

670398
L01A

\\ 369 \\

**A Decomposition for a Stochastic Matrix with
an Application to MANOVA**

by

Cinzia Mortarino

June 2001

Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia
Dipartimento di Economia Politica
Viale Berengario, 51
41100 Modena (Italia)
e-mail: mortarino@unimo.it



Copia n. 670401

CLL.088.369

1 * decomposition for a stochastic

A Decomposition for a Stochastic Matrix with an application to MANOVA

Abstract

The distribution of a general gaussian stochastic matrix may not always be characterized as the distribution of an appropriate linear transformation of the standard gaussian stochastic matrix. This happens only for special covariance structures. In this paper an extension for possible transformations is proposed in order to make previous result suitable also for different covariance patterns. Through that transformation, the evaluation of the (approximate) distribution of matrix quadratic forms may be simplified. An application of previous result is proposed for matrix quadratic forms arising in MANOVA for a multivariate split-plot design with circular dependence structure.

Key words and phrases: matrix quadratic form, Wishart distribution, multivariate Satterthwaite's approximation, multivariate split-plot model, diheral block symmetry covariance model.

1. Introduction

The aim of this paper is to describe an alternative approach to evaluation of the distribution of a matrix quadratic form; this approach consists of the multivariate generalization of a well-known univariate result: any gaussian stochastic vector, $\mathbf{y} \sim \mathcal{N}_p(\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma})$, can be obtained as a linear transformation of the standardized gaussian vector, $\mathbf{z} \sim \mathcal{N}_p(\mathbf{0}, \mathbf{I}_p)$. Through the transformation $\mathbf{y} = (\boldsymbol{\Sigma}^{1/2})' \mathbf{z} + \boldsymbol{\mu}$ (where $(\mathbf{A}^{1/2})' \mathbf{A}^{1/2} = \mathbf{A}$):

$$\mathcal{L}(\mathbf{y}) = \mathcal{L}((\boldsymbol{\Sigma}^{1/2})' \mathbf{z} + \boldsymbol{\mu}), \quad (1)$$

where $\mathcal{L}(\cdot) = \mathcal{L}(\cdot)$ denotes equality of the probability distribution.

If, instead of a stochastic vector \mathbf{y} , a stochastic matrix $\mathbf{Y}_{n \times p}$ is examined, the distribution of \mathbf{Y} may not always be characterized as the distribution of an appropriate linear

transformation of \mathbf{Z} , where $\text{vec}(\mathbf{Z}) \sim \mathcal{N}_{np}(\mathbf{0}, \mathbf{I}_{np})$; namely,

$$\mathcal{L}(\mathbf{Y}) = \mathcal{L}(\mathbf{AZB} + \Phi), \quad (2)$$

for nonstochastic $\mathbf{A}_{n \times n}$, $\mathbf{B}_{p \times p}$ and $\Phi_{n \times p}$ matrices, holds only if

$$\text{Cov}_m(\mathbf{Y}) = \Sigma_Y = \Omega_{n \times n} \otimes \Psi_{p \times p}; \quad (3)$$

in other words, decomposition (2) may be realized only for special covariance pattern among elements of \mathbf{Y} . Here

$$\text{Cov}_m(\mathbf{Y}) = \text{Cov}_v[\text{vec}(\mathbf{Y}')] = \text{E}[\text{vec}(\mathbf{Y}') \text{vec}'(\mathbf{Y}')] - \text{E}[\text{vec}(\mathbf{Y}')] \text{E}[\text{vec}'(\mathbf{Y}')].$$

Our purpose is to suggest a generalization of decomposition (2) which may hold also for less restricted covariance patterns. That decomposition might be used to evaluate the (approximate) distribution of matrix quadratic forms, $\mathbf{Y}'\mathbf{M}\mathbf{Y}$, arising in MANOVA models. In section 2 a concise review of possible approaches to evaluation of the distribution of matrix quadratic forms is presented. The approach here proposed is illustrated in section 3 and in section 4 that method is applied to a MANOVA model. In section 5 concluding remarks are presented.

2. Different approaches in statistical literature

A wide and important section in statistical literature deals with necessary and sufficient conditions for the matrix quadratic form $\mathbf{Y}'\mathbf{M}\mathbf{Y}$ to be Wishart distributed. Among earlier works, Khatri (1977) presents conditions allowing the distribution of that quadratic form to be expressed as a weighted sum of independent Wishart distributions for the special case $\text{Cov}_m(\mathbf{Y}) = \Sigma_Y = \Omega \otimes \Psi$. The generalization to a more general covariance structure is proposed by Thomas (1983), a paper which is not often cited in the following literature; the problem treated arises in the context of a multivariate repeated measures design and the author proposes a necessary and sufficient condition in order to assess independence between two matrix quadratic forms and a sufficient condition for the quadratic form to be Wishart distributed. This paper is afterwards studied by Boik (1988) who proved that the sufficient condition introduced by Thomas is also a necessary one. Meanwhile, Pavur (1987) proposes the same condition proving both necessity and sufficiency. This result is motivated by a typical application to design of experiments (MANOVA) and, maybe, this is the reason why the following literature usually refers to this work instead of Thomas and Boik ones.

In a more general context, Mathew (1989) obtains conditions for the multivariate components of variance model to admit a MANOVA (partition of the sum of squares and sum of products matrix into independent Wishart matrices).

Previous works, among other assumptions, require matrix \mathbf{M} to be nonnegative definite and matrix Σ_Y to be nonsingular. A collection of papers, Wong, Masaro and Wang (1991), Wong and Wang (1993), Wang, Fu and Wong (1996) and Wang (1997), extends previous necessary and sufficient condition to situations when those assumptions do not hold (the first paper of this collection gives examples of interesting situations of that kind).

The conditions proposed in those papers, however, can be verified for specific values for parameters of the tentative Wishart distribution. Conversely, Mathew and Nordström (1997) propose usable conditions: if these conditions hold (and hence it is proved that the quadratic form follows some Wishart distribution), parameters can be computed.

All these papers, however, do not give any help to solve the distribution problem once it is known that the quadratic form *does not* follow a Wishart distribution. Only in section 5 of Boik (1988) the author looks for a feasible solution for this situation. That paper suggests to assume anyway, as an approximation, that the quadratic form follows a Wishart distribution whose parameters are calculated by equating the true expected value and trace of the covariance matrix of the quadratic form to their corresponding expressions calculated for a Wishart matrix. The usual test functions for MANOVA hypotheses are then approximately F distributed with a correction factor for the number of degrees of freedom. No indications are however given in that paper about the accuracy of the approximation suggested.

3. Decomposition for a stochastic matrix

Let us consider a stochastic matrix, $\mathbf{Y}_{n \times p}$; each row follows a p -variate normal distribution and rows are mutually correlated:

$$\text{E}(\mathbf{Y}) = \Phi \quad \text{and} \quad \text{Cov}_m(\mathbf{Y}) = \Sigma_Y.$$

Our purpose is to find out four nonstochastic matrices, \mathbf{A}_1 , \mathbf{A}_2 , \mathbf{B}_1 and \mathbf{B}_2 , such that

$$\mathcal{L}_{n \times p}(\mathbf{Y}) = \mathcal{L}_{n \times n \times p \times p}(\mathbf{A}_1 \mathbf{Z} \mathbf{B}_1 + \mathbf{A}_2 \mathbf{Z} \mathbf{B}_2 + \Phi), \quad (4)$$

where, as in (2), \mathbf{Z} is a stochastic matrix such that $\text{vec}(\mathbf{Z}') \sim \mathcal{N}_{np}(\mathbf{0}, \mathbf{I}_{np})$.

Since

$$\text{vec}[(\mathbf{A}_1 \mathbf{Z} \mathbf{B}_1)'] = \text{vec}(\mathbf{B}_1' \mathbf{Z}' \mathbf{A}_1') = (\mathbf{A}_1 \otimes \mathbf{B}_1') \text{vec}(\mathbf{Z}'),$$

it follows that

$$\begin{aligned} \text{vec}[(\mathbf{A}_1 \mathbf{Z} \mathbf{B}_1 + \mathbf{A}_2 \mathbf{Z} \mathbf{B}_2 + \Phi)'] &= (\mathbf{A}_1 \otimes \mathbf{B}_1') \text{vec}(\mathbf{Z}') + (\mathbf{A}_2 \otimes \mathbf{B}_2') \text{vec}(\mathbf{Z}') + \text{vec}(\Phi) \\ &= [(\mathbf{A}_1 \otimes \mathbf{B}_1') + (\mathbf{A}_2 \otimes \mathbf{B}_2')] \text{vec}(\mathbf{Z}') + \text{vec}(\Phi). \end{aligned} \quad (5)$$

Equality (5) proves that

$$\text{vec}[(\mathbf{A}_1 \mathbf{Z} \mathbf{B}_1 + \mathbf{A}_2 \mathbf{Z} \mathbf{B}_2 + \Phi)']$$

follows a np -variate gaussian distribution. In order to prove (4), we only have to prove that four matrices \mathbf{A}_1 , \mathbf{A}_2 , \mathbf{B}_1 , \mathbf{B}_2 exist leading to coincidence of the moments for the two np -variate normal distributions. Since equality

$$\text{E}[\text{vec}(\mathbf{Y}')] = \text{vec}(\Phi') = \text{E}[\text{vec}(\mathbf{A}_1 \mathbf{Z} \mathbf{B}_1 + \mathbf{A}_2 \mathbf{Z} \mathbf{B}_2 + \Phi)']$$

holds for every possible choice of matrices \mathbf{A}_1 , \mathbf{A}_2 , \mathbf{B}_1 , \mathbf{B}_2 , we only have to assess coincidence of the covariance structure:

$$\text{Cov}_m(\mathbf{Y}) = \text{Cov}_m(\mathbf{A}_1 \mathbf{Z} \mathbf{B}_1 + \mathbf{A}_2 \mathbf{Z} \mathbf{B}_2). \quad (6)$$

Usually, condition (6) does not suffice to single out univocally matrices A_1 , A_2 , B_1 , and B_2 , because the corresponding system has too many solutions. The problem can be simplified by reducing the class of matrices A_1 and A_2 according to Σ_Y structure (an example will be presented in the next section).

Once decomposition (4) is evaluated, the distribution of the matrix quadratic form $Y'MY$ can be calculated as the distribution of

$$(A_1 Z B_1 + A_2 Z B_2 + \Phi)' M (A_1 Z B_1 + A_2 Z B_2 + \Phi).$$

For useful applications, $M\Phi = O$ and, hence,

$$\mathcal{L}(Y'MY) = \mathcal{L}(\sum_{i=1}^2 \sum_{t=1}^2 B_i' Z' A_i' M A_i Z B_i). \quad (7)$$

If the choice of matrices A_1 and A_2 is done appropriately, elements of that double summation are independently Wishart distributed; multivariate Satterthwaite's approximation (Tan and Gupta (1983)), can then be used: according to this approximation, if

$$\phi = \sum_{i=1}^t \frac{\tau_i}{m_i} {}_i W_r(\Delta_i, m_i), \quad \text{with } {}_i W_r(\Delta_i, m_i) \perp {}_{i'} W_r(\Delta_{i'}, m_{i'}) \quad \text{for } i \neq i'$$

then

$$\phi \stackrel{a}{\sim} W_r(\Delta, m),$$

where

$$\Delta = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^t \tau_i \Delta_i \quad \text{and} \quad m = \left\{ \frac{[\det(\sum_{i=1}^t \tau_i \Delta_i)]^{r+1}}{\det(\Delta^*)} \right\}^{\frac{2}{r(r+1)}}$$

for $\Delta^* = K_r^- [\sum_{i=1}^t \frac{\tau_i^2}{m_i} (\Delta_i \otimes \Delta_i)] K_r$ (the matrices K_r and K_r^- have the property that $\det[K_r^- (D \otimes D) K_r] = [\det(D)]^{r+1}$ for any symmetric matrix D of order $r \times r$).

The main advantage of decomposition (4) consists of the possibility to express matrix quadratic forms as a weighted sum of independent Wishart matrices and, hence, to the possibility to apply multivariate Satterthwaite's approximation, whose accuracy has been studied by Khuri, Mathew and Nel (1994).

4. An application to a MANOVA model

The approach described in previous sections will be now illustrated for a multivariate balanced split-plot design. Let us examine a split-plot design with two factors, A and B, having, respectively, a and b levels. It is supposed that runs can be replicated into r randomized blocks composed by ab experimental units each.

Here

$$y_{ijk}, \quad i = 1, 2, \dots, r, \quad j = 1, 2, \dots, a, \quad k = 1, 2, \dots, b,$$

denotes the vector of the p response variables measured on an experimental unit in the i -th block treated with the j -th level of factor A and the k -th level of factor B.

The model here assumed is

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \alpha_j + \beta_k + (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ijk},$$

where μ denotes the overall mean, τ_i represents block i effect (it is assumed that $\tau_i \sim \mathcal{N}_h(\mathbf{0}, \Upsilon)$, with $E(\tau_i \tau_s') = O$ for every $i, s = 1, 2, \dots, r, i \neq s$); $\alpha_j, \beta_k, (\alpha\beta)_{jk}$ represent, respectively, the effect due to the j -th level of A, to the k -th level of B and the interaction effect between them; those effects are measured as deviations from μ .

Let

$$Y = [y_{111} \ y_{112} \ \dots \ y_{11b} \ | \ y_{121} \ y_{122} \ \dots \ y_{12b} \ | \ \dots \ | \ y_{ra1} \ y_{ra2} \ \dots \ y_{rab}]$$

and, in analogous way,

$$\Xi = [\varepsilon_{111} \ \varepsilon_{112} \ \dots \ \varepsilon_{11b} \ | \ \varepsilon_{121} \ \varepsilon_{122} \ \dots \ \varepsilon_{12b} \ | \ \dots \ | \ \varepsilon_{ra1} \ \varepsilon_{ra2} \ \dots \ \varepsilon_{rab}].$$

A standard assumption for an equicorrelated split-plot model would be

$$\text{Cov}_m(\Xi) = I_r \otimes I_a \otimes [I_b \otimes (V - W) + J_b \otimes W], \quad (8)$$

where $J_b = \mathbf{1}_b \mathbf{1}_b'$ is a $b \times b$ matrix having all elements equal to one, V and W are arbitrary $p \times p$ matrices.

With assumption (8) all matrix quadratic forms involved in MANOVA for testing presence of effects can be easily shown to satisfy necessary and sufficient conditions above mentioned and, hence, are independently Wishart distributed.

A more interesting case may however arise when assumption (8) is weakened:

$$\text{Cov}_m(\Xi) = I_r \otimes I_a \otimes [J_b \otimes \Lambda + Q \otimes \Gamma], \quad (9)$$

where $Q_{b \times b}$ is a symmetric Töplitz matrix,

$$Q_{b \times b} = \begin{bmatrix} \eta_1 & \eta_2 & \eta_3 & \dots & \eta_3 & \eta_2 \\ \eta_2 & \eta_1 & \eta_2 & \dots & \eta_4 & \eta_3 \\ \eta_3 & \eta_2 & \eta_1 & \dots & \eta_5 & \eta_4 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \eta_3 & \eta_4 & \eta_5 & \dots & \eta_1 & \eta_2 \\ \eta_2 & \eta_3 & \eta_4 & \dots & \eta_2 & \eta_1 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

while Λ and Γ are arbitrary $p \times p$ matrices. Matrix Q , without loss of generality¹ is assumed to satisfy $Q\mathbf{1}_b = \mathbf{0}$.

The class of covariance matrices (9) is thus structured as follows

$$\text{Cov}_m(\Xi) = I_r \otimes I_a \otimes \begin{bmatrix} \Lambda + \eta_1 \Gamma & \Lambda + \eta_2 \Gamma & \Lambda + \eta_3 \Gamma & \dots & \Lambda + \eta_3 \Gamma & \Lambda + \eta_2 \Gamma \\ \Lambda + \eta_2 \Gamma & \Lambda + \eta_1 \Gamma & \Lambda + \eta_2 \Gamma & \dots & \Lambda + \eta_4 \Gamma & \Lambda + \eta_3 \Gamma \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \Lambda + \eta_2 \Gamma & \Lambda + \eta_3 \Gamma & \Lambda + \eta_4 \Gamma & \dots & \Lambda + \eta_2 \Gamma & \Lambda + \eta_1 \Gamma \end{bmatrix}.$$

¹Assumption $Q\mathbf{1}_b = \mathbf{0}$ does not reduce generality since Λ and Γ are totally unspecified matrices. If we consider a \tilde{Q} matrix as in (10) such that $\tilde{Q}\mathbf{1}_b = \eta\mathbf{1}_b$, for some $\eta \neq 0$,

$$J_b \otimes \tilde{\Lambda} + \tilde{Q} \otimes \Gamma = J_b \otimes \tilde{\Lambda} + \tilde{Q} \otimes \Gamma \pm \eta/b J_b \otimes \Gamma = J_b \otimes (\tilde{\Lambda} + \eta/b \Gamma) + (\tilde{Q} - \eta/b J_b) \otimes \Gamma;$$

this is the desired structure because $(\tilde{Q} - \eta/b J_b)\mathbf{1}_b = \mathbf{0}$.

The class of symmetrical Töplitz matrices (or regular symmetrical circulants) was examined, due to its link with *circular dependence* (Olkin and Press (1969)). Those matrices have been already used in univariate frameworks (Eaton (1983), Gotway and Cressie (1990), Khattree and Naik (1994)) in order to model situations when there is a spatial circular layout of experimental units (e.g. observations are taken at equally spaced points on a circle). That layout is very common both in agricultural and industrial contexts.

Assumption (9) is a special case of the *dihedral block symmetry model* (Perlman (1987)), which combines circular block symmetry,

$$Cov_m \left(\begin{bmatrix} \mathbf{y}'_1 \\ \mathbf{y}'_2 \\ \vdots \\ \mathbf{y}'_b \end{bmatrix} \right) = Cov_m \left(\begin{bmatrix} \mathbf{y}'_2 \\ \mathbf{y}'_3 \\ \vdots \\ \mathbf{y}'_1 \end{bmatrix} \right) = \dots = Cov_m \left(\begin{bmatrix} \mathbf{y}'_b \\ \mathbf{y}'_1 \\ \vdots \\ \mathbf{y}'_{b-1} \end{bmatrix} \right),$$

where $\mathbf{y}_k, k = 1, 2, \dots, b$, denotes a p -dimensional vector, with the requirement that

$$Cov(\mathbf{y}_k, \mathbf{y}_{k'}) = Cov(\mathbf{y}_{k'}, \mathbf{y}_k) \quad \forall k, k' = 1, 2, \dots, b.$$

E.g., in the case $b=4$ a covariance matrix satisfying dihedral block symmetry thus exhibits the structure

$$\begin{bmatrix} \Sigma_0 & \Sigma_1 & \Sigma_2 & \Sigma_1 \\ \Sigma_1 & \Sigma_0 & \Sigma_1 & \Sigma_2 \\ \Sigma_2 & \Sigma_1 & \Sigma_0 & \Sigma_1 \\ \Sigma_1 & \Sigma_2 & \Sigma_1 & \Sigma_0 \end{bmatrix}.$$

Such a model describes symmetries present in the error structure of multivariate observations, e.g., on biological objects, on symmetrically arranged seismographs, etc. Remark that Mathew and Nordström (1997) use this model as an example of situations when Wishartness of a matrix quadratic form, $\mathbf{Y}'\mathbf{M}\mathbf{Y}$, is equivalent to χ^2 distribution for every scalar quadratic form of the matrix quadratic form, $\ell'\mathbf{Y}'\mathbf{M}\mathbf{Y}\ell$.

When (9) is assumed, matrix quadratic forms associated to hypothesis test about significance of effects β_k of factor B are no longer Wishart distributed (more precisely, only assumption (8) leads to Wishartness: any generalization would leave the problem unsolved). Let us apply the approach introduced in the previous section to find an approximate distribution.

Let \mathbf{C}_β a $b \times q$ matrix: columns of \mathbf{C}_β consist of the coefficients of q contrasts of the b levels of factor B. For example, if the hypothesis to be tested was

$$H_{o(B)} : \beta_k = 0 \quad k = 1, 2, \dots, b$$

(complete comparison), \mathbf{C}_β would be a $b \times (b-1)$ matrix such that

$$\mathbf{C}'_\beta \mathbf{C}_\beta = \mathbf{I}_{b-1} \quad \text{and} \quad \mathbf{C}_\beta \mathbf{C}'_\beta = \mathbf{I}_b - \mathbf{U}_b.$$

For a general hypothesis, \mathbf{C}_β is a $b \times q$ matrix such that

$$\mathbf{C}'_\beta \mathbf{C}_\beta = \mathbf{I}_q \quad \text{and} \quad \mathbf{C}'_\beta \mathbf{1}_b = \mathbf{0}_q.$$

The matrix quadratic form associated to this hypothesis has the structure

$$SSC_\beta = \mathbf{Y}' [\mathbf{U}_r \otimes \mathbf{U}_a \otimes \mathbf{C}_\beta \mathbf{C}'_\beta] \mathbf{Y}. \quad (11)$$

Our aim is to specify matrices $\mathbf{A}_1, \mathbf{A}_2, \mathbf{B}_1$ and \mathbf{B}_2 such that (4) holds; in this case it is easy to verify that a possible choice is

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_1 &= \mathbf{I}_r \otimes \mathbf{I}_a \otimes \sqrt{b} \mathbf{U}_b, & \mathbf{B}_1 &= \Lambda^{1/2}, \\ \mathbf{A}_2 &= \mathbf{I}_r \otimes \mathbf{I}_a \otimes \mathbf{Q}^{1/2}, & \mathbf{B}_2 &= \Gamma^{1/2}. \end{aligned}$$

where $(\mathbf{M}^{1/2})' \mathbf{M}^{1/2} = \mathbf{M}$. Observe that, under $H_{o(B)}$, $[\mathbf{U}_r \otimes \mathbf{U}_a \otimes \mathbf{C}_\beta \mathbf{C}'_\beta] \mathbf{E}(\mathbf{Y}) = \mathbf{0}$. According to (11), then

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(SSC_\beta) &= \mathcal{L}([\mathbf{A}_1 \mathbf{Z} \mathbf{B}_1 + \mathbf{A}_2 \mathbf{Z} \mathbf{B}_2]' [\mathbf{U}_r \otimes \mathbf{U}_a \otimes \mathbf{C}_\beta \mathbf{C}'_\beta] [\mathbf{A}_1 \mathbf{Z} \mathbf{B}_1 + \mathbf{A}_2 \mathbf{Z} \mathbf{B}_2]) \\ &= \mathcal{L}([\mathbf{B}'_1 \mathbf{Z}' \mathbf{A}'_1 + \mathbf{B}'_2 \mathbf{Z}' \mathbf{A}'_2] [\mathbf{U}_r \otimes \mathbf{U}_a \otimes \mathbf{C}_\beta \mathbf{C}'_\beta] [\mathbf{A}_1 \mathbf{Z} \mathbf{B}_1 + \mathbf{A}_2 \mathbf{Z} \mathbf{B}_2]) \\ &= \mathcal{L} \left(\left[(\Lambda^{1/2})' \mathbf{Z}' (\mathbf{I}_r \otimes \mathbf{I}_a \otimes \sqrt{b} \mathbf{U}_b) + (\Gamma^{1/2})' \mathbf{Z}' (\mathbf{I}_r \otimes \mathbf{I}_a \otimes \mathbf{Q}^{1/2}) \right] \cdot \right. \\ &\quad \left. [\mathbf{U}_r \otimes \mathbf{U}_a \otimes \mathbf{C}_\beta \mathbf{C}'_\beta] [\mathbf{A}_1 \mathbf{Z} \mathbf{B}_1 + \mathbf{A}_2 \mathbf{Z} \mathbf{B}_2] \right) \\ &= \mathcal{L} \left((\Gamma^{1/2})' \mathbf{Z}' (\mathbf{I}_r \otimes \mathbf{I}_a \otimes \mathbf{Q}^{1/2}) [\mathbf{U}_r \otimes \mathbf{U}_a \otimes \mathbf{C}_\beta \mathbf{C}'_\beta] [\mathbf{A}_1 \mathbf{Z} \mathbf{B}_1 + \mathbf{A}_2 \mathbf{Z} \mathbf{B}_2] \right) \\ &= \mathcal{L} \left((\Gamma^{1/2})' \mathbf{Z}' (\mathbf{U}_r \otimes \mathbf{U}_a \otimes \mathbf{Q}^{1/2} \mathbf{C}_\beta \mathbf{C}'_\beta) [\mathbf{A}_1 \mathbf{Z} \mathbf{B}_1 + \mathbf{A}_2 \mathbf{Z} \mathbf{B}_2] \right) \\ &= \mathcal{L} \left((\Gamma^{1/2})' \mathbf{Z}' (\mathbf{U}_r \otimes \mathbf{U}_a \otimes \mathbf{Q}^{1/2} \mathbf{C}_\beta \mathbf{C}'_\beta (\mathbf{Q}^{1/2})') \mathbf{Z} \Gamma^{1/2} \right), \end{aligned}$$

where property $\mathbf{C}'_\beta \mathbf{U}_b = \frac{1}{b} \mathbf{C}'_\beta \mathbf{1}_b \mathbf{1}'_b = \mathbf{0}$ was used.

Being \mathbf{Z} a stochastic matrix with independent rows, the simpler multivariate Cochran theorem allows to say that

$$\mathbf{Z}' [\mathbf{U}_r \otimes \mathbf{U}_a \otimes \mathbf{Q}^{1/2} \mathbf{C}_\beta \mathbf{C}'_\beta (\mathbf{Q}^{1/2})'] \mathbf{Z} \sim \sum_{s=1}^{rab} \mu_s W_p(\mathbf{I}_p, 1)$$

where μ_s are eigenvalues for $[\mathbf{U}_r \otimes \mathbf{U}_a \otimes \mathbf{Q}^{1/2} \mathbf{C}_\beta \mathbf{C}'_\beta (\mathbf{Q}^{1/2})']$. Exploiting standard properties of Wishart distributions,

$$SSC_\beta \sim \sum_{k=1}^b \lambda_k W_p(\Gamma, 1), \quad (12)$$

where λ_k are eigenvalues for $\mathbf{Q}^{1/2} \mathbf{C}_\beta \mathbf{C}'_\beta (\mathbf{Q}^{1/2})'$.

Satterthwaite's approximation can now be applied to (12):

$$SSC_\beta \overset{a}{\sim} W_p \left(\frac{\sum_k \lambda_k^2}{\sum_k \lambda_k} \Gamma, \frac{(\sum_k \lambda_k)^2}{\sum_k \lambda_k^2} \right).$$

In a similar way, the appropriate error sum of squares matrix could be proved to be approximately distributed as

$$W_p \left(\frac{\sum_k \lambda_k^2}{\sum_k \lambda_k} \Gamma, a(r-1) \frac{(\sum_k \lambda_k)^2}{\sum_k \lambda_k^2} \right).$$

5. Concluding remarks

Decomposition (4) here presented allows application of multivariate Satterthwaite's approximation for situations when $Y'MY$ is not exactly Wishart distributed. As it was mentioned at the end of section 2, Boik (1988) did also propose an approximation for the distribution of that quadratic form. No indications are however available about the accuracy of his approximation (conversely, multivariate Satterthwaite's approximation was studied by Khuri, Mathew and Nel (1994)). Those two approaches give rise, in general, to different approximating distributions. For the model presented in section 4, for example, with multivariate Satterthwaite's approximation, Γ matrix affects only the scale matrix of the Wishart distribution (and, hence, Γ would not affect the distribution of the test function at all). With Boik's approximation, conversely, both Γ and Q would affect the number of degrees of freedom of the test function, making its application more complicated.

References

- Boik, R.J. (1988). The mixed model for multivariate repeated measures: validity conditions and an approximate test. *Psychometrika*, 53, 469-486.
- Eaton, M.L. (1983). *Multivariate statistics. A vector space approach*. Wiley, New York.
- Gotway, C.A. and Cressie, N.A.C. (1990). A spatial analysis of variance applied to soil-water infiltration. *Water Resources. Res.*, 26, 2695-2703.
- Khatri, C.G. (1977). Quadratic forms and extension of Cochran theorem to normal vector variables. In: Krishnaiah, P. ed. *Multivariate Analysis IV*, North-Holland Publishing Company, 79-94.
- Khattree, R. and Naik, D.N. (1994). Optimal test for nested designs with circular stationary dependence. *J. Statist. Plann. Inference*, 41, 231-240.
- Khuri, A.I., Mathew, T. and Nel, D.G. (1994). A test to determine closeness of multivariate Satterthwaite's approximation. *J. Multivariate Anal.*, 51, 201-209.
- Mathew, T. (1989). MANOVA in the multivariate components of variance model. *J. Multivariate Anal.*, 29, 30-38.
- Mathew, T. and Nordström, K. (1997). Wishart and chi-square distributions associated with matrix quadratic forms. *J. Multivariate Anal.*, 61, 129-143.
- Olkin, I. and Press, S.J. (1969). Testing and estimation for a circular stationary model. *Ann. Math. Statist.*, 40, 1358-1373.
- Pavur, R.J. (1987). Distribution of multivariate quadratic forms under certain covariance structures. *Canad. J. Statist.*, 15, 169-176.
- Perlman, M.D. (1987). Group Symmetry Covariance Models (comment to "A Review of Multivariate Analysis" by M. Schervish). *Statist. Sci.*, 2, 421-425.

- Tan, W.Y. and Gupta, R.P. (1983) On approximating a linear combination of central Wishart matrices with positive coefficients. *Commun. Statist. - Theor. Meth.*, 12, 2589-2600.
- Thomas, D.R. (1983). Univariate repeated measures techniques applied to multivariate data. *Psychometrika*, 48, 451-464.
- Wang, T. (1997). Versions of Cochran's theorem for general quadratic expressions in normal matrices. *J. Statist. Plann. Inference*, 58, 283-297.
- Wang, T., Fu, R. and Wong, C.S. (1996). Cochran theorems for multivariate components of variance models. *Sankhiā, Ser. A*, 58, 328-342.
- Wong, C.S., Masaro, J. and Wang, T. (1991). Multivariate versions of Cochran's theorems. *J. Multivariate Anal.*, 39, 154-174.
- Wong, C.S. and Wang, T. (1993). Multivariate versions of Cochran's theorems II. *J. Multivariate Anal.*, 44, 146-159.

1. Maria Cristina Marcuzzo [1985] "Yoan Violet Robinson (1903-1983)", pp. 134
2. Sergio Lugaresi [1986] "Le imposte nelle teorie del sovrappiù", pp. 26
3. Massimo D'Angelillo e Leonardo Paggi [1986] "PCI e socialdemocrazie europee. Quale riformismo?", pp. 158
4. Gian Paolo Caselli e Gabriele Pastrello [1986] "Un suggerimento hobsoriano su terziario ed occupazione: il caso degli Stati Uniti 1960/1983", pp. 52
5. Paolo Bosi e Paolo Silvestri [1986] "La distribuzione per aree disciplinari dei fondi destinati ai Dipartimenti, Istituti e Centri dell'Università di Modena: una proposta di riforma", pp. 25
6. Marco Lippi [1986] "Aggregations and Dynamic in One-Equation Econometric Models", pp. 64
7. Paolo Silvestri [1986] "Le tasse scolastiche e universitarie nella Legge Finanziaria 1986", pp. 41
8. Mario Forni [1986] "Storie familiari e storie di proprietà. Itinerari sociali nell'agricoltura italiana del dopoguerra", pp. 165
9. Sergio Paba [1986] "Gruppi strategici e concentrazione nell'industria europea degli elettrodomestici bianchi", pp. 56
10. Nerio Naldi [1986] "L'efficienza marginale del capitale nel breve periodo", pp. 54
11. Fernando Vianello [1986] "Labour Theory of Value", pp. 31
12. Piero Ganugi [1986] "Risparmio forzato e politica monetaria negli economisti italiani tra le due guerre", pp. 40
13. Maria Cristina Marcuzzo e Annalisa Rosselli [1986] "The Theory of the Gold Standard and Ricardo's Standard Comodity", pp. 30
14. Giovanni Solinas [1986] "Mercati del lavoro locali e carriere di lavoro giovanili", pp. 66
15. Giovanni Bonifati [1986] "Saggio dell'interesse e domanda effettiva. Osservazioni sul cap. 17 della General Theory", pp. 42
16. Marina Murat [1986] "Betwin old and new classical macroeconomics: notes on Lejonhufvud's notion of full information equilibrium", pp. 20
17. Sebastiano Brusco e Giovanni Solinas [1986] "Mobilità occupazionale e disoccupazione in Emilia Romagna", pp. 48
18. Mario Forni [1986] "Aggregazione ed esogeneità", pp. 13
19. Sergio Lugaresi [1987] "Redistribuzione del reddito, consumi e occupazione", pp. 17
20. Fiorenzo Sperotto [1987] "L'immagine neopopulista di mercato debole nel primo dibattito sovietico sulla pianificazione", pp. 34
21. M. Cecilia Guerra [1987] "Benefici tributari nel regime misto per i dividendi proposto dalla commissione Sarcinelli: una nota critica", pp. 9
22. Leonardo Paggi [1987] "Contemporary Europe and Modern America: Theories of Modernity in Comparative Perspective", pp. 38
23. Fernando Vianello [1987] "A Critique of Professor Goodwin's 'Critique of Sraffa'", pp. 12
24. Fernando Vianello [1987] "Effective Demand and the Rate of Profits. Some Thoughts on Marx, Kalecki and Sraffa", pp. 41
25. Anna Maria Sala [1987] "Banche e territorio. Approccio ad un tema geografico-economico", pp. 40
26. Enzo Mingione e Giovanni Mottura [1987] "Fattori di trasformazione e nuovi profili sociali nell'agricoltura italiana: qualche elemento di discussione", pp. 36
27. Giovanna Procacci [1988] "The State and Social Control in Italy During the First World War", pp. 18
28. Massimo Matteuzzi e Annamaria Simonazzi [1988] "Il debito pubblico", pp. 62
29. Maria Cristina Marcuzzo (a cura di) [1988] "Richard F. Kahn. A discipline of Keynes", pp. 118
30. Paolo Bosi [1988] "MICROMOD. Un modello dell'economia italiana per la didattica della politica fiscale", pp. 34
31. Paolo Bosi [1988] "Indicatori della politica fiscale. Una rassegna e un confronto con l'aiuto di MICROMOD", pp. 25
32. Giovanna Procacci [1988] "Protesta popolare e agitazioni operaie in Italia 1915-1918", pp. 45
33. Margherita Russo [1988] "Distretto Industriale e servizi. Uno studio dei trasporti nella produzione e nella vendita delle piastrelle", pp. 157
34. Margherita Russo [1988] "The effect of technical change on skill requirements: an empirical analysis", pp. 28
35. Carlo Grillenzoni [1988] "Identification, estimations of multivariate transfer functions", pp. 33
36. Nerio Naldi [1988] "'Keynes' concept of capital", pp. 40
37. Andrea Ginzburg [1988] "locomotiva Italia?", pp. 30
38. Giovanni Mottura [1988] "La 'persistenza' secolare. Appunti su agricoltura contadina ed agricoltura familiare nelle società industriali", pp. 40
39. Giovanni Mottura [1988] "L'anticamera dell'esodo. I contadini italiani della 'restaurazione contrattuale' fascista alla riforma fondiaria", pp. 40
40. Leonardo Paggi [1988] "Americanismo e riformismo. La socialdemocrazia europea nell'economia mondiale aperta", pp. 120
41. Annamaria Simonazzi [1988] "Fenomeni di isteresi nella spiegazione degli alti tassi di interesse reale", pp. 44
42. Antonietta Bassetti [1989] "Analisi dell'andamento e della casualità della borsa valori", pp. 12
43. Giovanna Procacci [1989] "State coercion and worker solidarity in Italy (1915-1918): the moral and political content of social unrest", pp. 41
44. Carlo Alberto Magni [1989] "Reputazione e credibilità di una minaccia in un gioco bargaining", pp. 56
45. Giovanni Mottura [1989] "Agricoltura familiare e sistema agroalimentare in Italia", pp. 84
46. Mario Forni [1989] "Trend, Cycle and 'Fortuitous cancellation': a Note on a Paper by Nelson and Plosser", pp. 4
47. Paolo Bosi, Roberto Golinelli, Anna Stagni [1989] "Le origini del debito pubblico e il costo della stabilizzazione", pp. 26
48. Roberto Golinelli [1989] "Note sulla struttura e sull'impiego dei modelli macroeconomici", pp. 21
49. Marco Lippi [1989] "A Short Note on Cointegration and Aggregation", pp. 11
50. Gian Paolo Caselli e Gabriele Pastrello [1989] "The Linkage between Tertiary and Industrial Sector in the Italian Economy: 1951-1988. From an External Dependence to an International One", pp. 40
51. Gabriele Pastrello [1989] "Francois quesnay: dal Tableau Zig-zag al Tableau Formule: una ricostruzione", pp. 48
52. Paolo Silvestri [1989] "Il bilancio dello stato", pp. 34
53. Tim Mason [1990] "Tre seminari di storia sociale contemporanea", pp. 26
54. Michele Lalla [1990] "The Aggregate Escape Rate Analysed through the Queueing Model", pp. 23
55. Paolo Silvestri [1990] "Sull'autonomia finanziaria dell'università", pp. 11
56. Paola Bertolini, Enrico Giovannetti [1990] "Uno studio di 'filiera' nell'agroindustria. Il caso del Parmigiano Reggiano", pp. 164

57. Paolo Bosi, Roberto Golinelli, Anna Stagni [1990] "Effetti macroeconomici, settoriali e distributivi dell'armonizzazione dell'IVA", pp. 24
58. Michele Lalla [1990] "Modelling Employment Spells from Emilia Labour Force Data", pp. 18
59. Andrea Ginzburg [1990] "Politica Nazionale e commercio internazionale", pp. 22
60. Andrea Giommi [1990] "La probabilità individuale di risposta nel trattamento dei dati mancanti", pp. 13
61. Gian Paolo Caselli e Gabriele Pastrello [1990] "The service sector in planned economies. Past experiences and future prospectives", pp. 32
62. Giovanni Solinas [1990] "Competenze, grandi industrie e distretti industriali. Il caso Magneti Marelli", pp. 23
63. Andrea Ginzburg [1990] "Debito pubblico, teorie monetarie e tradizione civica nell'Inghilterra del Settecento", pp. 30
64. Mario Forni [1990] "Incertezza, informazione e mercati assicurativi: una rassegna", pp. 37
65. Mario Forni [1990] "Misspecification in Dynamic Models", pp. 19
66. Gian Paolo Caselli e Gabriele Pastrello [1990] "Service Sector Growth in CPE's: An Unsolved Dilemma", pp. 28
67. Paola Bertolini [1990] "La situazione agro-alimentare nei paesi ad economia avanzata", pp. 20
68. Paola Bertolini [1990] "Sistema agro-alimentare in Emilia Romagna ed occupazione", pp. 65
69. Enrico Giovannetti [1990] "Efficienza ed innovazione: il modello "fondi e flussi" applicato ad una filiera agro-industriale", pp. 38
70. Margherita Russo [1990] "Cambiamento tecnico e distretto industriale: una verifica empirica", pp. 115
71. Margherita Russo [1990] "Distretti industriali in teoria e in pratica: una raccolta di saggi", pp. 119
72. Paolo Silvestri [1990] "La Legge Finanziaria. Voce dell'enciclopedia Europea Garzanti", pp. 8
73. Rita Paltrinieri [1990] "La popolazione italiana: problemi di oggi e di domani", pp. 57
74. Enrico Giovannetti [1990] "Illusioni ottiche negli andamenti delle Grandezze distributive: la scala mobile e l'appiattimento delle retribuzioni in una ricerca", pp. 120
75. Enrico Giovannetti [1990] "Crisi e mercato del lavoro in un distretto industriale: il bacino delle ceramiche. Sez. I", pp. 150
76. Enrico Giovannetti [1990] "Crisi e mercato del lavoro in un distretto industriale: il bacino delle ceramiche. Sez. II", pp. 145
78. Antonietta Bassetti e Costanza Torricelli [1990] "Una riqualificazione dell'approccio bargaining alla selezione di portafoglio", pp. 4
77. Antonietta Bassetti e Costanza Torricelli [1990] "Il portafoglio ottimo come soluzione di un gioco bargaining", pp. 15
79. Mario Forni [1990] "Una nota sull'errore di aggregazione", pp. 6
80. Francesca Bergamini [1991] "Alcune considerazioni sulle soluzioni di un gioco bargaining", pp. 21
81. Michele Grillo e Michele Polo [1991] "Political Exchange and the allocation of surplus: a Model of Two-party competition", pp. 34
82. Gian Paolo Caselli e Gabriele Pastrello [1991] "The 1990 Polish Recession: a Case of Truncated Multiplier Process", pp. 26
83. Gian Paolo Caselli e Gabriele Pastrello [1991] "Polish firms: Pricate Vices Public Virtues", pp. 20
84. Sebastiano Brusco e Sergio Paba [1991] "Connessioni, competenze e capacità concorrenziali nell'industria della Sardegna", pp. 25
85. Claudio Grimaldi, Rony Hamoui, Nicola Rossi [1991] "Non Marketable assets and households' Portfolio Choice: a Case of Study of Italy", pp. 38
86. Giulio Righi, Massimo Baldini, Alessandra Brambilla [1991] "Le misure degli effetti redistributivi delle imposte indirette: confronto tra modelli alternativi", pp. 47
87. Roberto Fanfani, Luca Lanini [1991] "Innovazione e servizi nello sviluppo della meccanizzazione agricola in Italia", pp. 35
88. Antonella Caiumi e Roberto Golinelli [1992] "Stima e applicazioni di un sistema di domanda Almost Ideal per l'economia italiana", pp. 34
89. Maria Cristina Marcuzzo [1992] "La relazione salari-occupazione tra rigidità reali e rigidità nominali", pp. 30
90. Mario Biagioli [1992] "Employee financial participation in enterprise results in Italy", pp. 50
91. Mario Biagioli [1992] "Wage structure, relative prices and international competitiveness", pp. 50
92. Paolo Silvestri e Giovanni Solinas [1993] "Abbandoni, esiti e carriera scolastica. Uno studio sugli studenti iscritti alla Facoltà di Economia e Commercio dell'Università di Modena nell'anno accademico 1990/1991", pp. 30
93. Gian Paolo Caselli e Luca Martinelli [1993] "Italian GPN growth 1890-1992: a unit root or segmented trend representatin?", pp. 30
94. Angela Politi [1993] "La rivoluzione frantesa. I partigiani emiliani tra liberazione e guerra fredda, 1945-1955", pp. 55
95. Alberto Rinaldi [1993] "Lo sviluppo dell'industria metalmeccanica in provincia di Modena: 1945-1990", pp. 70
96. Paolo Emilio Mistrulli [1993] "Debito pubblico, intermediari finanziari e tassi d'interesse: il caso italiano", pp. 30
97. Barbara Pistoresi [1993] "Modelling disaggregate and aggregate labour demand equations. Cointegration analysis of a labour demand function for the Main Sectors of the Italian Economy: 1950-1990", pp. 45
98. Giovanni Bonifati [1993] "Progresso tecnico e accumulazione di conoscenza nella teoria neoclassica della crescita endogena. Una analisi critica del modello di Romer", pp. 50
99. Marcello D'Amato e Barbara Pistoresi [1994] "The relationship(s) among Wages, Prices, Unemployment and Productivity in Italy", pp. 30
100. Mario Forni [1994] "Consumption Volatility and Income Persistence in the Permanent Income Model", pp. 30
101. Barbara Pistoresi [1994] "Using a VECM to characterise the relative importance of permanent and transitory components", pp. 28
102. Gian Paolo Caselli e Gabriele Pastrello [1994] "Polish recovery form the slump to an old dilemma", pp. 20
103. Sergio Paba [1994] "Imprese visibili, accesso al mercato e organizzazione della produzione", pp. 20
104. Giovanni Bonifati [1994] "Progresso tecnico, investimenti e capacità produttiva", pp. 30
105. Giuseppe Marotta [1994] "Credit view and trade credit: evidence from Italy", pp. 20
106. Margherita Russo [1994] "Unit of investigation for local economic development policies", pp. 25
107. Luigi Brighi [1995] "Monotonicity and the demand theory of the weak axioms", pp. 20
108. Mario Forni e Lucrezia Reichlin [1995] "Modelling the impact of technological change across sectors and over time in manufacturing", pp. 25
109. Marcello D'Amato e Barbara Pistoresi [1995] "Modelling wage growth dynamics in Italy: 1960-1990", pp. 38
110. Massimo Baldini [1995] "INDIMOD. Un modello di microsimulazione per lo studio delle imposte indirette", pp. 37
111. Paolo Bosi [1995] "Regionalismo fiscale e autonomia tributaria: l'emersione di un modello di consenso", pp. 38
112. Massimo Baldini [1995] "Aggregation Factors and Aggregation Bias in Consumer Demand", pp. 33
113. Costanza Torricelli [1995] "The information in the term structure of interest rates. Can stochastic models help in resolving the puzzle?" pp. 25
114. Margherita Russo [1995] "Industrial complex, pôle de développement, distretto industriale. Alcune questioni sulle unità di indagine nell'analisi dello sviluppo", pp. 45
115. Angelika Morisson [1995] "50 Jahre Deutschland. 1945 - 1995" pp. 21
116. Paolo Bosi [1995] "Un punto di vista macroeconomico sulle caratteristiche di lungo periodo del nuovo sistema pensionistico italiano", pp. 32
117. Gian Paolo Caselli e Salvatore Curatolo [1995] "Esistono relazioni stimabili fra dimensione ed efficienza delle istituzioni e crescita produttiva? Un esercizio nello spirito di D.C. North.", pp. 11
118. Mario Forni e Marco Lippi [1995] "Permanent income, heterogeneity and the error correction mechanism", pp. 21
119. Barbara Pistoresi [1995] "Co-movements and convergence in international output. A Dynamic Principal Components Analysis" pp. 14
120. Mario Forni e Lucrezia Reichlin [1995] "Dynamic common factors in large cross-section" pp. 17
121. Giuseppe Marotta [1995] "Il credito commerciale in Italia: una nota su alcuni aspetti strutturali e sulle implicazioni di politica monetaria" pp. 20
122. Giovanni Bonifati [1995] "Progresso tecnico, concorrenza e decisioni di investimento: una analisi delle determinanti di lungo periodo degli investimenti" pp. 25
123. Giovanni Bonifati [1995] "Cambiamento tecnico e crescita endogena: una valutazione critica delle ipotesi del modello di Romer" pp. 21
124. Barbara Pistoresi e Marcello D'Amato [1995] "La riservatezza del banchiere centrale è un bene o un male? Effetti dell'informazione incompleta sul benessere in un modello di politica monetaria.", pp. 32
125. Barbara Pistoresi [1995] "Radici unitarie e persistenza: l'analisi univariata delle fluttuazioni economiche.", pp. 33
126. Barbara Pistoresi e Marcello D'Amato [1995] "Co-movements in European real outputs" pp. 20
127. Antonio Ribba [1996] "Ciclo economico, modello lineare-stocastico, forma dello spettro delle variabili macroeconomiche" pp. 31
128. Carlo Alberto Magni [1996] "Repeatable and una tantum real options a dynamic programming approach" pp. 23
129. Carlo Alberto Magni [1996] "Opzioni reali d'investimento e interazione competitiva: programmazione dinamica stocastica in optimal stopping" pp. 26
130. Carlo Alberto Magni [1996] "Vaghezza e logica fuzzy nella valutazione di un'opzione reale" pp. 20
131. Giuseppe Marotta [1996] "Does trade credit redistribution thwart monetary policy? Evidence from Italy" pp. 20
132. Mauro Dell'Amico e Marco Trubian [1996] "Almost-optimal solution of large weighted equicut problems" pp. 30
133. Carlo Alberto Magni [1996] "Un esempio di investimento industriale con interazione competitiva e avversione al rischio" pp. 20
134. Margherita Russo, Peter Börkey, Emilio Cubel, François Lévêque, Francisco Mas [1996] "Local sustainability and competitiveness: the case of the ceramic tile industry" pp. 66
135. Margherita Russo [1996] "Camionetto tecnico e relazioni tra imprese" pp. 190
136. David Avra Lane, Irene Poli, Michele Lalla, Alberto Roverato [1996] "Lezioni di probabilità e inferenza statistica" pp. 288
137. David Avra Lane, Irene Poli, Michele Lalla, Alberto Roverato [1996] "Lezioni di probabilità e inferenza statistica - Esercizi svolti -" pp. 302
138. Barbara Pistoresi [1996] "Is an Aggregate Error Correction Model Representative of Disaggregate Behaviours? An example" pp. 24
139. Luisa Malaguti e Costanza Torricelli [1996] "Monetary policy and the term structure of interest rates", pp. 30
140. Mauro Dell'Amico, Martine Labbé, Francesco Maffioli [1996] "Exact solution of the SONET Ring Loading Problem", pp. 20
141. Mauro Dell'Amico, R.J.M. Vaessens [1996] "Flow and open shop scheduling on two machines with transportation times and machine-independent processing times in NP-hard", pp. 10
142. M. Dell'Amico, F. Maffioli, A. Sciomechen [1996] "A Lagrangean Heuristic for the Pirze Collecting Travelling Salesman Problem", pp. 14
143. Massimo Baldini [1996] "Inequality Decomposition by Income Source in Italy - 1987 - 1993", pp. 20
144. Graziella Bertocchi [1996] "Trade, Wages, and the Persistence of Underdevelopment" pp. 20
145. Graziella Bertocchi and Fabio Canova [1996] "Did Colonization matter for Growth? An Empirical Exploration into the Historical Causes of Africa's Underdevelopment" pp. 32
146. Paola Bertolini [1996] "La modernization de l'agriculture italienne et le cas de l'Emilie Romagne" pp. 20
147. Enrico Giovannetti [1996] "Organisation industrielle et développement local: le cas de l'agroindustrie in Emilie Romagne" pp. 18
148. Maria Elena Bontempi e Roberto Golinelli [1996] "Le determinanti del leverage delle imprese: una applicazione empirica ai settori industriali dell'economia italiana" pp. 31
149. Paola Bertolini [1996] "L'agriculture et la politique agricole italienne face aux recents scenarios", pp. 20
150. Enrico Giovannetti [1996] "Il grado di utilizzo della capacità produttiva come misura dei costi di transizione. Una rilettura di 'Nature of the Firm' di R. Coase", pp. 65
151. Enrico Giovannetti [1996] "Il 1° ciclo del Diploma Universitario Economia e Amministrazione delle Imprese", pp. 25
152. Paola Bertolini, Enrico Giovannetti, Giulia Santacaterina [1996] "Il Settore del Verde Pubblico. Analisi della domanda e valutazione economica dei benefici", pp. 35
153. Giovanni Solinas [1996] "Sistemi produttivi del Centro-Nord e del Mezzogiorno. L'industria delle calzature", pp. 55
154. Tindara Addabbo [1996] "Married Women's Labour Supply in Italy in a Regional Perspective", pp. 85
155. Paolo Silvestri, Giuseppe Catalano, Cristina Bevilacqua [1996] "Le tasse universitarie e gli interventi per il diritto allo studio: la prima fase di applicazione di una nuova normativa" pp. 159
156. Sebastiano Brusco, Paolo Bertossi, Margherita Russo [1996] "L'industria dei rifiuti urbani in Italia", pp. 25
157. Paolo Silvestri, Giuseppe Catalano [1996] "Le risorse del sistema universitario italiano: finanziamento e governo" pp. 400
158. Carlo Alberto Magni [1996] "Un semplice modello di opzione di differimento e di vendita in ambito discreto", pp. 10
159. Tito Pietra, Paolo Siconolfi [1996] "Fully Revealing Equilibria in Sequential Economies with Asset Markets" pp. 17
160. Tito Pietra, Paolo Siconolfi [1996] "Extrinsic Uncertainty and the Informational Role of Prices" pp. 42
161. Paolo Bertella Farnetti [1996] "Il negro e il rosso. Un precedente non esplorato dell'integrazione afroamericana negli Stati Uniti" pp. 26
162. David Lane [1996] "Is what is good for each best for all? Learning from others in the information contagion model" pp. 18

163. Antonio Ribba [1996] "A note on the equivalence of long-run and short-run identifying restrictions in cointegrated systems" pp. 10
164. Antonio Ribba [1996] "Scomposizioni permanenti-transitorie in sistemi cointegrati con una applicazione a dati italiani" pp. 23
165. Mario Forni, Sergio Paba [1996] "Economic Growth, Social Cohesion and Crime" pp. 20
166. Mario Forni, Lucrezia Reichlin [1996] "Let's get real: a factor analytical approach to disaggregated business cycle dynamics" pp. 25
167. Marcello D'Amato e Barbara Pistoiesi [1996] "So many Italies: Statistical Evidence on Regional Cohesion" pp. 31
168. Elena Bonfiglioli, Paolo Bosi, Stefano Toso [1996] "L'equità del contributo straordinario per l'Europa" pp. 20
169. Graziella Bertocchi, Michael Spagat [1996] "Il ruolo dei licei e delle scuole tecnico-professionali tra progresso tecnologico, conflitto sociale e sviluppo economico" pp. 37
170. Gianna Boero, Costanza Torricelli [1997] "The Expectations Hypothesis of the Term Structure of Interest Rates: Evidence for Germany" pp. 15
171. Mario Forni, Lucrezia Reichlin [1997] "National Policies and Local Economies: Europe and the US" pp. 22
172. Carlo Alberto Magni [1997] "La trappola del Roe e la tridimensionalità del Van in un approccio sistemico", pp. 16
173. Mauro Dell'Amico [1997] "A Linear Time Algorithm for Scheduling Outforests with Communication Delays or Two Processor" pp. 18
174. Paolo Bosi [1997] "Aumentare l'età pensionabile fa diminuire la spesa pensionistica? Ancora sulle caratteristiche di lungo periodo della riforma Dini" pp. 13
175. Paolo Bosi e Massimo Matteuzzi [1997] "Nuovi strumenti per l'assistenza sociale" pp. 31
176. Mauro Dell'Amico, Francesco Maffioli e Marco Trubian [1997] "New bounds for optimum traffic assignment in satellite communication" pp. 21
177. Carlo Alberto Magni [1997] "Paradossi, inverosimiglianze e contraddizioni dei Van: operazioni certe" pp. 9
178. Barbara Pistoiesi e Marcello D'Amato [1997] "Persistence of relative unemployment rates across Italian regions" pp. 25
179. Margherita Russo, Franco Cavedoni e Riccardo Pianesani [1997] "Le spese ambientali dei Comuni in provincia di Modena, 1993-1995" pp. 23
180. Gabriele Pastrello [1997] "Time and Equilibrium, Two Elusive Guests in the Keynes-Hawtrey-Robertson Debate in the Thirties" pp. 25
181. Luisa Malaguti e Costanza Torricelli [1997] "The Interaction Between Monetary Policy and the Expectation Hypothesis of the Term Structure of Interest rates in a N-Period Rational Expectation Model" pp. 27
182. Mauro Dell'Amico [1997] "On the Continuous Relaxation of Packing Problems - Technical Note" pp. 8
183. Stefano Bordoni [1997] "Prova di Idoneità di Informatica Dispensa Esercizi Excel 5" pp. 49
184. Francesca Bergamini e Stefano Bordoni [1997] "Una verifica empirica di un nuovo metodo di selezione ottima di portafoglio" pp. 22
185. Gian Paolo Caselli e Maurizio Battini [1997] "Following the tracks of atkinson and micklewright the changing distribution of income and earnings in Poland from 1989 to 1995" pp. 21
186. Mauro Dell'Amico e Francesco Maffioli [1997] "Combining Linear and Non-Linear Objectives in Spanning Tree Problems" pp. 21
187. Gianni Ricci e Vanessa Debbia [1997] "Una soluzione evolutiva in un gioco differenziale di lotta di classe" pp. 14
188. Fabio Canova e Eva Ortega [1997] "Testing Calibrated General Equilibrium Model" pp. 34
189. Fabio Canova [1997] "Does Detrending Matter for the Determination of the Reference Cycle and the Selection of Turning Points?" pp. 35
190. Fabio Canova e Gianni De Nicolò [1997] "The Equity Premium and the Risk Free Rate: A Cross Country, Cross Maturity Examination" pp. 41
191. Fabio Canova e Angel J. Ubide [1997] "International Business Cycles, Financial Market and Household Production" pp. 32
192. Fabio Canova e Gianni De Nicolò [1997] "Stock Returns, Term Structure, Inflation and Real Activity: An International Perspective" pp. 33
193. Fabio Canova e Morten Ravn [1997] "The Macroeconomic Effects of German Unification: Real Adjustments and the Welfare State" pp. 34
194. Fabio Canova [1997] "Detrending and Business Cycle Facts" pp. 40
195. Fabio Canova e Morten O. Ravn [1997] "Crossing the Rio Grande: Migrations, Business Cycle and the Welfare State" pp. 37
196. Fabio Canova e Jane Marrinan [1997] "Sources and Propagation of International Output Cycles: Common Shocks or Transmission?" pp. 41
197. Fabio Canova e Albert Marcet [1997] "The Poor Stay Poor: Non-Convergence Across Countries and Regions" pp. 44
198. Carlo Alberto Magni [1997] "Un Criterio Strutturalista per la Valutazione di Investimenti" pp. 17
199. Stefano Bordoni [1997] "Elaborazione Automatica dei Dati" pp. 60
200. Paolo Bertella Farnetti [1997] "The United States and the Origins of European Integration" pp. 19
201. Paolo Bosi [1997] "Sul Controllo Dinamico di un Sistema Pensionistico a Ripartizione di Tipo Contributivo" pp. 17
202. Paola Bertolini [1997] "European Union Agricultural Policy: Problems and Perspectives" pp. 18
203. Stefano Bordoni [1997] "Supporti Informatici per la Ricerca delle soluzioni di Problemi Decisionali" pp. 30
204. Carlo Alberto Magni [1997] "Paradossi, Inverosimiglianze e Contraddizioni del Van: Operazioni Aleatorie" pp. 10
205. Carlo Alberto Magni [1997] "Tir, Roe e Van: Distorsioni Linguistiche e Cognitive nella Valutazione degli Investimenti" pp. 17
206. Gisella Facchinetti, Roberto Ghiselli Ricci e Silvia Muzzioli [1997] "New Methods For Ranking Triangular Fuzzy Numbers: An Investment Choice" pp.
207. Mauro Dell'Amico e Silvano Martello [1997] "Reduction of the Three-Partition Problem" pp. 19
208. Carlo Alberto Magni [1997] "IRR, ROE and NPV: a Systemic Approach" pp. 20
209. Mauro Dell'Amico, Andrea Lodi e Francesco Maffioli [1997] "Solution of the cumulative assignment problem with a well-structured tabu search method" pp. 25
210. Carlo Alberto Magni [1997] "La definizione di investimento e criterio del Tir ovvero: la realtà inventata" pp. 16
211. Carlo Alberto Magni [1997] "Critica alla definizione classica di investimento: un approccio sistemico" pp. 17
212. Alberto Roverato [1997] "Asymptotic prior to posterior analysis for graphical gaussian models" pp. 8
213. Tindara Addabbo [1997] "Povertà nel 1995 analisi statica e dinamica sui redditi familiari" pp. 64
214. Gian Paolo Caselli e Franca Manghi [1997] "La transizione da piano a mercato e il modello di Ising" pp. 15
215. Tindara Addabbo [1998] "Lavoro non pagato e reddito esteso: una applicazione alle famiglie italiane in cui entrambi i coniugi sono lavoratori dipendenti" pp. 54
216. Tindara Addabbo [1998] "Probabilità di occupazione e aspettative individuali" pp. 36
217. Lara Magnani [1998] "Transazioni, contratti e organizzazioni: una chiave di lettura della teoria economica dell'organizzazione" pp. 39
218. Michele Lalla, Rosella Molinari e Maria Grazia Modena [1998] "La progressione delle carriere: i percorsi in cardiologia" pp. 46
219. Lara Magnani [1998] "L'organizzazione delle transizioni di subfornitura nel distretto industriale" pp. 40
220. Antonio Ribba [1998] "Recursive VAR orderings and identification of permanent and transitory shocks" pp. 12
221. Antonio Ribba [1998] "Granger-causality and exogeneity in cointegrated VAR models" pp. 5
222. Luigi Brighi e Marcello D'Amato [1998] "Optimal Procurement in Multiproduct Monopoli" pp. 25
223. Paolo Bosi, Maria Cecilia Guerra e Paolo Silvestri [1998] "La spesa sociale nel comune Modena Rapporto intermedio" pp. 37
224. Mario Forni e Marco Lippi [1998] "On the Microfoundations of Dynamic Macroeconomics" pp. 22
225. Roberto Ghiselli Ricci [1998] "Nuove Proposte di Ordinamento di Numeri Fuzzy. Una Applicazione ad un Problema di Finanziamento" pp. 7
226. Tommaso Minerva [1998] "Internet Domande e Risposte" pp. 183
227. Tommaso Minerva [1998] "Elementi di Statistica Computazionale. Parte Prima: Il Sistema Operativo Unix ed il Linguaggio C" pp. 57
228. Tommaso Minerva and Irene Poli [1998] "A Genetic Algorithm Selection Method for Predictive Neural Nets and Linear Models" pp. 60
229. Tommaso Minerva and Irene Poli [1998] "Building an ARMA model by using a Genetic Algorithm" pp. 60
230. Mauro Dell'Amico e Paolo Toth [1998] "Algorithms and Codes for Dense Assignment Problems the State of the Art" pp. 35
231. Ennio Cavazzuti e Nicoletta Pacchiarotti [1998] "How to play an hoteling game in a square town" pp. 12
232. Alberto Roverato e Irene Poli [1998] "Un algoritmo genetico per la selezione di modelli grafici" pp. 11
233. Marcello D'Amato e Barbara Pistoiesi [1998] "Delegation of Monetary Policy to a Central Banker with Private Information" pp. 15
234. Graziella Bertocchi e Michael Spagat [1998] "The Evolution of Modern Educational Systems. Technical vs. General Education, Distributional Conflict, and Growth" pp. 31
235. André Dumas [1998] "Le système monétaire Européen" pp. 24
236. Gianna Boero, Gianluca Di Lorenzo e Costanza Torricelli [1998] "The influence of short rate predictability and monetary policy on tests of the expectations hypothesis: some comparative evidence" pp. 30
237. Carlo Alberto Magni [1998] "A systemic rule for investment decisions generalizations of the traditional DCF criteria and new conceptions" pp. 30
238. Marcello D'Amato e Barbara Pistoiesi [1998] "Interest Rate Spreads Between Italy and Germany: 1995-1997" pp. 16
239. Paola Bertolini e Alberto Bertacchini [1998] "Il distretto di lavorazioni carni suine in provincia di Modena" pp. 29
240. Costanza Torricelli e Gianluca Di Lorenzo [1998] "Una nota sui fondamenti matematico-finanziari della teoria delle aspettative della struttura della scadenza" pp. 15
241. Christophe Croux, Mario Fonti e Lucrezia Reichlin [1998] "A Measure of Comovement for Economic Indicators: Theory and Empirics" pp. 23
242. Carlo Alberto Magni [1998] "Note sparse sul dilemma del prigioniero (e non solo)" pp. 13
243. Gian Paolo Caselli [1998] "The future of mass consumption society in the former planned economies: a macro approach" pp. 21
244. Mario Forni, Marc Hallin, Marco Lippi e Lucrezia Reichlin [1998] "The generalized dynamic factor model: identification and estimation" pp. 35
245. Carlo Alberto Magni [1998] "Pictures, language and research: the case of finance and financial mathematics" pp. 35
246. Luigi Brighi [1998] "Demand and generalized monotonicity" pp. 21
247. Mario Forni e Lucrezia Reichlin [1998] "Risk and potential insurance in Europe" pp. 20
248. Tommaso Minerva, Sandra Paterlini e Irene Poli [1998] "A Genetic Algorithm for predictive Neural Network Design (GANN). A Financial Application" pp. 12
249. Gian Paolo Caselli, Maurizio UCaselli, Maurizio m(/U) "The Changing Distribution of Earnings in Poland from 1989 to 1996" pp. 9
250. Mario Forni, Sergio Paba [1998] "Industrial Districts, Social Environment and Local Growth" Evidence from Italy" pp. 27
251. Lara Magnani [1998] "Un'analisi del distretto industriale fondata sulla moderna teoria economica dell'organizzazione" pp. 46
252. Mario Forni, Lucrezia Reichlin [1998] "Federal Policies and Local Economies: Europe and the US" pp. 24
253. Luigi Brighi [1998] "A Case of Optimal Regulation with Multidimensional Private Information" pp. 20
254. Barbara Pistoiesi, Stefania Luppi [1998] "Gli investimenti diretti esteri nell'America Latina e nel Sud Est Asiatico: 1982-1995" pp. 27
255. Paola Mengoli, Margherita Russo [1998] "Technical and Vocational Education and Training in Italy: Structure and Changes at National and Regional Level" pp. 25
256. Tindara Addabbo [1998] "On-the-Job Search a Microeconomic Analysis on Italian Data" pp. 29
257. Lorenzo Bertucelli [1999] "Il paternalismo industriale: una discussione storiografica" pp. 21
258. Mario Forni e Marco Lippi [1999] "The generalized dynamic factor model: representation theory" pp. 25
259. Andrea Ginzburg e Annamaria Simonazzi [1999] "Foreign debt cycles and the 'Gibson Paradox': an interpretative hypothesis" pp. 38
260. Paolo Bosi [1999] "La riforma della spesa per assistenza dalla Commissione Onofri ad oggi: una valutazione in corso d'opera" pp. 56
261. Marcello D'Amato e Barbara Pistoiesi [1999] "Go and soothe the row. Delegation of monetary policy under private information" pp. 23
262. Michele Lalla [1999] "Sampling, Maintenance, and Weighting Schemes for Longitudinal Surveys: a Case Study of the Textile and Clothing Industry" pp. 27
263. Pederzoli Chiara e Torricelli Costanza [1999] "Una rassegna sui metodi di stima del Value at Risk (Var)"
264. Paolo Bosi, Maria Cecilia Guerra e Paolo Silvestri [1999] "La spesa sociale di Modena. La valutazione della condizione economica" pp. 74
265. Graziella Bertocchi e Michael Spagat [1999] "The Politics of Copiation" pp. 14
266. Giovanni Bonifati [1999] "The Capacity to Generate Investment. An analysis of the long-term determinants of investment" pp. 22
267. Tindara Addabbo e Antonella Cacumi [1999] "Extended Income and Inequality by Gender in Italy" pp. 40
268. Antonella Caiumi e Federico Perali [1999] "Children and Intra-household Distribution of Resources: An Estimate of the Sharing Rule of Italian Households" pp. 24
269. Vincenzo Atella, Antonella Caiumi e Federico Perali [1999] "Una scala di equivalenza non vale l'altra" pp. 23

270. Tito Pietra e Paolo Siconolfi [1999] "Volume of Trade and Revelation of Information" pp. 31
271. Antonella Picchio [1999] "La questione del lavoro non pagato nella produzione di servizi nel nucleo domestico (Household)" pp.58
272. Margherita Russo [1999] "Complementary Innovations and Generative Relationships in a Small Business Production System: the Case of Kervit" pp. 27
273. André Dumas [1999] "L'Economie de la drouge" pp. 12
274. André Dumas [1999] "L'Euro à l'heure actuelle" pp. 12
275. Michele Lalla Gisella Facchinetti [1999] "La valutazione della attività didattica: un confronto tra scale di misura e insiemi sfocati" pp.32
276. Mario Biagioli [1999] "Formazione e valorizzazione del capitale umano: un'indagine sui paesi dell'Unione Europea" pp.21
277. Mario Biagioli [1999] "Disoccupazione, formazione del capitale umano e determinazione dei salari individuali: un'indagine su microdati nei paesi dell'Unione Europea" pp. 15
278. Gian Paolo Caselli e Giulia Bruni [1999] "Il settore petrolifero russo, il petrolio del Mar Caspio e gli interessi geopolitici nell'area" pp. 28
279. Luca Gambetti [1999] "The Real Effect of Monetary Policy: a New VAR Identification Procedure" pp. 22
280. Marcello D'Amato Barbara Pistoiesi [1999] "Assessing Potential Targets for Labour Market Reforms in Italy" pp. 8
281. Gian Paolo Caselli, Giulia Bruni e Francesco Pattarin [1999] "Gaddy and Ickes Model of Russian Barter Economy: Some Criticisms and Considerations" pp. 10
282. Silvia Muzzioli Costanza Torricelli [1999] "A Model for Pricing an Option with a Fuzzy Payoff" pp. 13
283. Antonella Caiumi Federico Perali [1999] "Povertà e Welfare in Italia in Relazione alla Scelta della Scala di Equivalenza" pp.25
284. Marcello Galli Tommaso Minerva [1999] "Algoritmi Genetici per l'Evoluzione di Modelli Lineari *Metodologia ad Applicazioni*" pp. 36
285. Mario Forni Sergio Paba [1999] "Knowledge Spillovers and the Growth of Local Industries" pp. 20
286. Gisella Facchinetti Giovanni Mastroleo [1999] "Un confronto tra uno score card ed un approccio fuzzy per la concessione del credito personale" pp.27
287. Gisella Facchinetti Giovanni Mastroleo e Sergio Paba [1999] "A Statistical and Fuzzy Algorithm for the Identification of Industrial Districts" pp. 6
288. Tommaso Minerva [1999] "Didattica e Informatica- *Una indagine Statistica relativa alla Provincia di Modena sul rapporto tra Insegnanti e Nuove Tecnologie*" pp. 46
289. Andrea Ginzburg [1999] "Sraffa e l'analisi sociale: alcune note metodologiche" pp. 37
290. Consolato Pellegrino Carla Fiori [1999] "Piani Formalmente Euclidei" pp. 11
291. Nicolina A. Malara, Maria Teresa Brandoli e Carla Fiori [1999] "Comportamenti di Studenti in Ingresso all'Università di Fronte allo Studio di Diseguaglianze" pp. 15
292. Consolato Pellegrino Maria Teresa Brandoli [1999] "Il Principio D'Induzione Euristica-Mente Parlando" pp. 11
293. Paolo Bertella Farnetti [1999] "Winston Churchill e l'unità europea" pp. 25
294. Tindara Addabbo Massimo Baldini [1999] "Safety net and poverty dynamics in Italy in the early nineties" pp. 23
295. Margherita Russo [2000] "Innovation Dynamics and Industrial Dynamics Agents/Artifacts Space in Tile Decoration: from Silk Screen to Laser Engraved Silicon Cylinder" pp. 45
296. Gianluca Masci e Margherita Russo [2000] "L'attività brevettale nel distretto ceramico, 1971-1998" pp. 41
297. Paola Mengoli e Margherita Russo [2000] "Competenze, innovazione e sviluppo locale" pp. 31
298. Gian Paolo Caselli e Tommaso Minerva [2000] "The Transition Process in Russia and China and the Ising Model" pp. 30
299. Gisella Facchinetti, Giovanni Mastroleo e Sergio Paba [2000] "A Fuzzy Approach to the Empirical Identification of Industrial Districts" pp. 7
300. Tommaso Minerva, Irene Poli and Sebastiano Brusco [2000] "A Cellular Automaton as a Model to Study the Dynamics of an Industrial District" pp. 6
301. Gisella Facchinetti [2000] "Il problema della misurazione del rischio di credito: una rassegna critica di metodologie" pp. 13
302. Marco Mazzoli [2000] "Investments and Financial Structure with Imperfect Financial Markets: an Intertemporal Discrete-Time Framework" pp.13
303. Giuseppe Marotta [2000] "Il credito commerciale in Italia: evidenza su dati d'impresa" pp. 29
304. Marco Mazzoli [2000] "Credit Channel and Industrial Firms' Market power" pp. 15
305. Gisella Facchinetti e Giovanni Mastroleo [2000] "The Mamdani and the γ -operator in a Fuzzy Logic Control System" pp. 17
306. Giovanni Solinas e Giovanni Mastroleo [2000] "Benchmarking certificazione della qualità e piccole imprese. La sperimentazione di un modello europeo nelle piccole imprese in Emilia Romagna" pp. 45
307. Margherita Russo, Giorgio Allari, Silvano Bertini, Paolo Bonaretti, Elio De Leo, Giuseppe Fiorani and Gianni Rinaldini [2000] "The Challenges for the Next Debate: Notes for a debate on the Development of the Emilia-Romagna Region" pp. 27
308. Giovanni Mastroleo [2000] "L' integrazione dell'indagine statistica con l'approccio fuzzy nel controllo di efficacia: il monitoraggio sugli obiettivi raggiunti nell'ambito di un P.O.M" pp. 24
309. Gisella Facchinetti, Stefano Bordini e Giovanni Mastroleo [2000] "Bank Creditworthiness Using Fuzzy Systems: A Comparison with a Classical Analysis Approach" pp. 13
310. Margherita Russo e Raffaele Giardino [2000] "Struttura e cambiamento nelle relazioni tra le imprese meccaniche. I. La popolazione di imprese meccaniche della provincia di Modena procedure impiegate per integrare le informazioni amministrative del Registro Imprese e dell'Inps" pp. 32
311. Tommaso Minerva e Sandra Paterlini [2000] "Tecniche Computazionali per la Statistica, l'Economia e la Finanza, *Materiale Didattico a Supporto del Corso di Statistica Computazionale*" pp.52
312. Costanza Torricelli e Silvia Muzzioli [2000] "Combining the Theory of Evidence with Fuzzy Sets for Binomial Option Pricing" pp.20
313. Marco Mazzoli e Roberto Negrini [2000] "Strumenti finanziari negoziabili e incentivo-compatibili per le imprese cooperative. *Alcune considerazioni teoriche e di policy*" pp. 32
314. Giacomo Galeotti e Tommaso Minerva [2000] "Algoritmi ibridi per l'ottimizzazione di un Portafoglio Azionario. *Simulazione stocastica filtrata mediante wavelet decomposition*" pp.33
315. Alberto Roverato [2000] "Hyper Inverse Wishart Distribution for Non-Decomposable Graphs and its Application to Bayesian Inference for Gaussian Graphical Models" pp. 29
316. Carlo Alberto Magni [2000] "Scomposizione di sovrapprofitti: Economic Value Added e valore aggiunto sistematico" pp. 25
317. Carlo Alberto Magni [2000] "Decomposition of a Certain Cash Flow Stream: Systemic Value Added and Net Final Value" pp. 30
318. Carlo Alberto Magni [2000] "Systemic Value Added, Residual Income and Decomposition of a Cash Flow Stream" pp 27
319. Gisella Facchinetti e Giovanni Mastroleo [2000] "La valutazione del rischio di frode nel ramo assicurativo R.C. auto: una proposta in logica Fuzzy" pp. 16
320. Gian Paolo Caselli e Gabriele Pastrello [2000] "Eltsin: Dimissioni o Licenziamento?" pp. 18
321. Gisella Facchinetti, Carlo Alberto Magni e Giovanni Mastroleo [2000] "Real Options: a Fuzzy Approach for Strategic Investments" pp.44
322. Stefano Bordini [2000] "Applicazione Fuzzy per la determinazione del premio assicurativo" pp. 35
323. Gabriele Pastrello [2000] "Una distrazione di Marx" pp. 17
324. Marco Mazzoli [2000] "Canale creditizio, struttura di mercato, modifiche istituzionali e meccanismo di trasmissione della politica monetaria" pp. 18
325. Paola Bertolini e Luca Riazzi [2000] "L'applicabilità dello strumento futures al Mediterraneo riflessioni su un fallimento" pp.28
326. Enrico Giovanetti [2000] "Istituzioni e costi transattivi: l'impatto della regolazione dell'offerta nelle filiere agroindustriali" pp. 26
327. Gian Paolo Caselli e Marta Rosso [2000] "La moneta elettronica: aspetti di regolamentazione finanziaria".
328. Barbara Pistoiesi e Chiara Strozzi [2000] "Labor Productivity and Labor Cost Dynamics in Italy: the Role of Wage Bargaining" pp. 23
329. Carlo Alberto Magni [2000] "Valore Aggiunto Sistemico: un'alternativa all'EVA quale indice di sovrapprofito periodale" pp.11
330. Carlo Alberto Magni [2000] "Ori Decomposing Net Final Values: Systemic Value Added and Shadow Project" pp. 26
331. Massimo Baldini [2000] "MAPP98: un Modello di Analisi delle Politiche Pubbliche" pp. 24
332. Paolo Bosi, Massimo Baldini, Maria Cecilia Guerra e Paolo Silvestri [2000] "La scelta tra ICI e Addizionale all'Irpef nella Politica tributaria locale: aspetti distributivi" pp. 27
333. Marina Murat e Sergio Paba [2000] "Flussi migratori e modelli di sviluppo industriale- *L'esperienza italiana dal dopoguerra agli anni novanta*" pp. 32
334. Marco Mazzoli e Roberto Negrini [2000] "Incentive-Compatible Financial Instruments for Co-Operative Firms: a Few Policy Considerations" pp. 27
335. Massimo Baldini e Paolo Bosi [2000] "Riforme trasparenti e proposte opache" pp. 10
336. Paolo Bosi [2000] "La selettività nelle politiche sociali in Italia: riflessioni sull'esperienza dell'Ise" pp. 16
337. Massimo Baldini, Paolo Bosi e Stefano Toso [2000] "Targeting Welfare in Italy: Old Problems and Perspectives of Reform" pp. 21
338. Tindara Addabbo e Massimo Baldini [2000] "The Gender Impact of Workfare Policies in Italy and the Effect of Unpaid Work" pp. 15
339. Gian Paolo Caselli e Thoma Grid [2000] "La storia economica albanese 1912-1939 e lo stabilirsi dell'egemonia italiana" pp. 46
340. Tommaso Minerva [2000] "La costruzione di modelli con algoritmi genetici" pp. 183
341. Giovanni Bonifati [2000] "PRODUZIONE, INVESTIMENTI E PRODUTTIVITA'. Rendimenti crescenti e cambiamento strutturale nell'industria manifatturiera americana (1960-1994)" pp. 43
342. Luciano Messori [2000] "Struttura e quantificazione di una imposizione fiscale Pigouviana sulla benzina" pp. 20
343. Carlo Alberto Magni [2000] "Zelig and the Art of Measuring Residual Income" pp. 18
344. Sandra Paterlini, Stefano Favaro e Tommaso Minerva [2001] "Genetic Approaches for Data Clustering" pp. 4
345. Enrico Giovanetti [2001] "Processi di vita delle imprese cooperative: mezzo secolo di cooperazione a Modena, dal dopoguerra a oggi" pp. 34
346. Giuseppe Marotta [2001] "Is Trade Credit More Expensive Than Bank Loans? Evidence from Italian Firm-level Data" pp. 26
347. Massimo Baldini e Paolo Bosi [2001] "Flat Rate Tax, Dividendo sociale e riforma dei programmi di spesa di assistenza" pp. 34
348. Paolo Bosi e Maria Cecilia Guerra [2001] "Meno Tasse per tutti: lusinghe e ambiguità di uno slogan" pp. 17
349. Danilo Mercurio e Costanza Torricelli [2001] "Estimation and Arbitrage Opportunities for Exchange Rate Baskets" pp. 27
350. Caselli e Grid Thoma [2001] "L'economia Albanese durante il secondo conflitto mondiale e il primo tentativo di pianificazione" pp n. 33
351. Massimo Baldini e Carlo Mazzaferro [2001] "Sistema pensionistico e distribuzione dei redditi in Italia dal 1997 al 1998: un'analisi sull'archivio storico dell'indagine campionaria della banca d'Italia" pp.16
352. Silvia Giannini [2001] "La tassazione del reddito d'impresa e le scelte di investimento, finanziamento e localizzazione dell'attività produttiva" pp.
353. Michele Baccarini [2001] "Un quadro normativo delle fattispecie contrattuali "atipiche" in Italia. *Disciplina legislativa e definizioni statistiche del lavoro a tempo parziale*" pp. 29
354. Michele Baccarini [2001] "Sul grado di volontarietà e di sottoccupazione del lavoro dipendente "atipico". *Un'analisi delle valutazioni dei lavoratori*" pp. 43
355. Maria Cecilia Guerra [2001] "La Previdenza Complementare deve essere incentivata fiscalmente?" pp. 22
356. Gabriele Pastrello [2001] "An Oversight of Marx's" pp. 66
357. Alberto Roverato e Consonni Guido [2001] "Compatible prior distributions for DAG models" pp. 28
358. Luigi Brighi e Reinhard John [2001] "Characterizations of Pseudomonotone Maps and Economic Equilibrium" pp.25
359. Luigi Brighi [2001] "A Stronger Criterion for the Weak Weak Axiom" pp.16
360. Luigi Brighi [2001] "The Weak Axiom, the σ -Axiom and Complete Non-Transitive Rationality" pp.14
361. Luigi Brighi e Reinhard John [2001] "Some Conditions for Wald's Weak Axiom" pp. 10
362. Sebastiano Brusco, Tommaso Minerva e Giovanni Solinas [2001] "Un automa cellulare per lo studio dei distretti industriali" pp. 30
363. Nicola Walter Palmieri [2001] "Internet e la libertà di espressione" pp. 65
364. Marco Mazzoli [2001] "A Simple Enquiry on Heterogeneous Lending Rates and Lending Behaviour" pp. 37
365. Massimo Baldini e Paolo Onofri [2001] "Transizione demografica e mercati finanziari" pp. 19
366. Marco Mazzoli [2001] "Industrial Firms' Market Power and Credit Market Oligopsony in Developing Countries" pp.14
367. Gisella Facchinetti, Silvio Giove e Nicoletta Pacchiarotti [2001] "Optimisation of a Fuzzy non Linear Function" pp. 10
368. Silvia Muzzioli e Costanza Torricelli [2001] "Implied Trees in Illiquid Markets: a Choquet Pricing Approach" pp. 18