F. RAPETTI (*), P.E. TOMEI (**)

ASPETTI FISICI E FLORISTICI DEL LAGO DI SIBOLLA (ALTOPASCIO, LUCCA, TOSCANA)

Abstract - Physical and floristic aspects of the Lake Sibolla (Altopascio, Lucca, Tuscany). The humid area of Lake Sibolla in the municipality of Altopascio (Lucca-Tuscany) is a most valuable one, since residual phytocenoses of high epiontological interest still remain here, as stated by the Italian Botanical Society in 1971 and by the Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) in 1972 and, more recently, by the Province of Lucca. The latter has founded the «Natural Reserve of Lake Sibolla», to be included in the list of the «Sites of Community Importance» (pSIC IT5120018 «Lago di Sibolla»), within the frame of «Nature Project 2000». Geological and geomorphological conditions of the site are analysed, which show a good degree of hydro-climatic humidity, despite a secular trend toward increase of deficit and decrease of water surplus, also recorded in other plains of Tuscany. Up to the present, climatic and ecological potential of this humid area is still considered adequate to the survival of the vegetable species of major phytogeographical interest - such as, for instance, Aldrovanda vesiculosa L., Drosera rotundifolia L., Menyanthes trifoliata L., Rhynchospora alba (L.) Vahl, Anagallis tenella (L.) L. – even though they have no longer been found in Sibolla for many years.

Key words - Humid area, climate, residual flora, Altopascio, Lucca.

Riassunto - L'area umida del Lago di Sibolla, posta nel comune di Altopascio (Lucca, Toscana), è particolarmente interessante a motivo della permanenza di fitocenosi relitte di notevole valore epiontologico, come riconosciuto dalla Società Botanica Italiana nel 1971 e dal Consiglio Nazionale delle Ricerche nel 1972, e, più di recente, dalla Provincia di Lucca, che ha istituito la «Riserva naturale del Lago di Sibolla», inserita, nell'ambito del «Progetto Natura 2000», nei «Siti di Importanza Comunitaria» (pSIC IT5120018 «Lago di Sibolla»). Si definiscono le condizioni geologiche, geomorfologiche e climatiche del sito. Queste ultime indicano un buon grado di umidità idrico-climatica, pur in presenza di una tendenza secolare all'aumento del deficit e alla diminuzione del surplus idrici, riscontrata peraltro in altre aree planiziali della Toscana. Si ritiene che le potenzialità climatiche ed ecologiche dell'area umida siano ancor oggi adatte alla vita delle specie vegetali di maggior interesse fitogeografico, tra le quali, ad esempio, Aldrovanda vesiculosa L., Drosera rotundifolia L., Rhynchospora alba (L.) Vahl, Anagallis tenella (L.) L., anche se da molti anni queste non sono state più rinvenute.

Parole chiave - Area umida, clima, flora relitta, Altopascio, Lucca.

PREMESSA

La zona umida di Sibolla, già ricordata in documenti del XII secolo, dove sono presenti fitocenosi relitte di grande interesse epiontologico, è stata censita come «biotopo di rilevante interesse vegetazionale meritevole di conservazione» da parte della Società Botanica Italiana nel 1971 e dal Consiglio Nazionale delle Ricerche nel 1972. Nel 1996 la Provincia di Lucca riconosce l'area come «Riserva naturale del Lago di Sibolla», e successivamente, nell'ambito «Progetto Natura 2000», che ha per obiettivo la conservazione della biodiversità, entra a far parte dei «Siti di Importanza Comunitaria» (pSIC IT5120018 «Lago di Sibolla»).

L'originaria area umida, ridotta nel secolo scorso dalle bonifiche delle finitime paludi di Fucecchio e di Bientina, è oggi sottoposta a forte pressione antropica da una serie di opere e di attività, tra le quali l'autostrada A11, che ne isola parzialmente la porzione apicale settentrionale, un elettrodotto ad alta tensione che ne taglia la parte occidentale da nord a sud e la continua espansione dell'area industriale di Altopascio, che in via dei Sandroni si affaccia a meno di trecento metri dal lago. Infine alcune attività industriali altamente inquinanti, che fino a pochi anni or sono erano presenti e attive a ridosso dello specchio liquido, hanno determinato il grave decadimento della qualità delle acque e dell'ambiente (Fig. 1).

Nell'ultimo decennio la Provincia di Lucca, gestore della Riserva, avvalendosi di un Comitato Tecnico e di un Comitato Scientifico, nominato su indicazione delle Università degli Studi di Pisa e di Firenze, ha istituito il «Regolamento della Riserva Naturale» che indica i vincoli e le prescrizioni sugli assetti edilizi, urbanistici e infrastrutturali, le norme sull'uso delle risorse e la difesa del suolo, le direttive di tutela e valorizzazione delle peculiarità ambientali, naturalistiche e scientifiche dell'area. Il Regolamento prevede il divieto di edificazione di nuove costruzioni, detta le regole per l'uso del suolo a fini agricoli, per l'allevamento ed il pascolo. Pone divieti e vincoli per la caccia e la pesca, la raccolta e l'asportazione di torba e specie vegetali, l'impiego di qualsiasi tecnica che possa avere un impatto negativo sui cicli biogeochimici, la navigazione a motore e ogni azione che possa influire sugli apporti idrici superficiali e sotterranei, come, ad esempio, i versamenti e gli emungimenti di acqua e la coltivazione di inerti.

^(*) Università degli Studi di Pisa, Dipartimento di Scienze della Terra, via S. Maria 53, 56126 Pisa. E-mail: rapetti@dst.unipi.it

^(**) Università degli Studi di Pisa, Dipartimento di Agronomia e gestione dell'Agroecosistema, via S. Michele degli Scalzi 2, 56124 Pisa



Fig. 1 - Vista aerea del Lago di Sibolla (in primo piano) orientata a ovest (scala ≈ 1: 5000). È manifesta la forte pressione antropica sul lago e sull'area umida determinata dall'autostrada A11 e dagli insediamenti industriali in espansione dal paese di Altopascio verso est (foto aerea F. Cinelli, 13 aprile 2003).

Inquadramento geografico e geologico

La zona umida di Sibolla (lat. 43° 49' 30" N; long. 10° 42' 06" E), interamente compresa nel comune di Altopascio, insiste in un'area del Valdarno inferiore tra i Paduli di Bientina e di Fucecchio, nella depressione presente tra le colline di Montecarlo, le Cerbaie e il Monte Albano, dove le quote sono comprese tra 15 e 20 m s.l.m.m.

Nel Pliocene inferiore, dopo la fase di compressione che nel Miocene medio aveva portato al sollevamento dell'Appennino settentrionale, seguì una fase distensiva, accompagnata da una trasgressione che, nell'area in studio, lambì gli attuali paesi di Marlia e Monsummano e che invase gran parte della Toscana centro-occidentale (Bartolini *et al.*, 1982) (Fig. 2).

Dal tardo Pliocene medio si verificò un sollevamento che determinò il ritiro del mare da quelle terre (regressione astiana), lasciando depositi marini quali argille azzurre, sabbie giallastre di mare sottile e calcari arenacei. Nel Pleistocene inferiore, durante la trasgressione calabriana, il mare penetrò nuovamente nella bassa valle dell'Arno, senza tuttavia interessare l'area in studio, poiché la nuova

ingressione giunse a lambire gli attuali paesi di Cascina e di San Giovanni alla Vena, mentre verso oriente i sedimenti lacustri e fluvio-lacustri villafranchiani si depositavano sulle sabbie e i calcari sabbiosi pliocenici (Federici, 1987). L'area depressa tra il Monte Pisano e il Monte Albano si trasformò in un unico vasto bacino lacustre: tra il Pleistocene inferiore e medio si verificò una fase di sollevamento di debole intensità che mise in posto la dorsale Montecarlo-Cerbaie. Tale sistema di basse colline, che presenta un andamento arcuato convesso verso oriente, presenta altitudini modeste poiché le alture di Montecarlo culminano sul Monte Chiari (189 m s.l.m.m.) mentre quelle delle Cerbaie a Montefalcone (114 m s.l.m.m.); la struttura presenta l'insellatura di Marginone-Altopascio, dove la quota scende a 19 m s.l.m.m. Il sollevamento di questa struttura divise in due parti il grande bacino lacustre a nord dell'Arno: ad occidente si formò il padule di Bientina ed a oriente quello di Fucecchio. In tale conteso morfologico la depressione che ospita la zona umida del Sibolla si colloca nell'apice inferiore delle basse colline di Montecarlo.

Nell'Olocene si era ormai delineata la gerarchizzazione della rete dei canali del bacino idrografico dell'Arno, e

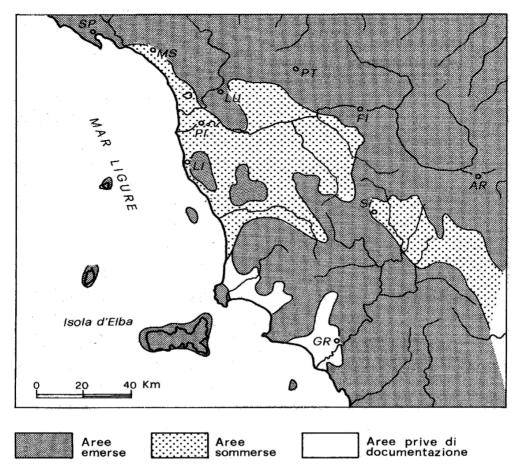


Fig. 2 - Limiti della trasgressione marina del Pliocene inferiore e medio in Toscana.

il fiume, con il suo vasto bacino idroerosivo, trasportava grandi quantità di sedimenti, i quali, anche in relazione alle variazioni eustatiche del livello del mare, in alcune fasi alluvionarono la bassa pianura tra le Colline pisane, le Cerbaie e il Monte Pisano (Federici, 1987).

Sotto il profilo litologico l'area umida del Sibolla insiste su sedimenti quaternari, definiti come «sabbie argillose rossastre», conglomerati e ciottoli in terrazzi, in discordanza su sedimenti lacustri e fluviolacustri villafranchiani (Chetoni, 1985).

INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

Il bacino dell'area umida, geneticamente di natura endoreica, appartiene oggi al sottobacino del Canale Usciana, affluente dello scolmatore dell'Arno, che da Pontedera sfocia in mare all'altezza di Calambrone. Il lago è collegato al Canale Usciana per il tramite del Fosso Sibolla, l'unico emissario, che dopo un percorso di circa sette chilometri riversa le sue acque nel Padule di Fucecchio. A nord l'unità fisiografica è delimitata dal Fosso del Molino, che non risulta in

collegamento idraulico superficiale con il lago (Barsanti, Sani, 2007).

Bacino idrografico del Lago di Sibolla

Al fine della definizione dei limiti del bacino idrografico, per le opportune considerazioni sul bilancio idrologico del biotopo, è utile considerare sia il bacino idrografico in senso stretto sia quello più esteso dell'area umida, pur considerando che l'individuazione di tali unità fisiografiche presenta in più tratti elementi di incertezza, sia a causa delle basse altimetrie sia per gli interventi di governo del territorio che hanno modificato gli assi di naturale drenaggio delle acque superficiali. La prima delimitazione sembra avere più rigore idrogeologico, mentre la seconda è più significativa sotto il profilo della tutela ambientale dell'ecosistema.

Allo stato attuale il bacino idrografico del Lago di Sibolla risulta tagliato del tracciato autostradale dell'A11, che in quel tratto ha direzione nordest-sudovest, che ostacola il deflusso superficiale verso lo specchio liquido. Il settore a nord dell'autostrada, come posto in rilievo dai dati del Piano Strutturale del Comune di Altopascio, presenta tuttavia una falda radiale conver-

gente verso il lago, che contribuisce all'alimentazione della falda lacustre.

La chiusura del bacino s.s. coincide con l'inizio del fosso di Sibolla; le acque superficiali che arrivano nella conca di Sibolla da est vengono intercettate del fosso omonimo e drenate verso sud-est; a nord lo spartiacque passa sulle modeste alture (circa 40-50 m s.l.m.m.) che sovrastano la zona del Marginone; all'altezza dello specchio liquido è ubicato tra l'area Moroni e la località Ponte ai Pini, mentre nella parte sud passa dalla zona industriale e chiude verso il lago in prossimità della Strada comunale dei Ferranti. L'area del bacino idrografico del Lago di Sibolla s.s. risulta di circa 135,3 ettari. Il bacino dell'area umida ha l'estensione di circa 331,7 ettari, perciò circa doppia di quella del bacino s.s. La coincidenza tra le due unità fisiografiche riguarda la parte settentrionale, mentre gli scostamenti più marcati sono presenti soprattutto nel lato orientale: a nord-est la linea spartiacque passa infatti nei pressi di Ponte ai Pini, mentre a sud-est arriva ad inglobare l'area Bartoloni (Fig. 8).

INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Il lago appare in comunicazione diretta con la falda a pelo libero che satura il sottile strato di limi sabbiosi e sabbie fini a media permeabilità (E₁) sovrastante uno strato di limi argillosi a bassa permeabilità (E₂). Il modello idrogeologico dell'area del Sibolla è infatti rappresentato dalla sovrapposizione di due acquiferi (E₁ ed E₃). L'acquifero superficiale è rappresentato da esigui livelli sabbiosi ghiaiosi intercalati in 15-20 m di depositi limo-argilloso-sabbiosi appartenenti alla «Formazione della Cerbaie». L'acquifero profondo è rappresentato da livelli ghiaioso-sabbiosi e ciottolosi presenti fino alla profondità di 50 m, al di sotto dei quali è presente un banco di argilla compatta. Lo spessore dello strato permeabile superficiale, come risulta dai

carotaggi (Chetoni, 1985; 1999), si assottiglia in corrispondenza dell'area del lago, rendendo più facile la saturazione del suolo (Fig. 3). Sotto l'orizzonte impermeabile E₂ dati di carotaggio mostrano la presenza di un orizzonte E₃ mediamente permeabile, limitato verso il basso da un orizzonte E₄ di argilla. Se sia presente una alimentazione sotterranea delle acque del lago è questione ancora oggi discussa (Chetoni, 1985; Righetti e Cornieri, 1985; Barsanti e Sani, 2007); tuttavia, l'ipotesi che esista una polluzione di origine termale, secondo alcuni giustificherebbe la sopravvivenza di habitat relittuali (Chetoni, 1985; 1999). Il bacino del lago definito in questo lavoro non tiene conto della possibile alimentazione da parte di falde sotterranee che sembrano provenire dal bacino del Pescia di Collodi.

CARATTERI DEL CLIMA

L'area che ospita il Lago di Sibolla, per l'assenza di stazioni meteorologiche in un intorno vicino, non è mai stata oggetto di indagini climatiche approfondite (Tab. 1), mentre risultano studi idrologici approfonditi del Consorzio di bonifica del Padule di Fucecchio (Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, 1980).

L'analisi climatica, nelle sue componenti termiche, pluviometriche e relative al bilancio idrico-climatico, è stata condotta sulla base dei dati rilevati presso la stazione di Pescia, non distante dal Sibolla e dotata di un catalogo meteorologico che copre gli anni dal 1916 al 2003, rilevato fino agli anni Venti del secolo scorso a cura dell'Ufficio Idrografico di Pisa e dal 1930 dall'Istituto Tecnico Agrario «D. Anzilotti» della città (Galliani, Pergola, 1994).

Radiazione solare globale e ultravioletta

I dati della radiazione solare si riferiscono alla stazione di S. Colombano, sita a qualche decina di chilometri a

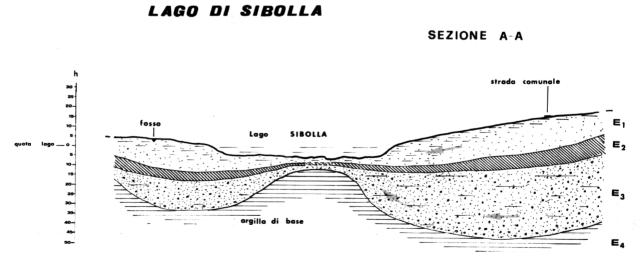


Fig. 3 - Sezione stratigrafica NE-SW dell'area del Lago di Sibolla, con individuazione degli orizzonti permeabili (E_1, E_3) o medio permeabili e degli orizzonti impermeabili (E_2, E_4) (Chetoni, 1985).

Tab. 1 - Distribuzione geografica e altimetrica delle stazioni meteorologiche.									
Stazione	Quota (m s.l.m.m.)	Elemento misurato							
S. Colombano	36	Radiazione solare							
Pescia	81	Temperatura e precipitazioni							
P.te Buggianese	18	Precipitazioni							
Vellano	420	Precipitazioni							
Serra Pistoiese	810	Precipitazioni							

oriente dell'area umida in direzione di Firenze (Rapetti, 2000), che presenta tuttavia trascurabili differenze di latitudine e di orizzonte sensibile rispetto al Sibolla. Nel periodo di osservazione (1993-1998), il valore medio annuo della radiazione solare globale è stato di 162 W/m², con valori medi mensili compresi tra 49 W/ m² (dicembre) e 283 W/m² (luglio). Il valore massimo istantaneo ha raggiunto l'intensità di 1186 W/m² (ore 12:30 del 15 maggio 1995), che rappresenta l'88,3% dell'irradiamento standard in quel giorno (Tab. 2). La quantità di energia solare globale media annua che ha raggiunto le superfici a giacitura orizzontale è stimabile in $2{,}129 \times 10^6$ MJ/m², con valori estremi di $0{,}031 \times$ 10^6 MJ/m^2 in dicembre e $0.420 \times 10^6 \text{ MJ/m}^2$ in luglio. Il soleggiamento medio mensile ed annuo (numero di ore durante le quali la radiazione solare raggiunge l'intensità sufficiente a proiettare ombre distinte) ha avuto una durata annua significativamente inferiore a quella astronomica, con le differenze più elevate in dicembre e in gennaio, quando l'arco apparente del Sole è meno inclinato sull'orizzonte e gli ingombri orografici intercettano la radiazione fino nelle ore avanzate del mattino e la nuvolosità è più intensa (Tab. 3).

La radiazione ultravioletta, compresa nell'intervallo spettrale tra 0.10 e 0.38 μm , costituisce un elemento meteorologico di grande importanza per l'elevato effetto sugli organismi. La sua misura tuttavia, a causa dell'elevata pendenza dello spettro, per la difficoltà di calibrazione degli standard, è difficoltosa; i valori che seguono devono perciò essere considerati con l'opportuna cautela.

La radiazione ultravioletta media annua di periodo è stata di 4,0 W/m², con valori medi mensili da 1,0 W/m² (dicembre) a 7,3 W/m² (luglio). Gli estremi mensili sono stati di 8,0 W/m² (luglio 1994) e di 0,8 W/m² (dicembre 1998). Il valore massimo istantaneo è stato di

33,3 W/m² (12:30 del 26 maggio del 1994). La quantità di energia solare ultravioletta annua che ha raggiunto le superfici orizzontali è stimabile in $52,56 \times 10^6$ J/m², con valori estremi di $0,625 \times 10^6$ J/m² in dicembre e $10,835 \times 10^6$ J/m² (Tab. 4).

Nel periodo 1993-1998 l'intensità di 30 W/m² è stata superata solo nei mesi di maggio e di giugno, per un totale di cinque casi, con la massima frequenza in maggio (4 giorni). La distribuzione di frequenza per classi di intensità dei vari mesi indica che la classe fra 27,6 e 30,0 W/m² è stata raggiunta nei mesi da aprile a luglio, per un totale di 76 giorni, con la massima frequenza nel mese di maggio (4,7 giorni/anno), pari a una media di 12,7 giorni/anno. Nel mese di dicembre la classe di maggiore intensità (7,6-10,0 W/m²) ha avuto una frequenza di 43 casi, con una media di 7,2 giorni/anno. I dati sperimentali indicano che a S. Colombano il valore del rapporto tra l'irradiamento ultravioletto e l'irradiamento solare globale è di 2,47% (media annua), con il massimo in giugno (2,64%) e il minimo in dicembre (1,94%) (Tab. 5).

Nel complesso la bassa Valle dell'Arno, e perciò l'area del Sibolla, risulta ben soleggiata nel corso di tutto l'anno, con valori di irradiamento molto elevati nelle ore centrali del dì, specialmente nei mesi da aprile a luglio, quando le attività biologiche raggiungono l'intensità più elevata.

Temperatura dell'aria

Il campo termico dell'area umida mostra una temperatura media annua compresa tra $14,0^{\circ}$ e $15,0^{\circ}$ C; i valori massimi e minimi mensili tra $6-7^{\circ}$ C (gennaio) e $23-24^{\circ}$ C (luglio) (Rapetti, Vittorini, 1994). Sono presenti quattro mesi con $T \ge 20,0^{\circ}$ C e l'escursione termica annua è compresa tra 17,0 e $18,0^{\circ}$ C (Tab. 6): tali condizioni fanno ricadere l'area nel tipo *temperato caldo* (Pinna, 1969).

Radiazione solare	G	F	M	A	M	G	L	A	S	О	N	D	Anno
rad. max assol.	501	666	856	1004	1186	1080	1024	979	924	725	535	474	1186
data	27/'95	28/'97	25/'97	28/'97	15/'95	04/'93	07/'96	09/'95	04/'96	12/'97	04/'95	04/95	-
med. diurn. max	122	184	260	295	355	357	348	306	257	200	135	94	357
data	29/'94	28/'95	31/'95	18/'97	29/'97	23/'97	07/'93	01/'96	01/'97	06/'94	05/'95	07/'98	-
med. diurn. min	9	6	16	25	49	20	86	64	16	4	5	6	4
data	14/'98	19/'96	18/'95	10/'93	09/'94	23/'95	20/'94	28/'98	24/'93	08/'93	01/'98	17/'97	-
rad. globale media	63	101	156	181	245	272	283	242	174	115	65	49	162

Tab. 3 - Soleggiamento	Tab. 3 - Soleggiamento mensile e annuo (in ore) astronomico e misurato a S. Colombano (1993-1998).												
Radiazione solare	G	F	M	A	M	G	L	A	S	О	N	D	Anno
soleg. astronomico	9,3	10,5	12,0	13,5	14,8	15,4	15,1	13,9	12,5	11,0	9,7	9,0	12,2
n. ore	288,3	294,0	372,0	405,0	458,8	462,0	468,1	430,9	375,0	341,0	291,0	279,0	4465,1
soleggiamento misurato	6,5	8,2	10,3	11,2	12,8	13,5	13,3	12,3	10,4	9,0	6,7	5,6	10,0
n. ore	201,5	229,6	319,3	336,0	396,8	405,0	412,3	381,3	312,0	279,0	201,0	173,6	3647,4
rapporto %	69,8	78,1	85,8	83,0	86,5	87,7	88,1	88,5	83,2	81,8	69,1	62,2	81,7

Tab 4 - Valori estremi istantanei della radiazione solare ultravioletta (W/m²) e campo di variazione della radiazione solare ultravioletta del giorno medio di ciascun mese. Valore medi mensili ed annui (W/m²) nella stazione di S. Colombano (1993-1998).

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	О	N	D	
max assol.	11,8	16,9	21,8	28,3	33,3	30,6	29,4	26,4	26,2	19,5	12,2	9,8	33,3
data	29/'94	26/'94	30/'94	28/'94	26/'94	04/'94	09/'94	12/94	04/96	04/'94	13/'93	02/'93	26/'94
med. diur. max	2,7	4,2	6,7	8,6	10,0	10,0	10,0	7,9	6,9	4,7	2,9	2,1	10,0
data	29/'94	28/'95	27/'94	28/'94	22/'94	23/'94	09/'94	02/'97	05/'93	06/'94	03/'95	02/'93	vari
med. diurn. min.	0,0	0,0	0,1	0,5	1,5	0,5	2,6	1,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
data	09/'97	19/'96	18/'95	30/'98	09/'94	23/'95	20/'94	28/'98	25/'98	08/'93	01/'98	01/'93	vari
rad. U.V. media	1,3	2,2	3,7	4,6	6,5	7,2	7,3	6,0	4,3	2,6	1,3	1,0	4,0

Tab. 5 - Rapp	Tab. 5 - Rapporto percentuale (%) tra la radiazione globale e ultravioletta nei giorni medi mensili e dell'anno (1993-1998).												
G F M A M G L A S O N D Anno													
rapporto % 2,06 2,18 2,37 2,56 2,63 2,64 2,59 2,48 2,45 2,23 2,03 1,94 2,47													

Nel secolo scorso i valori termici estremi diurni misurati a Pescia si sono verificati nel gennaio 1985 e nell'agosto 2003, quando si osservarono rispettivamente le temperature di -13,0° (11 gennaio 1985) e di 43,0° C (5 agosto 2003) (Rapetti & Vittorini, 1992; Rapetti, 2004). Durante l'episodio di gelo del gennaio 1985, che nella Toscana planiziale rappresenta l'evento più intenso nella storia della meteorologia strumentale, a Chiesina di Padule, non lontana dall'area umida di Sibolla, furono registrati -21,2° C (11 gennaio 1985). La prolungata esposizione della vegetazione alle temperature sotto lo zero, stimabile rispettivamente in 58 ore (T $< -10^{\circ}$ C) e in 140 ore (T < -5° C), provocò gravi danni alle coltivazioni e alle attività vivaistiche, soprattutto alle piante più sensibili al gelo, quali, ad esempio, l'ulivo, mentre scarsi affetti ebbe sulla flora che vive sugli sfagni (Rapetti, et al., 1986).

Tra gli episodi di gran caldo si distingue quello dell'estate 2003, anch'esso senza riscontro negli annali meteorologici, determinato dall'azione congiunta degli anticicloni delle Azzorre e del nord-Africa; in quella circostanza si determinarono condizioni di caldo estremo e prolungato dall'Europa atlantica fino al Mar Nero. Nella Toscana planiziale si registrarono temperature molto elevate fin dall'inizio di maggio, ma i valori termici più elevati riguardarono l'intero mese di agosto.

Precipitazioni

L'area umida di Sibolla, per la presenza del Monte Pisano, delle Pizzorne e dei primi contrafforti dell'Appennino pistoiese, che producono sollevamenti forzati delle masse di aria in transito, riceve afflussi idrometeorici annui molto elevati, se posti a confronto con quelli che

Tab. 6 - 0	Tab. 6 - Campo di variazione e valori medi della temperatura dell'aria a Pescia (1930-2003) (°C).												
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	О	N	D	Anno
Tmin	2,2	1,9	6,3	10,8	11,2	17,8	20,0	20,1	17,4	11,3	8,2	2,7	13,1
data	1985	1956	1987	vari	1977	1933	1980	1968	1984	1974	1966	1940	1941
Tmax	9,8	10,8	13,5	16,4	20,9	26,9	29,4	29,8	22,9	19,1	13,7	10,1	16,5
data	1936	1990	2001	1946	2003	2003	1947	2003	1997	2001	2002	1985	2003
Tmed	6,5	7,6	10,2	13,1	17,0	20,6	23,5	23,5	20,2	15,8	10,7	7,3	14,7

Tab. 7 - Precipitaz	Tab. 7 - Precipitazioni medie mensili e annue nelle stazioni più prossime all'area in studio (mm).													
Stazioni pluviom.	Quota	G	F	M	A	M	G	L	A	S	0	N	D	Anno
P.te Buggianese	18	113	98	114	89	79	62	29	60	90	124	142	136	1135
Pescia	81	140	119	119	100	89	58	34	66	102	133	155	150	1265
Vellano	420	169	146	140	126	106	73	49	76	113	155	192	167	1511
Serra Pistoiese	810	175	157	154	133	110	78	47	77	113	171	204	187	1607

interessano le altre aree planiziali della Toscana (Rapetti, 2000) (Tab. 7).

A Pescia le piogge medie annue sono state di 1265 mm, con estremi di 719 mm nel 1944 e di 2023 mm nel 1960, con un modulo pluviometrico estremo – rapporto tra le quantità annue di pioggia dell'anno più piovoso e dell'anno meno piovoso – di 2,83, caratteristico dell'Europa occidentale, dove la variabilità interannuale è bassa.

Negli ottanta anni di funzionamento effettivo della stazione, la frequenza più elevata delle classi pluviometriche spetta all'intervallo 1200-1300 mm con il 20,0% dei casi, segue la classe 1000-1100 con il 17,5%, mentre, con il 12,5%, è ancora significativa la percentuale relativa all'intervallo 1400-1500 mm (Fig. 4).

Per una valutazione più realistica degli afflussi idrometeorici nell'area umida occorre tuttavia considerare la differenza di quota tra questa e la stazione meteorologica di Pescia. L'applicazione del gradiente pluviometrico verticale di quel profilo altimetrico, valutato in 59,2 mm/100 m, consente di stimare in 1183 mm l'afflusso idrometeorico nello specchio liquido e nelle torbiere. Il regime pluviometrico mensile ha un massimo principale in novembre e valori elevati da ottobre a marzo (Fig. 5).

Dal 1880 a oggi, il campo di variazione degli afflussi idrometeorici estivi, che rappresentano uno dei fattori critici per la permanenza di livelli idrici adeguati nel lago e di condizioni di elevata umidità nelle torbiere durante il periodo arido, ha avuto estremi di 551 mm (1896) e 20 mm (1927), mentre le precipitazioni invernali hanno oscillato tra 791 mm (1960) e 69 mm (1921). Il regime pluviometrico stagionale presenta il massimo assoluto in autunno, quello secondario in inverno e il minimo in estate: distribuzione che corrisponde al tipo appenninico settentrionale (Fazzini, 2005).

Nel periodo 1930-2000 si sono verificati 8676 giorni di pioggia, con una media di 121 giorni/anno. I valori minimi e massimi annui sono stati rispettivamente di 74 giorni (1934) e 166 giorni (1996). La frequenza più elevata di mesi senza pioggia riguarda l'estate (luglio e agosto); negli altri mesi si segnalano i casi di marzo 1948 e di settembre 1985, durante i quali vi fu assenza di pioggia.

ui pioggia.

Le precipitazioni di breve durata e di forte intensità hanno un interesse applicativo, poiché in un'area fragile come quella in studio possono determinare flussi idrici intensi con erosioni e interrimenti della rete di canali artificiali che drenano la bassura del Sibolla, nonché tracimazioni, assai pericolose considerando il carico

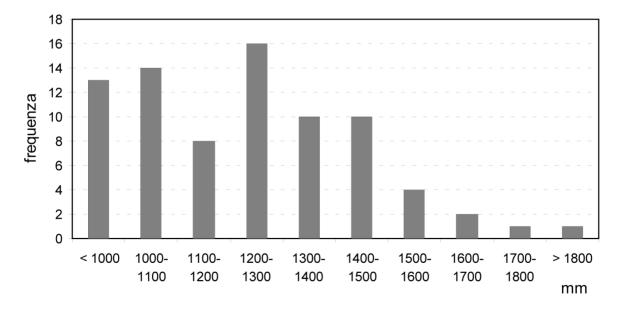


Fig. 4 - Distribuzione di frequenza delle piogge annue a Pescia (1913-2003).

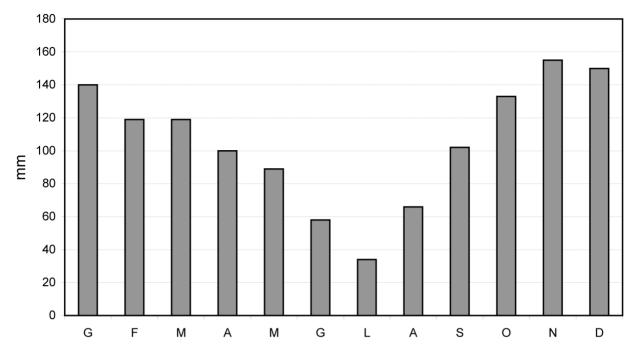


Fig. 5 - Regime pluviometrico mensile a Pescia (mm).

inquinante delle acque provenienti dalle limitrofe zone industriali (Tab. 8, 9).

La raccolta delle altezze pluviometriche estesa ad un lungo periodo di tempo consente di determinare, mediante opportune elaborazioni statistiche, la probabilità che si verifichi una precipitazione di data intensità in un intervallo di tempo definito (tempo di ritorno). L'elaborazione conferma che la pericolosità pluviometrica dell'area è elevata (Ufficio Idrografico di Pisa, s.d.); ne deriva la necessità di uno stretto controllo del territorio, soprattutto relativo alla manutenzione dei canali che intersecano l'area umida (Tab. 10, 11).

Il catalogo pluviometrico di Pescia, sottoposto ai test per la verifica dell'affidabilità, mostra un grado soddisfacente di omogeneità non climatica e una buona rappresentatività statistica dei dati di osservazione (Cortemiglia, 2002), risultando perciò idoneo all'applicazione degli stimatori statistici per la definizione delle fluttuazioni e della tendenza.

La media mobile di ordine cinque, dall'inizio delle osservazioni fino alla metà degli anni Quaranta, mostra un andamento positivo; negli anni seguenti si osservano fluttuazioni piuttosto regolari fino agli anni Ottanta, seguite dall'ultimo periodo di sostanziale stabilità. Il catalogo, nel complesso, risulta privo di tendenza (Fig. 6).

Bilancio idrico-climatico

L'equazione del bilancio idrico continentale è esprimibile con la seguente relazione:

Tab. 8 - Massime precipitazioni da una a ventiquattro ore consecutive a Pescia (mm).											
1 ora 3 ore 6 ore 12 ore 24 ore											
94	162	162	164	204							
26/09/'42	26/09/'42 26/09/'42 26/09/'42 26/09/'42 26/09/'42										

Tab. 9 - Massime precipitazioni da uno a cinque giorni consecutivi a Pescia (mm).										
1 giorno	2 giorni	3 giorni	4 giorni	5 giorni						
152	205	215	237	314						
02/10/'35	26/9/'42	26/9/'42	26/9/'42	2/10/'35						

Tab. 10 - Quantità di precipitazione (mm) attesa in un tempo di ritorno di 100 anni.											
Stazioni 5 min. 10 min 15 min. 20 min. 30 min.											
Montecarlo	11,5	17,2	21,9	25,9	32,8						
Chiesina di Padule	13,6	19,8	24,6	28,8	35,9						

Tab. 11 - Quantità di precipitazione (mm) attesa in un tempo di ritorno di 100 anni.											
Stazioni 1 h 3 h 6 h 12 h 24 h											
Montecarlo	51,7	79,0	103,2	134,8	176,0						
Chiesina di Padule	64,2	95,6	122,9	158,1	203,3						

 $P = AE + S \pm \Delta ST$

P: piogge, AE: evapotraspirazione reale, S: surplus, ΔST: variazione della riserva idrica del suolo

Gli addendi positivi sono costituiti dalle piogge intercettate dallo specchio liquido, dal deflusso idrico superficiale e sub-superficiale in ingresso nell'area umida e da supposti fenomeni di polluzione che alimenterebbero il lago, quelli negativi dal deflusso attraverso il Fosso Sibolla, dall'evapotraspirazione reale, dal deflusso idrico superficiale e sub-superficiale in uscita e dalla infiltrazione che convoglia le acque nell'ambiente sotterraneo.

Lo sviluppo del idrico-climatico di Thornthwaite & Mather (1957) consente la stima degli addendi come in Tabella 12. È opportuno considerare che, nonostante la modesta differenza di quota tra la stazione di Pescia e l'area umida, per quest'ultima alcuni parametri sono sovrastimati, come le piogge e il surplus, altri sottostimati, quali l'evapotraspirazione e il deficit.

L'evapotraspirazione potenziale e reale annue sono state rispettivamente di 796,5 e 656,8 mm. Il deficit idrico è iniziato in maggio e si è protratto fino in settembre; in questo periodo sono presenti condizioni di siccità meteorologica ed edafica, mentre la saturazione del suolo potrebbe essere ripristinata con un apporto di 139,6 mm di acqua, corrispondente a circa 1400 m³/ettaro. Il deficit più elevato è presente in luglio (66,1 mm) e in agosto (56,2 mm), che nel complesso totalizzano l'87,6% del totale annuo. Il surplus presenta il valore massimo in gennaio (100,6 mm), per esaurirsi rapidamente in aprile e riprendersi solo alla fine dell'autunno.

Gli studi idrologici hanno dimostrato che nei bacini idrografici con coperture pelitico-arenitiche solo il 50% circa dell'eccedenza idrica (S) disponibile per il deflusso in un dato mese defluisce realmente (RO); la parte rimanente dell'eccedenza è trattenuta nel bacino e diventa disponibile per il mese successivo. Secondo i dati di Pescia il deflusso idrico (RO) si mantiene elevato nei primi quattro mesi dell'anno, per decadere progressivamente fino a ottobre e riprendersi in novembre e dicembre (Fig. 7; Tab. 12).

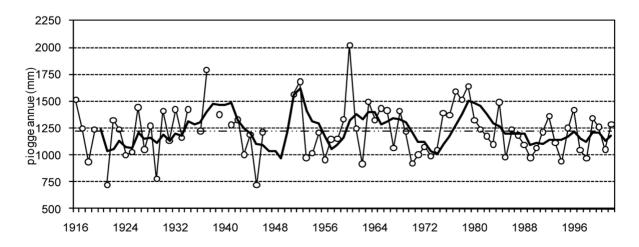


Fig. 6 - Andamento interannuale delle piogge a Pescia (la linea continua indica l'andamento della media mobile di ordine cinque) (1916-2002).

Tab. 12 -	Tab. 12 - Bilancio idrico-climatico medio secondo Thornthwaite & Mather di Pescia (1924-2000).												
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	О	N	D	Anno
T	6,4	7,5	10,2	13,4	17,1	21,0	23,6	23,3	20,5	15,6	11,0	7,3	14,7
P	113,0	98,0	114,0	89,0	79,0	62,0	29,0	60,0	90,0	124,0	142,0	136,0	1136,0
EP	12,4	15,8	31,9	53,2	87,6	121,8	146,8	132,9	94,7	56,9	28,1	14,3	796,5
ST	150,0	150,0	150,0	150,0	141,6	95,0	43,3	26,7	25,8	92,9	150,0	150,0	-
AE	12,4	15,8	31,9	53,2	87,4	108,6	80,7	76,7	90,8	56,9	28,1	14,3	656,8
D	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	13,2	66,1	56,2	3,9	0,0	0,0	0,0	139,6
S	100,6	82,2	82,1	35,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,9	75,3	479,2
RO	87,9	85,1	83,6	59,7	29,8	14,9	7,5	3,7	1,9	0,9	28,9	75,3	479,2

La formula climatica dell'area umida del Sibolla (1924-2000) è:

che descrive un *clima umido*, del secondo mesotermico, con moderato deficit estivo ed una concentrazione estiva dell'efficienza termica del 50%.

Nel periodo di osservazione tuttavia i bilanci idricoclimatici e le formule climatiche, in relazione all'andamento delle piogge e della temperatura dell'aria, hanno avuto la variabilità indicata nella Tabella 13.

Nel complesso, dall'inizio del Ventesimo secolo ad oggi, è in atto una diminuzione del surplus ed un aumento del deficit, che indica la tendenza all'inaridimento dei suoli, come è confermato da altre indagini che riguardano le aree planiziali della Toscana (Rapetti, 2006).

Acque superficiali

Considerato che l'area del bacino idrografico del Lago di Sibolla s.s. è di 135,3 ha, già stimata in 140 ha (Righetti, Cornieri, 1985), e che l'afflusso idrometeorico medio annuo può essere assunto paria a 1183 mm, risulta che nell'anno medio l'area raccolga una quantità di acqua stimata in $1,60 \times 10^6$ m³, mentre l'area umida del Sibolla, con una estensione di 331,7 ha, riceverebbe un afflusso di $3,92 \times 10^6$ m³. Le precipitazioni efficaci, che consistono nella differenza tra le precipitazioni e l'evapotraspirazione reale, si ripartiscono nel suolo in frazioni non stimabili senza opportune determinazioni sperimentali. Il ruscellamento, che alimenta il movimento superficiale dell'acqua, garantisce, quando presente, il ricambio delle acque superficiali: nel caso della zona umida del Sibolla tale frazione delle piogge efficaci assicura il ricambio dell'acqua (Tab. 14).

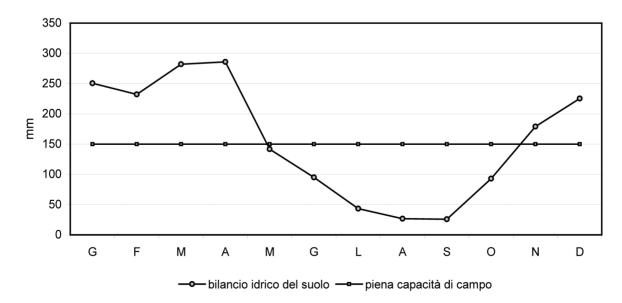


Fig. 7 - Ciclo annuale dell'acqua del suolo a Pescia (1939-2000).

Tab. 13 - Campo di variazione della formula climatica a Pescia.					
Anni estremi	Anno	Formula climatica	Descrizione sintetica		
anno più arido	2003	C ₁ B' ₂ s ₂ b' ₃	subarido - secondo mesotermico - forte deficit in estate		
anno più umido	1932	A B' ₂ r b' ₄	perumido - secondo mesotermico - deficit scarso in estate		

Tab. 14 - Elementi idrologici caratteristici del bacino idrografico del Lago di Sibolla e dell'area umida più vasta.					
Bacini idrografici	Superficie (ha)	Afflussi (m³)	Evapotras. reale (m³)	$P_{efficaci}(m^3)$	
Lago Sibolla s.s.	135,3	$1,60 \times 10^{6}$	0.89×10^{6}	0.71×10^{6}	
Lago Sibolla <i>l.s.</i>	331,7	3,92 × 10 ⁶	2,18 × 10 ⁶	$1,74 \times 10^{6}$	

DINAMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Il confronto tra i dati topografici e i dati piezometrici dell'acquifero superficiale e dell'acquifero profondo (Comune di Altopascio) consente le seguenti osservazioni:

- le idroisoipse, derivate da misure piezometriche effettuate nel luglio 1987 e nel luglio 2004, riferite alla quota della falda dell'acquifero superficiale, evidenziano, nella porzione nord-occidentale del bacino, una falda radiale convergente verso il lago; la chiusura del bacino idrografico in senso stretto nel punto in cui dal lago si origina il fosso Sibolla sembra compatibile con l'andamento delle isopiezometriche;
- la depressione del Sibolla è limitata dalle idroisoipse
 16 e 17 e risulta drenante sulla falda superficiale;
- la piezometrica dell'acquifero profondo, costruita in base al rilievo dei pozzi effettuato nel dicembre 2002, risulta di più difficile interpretazione e sembra sottolineare la presenza di una concomitante alimentazione da sud. Tuttavia l'eventuale contributo dell'acquifero profondo alla ricarica del Sibolla esula dagli scopi della presente indagine e potrà costituire l'oggetto di studi futuri.

Il confronto tra il bacino idrografico della zona umida e quello individuato nel Piano strutturale del Comune di Altopascio (Fig. 8), mostra marcate differente, soprattutto nel settore sud-occidentale: alcuni assi di drenaggio risultano tagliati dal bacino tracciato nel Piano Strutturale e l'area della ricarica risulta nel complesso più limitata.

ASPETTI FLORISTICI

Il lago di Sibolla riveste un posto di primo piano a livello nazionale per la sua ricchezza floristica e, in particolare, nel panorama generale delle zone umide della Toscana. Nella classifica dei siti umidi della Regione a maggiore diversificazione di flore, il Sibolla occupa infatti il quarto posto (Fig. 9).

Tra le specie più significative, alcune assumono un chiaro significato relittuale e la loro presenza è giustificata dall'evoluzione geomorfologica e dalla storia climatica della Toscana settentrionale, e consentita dal

clima che oggi caratterizza l'area in studio. I biotopi umidi planiziali consistono in torbiere basse di interrimento, torbiere di transizione a *Sphagum* e acque libere (Tomei *et al.*, 2011). In particolare – tralasciando gli sfagni – fra le crittogame vascolari sono stati individuati diversi relitti di tipo termofilo terziario, microtermo glaciale e atlantico, fra i quali alcuni di notevole interesse, dei quali, a titolo esemplificativo, vengono brevemente illustrate le caratteristiche biologiche e le esigenze climatiche.

Relitti terziari

Aldrovanda vesiculosa L. Osmunda regalis L. Thelyptheris palustris Schott

Aldrovanda vesiculosa L. è una pleustofita flottante (per le forme biologiche si fa riferimento a Tomei et al., 1985) di acque poco profonde, debolmente acide, che possono riscaldarsi – in estate – fino a 30° C (Francini, 1936). Specie subcosmopolita, è distribuita anche nell'Europa centrale e orientale con areale frammentato (Meusel et al., 1965-78). In passato era presente in molte regioni italiane, ma attualmente risulta non riaccertata (Conti et al., 2005); a Sibolla l'ultima segnalazione risale al 1984 (il campione raccolto in quell'occasione, allora in via di fruttificazione e oggi conservato presso l'Herbarium Horti Botanici Pisani, fu disegnato a tratto dalla dott.ssa Lucia Amadei) (Tomei, 1985), successivamente – nonostante le costanti ricerche (Fig. 10) – non è più stata ritrovata.

Osmunda regalis L. è una elofita rara ad ampio areale disgiunto, distribuita in Europa nel settore atlantico, si spinge all'interno del continente solo nei territori a clima umido privi di rilievi montuosi (Bizzarri, 1963); O. regalis L., probabilmente di origine tropicale (Pichi Sermolli, 1970), ha saputo adattarsi a climi freddi ma non continentali né secchi. In Italia il suo areale è molto frammentato ed in Toscana si trova particolarmente diffusa nel settore settentrionale dove, sulle torbiere basse, può formare popolamenti molto estesi; a Sibolla è presente con numerosi individui.

Thelyptheris palustris Schott è un'elofita con areale disgiunto che si estende dall'America settentrionale fino a tutta la regione eurasiatica, ad esclusione dei

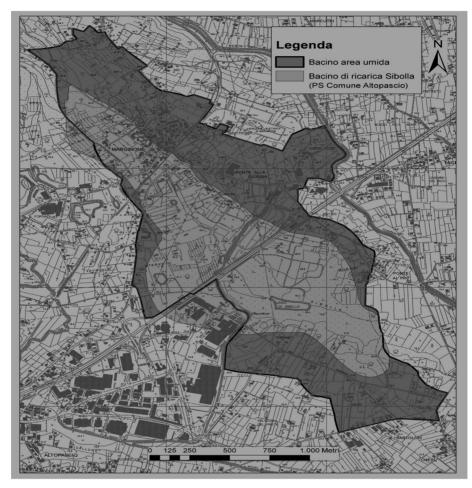


Fig. 8 - Confronto tra il bacino idrografico dell'area umida ed il bacino di ricarica del lago di Sibolla (Piano Strutturale del Comune di Altopascio).

settori più settentrionali (Meusel *et al.*, 1965-78). Il genere è di origine tropicale e verosimilmente si spinse nelle regioni temperate già nel Terziario (Pichi Sermolli, 1970). In Italia la specie è segnalata sia nelle regioni continentali che nella Penisola (Conti *et al.*, 2005), ma sempre come rara (Pignatti, 1982); in Toscana è presente prevalentemente nelle torbiere basse fra cui quella di Sibolla.

Relitti glaciali

Drosera rotundifolia L.
Eriophorum gracile W.D,J. Koch ex Roth
Eriophorum latifolium Hoppe
Menyanthes trifoliata L.
Rynchospora alba (L.) Vahl
Vaccinium oxicoccus L.

Drosera rotundifolia L. è una spongofita acidofila tipica delle torbiere alte (Tomei *et al.*, 2011). Specie circumboreale, è presente in Europa ad esclusione delle regioni più meridionali (Meusel *et al.*, 1965-78). In Italia è distribuita sulle Alpi e sull'Appennino setten-

trionale, fino alla Toscana (Conti *et al.*, 2005). A Sibolla è segnalata a partire dalla prima metà del XIX secolo nelle torbiere a *Sphagum*; gli ultimi ritrovamenti risalgono agli anni Ottanta del secolo scorso, mentre oggi è da ritenersi scomparsa (Lamberti *et al.*, 1993).

Eriophorum gracile W.D,J. Koch ex Roth è un'elofita debolmente acidofila tipica di torbiere basse. Distribuita nell'emisfero settentrionale, in Europa non compare in Portogallo, Spagna e Grecia (Tutin *et al.*, 1964-80). In Italia è segnalata nel Trentino, in Veneto e in Toscana (Conti, 2005), dove aveva le sue stazioni più meridionali; a Sibolla era presente fino alla prima metà del secolo passato (Pichi Sermolli, 1936) ma ora è da ritenersi scomparsa.

Eriophorum latifolium Hoppe è un'elofita debolmente acidofila tipica di torbiere basse. Specie circumboreale, si ritrova in quasi tutta l'Europa ma è sporadica nel settore meridionale (Meusel *et al.*, 1965-78). In Italia è distribuita nelle regioni settentrionali e sull'Appennino fino all'Abruzzo (Conti, 2005). In Toscana questa

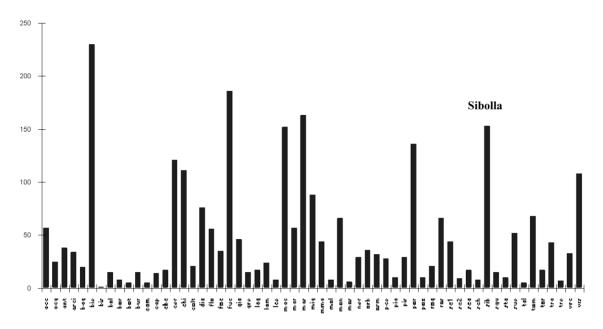


Fig. 9 - Istogramma relativo al numero di specie vegetali nelle zone umide della Toscana.

Legenda: ACC = Lago dell'Accesa (GR) - ACQ = Lago Acquato (GR) - ANT = Laghi di S. Antonio (SI) - ASC = Paludi di Asciano (PI) - BIE = Padule di Bientina (LU-PI) - BUR = Lago di Burano (GR) - CAP = Lago di Capalbio (GR) - CBC = Lago di Capalbiaccio (GR) - CER = Vallini umidi delle Cerbaie (FI) - CHI = Lago di Chiusi (SI) - COL = Paludi di Coltano (PI) - DIA = Palude della Diaccia Botrona (GR) - FLO = Lago di San Floriano (GR) - FOC = Palude di Fociomboli (LU) - FUC = Padule di Fucecchio (PT-FI) - GIA = Giardo (LU) - GRE = Lago Greppo (PT) - LAG = Lagaccioli (GR) - LAM = Palude di Lamarossa (LU) - LCE = Lago Lungo di Cerreto (MS) - MAC = Paludi costiere della Macchia di Migliarino (PI) - MAR = Lago del Marruchetone (GR) - MAS = Lago di Massaciuccoli (LU-PI) - MAC = Paludi costiere della Macchia di Migliarino (PI) - MMA = Paludi di Massa Macinaia (LU) - MON = Lago di Montepulciano (SI) - MOS = Torbiere di Foce di Mosceta (LU) - NER = Lago Nero (PT) - ORB = Laguna di Orbetello (GR) - OSM = Paludi dell'Osmannoro (FI) - PAD = Lago Paduli (MS) - PCE = Lago Padule di Cerreto (MS) - PIS = Sfagnete dei Montir Pisani (PI-LU) - POR = Lago di Porta (LU-MS) - ROS = Paludi costiere della Macchia di S. Rossore (PI) - SCA = Padule di Scarlino (GR) - SCU = Lago Scuro (GR) - SIB = Lago di Sibolla (LU) - SQU = Lago Squincio (MS) - STA = Lo Stagnone (LI) - SUE = Palude di Suese (LI) - TOM = Paludi del Tombolo (PI) - TRA = Paludi della Trappola (GR) - TRE = Palude dell' Alpe delle Tre Potenze (LU) - VRC = Paludi di Verciano (LU) - VRS = Zone umide della Versiliana (LU)

specie, a partire dal XIX secolo, era segnalata anche in pianura nella palude di Bientina ed a Sibolla ma attualmente è ovunque scomparsa (Pichi Sermolli, 1936).

Menyanthes trifoliata L. è una elofita indifferente al pH (Francini, 1936) ma la si rinviene più frequentemente su substrati a pH acido; cresce su torbiere alte, basse o intermedie. Specie circumboreale, è presente nella maggior parte dell'Europa ma rara nella regione mediterranea (Meusel et al., 1965-78). In Italia è distribuita nelle regioni settentrionali e lungo l'Appennino, in maniera discontinua, fino alla Calabria (Conti 2005); rarissima in pianura. A Sibolla è frequente con ricchi popolamenti sulla torbiera a Sphagum.

Rynchospora alba (L.) Vahl è un'elofita moderatamente acidofila presente sia nelle torbiere basse che alte. Specie circumboreale (Meusel *et al.*, 1965-78); è presente nella maggior parte dell'Europa eccetto la regione mediterranea ed il sud-est del continente (Tutin, 1964-80). In Italia è segnalata al nord dal Veneto alla Liguria (Conti, 2005); in Toscana è ricordata solo per le torbiere collinari o planiziali; in particolare *R. alba* è stata ritrovata a Massaciuccoli, alla torbiera della Piaggina di

S. Lorenzo a Vaccoli (lato nord-occidentale del Monte Pisano) ed a Sibolla dove era presente fino alla prima metà del secolo passato (Francini, 1936), mentre non si conoscono reperti attuali ma il suo habitus elusivo ne rende difficoltoso il ritrovamento.

Vaccinium oxicoccus L. è una spongofita acidofila tipica delle torbiere alte. Specie circumboreale, in Europa è presente nelle regioni centrali e settentrionali (Meusel et al., 1965-78). În Italia è segnalata per il Trentino, Lombardia, e Veneto (Conti, 2005); nel XIX secolo anche in Toscana nella palude di Bientina. A proposito della sua presenza a Sibolla non esistono documenti scritti o d'erbario che ne diano conferma ma Fantozzi riferisce che a Sibolla, come a Bientina, gli abitanti del luogo erano soliti preparare un liquore con i frutti di questa pianta (Francini, 1936). La specie non è presente a Sibolla e risulta scomparsa da Bientina già a partire della fine del XIX secolo. Mentre a Bientina, per le trasformazioni ambientali verificatesi dopo la bonifica della palude, V. oxicoccus non troverebbe più le condizioni per vegetare, a Sibolla si stima che tutt'ora l'essenza potrebbe prosperare.

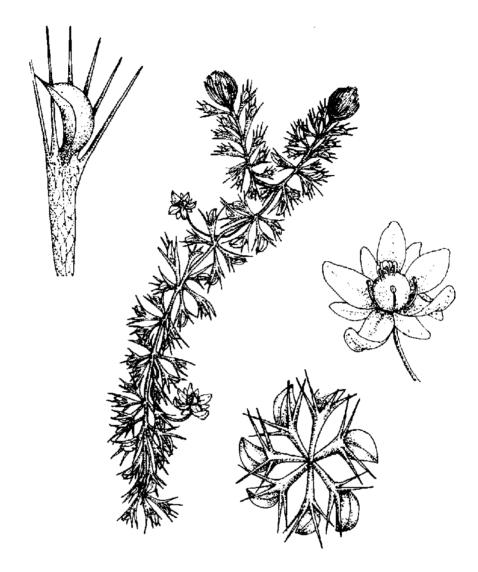


Fig. 10 - Aldrovanda vesciculosa L. (disegno di L. Amadei).

Relitti atlantici

Anagallis tenella (L.) L. Drosera intermedia Hayne Rhynchospora fusca (L.) W.T. Aiton

Anagallis tenella (L.) L. è una spongofita moderatamente acidofila ma che può vivere anche su subitati a maggior acidità, tipica di torbiere basse o intermedie si può trovare parimenti su pareti stillicidiose o prati umidi. Specie anfiatlantica, in Europa è prevalentemente distribuita nel settore occidentale, pur presentando stazioni isolate nelle regioni centrali, in Grecia ed a Creta (Tutin et al., 1964-80). In Italia A. tenella è presente nelle regioni settentrionali (Piemonte, Lombardia, Veneto e Friuli) (Conte et al., 2005), in Toscana ed in Sardegna. In Toscana la specie è rara e oggi si ritrova

sulle Alpi Apuane, a San Rossore ed a Massaciuccoli; a Sibolla era presente sino agli anni Ottanta del secolo scorso ma in questi ultimi anni non è più stata ritrovata.

Drosera intermedia Hayne è un'elofita moderatamente acidofila (pH 5,0-6,5) tipica di torbiere basse intermedie (Tomei et al., 2011). Specie anfiatlantica, in Europa è presente nei settori occidentali delle regioni centrali e settentrionali (Meusel et al., 1965-78). In Italia si ritrova nel settore occidentale (Conti et al., 2005) e in Toscana, nelle torbiere a Sphagum collinari e montane (Tomei et al., 2011). In pianura era nota solo per Sibolla, dove fu rinvenuta già all'inizio dell'Ottocento e quivi è rimasta fino agli anni Settanta del secolo scorso (Tomei et al., 2011), ma attualmente è da ritenersi scomparsa.

Rhynchospora fusca (L.) W.T. Aiton è un'elofita di torbiera bassa moderatamente acidofila. Specie anfiatlantica, in Europa si ritrova nelle regioni occidentali e settentrionali ad eccezione dell'estremo nord; rarissima nei paesi mediterranei (Meusel et al., 1965-78). In Italia è indicata per le regioni settentrionali, in Toscana e – con stazioni puntiformi – anche in Campania, dove però non è più stata ritrovata (Conti et al., 2005). A Sibolla è nota fin dal XIX secolo, mentre le ultime segnalazioni sono riferibili alla seconda metà del XX; non si conoscono reperti attuali ma il suo habitus elusivo, come nel caso di R. fusca, ne rende difficoltoso il ritrovamento.

Oltre a queste specie relitte di particolare significato fitogeografico ne sono state segnalate numerose altre, oggi rare od oggetto di protezione a livello regionale o nazionale; ricordiamo, ad esempio: *Baldellia ranubculoides* (L.) Parl., *Carex stellulata* Good, *Hottonia palustris* L., *Ludwigia palustris* (L.) Elliott, *Oenanthe acquatica* (L.) Poiret, *Utricularia australis* R. Br.

Delle entità vegetali di maggiore significato relittuale – come abbiamo osservato – diverse non sono oggi presenti a Sibolla, a causa di una serie complessa di fattori tutti di origine antropica, in particolare da riferirsi all'abbandono delle pratiche agricole tradizionali e all'inquinamento delle acque. Nonostante la forte pressione antropica si ritiene tuttavia che fino ad oggi l'area umida del Sibolla conservi la potenzialità ambientale ed ecologica che renderebbero possibile la vita di tali essenze. Del resto, gli interventi di restauro del biotopo, effettuati durante questi ultimi anni dalla Provincia di Lucca, hanno già in parte consentito la ricostituzione delle comunità a *Carex elata* All., a dimostrazione della buona resilienza dell'ecosistema.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'analisi climatica, condotta sulla base dei dati di stazioni che si trovano a varie distanze dall'area in studio, può essere considerata accettabile per la definizione del mesoclima dell'area planiziale a nord dell'Arno, compresa tra il Monte Pisano, le Cerbaie, il Monte Albano e i primi contrafforti dell'Appennino, ma quasi nessuna informazione è disponibile sui microclimi che caratterizzano il Lago di Sibolla e le torbiere contermini. Da altre ricerche riguardanti la sfagneta di S. Lorenzo a Vaccoli (Tomei et al., 1985) e gli aggallati del Lago di Massaciuccoli (Rapetti et al., 1987), risulta che nei siti umidi della Toscana settentrionale insistono condizioni microclimatiche spiccatamente conservative per specie vegetali con esigenze climatiche molto differenziate, dalle microtermiche alle termofile. Tale potenzialità conservativa deve essere messa in relazione ai processi fisici e biochimici che si sviluppano nelle sfagnete e nelle torbiere. Il microclima termico in tali biotopi risulta da una complessa combinazione energetica tra radiazione solare, calori latenti di evaporazione/condensazione e processi biochimici derivanti dalla degradazione anaerobica della materia organica; l'effetto risultante consiste nel controllo sul microclima termico, con la mitigazione sia delle sia delle basse sia delle alte temperature.

Nel Lago di Massaciuccoli la temperatura della superficie degli sfagni ospitati sugli «aggallati» si mantiene su valori positivi anche durante episodi di gelo straordinario, quando la superficie dello specchio liquido è ghiacciata. Alla Piaggetta, sopra un «aggallato» sito nell'apice nord orientale del Lago di Massaciuccoli, nel gennaio 1985 la temperatura dell'aria fece segnare -12,5° C, mentre alla superficie e all'interno dello sfagno furono registrati rispettivamente 1,0 e 1,5° C (11 gennaio 1985). La mitigazione termica, sebbene meno pronunciata, riguarda anche le alte temperature, poiché nello stesso luogo, rispetto ai 32,0°C dell'agosto 1985 (valore diurno massimo assoluto mensile) corrisposero rispettivamente 21,0 e 20,5° C alla superficie e all'interno dello sfagno (Rapetti *et al.*, 1987).

L'elevato valore naturalistico del sito del Sibolla è legato alla permanenza di specie relitte di grande interesse epiontologico, poiché esse rappresentano le stazioni più meridionali dell'Europa mediterranea. Dall'indagine emerge la necessità che, per la migliore salvaguardia dell'area, si adottino interventi per il monitoraggio di alcuni parametri idro-climatici, soprattutto nel corso dell'estate, quando la piovosità raggiunge i valori più bassi e l'evapotraspirazione ha i livelli più elevati, fino a determinarsi crisi idriche pericolose per l'equilibrio dell'area umida, come accaduto, ad esempio, nell'estate 2003. I dati strumentali relativi al microclima e all'idrologia del Sibolla potrebbero servire inoltre da supporto per una ricerca sui già citati siti della Toscana settentrionale dove insiste una flora palustre relitta simile a quella presente nel Sibolla.

Considerato poi che nel Sibolla alcune flore relitte non sono più state segnalate da molti anni, e che invece in gran parte permangono nel Lago di Massaciuccoli, l'analisi comparativa delle condizioni microclimatiche ed ecologiche nei biotopi ricordati potrebbe fornire indicazioni circa l'opportunità di una loro reintroduzione al Sibolla, come negli altri siti umidi.

Si sono potute evidenziare alcune discrepanze tra l'area umida e il bacino di ricarica del Lago di Sibolla individuato nel Piano Strutturale del Comune di Altopascio (Bini, Rapetti, 2009). In particolare il bacino dell'area umida risulta assai più esteso di quello rappresentato nella cartografia comunale, soprattutto nel settore sud-occidentale. Ouesto potrebbe indicare la necessità, per una migliore salvaguardia dell'ambiente, di un allargamento dei vincoli di tutela previsti per il bacino s.s. La presenza di un'area industriale contigua all'area umida pone inoltre il problema della conoscenza approfondita della circolazione idrica superficiale, ipodermica e sotterranea, per mettere in atto le azioni di bonifica per la tutela del sito. Considerato che i biotopi di ambiente umido planiziale presenti nella Toscana settentrionale costituiscono siti dove convivono specie con diverse esigenze ecologiche e di differente provenienza (microtermiche, termofile, atlantiche), in equilibrio con le attuali condizioni dell'ambiente, si ritiene di indicare l'area palustre del Sibolla come un potenziale laboratorio permanente per il controllo di questo ecosistema di estremo interesse scientifico e culturale.

BIBLIOGRAFIA

- Barsanti P., Sani P., 2007. Norme tecniche Piano Strutturale comune di Altopascio (adottato, in corso di approvazione).
- Bartolini Č., Bernini M., Carloni C.G., 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.,1982. Carta Neotettonica dell'Appennino Settentrionale. Note illustrative. *Boll. Soc. Geol. It.* 101: 523-549.
- Bini M., Rapetti F., 2009. Individuazione del bacino di ricarica del Lago di Sibolla nel Comune di Altopascio (Relazione geografica e climatica). Convenzione tra il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa e la Provincia di Lucca (Ufficio Aree Protette: d.d. n° 67, 15 dicembre 2006).
- Bizzarri M.P., 1963. Ricerche geobotaniche su *Osmunda regalis* L. in Liguria. *Webbia* 17: 367-405.
- Chetoni R., 1985. Geologia ed idrogeologia del laghetto di Sibolla. In Studi ed interventi sperimentali per la conservazione del laghetto del Sibolla, a cura del Consorzio di Bonifica del Padule di Fucecchio. Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, Stampa Menegazzo, Lucca: 209-259.
- Chetoni R., 1999. Geologia e Idrogeologia. In: Il padule di Fucecchio e il laghetto di Sibolla Natura e Storia, a cura di Dani F.R., Editori dell'Acero, Ghezzano, Pisa.
- Conti F., Abbate G., Alessandrini A., Blasi C., 2005. An annotated Checklist of the Italian Vascular Flora. Palombi Editore. Roma.
- Federici P.R., 1987. Il territorio del Bientina: dalla geologia alla storia. In: Il padule di Bientina aspetti naturalisti e agronomici. Ed. Pacini, Pisa: 27-54.
- Francini E., 1936. La vegetazione del laghetto di Sibolla (Valdarno Inferiore). *Giorn. Bot. Ilal.* 43: 63-131.
- Galliani L.P., Pergola V., 1994. Il clima della Valle del Pescia. Ist. Tec. Agr. Statale «D. Anzilotti» di Pescia. Stamp. Benedetti, Pescia: 1-81.
- Lamberti D., Raffaelli M., Fiorini G., 1993. Il lago di Sibolla in Toscana. Stato attuale del biotopo e indagini sulla sfagneta. *Infor*matore Botanico Italiano 25: 177-188.
- Meusel H., Jager E., Weinert E., 1965-1978. Vergleichende chorologie der zentraleuropaischen flora. Veb. Gustav Fischer, Verlag, Jena
- Ministero LL. PP. (Servizio Idrografico e Mareografico di Pisa) (anni vari). Annali Idrologici, Parte I^a, Istituto Poligrafico dello Stato, Roma.
- Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste 1980. Progetto pilota per la salvaguardia e la valorizzazione del padule di Fucecchio. A cura del Consorzio di Bonifica del Padule di Fucecchio. Arti Grafiche Giorgi & Gambi. Firenze.
- Gazzolo T., Pinna M., 1969. La distribuzione della temperatura in Italia nel trentennio 1926-1955. In: Min. LL. PP., Servizio Idrografico, Pubbl. n. 21, II Ed., Fasc. IV.
- Pichi Sermolli R.E.G., 1936. Gli *Eriophorum* del laghetto di Sibolla. *Giorn. Bot. Ital.* 43: 244-248.
- Pichi Sermolli R.E.G., 1970. Aspetti sulla costituzione e genesi della flora pteridologica delle Alpi Apuane. Lavori della Società italiana di Biogeografia (Biogeographia), 1: 88-126.

- Pignatti S., 1982. Flora d'Italia, 1-2-3. Edagricole, Bologna.
- Righetti G., Cornieri E., 1985. Idrologia del laghetto di Sibolla, in Studi ed interventi sperimentali per la conservazione del laghetto del Sibolla (A cura del consorzio di bonifica del Padule di Fucecchio). Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, Stampa Menegazzo, Lucca.
- Rapetti F., Tomei P.E., Vittorini S., 1986. Aspetti climatici del lago di Massaciuccoli in rapporto alla presenza di entità vegetali di rilevanza fitogeografica. Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem., Serie A 93: 221-233.
- Rapetti F., Vittorini S., 1986. L'episodio di gelo del gennaio 1985 in Toscana con particolare riguardo alla bassa valle dell'Arno. *Riv. Geogr. Ital.* 93: 437-447.
- Rapetti F., Vittorini S., 1992. Gli estremi termici in Toscana. *Riv. Geogr. Ital.*, 99: 415-441.
- Rapetti F., Vittorini S., 1994. Carta climatica della Toscana Centro-Settentrionale - Scala 1: 250000. Pacini, Pisa.
- Rapetti F., 2000. Radiazione solare globale e radiazione ultravioletta in alcune stazioni dell'area di Firenze. Riv. di Meteor. Aeron. 60, 1-2: 37-53.
- Rapetti F., 2000. Considerazioni sui caratteri climatici del Monte Pisano. In: I Monti Pisani il ruolo delle ANPIL per la conservazione e la valorizzazione del territorio. E. Fantoni, R. Narducci (a cura di). Comune di S. Giuliano: 7-13.
- Rapetti F., 2006. Andamento del bilancio idrico-climatico a Lucca (Toscana) dal 1951 al 2003. Vol.: Scritti per Alberto Di Blasi. Pàtron Editore: 1329-1338.
- Thornthwaite C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. The Geogr. Review.
- Thornthwaite C.W., Mather J.R., 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publications in Climatology, Centerton, New Jersey, 1957, 10 (3).
- Tomei P.E., 1985. La flora e la vegetazione del laghetto di Sibolla, in Studi ed interventi sperimentali per la conservazione del laghetto del Sibolla, a cura del consorzio di Bonifica del Padule di Fucecchio. Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, Stampa Menegazzo, Lucca: 151-177.
- Tomei P.E., Longonbardo G., Lippi A., 1985. Specie vegetali igrofile delle zone dulciaquicole della Toscana planiziale: aspetti floristici e bioecologici. Pacini Editore. Pisa.
- Tomei P.E., Rapetti F., Ficini G., 1985. Indagini sulle zone umide della Toscana. XX. Le sfagnete di San Lorenzo a Vaccoli nel Monte Pisano (Toscana nord-occidentale). Aspetti microclimatici. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Serie B* 91: 221-232.
- Tomei P.E., Guazzi E., Fruzzetti M. R., 2011. Le torbiere a *Sphagum* della Toscana. *Accademia Lucchese di Scienze, Lettere e Arti. Saggi e Ricerche* 23: in stampa.
- Tutin T.G., 1964-1980. Flora europea. 1-5. University Press, Cambridge.
- Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa, s.d. Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica, Vigo Cursi, Pisa.