

FEDERICA FRICANO(\*) - ULDERICO NERI(\*) - PATRIZIA SCANDELLA(\*)  
NICOLÒ DI BLASI(\*) - GIROLAMO MECELLA(\*)

## **Studio del sistema di alimentazione di invasi naturali in un particolare ambiente umido costiero mediterraneo (\*\*)**

**Abstract.** - *Study of the recharge of natural ponds in a particular Mediterranean coastal damp environment.* In the present paper, we define a complex environmental system, through the application of the multivariate statistic technics. In particular, the small natural damps which characterise the superficial hydric assessment of Castelporziano have been objective of this study. Throughout the use of simple chemical variables derived from the Castelporziano pond water analysis, a simple bidimensional statistic model has been individuated. This model resumes the complexity of the above mentioned system. It has been observed that the pond recharge, which normally can not be quantified, in the framework of the considered model undertake a mathematical significance.

### 1. INTRODUZIONE

Gli studi delle aree a elevata valenza naturalistica, ai fini di una gestione mirata alla loro salvaguardia, rivestono attualmente notevole interesse.

In tale ambito si collocano le presenti ricerche, volte alla comprensione del funzionamento di un particolare sistema umido naturale, caratterizzato dalla presenza di piccoli bacini d'acqua, la cui conformazione e distribuzione è tipica dell'ambiente umido costiero dell'Italia Centrale. Si tratta di un ambiente ricco di forme vegetali ed animali, di cui rimangono nell'area laziale rari esempi, relitti della grande macchia mediterranea che una volta ricopriva l'intero litorale tirrenico.

Lo studio è volto alla comprensione dei fenomeni che regolano l'origine ed il mantenimento dell'acqua in questi bacini, la cui esistenza è fondamentale per la conservazione del paesaggio e delle diverse specie viventi.

(\*) Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante, Via della Navicella 2-4, 00184 Roma.

(\*\*) Il lavoro è da attribuirsi in parti uguali agli Autori. Memoria presentata da Gian Tommaso Scarascia Mugnozza, Presidente dell'Accademia Nazionale delle Scienze, detta dei XL.

L'area oggetto dello studio è la Tenuta Presidenziale di Castelporziano, il cui ambiente idrico superficiale è caratterizzato proprio dalla presenza di questi piccoli bacini d'acqua, denominati piscine, piccoli invasi chiusi, privi di affluenti e defluenti, con vegetazione tipica degli ambienti palustri e circondati da essenze ad alto fusto.

L'esistenza di tali invasi, come tutti gli altri aspetti idrici della Tenuta, è fortemente influenzata dalle caratteristiche idrogeologiche delle formazioni presenti nell'area. Gli aspetti sedimentari di queste ultime sono il risultato del contesto paleogeografico del sistema costiero dell'Italia Centrale nel quale l'area di Castelporziano rientra: una piana costiera caratterizzata dalla presenza di corsi d'acqua effimeri, che costituivano un reticolo fluviale a canali intrecciati dove si risentiva l'azione eolica, delimitata verso mare da cordoni dunali, che, impedendo il deflusso delle acque, hanno determinato la formazione di aree paludose (Arnoldus *et al.*, 1991; Gisotti e Collamarini, 1982). Dal punto di vista stratigrafico tale situazione ha determinato la deposizione ciclica di serie sabbiose ed argillose, la cui dinamica sedimentaria è legata all'ambiente deposizionale descritto. In talune zone topograficamente più depresse proprio la presenza di lenti argillose nel substrato pedologico delle piscine assicura la permanenza di acqua piovana per tempi più o meno lunghi, determinando così la loro formazione.

A seguito delle osservazioni e delle indagini eseguite di tipo geologico, pedologico, morfologico ed ambientale, si è formulata l'ipotesi di una duplice natura degli invasi presenti nella Tenuta e quindi della presenza di due tipi di alimentazione (Amendola *et al.*, 1996; Fricano *et al.*, 1996).

Per organizzare i dati analitici ottenuti si è applicata l'analisi statistica multivariata ai risultati analitici delle acque degli invasi stessi (Sadocchi, 1993). In particolare i componenti esaminati sono quelli più indicati a definire i rapporti acqua-suolo e ad evidenziare l'influenza che le caratteristiche idropedologiche delle formazioni presenti nell'area, unitamente a quelle geologiche ed ambientali in genere, determinano sull'esistenza di tali bacini.

## 2. MATERIALI E METODI

Lo studio è stato condotto attraverso il prelievo mensile di campioni d'acqua significativi nell'arco di tempo che va da Febbraio 1996 a Dicembre 1996 su 20 piscine distribuite in tutta l'area della Tenuta (fig. 1). Su ogni piscina, mediante cucchiaino campionatore, è stato effettuato, il prelievo in 10 siti (perimetro e centro piscina) di campioni di acqua, che, miscelati, hanno costituito il campione medio di 1 litro per piscina da sottoporre ad analisi.

I campioni d'acqua prelevati, filtrati, sono stati sottoposti alle analisi chimiche secondo i metodi ufficiali (CNR, 1994). In particolare si sono determinati il pH, l'EC<sub>w</sub>, la concentrazione di Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>++</sup>, B<sup>-</sup>, SiO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, N<sub>tot</sub>, P<sub>tot</sub> e P<sub>amm</sub>.



Fig. 1. Ubicazione delle piscine nell'area in studio.

I dati raccolti per piscina sono stati sottoposti ad analisi statistica multivariata avvalendosi del Programma SPSS (Norusis, 1994). Nell'elaborazione è stata trascurata la variabile temporale non ritenuta rappresentativa, in quanto condizionata dalla variazione dei livelli idrici per effetto dell'elevata evapotraspirazione estiva (Mecella *et al.*, 1995). Infatti le uniche variazioni temporali non casuali nei valori degli elementi misurati sono state registrate nel naturale incremento del contenuto salino a seguito della concentrazione causata dall'evapotraspirazione estiva delle piscine. Poiché tale fenomeno si verifica parallelamente nelle due tipologie di piscine individuate, esso non andava a costituire un elemento caratterizzante l'una o l'altra tipologia. Le oscillazioni stagionali delle variabili interessate a questo fenomeno non pesavano ai fini della classificazione delle piscine, come dimostrano i valori medi annuali e le rispettive deviazioni standard (tab. I). In tal senso quindi si è ritenuto possibile utilizzare i valori medi annui di tutte le variabili in studio.



Le relazioni tra le variabili chimiche considerate sono sintetizzate nella *Factor analysis*, che utilizza come metodo di estrazione dei fattori le componenti principali (PCA). La *Factor analysis* è impiegata per studiare le correlazioni tra variabili quantitative, al fine di associare le variabili stesse nell'ambito di pochi fattori, che costituiscono l'espressione di fenomeni naturali di per sé non misurabili, i quali vanno a modificare i valori delle variabili.

La definizione dei gruppi di piscine omogenee è stata eseguita mediante una *Hierarchical Cluster Analysis (HCA)*, procedura di statistica multivariata, che permette il raggruppamento di oggetti caratterizzati da una o più serie di variabili. Gli oggetti, nel nostro caso le piscine, vengono classificati in funzione della distanza euclidea nell'iperspazio, definito da un sistema di  $q$  assi cartesiani, essendo  $q$  il numero di variabili rilevate su ogni oggetto. La formazione dei gruppi utilizzata nel lavoro è basata sul metodo di combinazione delle classi del legame completo, che calcola la distanza tra due classi come la distanza tra i loro due punti più lontani. Al fine di rendere confrontabili le variabili espresse in unità di misura diverse, si è proceduto alla loro trasformazione lineare (standardizzazione punteggi  $Z$ ) (Sadocchi, 1993).

### 3. RISULTATI E DISCUSSIONE

I risultati ottenuti dall'analisi fattoriale sono rappresentati nella tabella II, nella quale viene riportata la percentuale di varianza spiegata da ogni fattore estratto ed il relativo autovalore.

Essendo statisticamente significativo solo il fattore che gode di un autovalore maggiore di uno, in quanto raccoglie una varianza maggiore rispetto alla variabile originaria standardizzata, si definisce come modello utile e sufficiente a spiegare la covarianza totale del sistema analizzato quello che comprende i primi quattro fattori, che in effetti già spiegano 87.8% della varianza totale.

Nella tabella III viene riportata la matrice dei pesi fattoriali relativa ai primi quattro fattori, che fornisce indicazioni sulla correlazione tra le variabili originarie ed i fattori stessi. Da questa è possibile notare che non tutte le variabili sono altamente correlate con i quattro fattori estratti. In effetti se si considera un valore soglia del  $\pm 0.75$  è possibile estrarre quelle variabili il cui peso fattoriale risulta altamente significativo. Questo permette di ridurre il modello considerato ai primi due fattori che, pur riassumendo una percentuale di variabilità del sistema di 67.6% minore rispetto al precedente modello a quattro fattori, presenta il vantaggio di ridurre il sistema in due dimensioni. Tale considerazione non risulta limitante ai fini dello studio, che si propone la comprensione della covarianza delle caratteristiche delle acque, piuttosto che la formulazione di un modello.

Dalla rappresentazione grafica di questi risultati (fig. 2) sul piano individuato dal primo fattore si può osservare come questo riassume abbastanza chia-

Tab. II - Riassunto statistico iniziale dell'analisi fattoriale.

Fattore	Autovalore	PCT. della var.	PCT. cumulativa
1	9.02700	50.2	50.2
2	3.14319	17.5	67.6
3	2.11865	11.8	79.4
4	1.52344	8.5	87.8
5	0.67499	3.7	91.6
6	0.57023	3.2	94.8
7	0.27318	1.5	96.3
8	0.25353	1.4	97.7
9	0.15732	0.9	98.6
10	0.10020	0.6	99.1
11	0.06795	0.4	99.5
12	0.05112	0.3	99.8
13	0.02362	0.1	99.9
14	0.01158	0.1	100.0
15	0.00251	0.0	100.0
16	0.00112	0.0	100.0
17	0.00030	0.0	100.0
18	0.00005	0.0	100.0

Tab. III - Matrice dei pesi fattoriali.

	Fattore 1	Fattore 2	Fattore 3	Fattore 4
B	-0.46050	0.67840	0.14005	-0.42289
Ca	<b>0.90565</b>	0.04601	0.31326	0.00882
Cl	<b>0.93127</b>	0.07720	0.31496	-0.04129
ECw	<b>0.96436</b>	0.05767	0.22258	0.00005
Fe	-0.58642	0.47755	0.33405	-0.19948
HC	<b>0.97429</b>	0.10498	0.06273	0.05815
K	-0.35165	0.08885	0.58638	0.64663
Mg	<b>0.94259</b>	0.08535	0.21197	-0.06829
Mn	0.16068	0.57576	0.71511	0.06262
Na	<b>0.90594</b>	0.06756	-0.00855	-0.01781
NH <sub>4</sub>	-0.74197	-0.00733	0.21870	0.37532
NO <sub>2</sub>	0.18289	<b>0.78816</b>	-0.52792	0.00097
NO <sub>3</sub>	-0.40071	<b>0.82654</b>	0.16483	-0.08093
Ntot	-0.63729	0.56509	0.23300	0.21914
pH	<b>0.88592</b>	0.24912	-0.03538	0.19921
Ppar	0.36743	0.48461	-0.04808	0.68383
Psol	0.21025	0.35059	0.64692	-0.41215
SiO <sub>2</sub>	<b>0.96484</b>	0.19409	-0.07972	0.00444

Fattore 2

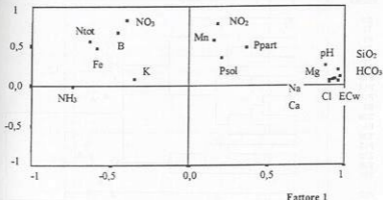


Fig. 2. Grafico dei primi due fattori.

ramente la variabilità dei cationi maggiormente rappresentati nelle acque, del pH, della conducibilità, del bicarbonato e della silice; il secondo fattore invece raccoglie una percentuale della varianza molto più bassa, principalmente legata ai composti azotati.

Si deduce quindi una marcata separazione tra il peso che hanno nell'informazione i gruppi di componenti chimici. In effetti tra tutte le variabili considerate quelle relative al contenuto salino, al pH e alla matrice litologica, legate al primo fattore, risultano discriminanti nella definizione delle caratteristiche delle acque delle piscine.

Per raggruppare le piscine in funzione delle caratteristiche comuni, la matrice delle concentrazioni medie degli elementi chimici è stata sottoposta anche alla *Hierarchical Cluster Analysis*, adottando come misura di somiglianza per la classificazione la distanza euclidea  $e$ , come algoritmo, il legame completo.

Dal dendrogramma ottenuto dalla Cluster analysis (fig. 3), è possibile individuare due raggruppamenti principali di piscine: il primo (A) è costituito da quegli invasi per i quali si riconosce un'alimentazione di origine esclusivamente meteorica; il secondo (B) dalle piscine nelle quali l'alimentazione è supportata dalla presenza di una falda superficiale. L'affioramento di tale corpo idrico nelle zone topograficamente più depresse è determinante quindi per la loro formazione. Nell'ambito del gruppo A è possibile individuare due ulteriori raggrup-

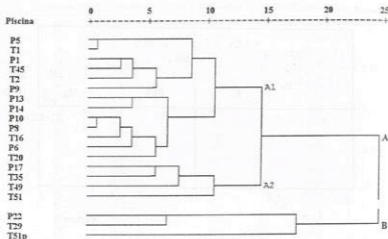


Fig. 3. Classificazione delle piscine in funzione delle analisi chimiche delle acque.

pamenti, che separano le piscine della fascia centro-settentrionale della Tenuta (A1), da quelle site nella zona centro-meridionale (A2). Tale separazione geografica è presumibilmente legata da una parte alle differenti caratteristiche sedimentologiche del substrato, derivanti da differenti apporti nella matrice litologica di materiale proveniente dall'alterazione dei depositi vulcanici affioranti nell'area settentrionale della Tenuta; dall'altra è imputabile alla differente influenza dell'apporto di aerosol marino proveniente dalla zona costiera.

Se si adotta una differente classificazione delle piscine, che, invece della matrice delle variabili originali, utilizzi le prime due componenti principali estratte dal modello, è possibile sottolineare la capacità discriminante di queste ultime. Il risultato che si ottiene riprende quello del dendrogramma di figura 3, in quanto si individuano ancora i due principali raggruppamenti di piscine (A e B). Il grafico delle componenti (fig. 4) conferma, dunque che tale suddivisione dipende essenzialmente dalla prima componente, che può essere effettivamente associata al fattore alimentazione. La seconda componente, che opera una suddivisione nell'ambito dello stesso gruppo A, può essere associata alla più o meno elevata incidenza dei composti azotati, dipendenti dalle differenti caratteristiche biologiche di ciascuna piscina.



Componente P. 2

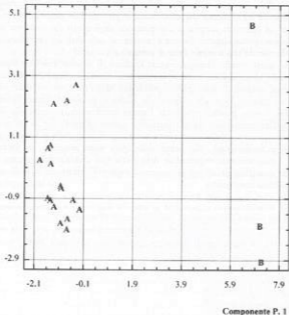


Fig. 4. Grafico delle componenti.

#### 4. CONCLUSIONI

Lo studio statistico multivariato dei dati relativi alle analisi chimiche delle acque delle piscine considerate ha permesso di caratterizzare un sistema naturale complesso attraverso i parametri chimici considerati. È stato così possibile individuare quei gruppi di variabili chimiche indispensabili a definire il sistema e confermare le ipotesi formulate sulle modalità di alimentazione di tali invasi.

Il modello bidimensionale ottenuto ha permesso quindi di ipotizzare una struttura di associazione tra variabili originali e cause comuni di variabilità, ricercate ed individuate tramite l'analisi fattoriale. L'elevata correlazione individuata tra il gruppo di variabili chimiche sopracitate ed il primo fattore rende que-

st'ultimo fortemente discriminante ai fini di una classificazione delle piscine stesse, e gli fa assumere il significato di nuova variabile, non quantificabile, ma associabile ad un elemento che caratterizza le piscine. Tale elemento viene riconosciuto nel differente sistema di alimentazione degli invasi che vede per taluni, come input, esclusivamente l'apporto meteorico, per altri un contributo della falda superficiale che sostiene l'acqua meteorica.

Con questo studio, dunque, tramite l'utilizzo di variabili chimiche legate ad analisi delle acque è stato possibile interpretare aspetti peculiari dell'esistenza di un sistema complesso, quale quello considerato, al di là della sua semplice caratterizzazione chimica. Passando attraverso lo studio di parametri chimici facilmente misurabili è stato possibile, mediante l'analisi multivariata, giungere alla definizione dell'interconnessione tra tali variabili e quindi all'estrazione di un modello statistico riassuntivo della covariazione osservata. Tale modello è basato su due dimensioni fondamentali, alla prima delle quali viene associato un parametro nuovo, l'alimentazione, responsabile della variabilità chimica delle acque. Essa, pur non quantificabile di per sé, assume quindi nell'ambito del modello stesso un significato matematico.

#### *Ringraziamenti*

Gli Autori esprimono la loro gratitudine al Prof. G.T. Scarascia Mugnozza ed al Prof. P. Sequi per la lettura critica del testo. Ringraziano inoltre il Dott. A. Demichelis, Direttore della Tenuta, e l'Ing. A. Tinelli per l'accoglienza e la disponibilità che hanno consentito lo svolgimento delle ricerche ed il personale della Tenuta per l'assistenza fornita durante i rilevamenti.

BIBLIOGRAFIA

- AMENDOLA G., FRICANO F., LAUCIANI R., SCANDIELLA P., 1996. *Le acque delle «piccine»*. Seminario tematico G.D.L. Idrogeologia. Progetto di monitoraggio ambientale della Tenuta di Castelporziano. Roma.
- ARNOLDUS A., ANSELMI B., CATALANO F., MILI S., ZARLENGA F., 1991. *Analisi Paleoclimatologica dei depositi (Duna rossa) contenenti Industria Musteriana e affioranti nell'Area di Castelporziano - Pomezia (Roma)*. ENEA Comitato Nazionale per la Ricerca e lo Sviluppo dell'Energia Nucleare e delle Energie Alternative - Area energia, ambiente e salute.
- FRICANO F., CINNAMO D., PALLEZZI R., DI BLASI N., MICELLA G., 1996. *Idrogeologia delle «piccine»*. Seminario tematico G.D.L. Idrogeologia. Progetto di monitoraggio ambientale della Tenuta di Castelporziano. Roma.
- GISOTTI G., COLLAMAGNI D., 1982. *Suolo e vegetazione nella Tenuta di Castelporziano*. Genio Rurale, anno XLV, n. 9.
- ISTITUTO DI RICERCA SULLE ACQUE - CNR, 1994. *Metodi analitici per le acque*. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.
- MICELLA G., SCANDIELLA P., MORETTI R., DI BLASI N., 1995. *Monitoraggio della falda - Rilascio climatico e morfologico*. Progetto di Monitoraggio Ambientale della Tenuta di Castelporziano. II Seminario 12 maggio 1995. Ed. Presidenza del Consiglio dei Ministri.
- NOBIS M.J., 1994. *Professional Statistics 6.1*. SPSS Inc.
- SADOKCHI S., 1993. *Manuale di analisi statistica multivariata*. Franco Angeli Ed. Milano.