

PROBLEMI IDROGEOLOGICI RELATIVI AL RISANAMENTO DI UN'AREA DELLA PIANURA FIORENTINA INTERESSATA DA ESCAVAZIONE DI INERTI()**

INDICE

RIASSUNTO	pag.	81
ABSTRACT	"	81
1. PREMESSA	"	81
2. QUADRO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	"	81
3. CARATTERI IDROGEOLOGICI	"	82
4. QUALITA' CHIMICA DELLE ACQUE	"	82
5. CARATTERI IDROLOGICI DELL'ARNO E DEL BISENZIO NELL'AREA IN ESAME	"	82
5.1. FIUME ARNO	"	83
5.2. FIUME BISENZIO	"	84
6. INFLUENZA DEL LAGO SULLA POTENZIALITA' DELLA FALDA	"	86
7. OSCILLAZIONI STAGIONALI DELL'ACQUA DEL BACINO	"	87
BIBLIOGRAFIA	"	88

RIASSUNTO

Viene preso in esame un tratto della pianura fiorentina compreso fra il F. Bisenzio e l'Arno, interessato da numerose cave di ghiaia e sabbia. Tra le soluzioni possibili per il ripristino ambientale della zona vi è quella di realizzare un ampio bacino per usi sportivi e per il tempo libero. Vengono pertanto esaminati vari problemi idraulici e idrogeologici connessi con la realizzazione del bacino stesso. Tra i vari problemi analizzati è stato preso in considerazione quello relativo alla possibilità che l'area subisca esondazioni da parti del F. Bisenzio in occasione di particolari piene e quello relativo alla profondità dello specchio di acqua ad ultimazione del bacino. Si è proceduto per tal fine ad un'indagine sulle oscillazioni della superficie libera dell'acqua, tenendo conto sia degli effetti dell'evaporazione che dell'alimentazione idrica della falda che è a sua volta alimentata dall'Arno.

ABSTRACT

The flood plain between the Arno and Bisenzio rivers (Tuscany, Italy) interested by many sand and pabble quarries is examined to suggest a more environmentally appropriate arrangement.

As in the area sporting ponds and basins are proposed, the authors take in consideration the possibility of this project and investigate the problems relating to the flooding risk and to the water balance in the proposed area.

PAROLE CHIAVE: Idrogeologia, Idraulica

KEY WORDS: Hydrogeology, Hydraulics

(*)Istituto di Geologia e Paleontologia - Università di Firenze - Via La Pira, 4.

(**)Ricerca pubblicata con i contributi del Cap. 11/01 dell'Università.

1 - PREMESSA

L'attività estrattiva comporta sempre mutamenti dell'ambiente ma, in particolari condizioni e per attività intense, le alterazioni diventano tanto vaste da condizionare la destinazione futura delle aree sulle quali vengono impiantate le cave.

Un caso tipo di alta concentrazione di attività estrattiva di materiale alluvionale per inerti si ha nella pianura fiorentina, nell'area di Isola dei Renai che è una zona, ricadente nel Comune di Signa, delimitata a N ed a W dal F. Bisenzio e a S dall'Arno il quale riceve, proprio al limite occidentale di questa zona, le acque del Bisenzio stesso (Fig. 1).

La zona di studio ha un'estensione di 205 ha ed in essa vi sono ubicate 6 cave di gaia e sabbia; il territorio scavato è circa 110 ha. Parte delle cavità sono state interrare, ma restano ancora 48 ha di terreno nei quali la falda è scoperta. La estrazione è stata effettuata da ditte diverse e conseguentemente i laghetti sono discontinui risentendone nei loro contorni dei vari limiti di proprietà.

Data l'elevata concentrazione pare indispensabile che il proseguo dell'attività estrattiva sia condizionato ad un accordo tra i vari operatori e le autorità preposte in modo che al termine dell'attività stessa l'area sia ripristinata secondo un programma organico.

In considerazione della particolare situazione idrogeologica e delle particolari tecniche adottate per il prelievo degli inerti che consentono la escavazione di materiale fino a profondità di 12 m e cioè di 6 m sotto la falda, una soluzione potrebbe essere la realizzazione di un ampio bacino⁽¹⁾. Tale realizzazione comporta però vari problemi di natura idrogeologica ed è su questi che la nostra attenzione si è posta costituendo essi un caso per certi sensi esemplare di influenza delle condizioni geologiche nella programmazione dell'utilizzazione del territorio.

2. QUADRO GEOLOGICO E MORFOLOGICO

La pianura di Firenze è formata da depositi di origine alluvionale fluviale che ricoprono terreni prevalentemente limo-argillosi di origine lacustre. Il bacino compreso tra Firenze e Pistoia (Valdarno medio) era fino al Villafranchiano superiore occupato da un lago che successivamente si sarebbe estinto, quando non era ancora colmato, per la azione erosiva dell'emissario accresciuta dal sollevamento della parte sud orientale del bacino (DAINELLI, 1936; CAPECCHI, GUAZZONE and PRANZINI, 1975).

Si avvia così la trasformazione dell'ambiente da

⁽¹⁾Questa ipotesi di sistemazione è stata formulata dall'Ing. L. LOMBARDI e dall'Arch. A. PAOLI nel 1978.

lacustre a palustre-fluviale, trasformazione regolata da alterne vicende collegate da una parte al progressivo smantellamento della soglia (in corrispondenza della Confolina) dall'altra dal prevalere del sollevamento della dorsale di Monte Albano.

Si avrebbero avute così, in tempi diversi, fasi di impadulamento e prosciugamento; aree con ristagno di acqua si sono del resto mantenute anche in tempi storici come si evidenzia da locali toponimi quale Palude e Pantano. Antichi documenti poi attestano difficoltà nel defluire delle acque dell'Arno e dei suoi affluenti tanto che frequenti furono le correzioni eseguite dai Fiorentini su un corso d'acqua che aveva andamento meandriforme, come risulta da alcune carte di Leonardo da Vinci e come è ancora visibile dalle impronte topografiche rilevabili da foto aeree (ERCOLI & CONEDERA, 1963).

Il Bisenzio, che originariamente si immetteva nell'Ombrone anziché nell'Arno, attualmente affluisce nell'Arno stesso attraverso un suo antico alveo abbandonato. L'area Isola dei Renai, alla confluenza del Bisenzio e dell'Arno, probabilmente costituiva un'isola come suggerisce il nome stesso, o una serie di isolotti compresi tra biforcazioni del fiume, soggetti alle sue inondazioni ed a quelle del Bisenzio.

Per proteggere la zona delle esondazioni, l'Arno fu rettificato in corrispondenza dell'Isola dei Renai ed il Bisenzio arginato, senza poter eliminare del tutto il pericolo di esondazione data la posizione pensile di quest'ultimo sulla pianura circostante.

3. CARATTERI IDROGEOLOGICI

Le alluvioni dell'Isola dei Renai sono costituite da limi sabbiosi nei primi 4-6 m e da livelli di sabbie e ghiaie fino alla profondità di 14-18 m, acquiferi.

Essi presentano, a seguito di prove di pompaggio, le seguenti caratteristiche idrodinamiche medie:

$$T = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$$

$$S = 1,3 \cdot 10^{-3}$$

La serie di sabbie e ghiaie in alcuni casi è interrotta da livelli di limi argillosi di limitato spessore (1-2 m) non continui.

Seguono verso il basso argille limose che fanno da base all'acquifero con tracce di sostanze organiche e intercalazioni di sottili livelli sabbiosi e ghiaiosi improduttivi. La stratigrafia del terreno è indicata nella Fig. 1; la sezione è stata ricavata da vari sondaggi geognostici effettuati nella zona.

La freaticimetria dell'area, rilevata con misurazioni topografiche delle quote del pelo libero nelle vasche d'estrazione, nei pozzi e piezometri e nei corsi d'acqua del Bisenzio (punti I e II), del fosso di bonifica (punto III) e dell'Arno al Ponte di Signa (punto IV), mostra che i livelli statici della falda sono in generale, salvo casi di sfasamento (piezometro 2), inferiori alle quote del pelo libero dell'acqua nei fiumi sopraddetti. Nella Fig. 1 sono indicate le ubicazioni dei punti di misura, mentre nella Fig. 2 sono riportate in diagramma le quote dei livelli d'acqua misurate nei piezometri e nei fiumi nel periodo 15 gennaio-30 luglio 1976.

Dalle misure rilevate si possono essenzialmente trarre i seguenti dati e cioè che il flusso di acqua nella

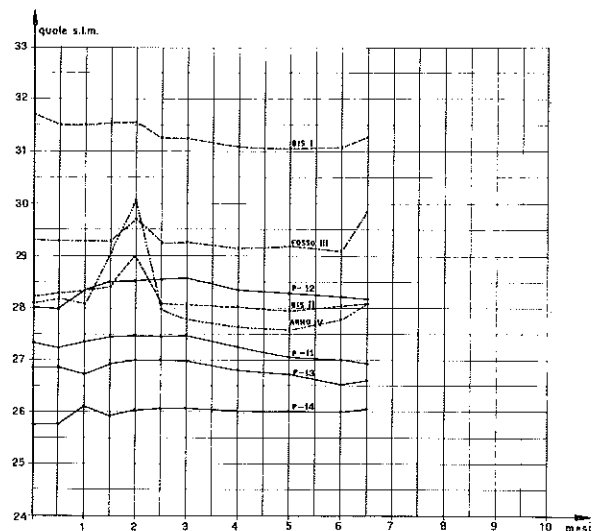


Fig. 2 - Misure piezometriche nel periodo 15 Gennaio - 30 Luglio 1976.

zona studiata ha una direzione approssimativa SE-NW e che nel periodo di osservazione la escursione della falda misurata nei piezometri è stata compresa tra 30 e 60 cm. Non è stato riscontrato, conformemente ai dati precedenti (CAPECCHI, GUAZZONE & PRANZINI, 1975), apporto alla falda acquifera dalla parte settentrionale e cioè dal lato di S. Mauro.

4. QUALITÀ CHIMICA DELLE ACQUE

La qualità chimica delle acque è stata controllata con analisi chimiche e batteriologiche eseguite su campioni prelevati nelle vasche di estrazione C₁ e C₂. Analoghe analisi sono state effettuate su campioni prelevati nei fiumi Arno (C₃) e Bisenzio (C₄) per un confronto delle acque del corso alimentatore e dell'acquifero drenante. I risultati delle analisi sono riportati nella Tab. 1.













Le analisi evidenziano che il grado di inquinamento organico nelle acque presenti nelle vasche alimentate dalla falda, non tollerabile per uso idropotabile, è relativamente basso per un uso sportivo e di balneazione.

L'analogia chimica fra acque di falda e acque dei due fiumi, in particolare l'Arno, conferma la prevalente alimentazione di quest'ultimo, come è stato già rilevato sulla base delle caratteristiche piezometriche.






5. CARATTERI IDROLOGICI DELL'ARNO E DEL BISENZIO NELL'AREA IN ESAME

Viene preso in considerazione il tratto di F. Arno compreso tra la sezione trasversale 91.790 (Porto di Mezzo, a valle di Signa) e la sezione 96.610 (Stazione di S. Donnino) del Servizio Idrografico dell'Arno e il tratto di Bisenzio tra la sua confluenza con l'Arno (sezione 511 bis) e la Fattoria Altoviti. Entro questo tratto sono state rilevate all'uopo due sezioni in corrispon-

LEGENDA
CARTA

-  Delimitazione del bacino proposto
-  Cavità con emergenza di acqua
-  Terreno alluvionale
-  Terreno di riporto
-  *3 Punto di prelievo delle acque per analisi chimiche e batteriologiche
-  □I Stazione di misura della quota del livello d'acqua
-  >< Sezione del Bisenzio rilevata
-  ○93 Chilometro progressivo dell'Arno
-  ● Sondaggio geognostico
-  ● Piezometro
-  ● Pozzo
-  A A' Traccia della sezione geologica

SEZIONE

-  Limoso sabbioso
-  Sabbia fine
-  Sabbia e ghiaia
-  Argilla
-  2 Sondaggio

Scala orizzontale 100m
Scala verticale 10m

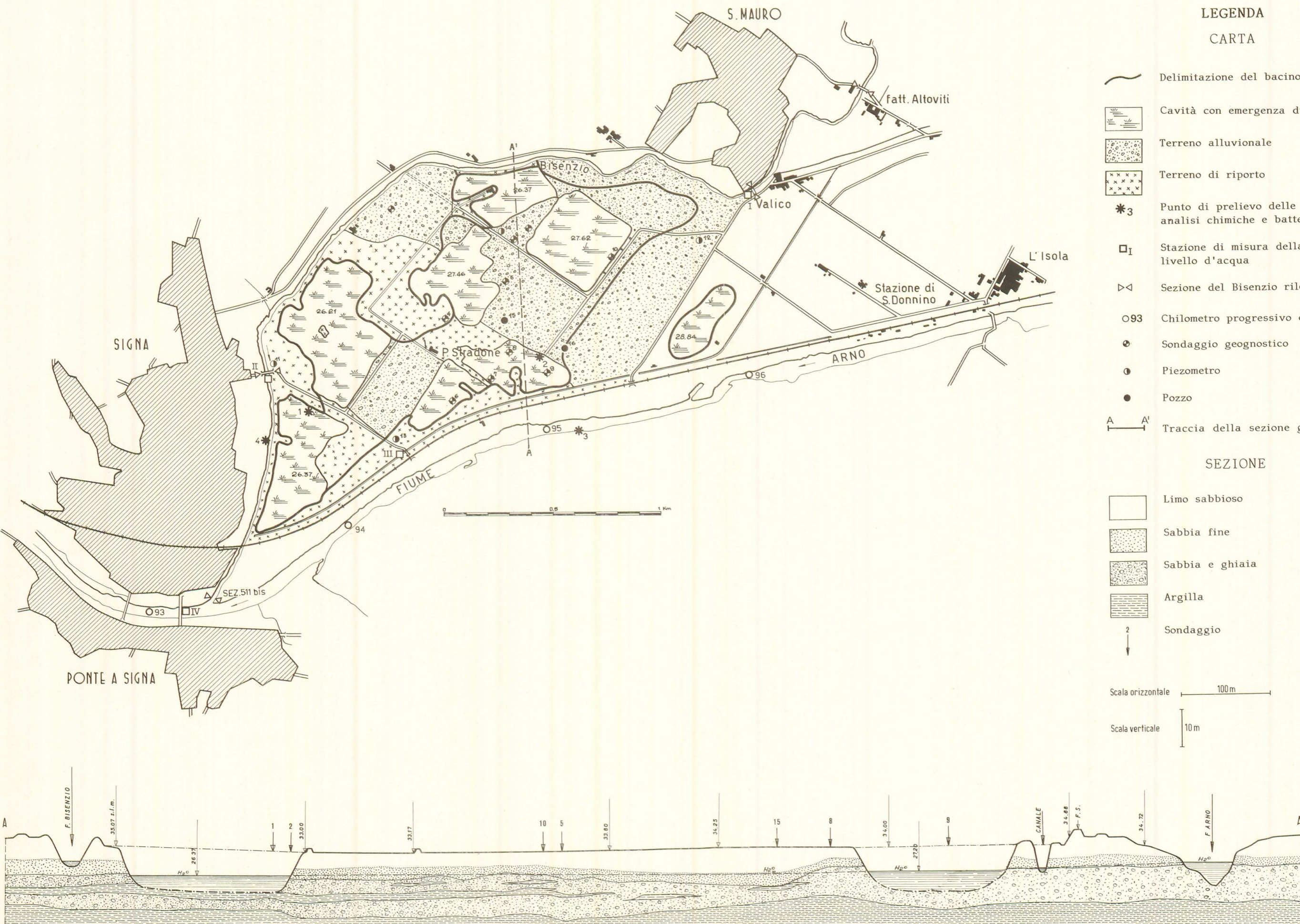


Fig. 1 - Isola dei Renai: planimetria e sezione geologica

TABELLA I - Esami chimici e batteriologici

	C ₁	C ₂	C ₃ (Arno)	C ₄ (Bisenzio)
Durezza °F	19,2	20,5	22,9	27,9
Alcalinità (CaCO ₃)	gr./lt	0,100	0,100	0,210
Cloruri (Cl ⁻)	"	0,145	0,145	0,142
Ammoniaca (NH ₄ +)	"	tracce	tracce	presente
Nitriti (NO ₂)	"	tracce	tracce	tracce
Nitrati (NO ₃)	"	tracce	tracce	tracce
Ferro	"	—	—	—
Manganese	"	—	—	—
Sost. Organiche (O ₂)	"	0,0025	0,0030	0,0059
Detergenti Anion. (MBAS)	"	inf. 0,001	inf. 0,001	inf. 0,001
pH	7,3	7,5	6,8	6,5
Carica totale in Agar/1 cc.	200	100	3000	2000
Coliformi /1cc.	25	25	2000	200
Streptococchi	ass.	ass.	ass.	2

denza del Ponte dei Renai e del Ponte della Fattoria Altoviti. Per lo studio ci siamo avvalsi anche di sezioni pubblicate dal Servizio Idrografico dell'Arno (Fig. 3).

5.1. FIUME ARNO

La stazione di misura delle portate più vicina all'area di studio è quella di Rosano che sottende un bacino di 4.083 Km², mentre a Signa l'Arno ha un bacino idrografico di circa 4.550 Km².

Per poter valutare la portata di piena a Signa, con ricorrenza di pratico interesse per il presente problema e cioè decennale, cinquantennale e centenaria, si sono elaborate statisticamente, con la legge dei valori estremi di Gumbel, le portate dell'Arno alla Nave di Rosano incrementate del 5%, 10% e 20% per poter presumibilmente restare entro i prevedibili valori che queste potrebbero raggiungere a Signa.

La curva di frequenza, riferita ad un incremento di portata del 20%, è indicata in Fig. 4, mentre le varie portate corrispondenti ai tempi di ritorno precedentemente descritti, sono riportate nella Tabella seguente.

	Portate (mc/sec)		
	(+ 20%)	(+ 10%)	(+ 5%)
q ₁₀	1.520	1.393	1.330
q ₅₀	2.065	1.893	1.807
q ₁₀₀	2.305	2.113	2.017

L'elaborazione col calcolatore elettronico⁽²⁾ ha consentito di calcolare, per i sopraddetti valori di portata, i profili raggiunti nelle varie sezioni dell'Arno. Essi sono stati calcolati integrando per differenze finite l'equazione del moto delle correnti lineari:

⁽²⁾L'elaborazione è stata eseguita al Centro di Ricerca dell'I.B.M. di Pisa.

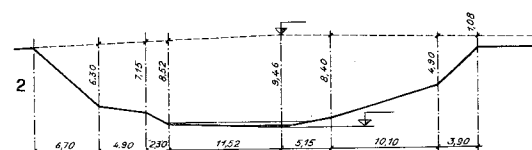
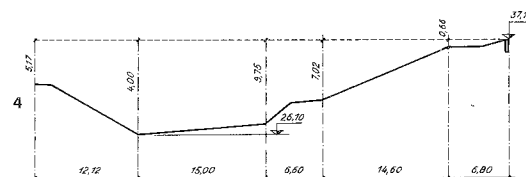
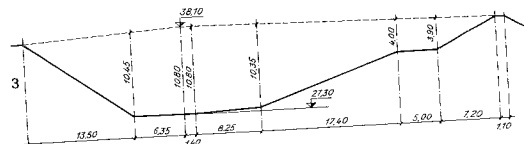
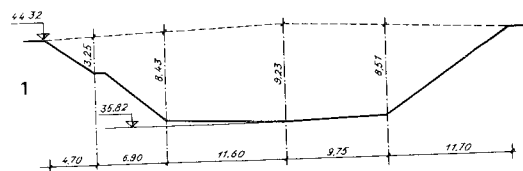


Fig. 3 - Sezioni trasversali del fiume Bisenzio: 1) Ponte Alto-viti; 2) Ponte Valico; 3) Ponte dei Renai; 4) Sezione 511 bis.

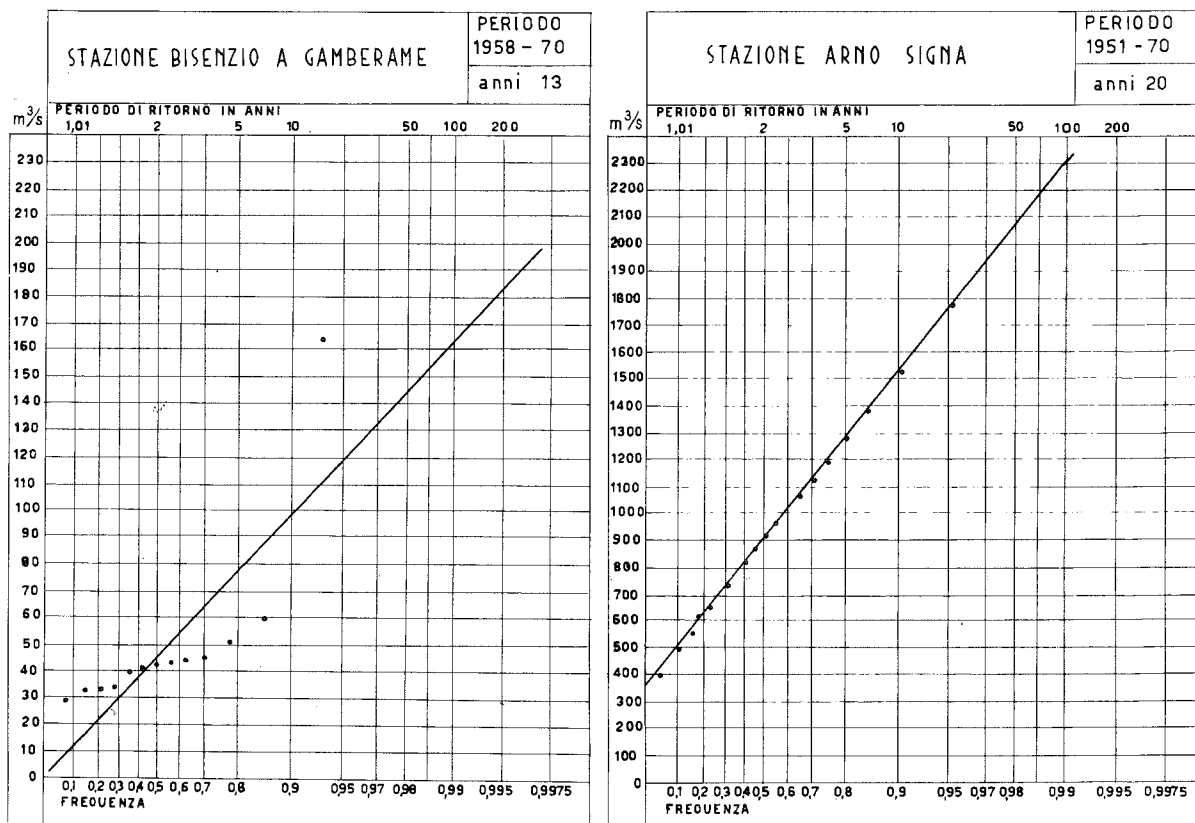


Fig. 4 - Portate di piena; curve di frequenza per la stazione di Gamberame (Bisenzio) e di Signa (Arno).

$$\frac{\Delta H}{\Delta x} = - J_m \quad (1)$$

dove:

H è il carico totale rispetto ad un riferimento orizzontale;

x è l'ascissa della generica sezione;

J_m è il valore medio della perdita di carico unitaria per resistenze continue relativo al tratto Δx , valutato come media aritmetica dei valori corrispondenti alle sezioni estreme del tratto.

Per il calcolo di J è stata usata la formula di Manning:

$$J = \frac{n^2}{R^{4/3} A^2} \cdot Q^2 \quad (2)$$

Nella Tab. II sono riportate le altezze in corrispondenza delle varie sezioni, adottando coefficienti di scabrezza variabili $n = 0,030; 0,035; 0,040$, relativi alle varie portate precedentemente indicate.

Nei successivi calcoli è stato comunque adottato un coefficiente di scabrezza $n = 0,035$ che è quello che sembra assumere l'Arno per portate superiori a 250 mc/sec (GALLATI, PANATTONI, 1975).

5.2. FIUME BISENZIO

Le portate massime del Bisenzio sono calcolate, sempre con la legge dei valori estremi di Gumbel, utilizzando i dati del periodo 1958-70 della stazione di Gamberame situata a 20 Km a monte della confluenza con l'Arno (Fig. 4).

Le portate, con tempo di ritorno di 10, 50 e 100 anni, risultando essere, rispettivamente, alla stazione di Gamberame, di 103, 147 e 168 mc/sec.

Poiché il bacino del Bisenzio alla confluenza e quindi nella zona di studio è 321 Km², mentre alla stazione di Gamberame è di 150 Km², la portata viene valutata con la relazione:

$$q = q_G \sqrt{S/S_G}$$

dove q_G e S_G sono la portata e la superficie del bacino in corrispondenza della stazione di Gamberame ed S è la superficie del bacino alla confluenza.

Le portate del Bisenzio in corrispondenza della zona di studio risultano pertanto:

$$\begin{aligned} q_{10} &= 151 \text{ mc/sec} \\ q_{50} &= 215 \text{ mc/sec} \\ q_{100} &= 245 \text{ mc/sec} \end{aligned}$$

I profili di rigurgito nelle sezioni trasversali del Bisenzio (sezione 511 bis, Ponte dei Renai, Fattoria

TAB. II - Altezza del livello dell'Arno (s.l.m.) in corrispondenza delle sezioni esaminate, al variare della portata q, per coefficienti di scabrezza n = 0,030; 0,035; 0,040

Sezione	n	PORTATE q (mc/sec)								
		1330	1393	1520	1807	1893	2065	2017	2113	2305
91790	0,030	35,03	35,24	35,68	36,60	36,85	37,32	37,20	37,44	37,90
	0,035	35,78	36,02	36,47	37,40	37,64	38,09	37,97	38,22	38,69
	0,040	36,45	36,71	37,17	38,07	38,32	38,79	38,67	38,93	39,43
92115	0,030	35,21	35,42	35,87	36,81	37,05	37,53	37,40	37,65	38,11
	0,035	35,96	36,21	36,67	37,59	37,84	38,29	38,17	38,42	38,89
	0,040	36,64	36,89	37,36	38,26	38,51	38,99	38,86	39,12	39,63
92586	0,030	35,44	35,66	36,11	37,02	37,26	37,72	37,60	37,84	38,29
	0,035	36,20	36,45	36,89	37,79	38,03	38,48	38,35	38,60	39,07
	0,040	36,87	37,11	37,57	38,45	38,70	39,17	39,05	39,30	39,81
93570	0,030	35,93	36,14	36,57	37,46	37,70	38,16	38,04	38,28	38,73
	0,035	36,62	36,86	37,30	38,19	38,44	38,89	38,76	39,01	39,49
	0,040	37,25	37,49	37,94	38,84	39,09	39,57	39,44	39,70	40,21
94096	0,030	35,93	36,14	36,55	37,42	37,66	38,10	37,99	38,22	38,66
	0,035	36,65	36,89	37,32	38,19	38,43	38,88	38,76	39,00	39,47
	0,040	37,30	37,54	37,99	38,87	39,12	39,59	39,46	39,72	40,23
94620	0,030	36,33	36,55	36,98	37,89	38,14	38,61	38,49	38,73	39,21
	0,035	37,01	37,25	37,69	38,61	38,86	39,33	39,20	39,47	39,96
	0,040	37,63	37,87	38,33	39,25	39,52	40,01	39,88	40,15	40,68
95150	0,030	36,32	36,54	36,97	37,87	38,11	38,58	38,46	38,70	39,17
	0,035	37,01	37,25	37,69	38,61	38,86	39,32	39,19	39,45	39,95
	0,040	37,64	37,88	38,34	39,26	39,52	40,02	39,88	40,16	40,68
95575	0,030	36,30	36,51	36,93	37,81	38,04	38,50	38,38	38,62	39,07
	0,035	37,03	37,27	37,70	38,59	38,84	39,29	39,17	39,42	39,90
	0,040	37,69	37,93	38,38	39,28	39,54	40,03	39,89	40,16	40,68
95860	0,030	36,70	36,92	37,35	38,24	38,49	38,96	38,83	39,08	39,56
	0,035	37,38	37,62	38,06	38,97	39,22	39,70	39,57	39,83	40,33
	0,040	38,00	38,24	38,70	39,62	39,89	40,39	40,25	40,53	41,07
96200	0,030	36,87	37,09	37,53	38,43	38,67	39,15	39,02	39,27	39,75
	0,035	37,53	37,76	38,21	39,13	39,38	39,86	39,73	39,99	40,50
	0,040	38,13	38,37	38,83	39,77	40,03	40,54	40,40	40,68	41,22
96610	0,030	36,86	37,08	37,52	38,41	38,65	39,13	39,00	39,25	39,73
	0,035	37,53	37,77	38,21	39,12	39,38	39,85	39,72	39,99	40,49
	0,040	38,14	38,38	38,84	39,78	40,04	40,55	40,41	40,69	41,23

Altoviti) sono stati calcolati per le sue portate q_{10} , q_{50} e q_{100} imponendo nella sezione di confluenza (511 bis) le altezze ottenute per l'Arno con il calcolo precedentemente indicato, interpolando i dati ottenuti con le sezioni 93.570 e 92.586 poste a monte ed a valle della confluenza.

Per i calcoli si è ricorso alle formule 1 e 2, adottando un coefficiente di scabrezza $n = 0,035$ per l'Ar-

no e 0,040 per il Bisenzio.

Nella Tab. III sono riportate le quote raggiunte dall'acqua in alcune sezioni, in occasione di particolari eventi.

I profili di rigurgito corrispondenti alle varie portate del Bisenzio e dell'Arno, sono riportati anche in figura (Fig. 5), dove le altezze dell'acqua sono confrontate con quelle degli argini. In tale figura si evi-

TAB. III

Evento	Portate (mc/sec)		Quote Arno sezioni		Quote Bisenzio sezioni		
	Bisenzio	Arno	92586	93570	511 bis	Renai	Altoviti
A ₁	151 (q_{10})	1520 (q_{10})	36,89	37,30	37,15	37,18	39,46
A ₂	151 (q_{10})	1393 (q_{10})	36,45	36,86	36,71	36,75	39,34
A ₃	151 (q_{10})	1330 (q_{10})	36,20	36,62	36,47	36,50	39,28
B ₁	215 (q_{50})	2065 (q_{50})	38,48	38,89	38,74	38,76	40,53
B ₂	215 (q_{50})	1893 (q_{50})	38,03	38,44	38,29	38,31	40,36
B ₃	215 (q_{50})	1807 (q_{50})	37,79	38,19	38,05	38,08	40,27
C ₁	245 (q_{100})	2305 (q_{100})	39,07	39,49	39,34	39,37	40,99
C ₂	245 (q_{100})	2113 (q_{100})	38,60	39,01	38,86	38,90	40,79
C ₃	245 (q_{100})	2017 (q_{100})	38,35	38,76	38,61	38,65	40,69

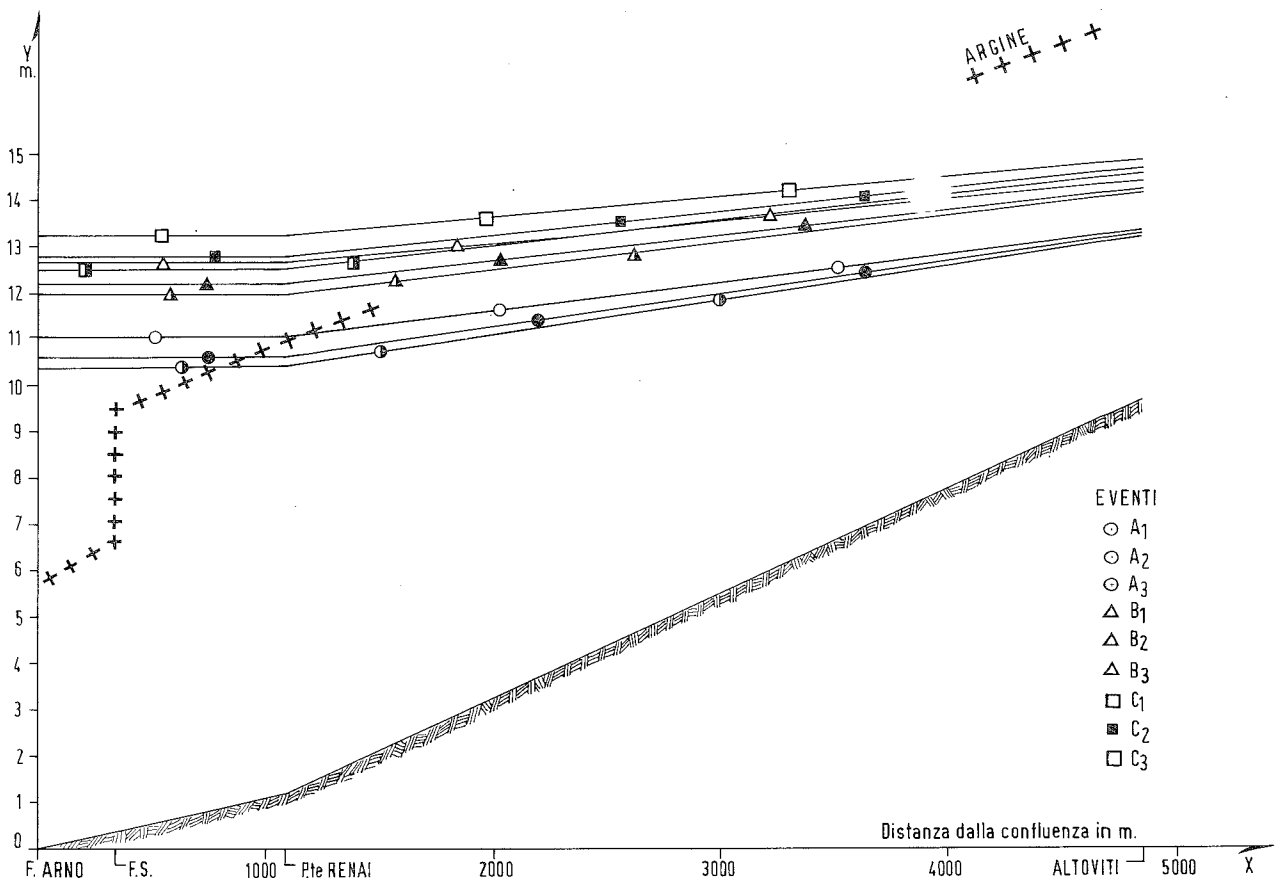


Fig. 5 - Confronto tra l'altezza dell'argine lungo il profilo del Bisenzio studiato e l'altezza dell'acqua in occasione dei particolari eventi indicati nella Tab. III.

denza la situazione critica che si ha nel corso del Bisenzio nella zona prossima alla confluenza con l'Arno anche con piene di bassa ricorrenza; la possibilità di esondare risulta invece assai bassa all'altezza della Fattoria Altoviti.

6. INFLUENZA DEL LAGO SULLA POTENZIALITÀ DELLA FALDA

La creazione di un lago comporta una evidente alterazione del bacino idrico a seguito di una maggiore alimentazione meteorica, ma anche di una maggiore perdita per evaporazione. Gli apporti meteorici sono stati valutati considerando il regime pluviometrico registrato alla stazione di Firenze.

Il calcolo della evaporazione viene effettuato con la formula di Visentini:

$$E_v = a \cdot t^{1.5} \quad (3)$$

dove a = costante che dipende dalle dimensioni; per piccoli laghi $a = 2,25$; t = temperatura media mensile.

Nella Tab. IV sono indicati i dati meteorologici ed i bilanci mensili. Per effetto della pioggia e dell'evaporazione risulta una perdita annuale di -773 mm di altezza. Per un bacino con uno specchio di acqua di 110 ha, si ha quindi una perdita globale di 830.000 mc di acqua nel corso di un anno.

A ciò si aggiunge la perdita per filtrazione laterale. Essa viene calcolata con la relazione di Darcy:

$$q = T L i \quad (4)$$

dove:

T = trasmissività = $5 \cdot 10^{-3}$ mq/sec

L = fronte di alimentazione = 3.000 m

i = gradiente idraulico = $2,5 \cdot 10^{-3}$

Sostituendo i valori si ottiene una perdita per filtrazione di circa 1.162.000 mc ed una perdita globale per filtrazione ed evaporazione di 1.992.000 mc/anno.

Tuttavia si ha una rialimentazione da parte dell'Arno. La capacità di rialimentazione viene calcolata assumendo una distanza media tra l'Arno ed il lago di 300 m.

Nella tabella seguente sono indicate le portate al variare del gradiente idraulico per varie ipotesi di differenza di quota H tra il pelo libero medio dell'acqua nel fiume e nel lago, utilizzando la relazione di Darcy. (4)

h (m)	i	q (mc/sec)	Q (mc/anno)
0,50	$1,66 \cdot 10^{-3}$	$16,6 \cdot 10^{-3}$	523.497
1,00	$3,33 \cdot 10^{-3}$	$33,3 \cdot 10^{-3}$	1.050.148
1,50	$5,00 \cdot 10^{-3}$	$50,0 \cdot 10^{-3}$	1.576.800
2,00	$6,66 \cdot 10^{-3}$	$66,6 \cdot 10^{-3}$	2.100.297

TABELLA IV - Apporti meteorici e perdite per evaporazione mensili per la stazione di Firenze.

mese	temperatura	giorni piovosi	pioggia mm	evaporazione mm	ΔH mm
Gennaio	5,1	9	69	26	+ 43
Febbraio	6,6	7	66	38	+ 28
Marzo	9,6	8	65	67	— 2
Aprile	13,4	8	66	110	— 44
Maggio	17,6	9	73	166	— 93
Giugno	21,6	6	55	226	— 171
Luglio	24,4	3	24	271	— 247
Agosto	23,9	4	38	263	— 225
Settembre	20,4	6	75	207	— 131
Ottobre	15,2	9	116	133	— 17
Novembre	9,9	11	109	70	+ 39
Dicembre	6,3	9	84	36	+ 48
Totale		89	840	1.628	— 773

Ne risulta che una rialimentazione pari alla perdita di 2 milioni di mc/anno si ha per una differenza di quota di 2 m tra il pelo libero del fiume e del lago, con un contributo medio annuale da parte dell'Arno pari a circa $65 \cdot 10^{-3}$ mc/sec, che sembra un contributo possibile per le portate dell'Arno stesso.

7. OSCILLAZIONI STAGIONALI DELL'ACQUA DEL BACINO

Dal momento che l'altezza dell'acqua nel fiume subisce variazioni stagionali, tale effetto si trasmette anche nel lago. Per valutare le variazioni di altezza si è provveduto in primo luogo a calcolare le quote che raggiunge l'Arno nella sezione 95.150 prossima al fronte di alimentazione della falda, per diverse portate e coefficiente di scabrezza variabile tra 0,150 e 0,050 (Tab. V).

TABELLA V - Altezza del livello dell'Arno (s.l.m.) in corrispondenza della sezione 95150 calcolata per varie portate q e per coefficienti di scabrezza $n = 0,150; 0,075; 0,050$.

Portata q (mc/sec)	n 0,150	n 0,075	n 0,050
5	28,31	27,88	—
10	28,73	28,00	—
20	29,49	28,73	—
30	30,02	29,14	—
40	30,51	29,50	—
50	30,91	29,78	—
60	31,27	30,03	29,51
70	31,62	30,28	29,70
80	31,96	30,52	29,88
90	32,28	30,73	30,05
100	32,56	30,92	30,22
110	32,83	31,11	30,38
120	33,09	31,97	30,54

Il calcolo è stato fatto, come il precedente, all'elaboratore elettronico usando la formula di Manning, già citata.

Le portate medie attraverso la sezione del fiume in esame sono state determinate aggiungendo alle portate indicate negli annali del Servizio Idrografico per la Stazione di Rosano una quantità del 5% per tener conto dei contributi degli affluenti che si immettono nell'Arno dopo Rosano.

Nella tabella seguente sono riportate le portate medie mensili e le corrispondenti quote dell'acqua sul livello del mare, considerando coefficienti di scabrezza 0,150 per portate inferiori a 15 mc/sec, 0,075 per portate comprese tra 15 e 50 mc/sec e 0,050 per portate superiori a 50 mc/sec, per tener conto del diverso comportamento idraulico del fiume in corrispondenza delle diverse portate.

In base alle precedenti considerazioni, essendo il livello medio dell'acqua nell'Arno alla quota 29,6 m, l'acqua del lago dovrebbe trovarsi mediamente alla quota 27,6 e prendendo invece in considerazione il livello minimo raggiunto dal fiume in Agosto, si avrebbe nel lago la quota 26,3 m s.l.m.

Tali previsioni sembrano ragionevolmente confermate da misure delle quote della falda nel periodo Gennaio-Luglio 1976 in corrispondenza di alcuni piezometri e di vasche di escavazione che già ora coprono una parte considerevole dell'area che dovrebbe essere occupata dal bacino (Fig. 2).

Le quote massime e minime registrate nei piezometri e nell'Arno all'altezza della passerella di Signa sono sfasate con un ritardo dell'ordine di un mese. Tali ritardi, regolati ovviamente alla permeabilità del terreno, provocano anche uno smorzamento negli effetti e pertanto le oscillazioni del livello dell'acqua nel bacino saranno certamente inferiori a m 2,20 che corrispondono a quelle nell'Arno nel corso di un anno.

La riduzione dei «picchi» e l'«appiattimento» generale nella oscillazione della falda sono ben evidenziati nei diagrammi riferiti alle letture dei piezometri che hanno mostrato oscillazioni di soli 60 cm nel corso del periodo di osservazione.

mese:	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
portata	100	120	100	70	60	30	10	5	12	35	80	110
q (m.s.l.)	30,2	30,5	30,2	29,7	29,5	29,1	28,7	28,3	28,9	30,3	29,9	30,4

quota media: 29,6 m.s.l.m.

Per quanto riguarda l'altezza di acqua nel lago si può osservare che anche nel periodo di magra saranno presenti quattro metri di acqua che renderebbero idoneo l'uso per il quale il bacino è progettato. Del resto le quote del pelo libero dell'acqua nelle vasche di escavazione, indicate sia in planimetria che in sezione e che si riferiscono a misure effettuate nell'Agosto 1976, sono coerenti con le previsioni di calcolo.

Gli Autori ringraziano gli operatori della zona di studio per le informazioni ed il materiale forniti. Inoltre ringraziano vivamente i colleghi Prof. Ing. M. GALLATI dell'Università di Pavia e Dr. L. PANATTONI -I.B.M. Pisa, per i chiarimenti e l'aiuto fornito in fase di impostazione ed elaborazione della parte idraulica.

BIBLIOGRAFIA

DAINELLI G. (1936) - *Il bacino di Firenze e il suo antico lago* Mélanges de Géographie, Firenze.

CAPECCHI F., GUAZZONE G. & PRANZINI G. (1975) - *Il bacino lacustre di Firenze - Prato - Pistoia. Geologia del sottosuolo e ricostruzione evolutiva*. Boll. Soc. Geol. It. **94**(4).

ERCOLI A. & CONEDERA C. (1973) - *Elementi geomorfologici della Piana di Firenze dedotti da fotointerpretazione*. L'Universo **53**(2), Marzo-Aprile.

GALLATI M. & PANATTONI L. (1975) - *Coefficienti di scabrezza delle tronco terminale dell'Arno*. L'Energia Elettrica **52**(9).

Manoscritto consegnato nel febbraio 1982