acqua per l'irrigazione o per attività industriale.

Per il secondo punto, anche se gli ex Geni Civili della Toscana hanno archiviato in un data base (il sistema VISARK) i dati delle denunce, questi dati sono spesso incompleti, soprattutto per quanto riguarda i volumi estratti; anche quando c'è un dato di prelievo, molte volte non è chiaro se il dato denunciato si riferisce al consumo effettivo o alla portata del pozzo.

In conclusione, i dati degli archivi presso le Province forniscono i prelievi per difetto, con differenze notevoli da una Provincia all'altra.¹

Nel calcolo dei volumi annui estratti dalle falde è opportuno agire in maniera diversa per i diversi tipi d'uso.

Pozzi ad uso acquedottistico: sono quelli con i dati più certi perché i gestori degli acquedotti adempiono correttamente (e non avrebbero motivo per non farlo) all'obbligo di denuncia e perché i pozzi, o i gruppi di pozzi, hanno tutti il contatore.

Pozzi ad uso industriale: in genere i pozzi sono denunciati, ma non sempre gli archivi delle Province contengono i volumi annui estratti. Nel caso di valori incerti sarebbe

¹ Lo studio del Bacino regionale Toscana Nord, effettuato da G. Pranzini (2004) per la Regione Toscana, ha messo in evidenza una marcata differenza fra la Riviera Apuana (Provincia di Massa-Carrara) e la Versilia (Provincia di Lucca): nella prima i dati dei prelievi dalla falda hanno permesso di chiudere il bilancio quasi in pareggio, mentre in Versilia risulta un forte saldo positivo, evidentemente imputabile alla sottostima dei prelievi.

opportuno un'indagine specifica sul tipo di attività industriale, in base alla quale stimare i prelievi.

Pozzi ad uso agricolo: la percentuale di pozzi denunciati varia molto da zona a zona; inoltre, data la stagionalità del prelievo, i dati denunciati sono scarsamente attendibili perché di solito i pozzi non sono forniti di contatore; in molti casi il dato corrisponde alla portata della pompa o alla portata del pozzo. In base all'esperienza fatta (Capecchi e Pranzini, 1996; Pranzini, 2004a e 2004b) riteniamo che si ottengano valori più attendibili basandosi sull'estensione delle aree irrigue (dai dati ISTAT) e sui fabbisogni delle diverse colture; in Toscana questi ultimi sono calcolati dall'ARSIA.

Pozzi ad uso domestico: oltre che per l'uso nelle case, l'acqua può essere utilizzata anche per l'innaffiamento di giardini ed orti. Sono quelli con il maggior numero di abusivi, per il timore che prima o poi l'acqua venga fatta pagare e, più in generale, per lo scarso senso civico dei proprietari. Il problema è limitato, ai fini del bilancio delle falde, perché questo tipo di pozzi preleva dalle falde volumi modesti. Un valore medio stimato può andare dai 350 ai 500 l/g per pozzo. Resta il problema dei pozzi denunciati come domestici ma di fatto produttivi. La percentuale di questi pozzi varia da zona a zona e se ne può avere una stima solo con indagini a campione.

Df = drenaggio da parte dei corsi d'acqua

E' il termine opposto dell'infiltrazione dagli alvei dei corsi d'acqua e presenta gli stessi problemi per la misura. Il calcolo si può fare con gli stessi metodi.

Capecchi e Pranzini, per il bilancio degli acquiferi alluvionali della Provincia di Firenze (2001a), hanno attribuito un valore di drenaggio di 400 m³/anno per metro lineare. Questo valore, un po' inferiore al tasso d'infiltrazione assunto per i tratti fluviali perdenti, è giustificato dalla considerazione che nei tratti in questione il gradiente idraulico della falda in fregio al corso d'acqua è minore di quello dei tratti perdenti.

Ds = deflusso sotterraneo verso gli acquiferi confinanti.

Può essere calcolato come l'afflusso sotterraneo dagli acquiferi confinanti.

3. CALCOLO DELLA RISERVA IDRICA

Oltre al bilancio idrico medio pluriennale, che fornisce la *risorsa idrica*, cioè il volume d'acqua mediamente sfruttabile, è utile una valutazione della *riserva idrica*: questa corrisponde al volume d'acqua medio immagazzinato nell'acquifero. Di solito la risorsa idrica corrisponde ad una parte della riserva; quanto minore è il rapporto fra la risorsa e la riserva tanto minore è il rischio di esaurimento della riserva; infatti una grande riserva fa da volano al sistema e consente di superare il susseguirsi di anni poco piovosi.

Il calcolo della riserva idrica si può fare con il seguente metodo.

Per un acquifero libero:

1. Calcolo del volume saturo dell'acquifero, mediante le litostratigrafie disponibili e la superficie freatica media; di solito il volume si ottiene ricostruendo le isopache dell'acquifero saturo.
2. Calcolo del volume d'acqua, moltiplicando il volume saturo per la porosità efficace m_e ; quest'ultima corrisponde al coefficiente d'immagazzinamento S e si ottiene tramite prove di portata; in mancanza, si può fare riferimento ai valori di porosità efficace reperibili in letteratura per i litotipi che formano l'acquifero.

Per un acquifero confinato:

1. Calcolo del volume dell'acquifero; se l'acquifero è multistrato, occorre considerare il volume netto, cioè lo spessore dei soli livelli permeabili.
2. Calcolo del volume d'acqua, moltiplicando il volume dell'acquifero per la porosità efficace, che è diversa dal coefficiente d'immagazzinamento.

In realtà, nel caso di un acquifero confinato, la distinzione fra risorsa e riserva non è così netta come per un acquifero libero. Infatti, la variazione stagionale del livello piezometrico corrisponde solo in parte alla variazione del volume d'acqua immagazzinato ma principalmente alla variazione della pressione nell'acquifero. Un calcolo più corretto della riserva richiederebbe di sommare al volume d'acqua contenuto nell'acquifero anche quello corrispondente al prodotto del volume compreso fra la superficie piezometrica e il tetto dell'acquifero per il coefficiente d'immagazzinamento S dell'acquifero stesso. E' opportuno ricordare, a tale proposito, che per un acquifero confinato S è molto piccolo, quindi basta l'estrazione di un piccolo volume d'acqua per

abbassare di molto la superficie piezometrica. Si deve però osservare che sono pochi i dati di S , perché questi si possono ottenere solo con prove di portata pozzo-piezometro. Inoltre, spesso tali prove di portata riguardano più acquiferi contemporaneamente, quindi il valore di S che risulta è un dato mediato fra gli acquiferi confinati e quello libero, se presente.

PARTE II - BILANCI DEGLI ACQUIFERI ALLUVIONALI PIÙ SIGNIFICATIVI DEL BACINO DELL'ARNO

4. INTRODUZIONE

La redazione dei bilanci secondo le procedure migliori descritte al capitolo 3 richiede molto tempo ed un notevole impegno di personale (nonché di attrezzature, per alcuni termini del bilancio). Con l'obiettivo di produrre in tempi brevi i bilanci idrici degli acquiferi alluvionali significativi del Bacino dell'Arno, è necessario ripiegare su metodi più approssimativi.

Per alcuni acquiferi alluvionali del bacino dell'Arno ci sono i bilanci idrici, quasi tutti riportati nel Quaderno n. 10 dell'Autorità di Bacino (2003); per altri non sono mai stati redatti i bilanci.

I bilanci disponibili sono stati aggiornati con i dati più recenti, in particolare quelli delle precipitazioni e dei prelievi dai pozzi. E' opportuno far notare che detti bilanci derivano da fonti diverse, sono stati redatti con metodi non sempre gli stessi ed hanno un diverso grado di precisione. Pertanto, oltre all'aggiornamento dai dati d'ingresso, è stata anche operata una omogeneizzazione dei termini del bilancio.

Per gli acquiferi alluvionali dei quali non è disponibile alcun bilancio, un primo bilancio approssimativo è stato redatto utilizzando i dati disponibili o reperibili presso gli enti territoriali. Pertanto, i bilanci qui riportati hanno una diversa validità e, per la maggior parte, vanno considerati come punti di partenza per approfondimenti che l'Autorità di Bacino dovrà fare, utilizzando sia i dati che derivano dai vari monitoraggi in corso o programmati, sia con indagini e misure specifiche, secondo criteri di priorità dettati dall'importanza dei diversi acquiferi e dal loro stato di sfruttamento.

Tutti i bilanci si riferiscono al decennio 1993-2003 (in realtà 11 anni): considerate le variazioni climatiche in atto negli ultimi 15 anni, un periodo più lungo avrebbe un valore statistico maggiore, ma una minore aderenza alla situazione con la quale dobbiamo confrontarci. Infatti, le variazioni suddette consistono in una riduzione delle precipitazioni e nella loro diversa distribuzione nell'anno (minori in inverno), che,

insieme con l'aumento dell'evapotraspirazione causata dall'aumento delle temperature, comporta una minore ricarica degli acquiferi.

Gli acquiferi alluvionali significativi del Bacino del F. Arno sono ubicati nella Tavola fuori testo allegata ed elencati nella Tabella 2, nella quale è riportata la precipitazione annua media del periodo 1993-2003.

PIANURA	AREA kmq	PRECIPITAZIONI mm
1. Casentino	32,28	1114
2. Valdichiana	544,32	718
3. Pianura di Arezzo	83,53	822
4. Valdarno Superiore	32,12	797
5. Mugello	13,05	975
6. Pianura di Firenze	150,39	823
7. Conoide di Prato	42,10	924
8. Pianura di Pistoia	112,02	1074
9. Val di Pesa	20,01	819
10. Pianura di Empoli	42,21	793
11. Val di Nievole	100,45	1024
12. Val d'Elsa	45,90	744
13. Pianura di Fucecchio - S. Croce	94,06	829
14. Val d'Era	122,60	808
15. Pianura di Lucca	81,41	1140
16. Pianura di Bientina	44,39	894
17. Pianura di Pisa	443,70	894

Tabella 2 – Acquiferi alluvionali significativi del Bacino dell'Arno, con le relative aree e le precipitazioni medie annue del periodo 1993-2003.

Per ogni area è riportato nel seguito del cap. 4:

- a. la delimitazione dell'acquifero considerato;

- b. se è disponibile un bilancio precedente (almeno in base alle conoscenze dello scrivente);
- c. gli elementi disponibili per la redazione del bilancio;
- d. le indicazioni dei metodi di calcolo dei termini del bilancio;
- e. il bilancio medio annuo del decennio 1993-2003;
- f. una valutazione sul grado di validità del bilancio,
- g. una valutazione della riserva idrica.

4.1 CASENTINO

L'acquifero principale comprende le alluvioni attuali e recenti e quelle terrazzate. Queste alluvioni poggiano sui depositi fluviolacustri, prevalentemente argillosi, e sulle rocce prelacustri a permeabilità da quasi nulla (Complesso Indifferenziato) a medio-bassa (Formazione di Monte Morello). Il limite dell'acquifero verso Arezzo è individuabile nel tratto dove l'Arno scorre nella stretta valle scavata nella Formazione di Monte Morello, a valle della confluenza del T. Corsalone ed a monte di Rassina.

Non esiste un bilancio idrico dell'acquifero. L'unico dato, riportato nel Quaderno n. 10, riguarda i prelievi da pozzi degli acquedotti, con un totale per l'intero Casentino ed un parziale per i pozzi perforati nelle alluvioni. Esiste anche un totale prelevato da pozzi privati nell'intero Casentino.

Oltre a questi dati, sono disponibili due ricostruzioni piezometriche nei depositi alluvionali (aprile e settembre 1994) ed alcune sezioni idrogeologiche dell'acquifero alluvionale, disegnate in base ad alcune litostratigrafie di pozzi e sondaggi e ad una indagine geoelettrica (Tarchi, 1998).

Un aggiornamento speditivo della piezometria, con controllo su 15 dei pozzi misurati da Tarchi, è stato fatto da Lorini (2005), durante la raccolta dati per la sua tesi di laurea, che ha come argomento la Carta di Vulnerabilità dei depositi alluvionali del Casentino. Questo aggiornamento ha evidenziato che la superficie freatica di morbida è rimasta sostanzialmente la stessa dell'aprile 1994, salvo nell'area industriale di Soci, dove si registra un abbassamento medio di 0,45 metri.

Un primo bilancio è stato redatto con il metodo seguente.

Per i termini in ingresso:

- Calcolo della precipitazione media per il periodo 1993-2003.
- Calcolo dell'infiltrazione areale I_a , moltiplicando la P media per i coefficienti d'infiltrazione C_i caratteristici dei tipi di suolo presenti (vedi Tabella 1, cap. 2). Questi ultimi sono stati sommariamente distinti da Lorini (2005) in base ad osservazioni di campagna sulla granulometria in 16 punti.
- Il termine A_v (apporti dai versanti) è stato calcolato con il metodo che considera le precipitazioni nella fascia di versante pari a 100 metri di ampiezza.
- Le ricostruzioni piezometriche mostrano che i corsi d'acqua drenano la falda anche in condizioni di morbida della falda; pertanto non c'è la componente I_f .

- Anche il termine A_s (apporti di acque sotterranee dagli acquiferi confinanti) può essere trascurato data la bassa permeabilità delle rocce incassanti.
- Per il termine P_c (perdite delle condotte dell'acquedotto) si è fatta l'ipotesi che l'acqua distribuita nell'area di pianura sia tutta e solo quella dei pozzi degli acquedotti; a tale volume è stato applicato un fattore di perdite in falda del 15%.
- Per le perdite del sistema fognario (P_f) si è adottato il metodo approssimativo, che tiene conto delle perdite per Km^2 di area ($0,037 \text{ Mmc}/km^2$), in questo caso moltiplicato per 0,1, fattore correttivo che tiene conto della bassa densità di urbanizzazione, rispetto a quella di Prato, e della permeabilità del terreno.

Per i termini in uscita:

- Per il termine E_m (emungimento da pozzi) sono stati utilizzati i dati del VISARK della Provincia di Arezzo e, per quelli dell'acquedotto pubblico, di Nuove Acque.
- Calcolo di D_f (drenaggio da parte dei corsi d'acqua): mediante l'applicazione della legge di Darcy. Il gradiente idraulico i è stato ripreso dalle isofreatiche disponibili; K , in assenza di dati direttamente misurati, è stato attribuito sulla base della litologia dei depositi alluvionali (è stato considerato un coefficiente di permeabilità medio di $3 \cdot 10^{-4} \text{ m/sec}$); la lunghezza dei tratti drenanti è risultata di 12 Km e alla sezione di flusso S è stata assegnata un'altezza di 4 m.
- Il calcolo di A_v (infiltrazione delle acque che scorrono sui versanti ed alimentano le falde nella fascia pedecollinare) è stato fatto con la metodologia, descritta nel cap. 2, che considera l'acqua di pioggia nella fascia dei 100 metri di versante.
- Un certo D_s (deflusso sotterraneo verso gli acquiferi confinanti) si registra attraverso i depositi alluvionali dell'Arno nella sezione di chiusura dell'area del bilancio. Un calcolo relativamente preciso è stato fatto applicando la legge di Darcy alla sezione. Questo calcolo è stato effettuato considerando una sezione di deflusso allo sbocco della vallata di 240 m di larghezza e di 5 m di altezza, con gradiente idraulico medio 0,01.

Nella tabella della pagine seguente è riportato il bilancio redatto, con i termini in milioni di mc/anno.

Questo primo bilancio ha un'attendibilità media: da una parte il sistema idrogeologico è ben definito e tutti i pozzi localizzati in corrispondenza delle alluvioni prelevano acqua dalla falda alluvionale (al di sotto ci sono depositi lacustri sostanzialmente improduttivi); dall'altra restano dubbi soprattutto sul valore degli apporti laterali all'acquifero alluvionale e sui prelievi.

Per queste incertezze, il saldo positivo risultante nel bilancio non può essere preso come prova di acquifero in salute; questa conclusione deriva piuttosto dalla sostanziale stabilità dei livelli freatici, salvo il modesto abbassamento rilevato nell'area industriale di Soci.

CASENTINO	32,28 Km ²	Mmc/a
Infiltrazione areale		3.99
Apporti laterali e sotterranei		5.24
Infiltrazione dagli alvei		0.00
Reinfiltrazioni		0.22
TOTALE RICARICA		9.45
Drenaggio dei fiumi		4.54
Deflusso sotterraneo		1.14
Prelievi acquedotti		0.70
Altri prelievi		1.50
TOTALE USCITE		7.88
SALDO		1.57

Una valutazione approssimativa della **riserva idrica** deriva dalla ricostruzione dell'acquifero sulla base delle litostratigrafie raccolte dal SIRA ed elaborate dall'Autorità di Bacino. Al volume saturo è stata applicata la porosità efficace del 15% sulla base delle descrizioni litologiche dell'acquifero. Le riserve sono state così stimate in circa 16 Mmc.

4.2 VAL DI CHIANA

L'acquifero considerato corrisponde ai depositi alluvionali recenti e terrazzati. La ricostruzione dell'acquifero confinato, che è quello più importante, è basata sui dati litostratigrafici del SIRA e sullo studio specifico di Banchelli (2004) per l'Autorità di Bacino. Lo stesso studio contiene la piezometria del 2003 ed una Carta della Trasmissività dell'acquifero da prove di pompaggio.

Da due tesi di laurea che hanno avuto come oggetto la redazione della Carta di Vulnerabilità, una relativa alla parte aretina (Scortecci, 1996) e l'altra relativa alla parte senese (Adessi, 1998), sono disponibili alcune sezioni idrogeologiche e le ricostruzioni piezometriche di morbida.

Non ci sono bilanci precedenti. Un primo bilancio è stato redatto con il metodo seguente.

Per i termini in ingresso:

- Calcolo della precipitazione media per il periodo 1993-2003.
- Calcolo dell'infiltrazione areale I_a , moltiplicando la P media per i coefficienti d'infiltrazione C_i ; questi ultimi, in mancanza di dati pedologici, sono stati applicati alle formazioni geologiche affioranti sulla base della loro litologia.
- Il termine A_s (apporti di acque sotterranee dagli acquiferi confinanti) e il termine A_v (afflusso dai versanti) sono stati calcolati insieme applicando la legge di Darcy alla sezione di confine, conoscendo lo spessore dell'acquifero, la piezometria media annua e la permeabilità dell'acquifero.
- Il termine I_f è nullo, perché le ricostruzioni freatiche indicano che il Canale Maestro della Chiana è drenante in tutto il suo percorso.
- Per il termine P_c (perdite delle condutture degli acquedotti) si è applicato il fattore moltiplicativo 0,05 al volume di acqua prodotta.
- Per il termine P_f (perdite del sistema fognario) si è applicato il coefficiente 0,03 alla perdita per unità areale di Prato.

Per i termini in uscita:

- Per il termine E_m (emungimento da pozzi) sono stati utilizzati i dati del VISARK della Provincia di Arezzo.
- Il D_s (deflusso sotterraneo verso gli acquiferi confinanti) può essere considerato trascurabile, dato che nella sezione di confine con la pianura di Arezzo, comunque piccola, c'è una sorta di spartiacque.

- Calcolo di Df (drenaggio da parte dei corsi d'acqua): in base alla ricostruzioni piezometriche di morbida, in tutta la Val di Chiana il Canale Maestro risulta drenante. Un valore molto approssimativo del termine Df è stata calcolata con la relazione $Q = K \cdot L \cdot H \cdot i$, attribuendo i seguenti valori:

$$K = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$L = 40\,000 \text{ m}$$

$$H = 3 \text{ m}$$

$$i \text{ media} = 5 \cdot 10^{-3}$$

VALDICHIANA 544,32 Km ²	Mmc/a
Infiltrazione areale	11.39
Apporti laterali e sotterranei	2.95
Infiltrazione dagli alvei	0.00
Reinfiltrazioni	0.71
TOTALE RICARICA	15.05
Drenaggio dei fiumi	0.95
Prelievi acquedotti	2.3
Altri prelievi	5.6
TOTALE USCITE	8.84
SALDO	6.21

Questo primo bilancio presenta molte incertezze, relative sia agli apporti (valutati con dati approssimativi) sia ai prelievi calcolati: questi ultimi, derivati dalle autodenunce dei proprietari, sono probabilmente molto inferiori a quelli effettivi, come suggerisce anche il forte saldo positivo del bilancio.

Inoltre il sistema acquifero non è ben definito: l'acquifero alluvionale poggia su depositi fluviolacustri quaternari e su sedimenti pliocenici, nei quali sono presenti livelli permeabili sfruttati anche dai pozzi ubicati in corrispondenza delle alluvioni.

In sintesi, non ci sono elementi per dire se il sistema è in equilibrio o ci sono situazioni di sovrasfruttamento: sono necessari studi idrogeologici più approfonditi.

Una valutazione approssimativa della **riserva idrica** nei depositi alluvionali si può avere moltiplicando lo spessore medio dell'acquifero per la porosità efficace stimata sulla base delle descrizioni litostratigrafiche.

Dalla ricostruzione dell'acquifero con le litostratigrafie raccolte dal SIRA ed elaborate dall'Autorità di Bacino, lo spessore dell'acquifero confinato è di circa 12 metri. Tale dato è in buon accordo con gli spessori ricostruiti da Scortecci (1996) e da Adessi (1998), che sono stati qui utilizzati per il calcolo perché più dettagliati. Nella parte aretina è stato considerato da Scortecci un solo acquifero, il cui spessore medio è di circa 12 metri, al quale si è attribuita una porosità efficace dell'8%. Nella parte senese Adessi ha distinto un acquifero superiore, spesso in media 6 metri, cui si è attribuita una m_e del 6%, ed uno profondo, che presenta uno spessore medio di circa 7 metri, cui è stata assegnata un m_e del 10%. Con questi dati si ottiene un volume della riserva idrica di 549,76 Mmc.

4.3 PIANURA DI AREZZO

Nella pianura di Arezzo l'acquifero principale è quello delle ghiaie della formazione pleistocenica superiore dei Ciottoli di Maspino. Questi, la cui estensione areale corrisponde alla conca fluvio-lacustre di Arezzo, sono ricoperti (salvo in corrispondenza dell'incisione attuale dell'Arno) da depositi alluvionali attuali e terrazzati, composti in prevalenza da limi e limi sabbiosi. Data questa situazione, è opportuno redigere il bilancio idrico relativamente a tutto il complesso pleistocenico-olocenico, considerando comunque che i maggiori volumi d'acqua estratti dai pozzi provengono dai Ciottoli di Maspino.

I dati disponibili sono:

- La ricostruzione dell'acquifero sulla base dei dati litostratigrafici del SIRA elaborati dall'Autorità di bacino.
- Alcune sezioni idrogeologiche (Lisi, 2004).
- La piezometria di morbida relativa al comune di Arezzo (Comune di Arezzo, 1994).
- La Carta di Vulnerabilità all'inquinamento redatta in base al "tempo d'arrivo" (Lisi, 2004), dalla quale si possono ricavare elementi sulla pedologia, utili ai fini dell'attribuzione dei coefficienti d'infiltrazione dell'acqua di precipitazione.

Non ci sono bilanci precedenti. Un primo bilancio è stato redatto con il metodo seguente.

Per i termini in ingresso:

- Calcolo della precipitazione media per il periodo 1993-2003.
- Calcolo dell'infiltrazione areale I_a , moltiplicando la P media per i coefficienti d'infiltrazione C_i ; questi ultimi sono stati applicati alle formazioni geologiche affioranti sulla base della loro litologia.
- Le ricostruzioni piezometriche mostrano che l'Arno (unico corso d'acqua importante) drena la falda: quindi il termine I_f (infiltrazioni in alveo) è nullo.
- Il termine A_s (apporti di acque sotterranee dagli acquiferi confinanti) e il termine A_v (afflusso dai versanti) sono stati calcolati insieme applicando la legge di Darcy alla sezione di confine, considerando lo spessore dell'acquifero, la piezometria media annua e la permeabilità dell'acquifero.
- Per il termine P_c (perdite delle condutture degli acquedotti) si è applicato il fattore moltiplicativo 0,1 al volume di acqua distribuita in rete.

- Per il termine Pf (perdite del sistema fognario) si è applicato il coefficiente 0,5 alla perdita per unità areale di Prato.

Per i termini in uscita:

- Il termine Em (emungimento da pozzi) è stato calcolato con i dati del VISARK della Provincia di Arezzo.
- Calcolo di Df (drenaggio da parte dei corsi d'acqua), utilizzando le isofreatiche disponibili: a K è stato attribuito, sulla base della litologia dell'acquifero, un valore medio di $1 \cdot 10^{-4}$ m/sec; alla sezione drenante una lunghezza di 5 Km e un'altezza di 6,5 m; al gradiente idraulico il valore $i = 0,01$.
- Il Ds (deflusso sotterraneo verso gli acquiferi confinanti) può essere considerato trascurabile sulla base dei dati di sottosuolo in corrispondenza delle sezioni di confine e della piezometria.

Il bilancio così redatto risulta il seguente:

PIANURA DI AREZZO 83,53 Km ²	Mmc/a
Infiltrazione areale	5.90
Apporti laterali e sotterranei	2.64
Infiltrazione dagli alvei	0.00
Reinfiltrazioni	2.41
TOTALE RICARICA	10.95
Drenaggio dei fiumi	1.02
Prelievi acquedotti	1.90
Altri prelievi	5.20
TOTALE USCITE	8.12
SALDO	2.83

Questo primo bilancio può essere considerato abbastanza valido (in attesa degli approfondimenti necessari) in considerazione della buona delimitazione dell'acquifero e dei dati disponibili. La mancanza di un rilievo piezometrico recente impedisce di verificare se ci sono situazioni localizzate di sovrasfruttamento.

Una valutazione della **riserva idrica** nell'acquifero principale (i Ciottoli di Maspino) è basata sulle litostratigrafie raccolte dal SIRA ed elaborate dall'Autorità di Bacino: da queste risulta uno spessore medio di 12,20 metri, in buon accordo con lo spessore dell'acquifero che si può calcolare con le sezioni geologiche di Lisi (2004). Con uno spessore medio di 12,20 metri ed una porosità efficace del 10% (in considerazione della presenza di una matrice limosa in una parte della formazione) si ottiene un volume d'acqua di 101,91 Mmc.

4.4 VALDARNO SUPERIORE

L'acquifero è bene definito e delimitato, in base agli studi di Francalanci et al. (1988) e di Gabbani et al. (1989): le ghiaie alluvionali sono comprese entro la valle scavata dall'Arno nei depositi fluviolacustri, prevalentemente argillosi.

Sono disponibili due piezometrie ricostruite da G. Pranzini, ormai datate (aprile e settembre 1983), non pubblicate; e le isofreatiche medie del 1992 (Gabbani et al, 1995).

Un bilancio è disponibile per la parte del Valdarno Superiore Fiorentino (Capecchi e Pranzini, 2001a). Pertanto è stato aggiornato questo bilancio con i dati di precipitazione del periodo 1993-2003 e con i prelievi attuali, ed i vari termini sono stati estesi alla porzione di pianura ricadente nella provincia di Arezzo.

Per quanto riguarda i rapporti Arno-falda, il calcolo dell'infiltrazione in alveo e del drenaggio da parte del fiume sono stati basati sulla piezometria media del 1992.

Per il termine P_c (perdite delle condutture degli acquedotti) si è applicato il fattore moltiplicativo 0,1 al volume di acqua distribuita in rete.

Per il termine P_f (perdite del sistema fognario) si è applicato il coefficiente 0,5 alla perdita per unità areale di Prato.

I risultati relativi all'aggiornamento del bilancio di tutto il Valdarno Superiore sono riportati nella tabella della pagina seguente.

Il bilancio ha un'attendibilità media, considerati i dati di partenza. Sono presenti situazioni locali di falda depressa, specialmente in corrispondenza dei campi pozzi degli acquedotti; tuttavia è probabile che le depressioni siano sostanzialmente stabilizzate, per effetto della ricarica indotta dall'alveo dell'Arno.

VALDARNO SUPERIORE 32,12 Km ²	Mmc/a
Infiltrazione areale	6.24
Apporti laterali	2.89
Infiltrazione dagli alvei	4.88
Apporti sotterranei	0.05
Reinfiltrazioni	1.25
TOTALE RICARICA	15.31
Drenaggio dei fiumi	2.09
Deflusso sotterraneo	0.00
Totale prelievi	10.68
TOTALE USCITE	12.77
SALDO	2.54

Il volume della riserva idrica nei depositi alluvionali è stato calcolato con buona approssimazione sulla base delle isopache dell'acquifero (da Francalanci et al., 1988 e Gabbani et al., 1989) e della piezometria media (Gabbani et al., 1995). La riserva risulta di 36,18 mmc.

4.5 MUGELLO

Il bilancio riguarda le alluvioni attuali e recenti della Sieve, la cui delimitazione è stata ripresa dalla Carta Geologica d'Italia.

E' disponibile una vecchia ricostruzione piezometrica, relativa a tutto il bacino del Mugello (Fazzuoli e Guazzone, 1971). Più recenti sono le freatimetrie della falda alluvionale fino a Borgo San Lorenzo (Bartoli, 1998) e da Borgo San Lorenzo a Vicchio (Perlatti, 1999) sia di magra (settembre 1997) che di morbida (aprile 1998).

Il bilancio disponibile è quello redatto da Capecchi e Pranzini (2001a) per la Provincia di Firenze. Questo bilancio è stato aggiornato per i termini degli afflussi meteorici e dei prelievi.

I vari termini del bilancio sono stati calcolati con gli stessi metodi dei bilanci precedenti. Al termine A_v (apporti dai versanti) sono stati aggiunti 2 Mmc/a di apporti sotterranei dalle alluvioni degli affluenti di sinistra della Sieve.

Per il termine P_c (perdite delle condutture degli acquedotti) si è applicato il fattore moltiplicativo 0,15 al volume di acqua distribuita in rete, tenuto conto del fatto che l'acqua viene distribuita in parte a centri abitati posti al di fuori della piana alluvionale e quindi le perdite non alimentano la falda considerata.

Per il termine P_f (perdite del sistema fognario) si è applicato il coefficiente 0,2 alla perdita per unità areale di Prato.

Si può considerare trascurabile il deflusso sotterraneo nelle alluvioni della Sieve a limite orientale del Mugello, data la piccola sezione permeabile.

Il bilancio è contenuto nella tabella della pagina seguente.

Il bilancio si chiude quasi in pareggio, ma manca il monitoraggio dei livelli di falda per controllare se questo corrisponde ad un effettivo equilibrio nello sfruttamento della risorsa.

Ai fini del bilancio, un elemento positivo è rappresentato dalla regimazione delle portate di magra della Sieve conseguente alla realizzazione dell'invaso di Bilancino. Questo ha prodotto un aumento dell'infiltrazione in alveo, del quale hanno beneficiato, ad esempio, i pozzi dell'acquedotto di Borgo San Lorenzo, specialmente nel periodo estivo.

MUGELLO	13,05 Km ²	Mmc/a
Infiltrazione areale		2.55
Apporti laterali e sotterranei		4.34
Infiltrazione dagli alvei		1.04
Reinfiltrazioni		0.59
TOTALE RICARICA		8.52
Drenaggio dei fiumi		4.10
Deflusso sotterraneo		0.00
Prelievi acquedotti		3.31
Altri prelievi		0.50
TOTALE USCITE		8.41
SALDO		0,11

Una valutazione della **riserva** è stata fatta assumendo uno spessore medio dell'acquifero saturo pari a 4 metri (valutazione di massima, in assenza di una ricostruzione della geometria dell'acquifero) moltiplicato per la m_e del 15%. Si ottiene un volume d'acqua di 7,83 Mmc.

4.6 PIANURA DELLA PROVINCIA DI FIRENZE

L'acquifero in oggetto è quello contenuto nei depositi fluviolacustri del bacino del Medio Valdarno fino al limite della provincia di Firenze con quella di Prato.

Le falde più produttive e più utilizzate sono quelle contenute nelle ghiaie deposte dall'Arno nell'ultima fase sedimentaria importante (Orizzonti Firenze 2 e Firenze 3 di Capecchi et al., 1976a); altre falde d'interesse sono quelle dei conoidi degli affluenti di destra dell'Arno: Mugnone, Terzolle, Rimaggio e Marina.

Si deve però rilevare che anche i livelli di ghiaie e sabbie dei depositi fluviolacustri più antichi (Orizzonte Firenze 4) sono sedi di falde confinate, sfruttate soprattutto dai pozzi industriali dell'area compresa fra l'Osmannoro e Calenzano. Essendo impossibile, con i dati attuali, separare i prelievi da queste falde da quelli dalle falde alluvionali recenti, è possibile solo redigere un bilancio complessivo del sistema acquifero della pianura.

I dati disponibili sono:

- Il bilancio fatto per la Provincia (Capecchi e Pranzini, 2001a).
- La Carta di vulnerabilità e la Carta del rischio d'inquinamento (Civita et al., 2003).
- Varie piezometrie: Aprile 1970 e maggio 1971 (Capecchi et al. 1976a), gennaio 1997 (G. Pranzini, dati inediti), febbraio 2002 (Pranzini, 2003).
- Le registrazioni del livello di falda dal 1968 in due pozzi dell'Osservatorio Freatimetrico di Firenze (Capecchi et al., 1975).
- Per il comune di Bagno a Ripoli, le isofreatiche del maggio 1970 (Capecchi et al., 1977).
- Varie ricostruzioni della geometria dell'acquifero (Capecchi et al. 1976a; Boccaletti et al., 2003; Coli et al., 2003).
- Dati dei prelievi da falda da ATO 3.

Il bilancio fatto per la Provincia è stato aggiornato con le precipitazioni medie del decennio 1993-2003 ed i prelievi del VISARK e dell'ATO 3.

Per il termine P_c (perdite delle condutture degli acquedotti) si è applicato il fattore moltiplicativo 0,1 al volume di acqua distribuita in rete. Si è tenuto conto del fatto che parte della produzione dell'Anconella (69,72 Mmc/a) viene esportata alle province di Prato e Pistoia (circa 12 Mmc/a) o distribuita ad acquedotti delle aree collinari. Si è quindi ridotto a 45 Mmc il volume di acqua distribuita nelle condutture della piana.

Per il termine P_f (perdite del sistema fognario) si è applicato il coefficiente 0,5 alla perdita per unità areale di Prato

PIANURA DI FIRENZE 150,39 Km ²	Mmc/a
Infiltrazione areale	14.36
Apporti laterali	3.76
Infiltrazione dagli alvei	9.83
Apporti sotterranei	0.88
Reinfiltrazioni	7.28
TOTALE RICARICA	36.10
Drenaggio dei fiumi	1.08
Deflusso sotterraneo	1.03
Prelievi acquedotti	9.08
Altri prelievi	5.03
TOTALE USCITE	16.22
SALDO	19.88

Il forte saldo positivo del bilancio si spiega soprattutto con la sottostima dei prelievi da pozzi privati: nella provincia di Firenze si ritiene che il numero dei pozzi non denunciati (o denunciati come domestici anziché produttivi) sia di molto inferiore a quello dei pozzi effettivamente presenti.

Indicazioni sullo stato di sfruttamento della risorsa emergono meglio dal confronto delle piezometrie storiche. Livelli idrici in abbassamento si registrano nell'area industriale compresa fra l'Osmannoro, Sesto e Calenzano. Al contrario, nell'area urbana di Firenze la falda risulta in rialzo (Fig. 1, Pranzini, 2003; Pranzini e De Rosa, 2003) per l'abbandono dei pozzi dell'acquedotto e anche di pozzi privati. Il tasso di risalita appare però in calo, man mano che il sistema tende al suo equilibrio naturale. Occorre anche considerare che nel centro storico sono attualmente in forte crescita le richieste per l'esecuzione di pozzi per il condizionamento dell'aria; questo potrebbe innescare un nuovo abbassamento freatico localizzato.

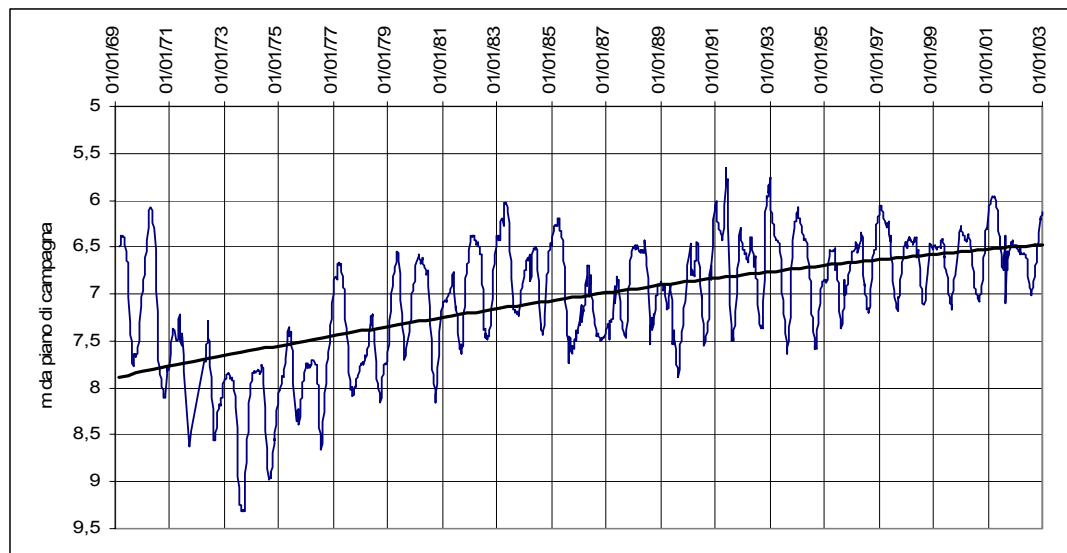


Fig. 1– Livello settimanale al freatimetro di Piazza D'Azeglio (Firenze) con linea di tendenza.

La valutazione della **riserva** è stata fatta solo per l'area del comune di Firenze, per la quale è disponibile la piezometria relativa al febbraio 2002: lo spessore dell'acquifero saturo è stato moltiplicato per la m_e del 15%. La riserva risulta essere di circa 68,16 Mmc. Per il resto della pianura sono troppo pochi i dati litostratigrafici per valutare, anche in maniera approssimativa, il volume degli acquiferi.

4.7 CONOIDE DI PRATO

Di questo acquifero sono stati redatti due bilanci: uno dell'anno 1988 (Landini e Pranzini, 1991), dal quale risultava un deficit di 2,4 Mmc, ed uno dell'anno idrologico 2000-2001 (Landini, 2005) nel quale c'è un saldo di circa 20 Mmc, dovuto ad un anno eccezionalmente piovoso. Soprattutto quest'ultimo bilancio è accurato e basato su dati del tutto attendibili.

Questo bilancio è stato aggiornato al periodo 1993-2003 per quanto riguarda le precipitazioni. I termini naturali (Ia, If, As) sono stati ricalcolati in base al valore medio di P del decennio.

CONOIDE DI PRATO	42,10 Km ²	Mmc/a
Infiltrazione areale		13.56
Apporti laterali		0.00
Infiltrazione dagli alvei		17.18
Apporti sotterranei		5.76
Reinfiltrazioni		9.17
TOTALE RICARICA		45.67
Drenaggio dei fiumi		0.00
Deflusso sotterraneo		0.00
Prelievi acquedotti		14.50
Altri prelievi		23.41
TOTALE USCITE		37.91
SALDO		7.76

La precisione di questo bilancio medio decennale è ovviamente inferiore a quello redatto da Landini per l'anno idrologico 2000-2001. In particolare è incerto il dato dei

prelievi industriali, che hanno subito forti variazioni da un anno all'altro in relazione allo stato di salute del comparto tessile. Inoltre è possibile che anche il calcolo della ricarica, fatto con semplici proporzioni, non abbia dato risultati corretti.

Indicazioni sullo stato di sfruttamento dell'acquifero vengono dalle registrazioni storiche dei piezometri: mentre fino al 1991 si registrava un progressivo abbassamento dei livelli (con alcuni episodi di risalita, legati soprattutto alle precipitazioni), nel 2003 abbiamo livelli paragonabili a quelli del 1993 (Fig. 2). Questo suggerisce che il bilancio medio è all'incirca in pareggio. Ciò dipende da più fattori:

1. il ricorso, da parte dell'acquedotto pubblico, anche a risorse diverse dalla falda;
2. la costruzione dell'acquedotto industriale;
3. il fatto che, raggiunti certi livelli, i pozzi diventano poco produttivi.

Negli ultimi anni si è aggiunta la grave crisi dell'industria pratese, per la concorrenza cinese. Quindi è possibile che il periodo di sovrasfruttamento della falda sia terminato e possa iniziare, anche per gli interventi ipotizzati (ricarica artificiale, ulteriore acquedotto industriale, opere nell'alveo del Bisenzio), una fase di recupero della risorsa (Landini e Pranzini, 2005; Landini et al, 2005).

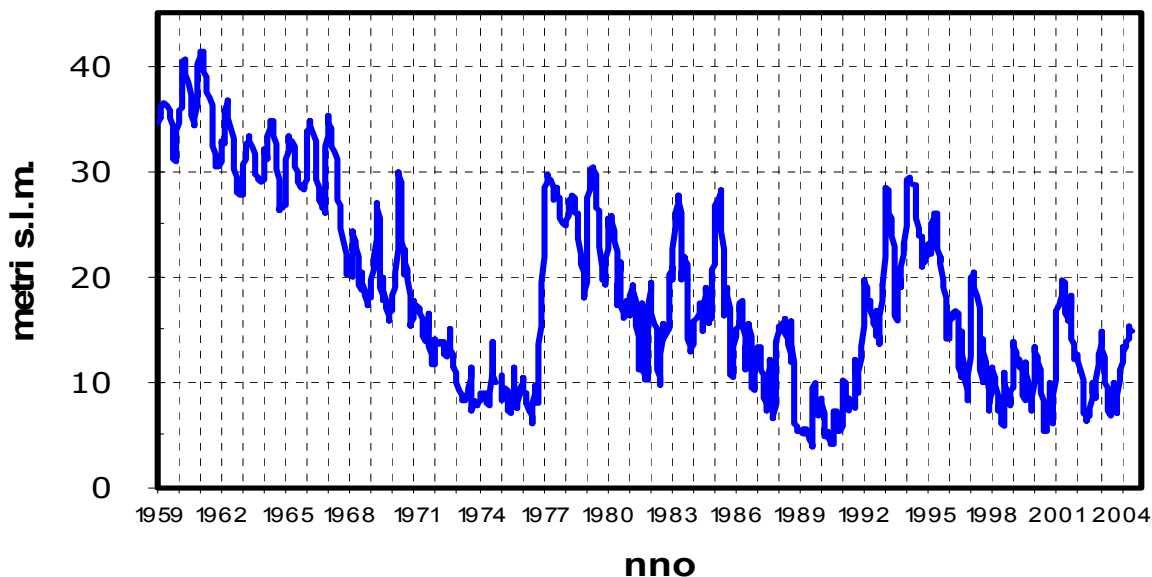


Fig. 2 – Livello medio mensile nel piezometro Le Badie, Prato.

Il valore della **riserva** deriva dal modello matematico dell'acquifero (Landini, 2005): il volume medio di acqua immagazzinata nell'anno idrologico 2000-2001 sarebbe di 107,70 Mmc, mentre il volume massimo invasabile, con il recupero dei livelli piezometrici degli anni '50, arriverebbe a 176,32 Mmc.

4.8 PIANURA DI PISTOIA

I dati disponibili sono:

- il bilancio redatto da Capecchi e Pranzini (1996) per la Provincia di Pistoia;
- due carte delle isofreatiche (aprile e settembre 1978);
- una piezometria di morbida (aprile 1996) ricostruita per la redazione della Carta di Vulnerabilità (Capecchi e Pranzini, 1996)
- una serie di litostratigrafie del sottosuolo, in parte in formato elettronico ed in parte su carta, in possesso dell'Autorità di Bacino.

Il bilancio redatto da Capecchi e Pranzini (1996) per le pianure di Pistoia e della Vadinievole si distingue dagli altri disponibili per il fatto che non riguarda l'acquifero di sottosuolo ma le acque del sistema pianura nel loro complesso, di superficie e di sottosuolo.

In particolare, il bilancio idrogeologico annuo delle pianure è espresso dalla seguente equazione, nella quale a sinistra ci sono le entrate e a destra le uscite:

$$De + P + Pr = E + I + Du$$

dove:

De	= deflussi in entrata
P	= precipitazioni
Pr	= prelievi dalle falde
E	= evapotraspirazione
I	= Infiltrazione efficace
Du	= deflussi in uscita (calcolati per differenza degli altri termini).

Per motivi di uniformità, piuttosto che aggiornare i due bilanci, si è deciso di redigere il bilancio dell'acquifero alluvionale di Pistoia (così come quello della Valdinievole) con il metodo usato per tutti gli altri. Alcuni termini calcolati da Capecchi e Pranzini, comuni alle due metodologie, sono stati però utilizzati, dopo il necessario aggiornamento delle precipitazioni.

Il termine Df (drenaggio dei corsi d'acqua) è stato calcolato sulla base dei tratti drenanti dei corsi d'acqua, rilevati dalla freatimetria dell'aprile 1996.

Il termine Av (apporti dai versanti) è stato calcolato con il criterio della fascia dei 100 metri.

Per il termine P_c (perdite delle condutture degli acquedotti) si è applicato il fattore moltiplicativo 0,1 al volume di acqua distribuita in rete.

Per il termine P_f (perdite del sistema fognario) si è applicato il coefficiente 0,5 alla perdita per unità areale di Prato.

Sono state considerati nulli i deflussi sotterranei in uscita perché la piezometria più recente indica che al confine della provincia di Pistoia con quella di Prato, non c'è flusso in uscita.

PIANURA DI PISTOIA 11,02 Km ²	Mmc/a
Infiltrazione areale	12.88
Apporti laterali	1.32
Infiltrazione dagli alvei	18.10
Apporti sotterranei	0.00
Reinfiltrazioni	5.37
TOTALE RICARICA	37.67
Drenaggio dei fiumi	4.10
Deflusso sotterraneo	0.00
Prelievi acquedotti	7.00
Altri prelievi	10.09
TOTALE USCITE	21.19
SALDO	16.48

Il bilancio si chiude con un saldo attivo consistente (circa 16 Mmc/a): evidentemente ci sono dei termini in uscita non valutati correttamente, o sono stati sopravvalutati quelli in entrata. Molto probabilmente i prelievi da falda inseriti nel bilancio sono inferiori a quelli effettivi; fra questi, soprattutto quelli del vivaismo.

Comunque, il confronto fra le piezometrie del 1978 e quella del 1996 indica che gli acquiferi non sono sovrasfruttati, salvo forse nell'area sud-est della pianura (zona di Casini- Caserana) dove si registra un abbassamento di circa 5 metri, in presenza, comunque, di un acquifero poco produttivo.

Una valutazione approssimativa della **riserva idrica** è stata fatta sulla base delle litostratigrafie disponibili (quindi si riferisce agli acquiferi sfruttati), applicando al volume complessivo degli acquiferi il coefficiente m_e 0,06. La riserva idrica risulta di circa 90 Mmc.

4.9 VAL DI PESA

Il bilancio si riferisce all'acquifero rappresentato dalle alluvioni recenti deposte dalla Pesa in una stretta fascia di fondo valle; esse formano l'acquifero più produttivo ed utilizzato in prevalenza, anche dall'acquedotto pubblico. Si deve peraltro dire che alcuni pozzi sfruttano le falde contenute nei ciottolami e sabbie del Pliocene.

Non risulta che sia stato fatto, finora, un bilancio dell'acquifero alluvionale.

I dati disponibili sono:

- alcune litostratigrafie da varie fonti (Provincia, ATO, ecc.);
- i prelievi degli acquedotti pubblici (da ATO);
- le isofreatiche della falda alluvionale, del luglio 1995 (Landini, 1996).

Un primo bilancio è stato redatto con la metodologia della provincia di Firenze (Capecchi e Pranzini, 2001a). In particolare i vari termini sono stati calcolati come segue.

- Ia: P media del periodo moltiplicata per il Ci 0,20.
- Av: con la P dei 100 metri di versante.
- Ds: deflusso in uscita ripreso da Capecchi e Pranzini, 2001°.
- Prelievi: da ATO 2 e ATO 3 per quelli acquedottistici; con stime a partire dai dati denunciati alla Provincia per gli altri usi.
- Per il termine Pc (perdite delle condutture degli acquedotti) si è applicato il fattore moltiplicativo 0,1 al volume di acqua distribuita in rete, considerato che in buona parte l'acqua pompata dall'acquifero alluvionale viene portata a centri abitati posti al di fuori della piana alluvionale.
- Per il termine Pf (perdite del sistema fognario) si è applicato il coefficiente 0,2 alla perdita per unità areale di Prato.

Per quanto riguarda i rapporti fra la Pesa e la falda alluvionale, si dispone di una ricostruzione freatica vecchia (Landini, 1996), relativa al solo tratto fra Cerbaia e Ginestra; qui la Pesa drena la falda. A valle è probabile che la situazione s'inverta, almeno parzialmente. In assenza di dati si è considerato che il termine If e quelle Df si annullino.

Il bilancio risulta il seguente:

PIANURA DELLA PESA 20,01 Km ²	Mmc/a
Infiltrazione areale	3.28
Apporti laterali e sotterranei	2.33
Infiltrazione dagli alvei	0.00
Reinfiltrazioni	0.50
TOTALE RICARICA	6.11
Drenaggio dei fiumi	0.00
Deflusso sotterraneo	0.07
Prelievi acquedotti	4.56
Altri prelievi	0.62
TOTALE USCITE	5.25
SALDO	0.86

Il fatto che il bilancio si chiuda quasi in pareggio può far pensare che esso è valido; in realtà, considerato che c'è incertezza su quasi tutti i termini, è possibile che ciò dipenda dalla compensazione degli errori. La mancanza di ricostruzioni recenti della superficie freatica impedisce qualsiasi valutazione riguarda al possibile sovrasfruttamento dell'acquifero alluvionale.

Una valutazione approssimativa della **riserva** è stata calcolata considerando uno spessore medio delle ghiaie acquifere di 4 metri, con me del 15%. Si è ottenuto 10,52 Mmc.

4.10 PIANURA DI EMPOLI

L'acquifero corrisponde alle ghiaie e sabbie deposte dall'Arno e dai suoi affluenti nel Pleistocene Superiore e nell'Olocene. Scarsa importanza hanno i livelli macroclastici dei sottostanti depositi pliocenici, poco sfruttati anche per la non buona qualità dell'acqua.

I dati disponibili sono:

- i dati di sottosuolo raccolti ed archiviati da GETAS per conto di Publiser;
- la piezometria ricostruita, su dati di Publiser, per la Provincia di Firenze (Capecchi e Pranzini, 2001a);
- le isopieze del dicembre 1991 (Cioli e Ghezzi, 1996);
- il bilancio fatto per la Provincia (Capecchi e Pranzini, 2001a).

Il bilancio della Provincia è stato aggiornato con le precipitazioni del decennio 1993-2003 e con i prelievi. Si ottengono i seguenti dati.

PIANURA DI EMPOLI 42,21 Km ²	Mmc/a
Infiltrazione areale	2.55
Apporti dai versanti	2.34
Apporti sotterranei	0,07
Infiltrazione dagli alvei	1.04
Reinfiltrazioni	0.43
TOTALE RICARICA	6.43
Drenaggio dei fiumi	4.10
Deflusso sotterraneo	0.12
Prelievi acquedotti	3.31
Altri prelievi	0.50
TOTALE USCITE	8.03
SALDO	- 1.60

Il saldo negativo del bilancio può trovare un riscontro nella freatimetria dell'acquifero alluvionale, che presenta zone depresse in corrispondenza dei campi pozzi dell'acquedotto pubblico. Tuttavia, la mancanza di un monitoraggio negli anni impedisce di verificare se questi coni di depressione sono in ulteriore approfondimento o se sono ormai stabilizzati.

Una valutazione approssimativa della **riserva idrica** nell'acquifero deriva dalla ricostruzione dell'acquifero sulla base delle litostratigrafie raccolte ed elaborate dall'Autorità di Bacino. Al volume saturo è stata applicata la porosità efficace del 15% sulla base delle descrizioni litologiche dell'acquifero. Le riserve sono state così stimate in 48,16 Mmc.

4.11 VALDINIEVOLE

Il sistema idrogeologico della pianura comprende i depositi alluvionali recenti dei corsi d'acqua che solcano la pianura (Nievole, Pescia di Pescia, Pescia di Collodi). Questi depositi sono più permeabili nella zona pedemontana (Pescia, Montecatini, Monsummano), dove sono frequenti le ghiaie, e meno man mano che si procede verso il padule di Fucecchio.

Non sono disponibili studi di dettaglio del sottosuolo della pianura, quindi non conosciamo l'importanza degli acquiferi sottostanti le alluvioni (depositi fluviolacustri quaternari e marini pliocenici) nel bilancio idrogeologico della pianura.

Per questa pianura c'è il bilancio di Capecchi e Pranzini per la Provincia di Pistoia (1996).

Altri dati disponibili sono:

- la piezometria della Pianura di Fucecchio (Capecchi e Pranzini, 1996);
- un aggiornamento della piezometria suddetta, fatto con una serie ridotta di misure di livello nei pozzi nell'aprile 2004 (Frullini e Pranzini, 2005);
- la Carta della Vulnerabilità all'inquinamento (Frullini e Pranzini, 2005), con gli elementi necessari per il calcolo dell'indice di vulnerabilità col metodo SINTACS (Civita, 1994). Fra questi 608 litostratigrafie.

Anche per questo acquifero, come per quello della pianura pistoiese, è stato fatto un bilancio nuovo, con la metodologia applicata alle altre pianure. In particolare:

- Il termine Df (drenaggio dei corsi d'acqua) è stato calcolato sulla base dei tratti drenanti dei corsi d'acqua, rilevati dalla freatimetria dell'aprile 2004.
- Il termine If (infiltrazione in alveo) è stato calcolato sulla base dei tratti perdenti dei corsi d'acqua, rilevati dalla freatimetria dell'aprile 2004.
- Il termine Av (apporti dai versanti) è stato calcolato con il criterio della fascia dei 100 metri.
- Per il termine Pc (perdite delle condutture degli acquedotti) si è applicato il fattore moltiplicativo 0,1 al volume di acqua distribuita in rete.
- Per il termine Pf (perdite del sistema fognario) si è applicato il coefficiente 0,2 alla perdita per unità areale di Prato.
- Nel termine As (apporti sotterranei) sono state considerate le acque termali di Montecatini e Monsummano, pari a circa 10 l/s.

- Relativamente ai deflussi sotterranei in uscita (Ds), la freatimetria indica che la falda alimenta il padule di Fucecchio, le cui acque defluiscono poi attraverso il Canale Maestro. Una valutazione di questo termine è stata fatta sulla base del gradiente idraulico della falda in prossimità del Padule.

VALDINIEVOLE Km ² 100,45	Mmc/a
Infiltrazione areale	8.17
Apporti laterali	2.45
Infiltrazione dagli alvei	2.15
Apporti sotterranei	0.31
Reinfiltrazioni	1.15
TOTALE RICARICA	14.23
Drenaggio dei fiumi	3.99
Deflusso sotterraneo	0.10
Prelievi acquedotti	3.03
Altri prelievi	4.66
TOTALE USCITE	11.78
SALDO	2.45

Questo bilancio è da considerare un primo prodotto, che necessita di molti approfondimenti per potere valutare se il saldo positivo ottenuto trova riscontro nella realtà.

La **riserva** è stata calcolata sulla base degli spessori netti degli acquiferi, attribuendo loro una porosità efficace del 6%. Il risultato è una riserva d'acqua di 60,43 Mmc.

4.12 VAL D'ELSA

In Gala e Pranzini (1999) è stato fatto il bilancio idrogeologico di tutto il bacino idrografico del F. Elsa fino alla sezione di Castelfiorentino; in questo bilancio c'è una valutazione delle risorse idriche sotterranee complessive degli acquiferi del bacino. Quindi manca un bilancio dell'acquifero alluvionale di fondo valle. Su questo acquifero sono pochissimi i dati disponibili, da potere utilizzare per il bilancio e per la valutazione delle riserve.

Il metodo utilizzato per il bilancio ex novo è lo stesso della pianura della Pesa.

Sono stati aggiornati i prelievi ad uso acquedottistico e gli altri, da stime SIRA.

Il bilancio fra infiltrazione dagli alvei e drenaggio dei fiumi viene considerato pari a zero, in mancanza di ricostruzioni freatiche che mostrino i rapporti fiume-falda.

Per il termine P_c (perdite delle condutture degli acquedotti) si è applicato il fattore moltiplicativo 0,1 al volume di acqua distribuita in rete, considerato che in buona parte l'acqua pompata dall'acquifero alluvionale viene portata a centri abitati posti al di fuori della piana alluvionale.

Per il termine P_f (perdite del sistema fognario) si è applicato il coefficiente 0,2 alla perdita per unità areale di Prato.

Non ci sono elementi per calcolare gli scambi d'acqua sotterranea fra le alluvioni dell'Elsa e quelle dell'Arno (pianura di Empoli). Quindi, per il momento si è considerato nullo il D_s , in accordo con il bilancio della pianura di Empoli di Capecchi e Pranzini, 2001a.

Il bilancio è nella tabella della pagina successiva.

La piccola differenza fra le entrate e le uscite farebbe ritenere che questo bilancio non è lontano da quello reale, ma, come si è detto, i dati di partenza sono pochi ed approssimativi.

VAL D'ELSA 45,90 Km ²	Mmc/a
Infiltrazione areale	3.76
Apporti laterali e sotterranei	1.23
Infiltrazione dagli alvei	0.00
Reinfiltrazioni	0.42
TOTALE RICARICA	5.41
Drenaggio dei fiumi	0.00
Deflusso sotterraneo	0.00
Prelievi acquedotti	3.88
Altri prelievi	0.91
TOTALE USCITE	4.79
SALDO	0.62

La **riserva** è stata calcolata sulla base dello spessore medio dell'acquifero alluvionale, valutato con le litostratigrafie disponibili, attribuendo loro una porosità efficace del 15%. Il risultato è una riserva d'acqua di 30,84 Mmc.

4.13 PIANURA DI FUCECCHIO-SANTA CROCE

In quest'area non c'è una netta distinzione fra l'acquifero alluvionale e quelli sottostanti nei depositi pliocenici, che sono quelli attualmente più sfruttati perché la falda superficiale è quasi esaurita.

I dati disponibili:

- una Carta di Vulnerabilità con la piezometria di morbida (Scidà, 2000);
- due freatimetrie, aprile e settembre 1976 (Varlecchi, 1977);
- I dati dei prelievi dall'ATO e dal VISARK, con stime di SIRA.

Il bilancio è stato fatto come segue.

- L'infiltrazione areale (I_a) è stata calcolata applicando alle precipitazioni i C_i relativi ai suoli ripresi da Scidà (2000).
- Il termine I_f (infiltrazione in alveo) è stato calcolato sulla base dei tratti perdenti dei corsi d'acqua, rilevati dalla freatimetria del maggio 2000 (Scidà, 2000).
- Il termine A_v (apporti dai versanti) è stato calcolato con il criterio della fascia dei 100 metri.
- Per il termine P_c (perdite delle condutture degli acquedotti) si è applicato il fattore moltiplicativo 0,1 al volume di acqua distribuita in rete.
- Per il termine P_f (perdite del sistema fognario) si è applicato il coefficiente 0,5 alla perdita per unità areale di Prato.
- Gli apporti sotterranei (A_s) sono stati ripresi dal bilancio della pianura di Empoli (deflussi sotterranei in uscita).
- Per i deflussi sotterranei in uscita, verso la pianura di Pisa, non ci sono dati attendibili riguardo gli spessori e le permeabilità. Una valutazione approssimativa è stata fatta con i seguenti valori.
 - a) Deflusso nelle ghiaie wurmiane (Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina): $L = 2500$ m, $H = 8$ m, $i = 0,003$, $K = 1 \cdot 10^{-3}$ m/s. $Q = 1,89$ Mmc/a.
 - b) Alluvioni recenti dell'Arno: $L = 2500$ m, $H = 12$ m, $i = 0,003$, $K = 3 \cdot 10^{-5}$ m/s. $Q = 0,09$ Mmc/a.

PIANURA DI FUCECCHIO – S. CROCE 94, 06 Km ²	Mmc/a
Infiltrazione areale	5.00
Apporti laterali	1.69
Infiltrazione dagli alvei	2.43
Apporti sotterranei	0.12
Reinfiltrazioni	2.46
TOTALE RICARICA	11.70
Drenaggio dei fiumi	0.93
Deflusso sotterraneo	1.98
Prelievi acquedotti	1.20
Altri prelievi	6.90
TOTALE USCITE	11.01
SALDO	0,69

Il bilancio positivo è in disaccordo con il fatto che i livelli piezometrici sono in progressivo abbassamento: è probabile che i prelievi industriali siano nettamente superiori a quelli considerati; d'altra parte anche i termini naturali del bilancio sono incerti per la mancanza di dati attendibili.

Il calcolo della **riserva** è stato fatto considerando tutti gli acquiferi sfruttati nella zona, fra i quali sono compresi anche quelli del Pliocene; a questi è stata applicata la porosità efficace del 6%, ottenendo un volume della riserva di circa 107 Mmc.

4.14 VAL D'ERA

L'acquifero considerato è quello delle alluvioni dell'Era, deposte dal Fiume nella valle scavata durante il Pleistocene nei depositi marini pliocenici.

La situazione idrogeologica dell'area è poco nota perché manca uno studio completo e sistematico dell'acquifero. C'è un bilancio fatto da Bruni nel 1973, aggiornato dall'Amministrazione provinciale di Pisa al 1990; questo bilancio riguarda solo la parte di pianura fra Capannori e la confluenza dell'Era con lo Sterza. Questo bilancio presenta molti elementi d'incertezza e non è estendibile all'intera pianura alluvionale.

Nel contempo non ci sono studi idrogeologici che contengono elementi utili al bilancio (piezometrie recenti, ricostruzione di tutto l'acquifero).

Pertanto è stato fatto un bilancio approssimativo con la metodologia di cui al capitolo 2.

- Infiltrazione efficace delle acque di pioggia: $P \cdot C_i$ (per il coefficiente d'infiltrazione è stato preso il valore di 0,05).
- Apporti laterali: si valuta che l'acqua di pioggia che cade nella fascia collinare ampia 100 metri a contatto delle alluvioni arrivi ad alimentare la falda alluvionale.
- Infiltrazione dall'alveo dell'Era: dato ripreso dal bilancio di Bruni, 1973.
- Drenaggio della falda da parte dell'Era: si è applicata la legge di Darcy, con $L = 12.000$ metri, $H = 5$ m, $i = 0,001$ $K = 5 \cdot 10^{-4}$ m/s.
- Prelievi dall'acquifero: dall'ATO per quelli acquedottistici; per gli altri si hanno delle stime dal SIRA.
- Il deflusso sotterraneo (D_s) è stato calcolato sulla base della ricostruzione piezometrica di Vieri (1996), che riguarda la pianura di Pisa confinante con la Val d'Era. I dati utilizzati sono: $L = 5000$ m, $H = 4$ m; $K = 5 \cdot 10^{-4}$ m/s; $i = 0,01$.
- Per il termine P_c (perdite delle condutture degli acquedotti) si è applicato il fattore moltiplicativo 0,1 al volume di acqua distribuita in rete, considerato che in buona parte l'acqua pompata dall'acquifero alluvionale viene portata a centri abitati posti al di fuori della piana alluvionale.
- Per il termine P_f (perdite del sistema fognario) si è applicato il coefficiente 0,2 alla perdita per unità areale di Prato.

Il bilancio redatto è riportata nella tabella della pagine seguente.

PIANURA DELL'ERA Km ² 122,60	Mmc/a
Infiltrazione areale	5.03
Apporti laterali	3.12
Infiltrazione dagli alvei	0.40
Apporti sotterranei	0.00
Reinfiltrazioni	0,24
TOTALE RICARICA	8.79
Drenaggio dei fiumi	0.95
Deflusso sotterraneo	3.15
Prelievi acquedotti	1.76
Altri prelievi	0.41
TOTALE USCITE	6.27
SALDO	2.52

Il saldo positivo percentualmente consistente rispetto alla ricarica suggerisce che il bilancio è molto impreciso, come era da attendersi data la scarsità di dati. Un dato certamente per difetto è quello dei prelievi da pozzi privati: quelli denunciati sono di molto inferiori a quelli presenti.

Una valutazione approssimativa della **riserva idrica** nelle alluvioni della parte compresa fra Pontedera e Peccioli, quindi per difetto rispetto all'intero acquifero, deriva da:

1. calcolo del volume delle ghiaie acquifere, sulla base delle litostratigrafia disponibili, più numerose nella zona centrale;
2. moltiplicazione per la m_e , stimata del 10 % sulla base delle litologie descritte per i pozzi e i sondaggi.

Il volume della **riserva idrica** sarebbe di circa 25 Mmc.

4.15 PIANURA DI LUCCA

La pianura di Lucca in parte appartiene al bacino dell'Arno ed in parte a quello del Serchio. L'acquifero alluvionale della pianura è uno dei principali del bacino dell'Arno. Esso è ampiamente utilizzato per i diversi usi: potabile, industriale e agricolo.

Uno studio idrogeologico dettagliato, comprendente anche un bilancio, fu compiuto da Nardi et al. (1987).

Un bilancio dettagliato e aggiornato al 2003 è stato redatto per tutta la pianura di Lucca (Nolledi, 2004).

Il bilancio della parte dell'Arno è possibile utilizzando i dati di Nolledi e facendo delle valutazioni sulla ripartizione dell'acqua di sottosuolo fra i due bacini.

I termini del bilancio sono stati calcolati nel modo seguente.

- Infiltrazione areale (Ia), relativa ai depositi permeabili della pianura, dove la falda è freatica: si è applicato alle precipitazioni sull'area di competenza il Ci di Nolledi (2004).
- Apporti dai versanti (Av): ricarica calcolata da Nolledi per le Pizzorne, Altopascio e Montecarlo (Nolledi, 2004).
- Infiltrazione dell'acqua d'irrigazione: calcolata in base al rapporto areale fra i due bacini della parte settentrionale della pianura, circa il 50%.
- Afflusso sotterraneo dal bacino del Serchio: la piezometria del 2003 indica che c'è un flusso in entrata nella parte della pianura di Lucca facente parte del bacino dell'Arno, flusso calcolato con la legge di Darcy.
- La piezometria indica che non c'è flusso sotterraneo verso la pianura di Piantina, per effetto degli emungimenti nell'area industriale di Porcari - Altopascio.
- Prelievi: dati ripresi dal bilancio di Nolledi, dove i prelievi sono distinti per aree; per gli usi domestici si applica al numero di pozzi dell'archivio VISARK il valore di 250 l/g per pozzo per 365 giorni.

Nella pagina seguente c'è la tabella del bilancio.

Il bilancio deve essere considerato piuttosto valido, perché deriva da una buona ricostruzione dell'acquifero e dei termini in gioco. Il saldo negativo è in accordo con la piezometria, che mostra un'area con superficie piezometrica in approfondimento nell'area industriale di Porcari - Altopascio.

PIANURA DI LUCCA	81,41 Km ²	Mmc/a
Infiltrazione areale		7.87
Apporti laterali		20.60
Infiltrazione dagli alvei		0.00
Apporti sotterranei		4.81
Reinfiltrazioni		1.57
Infiltrazione delle acque irrigue		2.00
TOTALE RICARICA		36.86
Drenaggio dei fiumi		0.00
Deflusso sotterraneo		0.00
Prelievi acquedotti		8.60
Altri prelievi		30.30
TOTALE USCITE		38.90
SALDO		- 2.04

La valutazione della **riserva idrica** sotterranea deriva dal calcolo del volume dell'acquifero alluvionale (dalle litostratigrafie) moltiplicato per una porosità efficace del 15%. Il volume della riserva risulta di circa 223 milioni di mc.

4.16 PIANURA DI BIENTINA

I dati disponibili per il bilancio vengono essenzialmente dallo studio di Baldacci et. al. (1994) e da quello di Nolledi e Mezzetti (2003). In quest'ultimo lavoro è riportato un bilancio, che considera i seguenti contributi.

1. Il contributo da parte della struttura idrogeologica delle colline delle Cerbaie: 277 l/sec.
2. Il contributo fornito al bilancio da parte della struttura idrogeologica del Monte Pisano: 90 l/sec.
3. Il flusso in esubero dalla pianura di Lucca, calcolato da Nardi et al. (1987), ammontava a 240 l/sec prima che i successivi prelievi ad uso potabile ed industriale nell'area di Porcari - Altopascio ne avessero prima ridotta e poi praticamente annullata l'entità, come risulta dalla piezometria.

Nolledi e Mezzetti non hanno considerato l'infiltrazione areale dell'acqua di precipitazione sulla pianura, probabilmente perché l'acquifero è essenzialmente confinato. Tuttavia una certa infiltrazione ci sarà comunque; questa è stata calcolata moltiplicando la P media per il Ci 0,02, tipico dei terreni argilloso-limosi.

- I prelievi per gli acquedotti sono di 425 l/s senza considerare, perché non note, le portate dei pozzi dell'area di Cascine di Buti.
- I prelievi dei pozzi privati sono calcolati in 3,90 Mmc/a.
- Per il termine Pc (perdite delle condutture degli acquedotti) si è applicato il fattore moltiplicativo 0,07 al volume di acqua distribuita in rete.
- Per il termine Pf (perdite del sistema fognario) si è applicato il coefficiente 0,03 alla perdita per unità areale di Prato.
- Si è considerato nullo il deflusso sotterraneo in uscita, in base alla piezometria.

Il bilancio è riportato nella tabella della pagine seguente.

Il saldo negativo è in accordo con il progressivo abbassamento del livello piezometrico nell'area industriale di Capannori – Porcari. Qui si registra anche una subsidenza considerevole del terreno.

PIANURA DI BIENTINA	43,39 Km ²	Mmc/a
Infiltrazione areale		0.86
Infiltrazione dagli alvei		0.00
Apporti laterali e sotterranei		11.57
Reinfiltrazioni		0.11
TOTALE RICARICA		12.54
Drenaggio dei fiumi		0.00
Deflusso sotterraneo		0.00
Prelievi acquedotti		13.40
Altri prelievi		3.90
TOTALE USCITE		17.10
SALDO		- 4.56

Una valutazione approssimativa della **riserva idrica** si può fare per i Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina. I pochi dati di sottosuolo forniscono uno spessore medio di 17 metri; assumendo una porosità efficace del 15 % si ottiene un volume d'acqua di 113,19 milioni di mc.

4.17 PIANURA DI PISA

E' disponibile una specie di bilancio relativo all'acquifero multistrato confinato della pianura compresa fra Bientina e il mare (Baldacci et al., 1994). Questo acquifero corrisponde ai Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina ed è il principale della pianura. Gli acquiferi sovrastanti, in sabbie più o meno limose, sono di scarsa produttività e l'acqua di qualità non buona.

Detto bilancio comprende i seguenti termini.

- Ricarica diretta dalle dune litorali e dai rilievi pedecollinari di Vicarello.
- Ricarica indiretta (sotterranea) dai versanti del Monte Pisano, dalle Colline Pisane e dalle Cerbaie.
- Un deflusso sotterraneo dalla pianura di Lucca (attualmente nullo, vedi 4.16)
- Un deflusso sotterraneo dalla pianura dell'Arno a Pontedera.

Una tesi di laurea (Vieri, 1996) contiene la ricostruzione della superficie freatica e di quella piezometrica dell'acquifero confinato (i Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina) del maggio 1994 e dell'agosto 1994, oltre ad alcune sezioni idrogeologiche.

Un'altra tesi (Meacci, 1997) ha avuto come obiettivo la redazione delle Carte di Vulnerabilità dell'acquifero superiore e di quello confinato, e contiene anch'essa elementi utili per il bilancio.

L'aggiornamento del bilancio al decennio d'interesse è stato fatto come segue.

- Aggiornamento di P e di Er per i vari termini di ricarica di Baldacci et al. (Ia, As). Si è aggiunto l'apporto sotterraneo dalla Val d'Era (3,15 Mmc/a) e quello dalla Pianura di Fucecchio – Santa Croce (1,98 Mmc/a).
- Per quanto riguarda gli scambi d'acqua fra la falda e il mare, è noto che nell'area meridionale della pianura c'è intrusione marina (Rossi e Spandre, 1994), mentre nella parte settentrionale sembra esserci deflusso in mare (Vieri, 1996). In mancanza di elementi attendibili per valutare le portate di scambio, si è assunto che i flussi in entrata e in uscita si equilibrino.
- Il termine Df (drenaggio dell'Arno) è stato calcolato con i dati freatici e del sottosuolo di Vieri (1996), assumendo i seguenti valori: $L = 21.000$ metri, $H = 10$ m, $i = 0,004$ $K = 5 \cdot 10^{-5}$ m/s.
- Calcolo dei prelievi da pozzi sulla base dei dati di ATO e della Provincia di Pisa.
- Per il termine Pc (perdite delle condutture degli acquedotti) si è applicato il fattore moltiplicativo 0,05 al volume di acqua distribuita in rete.

- Per il termine Pf (perdite del sistema fognario) si è applicato il coefficiente 0,1 alla perdita per unità areale calcolata per Prato.

Di seguito viene riportato lo schema di bilancio aggiornato

PIANURA DI PISA 443,70 Km ²	Mmc/a
Infiltrazione areale	17.90
Apporti sotterranei e laterali	15.85
Reinfiltrazioni	2.90
TOTALE RICARICA	36.65
Drenaggio dei fiumi	2,64
Prelievi acquedotti	11.26
Altri prelievi	19.72
TOTALE USCITE	33.62
SALDO	3.03

Il bilancio presenta un saldo positivo, ma molti termini sono stati calcolati con pochi dati effettivi, quindi il risultato non può essere considerato molto attendibile.

Una valutazione approssimativa della **riserva idrica** deriva dalla ricostruzione dell'acquifero sulla base delle litostratigrafie raccolte dal SIRA ed elaborate dall'Autorità di Bacino e sulla base del lavoro di Vieri 1996 in cui è considerato un coefficiente di immagazzinamento S pari a $1,75 \cdot 10^{-4}$ e una porosità efficace me del 25%: le riserve totali calcolate per l'acquifero confinato contenuto nei Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina risulterebbero pari a circa 465 Mmc. La porosità efficace di Vieri sembra troppo alta: una riduzione al 15% porterebbe ad una riserva di circa 287 Mmc.

5. VALUTAZIONI CONCLUSIVE

Nella tabella seguente è contenuta una sintesi dei 17 bilanci redatti.

PIANURA	AREA kmq	ENTRATE Mmc/a	USCITE Mmc/a	SALDO Mmc/a	SALDO %	RISERVA Mmc
1. Casentino	32,28	9,45	7,88	1,57	16,61	16
2. Valdichiana	544,32	15,05	8,84	6,21	41,26	550
3. Pianura di Arezzo	83,53	10,95	8,12	2,83	25,84	102
4. Valdarno Superiore	32,12	15,31	12,77	2,54	16,59	36
5. Mugello	13,05	8,52	8,41	0,11	1,29	7
6. Pianura di Firenze	150,39	36,10	16,22	19,88	55,07	68
7. Conoide di Prato	42,10	45,67	37,91	7,76	16,99	108
8. Pianura di Pistoia	112,02	37,67	21,19	16,48	43,75	90
9. Val di Pesa	20,01	6,11	5,25	0,86	14,08	10
10. Pianura di Empoli	42,21	6,43	8,03	-1,60	-24,88	48
11. Val di Nievole	100,45	14,23	11,78	2,45	17,22	60
12. Val d'Elsa	45,90	5,41	4,79	0,62	11,46	31
13. Pianura di Fucecchio - S. Croce	94,06	11,70	11,01	0,69	5,90	107
14. Val d'Era	122,60	8,79	6,27	2,52	28,67	25
15. Pianura di Lucca	81,41	36,86	38,90	-2,04	-5,53	223
16. Pianura di Bientina	44,39	12,54	17,10	-4,56	-36,36	113
17. Pianura di Pisa	443,70	36,65	33,62	3,03	8,27	287

Osserviamo che 4 bilanci presentano un saldo percentuale, rispetto alle entrate, inferiore al 10%: considerata l'approssimazione con cui sono stati calcolati tutti i termini, possiamo ritenere che questi bilanci siano abbastanza prossimi a quelli reali, anche se non possiamo escludere che gli errori si siano in buona parte compensati.

Fra questi bilanci c'è anche quello del conoide di Prato, l'unico, forse insieme a quello della pianura di Lucca, redatto con cura e non solo con valutazioni approssimative. Il fatto che questo bilancio si chiuda in attivo sembra in contrasto con la fama di acquifero sovrasfruttato ormai attribuita a quello pratese. Di fatto, negli ultimi 10 anni si è raggiunto un certo equilibrio medio fra i prelievi e la ricarica, come dimostrano le registrazioni dei piezometri installati da Publiacqua: in certi anni poco piovosi e/o di maggiore sfruttamento da parte delle industrie si registra un abbassamento dei livelli,

mentre in altri la falda recupera la riserva persa. Questo dipende in buona parte dalla diversificazione delle risorse idriche, sia da parte dell'acquedotto pubblico (risorse di superficie, fra cui l'acqua importata dall'acquedotto fiorentino) sia da parte delle industrie (acquedotto industriale). Tuttavia non si registra una risalita generalizzata dei livelli di falda (i livelli del 1993 sono confrontabili con quelli del 2003) quale dovrebbe conseguire il saldo positivo di circa 17 Mmc/anno. Si può concludere che questo saldo positivo dipende probabilmente dalla valutazione per eccesso di alcuni termini della ricarica, che, è opportuno rilevare, derivano solo in parte da misure dirette.

Comunque, i dati indicano che il periodo di sovrasfruttamento della falda pratese è terminato (almeno come tendenza continua) e gli interventi ipotizzati (ricarica artificiale, ulteriore acquedotto industriale, opere nell'alveo del Bisenzio), possono far sperare in una fase di recupero di questa importante risorsa.

Per alcuni bilanci (Valdichiana, Pianura di Firenze, Pianura di Pistoia) il saldo positivo è troppo alto per non doverlo imputare alla sottostima dei prelievi: in queste pianure i pozzi non denunciati e quelli dichiarati ad uso domestico, ma in realtà produttivi, sono largamente inferiori a quelli effettivi.

Diverso è il caso della Val d'Era: qui è stato redatto un primo bilancio con pochi dati e senza una conoscenza sufficiente del sistema acquifero, quindi il forte saldo positivo può avere spiegazioni diverse.

Un forte saldo negativo si ha nella Pianura di Bientina; questo deficit si accompagna ad un abbassamento dei livelli di falda nell'area industriale di Porcari-Altopascio e quindi è in accordo con uno stato di sovrafruttamento dell'acquifero (accompagnato da fenomeni di subsidenza).

Anche il saldo negativo ottenuto per la parte della pianura di Lucca che rientra nel bacino dell'Arno può essere effettivo, nel senso che i prelievi superano la ricarica. In effetti, nell'area industriale di Porcari – Altopascio, la superficie piezometrica risulta in approfondimento.

A conclusione del lavoro, è opportuno ribadire che i bilanci redatti sono omogenei per quanto riguarda i termini considerati ed i metodi di calcolo, mentre non lo sono per l'attendibilità dei dati d'ingresso. Ma anche per i bilanci più validi l'incertezza resta comunque alta: ne è una dimostrazione quello di Prato, che, pur essendo quello più articolato e redatto con maggiore cura, presenta un saldo positivo che non trova riscontro nelle registrazioni dei livelli idrici.

Pertanto, tutti i bilanci redatti richiedono approfondimenti e progressive calibrazioni, con l'obiettivo di arrivare progressivamente alla chiusura corretta. Per il momento, l'eventuale stato di sovrasfruttamento di un acquifero risulta più chiaramente dalla registrazione storica dei livelli che dal saldo calcolato. Per questo è di massima importanza che per ogni acquifero significativo del bacino del Fiume Arno sia realizzata una rete di monitoraggio dei livelli, con una serie adeguata di piezometri ubicati in maniera corretta. A tal fine è opportuna la sinergia degli enti interessati: Autorità di Bacino, ATO, Province, ARPAT, gestori del servizio idrico integrato.

L'interesse di giungere alla redazione di bilanci più prossimi possibile a quelli effettivi, e quindi alla valutazione dello stato di sfruttamento delle risorse idriche sotterranee del bacino dell'Arno, deriva non solo dall'importanza che queste risorse hanno, sia ai fini potabili che produttivi, ma anche dal fatto che i cambiamenti climatici che osserviamo in questi anni comportano una riduzione delle risorse idriche e quindi fanno aumentare il rischio di squilibrio.

BIBLIOGRAFIA

- ACQUE S.p.A. (1998) – *Carta della vulnerabilità della pianura compresa tra Montelupo e Santa Croce sull'Arno*. Lavoro inedito.
- ADESSI A. (1998) – *Carta della vulnerabilità della Val di Chiana senese*. Tesi di laurea, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra. Relatore G. Pranzini
- ATO 3 Medio Valdarno (1998) – *Analisi della disponibilità attuale e futura delle risorse idriche*. Relazione di Getas Petrogeo.
- ATO 3 Medio Valdarno (2000) – *Valutazione dell'impatto delle gallerie Alta Velocità Tratta Bologna Firenze sulla disponibilità attuale e futura delle risorse idriche*. Relazione di Getas Petrogeo.
- ATO 3 Medio Valdarno (2003) – *Studio della crisi idrica di Pistoia nell'estate 2003*. Relazione di Getas Petrogeo.
- ATO 3 Medio Valdarno (2005) - *Analisi della disponibilità attuale e futura delle risorse idriche. Aggiornamento al 2004*. Relazione di Getas Petrogeo
- AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI PISA (1990) - *Studio idrogeologico della Val d'Era*. Rapporto inedito
- AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME ARNO – QUADERNO N. 10 (2001) – *Bilancio idrogeologico nel Bacino dell'Arno*. Felici ed., Pisa.
- BALDACCIO F., BELLINI L. & RAGGI G. (1994) – *Le risorse idriche sotterranee della Pianura Pisana*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. Mem., serie A, Vol. CI.
- BANCHELLI A (2004) – *Studio degli acquiferi della Val di Chiana*. Relazione per l'Autorità di Bacino del Fiume Arno.
- BARTOLI A.(1998) – *Studio idrogeologico e ricostruzione con metodi geoelettrici del materasso alluvionale del fiume Sieve tra San Piero e Borgo San Lorenzo*. Tesi di laurea, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra, Relatore G. Gabbani.
- BOCCALETTI M., PRANZINI G., CORTI G. (2003) – *The sub-surface of Florence: a resource for RD development of the town. The example of the micro-underground*. Atti 4th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems. Bologna, 17-20 June 2003, 202-203.

- BRUNI L. (1973) - *Studio idrogeologico della Val d' Era tra Capannoni e la Sterza (Pisa)*. Consorzio manutenzione acquedotto. Rapporto interno.
- CANUTI P., LIBERATORE N. E TACCONI P. (1974) - *Lineamenti idrogeologici del Casentino (alta valle del Fiume Arno)*. Mem. Soc. Geol. Ital., XIII, 549-574.
- CAPECCHI F., GUAZZONE G. & PRANZINI G. (1975) - *L'Osservatorio Freatimetrico Sperimentale di Firenze*. Geologia Tecnica, 1975 (2), 1-7.
- CAPECCHI F., GUAZZONE G. & PRANZINI G. (1976a) - *Ricerche geologiche e idrogeologiche nel sottosuolo della pianura di Firenze*. Boll. Soc. Geol. Ital., XCVI (4), 1975, 661-692.
- CAPECCHI F., GUAZZONE G. & PRANZINI G. (1976b) - *Il bacino lacustre di Firenze - Prato - Pistoia. Geologia del sottosuolo e ricostruzione evolutiva*. Boll. Soc. Geol. Ital., XCVI (4), 1975, 637-660.
- CAPECCHI F., GUAZZONE G. & PRANZINI G. (1977) - *Inquadramento idrogeologico dell'area di Bagno a Ripoli (Firenze)*. Boll. Ingegn. della Prov. di Firenze, 1977 (1), 1-10.
- CAPECCHI F. & PRANZINI G. (1986) - *Studi geologici e idrogeologici nella pianura di Pistoia*. Boll. Soc. Geol. Ital., CIV (4), 1985, 601-620.
- CAPECCHI F. & PRANZINI G. (1996) – *Provincia di Pistoia. Programma di tutela e valorizzazione delle risorse idriche della Provincia, prima e seconda fase. Relazione Tecnica*. Rapporto inedito per la Provincia di Pistoia.
- CAPECCHI F. & PRANZINI G. (2001a) – *Provincia di Firenze. Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale. Bilancio idrologico dei bacini idrografici, studio delle risorse idriche sotterranee, con bilancio idrogeologico delle falde principali e definizione degli interventi di salvaguardia e corretta gestione di quelle utilizzate dagli acquedotti pubblici. Programma di tutela e valorizzazione delle risorse idriche della Provincia, prima e seconda fase*. Rapporto inedito per la Provincia di Firenze.
- CAPECCHI F. & PRANZINI G. (2001b) – *Carta della Vulnerabilità all'Inquinamento delle falde idriche della Pianura Pistoiese*. In: Valutazione dell'impatto ambientale delle pratiche vivaistiche e studio della vulnerabilità intrinseca della falda del territorio pistoiese. Quaderni ARPAT, luglio 2001, 119-151.
- CAPECCHI F. & PRANZINI G. (1986) - *Studi geologici e idrogeologici nella pianura di Pistoia*. Boll. Soc. Geol. Ital., CIV (4), 1985, 601-620.
- CICALI F. & PRANZINI G. (1987) - *Il rapporto portata delle sorgenti- deflusso di base dei torrenti nel bilancio idrogeologico di un rilievo carbonatico (Monti della Calvana - Firenze)*. Geol. Appl. e Idrogeologia, XXI, 1986, 155- 172.
- CIOLI A. & GHEZZI G. (1996) - *La pianura dell'Arno fra Montelupo e Fucecchio; la Val d'Elsa*. In: *Studio sulle falde idriche delle pianure alluvionali dei bacini dell'Arno e del Serchio*. Relazione inedita dei Dipartimenti di Scienze della Terra delle Università di Firenze e Pisa per l'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

- CIVITA M (1994) – *Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: teoria e pratica*. Pitagora Ed. Bologna.
- CIVITA M., GARGINI A. & PRANZINI G. (2003) – *Carta del rischio d'inquinamento degli acquiferi del Valdarno Medio (Pianura Firenze-Prato-Pistoia). Scala 1:25.000*. Allestimento e stampa DB Map di Brizzolari – Firenze.
- COLI M., AGILI F. & PRANZINI G. (2003) – *Geological setting of the Firenze underground*. Atti 4th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems. Bologna, 17-20 June 2003, 223-224.
- COMUNE DI AREZZO, Assessorato all'Ambiente (1994) – *Relazione sullo stato dell'ambiente nel comune di Arezzo*. Pubbl. in proprio
- FAZZUOLI M. & GUAZZONE G. (1971) – *Studi idrogeologici sul Mugello - Val di Sieve. I- Bacino idrogeologico; falda freatica; permeabilità degli acquiferi.; note sui bacini artificiali*. Mem. Soc. Geol. It. 10 (1).
- FRANCALANCI P., GABBANI G., NERONI E. & PRANZINI G. (1988) - *Ricostruzione dei depositi alluvionali del Valdarno Superiore Aretino*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., serie A, XCV 1988, 1-17.
- FRULLINI R. & PRANZINI G. (2005) – *Rischio d'inquinamento degli acquiferi alluvionali del bacino del Fiume Arno*. Atti del 2nd International Workshop "Aquifer Vulnerability and Risk, Colorno (Parma), 21-23 Settembre 2005. In CD: ID78, 11 pp.
- GABBANI G., MONZALI S., PRANZINI G. & TARCHI O. (1989) - *I depositi alluvionali del Valdarno Superiore Fiorentino*. Boll. Ingegneri Prov. di Firenze. n.3, 1989, 3-7.
- GABBANI G. & PRANZINI G. (1991) - *La falda freatica del Valdarno Superiore e la sua vulnerabilità all'inquinamento*. Memorie Valdarnesi della Accademia Valdarnese del Poggio, Montevarchi, Anno 157, Serie VII, 1991, fasc. VII, 43-52.
- GABBANI G., PRANZINI G. & VANNOCCI P. (1995). *Vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero alluvionale, scala 1:25.00*. In: Idrogeomorfologia e risorse idriche del Bacino del Fiume Arno, Il Valdarno Superiore. Carta in scala 1:50.000, S.el.ca, Firenze.
- GAGLIARDI S. & RAGGI G. (1985) - *Studio idrogeologico della Pianura Pisana*. Amministrazione Comunale di Pisa. Inedito.
- GALA D. & PRANZINI G. (1999) – *Il bilancio idrico del bacino del Fiume Elsa (affluente dell'Arno)*. Quaderni di Geologia Applicata, 6 – 1. Pitagora, Bologna, 25-42.
- GARGINI A., LANDINI F & PRANZINI G. (1995) - *Studio idrogeologico del territorio comunale di Prato per la valutazione della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi mediante un sistema parametrico*. Atti II Conv. Naz. sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee, Nonantola, Maggio 1995, Quaderni di Geologia Applicata, 1, 1995, vol.3, 41-48.
- GARGINI A. & PRANZINI G. (1995) - *Map of protection against pollution of aquifers in the Middle Valdarno (Florence-Prato-Pistoia plain)*. Con Carta 1:50.000. Proc. 76th

- Summer Meeting of the "Società Geologica Italiana" The Northern Apennines. The Basin Planning. Mem. Soc. Geol. It., **48**, 923-928..
- GEOTECNO per l'Ass. Intecomunale n.24 Valdichiana Est (1990) - *Studi e ricerche idrogeologiche per la difesa delle risorse idriche ed il potenziamento degli acquedotti*. Rapporto inedito.
- GIACOMELLI I. (2004) – *Misura dell'infiltrazione nell'alveo del Bisenzio e valutazione del suo contributo nella ricarica della falda di Prato*. Tesi di laurea, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra. Relatore G. Pranzini.
- LANDINI F. (1996) – *La Val di Pesa*. In: *Studio sulle falde idriche delle pianure alluvionali dei bacini dell'Arno e del Serchio*. Relazione inedita dei Dipartimenti di Scienze della Terra delle Università di Firenze e Pisa per l'Autorità di Bacino del Fiume Arno.
- LANDINI F., (2005) - Tesi di dottorato, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra. Tutore G. Pranzini.
- LANDINI F., PRANZINI G. & VENTURUCCI E. (1990) - *La falda idrica della conoide di Prato (Firenze)*. Acque Sotterranee, Giugno 1990, 48-70.
- LANDINI F. & PRANZINI G. (1991) - *Hydrogeologic balance of an overexploited aquifer (Prato Fan, Italy) and corrective measures for the water resources management*. Atti del XXII Congr. A.I.H. "Aquifer overexploitation", Canary Island, Spain, April 1991, 227-230.
- LANDINI F., PRANZINI G., PUPPINI U., SCARDAZZI M.E., STREETLY M.J, & VALLEY STEPHAN (2004) – *An overexploited aquifer (Prato, Italy): a physical model for groundwater resources evaluation*. 32nd Int. Geological Congress, 20-28 August, 2004, Florence (Italy), 97-5, 456.
- LANDINI F. (1995) – *Indagini geologiche, idrogeologiche e progettazione di un sistema sperimentale di ricarica artificiale per un acquifero poroso sovrasfruttato nel Medio Valdarno, con verifica dell'esercizio dell'impianto*. Tesi di dottorato inedita, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra. Relatore G. Pranzini
- LANDINI F. & PRANZINI G. (2002) – *Investigations and project for aquifer replenishment in Prato, Italy*. In "Management of Aquifer Recharge for Sustainability, Balkema". Proc. 4th Symposium on Artificial Recharge of Groundwater, ISAR-4, Adelaide (AUS) 22-26 Sept. 2002, 279-284.
- LANDINI F., PRANZINI G. & SCARDAZZI M.E. (2005a) – *Evaluation of the strategies for the re-equilibrium of the groundwater balance of an overexploited aquifer (Prato, Italy)*. ISMAR 5 Aquifer recharge. 11-16 June 2005, Berlin. Germany. 6 pp.
- LANDINI F. & PRANZINI G. (2005b) – *La falda di Prato: sovrasfruttamento e studi per il recupero della risorsa*. Atti del 2nd International Workshop "Aquifer Vulnerability and Risk, Colorno (Parma), 21-23 Settembre 2005. In CD: ID77, 16 pp.

- LISI D. (2004) – *Qualità delle acque di falda della pianura di Arezzo in relazione alla vulnerabilità degli acquiferi*. Tesi di laurea, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra. Relatore A. Buccianti.
- LORINI E. (2005) – *Rischio d'inquinamento delle acque sotterranee del Casentino*. Tesi di laurea, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra. Relatore G. Pranzini.
- MEACCI E. (1997) - *La Carta della Vulnerabilità degli acquiferi della Pianura di Pisa*. Tesi di laurea, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra. Relatore G. Pranzini.
- NARDI R., NOLLEDI G. & ROSSI F. (1987) – *Geologia e idrogeologia della pianura di Lucca*. Geogr. Fis. Din. Quat., 10.
- NOLLEDI G. (2004) – *Valutazioni idrogeologiche sulla pianura di Lucca*. Lavoro inedito.
- NOLLEDI G. & MEZZETTI F. (2003) – *Indagini idrogeologiche finalizzate alla ricostruzione ed al controllo dello stato della falda sotterranea del Padule di Bientina utilizzata per scopi potabili*. Relazione tecnica per il Comune di Bientina.
- PEDONE A. (1993) – *Carta di sintesi dei dati idrogeomorfologici del comune di Arezzo*. Ufficio Ambiente del Comune di Arezzo.
- PERLATTI T. (1999) – *Studio idrogeologico e ricostruzione con metodi geoelettrici del materasso alluvionale del fiume Sieve tra Borgo San Lorenzo e Vicchio*. Tesi di laurea, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra. Relatore G. Gabbani.
- PRANZINI G. (1981) - *Le risorse idriche dell'area consortile. Disponibilità attuale e prospettive di incremento*. Consorzio delle Risorse Idriche - Schema 23, Firenze, 24 pp.
- PRANZINI G. (2003) – *Bilancio idrogeologico nel Bacino dell'Arno*. Quaderni dell'Autorità di Bacino dell'Arno n. 10, dicembre 2001, Firenze, 256 pp.
- PRANZINI G. (2003) – *La falda di Firenze e le sue variazioni storiche*. Relazione per il Comune di Firenze.
- PRANZINI G. (2004) – *Studio idrogeologico nel Bacino Regionale Toscana Nord*. Relazione inedita per la Regione Toscana, Dipartimento Politiche Territoriale e Ambientali, U.O.C. Risorsa Idrica Interna e Marina.
- PRANZINI G. (2004) – *Studio idrogeologico della Pianura costiera fra Rosignano e San Vincenzo*. Relazione inedita per la Regione Toscana, Dipartimento Politiche Territoriale e Ambientali, U.O.C. Risorsa Idrica Interna e Marina.
- PRANZINI G., DE ROSA G. (2003) – *The Florence groundwater and its historical variations*. Atti 4th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems. Bologna, 17-20 June 3003, 593-595.
- PRANZINI G., VANNOCCI P., AGATI L. & BONCIANI S. (1995) - Hydrogeomorphology and slope instability in the Upper Valdarno (Tuscany). Proc. 76th Summer Meeting of the

- "Società Geologica Italiana" The Northern Apennines. The Basin Planning. Mem. Soc. Geol. It., 48, 1994, 865-872.
- ROSSI S. & SPANDRE R. (1994) - *L'intrusione marina nella falda artesianica in ghiaia nel litorale pisano*. Acque Sotterranee, n. 51.
- SCIDÀ S. (2000) – *Studio idrogeologico e valutazione del rischio d'inquinamento nel Valdarno Inferiore*. Tesi di laurea, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra. Relatore G. Gabbani.
- SCORTECCI B. (1996) – *Vulnerabilità della falda acquifera in Val di Chiana in relazione alla qualità delle acque*. Tesi di laurea, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra. Relatore G. Gabbani.
- TARCHI V. (1998) – *Studio idrogeologico dei depositi alluvionali del Casentino*. Tesi di laurea, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra. Relatore G. Pranzini.
- VARLECCHI D. (1977) – *Idrogeologia e freatimetria del Padule di Fucecchio*. Tesi di laurea, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra. Relatore G. Pranzini.
- VIERI A. (1996) – *Studio idrogeologico della pianura di Pisa*. Tesi di laurea, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra. Relatore F. Baldacci.