

RAFFAELLO NARDI (*), GERARDO NOLLEDI (*) & FRANCESCO ROSSI (*)

GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA DELLA PIANURA DI LUCCA (**)

ABSTRACT: NARDI R., NOLLEDI G. & ROSSI F., *Geology and Hydrogeology of the Lucca plain* (IT ISSN 0084-8948, 1987).

We present the results of the data and documents relative to the wells and geognostical drillings in the plain of Lucca (Tuscany), collected from 1970 to 1986. The data refer to 366 wells and 82 geognostical and penetrometrical drillings, including 448 research items altogether.

The stratigraphical data have been determinant in the reconstruction of the geomorphological evolution of the plain and of the lithostratigraphy of the underground, from the basal lacustrine sediments up to the surface.

Particularly we have defined the geometry of the main alluvial aquifer levels. We have carried out repeated measurements of the water level in the most relevant wells, which has allowed us to reconstruct the morphology of the underground layer and to define its seasonal variations; the data refer to a period of fifteen years and have enabled us to make an assesment of the changes relative to the layer in that periode.

The analysis of the electric conductivity of the ground water and of the O^{18}/O^{16} ratio have contributed, together with the hydrogeological criteria, to the definition of the ground-water pattern in the plain of Lucca.

Thus we have attempted a first hydrogeological balance with an evaluation of the natural and periodical reserves. Finally, the data we have collected have allowed us to reckon the potentiality of the water layer and to suggest possible developments for a safe exploitation.

RIASSUNTO: NARDI R., NOLLEDI G. & ROSSI F., *Geologia e Idrogeologia della pianura di Lucca* (IT ISSN 0084-8948, 1987).

Nel periodo compreso tra il 1970 ed il 1986 sono stati raccolti e studiati i dati e i documenti relativi a pozzi acquiferi ed a sondaggi geognostici eseguiti nella pianura di Lucca. Gli elementi utilizzati si riferiscono a 366 pozzi e ad 82 sondaggi geognostici e penetrometrici, per complessivi 448 punti d'indagine.

I dati stratigrafici così ottenuti sono stati determinati nella ricostruzione dell'evoluzione geomorfologica della pianura e nella definizione della litostratigrafia del sottosuolo, dai terreni del paleoinvaso lacustre fino alla superficie. In particolare è stata definita la geometria dei principali orizzonti dell'acquifero alluvionale.

Misure ripetute del livello idrico sono state effettuate nei pozzi significativi in modo da ricostruire la morfologia della falda sotterranea e definire le sue escursioni stagionali; i dati abbracciano un arco di tempo

quindicennale e consentono valutazioni sulle variazioni che hanno interessato la falda in tale periodo.

Analisi della conducibilità elettrica dell'acqua di falda e del rapporto O^{18}/O^{16} hanno contribuito, insieme alle considerazioni idrogeologiche, alla definizione dello schema del modello idrico sotterraneo della pianura di Lucca, per il quale si è pervenuti ad un primo tentativo di bilancio, con valutazione delle risorse totali e delle risorse regolatrici.

I dati raccolti consentono infine valutazioni sulle potenzialità della falda e forniscono indicazioni sulle possibilità di un suo ulteriore utilizzo.

TERMINI CHIAVE: Bilancio idrogeologico; falda idrica; Geomorfologia; Idrogeologia; Quaternario; Stratigrafia.

1. PREMESSA

Le presenti note intendono fornire un quadro dettagliato degli studi geologici e idrogeologici eseguiti nel sottosuolo della pianura di Lucca dal 1970 ad oggi, cercando di riunire dati di varia provenienza relativi a più fasi di indagini. Gli studi si sono rivolti alla Stratigrafia dei terreni, alla geometria delle falde acquifere, alla definizione delle caratteristiche piezometriche e delle modalità di circolazione delle acque sotterranee, alla individuazione delle aree di ricarica e dei rapporti con le acque di superficie.

I dati raccolti riguardano per la massima parte i depositi alluvionali della pianura: lo studio si è rivolto però anche alle formazioni litologiche dei rilievi circostanti la pianura stessa, classificandole sulla base di parametri idrogeologici riguardanti la loro permeabilità e mettendone in evidenza le manifestazioni sorgentizie principali (tav. 1).

Per la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo sono stati utilizzati dati relativi a pozzi e sondaggi eseguiti da privati e da Enti pubblici, prove penetrometriche statiche e dinamiche, prospezioni geoelettriche.

Il quadro che ne risulta riassume pertanto le caratteristiche geologiche e idrogeologiche generali della pianura lucchese, costituendo uno strumento utilizzabile sia per le indagini di ulteriore dettaglio, riguardanti l'uso delle falde acquifere, sia per altri tipi di intervento sul territorio.

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Università di Pisa.

(**) Lavoro eseguito nell'ambito del Progetto M.P.I. (fondi 40%): *Genesi ed evoluzione geomorfologica delle pianure dell'Italia peninsulare ed insulare.*

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La pianura di Lucca fa parte di uno dei bacini intermontani, corrispondenti ad ampie depressioni tettoniche che cominciarono a delinearci nell'Appennino Settentrionale a partire dal Miocene superiore; tale depressione rappresenta il prolungamento verso SE della struttura della vallata del Serchio e sembra continuare, nella stessa direzione, con quella della Val d'Elsa (TREVISAN & *alii*, 1971).

Essa comprende oggi due aree distinte, la piana di Lucca e la piana del sistema Pescia-Nievole, separate dai rilievi delle colline di Montecarlo-Altopascio-Le Cerbaie, costituite da depositi di cicli lacustri e fluvio-deltizi di età pleistocenica.

La depressione, corrispondente ad una area tettonicamente subsidente a partire almeno dalla fine del Pliocene/Pleistocene inferiore, fu sede di una sedimentazione di ambiente prevalentemente salmastro nella porzione SE, come dimostrano i depositi posti alla base degli attuali rilievi delle Cerbaie, mentre nella porzione più settentrionale, fra Lucca e Montecatini, i rapporti tra i sedimenti pleistocenici e quelli pliocenici, eventualmente esistenti nel sottosuolo della piana, non sono oggi per niente conosciuti.

Nel Pleistocene inferiore (Villafranchiano sup.) la depressione risulta certamente occupata da un vasto lago, localizzato nella zona compresa tra il piede dei contrafforti appenninici a Nord, il Monte Albano ad Est, il Monte Pisano ad Ovest e le colline plioceniche tra Calcinaia e Vinci a Sud (1).

I sedimenti di questo ciclo, oggi dislocati ai margini della pianura, sulle colline di Montecarlo, ma esistenti anche nel sottosuolo della piana, sono costituiti da materiali fini, argillosi, e da materiali grossolani (conglomerati, ciottoli e sabbie) presenti per lo più in corrispondenza delle antiche aree marginali del bacino (Monte Albano) o come facies di chiusura del ciclo stesso (Montecarlo).

I depositi di questo ciclo lacustre sono stati attribuiti al Villafranchiano sup. sia per mezzo di generiche considerazioni stratigrafiche (TREVISAN & *alii*, 1971), sia sulla base di alcuni reperti paleontologici segnalati da MERLA (1949) presso Petroio, nell'area empoiese (BARTOLINI & PRANZINI, 1979).

Nella zona fra Montecarlo e Altopascio, sui depositi lacustri del Villafranchiano superiore dislocati fino alla quota di circa 165 m e in parte già incisi da fasi erosive, si appoggiano, a quote inferiori, quelli delle colline di Altopascio-Cerbaie, costituiti da facies ciottolose e sabbiose di ambiente fluviale o fluviodeltizio. Questi depositi, altamente pedogenizzati, sono delimitati in alto da una piatta superficie inclinata da Sud verso Nord, degradante in quota tra i rilievi della bassa Val d'Arno e la zona di Altopascio.

(1) Nella pianura lucchese depositi appartenenti forse ad un secondo episodio lacustre cronologicamente ancora non ben definibile sono rilevabili oggi da Ponte a Moriano a S. Macario, al margine settentrionale e occidentale della piana; qui i depositi del primo ciclo lacustre villafranchiano si presentano infatti come terrazzi sopraelevati rispetto a quelli del secondo ciclo.

I rapporti di giacitura fra i depositi lacustri villafranchiani (qui indicati come «ciclo di Montecarlo») con quelli della serie fluvio-deltizia delle Cerbaie-Altopascio (probabilmente riferibile, sulla base di considerazioni varie qui non discusse, al Pleistocene medio) e i riferimenti geologici e geomorfologici generali fanno ritenere che la regione dell'antica depressione villafranchiana sia stata interessata da importanti e diversificati periodi di sollevamento tettonico e da cicli differenziati di erosione e sedimentazione fluviale nell'intervallo compreso tra la fine del Pleistocene inf. e parte del Pleistocene sup.

Tali avvenimenti delinearono i tratti geomorfologici essenziali della regione, tra i quali fondamentale fu il costituirsi dei rilievi delle colline di Montecarlo-Altopascio-Cerbaie.

A partire dal tardo Pleistocene questa dorsale condizionò fortemente il sistema idrografico locale, prefigurando i due bacini attuali della piana di Lucca-padule di Bientina ad Ovest della dorsale e delle Pesce-Nievole-Padule di Fucecchio ad Est della stessa.

In tempi successivi, in concomitanza delle vicende climatiche würmiane, l'area dell'attuale pianura lucchese fu percorsa, modellata ed alluvionata dal Serchio il cui alveo, oggi sepolto dai sedimenti più recenti della pianura, dirigeva il suo tracciato verso la zona, già depressa, del bientinese, fino a confluire, come è noto, nell'Arno nei dintorni di Calcinaia (TREVISAN & TONGIORGI, 1953).

Recenti valutazioni cronologiche confermerebbero al Würm II l'età dei depositi ciottolosi suddetti nella bassa valle dell'Arno (MAZZANTI, 1983; BOSSIO & *alii*, 1986).

Il progressivo innalzamento del letto dell'Arno portò successivamente ad un gioco alterno dei livelli delle acque dei due fiumi ed al colmamento della pianura lucchese, con ristagni ed impaludamenti nella porzione Sud della stessa e, in particolare, nell'area di Bientina. Dal ramo principale del Serchio vennero a distaccarsi rami minori con direttrici NE-SW le cui acque riuscirono prima a tracimare e poi ad incidere la soglia di Ripafratta, tra il M. Pisano e i Monti di Oltre Serchio, dando così al fiume un andamento indipendente verso il mare (PADERI, 1932; MASINI, 1956; MENCACCI & ZECCHINI, 1981).

In tempi ancora più recenti i rami minori assunsero una crescente importanza rispetto al corso primitivo finché, in tempi storici (dal VII al XVI secolo d.C.), con una serie di interventi idraulici, tutto il sistema venne regimato, giungendo alla situazione attuale, con il Serchio che scorre in un alveo arginato e pensile sulla pianura lucchese e su quella pisana, fino alla foce presso Migliarino.

Le aree più depresse della pianura, soggette ad impaludamenti e sommersioni (il lago di Bientina ne rappresenta l'esempio più importante) vennero progressivamente drenate e bonificate con apposite canalizzazioni che in gran parte furono realizzate in corrispondenza degli alvei abbandonati del Serchio. Tutta la zona compresa tra le colline di Montecarlo-Le Cerbaie ed il Monte Pisano ha assunto pertanto le caratteristiche di una valle morta (TREVISAN & *alii*, 1971).

3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE

La tav. 1 costituisce la carta idrogeologica di sintesi, con elementi di Geomorfologia, di tutti i dati raccolti relativi alla permeabilità dei terreni della pianura di Lucca e delle aree che la circondano e che sono in rapporti idrogeologici con essa. Sulla carta sono state posizionate anche le principali manifestazioni sorgentizie.

Le formazioni litoidi delle aree circostanti la pianura sono state raggruppate secondo tre gradi diversi di permeabilità. I gruppi distinti comprendono le seguenti formazioni geologiche (2):

I - ROCCE PREVALENTEMENTE SCISTOSE E ROCCE QUARZITICHE COMPLESSIVAMENTE DI BASSA E DI MEDIA PERMEABILITÀ («VERRUCANO s.l.»). Comprendono esclusivamente le formazioni metamorfiche presenti sul versante lucchese dei Monti Pisani, note in letteratura con le seguenti denominazioni formazionali:

- Filladi e quarziti listate di Buti.
- Scisti di S. Lorenzo.
- Breccie e conglomerati di Asciano.
- Formazione della Verruca.
- Quarziti di Monte Serra.

II - ROCCE CALCAREE DI ELEVATA PERMEABILITÀ PER FESSURAZIONE E CARSISMO. Comprendono sia le unità carbonatiche metamorfiche della porzione occidentale dei Monti Pisani, sia le unità carbonatiche di tipo toscano affioranti sui Monti d'Oltre Serchio, colline del Quiesa, rilievi dell'alta Val Freddana, rilievi della Val di Serchio (zona di Valle di Ottavo - Piaggione). Le formazioni interessate sono:

- a) *Nelle unità toscane metamorfiche (M. Pisano):*
 - Dolomie e calcari dolomitici («Grezzoni»).
 - Calcari ceroidi e marmi.
 - Calcari selciferi stratificati.
 - Calcari ad entrochi («calcari picchiettati»).
- b) *Nell'unità non metamorfica:*
 - Calcari cavernosi, dolomie e breccie poligeniche.
 - Calcari neri e marne a *Rhaetavicula contorta*.
 - Calcari massicci.
 - Calcari grigio-chiari con selci chiare.
 - Calcari grigio scuri con selci nere.
 - Calcare «Maiolica».
 - Calcareniti a Nummuliti.

III - ROCCE PREVALENTEMENTE ARGILLITICO-ARENACEE, MARNOSE O SILICEE, DI MEDIO-BASSA PERMEABILITÀ. Comprendono formazioni sia delle unità toscane metamorfiche e non, sia delle unità «liguri» e «subliguri».

- a) *Nelle unità toscane metamorfiche:*
 - Marne e calcari marnosi a *Posidonomya*.
 - Radiolariti.

(2) Le denominazioni formazionali sono quelle indicate nella Carta Geologica d'Italia in scala 1:100 000, foglio 105 (Lucca), nella Carta Geologica della zona nord-occidentale del Monte Pisano e dei Monti d'Oltre Serchio (GIANNINI & NARDI, 1965) e nella Carta Geologica del Monte Pisano alla scala 1:25 000 (RAU & TONGIORGI, 1974).

- Scisti sericitici verdi e rossi («Scaglia» metamorfica).
- Arenarie micacee scistose e scisti ardesiaci («Pseudomacigno»).

- b) *Nell'unità non metamorfica:*
 - Marne e calcari marnosi a *Posidonomya*.
 - Radiolariti («Diaspri»).
 - Scisti argillosi policromi («Scaglia toscana»).
 - Arenarie feldspatiche con intercalazioni marnoso-siltose («Macigno»).
- c) *Nelle unità alloctone «subliguri» e «liguri»:*
 - Argille siltose, marne e calcari marnosi («Alberese s.l.»).
 - Flysch calcareo-marnoso (Monte Catino).
 - Scisti argillosi, marne e arenarie con intercalazioni argilloso-marnose.

I DEPOSITI QUATERNARI appartengono ad alcuni cicli sedimentari, nel seguente ordine stratigrafico:

- a) *Depositi del ciclo lacustre di Montecarlo del Pleistocene inf. (Villafranchiano sup.)*
 - Argille grige, argille sabbiose con lignite.
 - Conglomerati, ciottoli arrossati, argille.
- b) *Depositi continentali fluviali e fluvio-deltizi delle Cerbaie-Altopascio (Pleistocene medio):*
 - Sabbie argillose rossastre, conglomerati e ciottoli, terminanti con un'ampia spianata.
- c) *Depositi fluvio-lacustri di Ponte a Moriano-S. Macario (Pleistocene medio?):*
 - Argille e sedimenti ciottolosi a matrice sabbioso-argillosa.
- d) *Depositi ghiaiosi e ciottolosi di S. Pietro a Vico (Pleistocene sup.-Olocene):*
 - Ghiaie e ciottoli a matrice sabbiosa.
- e) *Depositi argilloso-limosi e sabbiosi della pianura attuale (Olocene):*
 - Limi sabbioso-argillosi («bellettone»).
 - Limi argillosi ed argille.
 - Limi palustri con torbe.

Tutti questi depositi presentano una permeabilità medio-bassa, ad eccezione delle facies ciottolose (d), ad alta permeabilità.

In corrispondenza degli sbocchi nella pianura dei corsi d'acqua attuali che solcano i rilievi circostanti si incontrano conoidi e depositi alluvionali terrazzati, caratterizzati da parametri di medio-bassa permeabilità.

4. LA PIANURA ALLUVIONALE

La delimitazione della pianura alluvionale e le sue caratteristiche geomorfologiche principali sono state ricavate dall'esame di foto aeree a diversa scala, eseguito dal dott. Alberto PUCCINELLI. Le foto usate sono quelle a scala 1:33 000 circa della Regione Toscana, riprese nel 1978 e quelle a scala 1:13 000 dei Comuni di Lucca e di Capannori, riprese nel 1975.

Dal punto di vista morfologico la pianura presenta una

pendenza media pari al 2,4⁰/₆₀ lungo la direttrice NW-SE (in 12,5 km si passa dai 40 metri s.l.m. di Ponte a Moriano ai 10 metri s.l.m. delle aree più basse del territorio di Porcari), anche se si deve notare, come avviene in tutte le pianure non troppo estese ed assimilabili ad ampi e piatti conoidi, che la pendenza presenta valori del 4⁰/₆₀ nella sua parte più alta e valori al di sotto del 1,5⁰/₆₀ nelle porzioni più basse.

Il Serchio, nel suo alveo pensile ed arginato, presenta da Ponte a Moriano a Ripafratta una pendenza media pari a 1,9⁰/₆₀ passando dal valore di 3,8⁰/₆₀ nel tratto Ponte a Moriano - Monte S. Quirico al valore di 0,4⁰/₆₀ nel tratto Monte S. Quirico - Ripafratta.

Nella tav. 1 sono stati messi in evidenza anche alcuni elementi della evoluzione morfologica della pianura. Si tratta dei paleovalvei principali del Serchio e di alcuni suoi affluenti, quali si possono tuttora ricostruire dalla interpretazione delle fotografie aeree. Alcuni di questi paleovalvei corrispondono con i rami «storici» del Serchio descritti da vari Autori (BARSOCCINI, 1853; MAZZAROSA, 1841; DE STEFANI, 1877; MASINI, 1956; MENCACCI & ZECCHINI, 1981; PADERI, 1932; REPETTI, 1833). In particolare sono ben visibili:

— l'origine comune di tutte le ramificazioni nella zona compresa tra Saltocchio e S. Pietro a Vico;

— la suddivisione «tripartita» da S. Pietro a Vico, con un ramo verso Lunata-Paganico-Bientina, un secondo verso Antracoli-Mugnano-Pontetetto-Ripafratta e il terzo, che passando a Nord di Lucca, scendeva anche esso a Ripafratta toccando Nave e Montuolo.

Tuttavia è appena il caso di notare che la ricostruzione geomorfologica così effettuata non si riferisce ad un determinato momento storico, ma coglie ciò che ancora oggi si può evidenziare di una serie di fenomeni evolutivi della dinamica fluviale avvenuti in tempi successivi.

I depositi alluvionali della pianura, ricordati nei punti d-e del paragrafo precedente, sono stati distinti in base alla loro granulometria ed alle caratteristiche della permeabilità nel modo seguente:

— Depositi prevalentemente sabbioso-ghiaiosi, ad alta permeabilità. Si rinvengono in affioramento nella parte apicale della conoide alluvionale, immediatamente a valle dello sbocco del Serchio nella pianura (zona di Saltocchio-S. Pietro a Vico). Il loro spessore è compreso tra 10 e 15 metri in tale zona ed aumenta più a Sud, nell'area in cui questi depositi sono sormontati dai sedimenti più fini, fino ad un massimo di 40 metri.

— Depositi prevalentemente limoso-sabbiosi, di media permeabilità. Questo orizzonte, denominato localmente «bellettone», costituisce il sedimento alluvionale più esteso e copre gran parte della pianura e dei fondo valle in essa confluenti. Il suo spessore aumenta da Nord verso Sud e perviene ad un massimo di una decina di metri nelle zone di Pontetetto-Vicopelago, a SW di Lucca.

— Depositi prevalentemente limoso-argillosi, di bassa permeabilità. Si tratta di un livello che si incontra nella porzione sud-orientale della pianura, morfologicamente più

piatta, rappresentando il deposito di zone con acque ristagnanti. Anche in questo caso lo spessore aumenta da Nord verso Sud, fino a valori massimi di 12-13 metri nella zona a Sud di Porcari. Questi terreni sono parzialmente in eteropia con i precedenti.

— Depositi torbosi e palustri di bassa permeabilità. Occupano le porzioni più depresse della pianura (Padule di Massa Macinaia, zona tra Paganico e Colognora, alveo di bonifica del lago di Bientina), nelle quali sormontano, con uno spessore di pochi metri, i depositi limoso-argillosi e i sottostanti sedimenti sabbioso-ghiaiosi prima descritti.

5. IL SOTTOSUOLO DELLA PIANURA DI LUCCA

5.1. GENERALITÀ

Sulla base delle stratigrafie di pozzi e sondaggi si può affermare che nella pianura di Lucca prevalgono alluvioni grossolane in affioramento nella porzione settentrionale e centrale; questi sedimenti sono ricoperti da materiali più fini, di tipo limoso-argilloso, nella porzione meridionale e nella valle morta del Bientina.

Per la ricostruzione del sottosuolo sono state utilizzate 174 stratigrafie di pozzi e sondaggi geognostici, raccolte presso Enti pubblici, privati e ditte di perforazione.

I dati stratigrafici risultano abbastanza ben distribuiti nelle zone prossime alle aree urbanizzate (Lucca, Capannori, Porcari) e nelle aree di recente espansione industriale (Marlia, Guamo, Mugnano, zona a Sud di Porcari); i dati sono più rarefatti nella parte centrale della pianura, lungo il bordo dei Monti Pisani e nelle vallecole laterali.

La maggior parte dei dati stratigrafici si riferisce a pozzi e sondaggi che non superano i 30-40 metri di profondità; i dati disponibili sono per lo più sufficienti a individuare quasi sempre lo spessore dei depositi alluvionali e solo in parte quello della serie lacustre sottostante, mentre la profondità del substrato roccioso profondo è stata definita solo nel sondaggio di Pontetetto. In questa località, posta a 2 km a Sud di Lucca, con un sondaggio eseguito nel 1962 dalla Società LARDERELLO, fu definita la seguente stratigrafia (GIANNINI & NARDI, 1965):

metri

0-375: depositi fluvio-lacustri;

375-719: anidrite con intercalazioni di calcari dolomitici scuri (roccia madre del «Calcere Cavernoso»);

719-985: (fondo pozzo): arenarie micacee, scisti e quarziti del «Verrucano s.l.».

Le stratigrafie raccolte sono state infine correlate dopo un lavoro di reinterpretazione; all'origine presentavano infatti differenti gradi di dettaglio, in funzione degli scopi delle varie perforazioni.

Con i dati così elaborati sono state predisposte 5 sezioni stratigrafiche e idrogeologiche (tav. 4) ed una tavola delle isopache dell'acquifero alluvionale (tav. 3a).

5.2. LE SEZIONI STRATIGRAFICHE

Le sezioni (tav. 4), i cui tracciati sono riportati in tav. 1, sono state definite in modo tale da interessare l'intera pianura,

tenendo conto della distribuzione dei punti di controllo.

Al fine di poter evidenziare orizzonti anche di piccolo spessore nonché l'andamento della falda, è stato necessario utilizzare una scala verticale assai maggiore di quella orizzontale, con un rapporto tra le due di 25:1 (1:1 000 contro 1:25 000).

Nelle sezioni sono stati distinti i seguenti termini, ripartiti nei rispettivi cicli di deposizione e per i quali, senza approfondire in questa sede il problema, diamo anche indicazioni dell'età, non sempre chiaramente definibile.

Depositi alluvionali della pianura: Pleistocene sup.-Olocene

- Limi palustri con torbe: Olocene.
- Limi argillosi: Olocene.
- Limi sabbioso-argillosi («bellettone»): Olocene.
- Ciottoli, ghiaie e sabbie con lenti di argille e sabbie argillose: Pleistocene sup. - Olocene.

Depositi fluviali e fluvio deltizi delle Cerbaie-Altospacio: Pleistocene medio

- Ciottoli, sabbie e sabbie argillose.

Depositi del ciclo lacustre di Montecarlo: Pleistocene inf. (Villafranchiano sup.)

- Argille e argille sabbiose.

Pur essendo presente una certa variabilità granulometrica in tali depositi, sia in senso verticale che orizzontale, si è cercato di dare ai livelli alluvionali la maggiore continuità possibile, riunendo fra loro gli orizzonti simili per natura e granulometria ed eseguendo le opportune correlazioni sia in senso orizzontale che verticale.

Le osservazioni che si possono fare sulle singole sezioni sono le seguenti:

— La sezione 1-1' segue una direttrice NW-SE, da Ponte a Moriano all'alveo bonificato del Lago di Bientina. Da essa risulta evidente la continuità orizzontale dei depositi sabbioso-ghiaiosi al di sopra dei sedimenti lacustri e la eteropia di facies tra i depositi sabbioso limosi e quelli limoso-argillosi. Si nota anche che a Sud di Capannori, all'interno dell'orizzonte a granulometria più grossolana, è presente una intercalazione argillosa, avente uno spessore in media di 10-12 m e sviluppata per almeno 6-7 km di lunghezza (oltre tale distanza non si hanno controlli).

— La sezione 2-2' segue l'attuale alveo del Serchio, da Ponte a Moriano a Filettole-Ripafratta. In essa si nota ancora la continuità del livello sabbioso-ghiaioso, anche se il suo spessore risulta inferiore a quello rilevato nella sezione precedente, non superando mai i 30 metri. Al di sotto di questo livello si incontrano i depositi lacustri e, successivamente, il substrato roccioso che, salvo il tratto centrale, risulta ben definito lungo tutta la sezione.

Questi dati ben si inquadrano con il fatto che l'attuale corso del Serchio risulta forzato e occupante aree marginali rispetto alla pianura che lo stesso fiume ha formato; lungo il tracciato attuale il corso d'acqua ha pertanto effettuato un'azione erosiva e sedimentaria di minor consistenza rispetto a quelle che si verificarono lungo i vecchi rami, in modo particolare lungo quello da Saltocchio verso Bientina, comunemente noto come Paleoserchio.

— La sezione 3-3' segue un tracciato W-E, da S. Maria a Colle attraverso Lucca fino a Porcari-Badia Pozzeveri. In essa si ha conferma dell'eteropia tra depositi sabbioso-limosi e limoso-argillosi; i primi sono diffusi nel settore centro-occidentale della pianura, i secondi nel settore sud-orientale. Si ha conferma anche del progressivo aumento nello spessore dell'orizzonte ghiaioso-sabbioso procedendo da W verso E, anche se nell'area di Porcari tale spessore viene ridotto dalla comparsa dell'intercalazione argillosa già ricordata. Al di sotto del centro storico di Lucca tale orizzonte presenta uno spessore che non supera i 20 metri; a partire da tale profondità infatti si incontrano i depositi argillosi del ciclo lacustre.

— La sezione 4-4' segue anch'essa un tracciato W-E, più o meno parallelo alla sezione 3-3' ma spostato verso Nord di qualche chilometro; essa interessa in senso trasversale la parte alta della pianura, mostrando gli affioramenti dei depositi fluvio-lacustri sulle colline laterali, a W e ad E, e la continuità dell'orizzonte sabbioso-ghiaioso delle alluvioni del Serchio e di quelle dei corsi d'acqua minori che solcano il settore orientale della piana.

— La sezione 5-5' ha un andamento all'incirca N-S, dalle colline di S. Alessio attraverso Lucca fino al piede dei Monti Pisani, a Sud di Guamo. Anche in questa sezione, nell'area di Pontetetto-Guamo, compare una rilevante intercalazione argillosa all'interno dell'orizzonte sabbioso-ghiaioso; il fenomeno è verosimilmente da imputare a fenomeni di impaludamento in questa zona, morfologicamente depressa.

5.3. CARTA DELLE ISOPACHE DELL'ACQUIFERO ALLUVIONALE

La tav. 3a mostra l'andamento delle curve isopache dell'orizzonte ghiaioso-sabbioso, che costituisce l'acquifero alluvionale. Tali curve individuano dei canali, in cui lo spessore dell'orizzonte aumenta, e delle dorsali, in cui lo stesso spessore diminuisce. Tali alternanze sono da rapportare alla diversa distribuzione della dinamica del Paleoserchio nelle varie zone della pianura, con solchi di erosione più accentuati in corrispondenza dei paleoalvei, separati da zone di interfluvio in cui l'erosione e la successiva risedimentazione sono state meno marcate.

In generale lo spessore delle macroclastiti aumenta da N verso S, come già evidenziato nelle sezioni. Il valore massimo viene raggiunto nella zona di Tassignano con oltre 40 m; procedendo verso Sud, in direzione di Bientina, si assiste dapprima ad una riduzione di tale spessore, fino a meno di 30 m per poi registrare un nuovo aumento fino ad oltre 35 m nell'alveo bonificato del lago di Bientina.

Tale riduzione è connessa con la presenza delle intercalazioni argillose all'interno dei sedimenti sabbioso-ghiaiosi e con la comparsa di apporti laterali di sedimenti più fini. Anche lungo tutto il piede dei Monti Pisani lo spessore delle macroclastiti tende a ridursi per le stesse cause.

5.4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Gli elementi esposti mettono in evidenza che nel sottosuolo della pianura di Lucca si registra la sovrapposizione fra i depositi alluvionali del Pleistocene sup.-Olocene

e le argille lacustri villafranchiane sottostanti, affioranti alla base delle colline di Montecarlo.

Un altro dato importante, rilevato dagli studi del sottosuolo, è costituito dalla continuità areale dell'orizzonte sabbioso-ghiaioso acquifero che si estende sotto tutta la pianura, anche se con spessori variabili.

Il progressivo aumento dello spessore delle ghiaie fino a valori massimi di oltre 40 m lungo la direttrice Saltocchio-Lammari-Tassignano conferma che tale direttrice corrisponde a quella lungo la quale il Serchio ha esercitato per più tempo la sua azione dinamica.

In tale contesto si osserva che il colmamento progressivo della pianura con i depositi alluvionali è continuato in pratica fino alla rettifica e all'arginatura definitiva del Serchio e probabilmente, senza tali interventi umani, continuerebbe ancora.

6. LA FALDA SOTTERRANEA

6.1. METODOLOGIA DI STUDIO

Per lo studio della falda sotterranea della pianura di Lucca sono stati censiti 366 pozzi per acqua, di cui 300 sono stati utilizzati nella elaborazione dei dati piezometrici, con esclusione dei pozzi difficilmente ispezionabili o sospetti di non fornire elementi attendibili. Nella scelta dei pozzi è stato adottato il criterio di avere una distribuzione la più uniforme, secondo un reticolo a maglie ed ottenendo una densità media di 2 pozzi per km².

I pozzi censiti sono adibiti a vari usi: per una parte si tratta di pozzi «romani», scavati a mano, con rivestimento in muratura o ad anelli, che raggiungono profondità comprese tra 5 e 15 metri. Tali pozzi sono oggi poco utilizzati, salvo qualche uso agricolo locale. Altri pozzi molto diffusi nella pianura sono quelli di tipo infisso, di piccolo diametro, che si ritrovano in ampie aree non ancora servite dai pubblici acquedotti. Solo una piccola parte dei pozzi è del tipo trivellato, con profondità di solito superiori ai 20 metri, ad uso potabile, industriale o irriguo.

I pozzi superficiali, del tipo «romano» o infisso, in genere non attraversano completamente l'acquifero; i pozzi trivellati invece sfruttano l'orizzonte sabbioso-ghiaioso nella sua interezza e, quando compaiono intercalazioni impermeabili, in ogni suo livello.

Di ogni pozzo censito è stata compilata una scheda ove sono riportati in sintesi i dati costruttivi, stratigrafici, di utilizzo e delle periodiche misure del livello idrico. I pozzi sono stati quotati in genere dalle carte aerofotogrammetriche in scala 1:2000 dei Comuni della piana di Lucca; in alcuni casi le quote sono state ottenute anche per livellazione topografica, in occasione di studi di dettaglio.

Le misure del livello idrico nei pozzi sono state eseguite sull'intera pianura nei seguenti periodi:

- Febbraio ed Agosto 1972, su un numero limitato di pozzi;
- Aprile ed Ottobre 1975, sulla quasi totalità dei pozzi censiti;
- Marzo 1977, sulla maggior parte dei pozzi censiti;

— Novembre 1984, su buona parte dei pozzi censiti.

Per aree più ristrette e per indagini di dettaglio sono state eseguite misure anche in periodi diversi da quelli suddetti.

Ai fini del presente lavoro sono state predisposte le elaborazioni delle campagne di misura dell'Aprile e dell'Ottobre 1975, in quanto relative ai due periodi dell'anno in cui si registrano di norma i massimi e i minimi livelli della falda, in relazione al regime medio delle precipitazioni (fig. 12), e del Novembre 1984, in modo da avere un quadro di raffronto a distanza di circa dieci anni.

Le misure sono state eseguite con sonde elettriche ed è sempre stato misurato, in ogni pozzo, il livello statico della falda. Si deve notare tuttavia che i livelli misurati riflettono in generale una situazione non del tutto statica, per la presenza di numerosi attingimenti ad uso potabile, industriale ed agricolo diffusi in tutta la pianura.

Con i dati elaborati (v. Appendice) sono state ottenute le curve isopiezometriche relative alle tre campagne di misura, riportate nelle tavv. 2a, 2b e 2c. Le curve sono state tracciate, dati il numero e la attendibilità dei dati disponibili, con l'equidistanza di 1 metro.

Poiché la morfologia della superficie piezometrica non presenta sostanziali variazioni nelle tre campagne di misura è stato ritenuto opportuno rappresentarne soltanto una (Novembre 1984, la più recente) alla scala 1:25 000 e fornire le altre due in scala ridotta (1:50 000).

6.2. ANALISI DELLA SUPERFICIE PIEZOMETRICA

Le condizioni stratigrafiche della pianura di Lucca fanno sì che la falda idrica sotterranea si presenti con caratteristiche freatiche nella porzione in cui l'orizzonte sabbioso-ghiaioso, che costituisce l'acquifero, non risulta confinato verso l'alto da terreni impermeabili. Tale situazione si verifica nella maggior parte della piana, perché solo nella porzione meridionale sono presenti in copertura i depositi limoso-argillosi di bassa permeabilità. In queste condizioni la falda acquista caratteristiche di semiartesianità e di artesianità a mano a mano che si procede da Nord verso Sud.

Una linea di vera e propria demarcazione tra i due tipi di falda non è di facile definizione; si può assumere una fascia di passaggio lungo l'allineamento Pontetetto-Toringo-Tassignano-Porcari, a Nord della quale si hanno condizioni freatiche per una superficie di pianura all'incirca di 100 km², mentre l'area posta a Sud, in condizioni artesiane, si estende per circa 50 km².

Lungo tale fascia di passaggio si hanno, con maggiore evidenza nei periodi di ricarica, manifestazioni di risorgenza della falda (linea delle risorgive).

La morfologia della superficie piezometrica rilevata nell'Aprile 1975 (tav. 2a) porta ad alcune considerazioni di carattere generale, valide anche per le altre campagne piezometriche, e a qualche considerazione specifica.

Come per tutte le falde acquifere, la superficie piezometrica è determinata nelle quote e nell'andamento dai livelli di alimentazione e di drenaggio, che impongono i punti estremi del suo profilo di depressione. Nel caso in esame la falda si apre a ventaglio nella pianura, procedendo da

N (all'uscita del Serchio dalla valle incassata) verso SE e SW, assumendo un andamento divergente e con un profilo di regola lineare che trova nello sbocco nell'alveo prosciugato del Bientina da un lato e nella stretta di Filettole-Ripafratta dall'altro i suoi punti di drenaggio basale (almeno nell'ambito del territorio studiato).

La tavola d'acqua si trova sempre a breve profondità dal piano di campagna (massimo 5-6 metri), quando addirittura non emerge. Casi di particolare abbattimento si hanno in alcune aree soggette a forti emungimenti, che esamineremo più avanti.

All'alimentazione della falda contribuiscono:

- l'infiltrazione meteorica diretta nelle zone della pianura in cui l'acquifero è freatico;
- la ricarica dal subalveo del Serchio;
- gli afflussi idrici sotterranei provenienti dai rilievi e dalle vallecole laterali;
- l'infiltrazione delle acque irrigue.

Il gradiente idraulico è influenzato in generale dalla topografia e, localmente, dalle depressioni forzate indotte da pompaggi concentrati. Il campo di variabilità del gradiente è compreso tra valori intorno al 5-6‰ nella parte alta e lungo i bordi della piana e minimi di 1-1,5‰ nelle parti mediane della stessa, con un valore medio di circa il 3‰.

Le forme più evidenti della superficie piezometrica sono connesse con la distribuzione e lo spessore dell'acquifero nel sottosuolo. Come già visto nel commento della carta isopaca (tav. 3a) dello stesso acquifero, nella piana si ha un'alternanza di paleoalvei, ove lo spessore dell'acquifero è maggiore, con zone di interfluvio, in cui tale spessore si riduce e/o sono presenti terreni a permeabilità più bassa. Ai paleoalvei corrispondono gli assi principali di drenaggio della falda, verso cui convergono le acque sotterranee delle zone limitrofe. I più importanti assi di drenaggio ripercorrono così i vecchi rami del Serchio, come si può notare da un confronto tra la tav. 1 e la tav. 2a e dalla carta piezometrica emerge la suddivisione tripartita del fiume lungo le direttrici S. Pietro a Vico-Lunata-Bientina, S. Pietro a Vico-Mugnano-Pontetetto-Ripafratta e S. Pietro a Vico-S. Anna-Nave-Ripafratta.

Assi di drenaggio secondari si incontrano nelle confluenze dei corsi d'acqua laterali nella pianura: ad Est il complesso dei torrenti che scendono dai rilievi delle Pizzorne; a Sud, dai Monti Pisani, i rii Guappero e di Vorno; ad Ovest-Nordovest i torrenti Freddana e Contesora.

La zona compresa fra Pontetetto e Sorbano del Giudice, che costituisce la soglia morfologica di separazione delle acque superficiali della pianura con il Canale Ozzeri verso Ovest (con deflusso verso il Serchio) e con il Canale Rogio verso Est (con deflusso verso il Bientina ed il suo canale emissario), rappresenta anche uno spartiacque sotterraneo che separa un flusso verso Verciano-Paganico ad Est, da un flusso verso S. Donato-Montuolo ad Ovest. Tale soglia è probabilmente connessa con la protuberanza morfologica e idrogeologica della conoide sepolta dei rii Guappero e di Vorno, in cui prevalgono depositi a granulometria fine provenienti dalle rocce silicee dei Monti Pisani.

L'esame delle isopieze lungo il corso attuale del Ser-

chio consente di individuare i rapporti tra falda e fiume nei suoi vari tratti. Il corso d'acqua drena le acque sotterranee nel tratto iniziale della pianura, da Vinchiana a Saltocchio, le alimenta in misura variabile da zona a zona nel tratto compreso tra Saltocchio e Carignano, ritorna a drenare la falda fino all'altezza di Nozzano, ed infine esercita una nuova azione di ricarica immediatamente a valle di tale località, ricarica che è determinante per l'alimentazione dell'acquifero nella stretta di Filettole.

La carta piezometrica dell'Aprile 1975 rappresenta una condizione di massima ricarica della falda, con i livelli prossimi ai valori più alti. Si notano comunque, anche in queste condizioni, alcune depressioni particolari con isopieze chiuse, che principalmente sono le seguenti, da Est verso Ovest:

- zona di minimo a Sud di Porcari, connessa con i forti attingimenti presenti in quell'area industriale;
- zona di minimo localizzata nel Padule di Massa Macinaia, che può essere giustificata, data l'assenza di pompaggi significativi, come un fenomeno connesso sia con l'impaludamento delle acque, sia con la presenza di lenti impermeabili nell'acquifero (sez. 5-5', tav. 4);
- zona di minimo localizzata nella stretta di Filettole, da imputare alla concentrazione dei pompaggi nei pozzi che alimentano gli acquedotti di Pisa e di Livorno.

La carta piezometrica dell'Ottobre 1975 (tav. 2b) con la falda in condizioni di magra ed i livelli intorno ai valori minimi, non presenta sensibili variazioni rispetto alla precedente.

La morfologia generale con andamento radiale a filetti divergenti e profilo pressoché lineare risulta invariata, anche se la tavola d'acqua presenta un generale abbassamento rispetto alle condizioni di ricarica primaverile di circa due metri. I gradienti, salvo situazioni locali particolari, non risultano modificati.

In tale contesto, in cui l'elemento dominante è solo la escursione verticale della falda, appaiono più marcati alcuni degli assi di drenaggio già individuati nella situazione precedente e appare più vistoso l'effetto di ricarica subalveare in alcuni tratti del Serchio, in modo particolare quello compreso tra S. Pietro a Vico e Carignano in cui si fa sentire di più la posizione pensile del corso d'acqua rispetto alle alluvioni della pianura.

Nella parte Sud della piana sono più accentuati i minimi relativi ad isopieze chiuse; alle tre aree messe in evidenza dalla piezometrica primaverile se ne aggiunge una quarta nella zona di Pontetetto, che può essere spiegata, come quella del Padule di Massa Macinaia, con la presenza di una zona in cui compaiono livelli a minore permeabilità nell'ambito dell'orizzonte acquifero.

La piezometrica dell'Ottobre 1975 non coglie un fenomeno interessante che è presente solo nel periodo Luglio-Settembre, ed è quello dell'anomalia idrometrica della falda dovuta alla pratica irrigua nella parte centrale della pianura, su una superficie di oltre 40 km². Su questa superficie in tale trimestre si verifica un innalzamento piezometrico anche rispetto ai massimi primaverili, che varia tra 50 e 150 cm e che ha una sensibile influenza sulla ricarica della falda e sul suo bilancio generale.

La carta piezometrica relativa alle misure del Novembre 1984 (tav. 2c) è interessante per la possibilità di raffronto con la situazione controllata circa dieci anni prima.

Si deve subito rilevare che per la elevata piovosità del quadrimestre Agosto-Novembre 1984 (3) la situazione in cui è stata eseguita la campagna di misura dei livelli è venuta a corrispondere ad un momento di ricarica, con valori prossimi a quelli massimi annuali; ciò significa che è più corretto confrontare la piezometrica del Novembre 1984 con quella dell'Aprile 1975 e non con quella dell'Ottobre dello stesso anno.

Ciò premesso, si osserva che la piezometrica del Novembre 1984 non presenta sensibili variazioni rispetto a quella dell'Aprile 1975. Confrontando tra loro i due elaborati (si possono prendere come linee-guida le isopieze principali, tracciate con equidistanza di 5 m), si nota una uniformità generale nei livelli di falda nelle due situazioni, senza sostanziali modificazioni, oltre che nei livelli, anche nella morfologia della falda e nell'andamento del gradiente.

Le aree in cui erano presenti i minimi piezometrici relativi del 1975 (zona industriale a Sud di Porcari, «zone umide» di Massa Macinaia e Pontetetto, stretta di Filettole) presentano ancora depressioni piezometriche, ma con un andamento meno esasperato e più uniforme.

Ben marcata appare la ricarica sotterranea dal subalveo del Serchio nei tratti già individuati tra Saltocchio e Carignano e a valle di Nozzano. Pressoché inalterato rimane anche l'andamento degli assi di drenaggio della falda, con un flusso forse più accentuato dai rilievi di NE rispetto a quanto osservato in precedenza: questo particolare può essere messo in relazione con l'afflusso meteorico del periodo immediatamente precedente al rilievo piezometrico, anche se si deve rilevare che pur presentando il quadrimestre Agosto-Novembre 1984 un surplus pluviometrico del 35%, tale periodo ha fatto seguito ad una primavera ed un'estate con piovosità inferiore alla media. Pertanto il quadro di generale e sostanziale stabilità della falda nel decennio 1975-1984 non può essere imputato ad una situazione pluviometrica particolarmente favorevole, ma ad una reale assenza di variazioni sensibili nel quadro idrogeologico della pianura di Lucca, come confermano inoltre le osservazioni e misure periodiche condotte negli anni successivi ai pozzi significativi della rete di controllo.

Il livello piezometrico rilevato nel Novembre 1984 è stato riportato anche sulle sezioni idrogeologiche (tav. 4), avendo conferma dei fenomeni emergenti dalla carta in merito ai gradienti, al ruolo del Serchio nella ricarica, alle direttrici di drenaggio principale, alle depressioni presenti nelle aree con emungimenti concentrati. In particolare si osserva:

— Lungo la sezione 1-1', che corre lungo il corso del Serchio, il livello della falda coincide con quello del corso d'acqua da Ponte a Moriano a Nozzano; a valle di questa

località si verifica una forte depressione piezometrica connessa con il pompaggio dell'acquedotto di Filettole.

— Dalla sezione 2-2' appare evidente la fascia di terreni, collocata in corrispondenza della variazione di gradiente morfologico tra la alta e la bassa pianura, in cui la falda è quasi coincidente con il piano di campagna e in cui si manifestano fenomeni di risorgenza. Le aree di risorgiva, individuate nella piezometrica dell'Aprile 1975, sono infatti collocate o all'intersezione della tavola d'acqua con la morfologia di superficie nella fascia centrale della piana o in zone prossime ai rilievi in cui la risorgenza può essere connessa con un innalzamento del substrato. Tra le risorgive più note sono le «Polle del Frizzone», ubicate a NW di Capannori, che danno origine ad un vero e proprio corso d'acqua (Rio Frizzone), caratterizzato da una portata e da una temperatura quasi costanti.

— La sezione 3-3' coglie i rapporti tra falda e fiume nella parte medio-alta della pianura (S. Pietro a Vico-Lammari) e l'effetto drenante dei paleoalvei dei corsi d'acqua laterali (area di Zone-Porcari).

— La sezione 4-4' mette in evidenza l'effetto drenante del Serchio nella zona di Nave-S. Angelo, la vicinanza della falda al piano di campagna nella zona di Lucca, l'abbassamento piezometrico indotto dai pozzi della zona industriale di Porcari.

— Dalla sezione 5-5' si rileva infine la ricarica fluviale della zona a Nord di Lucca, la ricarica dal conoide di Guamo, l'area di ristagno di Pontetetto.

6.3. DISTRIBUZIONE DELLA TRASMISSIVITÀ

Sulla base dei dati relativi a prove di pompaggio eseguite su 63 dei 366 pozzi censiti, con una densità media di 1 prova ogni 2,5 km² di pianura, è stata elaborata una carta della trasmissività dell'acquifero (fig. 1).

Si può notare che i valori sono generalmente alti in tutta la piana e sono compresi in linea di massima tra 10⁻¹ e 10⁻³ m²/s, con diminuzioni lungo i bordi della pianura stessa. Tali valori, assai elevati, dipendono dall'alto coefficiente di permeabilità delle alluvioni sabbioso-ghiaiose e dalla loro continuità in senso verticale ed orizzontale.

Valori più alti della media si registrano lungo il corso attuale del Serchio sia per la più elevata permeabilità dei depositi alluvionali, sia per l'effetto-ricarica operato dal fiume. Nella pianura l'andamento della trasmissività è invece condizionato soprattutto dallo spessore dell'acquifero, e i valori maggiori si rinvencono lungo la direttrice Saltocchio-Paganico-alveo del Bientina, in corrispondenza del tracciato principale del Paleoserchio, e, in senso E-W, a Nord e a Sud di Lucca, in coincidenza con i tracciati dei rami minori del paleofiume. I valori più bassi che si notano nell'area in prossimità di Lucca e sulla soglia Colognora-Porcari sono dovuti invece ad una riduzione dell'acquifero per la locale comparsa di intercalazioni argillose nelle alluvioni, come già visto nel commentare la carta dell'isopaca dell'acquifero alluvionale.

Alla distribuzione della trasmissività è strettamente connessa, oltre alla potenzialità dell'acquifero, la capacità di risposta dello stesso alle sollecitazioni piezometriche, co-

(3) L'afflusso meteorico nei 4 mesi è stato alla stazione pluviometrica di Lucca di 625 mm, contro il valore medio di 462 mm osservato nel periodo 1921-1986, con un aumento del 35% rispetto alla media.

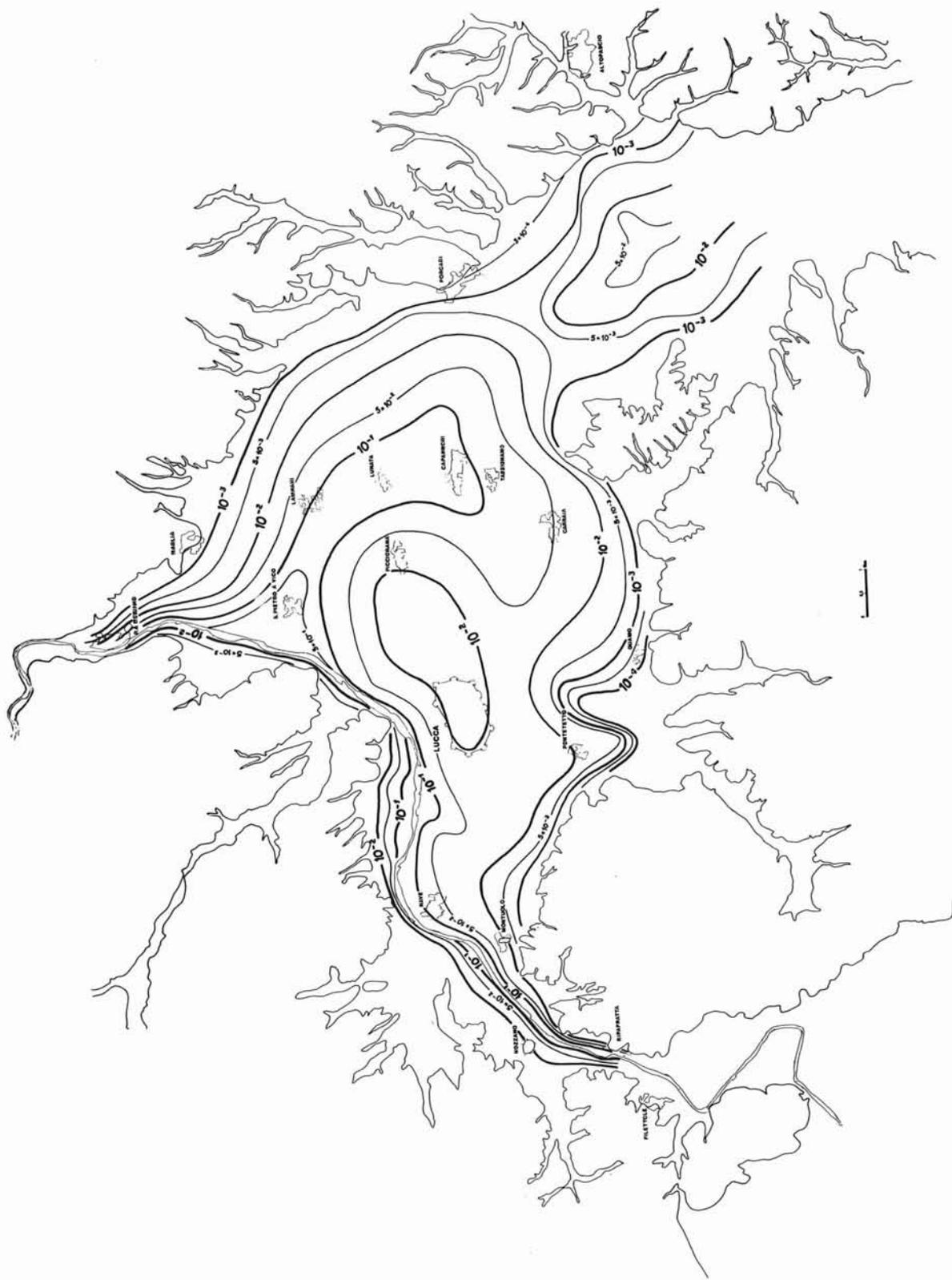


FIG. 1 - Carta della trasmissività.

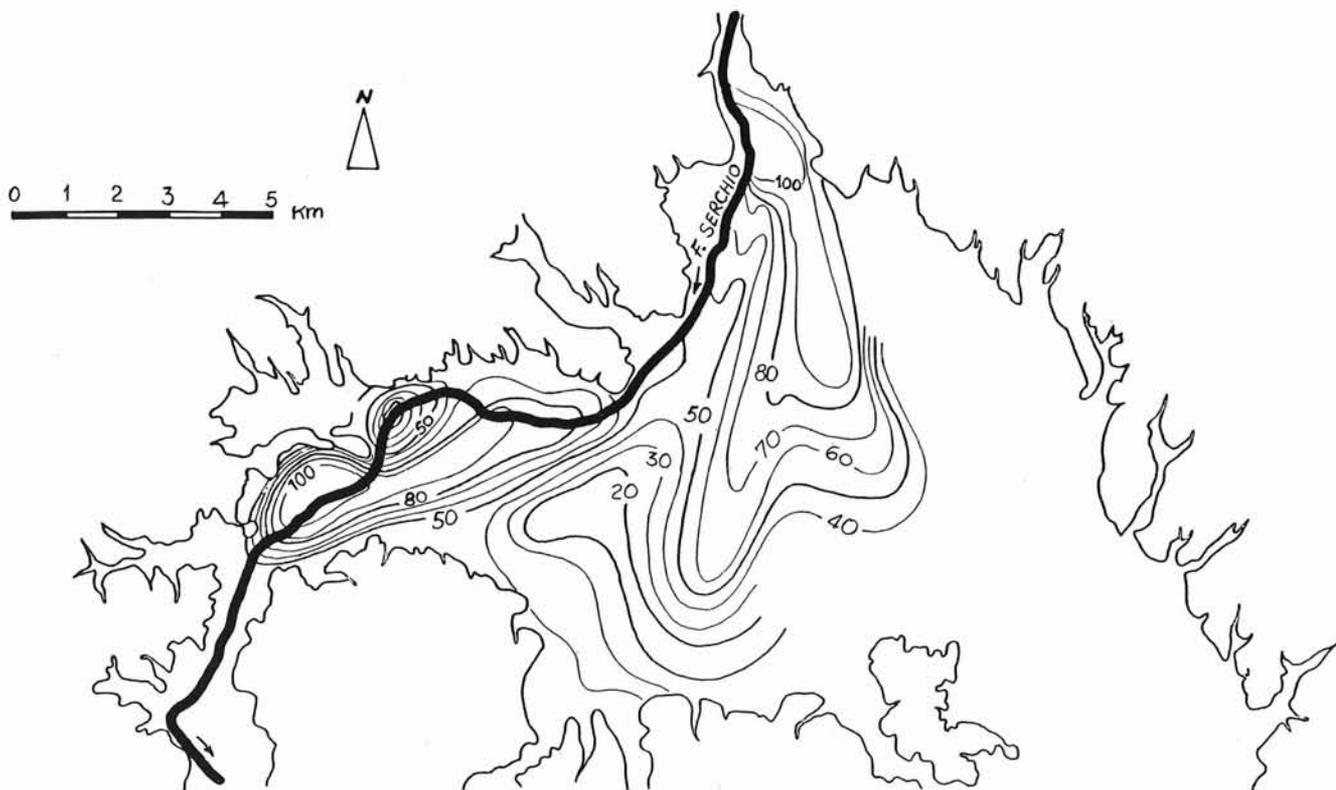


FIG. 2 - Carta di distribuzione delle onde di piena nella varie direttrici di falda (curve di uguale innalzamento del livello piezometrico dopo 24 ore dall'onda di piena del Serchio del 13.2.1972. Equidistanza: 10 cm).

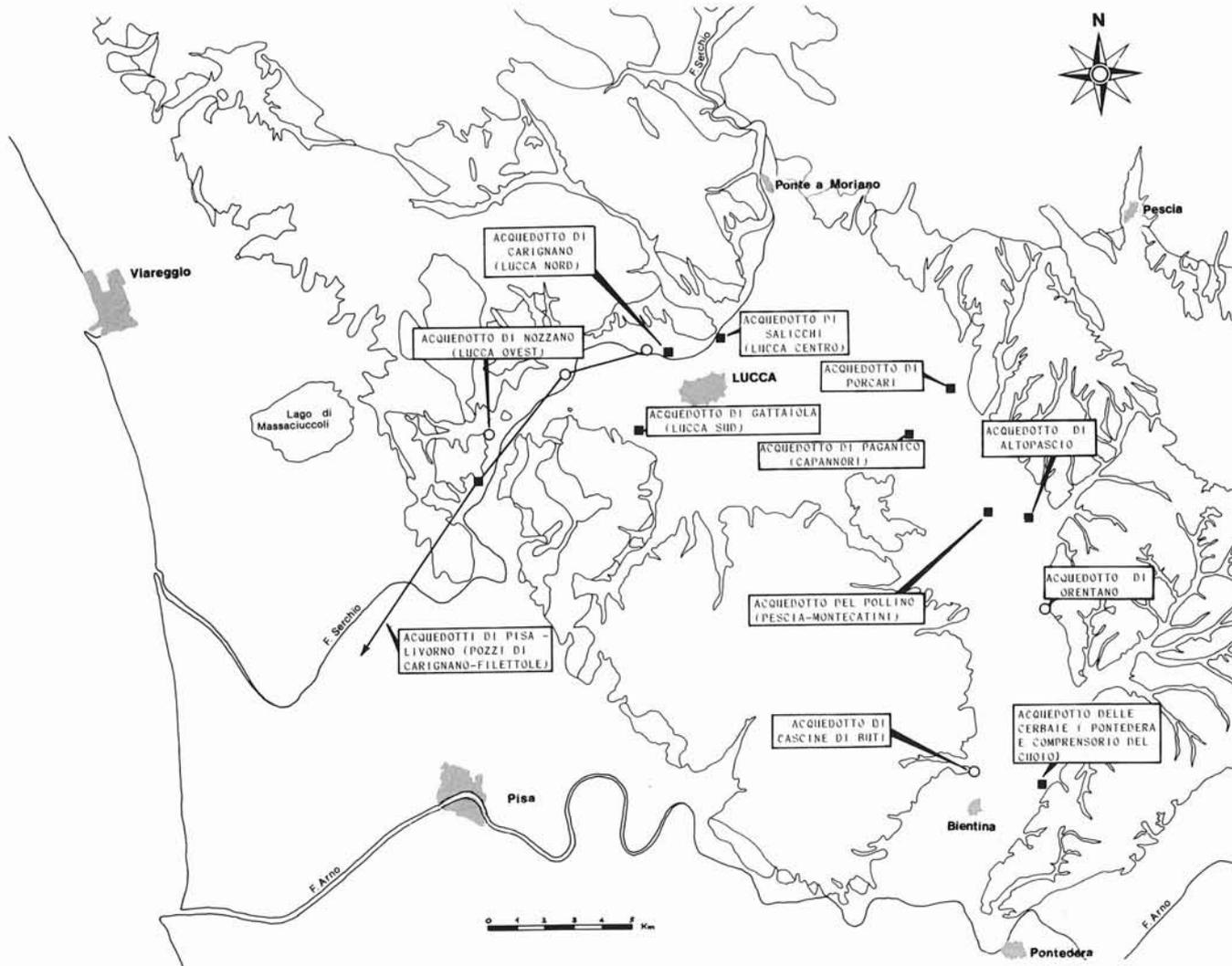


FIG. 3 - Posizione dei principali prelievi per acquedotti dalla falda della pianura.

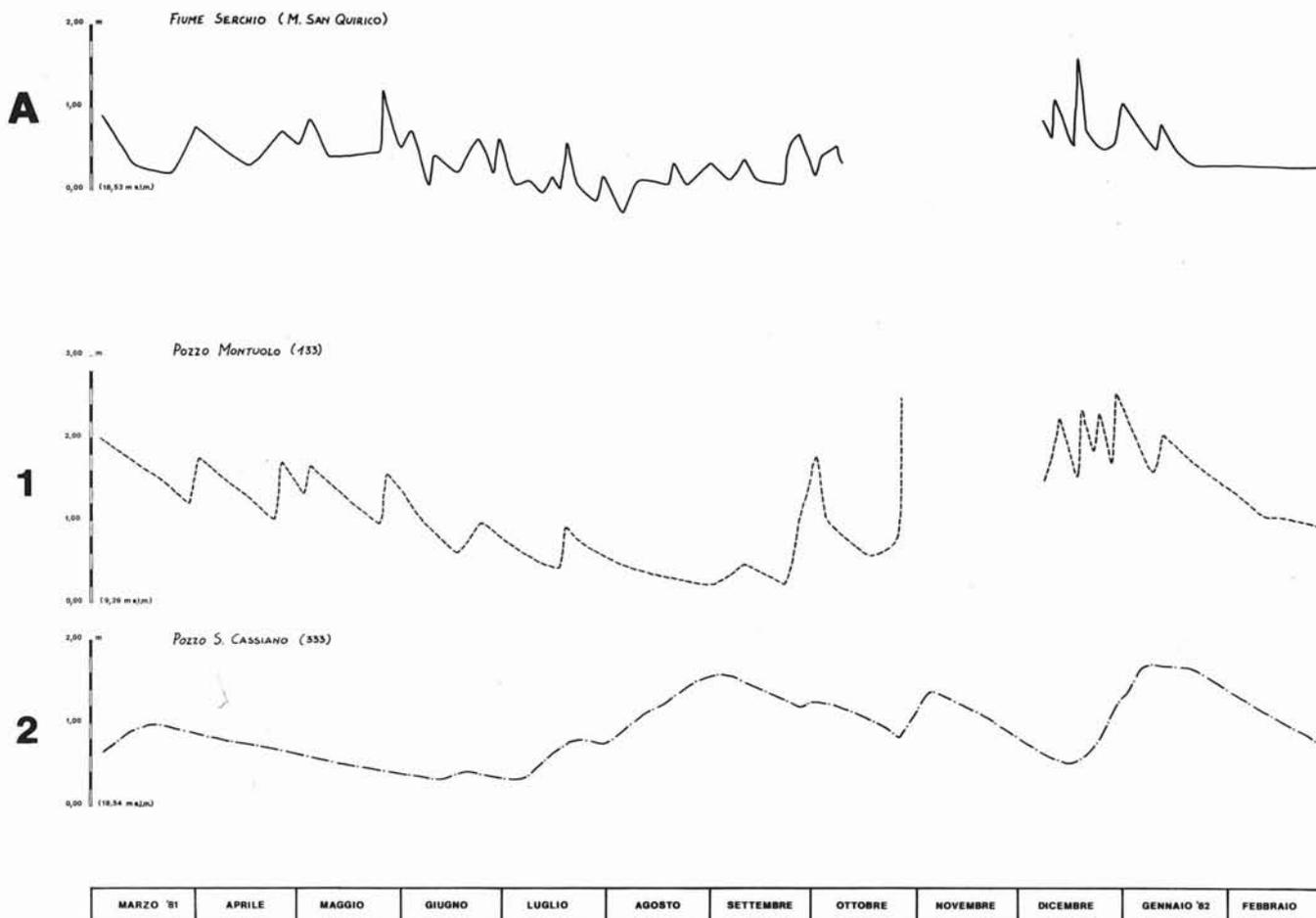


FIG. 5 - Andamento piezometrico di due pozzi della piana (1; 2), correlato con il livello del F. Serchio (A) all'idrometrografo di M.S. Quirico.

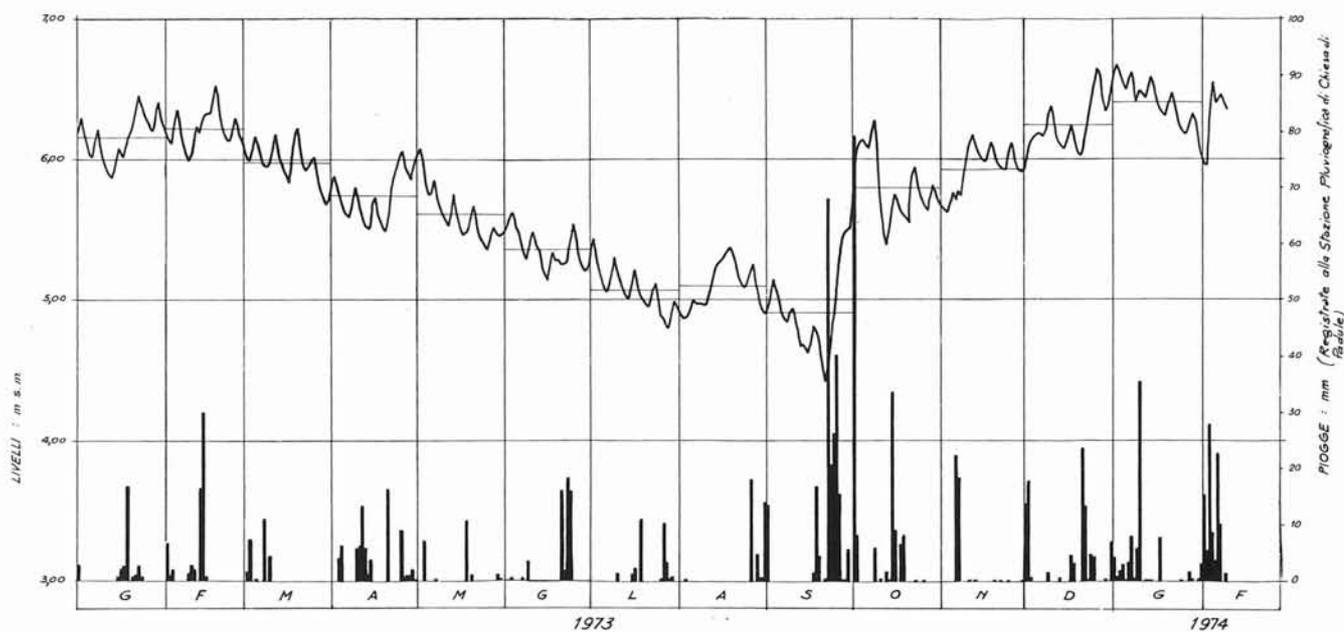


FIG. 6 - Andamento piezometrico di un pozzo nella zona industriale di Porcari, correlato con le precipitazioni.

nale, ma in dettaglio si osservano (fig. 6) oscillazioni settimanali dovute all'alternarsi del periodo lavorativo nelle industrie (lunedì-venerdì) con la fermata del fine settimana (sabato-domenica).

6.4. CHIMISMO DELLE ACQUE DI FALDA

Sulle acque di molti pozzi della pianura lucchese sono noti da tempo i principali parametri chimico-fisici, determinati in occasione di varie campionature, anche se non contemporanee.

Nella tab. 1 è riportato un quadro sintetico di alcune di tali analisi, riferito a pozzi di acquedotti comunali che sono stati interessati anche dal censimento generale. I pozzi introdotti nella tabella sono stati scelti in modo da interessare le varie parti della pianura e cogliere le eventuali differenze nelle caratteristiche chimiche delle acque di falda.

Dall'esame dei dati risultano le conclusioni seguenti:

— I valori più bassi della durezza, conducibilità e del residuo fisso si incontrano sia nei pozzi prossimi al subalveo del Serchio (238, 324, 308), sia in quelli posti al bordo della pianura (314, 354, 364). Nei pozzi collocati a una certa distanza dal fiume o dai rilievi laterali i valori tendono ad aumentare. Questa distribuzione è giustificata dallo schema di ricarica della falda, per cui le acque provenienti dal Serchio tendono ad aumentare la loro mineralizzazione a mano a mano che scorrono, con moto molto lento, nell'acquifero lungo le direzioni di flusso preferenziali. Il contributo delle acque laterali, che in genere provengono da terreni arenacei (Pizzorne) o quarzifici (M. Pisano), ha una funzione di diluizione.

— Le acque che provengono dal Serchio hanno bassi contenuti in ferro. Sensibili quantità di ferro (sono stati misurati valori anche superiori ad 1 g/l) si rinvenivano nelle acque provenienti dal Verrucano del M. Pisano o dai depositi del ciclo lacustre in cui prevalgono gli apporti del M. Pisano (zona di Montecarlo-Altopascio), come si osserva nei pozzi 314, 354, 364. La presenza del ferro è talvolta accompagnata anche da quella del manganese (pozzo 354).

— È costante l'assenza dell'ammoniaca e dei nitriti; questo è stato confermato anche da analisi recenti ed è un attestato del fatto che, almeno in generale, le acque non presentano significativi inquinamenti di origine organica, come del resto risulta anche dai controlli microbiologici. Questo fatto sembra più da ascrivere al potere autodepurante dell'acquifero alluvionale che non alla mancanza di sorgenti di inquinamento (basta pensare che tuttora molte frazioni della pianura sono prive di fognatura e lo smaltimento dei liquami domestici avviene con le tradizionali vasche settiche). In tale contesto fanno eccezione alcuni pozzi ubicati nel «padule» bonificato di Bientina (es. pozzo 364) in cui l'ammoniaca compare a livelli significativi. Questa presenza non è tuttavia da ascrivere ad inquinamento organico (nelle acque non sono presenti coliformi o altri batteri di origine fecale), quanto all'ambiente di sedimentazione, caratterizzato da orizzonti alluvionali con depositi torbosi.

A conferma delle indicazioni emerse dal confronto dei

dati analitici suddetti, è stata eseguita nel Novembre 1984, con prelievi d'acqua in contemporanea su 80 pozzi significativi, una campagna di misure della conducibilità elettrica dell'acqua di falda e con i dati ottenuti è stata elaborata la carta della distribuzione di tale parametro nella pianura lucchese (tav. 3b). In essa sono tracciate, con equidistanza di 100 $\mu\text{S/cm}$, le curve di isoconducibilità.

Sull'andamento delle curve si possono fare le seguenti considerazioni:

— Le principali fonti di ricarica della falda nella pianura (Serchio in riva sinistra, area di diretta infiltrazione delle acque meteoriche e irrigue, apporti laterali lungo le unghie dei rilievi), sono caratterizzate dai seguenti valori medi della conducibilità elettrica:

- acque del Serchio: 300-400 $\mu\text{S/cm}$;
- area di infiltrazione diretta: 350-400 $\mu\text{S/cm}$;
- apporti laterali dal M. Pisano e dalle alture di Altopascio in cui sono presenti rocce silicee del «verrucano s.l.» o depositi lacustri con clasti di «verrucano»: 150-250 $\mu\text{S/cm}$;
- apporti laterali dagli altri rilievi, in cui sono presenti rocce arenaceo-marnose o rocce carbonatiche: > 700 $\mu\text{S/cm}$.

— Le acque di falda tendono ad aumentare progressivamente la conducibilità a mano a mano che i pozzi si allontanano dal Serchio in direzione dei massimi gradienti, sulle direttrici degli assi di drenaggio principali corrispondenti ai più importanti paleoalvei, passando da valori intorno a 400 $\mu\text{S/cm}$ (pozzi di golena) a valori massimi compresi tra 700 e 900 $\mu\text{S/cm}$.

— La presenza di aree di infiltrazione diretta delle acque meteoriche e delle acque irrigue porta, nelle zone alte della piana (Lammari-S. Cassiano-Picciorana) ad un locale abbassamento della conducibilità delle acque di falda, con curve chiuse su valori inferiori ai 400 $\mu\text{S/cm}$.

— Gli apporti laterali determinano aree di miscelazione, con protuberanze più o meno marcate di acque più ricche di sali nelle zone in cui prevalgono apporti da terreni marnosi e carbonatici (valli dei torrenti Contesora e Fredana, valli dei rii minori delle alture di Segromigno-Porcari, zona di Meati-Cerasomma), con valori anche superiori a 900 $\mu\text{S/cm}$. Si hanno invece evidenti contributi di acque a bassa conducibilità, con effetti di diluizione sulla falda principale, lungo il bordo del M. Pisano (conoidi del rio Guappero e del rio di Vorno e dei rii del Compitese) e nella zona delle alture di Altopascio-Montecarlo.

Il quadro che emerge dalla carta è soggetto a variazioni connesse con fattori stagionali, in funzione degli afflussi e delle quantità d'acqua in gioco nelle varie componenti della ricarica sotterranea, ed anche con fattori indotti dall'uomo (irrigazioni e pompaggi). I dati disponibili portano comunque a ritenere che tali variazioni si possano verificare solo su scala locale, senza modifiche sostanziali sul modello di circolazione delle acque di falda. All'origine di questa affermazione sta il fatto accertato che tutto il sistema idrogeologico della pianura lucchese dipende in massima parte dai contributi del Serchio, il cui flusso continuo in una posizione pensile sulla stessa pianura assicura un ri-

TABELLA 1
PARAMETRI FISICO - CHIMICI DI ALCUNI POZZI

pozzo n.	331	166	324	322	238	308	327	328	314	115	323	340	354	364
località	Marlia	Lammari	Salicchi	Lucca	S. Alessio	S. Anna	S. Vito	Arancio	Pontetetto	S. Angelo	Filettole	Paganico	Pollino (Porcari)	Altopascio (Tazzera)
data analisi	1/87	11/82	1/68	1/68	6/81	1/68	1/68	1/68	1/68	9/79	3/68	5/82	6/86	—
temperatura °C	—	14,6	15,2	15,2	—	14,8	14,8	14,6	15,2	—	15,8	—	—	—
pH	7,3	7,2	7,5	7,2	—	7,4	7,2	7,2	7,5	7,2	7,4	7,3	7,3	7,7
durezza totale G.F.	34,8	26,8	25,7	32,4	22,0	25,7	33,2	32,1	22,8	29,0	24,5	35,0	29,5	18,4
conducibilità elettrica $\mu\text{s}/\text{cm}$	693	488	510	683	468	521	662	706	441	536	503	651	584	400
residuo fisso a 180° mg/l	496	336	338	458	309	347	442	483	309	459	347	447	385	276
cloruri mg/l	32,9	34,0	23,0	31,0	19,0	26,0	23,0	37,0	24,0	27,0	27,0	31,0	35,0	56,0
NH ₃ mg/l	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,05
NO ₂ ⁻ mg/l	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8
NO ₃ ⁻ mg/l	33,0	11,5	0,0	11,0	0,0	5,0	12,0	12,0	0,0	2,1	6,3	0,0	0,0	—
ferro mg/l	—	—	0,07	0,07	—	0,13	0,14	0,09	0,26	0,08	—	0,09	0,30	0,50
manganese mg/l	—	—	0,0	0,0	—	0,0	0,0	0,0	0,0	—	—	—	0,85	—

fornimento costante e rilevante alla falda. A queste conclusioni era già pervenuto oltre 50 anni fa il PIERI (1932) che dopo aver condotto una lunga serie di indagini chimico-fisiche sulle acque di diversi pozzi della piana, concludeva: «Tributi laterali della valle... s'insinuano nel sottosuolo presso l'unghia dei monti e dei colli..., ma il Serchio, nel tratto considerato quasi tutto pensile rispetto alla pianura, oltre che dare importanti, forse i principali tributi alla grande falda, signoreggia e caratterizza, idrostaticamente, tutta la speciale situazione idrologica».

6.5. ANALISI ISOTOPICHE

La prevalenza della ricarica della falda da parte delle acque del Serchio rispetto agli altri possibili contributi è stata messa in evidenza anche dai risultati delle analisi isotopiche eseguite per la determinazione del rapporto $0^{18}/0^{16}$ nelle acque di falda. Le analisi, effettuate nel 1972 presso il Laboratorio di Geologia Nucleare dell'Università di Pisa, hanno interessato 48 campioni di altrettanti punti d'acqua (41 pozzi e 7 corsi d'acqua).

Il rapporto isotopico $0^{18}/0^{16}$ viene espresso, come noto, come $\delta 0^{18}$ che corrisponde alla relazione:

$$\delta 0^{18} = \frac{0^{18}/0^{16} \text{ campione} - 0^{18}/0^{16} \text{ standard}}{0^{18}/0^{16} \text{ standard}} \times 1.000$$

Poiché come standard viene considerata la composizione isotopica media dell'acqua oceanica, per la quale è $\delta 0^{18} = 0$, per una certa regione si avranno, nella stessa stagione, valori di $\delta 0^{18}$ tanto più negativi quanto più elevata è la quota a cui avviene la precipitazione dell'acqua meteorica, a causa dei frazionamenti isotopici connessi con i processi di evaporazione e condensazione.

Nel bacino del Serchio la correlazione tra la quota e la composizione isotopica dell'ossigeno è rappresentata dal grafico della fig. 7. Si osserva che alla quota media del bacino (709 m, come si ricava dalla curva ipsografica di fig. 8) corrisponde un $\delta 0^{18} = -7,3$ ma in generale si può

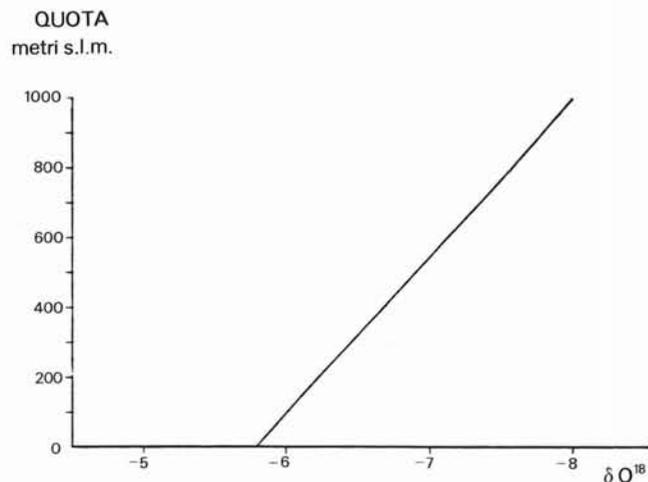


FIG. 7 - Grafico di correlazione tra composizione isotopica $0^{18}/0^{16}$ e quota media del bacino idrogeologico.

CURVA IPSOGRAFICA DEL FIUME SERCHIO

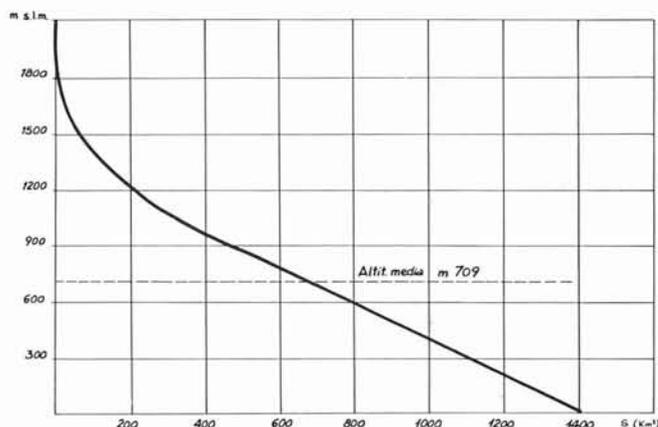


FIG. 8 - Curva ipsografica del F. Serchio.

dire che le acque del Serchio presentano durante l'anno valori compresi tra -7 e -9 , in funzione del periodo stagionale. Con lo stesso criterio si osserva che le acque di precipitazione locale e quelle che provengono dai rilievi laterali della pianura lucchese sono riferibili ad una quota media compresa tra 50 e 400 metri, con valori corrispondenti del $\delta 0^{18}$ variabili tra $-5,8$ e $-6,7$.

Dato che l'acqua, una volta infiltratasi in falda, non varia più la sua composizione isotopica in quanto non è più sottoposta a processi di frazionamento, si può stabilire, in base ai dati esposti, che nella pianura di Lucca le acque aventi $\delta 0^{18} \leq -7$ sono attribuibili alla ricarica del Serchio mentre quelle con valori superiori sono connesse con contributi di origine locale e con l'infiltrazione dai rilievi laterali.

Il quadro di sintesi offerto dalla tav. 3c, in cui è stata tracciata la curva corrispondente al $\delta 0^{18} = -7$, individua una vasta area in cui l'acqua di falda presenta valori inferiori a tale limite, area in cui è dominante l'alimentazione dall'alveo del fiume, che interessa circa il 60% della pianura. Il restante 40% è rappresentato dalle zone laterali, in cui prevale la ricarica locale.

I dati isotopici confermano pertanto il quadro idrogeologico emerso dai dati piezometrici e dalla distribuzione della conducibilità elettrica e consentono anche di stabilire, in prima approssimazione, il rapporto areale tra le superfici della pianura in cui prevale la ricarica fluviale e quelle in cui è presente l'alimentazione dai rilievi laterali.

7. BILANCIO IDROGEOLOGICO

7.1. LIMITI DEL SISTEMA IDROGEOLOGICO

Ai fini di un bilancio delle risorse idriche sotterranee, sono stati adottati i seguenti limiti al sistema idrogeologico della pianura di Lucca (fig. 9):

— Il Fiume Serchio da Ponte a Moriano a Ripafratta sui lati NW ed W.

— Il bordo dei rilievi delle Pizzorne e delle colline di

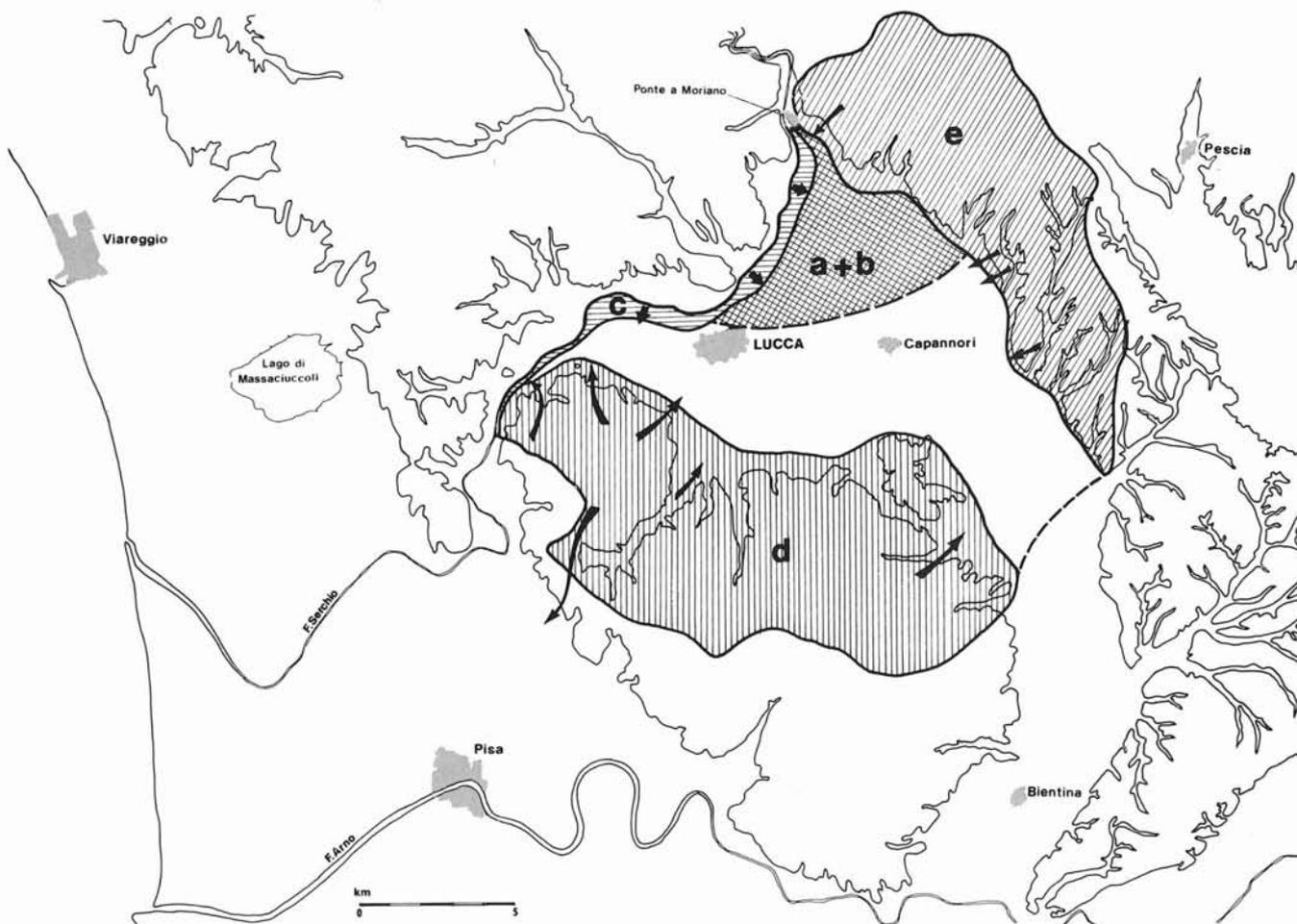


FIG. 9 - Componenti del sistema idrogeologico della pianura di Lucca; a, b) area di infiltrazione meteorica diretta e di infiltrazione delle acque irrigue; c) area di infiltrazione subalveare del Serchio; d) area dei contributi profondi alla falda provenienti dai Monti Pisani; e) area dei contributi profondi alla falda provenienti dai rilievi orientali.

Porcari-Altopascio fino all'inizio dell'alveo bonificato del Bientina sui lati NE ed E.

— Il Monte Pisano sul lato S.

In tale contesto sono stati esaminati i contributi forniti dalle seguenti componenti in entrata:

- a) L'infiltrazione meteorica diretta nella parte della pianura in cui l'acquifero è freatico.
- b) L'infiltrazione dovuta alle acque irrigue.
- c) La ricarica subalveare del Serchio.
- d) Gli apporti dai rilievi a Sud (M. Pisano).
- e) Gli apporti dai rilievi a NE ed E (Pizzorne, colline di Porcari ed Altopascio).

Le uscite sono costituite dai deflussi superficiali delle acque di risorgiva, dagli emungimenti e dai deflussi sotterranei alle due sezioni di chiusura (Ripafratta ad W ed alveo del Bientina ad E).

Non sono state prese in esame né entrate né perdite sotterranee extra-bacino per motivi di ordine geologico, salvo l'eccezione del fianco sinistro della Valle del Guappero.

7.2. ENTRATE DEL BILANCIO IDROGEOLOGICO (4)

a) Infiltrazione meteorica diretta (I_m).

Questa voce è stata valutata considerando che la porzione di pianura in cui è possibile l'infiltrazione diretta ha una superficie di circa 100 km², di cui 20% interessati da affioramenti di terreni molto permeabili (sabbie e ghiaie) ed 80% da terreni di media permeabilità (sabbie limose, limi sabbiosi del «bellettone»). Con una precipitazione media annua di 1,2 m gli afflussi sulle due superfici sono:

$$A_1 = 1,2 \times 20 \times 10^6 = 2,4 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno}$$

$$A_2 = 1,2 \times 80 \times 10^6 = 9,6 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno}$$

Da alcune indagini di dettaglio eseguite nella zona e sulla base anche di altre esperienze (CERUTTI P., PAGOTTO A., PETERLONGO G., 1986) si può ritenere valido che

(4) L'afflusso meteorico medio anno, dedotto dagli Annali Idrologici, è di 1 200 mm per la piana di Lucca, di 1 500 mm per i Monti Pisani e di 1 350 mm per l'area Pizzorne-colline di Porcari.

l'infiltrazione efficace (vale a dire quella effettivamente in grado di raggiungere la falda) sia pari al 20% degli afflussi nei terreni più permeabili e pari al 5% in quelli di media permeabilità.

L'infiltrazione meteorica sarà pertanto:

$$I_m = A_1 \times 0,20 + A_2 \times 0,05 = 0,96 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno}$$

b) *Infiltrazione di acque irrigue (I_p).*

Le osservazioni piezometriche eseguite hanno messo in evidenza che la pratica irrigua provoca nella piana di Lucca un innalzamento medio della falda di 1,50 m su una superficie di 8 km² e di 0,50 m su una restante area di circa 35 km². Data una porosità efficace delle alluvioni del 30% e considerando che il fenomeno ha una durata media di 4 mesi, l'infiltrazione prodotta sarà:

$$I_r = (8 \times 10^6 \times 1,5 \times 0,30 + 35 \times 10^6 \times 0,5 \times 0,30) \times 4/12 = 0,29 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno}$$

c) *Ricarica subalveare del Serchio (R_s).*

Il tratto di fiume che attraverso il suo subalveo viene a ricaricare direttamente la falda è quello compreso tra Saltocchio e Carignano; su questo fatto concordano i dati piezometrici, quelli relativi alla distribuzione delle onde di piena in falda e i dati derivati dalle analisi chimiche e isotopiche. Non viene considerato nel calcolo del bilancio il tratto di fiume a valle di Nozzano, che non partecipa al bilancio della pianura e fornisce un contributo solo alla falda di Filettole.

Il fronte filtrante così individuato sulla sinistra del Serchio può essere distinto in due parti:

— un primo tratto della lunghezza di circa 3,5 km (da Saltocchio a Salicchi), in cui l'alimentazione della falda si verifica con un gradiente medio di 1×10^{-3} , tenendo conto dell'andamento piezometrico;

— un secondo tratto lungo circa 4 km (da Salicchi alla località Palazzaccio), in cui la ricarica avviene con un gradiente medio di $2,5 \times 10^{-3}$.

Lungo tutto il fronte filtrante la trasmissività dell'acquifero si mantiene intorno ad un valore medio di 10^{-1} m²/s, come si può constatare dalla fig. 1.

Applicando la relazione di Darcy avremo pertanto:

$$R_s = 3500 \times 10^{-3} \times 10^{-1} + 4000 \times 2,5 \times 10^{-3} \times 10^{-1} = 4,25 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno}$$

d) *Infiltrazioni laterali: zona Monti Pisani (I_{11}).*

Il bilancio proprio di questo settore è dato dall'espressione:

$$I_{11} = A - (D + E_t + P_s + W_c), \text{ in cui:}$$

A = afflusso meteorico medio annuo;

D = deflusso superficiale medio annuo;

E_t = evapotraspirazione reale media annua;

P_s = perdite sotterranee verso altri bacini;

W_c = acque captate.

In dettaglio abbiamo:

— L'afflusso meteorico è pari al prodotto della piovosità media annua (1 500 mm) per la superficie del settore (km² 76), e cioè:

$$A = 1,5 \times 76 \times 10^6 = 11,4 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno.}$$

— Il deflusso superficiale, ottenuto per via diretta mediante misure di portata dei corsi d'acqua, assume il valore di:

$$D = 4,09 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno.}$$

Il calcolo dell'evapotraspirazione, eseguito con la relazione di Turc tenendo conto di una piovosità media annua di 1 500 mm e di una temperatura media annua di 13,1 °C, porta ad un risultato di:

$$E_t = 5,09 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno.}$$

Le perdite sotterranee verso altri bacini riguardano solo il fianco sinistro della valle del Rio Guappero, che per gli affioramenti di rocce carbonatiche presenta un bilancio idrologico negativo, definito con uno studio specifico (CHINES, NARDI, NOLLEDI & ZIA, 1975). Tale valore risulta:

$$P_s = 0,66 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno.}$$

La valutazione della quantità di acqua W_c captata dalle sorgenti del settore è stata eseguita sulla base del censimento e studio delle sorgenti dei comuni di Lucca e di Capannori. Il valore che si ottiene è:

$$W_c = 0,12 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno.}$$

Pertanto il contributo alla ricarica della falda della pianura di Lucca da parte delle acque d'infiltrazione provenienti dai Monti Pisani sarà:

$$I_{11} = [11,4 - (4,09 + 5,09 + 0,66 + 0,12)] \times 10^7 = 1,44 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno.}$$

e) *Infiltrazioni laterali: zona Pizzorne-colline di Porcari-Altopascio (I_{12}).*

Il bilancio di questo settore, che per la sua natura geologica non presenta perdite verso i bacini limitrofi, è dato da:

$$I_{12} = A - (D + E_t + W_c)$$

in cui i simboli hanno il significato già noto.

Il dettaglio è il seguente:

— L'afflusso meteorico medio (A) è dato dal prodotto della piovosità media annua (1 350 mm) per la superficie del settore, che è di 65 km². Avremo pertanto:

$$A = 1,35 \times 65 \times 10^6 = 8,77 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno.}$$

— Il deflusso superficiale medio (D) ottenuto mediante misure di portata sui corsi d'acqua del settore, è pari a:

$$D = 3,00 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno.}$$

— Il parametro evapotraspirazione (E_t) è stato calcolato con il metodo di Turc per una piovosità media annua di

1 350 mm ed una temperatura media annua di 13,5 °C. Il risultato ottenuto è:

$$E_t = 4,30 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno}$$

— La quantità d'acqua captata dalle sorgenti del settore (W_c) è stata valutata sulla base del censimento e studio delle sorgenti dei Comuni di Lucca, Capannori, Montecarlo. Il valore ottenuto è:

$$W_c = 0,10 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno}$$

— Pertanto il bilancio dell'infiltrazione fornita alla falda della pianura di Lucca dal settore dei rilievi delle Pizzorne-colline di Porcari ed Altopascio sarà:

$$I_{12} = [8,77 - (3,00 + 4,30 + 0,10)] \times 10^7 = 1,37 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno}$$

Il totale delle entrate del bilancio idrogeologico della pianura di Lucca risulta dalla somma dei diversi contributi:

contributo	m ³ /anno × 10 ⁷	% sul totale
I_m	0,96	12
I_r	0,29	4
R_s	4,25	52
I_{11}	1,44	18
I_{12}	1,37	14
totale entrate	8,31	100

7.3. USCITE DEL BILANCIO IDROGEOLOGICO

a) Deflussi superficiali delle acque di risorgiva (D_s).

Una parte delle acque di risorgiva viene utilizzata con prelievi diretti e di conseguenza non contribuisce al deflusso ma deve essere computata nel conteggio degli emungimenti. La parte restante alimenta alcuni corsi d'acqua e canali, soprattutto nel periodo compreso tra la primavera e l'estate, quando questi svolgono un effetto drenante sulla falda, prima dell'inizio della pratica irrigua.

I dati relativi a tali deflussi non sono molti, ma riguardano i corsi d'acqua principali in grado di drenare la falda, e cioè quelli con alveo incassato, non pensile. Si tratta, da E verso W dei rii Frizzone e Arpino, del Canale Ozzoretto e del Canale Ozzeri suo ricettore, nonché di alcuni altri affluenti di quest'ultimo (canali Formica e Piscilla, Fosso Ducaia). Per il deflusso delle acque di risorgiva in questi corsi d'acqua è stata compiuta una valutazione complessiva di:

$$D_s = 0,95 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno}$$

b) Prelievi civili e industriali (P).

La valutazione dei prelievi dalla falda della pianura di Lucca è stata fatta nel modo seguente:

— Per gli emungimenti ad uso civile sono stati utilizzati i dati aggiornati forniti dagli acquedotti comunali della pianura, entro i limiti areali del sistema idrogeologico. Con

riferimento alla fig. 3, che intende fornire un panorama di tutti i punti di prelievo idropotabile della piana di Lucca e immediate adiacenze, non sono da computare nel bilancio i pozzi degli acquedotti di Filettole, Cascine di Buti e delle Cerbaie, in quanto non compresi entro i limiti suddetti. Ciò premesso il totale dei prelievi dai pozzi degli acquedotti pubblici ammonta a $2,2 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno}$. A tale quantitativo si deve aggiungere la portata complessiva emunta dai pozzi privati presenti nelle zone della piana non servite da acquedotto, per un totale di circa 27.000 abitanti. Con una dotazione pro-capite di 300 l/d/abitante si ottiene un consumo aggiuntivo di $0,3 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno}$ per cui il totale dei prelievi idropotabili ammonta a $2,5 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno}$.

— Per gli emungimenti ad uso industriale ed agricolo si è fatto riferimento ai censimenti eseguiti dal Genio Civile di Lucca nel 1973, dal Laboratorio Provinciale di Igiene e Profilassi nel 1979 e, più recentemente, dai comuni della piana. I dati risultanti da tali censimenti sono stati confrontati tra loro ed opportunamente aggiornati alla situazione attuale. Ne è scaturito un prelievo complessivo pari a $3,6 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno}$. La principale utenza industriale è risultata l'industria della carta, particolarmente diffusa nella piana di Lucca, che da sola copre il 60% dei prelievi a destinazione non idropotabile.

Sulla base dei consumi così definiti il totale dei prelievi in falda per i vari usi ammonta pertanto a:

$$P = (2,5 + 3,6) \times 10^7 = 6,1 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno}$$

Il totale delle uscite del bilancio idrogeologico risulta dalla somma delle seguenti componenti:

componente	m ³ /anno × 10 ⁷	% sul totale
D_s	0,95	13,5
P	6,10	86,5
totale uscite	7,05	100,00

7.4. CONSUNTIVO DEL BILANCIO IDROGEOLOGICO.

Il consuntivo del bilancio idrogeologico, costituito dalla differenza tra le entrate e le uscite, porta ad un residuo attivo medio di $1,26 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno}$, così calcolato:

entrate	$8,31 \times 10^7$	m ³ /anno
uscite	$7,05 \times 10^7$	m ³ /anno
residuo	$1,26 \times 10^7$	m ³ /anno

Tale residuo, pari ad un deflusso istantaneo medio di circa 400 l/s, costituisce l'esubero che nelle condizioni attuali fuoriesce dai limiti adottati per il sistema idrogeologico in esame, e si viene a suddividere in parte sul lato Ovest, verso Filettole, e in parte sul lato Est, dalla parte dell'alveo del Bientina.

Lungo le due sezioni di chiusura del sistema è possibile una verifica del flusso di falda così calcolato.

a) Sulla sezione di chiusura ad Ovest (zona di Montuolo):

$$Q = T \times L \times i = 10^{-1} \times 1\,200 \times 1,7 \times 10^{-3} = 0,204 \text{ m}^3/\text{s} = 0,64 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno}$$

b) Sulla sezione di chiusura ad Est (da Colle di Com-pito a Orentano):

$$Q = T \times L \times i = 2 \times 10^{-2} \times 4\,000 \times 3 \times 10^{-3} = 0,240 \text{ m}^3/\text{s} = 0,76 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno}$$

La somma delle due sezioni porta ad un deflusso totale di $1,40 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno}$, che rispetto al deflusso calcolato col bilancio analitico non presenta sensibile differenza (+ 10% circa).

In tale contesto un'osservazione particolare può essere fatta per la falda di Filettole, la cui alimentazione dipende, oltre che dall'attivo di bilancio sul lato Ovest della piana di Lucca, dalla ricarica subalveare del Serchio nel tratto Montuolo-Nozzano e dagli apporti profondi provenienti dai rilievi calcarei di NW, che rappresentano le terminazioni delle Alpi Apuane. Poiché gli studi eseguiti sulla sezione di Filettole (CHINES & NOLLEDI, 1973) hanno messo in luce che la portata media della falda è di $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$, se $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ rappresentano il contributo dell'attivo di bilancio del lato Ovest della pianura, gli altri contributi sommati tra loro assicurano una alimentazione pari a $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Anche in questo caso, per le considerazioni già espresse in sede di bilancio generale, il ruolo della ricarica subalveare del fiume è certamente prevalente sugli altri apporti sotterranei.

7.5. RISERVE REGOLATRICI E RISERVE TOTALI - VELOCITÀ DI FLUSSO.

Le riserve regolatrici dell'acquifero alluvionale possono essere calcolate considerando l'entità della fluttuazione annuale della superficie piezometrica e distinguendo l'area in cui la falda è libera da quella in cui presenta caratteristiche di semiartesianità o artesianità.

Per l'area a falda libera ($S = 100 \text{ km}^2$, $\Delta h = 2 \text{ m}$, $m_e = 30\%$):

$$Wr_1 = S \times \Delta h \times m_e = 100 \times 10^6 \times 2 \times 0,30 = 6 \times 10^7 \text{ m}^3$$

Per l'area a falda semiartesianità o artesianità ($S = 50 \text{ km}^2$):

$$Wr_2 = 50 \times 10^6 \times 2 \times 0,05 = 5 \times 10^6 \text{ m}^3.$$

Il totale delle riserve regolatrici sarà pertanto:

$$Wr_1 + Wr_2 = 6,5 \times 10^7 \text{ m}^3.$$

Questo risultato è paragonabile, ma non assimilabile, al totale delle entrate del bilancio idrologico sotterraneo quantificato in $8,3 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{anno}$; in pratica le riserve regolatrici costituiscono un volume immagazzinato nel corso dell'anno medio, mentre le entrate del bilancio rappresentano la risorsa rinnovabile in termini di portata media.

Per quanto riguarda le riserve totali (Wt) si perviene ad una valutazione di $6,75 \times 10^8 \text{ m}^3$. Tale valore si ottiene considerando anche in questo caso il contributo dell'acquifero a falda libera (Wt_1) e quello a falda semiartesianità o artesianità (Wt_2); al primo vengono assegnati uno spessore medio di 20 m , un'estensione di 100 km^2 ed una porosità efficace del 30% . Il secondo presenta una superficie di 50 km^2 , uno spessore medio di 30 m ed una porosità efficace media di $0,05\%$.

Abbiamo pertanto:

$$\begin{aligned} Wt &= Wt_1 + Wt_2 = \\ &= 100 \times 10^6 \times 20 \times 0,3 + 50 \times 10^6 \times 30 \times 0,05 = \\ &= 6,75 \times 10^8 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Il tasso di rinnovamento dell'acquifero, inteso come rapporto tra l'alimentazione media annuale, espressa in volume, e la riserva totale media Wt , assume il valore:

$$\frac{8,3 \times 10^7}{6,75 \times 10^8} = 12,3\%$$

Con tale valore il tempo di rinnovamento della riserva idrica (intervallo teorico necessario affinché il volume proveniente dall'alimentazione annua dell'acquifero sia uguale alla riserva totale media) è di circa 8 anni.

Per quanto concerne infine i tempi di flusso delle acque di falda dalle zone di ricarica a quelle di scarica naturale dell'acquifero si possono calcolare, tenendo conto della distribuzione della permeabilità, della porosità efficace e dei gradienti, velocità effettive dell'ordine dei $2-3 \text{ m/d}$. A titolo esemplificativo il tempo occorrente ad una particella d'acqua proveniente dal subalveo del Serchio per percorrere in falda la distanza tra Saltocchio e l'alveo del Bientina all'altezza di Orentano, pari a 16 km sarà, con un gradiente medio di 3×10^{-3} , un coefficiente medio di permeabilità pari a $2 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ ed una porosità efficace del 30% , di 25 anni circa.

Molto più rapidi, come già visto, sono invece i tempi di risposta dei livelli della falda alle sollecitazioni piezometriche, dovute alle onde di piena del Serchio o alla pratica irrigua.

8. CONSIDERAZIONI FINALI

Lo scopo del presente lavoro è stato quello di fornire un quadro di dettaglio, peraltro suscettibile di ulteriori approfondimenti, delle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche della pianura di Lucca, sulla base degli studi eseguiti negli ultimi 15 anni.

A tale fine, definito il quadro geologico e della geometria del serbatoio idrico sotterraneo, sono stati affrontati l'analisi della falda nei suoi vari parametri ed il bilancio idrogeologico della pianura.

Il contesto che ne risulta porta alla definizione di una rilevante riserva di acque sotterranee (quasi 700 milioni di m^3 d'acqua), con una elevata funzione regolatrice (tasso di rinnovamento oltre il 12%). Questa notevole pre-

senza di acque nel sottosuolo della pianura lucchese, che si abbina e si integra con la elevata disponibilità delle acque di superficie, ha costituito l'elemento forse più determinante nella evoluzione del territorio e ne ha vincolato le vocazioni ambientali e funzionali.

I dati raccolti e le indagini eseguite hanno messo in luce che il quadro idrogeologico della piana di Lucca non ha subito variazioni di rilievo negli ultimi 15 anni, sia sotto l'aspetto piezometrico e quantitativo, sia in ordine alla qualità delle acque, salvo qualche alterazione circoscritta connessa con un locale supersfruttamento dell'acquifero (zona industriale di Porcari, area dell'acquedotto di Filettole).

Ciò non toglie che, data l'importanza della riserva e la sua vulnerabilità, non debbano essere adottate con urgenza alcune misure per la sua protezione, nella consapevolezza che è assai più facile prevenire l'inquinamento o

i danni prodotti da sfruttamento indiscriminato piuttosto che operare decontaminazioni o ristabilire equilibri perduti.

In tale prospettiva si possono individuare alcuni temi di intervento:

a) È necessario estendere a tutte le abitazioni della pianura i servizi di fognatura e di acquedotto pubblici, con eliminazione delle attuali fosse settiche e degli attingimenti privati (non controllati) ad uso potabile.

b) È opportuno un controllo costante sull'attività degli insediamenti produttivi che sorgono nelle aree di maggiore vulnerabilità della falda (zona apicale della conoide alluvionale, zone lungo il corso del Serchio, aree delle conoidi laterali, ecc.) in ordine alla tipologia delle lavorazioni ed agli scarichi liquidi e solidi.

c) Si impone un controllo ed una limitazione d'uso dei fitofarmaci e di tutti i prodotti tossici usati in agricoltura,

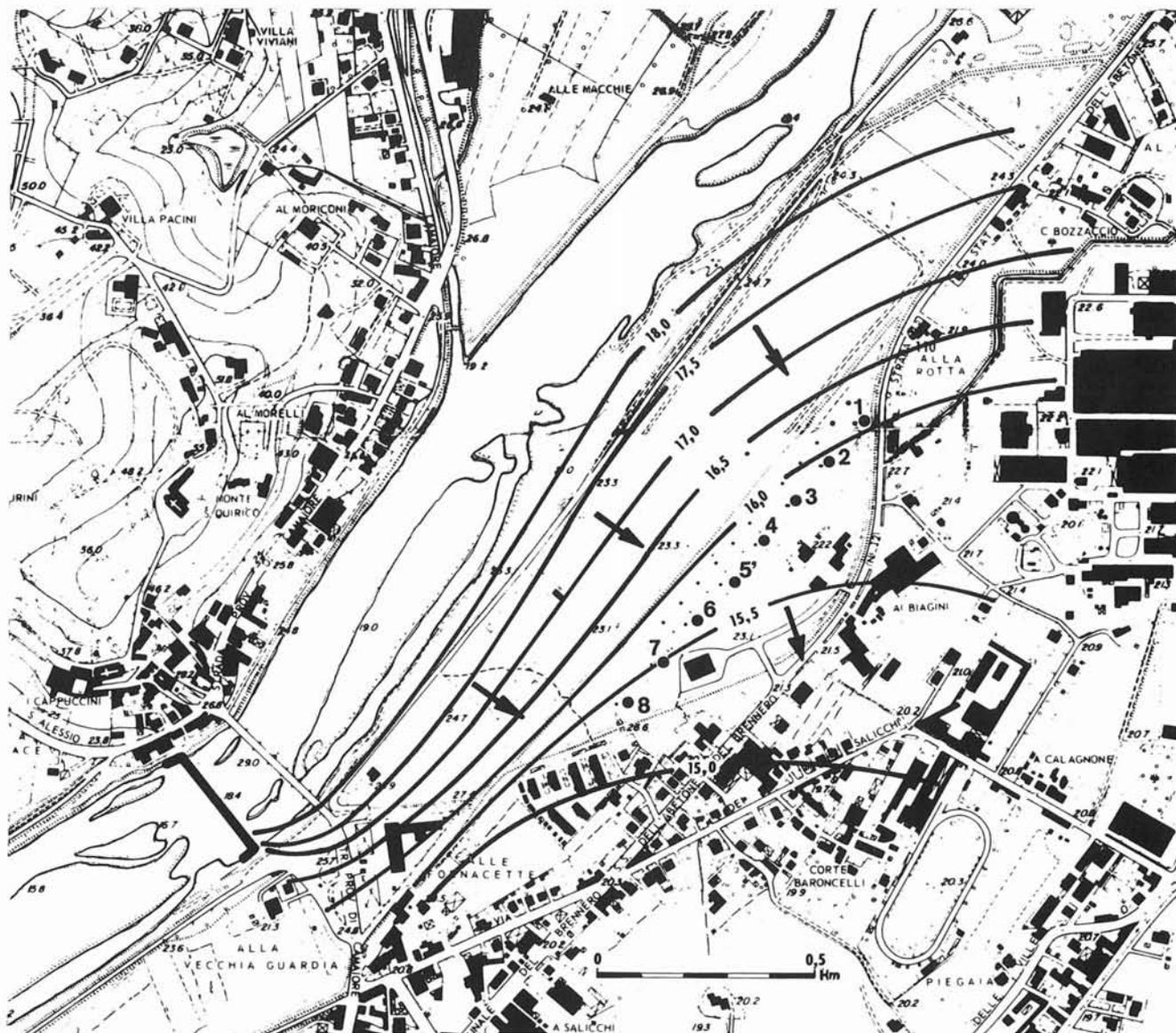


FIG. 10 - Rapporti tra F. Serchio e falda freatica nell'area dell'Acquedotto di Salicchi.

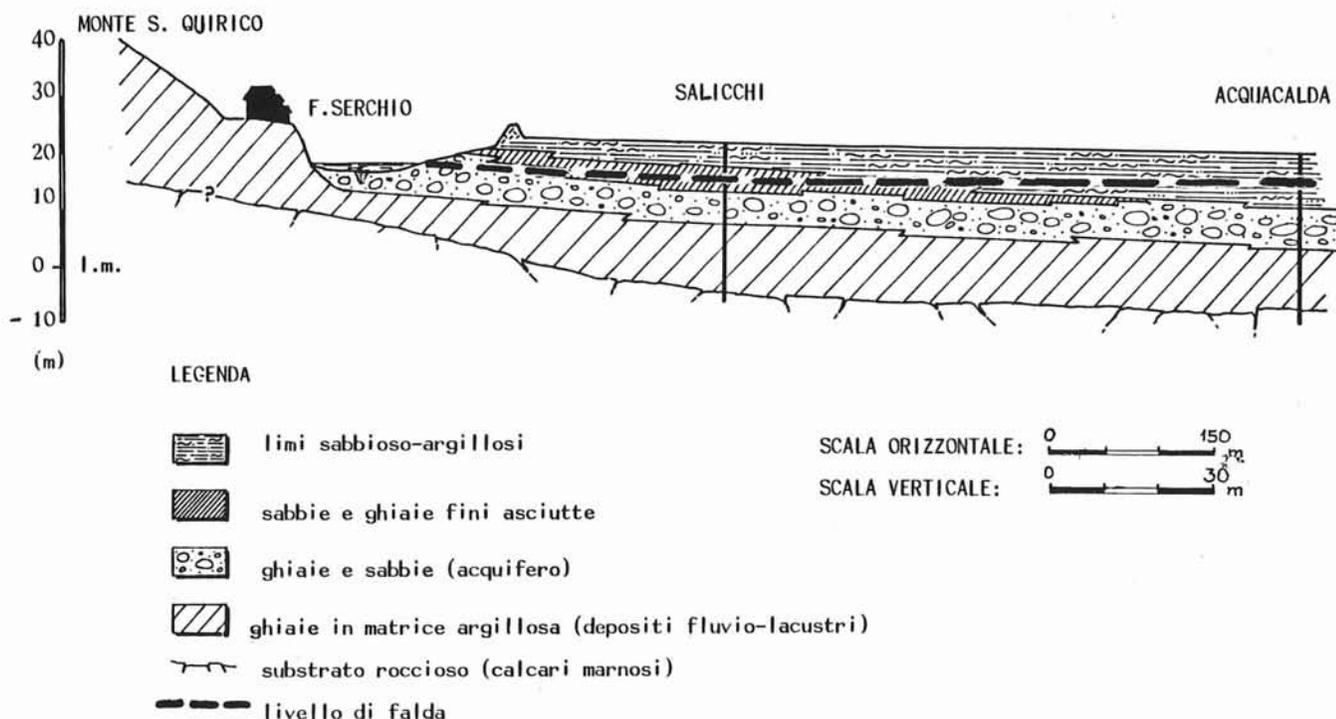


FIG. 11 - Sezione idrogeologica nell'area dell'Acquedotto di Salicchi.

anche in considerazione dell'abbandono delle pratiche agricole tradizionali per la pianura lucchese e dell'affermarsi incontrastato della monocultura a mais.

d) Si potranno adottare vere e proprie fasce di rispetto nei confronti dei punti di prelievo ad uso idropotabile, seguendo criteri sia di protezione statica, sia dinamica dei pozzi.

Per quanto riguarda i prelievi si osserva che sarebbe opportuna una riduzione degli emungimenti a destinazione industriale attivando un apposito acquedotto che utilizzi le acque reflue degli impianti di depurazione di Pontetetto e Porcari, con una portata complessiva riciclabile

già disponibile di oltre 300 l/s. In ogni caso nuovi attingimenti in falda dovrebbero tener conto del bilancio delle risorse disponibili e dovrebbero possibilmente essere localizzati in prossimità delle aree di alimentazione, in particolare lungo il corso del Serchio, su cui sono possibili anche interventi atti ad incrementare la ricarica, come la costruzione di traverse in alveo, da ubicare e dimensionare tenendo anche conto della sezione utile di piena.

Un esempio di ricarica di tale genere si verifica in corrispondenza del tratto di fiume a monte della traversa di Monte S. Quirico (figg. 10 e 11), costruita negli anni '60 per la salvaguardia delle pile del ponte omonimo, che ha prodotto la formazione di un bacino in alveo nel tratto prospiciente i pozzi dell'acquedotto di Salicchi, con un effetto permanente di alimentazione della falda e con una piezometrica di circa 2 m più alta di quella naturale, presente prima della costruzione della traversa. Confrontando i dati attuali (CHINES, NARDI & NOLLEDI, 1985) con quelli relativi alle prove eseguite al momento dell'attivazione del campo pozzi (COMUNE DI LUCCA, 1914), si ricava che la traversa ha prodotto un incremento nella ricarica subalveare lungo il fronte filtrante che interessa i pozzi di circa il 20%, nonostante che nel frattempo l'alveo del Serchio sia stato sottoposto in zona ad intense escavazioni di inerti con conseguente abbassamento.

Si deve aggiungere che dai dati analitici disponibili è accertato che negli ultimi anni le acque del Serchio sono notevolmente migliorate sotto l'aspetto qualitativo per l'entrata in funzione di impianti di depurazione di acque reflue civili e industriali e che, data l'assenza lungo il corso

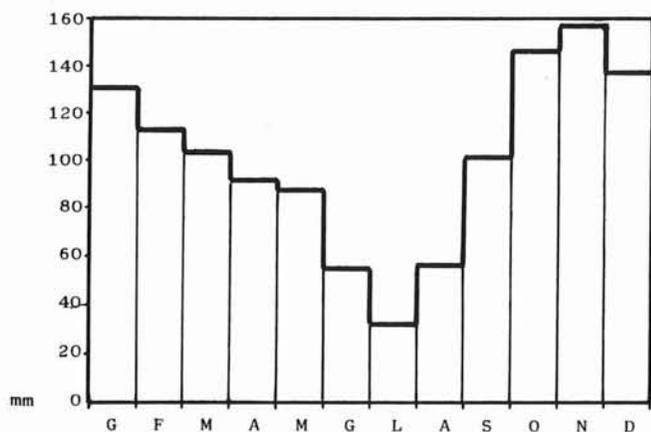


FIG. 12 - Regime medio delle precipitazioni a Lucca nel periodo 1921-1986.

del fiume di attività produttive con scarichi tossici, forniscono sufficienti garanzie igieniche in ordine all'alimentazione degli acquiferi subalveari.

Infine si sottolinea l'opportunità di arrivare quanto prima ad una gestione programmata della falda idrica, da attuare in ipotesi mediante un organismo di controllo che preveda la partecipazione sia pubblica che privata, che possa attivare l'approfondimento delle conoscenze e l'adozione di sistemi di monitoraggio sulla qualità dell'acqua di falda e di controlli costanti sulle portate emunte.

BIBLIOGRAFIA

- BARSOCCINI D. (1853) - *Sull'antico corso del Serchio*. Bertini Ed., Lucca.
- BARTOLINI C., BERNINI M., CARLONI G. C., COSTANTINI A., FEDERICI P. R., GASPERI G., LAZZAROTTO A., MARCHETTI G., MAZZANTI R., PAPANI G., PRANZINI G., RAU A., SANDRELLI F., VERCESI P. L., CASTALDINI D. & FRANCAVILLA F. (1983) - *Carta neotettonica dell'Appennino Settentrionale. Note illustrative*. Boll. Soc. Geol. It., 101 (4).
- BARTOLINI C. & PRANZINI G. (1979) - *Dati preliminari sulla Neotettonica dei fogli 97 (S. Marcello Pistoiese), 105 (Lucca), e 106 (Firenze)*. Pubblicazione n. 251 Progetto Finalizzato Geodinamica, Officine Grafiche Napoletane F. Giannini & Figli.
- BARTOLINI & PRANZINI G. (1985) - *Studi geologici e idrogeologici nella pianura di Pistoia*. Boll. Soc. Geol. It., 104 (4).
- BOSSIO A., MAZZANTI R., MAZZEI R., NENCINI C., PASQUINUCCI M., SALVATORINI G. & SANESI G. (1986) - *Schema stratigraphique et morphologique du Pleistocène et Holocène de la Toscane côtière à l'aide de la Paléontologie, de la Paléthrologie, de la Pédologie, d'Archéologie et de la Cartographie pré-géodésique*. L'Anthropologie, Paris 90 (1).
- CANALIS P., DE ANGELIS D'OSSAT L., MATTIROLO E. & SCLAVO A. (1910) - *Le acque profonde della stretta di Ripafratta*. G. Bertero & C., Roma.
- CANUTI P. (1974) - *Ricerche idrogeologiche nel bacino del F. Greve (affluente dell'Arno). Considerazioni sulla falda acquifera di Scandicci-Casellina (Firenze)*. Boll. Soc. Geol. It., 93 (2).
- CAPECCHI F., GUAZZONE G. & PRANZINI G. (1975) - *Ricerche geologiche e idrogeologiche nel sottosuolo della pianura di Firenze*. Boll. Soc. Geol. It., 94 (4).
- CAPECCHI F. & PRANZINI G. (1985) - *Studi geologici e idrogeologici nella pianura di Pistoia*. Boll. Soc. Geol. It., 104 (4).
- CERUTTI P., PAGOTTO A. & PETERLONGO G. (1986) - *Bilancio idrogeologico di un settore dell'hinterland a Nord di Milano*. Geologia Tecnica, Roma, 4.
- CHINES C., NARDI R. & NOLLEDI G. (1976) - *Osservazioni al progetto dell'acquedotto sussidiario per la città di Pisa, con derivazione di acque dal Serchio*. La Provincia di Lucca, 16 (2).
- CHINES C., NARDI R. & NOLLEDI G. (ined.) - *Indagini idrogeologiche di dettaglio sui pozzi dell'acquedotto civico in località Salicchi (Lucca)*. Relazione tecnica inedita, comune di Lucca, 1985.
- CHINES C., NARDI R., NOLLEDI G. & ZIA R. (1975) - *Idrogeologia della Valle del Guappero*. Comune di Lucca, ed. offsett.
- CHINES C. & NOLLEDI G. (1973) - *I dissesti di Ripafratta e Filettole (Pisa) in relazione a variazioni nell'equilibrio idrogeologico locale*. Atti 3° Convegno Nazionale Studi Problemi Geologia Applicata, Firenze.
- COMUNE DI LUCCA (1914) - *Relazione sugli studi delle correnti sotterranee di San Marco (Lucca) per l'alimentazione di un nuovo acquedotto*. Meucci, Livorno.
- CONSIAG (1984) - *Falde idriche in aree industrializzate italiane*. Consiag, Prato.
- DALLAN NARDI L. & NARDI R. (1972) - *Schema stratigrafico e strutturale dell'Appennino Settentrionale*. Mem. Acc. Lunig. Sc. «G. Capellini», 42.
- DE STEFANI C. (1877) - *Corso inferiore del Serchio*. Soc. Tosc. Sc. Nat. Proc. Verb., adunanza 1 luglio 1877.
- DE STEFANI C. (1911) - *Studio delle acque profonde della Valle del Serchio presso Ripafratta da derivarsi con pozzi nel territorio di Filettole per alimento di nuovi acquedotti per le città di Livorno e di Pisa*. Tip. Municip., Pisa.
- FEDERICI P.R. (1987) - *Il territorio del Bientina: dalla Geologia alla Storia*. In: «Il Padule di Bientina, Pacini Ed. Pisa», 27-54.
- FURBETTA F. & LAPUCCI P. L. (1969) - *Il bacino del Serchio ed il nuovo acquedotto di Filettole*. Debate, Livorno.
- GHELARDONI R., GIANNINI E. & NARDI R. - *Ricostruzione paleogeografica dei bacini neogenici e quaternari nella bassa Valle dell'Arno sulla base dei sondaggi e dei rilievi sismici*. Mem. Soc. Geol. It., 7 (1).
- GIANNINI E. & NARDI R. (1965) - *Geologia della zona nord-occidentale del Monte Pisano e dei Monti d'Oltre Serchio (prov. di Pisa e Lucca)*. Boll. Soc. Geol. It., 84 (5).
- MASINI R. (1956) - *L'Idrografia del Serchio nell'epoca preistorica e storica*. Baroni, Lucca.
- MAZZANTI R. (1983) - *Il punto sul Quaternario della fascia costiera e dell'arcipelago della Toscana*. Boll. Soc. Geol. It., 102 (4).
- MAZZAROSA A. (1841) - *Opere del marchese Antonio Mazzarosa*, Vol. 2, Tip. Giusti, Lucca.
- MAZZAROSA A. (1856) - *Sulle opere e sui concetti dell'architetto e ingegnere Lorenzo Nottolini*. Atti R. Accad. Lucch. Sc., Lett., Art. Tip. Giusti, Lucca.
- MENCACCI P. & ZECCHINI M. (1981) - *Lucca Romana*. Pacini Fazzi, Lucca.
- PADERI E. (1932) - *Variazioni fisiografiche del bacino del Bientina e della pianura lucchese durante i periodi storici*. Mem. Soc. Geogr. It., 18.
- PIERI C. (1932) - *Vedute moderne sulla potabilità delle acque e circolazione sotterranea nella pianura lucchese*. Atti R. Accad. Lucch. Sc., Lett., Art., Giuntini, Lucca.
- RAU A. & TONGIORGI M. (1974) - *Geologia dei Monti Pisani a Sud-Est della Valle del Guappero*. Mem. Soc. Geol. It., 13 (3).
- REGIONE TOSCANA (1974) - *Mappa degli inquinamenti idrici*. Vol. 1, Nuova Grafica Fiorentina, Firenze.
- REPETTI E. (1833) - *Dizionario geografico, fisico e storico della Toscana*. Repetti, Firenze.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1969) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000: foglio 104 (Pisa) e foglio 105 (Lucca)*. Litografia Artistica Cartografica, Firenze.
- TREVISAN L. & TONGIORGI E. (1953) - *Le acque del sottosuolo della Regione Pisana*. La Provincia Pisana, 9-10, Pisa.
- TREVISAN L., BRANDI G. P., DALLAN L., NARDI R., RAGGI G., RAU A., SQUARCI P., TAFFI L., TONGIORGI M. (1971) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000: foglio 105 (Lucca)*. Min. Ind., Comm., Artig., Roma.

APPENDICE

POZZI CENSITI E DATI RELATIVI (ubicazione in tav. 1)

pozzo	profondità (m)	quota p.d.c. (m s.l.m.)	quota Aprile '75	quota autunno '75	quota Novembre '84	conducibilità (μ S)	isotopia (δ^{18})
1	30,00	46,05	36,40	34,90	36,19	636	—
2	7,00	38,30	32,48	31,80	33,00	—	—
3	15,00	35,80	31,52	31,00	31,63	443	—
4	7,40	40,00	33,66	33,00	34,30	—	-6,2
5	6,25	36,50	31,07	30,50	30,60	—	-6,7
6	6,60	34,70	30,50	29,50	29,20	—	—
7	9,60	36,80	30,15	28,70	30,42	—	—
8	8,30	36,69	30,99	30,70	31,20	—	—
9	10,00	31,20	25,63	24,50	25,10	347	-7,3
10	10,00	33,20	28,86	27,60	26,50	—	—
11	15,00	30,80	26,15	26,30	25,00	—	—
12	8,00	30,65	26,05	26,30	25,30	—	—
13	14,00	37,50	35,31	34,00	35,70	—	—
14	10,00	32,30	28,74	26,60	28,16	702	—
15	33,10	13,00	—	—	7,60	—	—
16	—	17,32	—	—	12,82	466	—
17	6,00	26,79	22,98	22,30	—	—	-6,5
18	—	27,20	23,31	22,40	23,22	536	—
19	6,20	27,00	22,82	21,70	—	—	—
20	16,00	26,90	21,55	20,20	20,54	607	—
21	6,70	28,40	22,59	21,70	22,30	—	—
22	—	25,60	21,44	20,40	21,10	—	—
23	10,00	25,50	19,52	18,90	18,70	—	-8,2
24	22,00	11,60	5,83	4,60	7,52	753	—
25	25,00	14,70	—	8,80	—	—	-6,3
26	40,00	13,60	10,92	8,40	10,10	—	—
27	12,20	15,50	11,90	11,00	—	—	—
28	—	22,40	16,66	15,30	—	—	—
29	20,50	20,00	14,80	13,00	—	—	—
30	25,00	17,80	15,79	14,40	15,10	—	—
31	43,00	17,20	15,26	13,90	15,41	669	-6,6
32	40,00	16,50	—	—	10,90	472	—
33	17,00	30,50	24,20	27,00	—	—	—
34	6,00	23,50	23,30	22,00	23,31	660	—
35	3,00	39,00	35,70	34,50	34,70	—	—
36	3,90	31,52	31,24	32,00	31,64	—	—
37	5,00	40,00	39,30	37,00	—	—	—
38	2,50	38,10	37,43	35,20	36,72	623	—
39	11,00	30,60	29,84	28,30	28,50	—	—
40	4,00	13,02	12,07	10,80	11,50	—	-7,5
41	50,00	14,00	13,53	12,40	12,70	—	-6,6
42	—	14,40	14,40	13,70	—	—	—
43	30,00	16,50	—	14,70	15,00	—	—
44	6,00	14,00	13,15	12,30	14,00	—	-6,4
45	5,50	17,10	16,08	14,70	16,47	—	—
46	4,50	16,70	16,04	15,40	16,11	—	—
47	3,00	13,70	13,21	12,80	13,33	449	—
48	5,10	14,77	14,30	13,60	—	—	—
49	5,60	16,22	14,95	13,50	15,06	230	—
50	3,80	17,40	15,63	15,00	—	—	—
51	4,70	18,85	17,75	—	—	—	—
52	3,15	13,50	13,10	—	—	—	—

pozzo	profondità (m)	quota p.d.c. (m s.l.m.)	quota Aprile '75	quota autunno '75	quota Novembre '84	conducibilità (μ S)	isotopia (δ^{18})
53	7,00	13,82	13,28	—	13,31	448	-6,6
54	4,75	12,75	12,11	11,90	12,34	475	—
55	7,35	15,02	13,04	12,00	13,00	—	—
56	5,30	11,12	10,31	9,10	10,00	—	—
57	5,60	20,00	16,85	—	—	—	—
58	4,90	12,07	10,98	9,50	—	—	—
59	2,00	9,60	9,37	8,70	—	—	—
60	9,00	17,80	15,35	14,70	—	—	—
61	10,00	15,98	14,00	13,00	—	—	—
62	8,60	14,05	12,70	—	—	—	—
63	8,00	25,03	20,63	19,00	—	—	—
64	7,60	26,60	20,37	19,00	—	—	—
65	8,40	20,12	13,66	12,50	11,70	—	—
66	6,00	13,05	11,00	9,90	—	—	—
67	40,00	16,50	—	—	10,70	503	—
68	10,00	19,30	18,42	16,40	—	—	—
69	5,00	16,49	14,83	13,90	—	—	—
70	4,00	14,95	13,49	12,10	—	—	—
71	5,50	15,50	14,42	13,00	—	—	—
72	5,00	17,60	16,05	—	—	—	—
73	7,00	25,07	22,27	—	—	—	—
74	7,00	16,90	13,38	12,00	—	—	—
75	—	7,80	7,30	6,90	—	—	—
76	7,00	19,85	18,04	—	—	—	—
77	6,70	26,58	22,46	21,00	—	—	—
78	8,00	22,47	18,84	17,98	17,00	—	—
79	4,00	18,50	18,04	15,99	16,90	—	—
80	12,40	18,78	18,50	17,80	18,90	—	—
81	3,80	18,00	18,40	17,25	17,50	—	—
82	6,70	20,00	18,86	18,00	17,90	—	—
83	12,00	18,50	15,24	13,23	14,90	—	—
84	—	19,50	15,20	13,80	14,70	—	—
85	22,00	19,20	15,28	13,55	14,80	—	—
86	8,00	17,30	15,69	12,90	13,80	—	—
87	9,00	18,00	15,56	13,00	13,90	—	—
88	5,10	19,00	18,33	17,20	17,00	—	—
89	5,50	19,00	17,63	17,01	—	—	—
90	5,45	16,56	—	15,71	—	—	—
91	5,80	14,70	13,69	13,30	12,80	—	—
92	7,85	15,00	14,07	14,00	14,00	—	-6,3
93	8,00	14,21	13,40	13,10	12,00	—	—
94	8,00	14,90	13,23	12,20	13,30	—	—
95	24,00	14,20	13,42	11,99	13,18	619	-7,3
96	8,00	16,50	15,61	13,20	14,90	—	-7,4
97	4,80	13,40	12,02	11,80	11,95	—	-7,2
98	—	13,07	12,78	12,30	13,20	—	-8,0
99	3,00	12,37	12,15	11,70	11,80	—	—
100	20,00	13,20	12,01	11,90	12,46	579	—
101	17,00	12,50	12,39	11,45	12,90	—	—
102	11,80	13,00	12,60	11,70	12,84	—	—
103	3,20	12,40	11,74	9,85	12,17	717	—
104	12,40	13,00	11,12	10,60	11,20	—	—
105	12,00	12,40	10,23	9,20	10,50	—	-7,5
106	2,65	13,60	12,74	11,80	12,95	—	-7,7
107	35,00	22,20	17,66	16,16	16,66	513	-7,8
108	5,20	24,38	21,89	20,84	22,22	727	-7,2
109	7,30	25,10	19,98	19,50	20,10	—	—
110	15,00	28,40	20,90	17,95	21,11	—	—

pozzo	profondità (m)	quota p.d.c. (m s.l.m.)	quota Aprile '75	quota autunno '75	quota Novembre '84	conducibilità (μ S)	isotopia (δ^{18})
111	7,50	27,78	23,43	22,57	23,60	—	—
112	—	29,00	25,00	24,03	25,19	580	—
113	8,00	29,00	26,92	25,57	—	—	—
114	6,00	35,07	31,40	30,75	30,20	—	—
115	37,00	12,90	—	—	11,60	428	—
116	9,00	25,80	20,74	19,56	20,00	—	—
117	12,00	25,30	—	—	21,43	403	—
118	5,90	23,90	—	—	21,02	573	-6,9
119	7,10	22,90	20,71	19,40	20,59	—	—
120	6,00	23,30	23,00	22,10	—	—	—
121	7,00	25,62	23,68	22,78	23,24	418	—
122	5,10	20,70	20,22	19,20	20,27	—	—
123	7,40	19,00	17,55	16,50	18,50	—	—
124	8,80	22,00	18,50	17,22	19,49	—	—
125	7,50	20,30	17,64	16,35	17,51	368	—
126	4,45	19,37	17,17	16,20	17,35	432	-7,1
127	7,20	18,35	16,22	15,53	—	—	—
128	5,30	17,50	16,30	15,50	16,16	—	-7,0
129	2,60	15,17	14,55	14,00	14,63	743	—
130	3,52	14,00	13,25	12,00	13,54	771	—
131	3,40	13,80	12,29	11,00	12,64	—	—
132	40,00	16,00	—	—	10,03	551	—
133	31,00	12,60	—	—	11,28	655	—
134	60,00	10,80	—	3,00	5,90	—	—
135	60,00	8,60	6,40	5,50	5,50	616	—
136	—	9,00	6,38	6,00	—	—	—
137	15,50	11,65	6,40	5,60	5,80	—	—
138	9,85	12,65	11,69	10,40	11,86	708	—
139	7,00	12,00	10,52	9,50	—	—	—
140	6,50	10,85	8,46	7,40	7,80	—	—
141	10,50	9,65	—	6,80	7,21	768	—
142	5,33	17,83	16,73	15,90	16,50	—	—
143	5,80	16,40	14,81	14,40	15,10	554	—
144	6,00	17,83	16,63	15,50	16,94	—	—
145	—	14,00	—	—	14,20	—	—
146	—	13,80	13,12	11,80	13,37	592	—
147	2,70	13,39	12,13	11,40	12,60	—	—
148	5,60	13,50	12,54	11,50	12,56	—	—
149	40,00	12,30	10,08	8,90	10,40	662	—
150	5,60	11,20	—	—	10,06	—	—
151	4,50	13,13	12,38	—	12,10	—	—
152	2,50	15,00	13,94	13,20	14,32	—	—
153	5,80	14,00	13,33	12,80	—	—	—
154	8,30	13,10	11,42	11,00	11,67	700	—
155	11,30	11,80	11,43	11,00	11,20	—	-6,6
156	7,85	15,11	14,32	13,60	—	—	—
157	3,00	14,80	13,04	12,90	13,20	—	-6,7
158	2,90	15,40	15,18	13,60	14,79	—	-6,9
159	32,00	11,00	8,90	6,70	6,80	—	—
160	20,00	5,80	6,20	5,50	5,70	—	—
161	42,00	11,20	5,55	2,90	6,10	—	—
162	50,00	7,30	6,00	—	6,50	—	—
163	—	22,00	20,00	18,88	—	—	—
164	9,00	22,50	19,82	—	20,17	631	—
165	6,00	23,60	19,60	18,62	—	—	—
166	9,00	22,08	19,46	18,56	20,20	488	—
167	8,00	21,50	19,33	18,53	19,90	—	—
168	30,00	20,20	—	14,61	15,55	—	-7,5

pozzo	profondità (m)	quota p.d.c. (m s.l.m.)	quota Aprile '75	quota autunno '75	quota Novembre '84	conducibilità (μ S)	isotopia (δ^{18})
169	8,10	20,38	17,68	16,62	—	—	—
170	3,60	16,80	15,22	14,50	15,38	627	—
171	5,60	15,20	14,37	13,80	14,23	—	—
172	5,00	14,30	13,35	12,80	13,99	578	-7,0
173	5,60	13,38	12,55	12,30	13,10	—	-6,6
174	2,50	11,30	10,02	9,50	10,18	—	—
175	4,00	13,25	11,96	11,65	11,50	—	—
176	3,00	13,10	11,95	11,60	12,40	—	—
177	—	13,40	13,27	12,80	12,80	—	—
178	30,00	14,10	13,16	12,34	12,90	—	—
179	24,00	13,95	13,70	12,75	14,40	—	—
180	10,00	14,60	12,50	12,00	13,00	—	—
181	—	13,72	11,12	11,90	—	—	—
182	3,00	13,41	12,30	11,70	—	—	—
183	3,90	12,44	11,60	11,20	12,30	—	—
184	3,90	15,60	14,35	14,00	14,91	559	—
185	8,00	13,30	—	11,35	11,93	983	—
186	9,00	15,00	13,19	12,65	13,70	—	—
187	—	14,60	12,23	—	—	—	—
188	7,80	17,37	—	—	15,60	—	—
189	7,05	18,55	16,59	15,30	16,72	709	—
190	8,00	18,90	16,64	14,80	16,35	—	—
191	6,20	17,80	15,97	14,45	15,57	—	—
192	—	15,10	12,85	11,70	12,40	—	—
193	8,20	14,05	12,02	11,15	11,80	—	—
194	5,80	13,15	12,40	11,60	11,00	—	-7,8
195	9,00	14,60	14,17	12,30	14,10	—	—
196	5,20	14,45	10,65	10,00	10,20	—	—
197	3,90	13,50	12,55	12,00	12,00	—	—
198	4,70	12,81	12,19	12,00	—	—	—
199	8,45	15,52	13,19	12,40	—	—	—
200	7,40	13,95	12,09	11,60	—	—	-6,2
201	10,35	13,60	11,47	9,40	12,10	—	—
202	11,70	12,10	9,29	9,00	—	—	—
203	7,50	14,65	11,58	11,00	12,60	—	—
204	6,60	15,16	12,87	12,00	12,80	—	—
205	5,00	13,20	12,40	11,70	12,49	517	—
206	7,07	15,00	11,18	9,90	10,00	—	—
207	27,00	13,00	8,50	7,00	—	—	-6,4
208	5,00	12,80	9,05	9,00	10,50	—	-7,0
209	3,80	12,30	11,40	10,00	11,87	533	—
210	26,50	12,50	6,07	4,66	—	—	—
211	9,20	13,35	12,94	11,50	—	—	—
212	6,95	14,30	13,45	11,90	13,00	—	—
213	9,75	13,00	10,28	9,00	10,76	337	—
214	30,00	18,20	—	—	14,00	—	—
215	—	17,88	—	—	13,68	858	—
216	—	—	—	—	13,70	—	—
217	35,00	14,80	—	—	13,50	—	—
218	12,00	15,00	—	—	14,20	—	—
219	—	18,90	—	—	15,50	—	—
220	—	28,70	25,28	24,15	—	—	—
221	5,50	30,08	26,42	25,00	—	—	—
222	—	18,50	—	—	—	—	—
223	—	32,70	26,84	25,82	26,10	—	—
224	4,36	17,70	15,31	14,95	16,39	331	—
225	9,00	15,12	14,76	13,10	14,18	—	—
226	10,00	13,35	13,63	12,41	12,90	—	—

pozzo	profondità (m)	quota p.d.c. (m s.l.m.)	quota Aprile '75	quota autunno '75	quota Novembre '84	conducibilità (μ S)	isotopia (δ^{18})
227	12,00	13,50	13,62	12,20	13,30	592	—
228	10,00	15,50	14,27	12,60	13,20	—	—
229	5,40	16,64	15,72	14,40	15,50	—	—
230	4,30	16,00	15,01	14,10	14,30	—	—
231	—	18,50	16,59	16,10	—	—	—
232	5,80	23,80	21,96	20,60	22,30	—	—
233	4,25	32,40	32,00	—	30,50	—	-6,4
234	4,75	20,00	19,21	19,00	—	—	—
235	5,10	30,00	28,56	—	—	—	—
236	6,80	19,70	19,11	17,50	19,16	569	—
237	4,80	25,17	24,70	25,00	—	—	-6,4
238	25,50	19,30	—	—	14,93	451	—
239	6,20	24,02	23,79	—	—	—	—
240	8,90	13,70	11,90	10,00	11,23	—	-6,4
241	4,80	24,70	22,78	—	—	—	—
242	6,50	24,82	20,91	—	—	—	—
243	12,80	32,81	24,95	—	—	—	—
244	13,30	22,50	11,85	—	—	—	—
245	6,70	11,20	9,53	9,00	—	—	—
246	9,50	14,50	12,85	—	13,12	—	—
247	3,80	13,50	12,41	11,70	12,72	—	-6,9
248	7,15	16,60	12,71	12,40	—	—	—
249	4,00	14,00	12,07	11,35	—	—	—
250	5,70	17,83	14,60	14,00	—	—	—
251	13,70	17,78	15,38	14,05	15,20	—	—
252	15,00	25,20	24,15	23,85	—	—	—
253	10,30	44,00	34,67	—	35,00	—	—
254	11,00	29,50	21,07	20,06	21,40	—	-7,1
255	—	24,00	19,85	18,90	19,60	692	—
256	8,35	24,00	19,98	18,91	19,30	—	—
257	10,20	43,94	36,50	—	36,50	—	—
258	70,50	11,60	5,10	4,35	7,56	724	—
259	25,00	11,90	7,12	—	—	—	—
260	6,20	8,05	6,77	6,38	8,03	564	—
261	24,00	13,00	6,88	5,20	—	—	—
262	—	12,00	6,90	9,90	7,85	334	—
263	13,00	6,90	6,30	5,00	4,80	—	—
264	25,00	6,70	5,84	—	—	—	—
265	40,00	12,50	8,30	7,00	7,60	—	—
266	—	26,00	25,00	24,50	25,00	—	—
267	—	28,50	27,00	26,00	29,15	—	—
268	—	32,50	31,50	31,00	30,90	—	—
269	—	34,00	33,00	32,00	—	—	—
270	—	36,00	34,00	33,50	34,80	—	—
271	—	40,00	37,00	36,00	—	—	—
272	—	41,00	37,00	36,00	37,20	—	—
273	—	36,00	34,00	33,50	—	—	—
274	—	35,00	34,00	33,00	33,50	—	—
275	—	34,00	33,00	32,00	32,50	—	—
276	—	31,00	30,00	29,00	29,90	—	—
277	—	28,00	27,00	26,00	27,00	—	—
278	—	25,00	23,00	22,00	23,00	—	—
279	—	18,00	14,50	14,80	14,60	680	—
280	—	19,00	15,30	15,60	16,00	—	—
281	—	21,00	18,00	19,00	19,00	—	—
282	—	24,00	—	22,10	—	—	—
283	—	25,00	—	22,10	—	—	—
284	—	24,00	—	21,80	—	—	—

pozzo	profondità (m)	quota p.d.c. (m s.l.m.)	quota Aprile '75	quota autunno '75	quota Novembre '84	conducibilità (μ S)	isotopia (δ^{18})
285	—	20,00	16,00	17,00	17,50	—	—
286	—	21,00	—	15,60	16,00	—	—
287	—	21,00	15,80	16,00	—	—	-6,7
288	—	26,00	24,00	23,00	25,00	—	—
289	—	27,00	26,00	25,00	—	—	—
290	—	27,00	23,00	21,00	—	—	—
291	—	30,00	—	25,00	26,00	—	—
292	—	40,00	—	—	36,00	—	—
293	—	24,00	—	18,00	18,00	—	—
294	5,80	14,00	—	13,00	14,90	—	—
295	—	19,00	17,50	16,00	16,20	187	—
296	—	21,50	18,50	18,00	17,60	—	—
297	—	18,00	17,50	17,00	—	—	—
298	—	19,00	14,50	14,00	—	—	—
299	—	17,00	12,50	13,00	12,50	168	—
300	—	20,00	—	—	19,20	—	—
301	—	12,50	—	6,00	—	—	—
302	—	8,00	7,10	6,90	—	—	—
303	—	7,60	—	—	—	—	—
304	30,00	21,50	—	—	—	407	—
305	27,00	21,00	—	—	14,20	—	—
306	—	15,00	—	—	14,50	—	—
307	12,00	14,70	—	—	14,10	—	—
308	25,00	15,00	—	—	14,15	599	—
309	13,00	26,00	—	—	25,10	—	—
310	13,00	26,00	—	—	—	—	—
311	15,00	26,00	—	—	—	—	—
312	—	20,00	—	—	15,80	—	—
313	51,00	16,00	—	—	14,95	454	—
314	21,50	12,40	—	—	—	—	—
315	20,50	13,50	—	—	12,13	371	—
316	40,00	13,00	—	—	—	—	—
317	40,00	14,00	—	—	12,80	245	—
318	40,00	13,00	—	—	—	—	—
319	40,00	13,00	—	—	—	—	—
320	40,00	13,80	—	—	—	—	—
321	—	18,00	—	—	15,50	—	—
322	30,00	16,50	—	—	15,80	580	—
323	43,00	13,13	—	—	3,45	542	—
324	28,00	22,20	—	—	17,00	510	—
325	35,00	24,00	—	—	18,50	—	—
326	17,00	22,60	—	—	17,80	—	—
327	21,00	18,70	—	—	16,80	702	—
328	30,00	16,70	—	—	15,16	706	—
329	7,00	16,00	—	—	15,15	—	—
330	30,00	20,00	—	—	12,80	—	—
331	12,50	29,50	—	—	23,79	610	—
332	25,00	28,00	—	—	21,60	—	—
333	29,00	24,40	—	—	19,75	642	—
334	30,50	12,00	—	—	—	—	—
335	45,00	14,20	—	—	—	—	—
336	2,00	22,00	—	—	—	—	—
337	41,00	12,80	—	—	11,00	—	—
338	30,00	15,00	—	—	11,50	—	—
339	49,00	15,00	—	—	12,80	—	—
340	49,00	14,30	—	—	12,20	702	—
341	6,50	15,00	—	—	9,70	—	—
342	13,00	20,00	—	—	17,50	—	—

pozzo	profondità (m)	quota p.d.c. (m s.l.m.)	quota Aprile '75	quota autunno '75	quota Novembre '84	conducibilità (μ S)	isotopia (δ^{18})
343	40,00	16,00	—	—	14,50	—	—
344	29,00	12,50	—	—	7,80	—	—
345	22,00	10,10	—	—	—	—	—
346	15,50	14,00	—	—	—	—	—
347	12,20	15,50	—	—	—	—	—
348	15,20	15,50	—	—	12,58	438	—
349	36,00	10,00	—	—	—	—	—
350	36,00	11,00	—	—	6,55	473	—
351	42,00	11,00	—	—	—	—	—
352	80,00	11,00	—	—	—	—	—
353	50,00	10,00	—	—	—	—	—
354	61,50	9,00	—	—	3,99	584	—
355	61,50	8,00	—	—	—	—	—
356	51,50	9,00	—	—	—	—	—
357	25,00	12,00	—	—	8,25	—	—
358	—	8,50	—	—	6,10	—	—
359	—	8,50	—	—	5,90	—	—
360	51,00	7,00	—	—	—	—	—
361	—	7,00	—	—	—	—	—
362	—	7,40	—	—	—	—	—
363	—	9,00	—	—	6,90	—	—
364	60,00	6,00	—	—	—	410	—
365	60,00	6,00	—	—	—	490	—
366	32,00	14,50	—	—	—	—	—