

ANTICHI INSEDIAMENTI ANTROPICI NELLA LAGUNA DI VENEZIA: ANALISI MULTIVARIATA DI TIPO "FUZZY C-MEANS CLUSTERING"

INTRODUZIONE

Nell'ambito degli studi sulla subsidenza geologica della laguna di Venezia, già affrontata tramite analisi radiometriche su materiali organici (BORTOLAMI *et al.* 1984) e sulla base dei risultati di numerosi sondaggi (ALBEROTANZA *et al.* 1977; FAVERO *et al.* 1980), sono state programmate indagini multidisciplinari rivolte soprattutto ad indagare differenze locali dell'andamento spaziale e temporale del fenomeno in epoca storica.

Accanto alle indagini sedimentologiche e geodetiche si è ritenuto ragionevole utilizzare e mettere a confronto documentazioni storiche, provenienti da speciali ricerche "mirate" nell'immenso patrimonio archivistico veneziano (CANAL, FERSUOCH, ricerca in corso), con gli innumerevoli dati archeologici acquisiti recentemente.

Questi dati archeologici, spesso già correlati a documenti d'archivio, provengono dagli scavi condotti nella laguna di Venezia da Ernesto Canal e dai suoi collaboratori.

Prima di questi scavi, le notizie storiche sugli antichi insediamenti nella laguna di Venezia erano estremamente imprecise e lasciavano adito a varie supposizioni riguardo alla localizzazione dei siti citati nelle cronache. Infatti i documenti più antichi d'archivio, quali compravendite, donazioni, eredità, ecc., non venivano quasi mai corredati da mappe riferite al territorio. Mappe di estesi territori lagunari compaiono soltanto intorno al XV secolo, quando la morfologia lagunare, dopo aver subito notevoli cambiamenti dovuti alla somma di fattori climatici e geologici, ha ormai assunto un assetto simile all'attuale. Fino a poco tempo fa importanti insediamenti lagunari medievali, come Ammiana e Costanziaca, sembravano scomparsi senza lasciare traccia sulle mappe (e sul territorio): la laguna li aveva inghiottiti, come pure i resti romani.

Gli scavi, intrapresi sulla base di pochi riferimenti d'archivio, hanno reso possibile ricostruire l'antica toponomastica e riferirla alle varie epoche storiche (DORIGO 1983). I siti venuti alla luce sono molti, risalgono a varie epoche e giacciono a diverse profondità sotto l'attuale livello medio del mare.

Questi siti, che dovevano essere stati costruiti ad un livello di sicurezza rispetto a quello del mare, si trovano oggi sprofondati a causa sia di un abbassamento reale del bacino lagunare avvenuto per cause geologiche sia di un abbas-

samento fittizio dovuto, in effetti, all'innalzamento eustatico del livello del mare.

Mentre quest'ultimo, pur non essendosi verificato uniformemente nel tempo, ha interessato in egual misura l'intera laguna, la subsidenza geologica invece, dovuta soprattutto al naturale costipamento dei sedimenti fini alluvionali, non è stata uniforme nello spazio. Ciò a causa dei diversi episodi deposizionali e delle diverse caratteristiche dei sedimenti (GATTO, CARBOGNIN 1981). Ne consegue che reperti provenienti da uguali profondità non sempre appartengono alla stessa epoca.

In alcuni casi reperti databili, come monete, ceramiche note, ecc., hanno consentito l'attribuzione dei siti (o livelli) da cui provengono ad una certa età o cultura. Se esistessero datazioni per tutti i siti (o livelli), la determinazione della loro profondità consentirebbe una ricostruzione nel tempo e nello spazio quanto meno dell'andamento degli abbassamenti del suolo.

Poiché invece sicure datazioni non sono possibili, si è adottato, in questo lavoro, un metodo usato soprattutto in archeologia preistorica che consiste nel confronto dei siti sulla base dei relativi reperti con l'intento di stabilire tra essi relazioni di tipo temporale o culturale.

Stabilire queste relazioni equivale a suddividere i siti in gruppi per rassomiglianza di reperti. Formati i gruppi, i riferimenti temporali relativi a pochi siti possono essere estesi agli altri dello stesso gruppo che ne sono sprovvisti. I gruppi saranno tanto più certi quanto più i reperti sulla base dei quali operare il confronto saranno significativi e, per la nostra indagine matematico-statistica, consensi ad una descrizione numerica.

Un reperto che, ovunque diffuso, presenta molteplici forme geometriche caratterizzanti presumibilmente epoche e civiltà diverse è il mattone da costruzione. In questo lavoro abbiamo scelto come parametri, in base ai quali operare il confronto, le dimensioni geometriche dei mattoni nei siti indagati, nell'ipotesi che esista una corrispondenza con specifiche produzioni e quindi con determinate epoche.

Per verificare tale ipotesi è ora in corso un'indagine archivistica volta ad individuare sia la localizzazione delle fornaci di produzione sia le tipologie dei laterizi prodotti nelle varie epoche (CANAL, FERSUOCH ricerca in corso). La scarsa documentazione rende l'indagine alquanto ardua anche se una traccia può essere costituita dalla conoscenza delle unità metriche usate localmente nelle diverse epoche (piede romano, piede bizantino, piede veneto, ecc.) con le quali ragionevolmente dovrebbero essere in relazione le dimensioni dei laterizi stessi.

Un'altra indagine è stata condotta da Lazzarini e collaboratori (FAZIO *et al.* 1982) su di un particolare mattone da costruzione veneziano, l'altinella, per individuarne la provenienza sulla base di parametri chimico-mineralogici. Sono

previste per il 1990 analisi di questo tipo sui vari tipi di laterizi rinvenuti negli scavi lagunari per giungere ad una loro classificazione per tipo di produzione e quindi per epoca storica.

Dalle varie indagini sul mattone da costruzione in corso e previste dovrebbero scaturire nuove possibilità di datazione dei siti archeologici.

La nostra è quindi un'indagine preliminare che intende per ora cercare un semplice approccio per l'applicazione dell'analisi multivariata all'archeologia storica sfruttando peculiarità di immediata acquisizione di un materiale povero e largamente diffuso quale il mattone.

DEFINIZIONE DI "SITO" ARCHEOLOGICO

Per "sito" archeologico qui si intende un luogo in cui è stato rinvenuto materiale antico (generalmente in seguito ad uno scavo) ad un certo livello del terreno ben distinto da altri eventuali livelli da cui provengono altri materiali.

La distinzione tra i livelli in genere è costituita da strati di sabbia o argilla, di detriti o di sedimenti organici.

In molti siti tuttavia non si ha distinzione tra livelli e addirittura materiali più antichi sono mescolati a più recenti, talvolta perché sono stati usati nuovamente come materiali da costruzione in epoche successive. In questo caso si considera come appartenente al sito tutto il complesso di materiali rinvenuti. Nell'analisi questo sito risulterà appartenere ad epoche diverse talvolta distinguibili solo ad una successiva analisi.

SCelta DEI SITI E DEI PARAMETRI

L'indagine è basata per ora sui dati relativi a 44 siti archeologici ubicati in 32 località dove sono stati eseguiti o sono in corso scavi archeologici, distribuite abbastanza uniformemente nella laguna di Venezia (Fig. 1, Tab. 1) e si è limitata a mattoni che, ad un primo esame, si presume siano stati utilizzati come "primo impiego".

Le tre dimensioni dei mattoni reperiti in questi siti sono state confrontate con quelle di tutti gli altri tipi finora rinvenuti nell'area lagunare e si sono indagati i loro rapporti reciproci anche in relazione all'uso come elemento di muro di sostegno o di pavimento (che sono i due usi più diffusi).

In attesa dei risultati di uno studio più approfondito in corso da parte di E. Canal, si è rilevato che le lunghezze, come si è già detto, sono generalmente in rapporti semplici con locali unità di misura, mentre le larghezze risultano a loro volta frequentemente in rapporto fisso (di solito 1:2) con le lunghezze e perciò non sempre significative come parametro indipendente (ciò non è vero

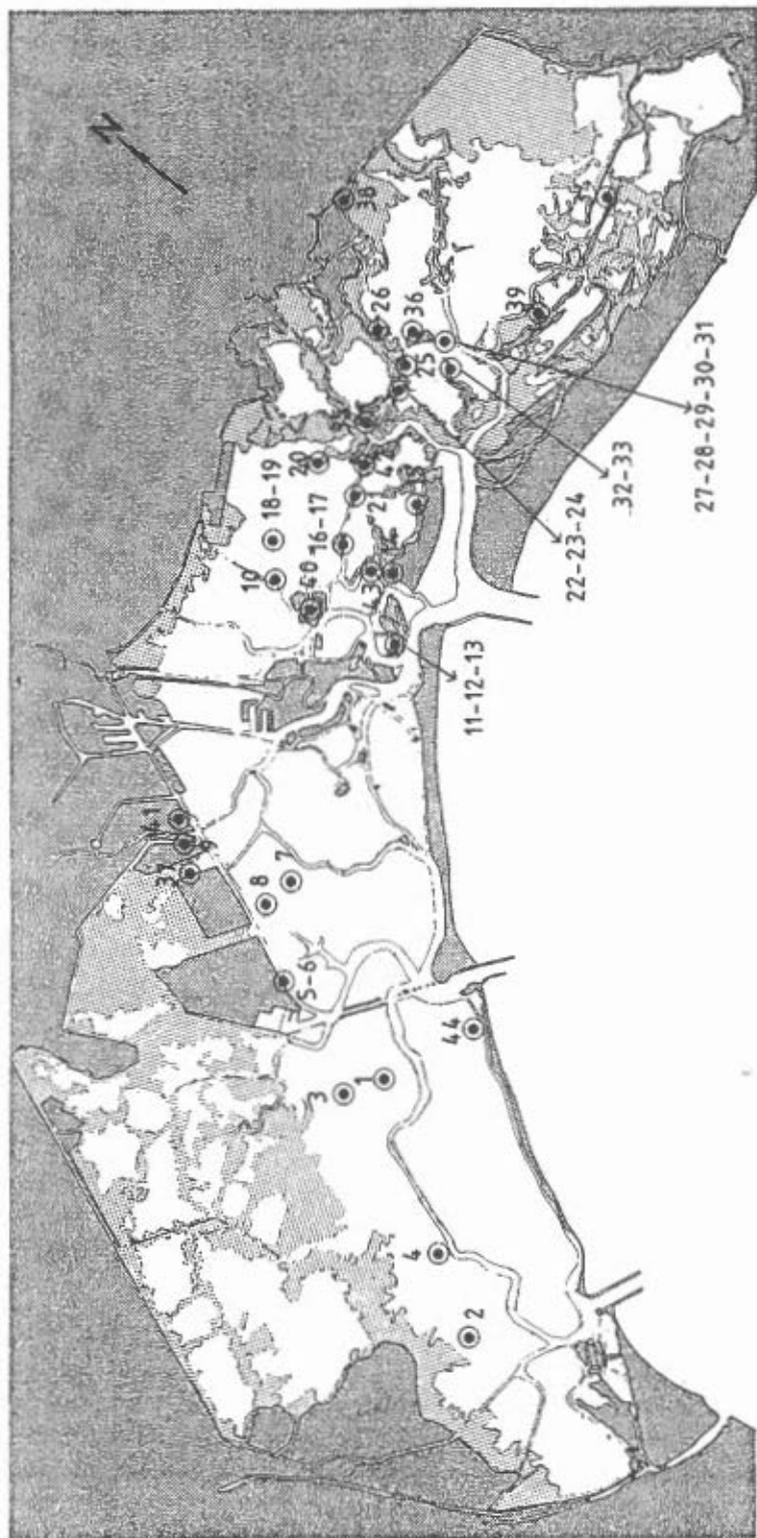


Fig. 1 — Laguna di Venezia: ubicazione dei 44 siti archeologici di tab. 1.

Analisi multivariata di tipo "Fuzzy c-means clustering"

N	N di catalogo Canal e nome località	tipi di mattoni presenti	riferimenti d'archivio A. D.
1	7/A Isola del Cornio Nuovo	3	
2	1 Barena di Ca' Manzo	8.14	
3	7/B Cornio Sommerso	20	
4	4 Isola di Petta di Bò	3.7	
5	9/A S. Leonardo in Fossa Mala	8.17.20	1000
6	9/B S. Leonardo in Fossa Mala (monastero)	2.3.8.10.11.19	1000-1300
7	13 S. Marco in Bocca Lama	3.6.7	1013-1300
8	12 Motte di Volpego	7	
9	5 Rosta di Fusina	11	1500
10	33 Isola di Tessera	6.12	
11	35/A, B Isola della Certosa (monastero)	10.13.14.16	1300-1400
12	35/A Isola della Certosa (tomba)	2.5	
13	35/C Isola della Certosa (chiostro)	13	1400
14	37 Isola di S. Erasmo	3	
15	38 Palude S. Francesco (sarcofagi)	3	
16	39/A Palude di S. Giacomo	18.20	900-1000
17	39/B Isola di S. Giacomo in Palude	2.3.4.8.16	1170
18	42 Motta S. Civran	3.4.6.9.15	1000-1200
19	42 Motta S. Civran (tomba)	20	800-1000
20	Mazzorbo (mulino, pozzo)	4.5.15	
21	48 Isola Madonna del Monte	3.6.11.12.13	1320
22	69/A, D1 Monastero di S. Ariano	2.3.6.12.15.20	1160
23	69/B, A2 Monastero di S. Ariano	2.12.20	
24	69/C, A15 Isola di S. Ariano	10.20	
25	70 Isola La Cura	6.8	
26	73 Sette Soleri	5	
27	84/A, M5 S. Lorenzo di Ammiana	1.8.15	
28	84 S. Lorenzo di Ammiana (monastero)	3.5	1185-1200
29	84/C, M2 S. Lorenzo di Ammiana	6.14.20	
30	84/D S. Lorenzo di Ammiana (tomba)	3.6.7	1185-1300
31	84/E S. Lorenzo di Ammiana	1.2.3.5.7	
32	87/A S. Maria di Gaia	3.6.8.11.13.20	
33	87/B S. Maria di Gaia (muratura)	6.7	
34	106 Valle Lio maggiore (ponte)	6.8.14.17.20	
35	111 S. Fosca di Torcello	13.14.15	1008
36	112 S. Andrea di Ammiana (chiesa)	2.3	1192
37	9/121 Canale dei Foli, Fusina	11, 12	1500
38	157 Ramo di Mezzo, Ca' Zane	8.9	
39	136 Lio Piccolo	16.20	
40	154 S. Donà di Murano (abside)	19	
41	146 Pontile di Fusina	3.5.8	1200
42	155 S. Maffio di Mazzorbo	3.4.8.11.13	1300
43	156 Isola del Lazzaretto Nuovo	2	
44	157 S. Pietro in Volta Vecchio (campanile)	5.10	

Tab. 1 — Elenco dei siti archeologici.

N	dimensioni (cm)	notizie d'archivio
1	15 x 7,5 x 4,5	altinella, lunghezza di 1/2 piede romano, dal sec. XI
2	16 x 8 x 5	altinella, lunghezza di 1/2 piede bizantino
3	17 x 8,5 x 5	altinella tardo bizantina, misura veneta
4	18 x 9 x 4,5	altinella tardo bizantina
5	19 x 9 x 5	altinella tardo bizantina
6	20 x 10 x 5	lunghezza di 1/2 piede ferrarese
7	21 x 10,5 x 5	mattone « piccolo » (tardo gotico?)
8	22 x 11 x 5	presente nell'XI secolo e forse anche più tardi
9	24 x 12 x 5	gotico « piccolo », dal secolo XIV in poi
10	25 x 12,5 x 5	lunghezza di 1/2 piede di Liutprando (?)
11	26 x 13 x 6	tardo gotico « grande », dal secolo XV in poi
12	27 x 13 x 7	gotico « grande », dal secolo XIV in poi
13	28 x 14 x 7	gotico « grande »
14	29 x 14 x 7	gotico « grande »
15	30 x 15 x 7	simile ad uno romano, costruito localmente dal sec. IX
16	31 x 16,5 x 6	lunghezza di 1 piede bizantino
17	32 x 16 x 6	lunghezza di 1 piede bizantino (costruito localmente sec. X?)
18	34 x 17 x 8	lunghezza di 1 piede veneto, secolo IX, X
19	40 x 30 x 7	romano (o tardo romano?)
20	44 x 30 x 7	sesquipedale romano in frammenti, dal secolo VI all'XI

Tab. 2 — Tipi di mattone presenti nella Laguna di Venezia usati in questa ricerca.

in alcuni casi che, in una successiva analisi, potrebbero diventare i più significativi). Gli spessori sono di estrema variabilità e forse condizionati, oltre che dall'uso, dalla disponibilità di materia prima, dalla richiesta del committente o da altri fattori ancora ignoti.

Sono stati scelti come parametri per questa indagine preliminare soltanto venti tipi di mattone di relativamente ampia diffusione, tralasciando quelli che compaiono sporadicamente ed in un solo sito perché non adatti ad uno studio statistico. Si sono invece inseriti nell'analisi anche siti caratterizzati per ora da un solo parametro, quindi non adatti ad un'elaborazione statistica, sia perché dotati di datazione sicura sia per avere una distribuzione uniforme dei siti nell'area lagunare. Questi ultimi siti potrebbero quindi essere collocati indifferentemente in più gruppi caratterizzati anche da quel parametro.

I venti tipi di mattone prescelti hanno venti lunghezze diverse, larghezze ~ 1/2 delle rispettive lunghezze (tranne nel caso dei due mattoni romani). I loro spessori sono variabili intorno al valore medio da noi indicato.

L'elenco dei mattoni scelti è quello della Tab. 2. Ciascun sito è caratterizzato dalla presenza o assenza di ciascuno dei venti parametri. La matrice dei dati è pertanto di tipo binario.

APPLICAZIONE DEL METODO FUZZY C-MEANS

In archeologia specie preistorica, sono stati spesso usati metodi di "cluster analysis" o analisi di gruppi. Per cluster analysis si intendono in generale tutte quelle tecniche che consentono di suddividere un certo insieme di elementi, nel nostro caso i siti archeologici, in un determinato numero c di sottoinsiemi sulla base della loro "similarità", cioè della somiglianza dei loro parametri (Q mode) (ORTON 1980; MOSCATI 1987). I gruppi che ne derivano sono in genere "hard" cioè fissi, non suscettibili di variazioni; ciascun elemento è inequivocabilmente collocato all'interno di un gruppo senza tenere in considerazione il suo grado di similarità con elementi di altri gruppi. Ciò avviene perché la suddivisione è generalmente gerarchica, cioè il numero di gruppi c si forma o per successive suddivisioni a partire da 2 (metodo divisivo) o viceversa per successivi accoppiamenti a partire dalla totalità degli elementi (metodo agglomerativo), con lo svantaggio che eventuali elementi aberranti influiscono su tutto il processo e non possono venir isolati. Limitazioni all'uso di questi metodi derivano inoltre dal fatto che si basano sul calcolo di matrici di similarità che richiedono grandi spazi di memoria nei calcolatori.

I metodi "c-means" invece operano direttamente sulla matrice dei dati e suddividono gli elementi in gruppi i cui centri, inizialmente valori medi di ciascun parametro, vengono progressivamente modificati attraverso un processo iterativo che minimizza una funzione della distanza cartesiana (minimi quadrati generalizzati) che gli elementi dei vari gruppi hanno dai rispettivi centri. Questi metodi non sono gerarchici e occupano piccoli spazi di calcolatore. La loro utilità in archeologia è stata prospettata già da parecchi anni da F. R. Hodson (HODSON 1970; DORAN, HODSON 1975).

Tra i metodi c-means l'FCM (fuzzy c-means) di J. C. Bezdek (BEZDEK 1981), usato in questo lavoro, consente in più di definire l'appartenenza ai gruppi in modo non definitivo ma "elastico", mediante una funzione continua i cui valori da 0 a 1 indicano il grado di appartenenza di ciascun elemento (o sito) ai vari gruppi. Ogni elemento o sito ha quindi un "grado di appartenenza" in ciascun gruppo; valori più prossimi ad 1 indicano un grado maggiore di appartenenza, cioè una maggiore "similarità" o somiglianza dei parametri di un sito con quelli degli altri elementi del gruppo. Il numero dei gruppi può essere variato a piacere; variando il numero dei gruppi è possibile che varino anche i valori della funzione di appartenenza dei singoli elementi ai vari gruppi.

Per ottimizzare il numero dei gruppi esistono tests di validità che consentono di scegliere il numero dei gruppi sulla base del grado della loro "definizione" (partition) cioè della differenziazione l'uno dall'altro.

Oltre ai metodi di ottimizzazione matematici però l'FCM offre anche la possibilità di valutare il livello di adeguatezza o di particolare scelta alternativa

di ripartizione in un certo numero di gruppi o del trasferimento di uno o più elementi da gruppo a gruppo sulla base di riferimenti storico-archeologici o altri criteri. Si raggiunge così la possibilità di interazione tra le scelte della macchina e quelle dell'esperto che inserisce, all'occorrenza, nuovi criteri non previsti precedentemente dal programma.

Questo è particolarmente importante in archeologia classica in cui la messe di informazioni è generalmente abbondante ma non sempre organizzabile a priori in forma esatta e definitiva.

Il programma FCM usato in questo lavoro è, con piccole variazioni, quello pubblicato da Bezdek nel 1984 (BEZDEK *et al.* 1984). In aggiunta e per confronto i dati sono stati sottoposti anche ad una analisi delle corrispondenze. I risultati sono confrontati con quelli dell'analisi FCM.

DETTAGLI E OSSERVAZIONI SUL METODO DI CALCOLO

Il criterio di assegnazione di N elementi a c gruppi consiste nel far tendere a zero una funzione quadratica della distanza cartesiana J (o funzione dei minimi quadrati, la cui convergenza è stata studiata da Bezdek) (BEZDEK 1981). Essa contiene come fattore moltiplicativo il "grado" di appartenenza, u_{ik} , al relativo gruppo che, nel processo iterativo, muta ad ogni passaggio di calcolo col diminuire della distanza stessa.

$$(1) J_m = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^c (u_{ik})^m (\bar{y}_k - v_i)^2$$

$\bar{y}_k = (y_{1k} \dots \dots y_{nk})$ vettore dei dati
 $\bar{v}_i = (v_{1i} \dots \dots v_{ni})$ vettore dei centri
 $N =$ numero dei vettori dei dati

$u_{ik} =$ grado di appartenenza $2 \leq c < N$ $1 < m < \infty$

Il fattore u_{ik} , appare nella formula dotato di un esponente m che caratterizza il "peso" di u_{ik} , nella funzione J . Con $m \rightarrow 1$ i gruppi diventano sempre più "definiti", cioè "hard", fissi, e i gradi di appartenenza ai vari gruppi tendono od a 0 od a 1. Al crescere di m i gruppi diventano sempre più "sfuocati" e i gradi di appartenenza meno distinti tra loro.

La scelta del valore di m è, a tutt'oggi, giustificata solo sperimentalmente e dipende soprattutto dai dati. Per dati binari, come i nostri, sono risultati validi valori bassi di m come $m = 1,10$ (BEZDEK 1981). Nel nostro caso è risultato migliore il valore $m = 1,25$.

La funzione della distanza nell'equazione (1) può essere scritta in una forma più generale che prevede, all'occorrenza, diverse norme metriche per il calcolo del prodotto fra le matrici. Oltre alla norma euclidea, usata per questo lavoro, il programma FCM consente l'uso di altre due norme, la diagonale e la Mahalanobis, che potrebbero servire per sets di dati in cui si rilevassero grandi disuguaglianze e, nel secondo caso, anche possibili interdipendenze.

I "test di validità" o di ottimizzazione delle ripartizioni del programma FCM sono essenzialmente due: uno, F_c , detto "partition coefficient" che consiste nella valutazione della somma dei quadrati di tutte le funzioni di appartenenza divisa per il numero degli elementi.

$$F_c = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^c (u_{ik})^2 / N \quad \text{dove} \quad 1/c < F_c \leq 1$$

che cresce col grado di definizione dei gruppi e l'altro H_c , chiamato entropia,

$$H_c = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^c [u_{ik} \log_a u_{ik}] / N \quad \text{dove} \quad 1 < a < \infty \quad \text{e} \quad 0 < H_c \leq \log_a c$$

che, al contrario, assume valori tanto più piccoli quanto più definiti sono i gruppi e che è più sensibile del primo test a piccole variazioni nella qualità delle ripartizioni.

RISULTATI E DISCUSSIONI

Per ottimizzare la ripartizione si è preso in esame il grafico dell'entropia standardizzata in funzione del numero di gruppi c (Fig. 2).

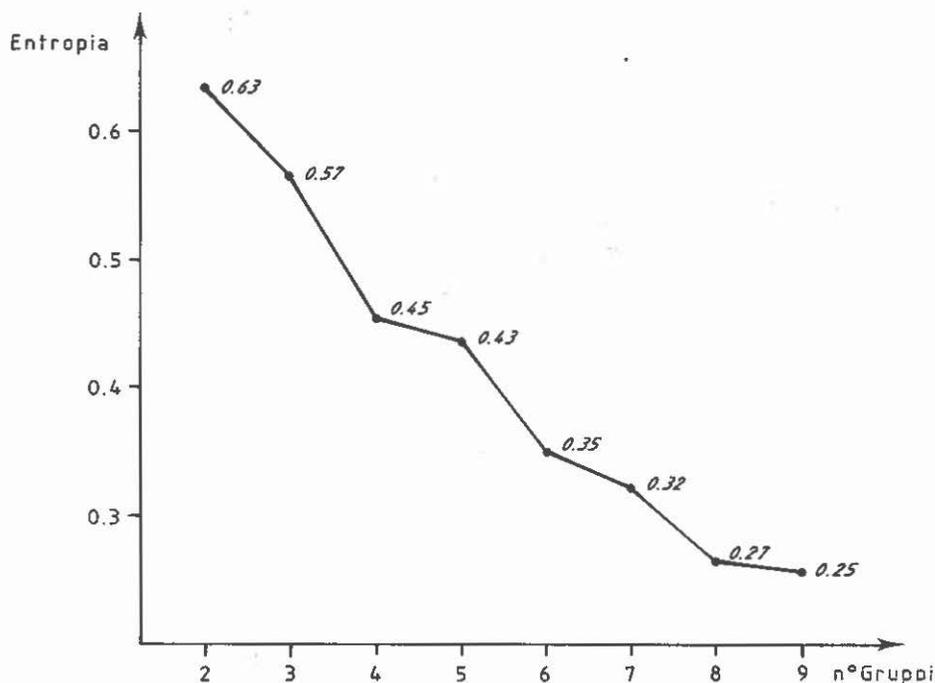
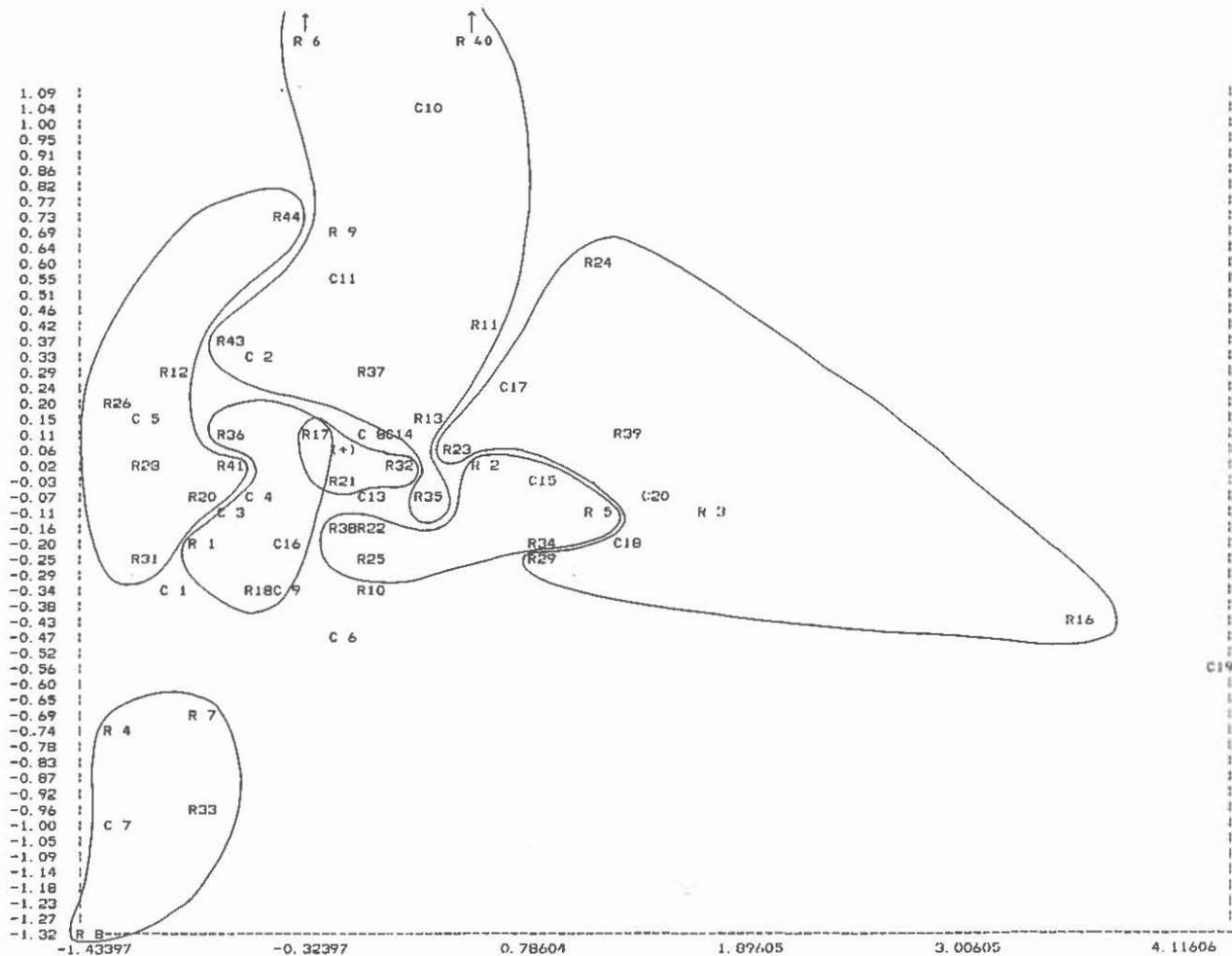


Fig. 2 — Test di validità della ripartizione: andamento dell'entropia in funzione del numero dei gruppi.

Ripartizione in:				7 gruppi;		8 gruppi;		9 gruppi						
sito	tipi di mattoni presenti			epoca A.D.	grado appart.	sito	grado	sito	grado					
4	3	7		1013-1300	0,9480	IDEM	IDEM	IDEM	IDEM					
7	3	6.7			0,9992									
8		7			0,8827									
30	3	6.7			0,9992									
33		6.7		1185-1300	0,9887									
12	2	5		1185-1200	0,9558	IDEM	IDEM	IDEM	IDEM					
20	4.5	15			0,8157									
26	5				0,9971									
44	5	10			0,9328									
28	3	5			0,8898									
(31)	1.2.3.5.7				0,3875									
41	3	5	8	1200	0,6259	12	0,9706	20	0,8908					
1	3			1000-1200	0,9959	IDEM	IDEM	IDEM	IDEM					
14	3				0,9959									
15	3				0,9959									
(18)	3.4	6	9		15					0,3167	15	0,9994	(18)	0,2630
(22)	2.3	6	12		15					0,2275	1160	—	—	—
36	.3				1192					0,9909	36	0,9469	6	0,9734
(6)	2.3	8	10.11	19	0,3579	1000-1300	6	0,9734	17	0,9625				
17	2.3.4	8	16	1170	0,6160									
2	8	14		1000	0,9411	IDEM	IDEM	IDEM	IDEM					
5	8	17.20			0,8414									
25	6	8			0,9419									
(27)	1	8	15		0,5435									
34	6	8	14		17					0,9142				
38		8.9			0,7789									
9		11		1500	0,9090	IDEM	IDEM	IDEM	IDEM					
(10)	6	12		0,4768										
37		11.12		1500	0,8150									
40		11	19	0,7049										
(43)	2			0,4064										
(11)	6	12		1300-1400	0,5480									
13		13		1400	0,9503	9	0,9499	10	0,8948					
35		13.14.15		1008	0,7214	37	0,9901	(40)	0,4885					
21	3	6	11.12.13	1320	0,9484	IDEM	IDEM	IDEM	IDEM					
32	3	6	8	11	13					20	0,9900			
42	3.4	8	11	13	1300					0,96337	(43)	0,33437		
3			20	900-1000	0,9998	IDEM	IDEM	IDEM	IDEM					
16			18.20		0,9557									
19			20	800-1000	0,9998									
23	2		12	20	0,7934									
24		10	20	20	0,9506									
29		6	14	20	0,5534									
39			16	20	0,9531									

Tab. 3 — Ripartizione dei siti archeologici in 7, 8 e 9 gruppi secondo l'analisi « fuzzy » c-means; i numeri dei siti entro parentesi indicano che il relativo grado di appartenenza è basso ($\leq 0,6$).



PUNTI MULTIPLI =(R17,R42)(R 3,R19)(R 1,R14)(R 1,R15)(C16,R27)(R 7,R30)(

Fig. 3 — Analisi delle corrispondenze: proiezione sui primi due assi dei 44 siti archeologici (R1, . . . R44) e dei 20 parametri (C1, . . . C20). I contorni delimitano i 7 gruppi desunti dall'analisi FCM.

La diminuzione dell'entropia, rapidamente decrescente all'inizio (per un numero di gruppi c da 2 a 4), subisce tre successivi rallentamenti per $4 < c < 5$, $6 < c < 7$ e $8 < c < 9$. In corrispondenza di $c = 4$, $c = 6$, $c = 8$ il grafico presenta tre "gomiti" oltre l'ultimo dei quali si presume che la qualità della ripartizione non migliori più sensibilmente. La composizione dei singoli gruppi corrispondente a questo valore di c (ed anche di $c = 9$) è quella di Tab. 3.

Si può osservare che i gruppi primo, quarto, quinto, sesto e settimo, presenti nella ripartizione in 7 gruppi, conservano la stessa composizione anche nella ripartizione in 8 gruppi.

Passando da 7 ad 8 gruppi, invece, il secondo gruppo si riduce a solo quattro siti mentre gli altri tre si aggiungono al terzo gruppo dal quale si staccano però i due siti 6, 17 che vanno a costituire un nuovo ottavo piccolo gruppo.

I riferimenti temporali desunti dalle osservazioni archeologiche e da fonti d'archivio bene si accordano con la ripartizione ad eccezione di quelli del gruppo 5. Tale gruppo però, oltre a presentare alcuni bassi valori del grado di appartenenza, in un successivo passaggio a 9 gruppi si smembra in due parti costituite l'una dai siti 9, 10, 37, 40, 43 i cui riferimenti temporali concordano e l'altra dai siti 11, 13, 35 dei quali però il sito 35 non risulta, dalle fonti d'archivio, contemporaneo agli altri.

Ciò è una prevedibile conseguenza dei limiti con cui abbiamo condotto questa analisi. Infatti i siti sono rappresentati in modo insufficiente dai parametri: la matrice dei dati di presenza-assenza esibisce un'eccessiva preponderanza di zeri (assenza). I parametri a loro volta non sono sufficientemente significativi; si attendono quindi i risultati della ricerca archivistica che dovrebbe fornire una catalogazione più completa delle varie tipologie formali del mattone anche in relazione alle fonti di produzione. Questo consentirebbe di sottoporre tutte le tipologie di mattoni provenienti dai siti di scavo ad una preventiva "analisi discriminante" atta ad individuare "classi di mattoni". Di grande ausilio sarebbe anche la determinazione dei parametri chimico-mineralogici delle argille costituenti, quanto meno, i tipi di mattone più diffusi. Anche questi dati potrebbero essere sottoposti ad una analisi "delle componenti principali" per individuare i parametri più significativi di questo tipo.

I risultati della ripartizione FCM sono anche messi a confronto con quelli di una "analisi delle corrispondenze" (Fig. 3).

Anche da questo esame comparato emergono alcuni casi di incertezza che, come si è detto, sono insiti nel complesso di dati che fino ad ora abbiamo avuto a disposizione.

ERNESTO CANAL-SILVIA CAVAZZONI
Soprintendenza Archeologica del Veneto
C.N.R. Istituto per lo Studio della
Dinamica delle Grandi Masse - Venezia

BIBLIOGRAFIA

- ALBERTOTANZA L., SERANDREI BARBERO R., FAVERO V. 1977, *I sedimenti olocenici della laguna di Venezia (bacino settentrionale)*, « Bollettino della Società Geologica Italiana », 96, 243-269.
- BEZDEK J. C. 1981, *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*, New York, Plenum Press.
- BEZDEK J. C., EHRLICH R., FULL W. 1984, *FCM: The Fuzzy c-means clustering algorithms*, « Computers & Geosciences », 10, 2-3, 191-203.
- BORTOLAMI C., CARBOGNIN L., GATTO P. 1984, *The natural subsidence in the Lagoon of Venice, Italy*, in *Third International Symposium on Land Subsidence*, Pubbl. I.A.H.S. n. 151.
- CANAL E., FERSUOCH L., ricerca in corso.
- DORAN J. E., HODSON F. R. 1975, *Mathematics and Computers in Archaeology*, Edinburgh.
- DORIGO W. 1983, *Venezia Origini*, Milano, Electa.
- FAVERO V., SERANDREI BARBERO R. 1980, *Origine ed evoluzione della laguna di Venezia (bacino meridionale)*, « Lavori della Società Veneta di Scienze Naturali », 5, 49-71.
- FAZIO G., HREGLICH S., LAZZARINI L., PIREDDA U., VERITÀ M. 1982, *Le altinelle a Venezia: problemi storici, caratterizzazione chimico-fisica, cause di deterioramento*, in *Il mattone di Venezia*, Venezia, C.N.R., ISDGM.
- GATTO P., CARBOGNIN L. 1981, *The Lagoon of Venice: Natural environmental trend and man-induced modification*, « Hydrological Sciences Bulletin », 26, 4, 379-391.
- HODSON F. R. 1970, *Cluster analysis and archaeology: Some new developments and applications*, « World Archaeology », 1, 3.
- MOSCATI P. 1987, *Archeologia e Calcolatori*, Firenze, Giunti.
- ORTON C. 1980, *Mathematics in Archaeology*, Cambridge, Cambridge University Press.

ABSTRACT

A particular type of multivariate analysis called "fuzzy c-means clustering" is applied to ancient bricks of 44 archaeological sites in the Lagoon of Venice, remains of historical settlements of the last two thousand years. Each brick is characterized by its three geometrical dimensions, probably related to the local units of measure of the various epochs. The analysis is made with binary data of presence/absence of 20 principal types of bricks. The aim is to establish temporal relations among the various sites, some of which have definite temporal reference, allowing both to extend the references to the unknown sites and to evaluate, measuring the depth of the archaeological sites, the trend of the geological subsidence of the Venetian area. The results, compared also with those of a Correspondence Analysis, are, within some limits, in agreement with the available dating from archivist sources.