

**DICMA**  
**Rete ALFA - FARO**

General Editors  
Roberto Bruno - Sara Focaccia (Eds)



# **Formazione Avanzata nel Settore delle Rocce Ornamentali e delle Geoelaborazioni**

*Formação Avançada no Setor das Rochas Ornamentais  
e do Geoprocessamento*

*A cura di:*

**Roberto Bruno - Sara Focaccia (Eds)**

ASTE RISCO  
ASTE RISCO  
ASTE RISCO  
EDIZIONI



Proprietà letteraria riservata.  
© Copyright 2009 degli autori  
Tutti i diritti riservati

Formazione Avanzata nel Settore delle Rocce Ornamentali  
e delle Geoelaborazioni

*Formação Avancada no Setor das Rochas Ornamentais  
e do Geoprocessamento*

A cura di:

Roberto Bruno - Sara Focaccia (Eds)

ISBN 978-88-902128-9-5

Versione elettronica disponibile alla pagina  
<http://amsacta.cib.unibo.it/archive/00002544/>

Stampa a richiesta eseguita da:  
Asterisco Snc Tipografia Digitale  
Via Belle Arti, 31 a/b – 40126 Bologna  
Tel 051 236866 – Fax 051 261105  
mail: [grafica@asteriscosnc.it](mailto:grafica@asteriscosnc.it)  
[www.asteriscosnc.it](http://www.asteriscosnc.it)

# INDICE

<b>Prefazione</b>	4
<b>Lista delle università partecipanti</b>	8
<b>Lista degli autori</b>	9
<b>Introduzione</b>	12

## Parte I – La tecnologia della caratterizzazione.

1. **La caratterizzazione non distruttiva dei prodotti lapidei: verso il marchio d'origine tipo DOP** –*Non destructive characterization of stone products: towards PDO like mark*  
Stefano Bonduà, Roberto Bruno e Francesca Martoro 20
2. **Analisi di immagine per la qualificazione del prodotto e l'incremento della competitività - *Image analysis to qualify the product and increase its competitiveness***  
Stefano Bonduà, Roberto Bruno e Francesca Martoro 42
3. **Analisi di Immagine macroscopica dei graniti – *Análise de imagem macroscópica de granitos***  
Pedro Pina e José Saraiva 53
4. **Tecniche di elaborazione digitale delle immagini applicata alla classificazione delle rocce ornamentali: uso delle componenti principali per il calcolo del variogramma - *Técnicas de processamento digital de imagens aplicadas à classificação de rochas ornamentais: uso de componentes principais para cálculo do variograma***  
Charles Rezende Freitas, Roberto Bruno e Ana Clara Mourao Moura 67
5. **Studio comparativo sull'applicazione di algoritmi di classificazione delle immagini da satellite e scelta delle immagini per l'identificazione delle georisorse in aree interessate da coltivazioni minerarie – Il caso di Nova Lima, Minas Gerais – Brasile – *Estudo comparativo de aplicação de algoritmos de imagens de satellite e escolha de imagens para a identificação de georecursos em áreas de atividades mineradoras – Estudo de caso em Nova***

Lima

Vladimir Diniz Vieira Ramos, Ana Clara Mourão Moura e  
Pedro Pina 84

5. **La geolaborazione nella gestione del paesaggio minerario – Confronto di metodologie per l'analisi ed il monitoraggio ambientale delle georisorse -**  
*Geoprocessamento na gestao da paisagem minerada*  
Ana Clara Mourão Moura 102
7. **Modellazione del GIS e dell'analisi multicriterio nel nostro studio delle aree favorevoli alla prospezione e estrazione delle rocce ornamentali -**  
*Modelagem de GIS e análise multicritérios nos estudos de áreas favoráveis a prospecção e extração de rochas ornamentais*  
R. Hungari, A. C. M. Moura, S. A. Santana, M. M. Moura, M. Campello e A. G. Costa 153
8. **Modellazione della comunicazione WebGIS a supporto della prospezione e della coltivazione delle rocce ornamentali -**  
*Modelagem da comunicação WebGIS para apoio a la gestao da prospecção e da extração de rochas ornamentais*  
S. A. Santana, A. C. M. Moura, R. Hungari, M. M. Mourão e M. S. Campello 187

## **Parte II – La caratterizzazione dei materiali lapidei.**

9. **Caratterizzazione delle rocce ornamentali portoghesi sulla base delle loro caratteristiche fisico-meccaniche -**  
*Caracterização de rochas ornamentais portuguesas com base nas suas propriedades físico-mecânicas*  
Victor Lamberto e José Saraiva 239
- 10- **Uso ornamentale dei basalti della provincia di Misiones, Argentina. Caratterizzazione di base e analisi tecnologiche. -**  
*Uso ornamental de basaltos de la Provincia de Misiones, Argentina. Caracterización básica y ensayos tecnológicos*  
Susana E. Ciccioli e Isidoro B. Schalamuk 254
11. **Caratterizzazione tecnologica delle varietà di graniti ornamentali “Rojo Sierra Chica” e “Labradorita”, Regione di Olavarria, Buenos Aires, Argentina -**  
*Caracterización tecnológica de las variedades de*

- granitos ornamentales “Rojo Sierra Chica” y “Labradorita”, partido de Olavarria, Buenos Aires, Argentina.*  
D. Marchionni, R. Barrio, N. Coriale, H. Echeveste, I. Schalamuk, M. Tessone, B. Ravaglia e R. Bruno 266
- 12. Nuove varietà di rocce ornamentali della provincia di Buenos Aires, Repubblica Argentina: catalogo illustrato - *Nuevas variedades de rocas ornamentales de la Provincia de Buenos Aires, República Argentina : catalogo ilustrado***  
D. Marchionni, H. Echeveste, N. Coriale e N. Ronconi 281
- 13. Le rocce ignimbriche, rocce ornamentali nel centro storico di Morelia, Michoacan, Messico – *Las ignimbritas, rocas ornamentales del Centro Histórico de Morelia***  
W.M. Molina, E.M.A. Guzman, J.C.R. Avalos e F.A.V. Avalos 298
- 14. Caratterizzazione fisica e chimica e diagnostica del processo di deterioramento della Formazione Calcareo de La Tampa usata nelle architetture di Medellín (Colombia). - *Physical and chemical characterization and diagnostic of deterioration Process of La Tampa Formation Limestones used in the architecture of Medellín (Colombia).***  
J. E. B. Becerra, A.G. Costa e R. Bruno 321
- 15. Rocce ornamentali nei monumenti: una guida per la caratterizzazione e la valutazione - *Ornamental stones in monuments: a guide for the characterisation and evaluation***  
A.G. Costa, R. Bruno e J.E. Becerra-Becerra 340
- 16. Rocce Ornamentali dell'Argentina: le loro potenzialità - *Rocas Ornamentales de Argentina. Su potencialidad***  
I. Schalamuk, D. Marchionni e S. Ciccioli 358

## PREFAZIONE

Il mio primo progetto supportato dalla Commissione Europea data dagli anni 1980, era centrato su temi dell'Ingegneria Mineraria e da allora ho sempre tratto vantaggio dai finanziamenti comunitari per il mio lavoro accademico. Adesso posso affermare che la mia formazione scientifica è stata profondamente influenzata dalla partecipazione a collaborazioni internazionali. Non è necessario giustificare il ruolo essenziale degli scambi nella formazione di studenti e ricercatori. Io spingo sempre i miei studenti a sfruttare le opportunità offerte dai programmi comunitari come, ad es., l'ERASMUS.

La mia esperienza internazionale, nei primi venti anni, è stata legata principalmente agli scambi all'interno dell'Unione Europea, al di là di una lunga partecipazione alla Cooperazione Universitaria Italiana in Angola, ove ho appreso il Portoghese. Così, quando sono approdato all'Università di Bologna, sono stato ben felice di assumere la responsabilità di coordinare un accordo bilaterale di collaborazione didattico - scientifica fra l'"Alma Mater" e l'Università Federale di Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasile, uno dei membri della rete FARO. Si è trattato del punto di partenza di uno stimolante rapporto con l'America Latina, che ogni giorno si consolida e cresce.

Quando ho visto l'opportunità di proporre una rete nel quadro del programma ALFA, come al solito nel caso di progetti europei, ho subito contattato i miei vecchi amici e colleghi portoghesi e spagnoli per domandare loro cosa ne pensassero. E, come al solito, l'entusiasmo ha guidato le nostre scelte. Ciascuno di noi ha messo nel progetto i propri collegamenti ed alla fine è nato il progetto FARO, una rete di sei Università tra le più importanti del vecchio e del nuovo continente: l'"Alma Mater" di Bologna, Italia; l'Instituto Superior Técnico di Lisbona, Portogallo; l'Universitat Autònoma de Barcelona, Spagna; l'Universidade Federal de Minas Gerais, Brasile; l'Universidad Nacional de La Plata, Argentina; l'Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Messico. Ero consapevole delle difficoltà, soprattutto amministrative, per coordinare una rete composta da paesi così distanti, ma ho raccolto la sfida, convinto che i risultati sarebbero stati molto importanti. E questo volume è uno dei risultati del lavoro svolto nel corso degli ultimi quattro anni, raccoglie contributi di studenti di Master e Dottorato, così come di ricercatori giovani e senior, tutti concentrati sull'oggetto della rete: le rocce ornamentali.

I paesi Latino-Europei, principalmente Italia, Spagna e Portogallo in ordine di importanza, sono sempre stati al top della produzione mondiale e del consumo dei lapidei e perciò condividono una specifica cultura. Ma oggi Cina, India, Turchia, Iran, sono entrati nella competizione globale ed il ruolo guida delle vecchie nazioni è oramai finito, almeno nei termini in cui in passato influenzavano il mercato. La risposta classica e corretta alla concorrenza di



prodotti a basso costo è un prodotto di alta tecnologia/qualità. Ciò implica della ricerca in un comparto industriale assolutamente estraneo a simili investimenti, date anche le piccole dimensioni delle imprese. Di fatto, quel poco di ricerca ed evoluzione tecnologica nel settore dei lapidei si sviluppa principalmente grazie alle Università che se ne occupano, anche esse poche, quasi sempre senza alcun aiuto da parte dell'industria. Ma il settore industriale dei lapidei in Europea riveste una certa importanza e si è sempre potuto contare sul supporto dell'Unione Europea. Cito ad esempio alcune reti, come OSNET, la Rete Europea sulle Rocce Ornamentali (<http://www.osnet.ntua.gr>).

Pertanto, il ruolo istituzionale dell'Università, didattica e ricerca, è strategico per aiutare il settore europeo dei lapidei ad affrontare la competizione globale. E la vocazione cooperativa della ricerca universitaria richiede delle controparti con una cultura e livello scientifico simile. Se notiamo come paesi emergenti in America Latina, ad es. il Brasile, hanno raggiunto dei livelli produttivi equivalenti e se consideriamo le relazioni più che agevoli e la sintonia fra Paesi Latino-Americani e Latino-Europei; allora abbiamo capito l'essenza di FARO, Formação Avançada no Sector das Rochas Ornamentais, una rete volta a migliorare la formazione di chi opera nel settore lapideo, mediante lo scambio di esperienze e lo sviluppo di nuove tecnologie.

Questa è la versione italiana dell'edizione dei risultati di FARO; altre 5 seguiranno, una per ogni paese delle Università partner. Non vi sono riportati tutti i lavori svolti, ma comunque il testo si occupa di temi fondamentali per la ricerca attuale. Sono convinto che sia l'industria, sia le istituzioni pubbliche possono trovarvi degli ottimi elementi per migliorare sensibilmente la propria missione.

*Prof. Ing. Roberto Bruno*  
*Dip. di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle*  
*Tecnologie Ambientali*  
*Università di Bologna*

## FOREWORD

My first research project supported by the European Commission dates from 1980, it was in the field of Mining Engineering and since then I have always taken advantage of the EC funding for my academic work. Now I can state that my scientific formation has been strictly conditioned by the participation to the international cooperation. There is no need of justifying the essential role of exchanges in students and researchers training. I do incite every year my students to exploit the opportunities of EU programmes as, for example, the ERASMUS.

My personal experience, in the first twenty years, has been mainly linked to EU exchanges, besides a long participation to the Italian University Cooperation with Angola, where I learned the Portuguese language. So, when I moved to Bologna University, I have been happy to take the responsibility of coordinating a bilateral agreement of didactic/scientific cooperation between the “Alma Mater” and the Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil, one of FARO partners. It has been the starting point of a stimulating relationship with the Latin America that every day consolidates and grows.

When I saw the opportunity of proposing a network in the frame of the ALFA programme, as usual in case of European projects, I contacted my old university friends and colleagues from Portugal and Spain, for asking their opinion. And, as usual, the enthusiasm guided our decisions. Each one of us put in the project their connections and finally the FARO project came up, a network of 6 Universities among the most important of the Old and new continent: the “Alma Mater” of Bologna, Italy; the Instituto Superior Técnico of Lisbon, Portugal; the Universitat Autònoma de Barcelona, Spain; the Universidade Federal de Minas Gerais, Brazil; the Universidad Nacional de La Plata, Argentina; the Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Mexico. I was aware of the difficulties, mainly administrative, for coordinating a network of Universities so far away, but I accepted the challenge, convinced that the results would have been very important. And this book is one of the results of the work done during this last four years, it collects contributions of Master and PhD students as well as of young and senior researchers, all focused on the object of the network: the ornamental stones.

The Latin European countries, basically Italy, Spain and Portugal in order of importance, have been always at the top of the stone world production and use, therefore there is a common culture. But nowadays China, India, Turkey, Iran, have come into the global competition and the leading role of former countries is almost over, at least in the way they influenced the market in the past. The classical and correct answer to the low-cost products competition is a high-technology/quality product. This implies research in an industrial field

absolutely alien to such investments, given also the very small size of the companies. In fact, mainly thanks to the few Universities involved, there is some research and technological evolution in this field, often without any help by the industry. But the industrial field has its own relevance in Europe, and we always counted on the EU support. Examples are former networks as OSNET Ornamental Stones Network (<http://www.osnet.ntua.gr>).

Therefore, the institutional role of universities, teaching and research is strategic for helping the EU stone sector to sustain the global competition. And the cooperative calling of university research needs counterparts with a similar culture and scientific level. If we remark that emerging countries in Latin America, for instance Brazil, have reached equivalent production levels and if we consider the very easy relationship and the good feeling among Latin-American and Latin-European Countries; then we understood the essence of FARO, Formação Avançada no sector das Rochas Ornamentais, a network aimed to improve the education of the people linked to the stone sector, through the exchange of experiences and the development of new technologies.

This edition of FARO results is the Italian one, other five will follow, one for each of the University partners countries. Not every work done is reported, however the book deals with the main subjects of the actual research. I do think that both, industry and public institutions, can find good elements for noticeably improving their mission.

*Prof. Ing. Roberto Bruno*  
*Dept. of Chemical, Mining and Environmental*  
*Technologies Engineering*  
*University of Bologna*

## LISTA DELLE UNIVERSITA' PARTECIPANTI

### *Europa*



Università degli Studi di Bologna, Via Zamboni 33, Bologna, 40100- Italia  
Unità responsabile del Progetto: DICMA- Dipartimento di Ingegneria  
Chimica Mineraria e delle Tecnologie Ambientali- Via Terracini 23,  
Bologna

<http://www.dicma.ing.unibo.it>



Instituto Superior Tecnico, Av. Rovisco Pais, Lisbona, 1049-001-  
Portogallo

Unità responsabile del Progetto: CVRM- Centro di Valorizzazione  
delle Risorse Minerarie

<http://www.ist.utl.pt/>



Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra (Cerdanyola  
del Vallès), 08913-Spagna

Unità responsabile del Progetto: Dipartimento di Geologia,  
Barcellona, 08913-Spagna

<http://www.uab.es>

### *America Latina*



Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antonio Carlos 6627, Belo  
Horizonte, 31-270.901 -Brasile

Unità responsabile del Progetto: Istituto di Geoscienze

<http://www.ufmg.br/>



Universidad Nacional de La Plata, Calle 7 e/47 e48, La Plata, 1900-  
Argentina

Unità responsabile del Progetto: INREMI, Istituto delle Risorse Minerarie

<http://www.unlp.edu.ar/>



Universidad Michoacana de San Hidalgo, Calle Santiago Tapia 403,  
Morelia, Michoacan, 58000-Messico

Unità responsabile del Progetto: Laboratorio dei Materiali, Facoltà di  
Ingegneria Civile, Av. Fco J. Mugica S/N, Morelia, Michoacan, Messico

<http://www.umich.mx>

## LISTA DEGLI AUTORI

### **Sheyla Aguilar de Santana**

Universidade Federal de Minas Gerais - IGC – Lab. de Geoprocessamento,  
Belo Horizonte, Brasile

e-mail: [shesantana@gmail.com](mailto:shesantana@gmail.com)

### **J. C. Rubio Avalos**

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de  
Hidalgo, Morelia, Michoacán, Messico

e-mail:

### **F. A. Velasco Ávalos**

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de  
Hidalgo, Morelia, Michoacán, Messico

e-mail:

### **Raul de Barrio**

Instituto de Recursos Minerales (UNLP – CIC), La Plata, Argentina.

e-mail: [debarrio@inremi.unlp.edu.ar](mailto:debarrio@inremi.unlp.edu.ar)

### **Javier Eduardo Becerra-Becerra**

IGC, Università Federale di Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasile

e-mail: [javierbecerra2003@yahoo.com](mailto:javierbecerra2003@yahoo.com)

### **Roberto Bruno**

Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali,  
DICMA, Università di Bologna, Italia

e-mail: [roberto.bruno@unibo.it](mailto:roberto.bruno@unibo.it)

### **Marcos dos Santos Campello**

Universidade Federal de Minas Gerais - IGC – Doutorado em Geologia, Belo  
Horizonte, Brasile

e-mail: [mscampello2005@yahoo.com.br](mailto:mscampello2005@yahoo.com.br)

### **Susana Ciccioli**

Instituto de Recursos Minerales (UNLP-CIC), La Plata, Argentina

e-mail: [suciccioli@hotmail.com](mailto:suciccioli@hotmail.com)

### **Nelson Coriale**

Dirección Provincial de Minería, provincia de Buenos Aires. Calle 50  
N°873/875, La Plata (1900), Argentina.

e-mail: [ncoriale@mp.gba.gov.ar](mailto:ncoriale@mp.gba.gov.ar)

**Antonio Gilberto Costa**

IGC, Università Federale di Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasile

e-mail: [ag.costa@uol.com.br](mailto:ag.costa@uol.com.br)

**Horacio Echeveste**

Instituto de Recursos Minerales (UNLP – CIC), La Plata, Argentina.

e-mail: [hecheves@inremi.unlp.edu.ar](mailto:hecheves@inremi.unlp.edu.ar)

**Charles Rezende Freitas**

Dep. de Cartografia/IGC da Universidade Federal de Minas Gerais

e-mail: [charlesrf@ufmg.br](mailto:charlesrf@ufmg.br)

**Elia Mercedes Alonso Guzmán**

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, Messico

e-mail: [calonso@zeus.umich.mx](mailto:calonso@zeus.umich.mx)

**Renata Hungari**

Universidade Federal de Minas Gerais - IGC – Lab. de Geoprocessamento, Belo Horizonte, Brasile

e-mail: [renata.hungari@gmail.com](mailto:renata.hungari@gmail.com)

**Victor Lamberto**

CERENA / Centro de Recursos Naturais e Ambiente, Instituto Superior Técnico, Lisboa e Dept. Geociências, Univ. Évora, Portugal

**Daniela Marchionni**

Instituto de Recursos Minerales (UNLP-CIC), La Plata, Argentina

e-mail: [dmarchi@inremi.unlp.edu.ar](mailto:dmarchi@inremi.unlp.edu.ar)

**Wilfrido Martínez Molina**

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, Messico

e-mail: [wmmolina@zeus.umich.mx](mailto:wmmolina@zeus.umich.mx)

**Ana Clara Mourão Moura**

Universidade Federal de Minas Gerais - IGC – Lab. de Geoprocessamento, Belo Horizonte, Brasile

e-mail: [anaclara@ufmg.br](mailto:anaclara@ufmg.br)

**Marcela Moura Mourão**

Universidade Federal de Minas Gerais - IGC – Doutorado em Geologia, Belo Horizonte, Brasile

e-mail: [marcela.mmoura@yahoo.com.br](mailto:marcela.mmoura@yahoo.com.br)

**Pedro Pina**

Instituto Superior Técnico –Departamento de Engenharia de Minas e Georecursos, Lisboa, Portugal

e-mail: [ppina@mail.ist.utl.pt](mailto:ppina@mail.ist.utl.pt)

**Vladimir Diniz Vieira Ramos**

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasile

e-mail: [vladbh@terra.com.br](mailto:vladbh@terra.com.br)

**Barbara Ravaglia**

Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali (DICMA). Università di Bologna, Italia

**José Saraiva**

CERENA – Centro de Recursos Naturais e Ambiente, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal

e-mail: [jose.saraiva@ist.utl.pt](mailto:jose.saraiva@ist.utl.pt)

**Isidoro Schalamuk**

Instituto de Recursos Minerales (UNLP-CIC), La Plata, Argentina

e-mail: [ischala@inremi.unlp.edu.ar](mailto:ischala@inremi.unlp.edu.ar)

**Mario Tessone**

Instituto de Recursos Minerales (UNLP – CIC), La Plata, Argentina.

## INTRODUZIONE

Questa è la prima Edizione che raccoglie i principali lavori scientifici dei partecipanti al programma di scambio FARO - Formação Avançada no Setor das Rochas Ornamentais e do Geoprocessamento (2005-2009), una rete centrata sulle rocce ornamentali o, per dirla in maniera corrente, su “marmi e graniti”.

L’obiettivo della rete FARO era:

- rafforzare le relazioni accademiche nell’ambito della caratterizzazione e gestione delle Rocce Ornamentali, fra i paesi di riferimento per l’industria dei lapidei, nell’Unione Europea ed in America Latina;
- integrare le capacità delle Università nella formazione di studenti e laureati, affrontando così il problema della carenza strutturale di formazione specialistica e di ricerca avanzata in questo settore industriale;
- favorire lo scambio di esperienze tecniche, scientifiche e formative fra docenti, ricercatori e studenti, data la vasta gamma dei temi e specializzazioni inerenti al settore;
- costruire dei flussi permanenti di scambio ed attivare il riconoscimento mutuo dei titoli post-laurea.

Le scuole coinvolte appartengono ai settori dell’Ingegneria Civile e Mineraria e delle Geoscienze. Non vi era uno specifico tema da approfondire, anche se ogni Scuola ha un suo campo di interesse specifico e competenze di punta. Al contrario, il programma di scambi doveva favorire l’integrazione delle differenti competenze avanzate dei partner. E questa raccolta di lavori dimostra il successo dell’iniziativa, in termini di lavoro comune e di ampio spettro di temi trattati. Pertanto si è scelto di intitolare il volume direttamente con il solo nome della rete.

In realtà, una “filo” comune sottintende tutti i vari lavori, ed è la questione della “caratterizzazione”. La caratterizzazione è l’azione che produce l’informazione necessaria a prendere le decisioni e ciascuna decisione ha bisogno dei propri dati caratterizzanti. Le scuole aderenti alla rete FARO affrontano diverse questioni, svolgono delle analisi specifiche e tentano di offrire delle soluzioni mediante delle caratterizzazioni le più avanzate possibile.

I contributi sono stati raggruppati in due Sezioni: I) La tecnologia della caratterizzazione; II) La caratterizzazione dei materiali. Nella prima sezione sono stati raccolti i lavori in cui è prevalente l’attenzione alle nuove tecnologie o alle nuove applicazioni delle tecnologie. La seconda sezione raccoglie contributi maggiormente centrati sui materiali nuovi o poco noti. In realtà, ciascuna sezione potrebbe essere ulteriormente suddivisa in sottosezioni in



funzione del criterio scelto e ciascun lavoro potrebbe ricadere in differenti sezioni /sottosezioni in funzione degli aspetti a cui si vuole dare risalto.

La caratterizzazione dei lapidei è un'attività che interessa normalmente differenti settori della società, come l'industria estrattiva, delle costruzioni civili, della tecnologia; o come le istituzioni culturali, artistiche ed accademiche. Sovente questi settori hanno sviluppato l'interesse nelle rocce ornamentali autonomamente, provenendo da aree affini e questo può giustificare una certa impermeabilità fra di loro, anche se si occupano dello stesso oggetto, appunto le rocce.

Non occorre spiegare quanto siamo distanti i problemi e punti di vista dello scultore, del cavatore o dell'esperto di immagini satellitari. Ma occorre sottolineare che per affrontare positivamente problemi solo apparentemente così differenti, la conoscenza di base necessaria è comune. Il lettore scorrendo gli articoli comprenderà che per caratterizzare efficacemente una lastra di roccia ornamentale appena prodotta, per esempio ai fini della marcatura CE, le conoscenze necessarie sono praticamente le stesse di quelle necessarie per la caratterizzazione lo stato di conservazione dei monumenti lapidei. Potrà inoltre verificare che un funzionario che si occupa della definizione del piano regolatore regionale delle attività estrattive non può ignorare la caratterizzazione multidisciplinare congiunta delle molte componenti del problema (geologia, geografia, ambiente, ...).

Nella prima parte del volume, che tratta della tecnologia della caratterizzazione, i lavori possono essere riferiti a due diversi punti di vista, uno "a contatto" con la pietra e l'altro più "distante" da essa. Il primo gruppo di contributi si concentra sull'introduzione di nuove tecnologie finalizzate a superare due problemi fondamentali: i) la variabilità naturale di ciascuna proprietà dei lapidei; ii) il carattere distruttivo dei classici test di caratterizzazione. Test non distruttivi e, fra questi, l'analisi di immagine, possono risolvere molti problemi, come ad esempio il Controllo di Produzione in Fabbrica, un processo necessario per qualificare un prodotto (papers #1 e #4). Oppure essi possono sostituire test tradizionali, spesso soggettivi, lenti ed imprecisi, come nel caso della valutazione estetica (paper #2) o petrografica (paper #3).

Sempre nella Parte I, il secondo gruppo di contributi tratta la geolaborazione di immagini digitali, uno strumento abbastanza recente e potente per il settore dei lapidei, in grado di risolvere problemi e rispondere a domande, poiché integra il tema di interesse (le rocce /la formazione geologica) con lo spazio circostante. Vi sono molte ragioni per classificare a partire da un'immagine e, nel campo dei lapidei si può applicare all'identificazione da satellite di aree di ricerca promettenti (paper #5). Un altro aspetto rilevante della caratterizzazione è legato alla progettazione e pianificazione della coltivazione. Conoscendo le proprietà del materiale, il progetto di coltivazione e la

morfologia geografica, è possibile minimizzare l'impatto ambientale (paper #6) o scegliere le aree più idonee all'apertura di una cava (paper #7). L'informazioni oggi disponibile è molto ampia, rivoluzionata dal world wide web e sempre in evoluzione. Per il migliore sfruttamento di quest'informazione è necessario un nuovo approccio, anche nella recente area dei Sistemi Informativi Geografici, ed in particolare il nuovo strumento WebGIS (paper #8).

Nella seconda parte, i lavori si focalizzano sulla pratica migliore per una moderna caratterizzazione. Una prima questione è legata agli usi della pietra. Infatti, usi particolari richiedono proprietà specifiche che debbono essere misurate con test specifici. Per contro, proprietà differenti indirizzano verso usi diversi e perciò, la caratterizzazione di una "nuova" formazione geologica richiede molta attenzione (papers #9, #10, #11 and #12), anche perché le proprietà possono variare molto rapidamente, in pochi metri all'interno del deposito (paper #14). Una seconda questione importante è la caratterizzazione delle rocce ornamentali utilizzate in edifici e monumenti. Esistono molti modi per caratterizzare un materiale in opera, in funzione di una varietà di fattori (ubicazione, tipo di roccia, etc.) Ciascuna città ha i propri materiali storici e specifici processi di alterazione, per cui occorrono caso per caso degli studi specifici (papers #13 e #14). Il problema della migliore pratica esiste ed è necessario una attenzione alle linee guide scientifiche e sistemiche (paper #15). Infine, un problema un poco diverso è quello della valutazione del potenziale economico di un settore lapideo nazionale (paper #16).

Gli autori di questo volume si augurano che esso possa rappresentare uno stimolo per l'evoluzione tecnologica e culturale nel mondo delle rocce ornamentali.

Bologna 26 Gennaio 2009

Prof. Ing. Roberto Bruno

COORDINATORE DELLA RETE FARO

## PREFACE

This is the first Edition collecting the most relevant scientific works made by the participants to the exchange programme of FARO - Formação Avançada no Setor das Rochas Ornamentais e do Geoprocessamento (2005-2009), a network focused on ornamental stones or, shortly, on “marbles and granites”.

The aim of FARO network was

- to strain the academic relationships in the frame of the characterization and management of Ornamental Stones, among the countries of reference for the stone industry, in the EU and LA;
- to integrate the capabilities of universities to train graduates and post-graduates, facing the problem of structural missing of specialised training and advanced research in this industrial sector;
- to favour the exchanges of technical, scientific and educational experiences among professors, researchers and students, given the extremely wide range of subjects and specialisations involved in the sector;
- to set up permanent fluxes of exchanges and to activate the mutual recognizing of post-degree courses.

The schools involved are Civil and Mining Engineering as well as Geosciences. There was not a specific subject to deep, even if each school has its own specific research target and advanced competences. On the contrary, the exchange programme should have to favour the integration between the different advanced knowledge of partners. And this paper collection demonstrates how successful the job has been, in terms of common work and of wide range of themes treated. Therefore, we chose to title the volume straight with the network name.

However, an underlying common aspect crosses the different papers, which is the matter of the “characterization”. The characterization is the action that produces the information necessary to support a decision, and each decision needs its own characterisation. The FARO schools face different questions, make specific analysis and try to give the solutions by the most advanced characterisations.

The contributions have been grouped in two Sections: 1) The technology of the characterization, 2) The characterization of the materials. In the first one the works have been collected where it looks prevalent the attention to new technologies or new applications of technology. The second section collects contributions more focused on new or now well known materials. In effect, each section could be further split in subsections depending on the criteria at

hand, and each work could be included into different sections / subsections, depending on the aspects considered prevailing.

The characterisation is an action which normally interests different sectors of the society, as are the mining industry, the civil works industry and the technology industry, or the cultural, artistic and academic institutions. Often these sectors developed their interests in the stone field autonomously, moving from nearby fields and this justifies certain impermeability among them, even if dealing with the same subject: the ornamental stone.

There is no need to explain how far are the problems and points of view of a sculptor from a miner or from a satellite images expert. But we want to underline that the base knowledge necessary to positively face problems, just apparently so different, is common. The reader, looking at the papers, will understand that the knowledge necessary for a successful characterization of a stone slab just produced, for instance for obtaining the EC marking, is practically the same knowledge necessary for the preservation of stone monuments. And he will verify that a functionary dealing with the definition of a regional exploitation plan, can't ignore the joint multidisciplinary characterisation of the many components of the problem (geology, geography, environment, ...).

In the first section of the book, dealing with the technology of the characterisation, the works refer to two different points of view, one "in contact" with the stone and the other one more "distant" from it. The first set of contributions focuses on the introduction of new technologies aiming to overcome two main questions: i) the natural variability of each stone property; ii) the destructivity of the classical characterization tests. Non destructive tests and, among them, image analysis, can solve many problems, as for instance the Factory Production Control (FPC), a process necessary for qualifying a product (paper #1, #4). Or they can substitute former tests, often subjective, slow and imprecise, as is the case of an aesthetical (paper #2) or petrographic macroscopic evaluation (paper #3).

In Section I, the second set of contributions deals with the digital images geoprocessing, a quite new and powerful tool for the stone sector, able to solve problems and to answer to questions, because it integrates the object of interest (the stone / geological formation) with the space around. There are many reasons for classifying starting from an image and, in the field of ornamental stones, this can be applied, for example, to the identification of promising prospects by satellite (paper #5). Another relevant aspect of the characterisation is linked to the design and planning of the exploitation. By knowing the material properties, the exploitation design and the geographical morphology it is possible to minimize the environmental impact (paper #6) or to choose the best areas for opening a quarry (paper #7). The information available is today very huge, revolutionized by the world-wide-web and still in

progress. For the best use of such information, it is necessary a new approach, even in the recent area of Geographical Information Systems, namely the new Web-GIS tool. (paper #8).

In Section II, the papers focus on the best practice of a modern characterisation. One first question is linked to the stone uses. In fact, different uses need specific properties to be measured by specific tests. On the contrary, different properties call for different uses, so that the characterisation of a “new” geological formation needs much attention (papers #9, #10, #11 and #12), also because the properties can vary rapidly, even in a few meters inside a deposit (paper #14). A second relevant question is the characterisation of stone used in buildings and monuments. There are many ways of characterizing the materials used, depending also on a variety of factors (localisation, type of stone, etc.). Each town has its own historical materials and typical deterioration process, so that a specific study must be done case by case (papers #13 and 14). The problem of the best practice exists and it is necessary an attention to scientific and systemic guidelines (paper #15). Finally, a slightly different question is the evaluation of the economic potential of the national stone sector (paper #16).

The authors of this book hope that it could represent a stimulus for the technological and cultural evolution of the ornamental stone world.

Bologna 26 Jan. 09

Prof. Ing. Roberto Bruno

COORDINATOR OF FARO NETWORK

## **RINGRAZIAMENTI**

Gli editori ringraziano il Programma ALFA della DG EuropeAid della Commissione Europea per avere supportato il progetto FARO nel cui ambito sono state svolte le ricerche i cui risultati sono presentati in questo volume.

Si ringraziano tutti gli autori che hanno contribuito ai vari articoli presentati. L'importanza di questo volume, che materializza lo spirito del programma ALFA, risiede nella cooperazione internazionale fra Istituzioni accademiche della UE e dell'America Latina. Si è così colta la ricchezza che deriva dal confronto fra problemi, temi ed approcci risolutivi diversi.

Siamo inoltre grati a tutte le strutture universitarie partecipanti, per l'Unione Europea: l'Istituto Superior Tecnico di Lisbona (Portogallo), l'Universitat Autònoma de Barcelona (Spagna), l'Università degli Studi di Bologna (Italia); per l'America Latina: l'Universidade Federal de Minas Gerais (Brasile), l'Universidad Nacional de La Plata (Argentina) e l'Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo (Messico).

# **Parte I**

## **La tecnologia della caratterizzazione**

**LA CARATTERIZZAZIONE NON DISTRUTTIVA DEI  
PRODOTTI LAPIDEI: VERSO IL MARCHIO D'ORIGINE TIPO**  
**DOP - *Non destructive characterization of stone products: towards***  
***PDO like mark***

F. Martoro<sup>1</sup>  
S. Bonduà<sup>2</sup>  
R. Bruno<sup>1</sup>

<sup>1</sup>DICMA, University of Bologna, Bologna, Italy

<sup>2</sup>DICASMI, University of Bologna, Bologna, Italy

**RIASSUNTO:** La qualificazione delle rocce ornamentali attraverso l'uso di prove non distruttive (TND) è un tema di ricerca rilevante per la caratterizzazione industriale dei prodotti finiti, perché la competizione a basso costo dei prodotti può essere sostenuta da un'offerta di alta qualificazione. La potenzialità offerta dai TND (Test non distruttivi) è la qualificazione d'origine, quella garanzia simile a quella ben nota nel campo agro-alimentare DOP (Denominazione d'origine protetta). In realtà è possibile garantire sia, l'origine che la qualità di ogni prodotto, anche attraverso un controllo di produzione in linea. Occorre quindi uno specifico disciplinare. Una ricerca sviluppata presso DICMA – Università di Bologna nel quadro del progetto "OSMATER" progetto INTERREG, ha permesso di identificare le buone correlazioni tra prove distruttive e non distruttive, prove realizzate per alcuni tipi di materiali del Verbano-Cusio-Ossola. Ad esempio test non convenzionali ad ultrasuoni, parametri di analisi di

**ABSTRACT:** The dimension stone qualification through the use of non-destructive tests (NDT) is a relevant research topic for the industrial characterisation of finite products, because the competition of low-costs products can be sustained by an offer of high-qualification and a top-guarantee products. The synthesis of potentialities offered by the NDT is the qualification and guarantee similar to the well known agro-industrial PDO, Protected Denomination of Origin. In fact it is possible to guarantee both, the origin and the quality of each stone product element, even through a Factory Production Control on line. A specific disciplinary is needed. A research developed at DICMA-Univ. Bologna in the frame of the "OSMATER" INTERREG project, allowed identifying good correlations between destructive and non-destructive tests for some types of materials from Verbano-Cusio-Ossola region. For example non conventional ultrasonic tests, image analysis parameters, water absorption and other measurements showed to be well



immagine, assorbimento d'acqua e le altre misurazioni hanno dimostrato di essere ben correlate con la resistenza a flessione. In conclusione è stato dimostrato che un approccio non distruttivo consente di raggiungere diversi obiettivi, tra i più importanti: 1) l'identificazione dei materiali; 2) la selezione dei prodotti; 3) la sostituzione di TD con TND. Ora è pertanto necessario muoversi da una fase di ricerca ad una implementazione industriale, nonché verso lo sviluppo di nuove tecnologie ND focalizzate per specifici scopi.

## 1. INTRODUZIONE

La qualificazione del prodotto industriale lapideo rappresenta un tema di ricerca condotto negli ultimi dieci anni dal Dip. di Ing. Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali (DICMA) dell'Univ. di Bologna. La prima tecnologia messa a punto è stata l'analisi d'immagine, dai cui risultati è sorto uno spin-off che ha brevettato un sistema industriale di selezione estetica *on line* di modulmarmo. Negli ultimi anni l'attenzione è stata rivolta ad una qualificazione del prodotto finale a più ampio raggio, facendo uso di svariati test non distruttivi (TND), classici ed innovativi. L'obiettivo strategico della ricerca è la messa a punto di tecnologie utilizzabili negli impianti industriali a supporto della commercializzazione e valorizzazione dei prodotti.

La tecnologia attuale

correlated with the bending resistance, by relationships varying for each product. In conclusion it has been demonstrated that a non-destructive approach allows reaching several goals, among the most important: 1) the identification of materials; 2) the selection of products; 3) the substitution of DT by NDT. Now it is necessary to move from a research phase to the industrial implementation, as well as to develop new ND technologies focused on specific aims.

## 1. INTRODUCTION

The qualification of stone industrial product represents a topic of search in the last ten years from the Dip. di Ing. Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali (DICMA) of Bologna University. The first technology put to point has been the image analysis, from whose is born spin-off that has patented an industrial system of aesthetic selection on lines of modulmarmo. In the last years the attention has been turned to a qualification of the final product, making use of various non destructive tests (TND), classics and innovativ. The strategic goal of the research is the discovery of usable technologies in the industrial systems to support commercialization and products valorisation.

The technology contemplates a big range of TND, generally applies in other fields. The industrial importance of these

contempla un'ampia gamma di TND, generalmente applicati in altri campi. La rilevanza industriale e non solo di questi test è dimostrata dall'attenzione prestata dai Comitati Tecnici Normativi ai TND, sia a livello nazionale (UNI) che internazionale (es. CEN), con la produzione di una ricca bibliografia (Frisa-Morandini et al. 2003).

I test non distruttivi normati fanno generalmente riferimento ad altri problemi e materiali. In taluni casi la tipologia di materiale si avvicina a quella dei lapidei (es. cementi, calcestruzzi, ceramiche), ma le finalità sono altre, come risulta chiaramente se consideriamo l'utilizzazione prevista dai Comitati Tecnici specifici di quei Materiali (Miramonti, 2004).

Anche il TC246 del CEN ed il Gruppo Lapidari dell'UNI hanno definito e normato una serie di test non distruttivi. Peraltro, molti TND, messi a punto dal DICMA o da altri laboratori, non sono normati perché non ancora di largo uso (Serra, 1993).

Alcuni di questi test sono stati messi a punto e sperimentati specificamente per il progetto italo-svizzero INTERREG-OSMATER, coordinato dalla CCIAA del Verbano-Cusio-Ossola e volto alla valorizzazione dei prodotti lapidei locali (ref.).

L'impegno del DICMA nel progetto ha previsto:

- ✓ l'identificazione misure non distruttive (TND) utilizzabili per la caratterizzazione dei

testi è dimostrata dalla attenzione da parte dei Comitati Tecnici Normativi, non solo a livello nazionale (UNI) ma anche internazionale (es. CEN), con produzione di ricca bibliografia (Frisa-Morandini ET to. 2003). In alcuni casi il tipo di approccio ai materiali è simile a quello per i lapidei (es. calcestruzzi, calcestruzzi, ceramiche), ma le finalità sono altre, come è chiaramente mostrato dall'uso previsto per quei Materiali dai Comitati Tecnici specifici (Miramonti, 2004).

Anche il TC246 del CEN e il Gruppo Lapidari dell'UNI hanno definito e normato alcuni test non distruttivi. Inoltre, molti TND, messi a punto dal DICMA o da altri laboratori, non sono normati perché non ancora di largo uso (Greenhouse, 1993).

Alcuni di questi test sono stati esaminati dall'italiano-Svizzero progetto INTERREG-OSMATER, coordinato dalla CCIAA del Verbano-Cusio-Ossola sulla valorizzazione dei prodotti lapidei locali (ref.).

L'impegno del DICMA nel progetto ha previsto:

- ✓ l'identificazione di misure non distruttive (TND) utilizzabili per la caratterizzazione dei
- ✓ la certificazione di origine dei materiali prodotti con misure non distruttive;
- ✓ la stesura di disciplinari per un marchio di origine simile al DOP (Denominazione di Origine Protetta) del settore agricolo e agro-alimentare, basata sui TND;

- ✓ lapidei;
- ✓ la certificazione d'origine dei materiali prodotti mediante misure non distruttive;
- ✓ la stesura di un disciplinare per un marchio di origine tipo la DOP (Denominazione di Origine Protetta) del settore agro-alimentare, marchio basato su TND;
- ✓ l'analisi della integrabilità dei test distruttivi normalizzati con i test non distruttivi.

Gli obiettivi generali perseguiti, significativamente rilevanti dal punto di vista economico, sono stati:

- il superamento dei limiti della caratterizzazione basata su test distruttivi;
- l'identificazione oggettiva dei differenti materiali lapidei e della loro provenienza.

Infatti, un'identificazione d'origine oggettiva, ripetibile ed affidabile, consente la creazione di un marchio d'origine tipo DOP: e la certificazione della DOP dà valore aggiunto ai prodotti. Inoltre una caratterizzazione non distruttiva, operativa ed efficiente, consente un'attività complementare ad una qualunque certificazione (CE, DOP, etc.): il controllo di produzione in fabbrica (FPC) su tutta la produzione.

Il presente lavoro illustra alcuni risultati conseguiti nell'ambito del progetto OSMATER.

## 2. L'APPROCCIO METODOLOGICO

Durante la prima fase del

- ✓ the analysis of mixing non destructive tests with destructive one

Important Goals pursued from the economic point of view, have been:

- ✓ the overcoming of characterization limits based on destructives tests;
- ✓ the objective identification of different stone material and their origin.

In fact, a reliable identification, objective and repeatable allows the creation of origin brand similar to PDO mark: and that kind of certification gives added value to products. Moreover not destructive characterisation, operating and efficient, concurs a complementary activity to any certification (CE, DOP, etc.): the control of factory production (FPC) above all the production. The present job illustrates some achieved results within OSMATER project

## 2 METHODOLOGICAL APPROACH

During the first phase of the project has been analyzed and then developed the methodology for the study of the properties of rocks coming from TND. For each test this methodology provides:

- study and analysis of technology;
- scope;
- test and store result;
- data processing, with or without additional information;
- definition of existence domains with parameters characterizing the individuals studied materials.

progetto è stata analizzata e poi messa a punto la metodologia per lo studio delle proprietà delle rocce desumibili dall'applicazione di TND. Per ogni test questa metodologia prevede:

- ✓ studio e analisi della tecnica;
- ✓ campo di applicazione;
- ✓ esecuzione del test e memorizzazione dei risultati;
- ✓ elaborazione dei dati, con o senza informazioni aggiuntive;
- ✓ definizione di domini di esistenza relativi ai valori dei parametri caratterizzanti i singoli materiali studiati.

Operativamente il lavoro sui TND ha considerato dei campioni di modulmarmo rappresentativi dei diversi prodotti finiti scelti ed è stato organizzato in tre fasi:

1. una prima serie di TND è stata condotta sui campioni integri;
2. una seconda serie, questa volta di test distruttivi, è stata eseguita su parte dei campioni disponibili;
3. una terza serie di TND ha caratterizzato le parti risultanti dai test distruttivi.

La logica utilizzata è stata quella di predisporre, finché possibile, dei campioni con le dimensioni previste dai test standard e/o per la taratura degli strumenti speditivi come ad es. la risonanza magnetica nucleare, NMR (Blumich et al., 2005, Alesiani et al., 2003).

Sono stati caratterizzati i seguenti 5 materiali: Beola (cava Sciuena), Serizzo Antigorio (cava Cusina), Marmo Crevola

In other words the work on the TND considered modulmarmo representative samples of several finished products selected and was organized into three phases:

1. A first series of TND was conducted on intact samples;
2. A second series, with destructive testing has been performed on the available samples;
3. A third series of TND has characterized the resulting parts from destructive testing.

The logic used was to prepare, as long as possible, the samples with the size previewed by standard tests and /or calibration of instruments minds predictive eg. Nuclear magnetic resonance, NMR (Blumich et al., 2005, Alesiani et al., 2003).

Five of the following materials were characterized: Beola (Sciuena quarry), Serizzo Antigorio (Cusina quarry), Marble Crevola Palissandro Classic, Beola Grigina (Rastellina quarry), Beola Isorno (Coppola quarry). 130 samples of marble- modules (20x20 cm) were examined.

### 3. STUDIES TESTS

General analysis showed that the TND used for stone characterisation are a lot. DICMA has performed tests with the following technologies:

- Ultrasound;
- Image analysis in the visible field;
- Water absorption with little sponge;

Palissandro Classico, Beola rigina (cava Rastellina), Beola Isorno (cava Coppola). Sono stati esaminati 130 campioni di modulumarmo (20x20 cm<sup>2</sup>).

### 3. I TEST STUDIATI

L'analisi generale ha evidenziato che i TND utilizzabili per la caratterizzazione dei lapidei sono svariati. Il DICMA ha eseguito i test con le seguenti tecnologie:

- ultrasuoni;
- analisi di Immagine nel campo del visibile;
- assorbimento d'acqua con spugnette;
- assorbimento d'acqua a pressione atmosferica;
- scivolosità tramite pattino;
- analisi di Immagine nel campo dell'infrarosso;
- risonanza Magnetica Nucleare (NMR).

Assieme a questi TND sono stati eseguiti i seguenti test distruttivi:

- prova di Resistenza a Flessione;
- misura Massa Volumica Apparente;
- misura di Porosità;
- analisi delle sezioni sottili;
- analisi diffrattometrica.

Questa presentazione evidenzia solo i risultati delle due tecniche maggiormente studiate perché considerate le più interessanti dal punto di vista industriale, sia per la valenza generale sia per la loro integrabilità: l'analisi di immagine nel campo del visibile e le misure delle velocità ultrasoniche.

- Absorption of water at atmospheric pressure;
- Slip through skid;
- Image analysis in infrared field;
- Nuclear Magnetic Resonance (NMR).

Together these TND were executed the following destructive testing:

- Test of strength Deflection;
- Appears to measure Volumic mass;
- Porosity measure;
- Analysis of thin sections;
- Diffractometric analysis.

This presentation shows only the results of two techniques studied because most interesting from an industrial point of view, both for the overall value then for their integration: image analysis in the visible field and ultrasonic speed.

It may be useful to recall that all the features used and usable, physical-technical and aesthetical, have a natural variability that makes unique each single element studied.

This leads to the definition of parameters and properties that to be representative of homogeneous classes, the broker must be specific numerical values, is to be accompanied by measures of this variability within classes considered.

Può essere utile ricordare che tutte le caratteristiche utilizzate ed utilizzabili, fisico-tecniche ed estetiche, presentano una variabilità naturale che rende ciascun elemento studiato unico.

Ciò rimanda alla definizione di parametri e proprietà che, per essere rappresentativi di classi omogenee, devono sia mediare i valori numerici specifici, sia essere corredati da misure di questa variabilità all'interno delle classi considerate.

#### **4. L'ANALISI D'IMMAGINE NEL CAMPO DEL VISIBILE**

##### **4.1 Il problema della qualificazione estetica**

Il nome stesso, rocce ornamentali, evidenzia immediatamente una caratteristica primaria richiesta a questi materiali naturali, la capacità di ornare, abbellire; è dunque ovvio che la scelta di un materiale rispetto ad un altro dipenda fortemente dalla sua qualità estetica.

Attualmente esiste in commercio un elevato numero di varietà di rocce ornamentali, con caratteristiche fisico-tecniche molto simili per tipologie di materiali. Aspetto estetico, prezzo e luogo di provenienza, costituiscono quindi i fattori di maggiore influenza per la scelta di un materiale piuttosto che un altro.

La selezione estetica in impianto avviene, in funzione della destinazione d'uso del

#### **4 IMAGE ANALYSIS IN VISIBLE FIELD**

##### **4.1 The problem of aesthetics qualification**

The name itself, ornamental rocks, will immediately request a primary feature of these natural materials, the ability to decorate, embellish; it is therefore obvious that the choice of a material over another depends heavily from its aesthetic quality.

Currently there is on the market a large number of varieties of ornamental rocks, with physical and technical characteristics very similar for types of materials. Overall aesthetics, price and place of origin, thus constitute the most influential factors when choosing a material rather than another.

The process of industrial selection must be based on aesthetic, depending on the intended use of the product, based on a series of subjective factors and variables that must be overcome. The image analysis can effectively help to quantify the aesthetic properties and are totally objective. Consider the following main characteristics involved on the aesthetic quality as colour, texture and grain size.

The colour represents, along with price and the place of origin, one of the most influential factors when choosing a material rather than another. From chromatic properties of a natural stone is always depend on the implementation of civil works, and

prodotto, sulla base di una serie di fattori soggettivi e variabili che occorre superare. L'analisi di immagine interviene efficacemente per quantificare le proprietà estetiche e consentirne un'utilizzazione oggettiva. Consideriamo di seguito le principali caratteristiche che intervengono sulla qualità estetica come il colore, la tessitura e la granulometria.

Il colore rappresenta, assieme al prezzo ed al luogo di provenienza, uno dei fattori di maggiore influenza per la scelta di un materiale piuttosto che un altro. Dalle proprietà cromatiche di una pietra naturale dipendono da sempre sia le applicazioni nella realizzazione di opere civili, sia le conseguenti dinamiche commerciali. Tra gli operatori si parla correntemente di "rossi", "verdi", "rosa", "bianchi", facendo esplicito riferimento alla principale componente cromatica che ogni materiale possiede.

Il disegno è determinato dall'organizzazione spaziale di tessitura, struttura, dimensione e forma degli elementi costituenti un materiale (grani, venature, ecc). È un parametro piuttosto variabile per il quale non risulta sempre immediato istituire una scala di valori qualitativi e commerciali: sostanzialmente si possono suddividere i materiali in due grandi gruppi, costituiti rispettivamente dai lapidei omogenei globalmente isotropi e da quelli che presentano disegni caratterizzati da anisotropie od

the variability of the market. Among the operators are fluent in the "red", "green", "pink", "white", making explicit reference to the main component that each colour material possesses.

The design is determined by the texture of space, structure, size and shape of the elements constituting a material (grain, veins, etc.). It is a rather variable parameter which is not always immediately establish a scale of values and qualitative commercial parameters; basically can be divided into two large groups of materials, consisting respectively by stone homogeneous globally isotropy and those who have designs characterized by anisotropy or preferential orientation.

The grain or particle size is a characteristic that leads to the determination of the shape and size of the elements that characterize the structure of the stone material and product considered, typically minerals. Its traditional measure is done on a raw materials like gravel and sand. This involves a specific definition of digital feature, "grain", it is worth mentioning, is a property currently defined based on the appearance surface, then two-dimensional material and not three-dimensional. The mathematical morphology provides a perfectly adequate tool to quantify this property, the morphological size. The grain can be of any more or less significant from the point of view aesthetic,

orientazioni preferenziali.

La grana o granulometria è una caratteristica che rimanda alla determinazione della forma e delle dimensioni degli elementi caratterizzanti la struttura del materiale e del prodotto lapideo considerato, tipicamente i minerali. La sua misura tradizionale riguarda materiali sciolti. Questo comporta una specifica definizione numerica della caratteristica "grana" che, vale la pena di ricordare, rappresenta una proprietà definita correntemente sulla base dell'aspetto superficiale, quindi bidimensionale del materiale e non tridimensionale. La morfologia matematica fornisce uno strumento perfettamente adeguato a quantificare questa proprietà, la granulometria morfologica. La grana può avere un'importanza più o meno rilevante dal punto di vista estetico, ma spesso è strettamente collegata con le caratteristiche fisico-meccaniche del materiale e ne influenza i campi di utilizzo ai fini costruttivi.

Inoltre nei materiali lapidei è insita una forte variabilità, tipica dei fenomeni naturali. La moltitudine delle variazioni che ogni materiale può presentare dimostra come le prerogative di uniformità o di variabilità naturale siano un concetto molto flessibile; i criteri di selezione qualitativa sono infatti differenti per materiali diversi e l'accezione di omogeneo od uniforme dipende molto dal tipo di prodotto considerato.

L'acquirente finale del

but is often closely connected with the physical-mechanical characteristics of the material and influence use in construction fields.

Also in the stone there is a strong inherent variability, typical of natural phenomena. The multitude of changes that each may submit material demonstrates how the prerogatives of uniformity or natural variability is a very flexible concept, and the selection criteria are qualitatively different for different materials and the sense of homogeneous or uniform depends greatly on the type of product considered.

The final buyer of stone product, which is the great architect or private, chooses mainly according to their taste and what are the market trends of the moment, often characteristics leaving physical mechanical qualities of the material. It is known that "good" is subjective and it is also known how fickle fashions, especially in fields that are going in art, as architecture and design.

The aesthetics classification of stone materials is therefore difficult, due to the subjectivity of aesthetic judgement is highly variable, as subject to market criteria, changing over time.

If we look at what happens in the field of aesthetics ceramic evaluation, that is performed by a machine that through artificial vision systems, make a selection, rather agile in this case as regards homogeneous materials and lack



prodotto lapideo, che sia il grande architetto o il privato, sceglie principalmente in base al proprio gusto e a quelle che sono le tendenze del mercato del momento, lasciando spesso in secondo piano l'analisi delle qualità fisico-meccaniche del materiale. È noto che "il bello" sia soggettivo ed è altrettanto risaputo quanto siano volubili le mode, soprattutto in campi che sconfinano nell'arte, quali sono l'architettura ed il design.

La classificazione estetica dei materiali lapidei risulta pertanto difficile, a causa della soggettività del giudizio estetico e fortemente variabile, in quanto soggetta a criteri di mercato mutevoli nel tempo.

Se esaminiamo cosa avviene in campo ceramico la valutazione estetica è svolta da una macchina che, mediante sistemi di visione artificiale, effettua una selezione, piuttosto agile in questo caso poiché riguarda materiali omogenei e privi della variabilità che invece contraddistingue i lapidei, fra i differenti toni di colore delle piastrelle dopo la cottura. Nel settore minerario, invece, è eseguita da un lavoratore che, alla fine della linea di produzione, generalmente tra l'asciugatura e l'imballaggio, preleva le piastrelle da un nastro trasportatore e, separati gli scarti, le divide per classi di qualità (generalmente due). Questa soluzione operativa presenta diversi problemi. Normalmente sono necessari, solo per la fase di

of variability which characterizes the stone, including different tones of colour tiles after thermal treatment. In the mining sector, however, is performed by a worker who, at the end of the production line, usually between drying and packaging, pull tiles by a conveyor belt and separate waste, divided by grades, usually two. This solution has several operational problems. Normally they are necessary only for the final selection phase, two workers for each turn. They are subject to a considerable physical effort: you can calculate The efficiency of choices can vary for a single worker with fatigue: the general trend of precaution to discard more than necessary is more pronounced at the end of the turn work. Inevitably then the selection criteria is subjective, they vary even more significant in switching from one worker to another. The selection is carried out questionable and therefore gives rise to the emergence of numerous objections from the buyer, who generally does not have the right to see the product in its entirety prior to purchase, because already packed or why not yet produced.

It is precisely the stage of marketing skills and visual aesthetics plays a decisive role and contributes to the formation of a price, but the current arrangements for the marketing of ornamental rocks leave much to be desired because of the lack of scientific parameters reference assurance aesthetic quality of the products.

di selezione finale, due lavoratori per ogni turno. Essi sono soggetti ad un considerevole sforzo fisico: si può calcolare

L'efficienza delle scelte varia, per uno stesso lavoratore, con la stanchezza: la generale tendenza cautelativa a scartare più del necessario risulta più marcata alla fine del turno di lavoro. Essendo poi i criteri di selezione inevitabilmente soggettivi, essi variano in modo ancora più considerevole nel passaggio da un selezionatore all'altro.

La selezione eseguita risulta pertanto discutibile e dà luogo all'insorgere di numerose contestazioni da parte del compratore, che generalmente non ha la facoltà di vedere il prodotto acquistato nella sua completezza prima dell'atto di compravendita, perché già impacchettato o perché non ancora prodotto.

È proprio nella fase di commercializzazione che la qualificazione visiva ed estetica gioca un ruolo determinante e concorre alla formazione di un prezzo, ma le attuali modalità di messa in commercio delle rocce ornamentali lasciano alquanto a desiderare per la mancanza di parametri scientifici di riferimento a garanzia della qualità estetica dei prodotti.

I fattori finora esposti rendono evidente la sempre più estesa necessità di possedere parametri di riferimento oggettivi per la qualificazione estetica delle rocce ornamentali. Le tecniche scelte per determinare tali parametri sono

The fact exposed reveal that is necessary objective aesthetic qualifications for ornamental stones. The technical choices to determine these parameters are identified in the image analysis: a digital image offers a great deal of numerical information that let you define objective criteria based on the measurement of visible parameters, it is also information that the human eye is unable to perceive totally.

Among the many tools available for data processing provided by digital images (in the present work will be highlighted by geostatistics and mathematical morphology) it is necessary to identify those appropriate to classify the properties of each material in discriminatory way: evaluation and selection criteria can change, vary greatly depending on the type of material being analyzed.

#### **4.2 Image Analysis for aesthetic qualification**

Image analysis is acquisition with digital camera with high resolution. The scanned image is conceptually, for a picture in shades of grey, a numerical matrix, the size of rows and columns so that each pixel has an associated tone colour between a minimum value (black) and a maximum value (white). Depending on the resolution, colour images will be binary in the case of white or black images in tones of grey with different colour depth. If we refer

individuare nell'ambito dell'analisi d'immagine: un'immagine digitale mette a disposizione una grande quantità di informazioni numeriche, che consentono di definire criteri oggettivi basati sulla misura di parametri visibili, si tratta inoltre di informazioni che l'occhio umano non riesce a percepire totalmente.

Tra gli innumerevoli strumenti disponibili per l'elaborazione dei dati forniti dalle immagini digitali (nel presente lavoro ne verranno evidenziati alcuni tratti dalla geostatistica e dalla morfologia matematica) è necessario individuare quelli opportuni a classificare le proprietà discriminanti di ciascun materiale: i criteri di valutazione e selezione estetica da considerare, infatti, variano fortemente in funzione del tipo di materiale analizzato.

#### **4.2 Analisi d'immagine per la qualificazione estetica**

L'analisi di immagine consiste nella acquisizione di immagine tramite una telecamera digitale ad alta risoluzione. L'immagine acquisita è concettualmente, per un'immagine in toni di grigio, una matrice numerica, delle dimensioni di righe e colonne tale che ad ogni pixel sia associabile un tono di colore tra un valore minimo (nero) e un valore massimo (bianco). A seconda della risoluzione, il colore delle immagini sarà binario nel caso di bianco/nero o immagini in toni di grigio con diverse profondità di

to RGB images, those normally used by computer screens, we need to store for each channel (in this case three) a value. On the digitized image, we proceed to evaluate statistics parameter, geostatistical tools, analytical tools based on mathematical morphology. By entering data acquisition in a processing program created ad hoc, we can identify any product at any time relatively certain specifications, producing technical documentation and certification of origin help control bodies to carry out their work quickly.

While in theory it is possible to identify the characteristic parameters of each product and choose it at other very similar aesthetic level, it is possible to put it on the production line. The acquisition line would implement parameters relative to products characteristics, in order to update the existence fields with the progress of the front of quarry cultivation. The ceramic sector uses long technologies based on image for a variety of purposes:

- identify defects in processing, scratches, stain, etc.;
- dimensional control and geometric characteristics;
- divide the industrial lots on the basis of hue of the product;
- select and wrap automatically tiles.

For the marble industry are not yet optimized, but are ready for testing, machines equipped with software for recognition of stone work instantly

colore.

Se facciamo riferimento ad immagini RGB, quelle normalmente utilizzate dagli schermi dei computer, dobbiamo memorizzare per ognuno dei canali (in questo caso tre) un valore, rendendo così possibile la ricostruzione dell'immagine a colori. Una volta posseduta l'immagine digitalizzata, si procede ad un'elaborazione usando diversi strumenti, come statistiche elementari, strumenti geostatistici, strumenti di analisi basati sulla morfologia matematica. Inserendo i dati di acquisizione in un programma di elaborazione creato ad hoc, si potrà identificare qualsiasi prodotto in ogni momento relativamente certe specifiche, produrre la documentazione tecnica di certificazione dell'origine e aiutare gli organismi di controllo a svolgere velocemente il proprio operato.

Se in teoria è possibile identificare i parametri caratteristici di ciascun prodotto e discriminarlo da altri molto simili anche a livello estetico, ci si auspica la volontà di inserire sulla linea di produzione le macchine necessarie a rendere automatico e continuo questo processo di acquisizione dati. L'acquisizione in linea permetterebbe di implementare i dati relativi alle caratteristiche dei prodotti, in modo da aggiornare i campi d'esistenza con l'avanzamento del fronte di coltivazione.

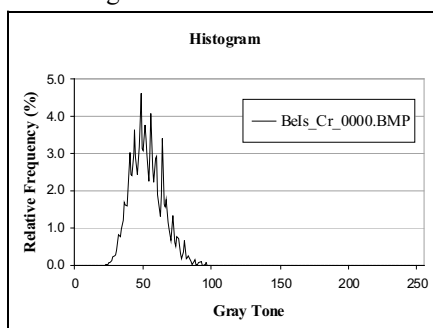
Il settore ceramico utilizza da

a selection. The certification of origin as a guarantee of quality is the best form of exploitation of stone product. Being able to associate with this also ensuring a further reassess of traditional stone.

The online acquisition of images of tiles may also serve to create a sort of virtual warehouse: a revolution in the method of purchase of a floor because the customer does not see one more tile sample, but can choose the production batch that more approaching its taste is avoiding the onset of unnecessary disputes and is going in person from the manufacturer. In this way you can also define a plan of laying optimal designs characteristic of the material chosen.

### 4.3 The experimental results

The testing phase have been using the machine for image analysis of DICMA laboratories, Bologna.



**Figure 1. Istogramma del tono di grigio dell'immagine di una piastrella di Beola.- Histograms of grey tone of Beola Grigia modulmarmo digital images.**

tempo tecnologie basate sull'analisi d'immagine per vari scopi:

individuare difetti di lavorazione, graffi, sbeccature, ecc;

- controllare le caratteristiche dimensionali e geometriche dei prodotti;
- dividere i lotti industriali in base alle tonalità del prodotto;
- selezionare ed impacchettare automaticamente le piastrelle.

Per l'industria lapidea non sono ancora ottimizzate, ma sono già pronte per la sperimentazione, macchine che dotate di software di riconoscimento dei lapidei, operano istantaneamente una selezione degli stessi.

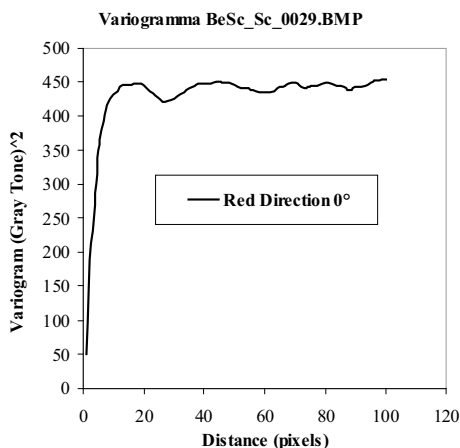
La certificazione d'origine come garanzia di qualità è la miglior forma di valorizzazione del prodotto lapideo. Poter associare a questo anche la garanzia di una lavorazione tradizionale rivaluterà ulteriormente la pietra.

L'acquisizione in linea delle immagini delle piastrelle potrà inoltre servire a creare una sorta di magazzino virtuale: una rivoluzione nel metodo di acquisto di un pavimento in quanto il cliente non vedrà più una sola piastrella campione, ma potrà scegliere il lotto di produzione che più si avvicina ai suoi gusti evitando sia l'insorgere di inutili contestazioni e sia di recarsi personalmente dal produttore. In questo modo sarà possibile anche

They were acquired images in all 124 samples, the same used for with data analysis on unique tests set. The images are in bitmap format and a graphic resolution 510 x 510 pixels.

**Tabella 1. Dati Serizzo**  
**Antigorio- Serizzo Antigorio data**

Tipologia	
Campione	
Serizzo Antigorio	
Media Toni di Grigio	134.4
Varianza	47.2
Skweness	-0.27
Curtosis	-0.56



**Figure 2. Tipico variogramma del tono di grigio dell'immagine di una piastrella di Beola per una direzione -Variograms in 4 directions of grey tone of Crevola modulmarmo digital images.**

definire un piano di posa ottimale dei disegni caratteristici del materiale scelto.

### **4.3 I risultati sperimentali**

La fase di sperimentazione è stata fatta utilizzando la macchina per l'analisi di immagine presente nei laboratori del DICMA di Bologna. Sono state acquisite le immagini di tutti i 124 campioni, i medesimi utilizzati per la prova ultrasonica in modo da procedere con le elaborazioni successive senza cambio di supporto.

Le immagini sono nel formato bitmap e hanno una risoluzione grafica di 510 x 510 pixels.

Le prime caratterizzazioni elementari sono le convenzionali statistiche elementari come media, varianza, skeweness, kurtosis. Inoltre sono tracciati gli istogrammi e i diagrammi di correlazione media/varianza. Pertanto si riporta un esempio di come vengono fatte le caratterizzazioni elementari (Figure 1 e 2, Tabella 1).

## **5. ULTRASUONI**

La misura della velocità di un'onda ultrasonica viene realizzata per ottenere informazioni relativamente alla densità, alla compattezza, alla resistenza dei materiali ed è largamente usata in vari settori industriali. È un test NDT e, usato

The first elementary characterizations are the conventional basic statistics as an average, variance, skeweness, kurtosis. Also plotted are the plots and histograms correlation media / variance. So it gives you an example of how the characterizations are made elementary.

## **5 ULTRASONIC SPEED WAVE.**

Ultrasonic wave speed measurement is performed to obtain information related to density, compactness, strength of materials and is wide used in various industrial sectors. It is a NDT test and used in correlation with other NDT test can give parameter for strength estimation, density without perform destructive test. In the other side, this test is difficult to implement a on line measurement, but due to slow speed of production of ornamental stone is possible to think a short time of stops of slabs to perform a quick measurement.

The variable got by the test is the transit time of a wave through a given path. Then, speed is straightforwardly obtained. Depending on the path the measurement refers to a direct or indirect test. The test has been standardised at DICMA laboratory for indirect tests and for measurements taken on the same surface (Figure 3). The test, on a single tile, gives 8 velocities, one per octant. Typical results can be

in correlazione con altri test NDT può fornire parametri per la stima della resistenza e della densità senza effettuare test distruttivi. D'altro canto però questo test è difficile da inserire come misura in linea, ma, a causa della lentezza nella produzione di rocce ornamentali, è possibile pensare ad un momento di stop delle lastre per fare una rapida misura.

La variabile che si ottiene con questo test è il tempo di transito dell'onda di una traiettoria data. Successivamente si ricava quindi la velocità. A seconda della traiettoria, la misura ottenuta farà riferimento ad un test diretto o indiretto. Il test è stato standardizzato presso i laboratori del DICMA per i test indiretti e per le misure effettuate sulle stesse superfici. (Figura 3). Il test, su una singola mattonella, fornisce 8 velocità, una per ottavo. Un risultato tipico è quello mostrato come scatter plot media/varianza (Fig.4).

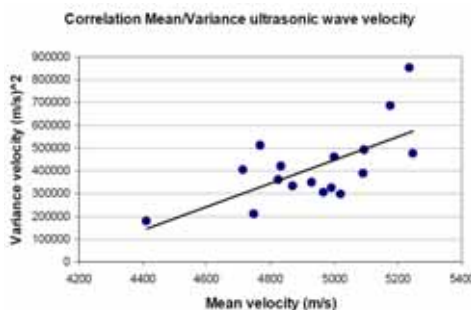
## 6. INTEGRAZIONE CON TEST DISTRUTTIVI

I parametri da usare sono diversi a seconda del tipo di materiale, ma questo non può essere compreso se non dopo uno studio iniziale. Le analisi non distruttive possono essere fatte sulla produzione, comportando considerevoli guadagni in termini di tempo e di risorse economiche. In questo caso la maggior parte potrà essere certificata con elevata precisione, sicuramente maggiore di quella già fornita per il marchio CE.



**Figura 3- Misure del tempo di transito degli ultrasuoni – measurement of time transit of ultrasonic wave**

shown as mean/variance scatter plot (Fig. 4).



**Figura 4- Scatter plot media/varianza della velocità dei campioni di Serizzo Antigorio- Mean/variance scatter plot of sonic speed.**

## 6. INTEGRATION WITH DESTRUCTIVE TEST

The parameters to be used are different for different types of materials, but this can not be exceeded after an initial study. The non-destructive inspections can be made then on the production and considerable savings in terms of time and economic resources. In this case the lots can be certified

## **7. LA CERTIFICAZIONE D'ORIGINE TIPO DOP**

La DOP del settore agro-alimentare qualifica e valorizza dei prodotti dalle caratteristiche naturalmente variabili e, in parte, soggettive.

Lo sforzo compiuto di definire e misurare le caratteristiche sia del prodotto, che della filiera di produzione, ha consentito la formalizzazione del marchio con norme internazionali, es. europee. Anche i prodotti lapidei possono aspirare ad una certificazione di qualità tipo DOP ripercorrendo ed adattando i principi che reggono tali marchi e ce sono riconosciuti dalla normazione pubblica.

Un primo punto fondamentale è che occorre caratterizzare il prodotto finito e non il materiale che lo costituisce, per tutta una serie di ragioni legali, ma anche tecniche. Un esempio per tutti: la certificazione deve essere contestabile, il che vuol dire contestare i valori numerici delle proprietà dichiarate per il prodotto commercializzato. Se però queste proprietà sono misurate con i test standard, non sono contestabili, perché il prodotto finito ha forma e dimensioni diverse da quelle obbligatorie dei provini del test standard. E praticamente tutte le proprietà cambiano in funzione della forma, ma soprattutto delle dimensioni degli elementi considerati. Un TND è invece specifico e significativo delle proprietà dell'elemento che costituisce il prodotto finito ed è

with high precisions certainly greater than it already furnished for the CE mark.

## **7 CERTIFICATION LIKE PDO MARK**

The PDO mark in the agrifood industry permit qualification and enhances from naturally variable subjective characteristics of products.

The effort made to define and measure the characteristics of the product is that the chain of production, has allowed the formalization of the mark with international standards, eg. European. Even stone products can aspire to a standard quality certification (PDO like) reviewing and adapting the principles that govern these brands and this can be recognized by the public standards.

The first point is that we must characterize the finished product and not the material that is, for a variety of legal reasons, but also techniques. An example: certification must be questionable, which means contest the numerical values of the properties declared for the marketed product. But if these properties are measured with standard tests are not controversial, because the finished product has different shape and size than the mandatory test of the test standard. And virtually all properties change depending on the form, but especially the size of the factors considered. A NDT is specific and significant properties of which is the finished product



sia oggettivo, sia ripetibile.

Un secondo punto importante è la costituzione di una entità, tipicamente un consorzio fra i produttori interessati al marchio, nel cui disciplinare sono definiti alcuni punti essenziali, fra cui:

- Le caratteristiche numeriche identificative e qualificanti ciascun prodotto, tipicamente le caratteristiche misurate dai TND;
- Il dettaglio della filiera produttiva a cui ciascun aderente al consorzio deve attenersi, con particolare riferimento al controllo di produzione in fabbrica;
- L'identificazione di un soggetto indipendente, terzo rispetto a produttore e consumatore, in grado di eseguire i controlli sul rispetto della filiera produttiva e sulle caratteristiche dei prodotti, a cui rivolgersi in caso di contestazioni.

Il terzo punto fondamentale è costituito dal riconoscimento pubblico del marchio per i prodotti conformi al disciplinare del consorzio. Tale riconoscimento deve procedere a vari gradi. Normalmente comincia a livello locale, per es. con un decreto della Provincia, per poi arrivare allo Stato ed infine all'UE, sempre adottando le specifiche dettagliate nel disciplinare del consorzio.

E' evidente la centralità dei TND per la caratterizzazione oggettiva dei prodotti finali e, quindi, il vincolo di una

and is both objective and repeatable.

A second important point is the creation of an entity, typically a consortium of manufacturers interested in the brand, which are disciplinary defined some essential points, including:

- The numerical characteristics, identifying and qualifying each product features typically measured by NDT;
- The details of the production for which each member must abide by the consortium, with particular reference to control production at the factory;
- The identification of an independent, third compared to the producer and consumer in a position to carry out checks and respect of the production and characteristics of products, to help in case of disputes.

The third key point is the public recognition of the mark for the products conforming to the specification of the consortium. This recognition must proceed to various degrees. Usually begins at the local level, for example. With a decree of the Province, then get to State and finally to the EU, always adopting the specifications detailed in the specification of the consortium. And the obvious centrality of NDT for the objective characterization of the final products, and therefore the bond of a type certification PDO like to similar measures.

certificazione tipo DOP a simili misure.

## **8. CONCLUSIONI**

Con riferimento ai due obiettivi generali fissati nell'ambito del progetto OSMATER, il superamento dei limiti della caratterizzazione basata su test distruttivi e l'identificazione oggettiva dei differenti materiali lapidei e della loro provenienza, possiamo dire che essi sono stati pienamente centrati.

E' infatti possibile sostituire efficacemente la caratterizzazione distruttiva mediante l'elaborazione, in molti casi semplice, dei risultati di uno o più TND. E ciò apre le porte ad un FPC effettivo. Occorre sottolineare che non solo i parametri delle funzioni di correlazione, ma le funzioni stesse e le variabili da considerare, cambiano da prodotto a prodotto, anche dello stesso materiale.

Una marcatura d'origine tipo DOP soddisfa praticamente tutte le esigenze e gli obiettivi di un marchio, a garanzia sia dell'origine, sia della qualità del prodotto, senza trascurarne la sicurezza d'impiego. Si tratta di aprire una nuova strada tecnico-commerciale, che il progetto ha dimostrato essere "a portata di mano" se, oltre alla volontà politica dei produttori, si adottano tecniche non distruttive per la caratterizzazione dei prodotti lapidei. I laboratori specializzati devono perciò giocare un ruolo essenziale.

## **8 CONCLUSION**

With reference to the two general objectives set out under the project OSMATER, overcoming the limits of characterization based on objective tests destructive and identification of the different stone materials and their origins, we can say that they have been fully focused.

It is possible effectively replace the destructive characterization through the development, in many cases simple, the results of one or more TND. That opens the door to a FPC effective, should be stressed that not only the parameters of correlation functions, but the same functions and variables to consider, vary from product to product even of the same material.

A marking PDO like meets almost all the requirements and objectives of a trademark, is a guarantee of both the quality of the product, without neglecting its safe operation. It is to open a new road technicaltrade, that the project has proved to be "at hand" if, in addition to political will of the producers, take non-destructive techniques for the characterization of stone products. The specialized laboratories must play an essential role.

## 9. BIBLIOGRAFIA - BIBLIOGRAPHY

BADIALI E. (2004) **Analisi di Immagine e DOP nel Settore dei Prodotti Lapidari**, Tesi di Laurea.

CUOGHI L. (2004) **Riconoscimento dei marmi della Provincia del Verbano Cusio Ossola Mediante le Tecniche della Morfologia Matematica e della Geostatistica**, Tesi di Laurea.

FRISA MORANDINI A. & MIRAMONTI C. (2003) **European standards and CE marking on stone construction products**, Academic Press, Lisbona.

SERRA J. & SALEMBIER P. (1993) **Mathematical Morphology and its Applications to Signal Processing**, *Proceedings of the workshop. UPC*, Barcelona, Spain.

BADINI L. (2005) **Materiali lapidei naturali - lapidei agglomerati**, Materia n° 39, pagg 171-179, Italia.

MIRAMONTI C. (2004) CE-Marking. CEN Harmonised Standards aims, *Atti del Convegno ECOSP*, Carrara.

COSS (1998) **Characterisation of Ornamental Stone Standards by Image Analysis of Slab Surface**, Final Report, Contract N. SMT4-CT95-2028, DGXII E.C.

ELEFThERIOU N. (2001) **Caratterizzazione Tecnico-Eстетica delle rocce ornamentali coltivate nella provincia del Verbano-Cusio-Ossola**, Eleftheriou, Bologna.

DEL RÍO LM., LÓPEZ F., ESTEBAN F.J., TEJADO J.J., MOTA M., GONZÁLEZ I., SAN EMETERIO J.L. & RAMOS A. **Ultrasonic characterization of granites obtained from industrial quarries of Extremadura (Spain)** • ARTICLE

SOILLE P. (1999) **Morphological Image Analysis, principle and Applications**, Springer, Verlag

CNS ELECTRONICS LTD 61-63 (1994) **“Pundit manual for use with the portable ultrasonic non destructive digital indicating tester”** Holmes road London Maggio 1994

YUJING JIANG, BO LI & YOSHIKO TANABASHI, (2006) **Estimating the relation between surface roughness and mechanical properties of rock joints** International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 43, Issue 6, September 2006, Pages 837-846.

BLÜMICH B., CASANOVA F., PERLO J., ANFEROVA S., ANFEROV V., KREMER K., GOGA N., KUPFERSCHLÄGER K. & ADAMS C. (2005) **Advances of unilateral mobile NMR in nondestructive materials testing** *Magnetic Resonance Imaging, Volume 23, Issue 2-2005*, Pages 197-201.

ALESIANI M., CAPUANI S. & MARAVIGLIA B. (2003) **NMR applications to low porosity carbonate stones**, *Magnetic Resonance Imaging, Volume 21, Issue 7, September 2003*, Pages 799-804.

BONDUA' S., **Nuovi strumenti per la valorizzazione estetica delle rocce ornamentali: simulazione geostatistica e caratterizzazione morfologica**, tesi di dottorato, Bologna 2001

PASCALE G, **Impiego del metodo degli ultrasuoni per la valutazione dell'omogeneità del calcestruzzo e per l'individuazione dei difetti. Curve di correlazione tra velocità degli ultrasuoni e resistenza a compressione del calcestruzzo: affidabilità, limiti, sensibilità alle variazioni di resistenza-** Materiale corso formativo

ANTONAZZO L., BADIALI E., BRUNO R. & PROVERBIO M. (2003) - **Certification Mark and Aesthetical Characterisation of Provincia VCO Ornamental Stones** — Proceedings of “2003 Congresso Internacional de la Piedra Natural” - Lisboa, Portugal, 8-9 Maio, 2003, pp.11.

BRUNO R., MONTOTO M. & PASPALIARIS I. (2004) Ed., **“Needs and priorities in stone characterisation”** –OSNET Editions Volume 6 - EUR 20637/6 - Published and printed by the Laboratory of Metallurgy, National Technical University of Athens GR-157 80 Zografos, Athens, Greece Athens 2004, 147 pp.

BRUNO R., MONTOTO M. & PASPALIARIS I. (2005) Ed., **“Finished products characteristics and uses: a guide”** – OSNET Editions Volume 15 - EUR 20637/15 - Published and printed by the Laboratory of Metallurgy, National Technical University of Athens GR-157 80 Zografos, Athens, Greece Athens and Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, Viale Risorgimento, 2 – 40136 Bologna, Italy, 2004/2005, 175 pp.

BRUNO R. & FRISA MORANDINI A. (2004) - **“The characterisation of finished products”**, in “OSNET - Stone Characterization Sector - State of the Art”, Edited by: Bruno, R., Montoto, M., and Paspaliars, I., Published and printed by the Laboratory of Metallurgy, National Technical University of Athens GR-157 80 Zografos, Athens, Greece Athens 2004, pp.76-90.

BRUNO R. & PITAVY O. (2004) - **Stone Characterisation by Image Analysis: Actual and Future Applications**, in “OSNET - Stone Characterization Sector – Needs and priorities in stone characterisation” - Edited by: Bruno, R., Montoto, M., and Paspaliars, I. - Published and printed by the Laboratory of Metallurgy, National Technical University of Athens GR-157 80 Zografos, Athens, Greece Athens 2004, pp.75-86.

ANTONAZZO L., BADIALI E., LAURENCE P., BRUNO R., PROVERBIO M. (2004) - **The Qualification Policy of VCO Stone Products** Proceedings of the “International Conference DIMENSION STONE 2004”, Prague (Czech Republic), June 14-17, 2004, pp. 4.

BONDUÀ S., BRUNO R. & MARTORO F. (2006)– **“L’analisi di immagine per la qualificazione del prodotto e l’incremento della competitività”** - Diamante, Milano, Anno XII N.46 Settembre 2006, p.108-111

# **ANALISI DI IMMAGINE PER LA QUALIFICAZIONE DEL PRODOTTO E L'INCREMENTO DELLA COMPETITIVITÀ –**

*Image analysis to qualify the product and increase its competitiveness*

Stefano Bondua<sup>1</sup>  
Roberto Bruno<sup>2</sup>  
Francesca Martoro<sup>2</sup>

*1 DICASM, Università di Bologna*

*2 DICMA, Università di Bologna*

La competitività internazionale richiede ai prodotti finiti europei, ed italiani in particolare, di giustificare con un valore aggiunto il maggior costo con cui sono offerti sul mercato. Sicuramente l'introduzione di nuova tecnologia può offrire la possibilità di ridurre i costi, ma non è pensabile arrivare ad essere competitivi in termini di costo con Asiatici o anche Latino-Americani. La tecnologia da introdurre, dunque, deve essere mirata a qualificare il prodotto finito, a fornire valore aggiunto. L'aspetto visivo è la caratteristica fondamentale di una roccia ornamentale che conferisce valore ed è ricercata dal cliente. Le Norme CEN ed i tecnici del settore sono molto attenti alle caratterizzazioni fisico meccaniche del prodotto finito, ma c'è da domandarsi quante volte una partita è stata contestata perché il peso specifico o la resistenza a compressione non erano conformi a quanto dichiarato. Vi è da domandarsi se un cliente sceglie un marmo di

International competition demands that European finished products, and Italian ones in particular, have an added value to justify the higher cost at which they are put on the market. Undoubtedly the introduction of new technology can offer the possibility of reducing costs, but it is unthinkable that we can become competitive with the Asians or Latin Americans in cost terms. The technology to be introduced must therefore aim to qualify the finished product by providing added value. The visual appearance is the fundamental value-giving characteristic of an ornamental rock and is what is sought by the customer.

CEN standards and the technicians of the industry are very attentive to the physical-mechanical characterisation of the finished product, but one wonders how often a consignment has been disputed because the specific weight or the compressive strength do not comply with what has been declared. One wonders whether a customer chooses a

Carrara od un marmo cinese perché hanno una differente resistenza allo shock termico o perché hanno un differente costo; se è preferito un verde brasiliano per un pavimento a causa della gelività o per l'aspetto estetico.

Ancora oggi le specifiche di prodotto (EN 12058), per la definizione di un metodo di misura dell'omogeneità delle piastrelle, non ricorrono ad un metodo "scientifico" e imparziale, oggettivo per la misura di una caratteristica così complessa quale l'aspetto visuale di un materiale. La stessa marcatura CE ignora la qualità estetica. L'analisi d'immagine attraverso una normale telecamera, uno dei soliti calcolatori elettronici, ma utilizzando del software appropriato, non è una tecnologia "satellitare" od una nanotecnologia, ma può fornire un valido aiuto al settore lapideo, operativamente, a basso costo e sotto tutti i profili, tecnico, economico e commerciale. Alcuni esempi: la qualificazione del prodotto finito richiede una serie di test che vanno eseguiti a campione e con determinati intervalli di tempo, es. ogni due anni. Solo due caratteristiche vanno controllate su ogni lotto di produzione: a) le caratteristiche geometriche; b) le caratteristiche estetiche.

È ben noto come sono effettuate queste misure. Ed è anche noto cosa succede se un cliente particolarmente puntiglioso vuole verificare ciò

Carrara marble or a Chinese marble because they have different thermal shock resistances or different costs; whether a Brazilian Green has been preferred for a paving because of its frost-resistance or its aesthetic appearance. Still today product specifications (EN 12058) for defining a method for measuring the homogeneity of tiles do not use a "scientific", impartial, objective method for evaluating such a complex characteristic as the visual appearance of a material and in fact EC marking ignores aesthetic quality.

Image analysis, by means of a normal telecamera, a normal computer and appropriate software, may not be "satellite" technology or nanotechnology, but can provide a valid help to the stone industry, operationally, at a low cost and from all viewpoints: technical, economic and commercial. Some examples: the qualification of the finished product requires a series of tests to be carried out on samples and at given time intervals, e.g. every two years. Only two characteristics are checked on each batch of production:

- a) the geometric characteristics;
- b) the aesthetic characteristics.

It is well known how these measurements are carried out. It is also well known what happens if a particularly demanding customer wants to check what he is buying.

Here image analysis

che sta comperando. Qui interviene la tecnologia dell'analisi di immagine con la selezione automatica ed il magazzino virtuale. La possibilità di misurare caratteristiche oggettive ed altre "di giudizio estetico" avviene attraverso metodi di auto-apprendimento e di definizione di classi di variabilità, illustrate da tempo nei consessi scientifici. In effetti, la ben nota dicitura "trattandosi di materiale naturale, il prodotto finito potrà avere colori/venature diversi dalle immagini qui riportate" potrebbe cambiare in: "trattandosi di materiale naturale il prodotto finito potrà essere fornito con caratteristiche variabili fra un minimo di colore ed un massimo così definiti". Sono già in funzione due modelli sperimentali al Centro Servizio Lapidei del Verbano Cusio Ossola e all'Università degli studi di Bologna che attraverso l'uso di una telecamera lineare a colori, può offrire il vantaggio di memorizzazione dell'immagine a fini commerciali (vendita on-line, catalogazione) e a fini di selezione in classi omogenee definite dall'utente. I modelli sono collegati ad un selettore in grado di dirigere i materiali su tre nastri trasportatori differenti per il successivo imballaggio. La tecnologia utilizzata è da anni consolidata in altri settori per il controllo qualità dei prodotti (es: ceramico), mentre l'applicazione nel settore lapideo deve essere considerata come un valore

technology comes into play with automatic selection and the virtual warehouse.

The possibility of measuring objective and other characteristics "of aesthetic assessment" is provided by methods of self-learning and definition of classes of variability, which have been illustrated for some time in scientific conferences. In fact the well-known labelling, "as this is a natural material, the finished product may have different colours/markings from the images shown here" could change to "as this is a natural material, the finished product supplied may have characteristics varying between a minimum and maximum of colour as thus defined". There are already two experimental models in operation at the Verbano-Cusio-Ossola Stone Service Centre and at the University of Bologna, which by the use of a linear colour telecamera can offer the benefit of memorization of the image for commercial purposes (on-line sales, cataloguing) and for selection purposes in homogeneous classes specified by the user.

The models are connected to a selector able to direct the materials onto three different conveyor belts for packing. The technology used has been established for years in other industries for product quality control (e.g. ceramic), while application in the stone industry must be considered as a value



aggiunto al materiale ai fini di una certificazione del prodotto, sia da un lato di assistenza al cliente (è possibile vedere l'intera partita in vendita) sia da un lato di garanzia del prodotto che viene assicurato omogeneo per classi definite.

Entrando nello specifico esaminiamo i vantaggi tecnico/economico/commerciali dell'introduzione di un sistema di analisi di immagine on-line, sulla linea di produzione di materiali finiti come piastrelle o lastre di dimensioni contenute.

## **1. VANTAGGI TECNICO/ECONOMICI**

Una selezione automatica in linea, sulla base del controllo estetico e geometrico, su ogni piastrella oggi è operativa.

Vantaggi evidenti:

- **Qualificazione del prodotto**

Ogni piastrella è garantita, oggettivamente, sia perché esente da difetti geometrici (ortogonalità, sbeccature sui lati) e sia perché simile alle classi di qualità estetica mostrate al cliente come campioni. La qualificazione comporta immediatamente la garanzia del prodotto, anche perché le misure sono ripetibili essendo non distruttive. Questo tipo di qualificazione è particolarmente importante dal punto di vista commerciale, infatti è una qualificazione/garanzia che è:

- oggettiva; a fronte di un'ipotetica contestazione, il

added to the material for the purposes of product certification, both on the customer assistance side (it is possible to view the entire lot on sale) and on the guarantee side of the product, which is assured as homogeneous for defined classes.

Entering into detail, we shall examine the technical/economic/commercial advantages of the introduction of a system of on-line image analysis, on the production line of finished materials such as tiles or small-sized slabs.

## **1. TECHNICAL/ECONOMIC ADVANTAGES**

An automatic on-line selection, on the basis of aesthetic and geometric checks, on every tile is now operational.

Evident advantages:

- **Qualification of the product**

Every tile is guaranteed, objectively, both as free of geometrical defects (orthogonality, chipping on the sides) and as being similar to the class of aesthetic quality shown to the customers as samples. Qualification immediately entails the guarantee of the product, also because the measurements, being non-destructive, are repeatable. This kind of qualification is particularly important from the commercial viewpoint; in fact it is a qualification/guarantee that is:

- objective; in case of a hypothetical contestation, the test/selection can be

test/selezione può essere ripetuto quante volte si vuole e si è sempre certi del risultato;

- specifica per il prodotto commercializzato; la “marcatura CE” e le “specifiche di prodotto” richiamano valori numerici riferiti a campioni che devono rispettare dei test standard (es. resistenza a compressione), con campioni di forma e dimensioni pre-specificate, che nulla hanno a che vedere con il prodotto venduto (es. piastrella, lastra); inoltre la maggior parte delle prove standard sono distruttive.

In altre parole i valori dichiarati normalmente in sede di commercializzazione sono una forma di garanzia sui generis perché non potranno mai essere dimostrati relativamente ad una specifica partita venduta. Invece, la garanzia in linea delle caratteristiche visive riguarda esclusivamente e specificatamente la partita commerciale. Ed è ripetibile; sfruttabile per l’istituzione di una DOP; una Denominazione di Origine Protetta di un prodotto naturale è fattibile anche per i lapidei, come discusso due anni fa proprio a Carrara, in una giornata di studio su questo tema. Le caratteristiche misurabili numericamente attraverso una classica prova non distruttiva come l’analisi di immagine possono raggiungere il dettaglio voluto e, se consentono di distinguere fra classi di qualità di uno stesso prodotto, a maggiore ragione consentono di distinguere fra tipi rocce diverse.

repeated as often as is wanted and one is always certain of the results;

- specification for the marketed product; “EC marking” and “product specifications” recall numerical values referring to samples that must respect standard tests (e.g. compressive strength), with samples of pre-specified shape and size, which have nothing to do with the product being sold (e.g. tile, slab); in addition most standard tests are destructive.

In other words the values normally declared in marketing are an ordinary type of guarantee because it can never be demonstrated that they relate to a specific lot sold. On the other hand the on-line guarantee of the visual characteristics concerns exclusively and specifically that commercial lot. And it is repeatable, exploitable for the institution of a DOP; a Protected Denomination of Origin of a natural product is feasible also for stone products, as discussed two years ago at Carrara in a day of study on this theme.

The characteristics numerically measurable through a classic non-destructive test such as image analysis can achieve the detail desired and, if they enable distinction between classes of quality of a same product, then all the more can they enable

Si tratta, ancora, di una garanzia importante dal punto di vista commerciale, perché la “firma” giustifica un valore aggiunto e quindi incrementa il valore del prodotto. Un Carrara “firmato”, che non può essere confuso con un marmo cinese simile ed a minore costo, e che può essere numericamente ed oggettivamente garantito, vale di più. Ma questo richiede una volontà politica ed una capacità organizzativa delle associazioni dei produttori.

- **Riduzione dei costi**

Il processo di selezione e impacchettamento viene automatizzato con conseguente risparmio immediato sul numero di addetti alla linea di produzione.

- **Vantaggi commerciali**

Quando l'immagine viene ripresa, è anche memorizzata e si sa in quale confezione la piastrella/lastra è stata posta. Un normale software di gestione di informazioni, tipo data-base, unito ad una semplice interfaccia, consente la realizzazione di quella che chiamiamo il “magazzino virtuale”. Anche in questo caso sono evidenti i benefici commerciali.

- **Garanzia del prodotto**

Anche senza ricorrere ai dati numerici, il cliente non contesterà mai una partita commerciale, semplicemente perché la vedrà tutta sul monitor, pezzo per pezzo e prima di acquistarla. E si tratta di una garanzia praticamente a costo zero per il produttore, qualunque sia il tipo di selezione

distinction between different rock types.

We are again dealing with an important guarantee from the commercial point of view, because the “signature” justifies an added value and therefore increases the value of the product. A “signed” Carrara, which cannot be confused with a similar, cheaper Chinese marble, and is objectively guaranteed, is worth more. But this requires a political will and an organizational capability of producers' associations.

- **Cost reduction**

The process of selection and packaging is automated with a resulting immediate saving on the number of employees on the production line.

- **Commercial advantages**

When the image is taken, it is also memorised and it is known in which package the tile/slab has been placed.

A normal information-management, data-base type software, combined with a simple interface, enables the creation of what we call a “virtual warehouse”. Also in this case the commercial benefits are evident.

- **Product guarantee**

Even without resorting to numerical data, the customer will never dispute a commercial consignment, simply because he will have seen it all on the monitor, piece by piece, before purchasing it. And this is a guarantee at virtually zero cost for

eseguita.

- **Penetrazione commerciale**

È noto quanto sia difficile e costosa una operazione di penetrazione commerciale su mercati diversi da quelli tradizionali e consolidati, quanto meno per la necessità di una costosa e rischiosa azione di promozione. Il commercio elettronico è indubbiamente una forma di commercializzazione a bassissimo costo e si adatta ottimamente al magazzino virtuale delle rocce ornamentali.

Infatti, un qualunque cliente finale o rivenditore non dovrebbe avere timore di acquistare una partita commerciale offerta in rete, perché essa è totalmente nota, pezzo per pezzo; dunque non avrà sorprese.

Certamente, occorrerà rivolgersi a del personale in grado di creare un sito web adeguato al prodotto ed al mercato, così come di una contrattualistica adeguata. Ma si tratta di costi risibili rispetto al beneficio.

- **Assistenza progettuale**

Aggiungiamo a valle della selezione, un piccolo sistema di numerazione di ogni pezzo prodotto sul lato dello spessore. Unitamente alla memorizzazione del numero dello scatole e del pallets di imballaggio, questa informazioni può essere aggiunta al magazzino virtuale in modo da identificare ogni piastrella/lastra anche senza ricorrere all'immagine. Il cliente progettista, accedendo al

the producer, whatever the type of selection made.

- **Market penetration**

It is known how difficult and costly it is to penetrate different markets from traditional, consolidated ones, first of all because of the need for an expensive and risky promotion campaign. Electronic commerce is undoubtedly a very low cost form of marketing and is highly suitable for the virtual warehouse of ornamental rocks. In fact any final customer or re-seller need not be afraid to buy a commercial lot offered on the net, because it is totally known, piece by piece, so there will be no surprises.

Certainly it will be necessary to hire staff able to create a web-site suitable for the product and the market, as well as an appropriate form of agreement. But the costs are negligible in comparison with the benefit.

- **Assistance in design**

After selection a small system is added for numbering each piece produced on the thickness side. Combined with the memorization of the number of the boxes and the packaging pallets, this information can be added to the virtual magazine so as to identify each tile/slab even without going to the image.

The designer customer, by accessing the virtual warehouse, will thus have a particularly important tool, both because he can make on-line comparisons of the different material alternatives and because this comparison will

magazzino virtuale, disporrà così di uno strumento particolarmente importante, sia perché potrà ricorrere a confronti on-line delle diverse alternative di materiali; sia perché questo confronto avverrà sulle partite vere e non su quelle campione; sia perché potrà predisporre dei piani di posa dettagliati ed identificabili pezzo per pezzo, come ubicazione e orientazione, da affidare al posatore.

Si tratta di un'ulteriore forma di garanzia non più solamente sul prodotto finito, ma sul prodotto in opera, perché venature, variazioni di colore, accoppiamenti, saranno quelli noti prima di eseguire la posa stessa.

Per ottenere la numerazione automatica ed il software specializzato, il costo è trascurabile, soprattutto se si programma il sistema sin dal momento di sviluppo dell'applicazione dell'analisi di immagine.

## **2. CONCLUSIONI**

Considerando i vantaggi tecnico/economici sopra esposti che l'analisi d'immagine può fornire al prodotto finito come valore aggiunto, è opportuno iniziare ad applicarla per aumentare la competitività e primeggiare nel mercato internazionale.

be made on real lots and not on samples, and also because he can make detailed laying plans identifiable piece by piece, in position and orientation, to communicate to the tile-layer. This will be a further form of guarantee, not only of the finished product but also of the product as laid, because markings, variations in colour and pairings will be those known before laying.

To obtain the automatic numbering and the specialized software, the cost is negligible, especially if the system is programmed right from the moment of development of the image analysis application

## **2.CONCLUSION**

Analysing the economical and technical advantages that image analysis can give to final product as added value is time to apply it to increase competitiveness and be first in the international market.

### 3. BIBLIOGRAFIA - BIBLIOGRAPHY

BADIALI E. (2004) **Analisi di Immagine e DOP nel Settore dei Prodotti Lapidari**, Tesi di Laurea.

CUOGHI L. (2004) **Riconoscimento dei marmi della Provincia del Verbano Cusio Ossola Mediante le Tecniche della Morfologia Matematica e della Geostatistica**, Tesi di Laurea.

FRISA MORANDINI A. & MIRAMONTI C. (2003) **European standards and CE marking on stone construction products**, Academic Press, Lisbona.

SERRA J. & SALEMBIER P. (1993) **Mathematical Morphology and its Applications to Signal Processing**, *Proceedings of the workshop. UPC*, Barcelona, Spain.

BADINI L. (2005) **Materiali lapidei naturali - lapidei agglomerati**, Materia n° 39, pagg 171-179, Italia.

MIRAMONTI C. (2004) CE-Marking. CEN Harmonised Standards aims, *Atti del Convegno ECOSP*, Carrara.

COSS (1998) **Characterisation of Ornamental Stone Standards by Image Analysis of Slab Surface**, Final Report, Contract N. SMT4-CT95-2028, DGXII E.C.

ELEFThERIOU N. (2001) **Caratterizzazione Tecnico-Eстетica delle rocce ornamentali coltivate nella provincia del Verbano-Cusio-Ossola**, Eleftheriou, Bologna.

SOILLE P. (1999) **Morphological Image Analysis, principle and Applications**, Springer, Verlag

CNS ELECTRONICS LTD 61-63 (1994) **“Pundit manual for use with the portable ultrasonic non destructive digital indicating tester”** Holmes road London Maggio 1994

BLÜMICH B., CASANOVA F., PERLO J., ANFEROVA S., ANFEROV V., KREMER K., GOGA N., KUPFERSCHLÄGER K. & ADAMS C. (2005) **Advances of unilateral mobile NMR in nondestructive materials testing** *Magnetic Resonance Imaging, Volume 23, Issue 2-2005*, Pages 197-201.

ALESIANI M., CAPUANI S. & MARAVIGLIA B. (2003) **NMR applications to low porosity carbonate stones**, *Magnetic Resonance Imaging*, Volume 21, Issue 7, September 2003, Pages 799-804.

BONDUA' S., **Nuovi strumenti per la valorizzazione estetica delle rocce ornamentali: simulazione geostatistica e caratterizzazione morfologica**, tesi di dottorato, Bologna 2001

ANTONAZZO L., BADIALI E., BRUNO R. & PROVERBIO M. (2003) - **Certification Mark and Aesthetical Characterisation of Provincia VCO Ornamental Stones** — Proceedings of “2003 Congresso Internacional de la Piedra Natural” - Lisboa, Portugal, 8-9 Maio, 2003, pp.11.

BRUNO R., MONTOTO M. & PASPALIARIS I. (2004) Ed., **“Needs and priorities in stone characterisation”** –OSNET Editions Volume 6 - EUR 20637/6 - Published and printed by the Laboratory of Metallurgy, National Technical University of Athens GR-157 80 Zografos, Athens, Greece Athens 2004, 147 pp.

BRUNO R., MONTOTO M. & PASPALIARIS I. (2005) Ed., **“Finished products characteristics and uses: a guide”** – OSNET Editions Volume 15 - EUR 20637/15 - Published and printed by the Laboratory of Metallurgy, National Technical University of Athens GR-157 80 Zografos, Athens, Greece Athens and Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, Viale Risorgimento, 2 – 40136 Bologna, Italy, 2004/2005, 175 pp.

BRUNO R. & FRISA MORANDINI A. (2004) - **“The characterisation of finished products”**, in “OSNET - Stone Characterization Sector - State of the Art”, Edited by: Bruno, R., Montoto, M., and Paspaliars, I., Published and printed by the Laboratory of Metallurgy, National Technical University of Athens GR-157 80 Zografos, Athens, Greece Athens 2004, pp.76-90.

BRUNO R. & PITAVY O. (2004) - **Stone Characterisation by Image Analysis: Actual and Future Applications**, in “OSNET - Stone Characterization Sector – Needs and priorities in stone characterisation” - Edited by: Bruno, R., Montoto, M., and Paspaliars, I. - Published and printed by the Laboratory of Metallurgy, National Technical University of Athens GR-157 80 Zografos, Athens, Greece Athens 2004, pp.75-86.

ANTONAZZO L., BADIALI E., LAURENCE P., BRUNO R., PROVERBIO M. (2004) - **The Qualification Policy of VCO Stone Products** Proceedings of the “International Conference DIMENSION STONE 2004”, Prague (Czech Republic), June 14-17, 2004, pp. 4.

BONDUÀ S., BRUNO R. & MARTORO F. (2006)– **“L’analisi di immagine per la qualificazione del prodotto e l’incremento della competitività”** - Diamante, Milano, Anno XII N.46 Settembre 2006, p.108-111



# ANALISI DI IMMAGINE MACROSCOPICA DI GRANITI - *Análise de imagem macroscópica de granitos*

Pedro Pina<sup>1</sup>  
José Saraiva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CERENA – Centro de Recursos Naturais e Ambiente  
Instituto Superior Técnico, Lisboa

## RIASSUNTO

In questo lavoro è presentata una metodologia basata sui metodi di analisi di immagine e della Morfologia Matematica per lo studio petrografico di graniti a scala macroscopica. La metodologia consiste in due fasi principali: prima si opera una segmentazione dei vari elementi tessiturali, poi si esegue la classificazione in una delle classi mineralogiche predefinite. Gli algoritmi di segmentazione si basano sulla trasformazione morfologica *watershed*, poiché la trasformazione beneficia della modellizzazione geometrica degli insiemi di addestramento nello spazio delle variabili, così da ottenere delle frontiere di decisione più corrette. La metodologia è stata sviluppata e testata su campioni lucidati di 14 tipi commerciali di granito portoghese.

**Parole-chiave:** Petrografia, Analisi di Immagine, Morfologia Matematica, Segmentazione, Classificazione, Graniti.

## RESUMO

Apresenta-se neste trabalho uma metodologia baseada nos métodos de análise de imagem e morfologia matemática para o estudo petrográfico de granitos à escala macroscópica. A metodologia consiste em duas principais fases: primeiro na segmentação dos vários elementos texturais, seguida da sua classificação numa das classes mineralógicas previamente definidas. Os algoritmos de segmentação desenvolvidos baseiam-se na transformação morfológica *watershed*, enquanto que a classificação beneficia com a modelação geométrica dos conjuntos de treino no espaço das variáveis de forma a obter fronteiras de decisão mais correctas. A metodologia foi desenvolvida e testada com amostras polidas de 14 tipos comerciais de granitos portugueses.

**Palavras-chave:** Petrografia, Análise de Imagem, Morfologia Matemática,

## 1. INTRODUZIONE E INQUADRAMENTO METODOLOGICO

La determinazione quantitativa in petrografia, ancora oggi ricorre a tecniche classiche manuali, in cui la limitazione e soggettività introdotte dal perito/operatore nell'interpretazione visiva dell'informazione non riesce a produrre molto di più che una scarsa informazione su strutture che mostrano una informazione molto più ricca e dettagliata. Sebbene la digitalizzazione di immagini con grande risoluzione spettrale e spaziale sia negli ultimi anni assolutamente banale, per quanto i metodi di analisi di immagine siano progrediti abbastanza dal punto di vista metodologico, la loro utilizzazione in petrografia è ancora lontana dal potere essere considerata ben diffusa e di routine (Marschallinger (1997), Pina e Barata (2003), Bruno *et al.* (2005) e Benavente e Pina (2009) sono alcune eccezioni); eppure la analisi di immagini petrografiche al microscopio ha oramai raggiunto elevati livelli di applicazione (Russ 1990, 1999). Da qui nasce la ragione principale dello sviluppo di questo lavoro nel quale sono state sviluppate nuove metodologie per effettuare una caratterizzazione petrografica automatica macroscopia,

Segmentazione, Classificazione, Granitos.

### 1. Introdução e

enquadramento metodológico

A determinação quantitativa em petrografia ainda hoje recorre a técnicas clássicas manuais em que a limitação e subjectividade introduzida pelo perito/operador na interpretação visual de informação não consegue produzir mais do que escassa informação sobre estruturas que exibem informação muito mais rica e detalhada. Embora a possibilidade de digitalisar imagens de maiores resoluções espectral e espacial se tenha tornado quase trivial nos últimos anos, aliado ao facto de os métodos de análise de imagem terem progredido bastante do ponto de vista metodológico, a sua utilização em petrografia está longe de se considerar bem divulgada e aplicada rotineiramente (Marschallinger (1997), Pina e Barata (2003), Bruno *et al.* (2005) e Benavente e Pina (2009) são algumas excepções), apesar de a análise de imagem petrográfica por microscopia ter atingido já algum nível de relevo e de aplicação (Russ, 1990, 1999). Surge aqui a principal motivação para o desenvolvimento do presente trabalho no qual se

ricorrendo ai metodi di analisi di immagine e, in particolare, alla Morfologia Matematica, campo metodologico che dispone di un insieme articolato di operatori in grado di essere applicati alle varie fasi di studio. La Morfologia Matematica è stata creata nella metà degli anni '60 presso l'École des Mines de Paris da Georges Matheron e Jean Serra, con l'obiettivo di quantificare la geometria di un mezzo poroso (Matheron, 1967). Da allora ha registrato uno sviluppo importante, sia dal punto di vista concettuale e teorico, sia dal punto di vista dell'utilità pratica nel fornire un potente insieme di operatori ed algoritmi agli utilizzatori dell'analisi di immagine. Per approfondirne la conoscenza, si consigliano i lavori di Serra (1982, 1988). Nel caso particolare delle operazioni di segmentazione, capitolo dell'analisi di immagine in cui si vuole delimitare delle regioni dell'immagine che siano omogenee secondo criteri prestabiliti (per es. che presentino lo stesso colore), emerge in Morfologia Matematica la trasformazione con la "linea spartiacque" (*the watershed transform*) sviluppata originalmente da S. Beucher/Ch. Lantuéjoul (1979). La sua applicazione, sia diretta, sia assieme ad altre trasformazioni più elaborate

desenvolveram novas metodologias para efectuar caracterização petrográfica automática por macroscopia recorrendo aos métodos de análise de imagem, em particular, à morfologia matemática, método que dispõe de um conjunto articulado de operadores para actuar nas suas várias fases de aplicação. A morfologia matemática foi criada em meados da década de 1960 na École des Mines de Paris por Georges Matheron e Jean Serra com o objectivo de quantificar a geometria de um meio poroso (Matheron, 1967) e que desde então tem tido um desenvolvimento consistente, quer do ponto de vista conceptual e teórico quer do ponto de vista de utilidade prática ao fornecer um potente conjunto de operadores e algoritmos aos utilizadores da análise de imagem. Para o seu conhecimento e aprofundamento, aconselha-se a consulta dos trabalhos seminais de Serra (1982, 1988). No caso particular das operações de segmentação, capítulo da análise de imagem em que se pretende delimitar regiões da imagem que sejam homogéneas segundo critérios previamente estabelecidos (por exemplo, apresentarem a mesma cor), emerge na morfologia matemática a transformação por linha de separação de águas (*the*

che ricorrono ad operatori morfologici elementari, si è dimostrata un'opzione eccellente quando le caratteristiche geometriche e topologiche delle immagini risaltano, come hanno dimostrato i vari lavori pubblicati in svariati campi di applicazione (Soille, 2003).

Così, la metodologia sviluppata si basa fondamentalmente sugli operatori della Morfologia Matematica e considera due fasi principali: i) segmentazione delle unità tessiturali elementari dell'immagine; ii) loro classificazione in una delle classi mineralogiche predefinite.

## **2. SEGMENTAZIONE DELLE UNITÀ ELEMENTARI DELLA TESSITURA**

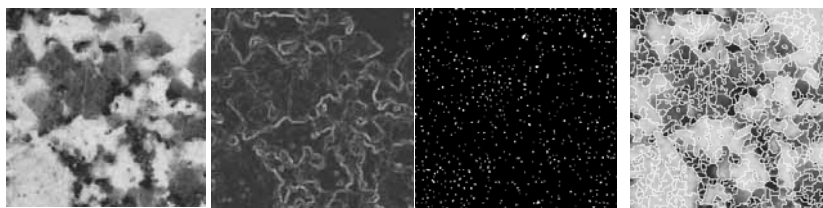
La trasformazione mediante *watershed*, considerando le immagini a livello di grigio come superfici topografiche, consiste nell'identificare i bacini idrografici associati a ciascun minimo. Questa trasformazione è stata arricchita con vari contributi (contributi principali da Beucher e Meyer, 1993) che l'hanno reso uno degli strumenti di segmentazione di immagine più robusti e popolari. Comunque, il successo della sua

*watershed transform*) creazione original de S. Beucher/Ch. Lantuéjoul (1979). A sua aplicação, quer directa, quer em conjunto com outras transformações mais elaboradas recorrendo a operadores morfológicos elementares têm-se revelado uma excelente opção quando as características geométricas e topológicas das imagens se destacam, tal como demonstram os vários trabalhos publicados em vários domínios de aplicação (Soille, 2003).

Assim, a metodologia desenvolvida baseia-se fundamentalmente nos operadores de morfologia matemática e tem duas principais fases: i) Segmentação das unidades texturais elementares da imagem; ii) sua classificação numa das classes mineralógicas previamente definidas.

## **2. SEGMENTAÇÃO DAS UNIDADES ELEMENTARES DA TEXTURA**

A transformação por *watershed*, ao considerar as imagens em níveis de cinzento como superfícies topográficas, consiste em identificar as bacias hidrográficas associadas a cada mínimo. Esta transformação tem sido enriquecida com várias contribuições (principais



(a) (b) (c) (d)

**Figura 1 – Procedimento di segmentazione: (a) immagine iniziale (area di 2,5 cm x 2,5 cm di granito *Branco Coral*); (b) gradiente morfologico; (c) minimi del gradiente; (d) *watershed* sovrapposto all'immagine iniziale- Sequência de segmentação: (a) imagem inicial (região de 2,5 cm x 2,5 cm de granito *Branco Coral*); (b) gradiente morfológico; (c) mínimos do gradiente; (d) watershed sobreposto à imagem inicial**

applicazione è direttamente associato alla selezione dei minimi che identificano le regioni da segmentare.

In questa applicazione alle immagini di graniti, le regioni di interesse sono tutte, ossia, sono tutti i minerali che costituiscono l'immagine nella sua totalità. Per una questione di semplificazione, è stata considerata solamente la classificazione nelle tre classi dominanti in tutti i tipi di granito studiati: quarzo, feldspato e biotite. Perciò, dato che la biotite presenta i toni più scuri, i feldspati livelli più chiari ed il quarzo livelli intermedi (figura 1a, esempio del granito *Branco Coral*), si procede alla ricerca dei marker di ciascuna unità tessiturale nell'immagine del gradiente: le zone di transizione fra minerali presentano gradienti elevati, mentre le zone

contribuições por Beucher e Meyer, 1993) que a tornaram numa das mais robustas e populares ferramentas de segmentação de imagem. No entanto, o sucesso da sua aplicação está directamente associado à selecção dos mínimos que marcam as regiões que interessa segmentar.

Nesta aplicação a imagens de granitos, as regiões de interesse são todas, ou seja, são todos os minerais que constituem a imagem na sua totalidade. Por uma questão de simplificação, considerou-se somente efectuar a classificação nas três classes dominantes em todos os tipos de granitos estudados: quartzo, feldspatos e biotite. Por isso, e uma vez que a biotite apresenta os tons mais escuros, os feldspatos os níveis mais claros e o quartzo níveis intermédios (exemplo

omogenee presentano dei valori bassi, qualunque sia il minerale (figura 1b). I marker del bacino di interesse sono perciò i minimi del gradiente (figura 1c) che sono imposti all'immagine iniziale nell'applicazione della trasformazione *watershed*. I bacini ottenuti (figura 1d, sovrapposta all'immagine iniziale) corrispondono alle regioni omogenee dell'immagine iniziale, che saranno classificate successivamente in una delle classi predefinite.

### **3. CLASSIFICAZIONE DELLE UNITÀ ELEMENTARI DELLA TESSITURA**

In questo processo guidato di segmentazione, i bacini delineati mediante trasformazione *watershed* serviranno per costruire gli insiemi di addestramento per la procedura di classificazione supervisionata. Così, ciascun bacino è considerato una unità elementare tessiturale dell'immagine ed è rappresentato nell'immagine di ciascuna variabile col valor medio degli attributi di tutti i pixel che lo costituiscono. In questo caso concreto di graniti grigi, la loro “mancanza” di colore permette di lavorare con un numero ridotto di variabili: fra le possibili combinazioni dei canali RGB (Red, Green, Blue) e HLS

na figura 1a para o granito *Branco Coral*) vão-se procurar os marcadores de cada unidade textural na imagem do gradiente: as zonas de transição entre minerais apresentam gradientes elevados, enquanto que as zonas homogéneas apresentam valores baixos, qualquer que seja o mineral (figura 1b). Os marcadores das bacias de interesse são por isso os mínimos do gradiente (figura 1c) que são impostos à imagem inicial na aplicação da transformação *watershed*. As bacias obtidas (figura 1d, sobrepostas à imagem inicial) correspondem às regiões homogéneas da imagem inicial, que serão classificadas posteriormente numa das classes previamente definidas.

### **3. CLASSIFICAÇÃO DAS UNIDADES ELEMENTARES DA TEXTURA**

Neste processo guiado pela segmentação, as bacias delineadas pela transformação *watershed* servirão para construir os conjuntos de treino para o procedimento de classificação supervisionada. Assim, cada bacia é considerada como sendo uma unidade elementar textural da imagem e é representada na imagem de cada variável pelo valor médio dos atributos de todos os pixels que a constituem. Neste

(Hue, Luminance, Saturation), sono stati selezionati i canali H, tonalità, e L, intensità, dopo che, mediante test empirici, si è verificato che essi garantiscono una maggior separabilità fra le varie classi di minerali. I bacini ottenuti nella figura 1d, sono adesso rappresentati con le immagini dell'intensità e della tonalità mediante il loro livello di grigio medio. La costruzione degli insiemi di addestramento per ciascuna classe si basa, così, su queste immagini: ciascun bacino è classificato manualmente da un perito, e la sua proiezione è effettuata nello spazio HL (figure 2a, 2b e 2c, rispettivamente per biotite, quarzo e feldspato). Sebbene esista una grande separabilità fra le varie classi, esiste anche un certo grado di sovrapposizione, problema che non è risolto correttamente coi metodi tradizionali di classificazione. Per aggirare questo problema, è stata sviluppata una nuova metodologia per la modellazione geometrica di queste nuvole di punti prima di effettuare la classificazione delle unità tessiturali. Questa metodologia si basa su un lavoro sviluppato per classificare sette classi di uso del suolo a partire da immagini satellitari multispettrali (Barata e Pina, 2006); E' stato verificato un aumento significativo nel

caso concreto de granitos cinzentos, a sua “falta” de cor permite trabalhar com um número reduzido de variáveis: entre as possíveis combinações dos canais RGB (Red, Green, Blue) e ITS (Intensidade, Tinta, Saturação), seleccionaram-se os canais I e T uma vez que, através de testes empíricos, verificou-se oferecerem uma maior separabilidade entre as várias classes de minerais. As bacias obtidas na figura 1d, são agora representadas para as imagens de intensidade (I) e tinta (T) pelo seu nível de cinzento médio. A construção dos conjuntos de treino para cada classe é assim baseada nestas imagens: cada bacia é classificada manualmente por um perito, sendo então a sua projecção efectuada no espaço I-T (figuras 2a, 2b e 2c, respectivamente para biotite, quartzo e feldspatos). Embora exista uma importante separabilidade entre as várias classes existe também um certo grau de sobreposição, problema que não é resolvido correctamente pelos métodos tradicionais de classificação. De forma a contornar esse problema, desenvolveu-se uma nova metodologia para modelação geométrica destas nuvens de pontos antes de efectuar a classificação das unidades texturais.

Esta metodologia baseia-se num trabalho

grado di classificazione in confronto con gli approcci tradizionali utilizzati nel telerilevamento. Consiste nella modellazione geometrica degli insiemi di punti di addestramento nello spazio delle caratteristiche in modo da ottenere frontiere di decisione che rispettino le loro caratteristiche omogenee originali (dimensioni, forma, orientamento).

La metodologia può essere riassunta nei sei seguenti passi:

- (i) Costruzione di nuclei forti per classe, nello spazio delle variabili (figura 2d);
- (ii) Costruzione di elementi strutturanti che riassumano le caratteristiche geometriche di ciascuna classe (dimensione, forma, orientamento);
- (iii) Costruzione di funzioni distanza individuali con gli elementi strutturanti;
- (iv) Costruzione di una funzione distanza globale per tutte le classi;
- (v) Calcolo della trasformazione *watershed* sulla funzione distanza globale ricorrendo ai nuclei forti di ciascuna classe come marker selettivi: le linee di *watershed* ottenute corrispondono alle frontiere di decisione fra classi (sovrapposte agli insiemi di addestramento iniziali nella figura 2e);
- (vi) Classificazione delle Unità tessiturali elementari delle immagini in una delle

desenvolvido para classificar sete classes de uso de solo em imagens multiespectrais de satélite (Barata e Pina, 2006), no qual se verificou um aumento significativo na taxa de classificação quando comparado com as abordagens tradicionais usadas em detecção remota. Consiste em modelar geometricamente os conjuntos de pontos de treino no espaço das características de forma a obterem-se fronteiras de decisão que respeitem as suas características geométricas originais (tamanho, forma, orientação). A metodologia pode ser resumida nos seguintes seis passos:

- (i) Construção de nucleos fortes por classe, no espaço das variáveis (figura 2d);
- (ii) Construção de elementos estruturantes que resumem as características geométricas de cada classe (tamanho, forma, orientação);
- (iii) Construção de funções distância individuais com os elementos estruturantes;
- (iv) Construção de uma função distância global para todas as classes;
- (v) Cálculo da transformação *watershed* sobre a função distância global recorrendo aos núcleos fortes de cada classe como marcadores selectivos: as linhas de *watershed* obtidas correspondem às fronteiras de decisão entre classes



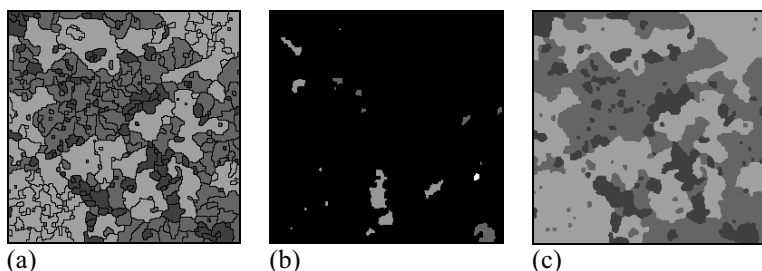


**Figura 2 – Costruzione delle regioni di decisione nello spazio delle variabili intensità (ascisse)- tonalità (ordinate):** (a) insieme di addestramento della classe biotite; (b) insieme di addestramento della classe quarzo; (c) insieme di addestramento della classe feldspato; (d) nuclei “forti” per le 3 classi; (e) frontiere di decisione sovrapposte ai punti iniziali - *Construção das regiões de decisão no espaço das variáveis intensidade (abcissas)-tinta (ordenadas):* (a) conjunto de treino da classe biotite; (b) conjunto de treino da classe quartzo; (c) conjunto de treino da classe feldspatos; (d) núcleos “fortes” para as 3 classes; (e) fronteiras de decisão sobrepostas aos pontos iniciais.

classi predefinite (figura 3a). L’attribuzione di una classe a ciascun bacino è effettuata in accordo con la regione di decisione dove si ubica il punto che la rappresenta. Questa fase della metodologia è illustrata con la stessa immagine del granito *Branco Coral* (figura 3a), mentre i bacini classificati male sono presentati nella figura 3b.

(sobrepostos aos conjuntos de treino iniciais na figura 2e); (vi) Classificação das unidades texturais elementares das imagens numa das classes previamente definidas (figura 3a).

A atribuição de uma classe a cada bacia é efectuada de acordo com a região de decisão onde o ponto que a representa se localiza. Esta



**Figura 3 – Fase di classificazione:** (a) elementi classificati con la linea de *watershed*; (b) elementi mal classificati; (c) attribuzione della linea di *watershed* alla classe più frequente nel suo intorno - *Fase de classificação:* (a) elementos classificados com a linha de *watershed*; (b) elementos mal classificados; (c) atribuição da linha de *watershed* à classe mais frequentada na sua vizinhança

Infine, per classificare tutti i punti dell'immagine, si attribuiscono le linee di *watershed* alla classe più frequente nell'intorno di ciascuno dei suoi punti (figura 3c).

#### **4. APPLICAZIONE ALLE IMMAGINI MACROSCOPICHE DI GRANITO PORTOGHESE**

La metodologia sviluppata è stata applicata ad un insieme di 14 graniti grigi portoghesi e, sebbene tale designazione commerciale includa i tipi veramente grigi, include anche i tipi in cui il colore non è predominante (tonalità giallastre, rosate, azzurre). La metodologia è stata così testata su vari campioni di ciascun tipo di granito (campioni 15 cm x 15 cm) digitalizzati con uno *scanner* a risoluzione spaziale di 150 dpi: di questo insieme di immagini, circa il 25% sono state scelte come insieme di addestramento e circa il 15% come insieme di test.

La segmentazione delle Unità elementari delle tessiture con la metodologia sviluppata (metodo MM\_Morfologia Matematica) ha condotto in generale a dei risultati molto buoni, presentati in tabella 1. Contemporaneamente, gli stessi campioni sono stati classificati con altri metodi (DM- Distanza Minima e MV-

fase da metodologia è illustrata con la stessa immagine del granito *Branco Coral* (figura 3a), enquanto que as bacias mal classificadas se apresentam na figura 3b. Por fim, de forma a classificar todos os pontos da imagem, atribuem-se as linhas de *watershed* à classe mais frequentada na vizinhança de cada um dos seus pontos (figura 3c).

#### **4. APLICAÇÃO A IMAGENS MACROSCOPICAS DE GRANITOS PORTUGUESES**

A metodologia desenvolvida foi então aplicada a um conjunto de 14 granitos cinzentos portugueses, e embora esta designação comercial inclua os tipos verdadeiramente cinzentos, inclui também os tipos em que a cor não é predominante (tons amarelados, rosados, azulados). A metodologia foi então testada em várias amostras de cada tipo de granito (amostras de 15 cm x 15 cm) que foram digitalizadas com um *scanner* com uma resolução espacial de 150 dpi: desse conjunto de amostras cerca de 25% foram escolhidas como conjunto de treino e cerca de 15% como conjunto de teste.

A segmentação das unidades elementares das

Massima Verosimiglianza) ed i cui risultati sono presentati sempre in tabella 1. Le principali conclusioni ottenute sono le seguenti:

- Il método MM è chiaramente quello che conduce ai migliori risultati, con errori fra 5.21% (per il granito ANT) e 1.13% (per il granito EUL);
- Sebbene la scelta dell'insieme di addestramento sia, così come asserito da molti autori, un fattore cruciale per potere ottenere dei buoni risultati nella classificazione, la sua modellazione geometrica nello spazio delle caratteristiche ha un'importanza aggiuntiva per consentire di disegnare delle migliori frontiere di decisione fra classi.

## 5. CONCLUSIONI

La metodologia di analisi di immagine basata sulla Morfologia Matematica presentata in questo lavoro è stata applicata con successo alla segmentazione/classificazione delle fasi mineralogiche dei graniti a scala macroscopica. I risultati ottenuti permettono di descrivere i graniti mediante delle migliori statistiche circa la loro composizione mineralogica, ma hanno anche reso possibile studiare esaustivamente degli aspetti legati alla dimensione, forma, contatti e relazioni di

texturas com a metodologia desenvolvida (método MM-Morfologia Matemática) conduziu globalmente a muito bons resultados, que se apresentam na tabela 1.

Simultaneamente, as mesmas amostras foram classificadas com outros métodos (DM-Distância Mínima e MV-Máxima Verosimilhança) e cujos resultados se apresentam também na tabela 1. As principais conclusões a reter são as seguintes:

- o método MM é claramente o que conduz a melhores resultados com erros entre 5.21% (para o granito ANT) e 1.13% (para o granito EUL);
- embora a escolha dos conjuntos de treino seja, tal como muitos autores defendem, um factor crucial para se obterem bons resultados na classificação, a sua modelação geométrica no espaço das características tem uma importância adicional ao conseguir desenhar melhores fronteiras de decisão entre classes.

## 5. CONCLUSÕES

A metodologia de análise de imagem baseada na morfologia matemática apresentada neste trabalho é aplicada com sucesso à segmentação/classificação de fases mineralógicas de granitos à escala

vicinanza fra minerali. La possibilità di estrarre questi parametri si rivela abbastanza più semplice perché si dispone di immagini classificate per fase minerale.

L'applicazione di questa metodologia può essere fatta anche in processi industriali per quantificare le proprietà estetiche al fine, per esempio, di creare lotti omogenei di materiale lapideo ornamentale, o per effettuare una più corretta descrizione petrografica mirata alla selezione dei parametri necessari allo sviluppo di modelli e tecniche di simulazione di tessiture di rocce a scala macroscopica.

Comunque, esiste ancora del lavoro da svolgere per migliorare questa metodologia, in particolare per la sua generalizzazione ad altri tipi di rocce, per introdurre un maggior numero di classi e per automatizzare alcuni passi degli algoritmi in fase di classificazione (costruzione di nuclei forti in modalità automatica, possibilità di spostamenti locali delle frontiere di decisione fra classi adiacenti per migliorare il tasso di classificazione).

Riassumendo, riteniamo che esiste un contributo importante, non solo per automatizzare un insieme di elaborazioni, ma anche per rendere possibile delle misure in petrografia

macroscópica. Os resultados obtidos permitem descrever os granitos através de melhores estatísticas na sua composição mineralógica, mas também tornam possível estudar exaustivamente aspectos relacionados com tamanho, forma, contactos e relações de vizinhança entre minerais. A possibilidade de extrair esses parâmetros torna-se assim bastante mais simples pelo facto de se dispôr agora de imagens classificadas por fase mineral.

A aplicação desta metodologia pode também ser feita em processos industriais para quantificação de propriedades estéticas para, por exemplo, criar lotes homogêneos de material pétreo ornamental, ou para efectuar uma mais correcta descrição petrográfica com vista a seleccionar os parâmetros necessários ao desenvolvimento de modelos e técnicas de simulação de texturas de rochas à escala macroscópica.

Contudo, existe ainda trabalho a desenvolver para melhorar esta metodologia, nomeadamente para efectuar a sua generalização a outro tipo de rochas, introduzir mais classes e automatizar alguns passos dos algoritmos na fase de classificação (construção dos núcleos fortes de uma forma automática, possibilidade de deslocação

**Tabella 1 – Risultati de Classificazione (% di elementi correttamente classificati) - *Resultados de Classificação (% de elementos correctamente classificados)***

<i>Tipo di granito</i>	<i>Metodo di Classificazione</i>		
	<i>DM</i>	<i>MV</i>	<i>MM</i>
ALM (Branco Almeida)	76.29	31.12	96.88
ANT (Branco Antas)	46.48	40.89	94.79
ARI (Branco Ariz)	73.82	55.12	96.87
ARIC (Cinzento Ariz)	43.64	44.30	97.86
AZU (Azulália)	08.37	27.21	97.67
CAR (Branco Caravela)	37.89	17.82	95.03
COR (Branco Coral)	59.60	33.72	97.44
EUL (Cinzento Sta. Eulália)	63.04	50.24	98.87
EVO (Cinzento Évora)	51.99	36.00	97.74
FAV (Favaco)	48.51	48.30	97.17
JAN (Jané)	07.69	21.80	96.73
SAL (Pedras Salgadas)	07.64	62.65	97.54
SPI (SPI)	36.40	47.73	96.10
VIM (Branco Vimieiro)	78.05	87.57	97.63

macroscopica con modalità più semplici, rapide e affidabili rispetto a quanto è attualmente fatto.

local das fronteiras de decisão entre classes adjacentes de forma a melhorar a taxa de classificação).

Em resumo, julgamos que existe um contributo importante, não só para automatizar um conjunto de tarefas, mas também para possibilitar o acesso a medidas em petrografia por macroscopia de uma forma mais fácil, rápida e fiável do que aquela que é efectuada presentemente.

## 6. BIBLIOGRAFIA – BIBLIOGRÀFIA

BARATA T., PINA P., (2006) **A morphological approach for feature space partitioning**, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 3(1): 173-177.

BENAVENTE N., PINA P.,(2009) **Morphological segmentation and classification of marble textures at macroscopical scale**, *Computers & Geosciences* (in press).

BEUCHER S., LANTUÉJOUL CH., (1979) **Use of watersheds in contour detection**, in *Proceedings of International Workshop on Image Processing: Real-Time Edge and Motion Detection/Estimation*, 2.1-2.12, Rennes.

BEUCHER S., MEYER F., (1993) **The morphological approach to segmentation: The watershed transformation**, in *Dougherty E. (ed): Mathematical morphology in image processing*, Marcel Dekker, New York, 433-482.

BRUNO R., CUOGHI L., LAURENCE P., (2005) **Quantitative identification of marbles aesthetical features**, *Lecture Notes in Computer Science*, 3523: 674-681.

MARSCHALLINGER R., (1997) **Automatic mineral classification in the macroscopic scale**, *Computers & Geosciences*, 23(1): 119-126.

MATHERON G., (1967) **Éléments pour une théorie des milieux poreux**, Masson, Paris.

PINA P., BARATA T., (2003) **Petrographic classification at the macroscopic scale using a mathematical morphology based approach**, *Lecture Notes in Computer Science*, 2652: 758-765.

RUSS J.C., (1990) **Computer-assisted microscopy. The measurement and analysis of images**, Plenum Press, New York.

RUSS J.C., (1999) **The handbook of image processing**, CRC Press & Springer, Boca Raton & Heidelberg.

SERRA J., (1982) **Image analysis and mathematical morphology**, Academic Press, London.

SERRA J., (1988) **Image analysis and mathematical morphology**, *Vol.2: Theoretical advances*, Academic Press, London.

SOILLE P., (2003) **Morphological image analysis. Principles and applications**, 2<sup>nd</sup> edition, Springer, Berlin.

**TECNICHE DI GEOELABORAZIONE DIGITALE DI IMMAGINI  
APPLICATE ALLA CLASSIFICAZIONE DI ROCCE  
ORNAMENTALI: USO DELLE COMPONENTI PRINCIPALI PER  
IL CALCOLO DEL VARIOGRAMMA - *Técnicas de processamento  
digital de imagens aplicadas à classificação de rochas ornamentais: uso de  
componentes principais para cálculo do variograma***

Charles Rezende Freitas<sup>1</sup>

Roberto Bruno<sup>2</sup>

Ana Clara Mourão Moura<sup>1</sup>

*1 – Dep. de Cartografia/IGC da Universidade Federal de Minas Gerais*

*2 – DICMA – Dip. di Ing. Chimica, Mineraria e delle tecnologie Ambientali dell'Università di Bologna*

**RIASSUNTO**

Il lavoro, sviluppato nell'ambito del progetto ALFA-FARO, presenta l'utilizzazione delle tecniche di geoelaborazione digitale di immagini applicate allo studio di rocce ornamentali, fornendo un contributo al processo di classificazione estetica di lastre di granito o di gneiss. Si è ricercato un incremento di conoscenze nella costruzione di variogrammi delle componenti principali ottenute a partire da immagini dei canali nello spazio dei colori RGB, acquisite con una digitalizzazione di queste lastre. Le immagini delle piastrelle di granito / gneiss, della dimensione di 20 cm x 20 cm, sono state ottenute con una scannerizzazione, e successivamente sono state decomposte in tre nuove immagini, mediante una Analisi in Componenti Principali. Su tali immagini sono stati calcolati e tracciati i variogrammi sperimentali, che proponiamo di considerare come una firma digitale del prodotto lapideo finito. L'Analisi in Componenti Principali dimostra di essere un'alternativa alla ridondanza di informazione presente nello spazio

**RESUMO**

O presente trabalho, desenvolvido no âmbito do projeto ALFA/FARO, demonstra a utilização de técnicas de processamento digital de imagens aplicadas ao estudo de rochas ornamentais, fornecendo uma contribuição ao processo de classificação estética de chapas de granitos e ou gnaisses. Buscou-se o ganho de conhecimento na construção de variogramas das componentes principais obtidas a partir de imagens dos canais do espaço de cores RGB adquiridas com a digitalização destas chapas. Obtivemos as chapas de granitos/gnaisses, medindo 20cmx20cm, por processo de escanerização que posteriormente foram decompostas em três novas imagens, aplicando-se análise de componentes principais, sobre quais realizamos o cálculo dos variogramas e sua representação gráfica que se apresenta como uma proposta de assinatura digital da rocha acabada. A análise por componentes principais demonstra que é uma alternativa à redundância de informação presente no espaço RGB e ainda favorece a

RGB e inoltre favorisce la ricerca di variazioni discrete nelle tonalità naturali delle rocce. I variogrammi possono essere considerati come una firma che consente la referenziazione delle lastre sulla base della distribuzione spaziale dei pigmenti di roccia, apportando nuovi strumenti per la classificazione estetica e per la successiva certificazione dei prodotti commercializzati.

## 1. INTRODUZIONE

L'aumento del commercio mondiale in un mondo globalizzato favorisce la circolazione di prodotti sul pianeta. E' certo che alcuni paesi hanno una vocazione più accentuata ad esportare determinati prodotti e ad importare altri, in funzione delle proprie disponibilità di risorse naturali e di tecnologie. Quando vi è convergenza di interessi si firmano gli accordi bilaterali o fra grandi blocchi commerciali. Per contro, il conflitto di interessi genera una competizione serrata per il mercato, obbligando i paesi ad adottare misure protezioniste. Oltre alle questioni commerciali, esistono le questioni tecniche, ad es. i prodotti devono soddisfare le norme di ciascun paese, cosa che influisce direttamente sulla qualità della produzione.

Le rocce ornamentali, trattandosi di una *commodity*, sono influenzate da questi vincoli di mercato. Così, come in altri mercati, la Cina si è distinta nel commercio mondiale, presentandosi come un importante produttore e consumatore. La Tabella 1 mostra le quote dello scambio globale di rocce ornamentali per i principali paesi.

das tonalidades naturais das rochas. Os variogramas podem ser utilizados como uma assinatura que propicia a padronização das chapas baseada na distribuição espacial dos pigmentos da rocha, agregando novas ferramentas para a classificação estética e posterior certificação dos produtos comercializados.

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento do comércio mundial em um mundo globalizado favorece a circulação de produtos pelo planeta. É certo que alguns países têm vocação para exportar determinadas mercadorias e importar outras de maneira mais acentuada, dependendo da sua disponibilidade de recursos naturais e tecnologias. Ocorrendo a convergência de interesses são firmados acordos bilaterais ou em grandes blocos de comércio. De maneira inversa, o conflito de interesses proporciona uma acirrada disputa pelo mercado obrigando os países a adotarem medidas protecionistas. Para além das questões comerciais existem as questões técnicas, os produtos devem atender às normas de cada país, o que influi diretamente na qualidade de produção.

As rochas ornamentais, por se tratarem de uma *commodity*, estão sob influência destas condicionantes de mercado. Assim como em outros mercados a China tem se destacado no comércio mundial, se apresentando como importante produtor e consumidor. A Tabela 1 mostra a participação dos principais países exportadores de rochas ornamentais.



**Tabella 1 – Interscambio globale dei principali paesi: contributo % sui quantitativi (Montani, 2008) - Principais exportadores mundiais**

	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<b>Cina</b>	22,5%	23,6%	22,9%	24,7%	25,0%	25,0%
<b>India</b>	9,6%	10,8%	11,8%	11,2%	10,9%	12,1%
<b>Turchia</b>	5,8%	7,0%	8,0%	8,4%	9,8%	10,2%
<b>Italia</b>	12,6%	10,4%	9,4%	8,7%	7,9%	7,2%
<b>Brasile</b>	5,6%	5,1%	5,5%	6,0%	6,1%	5,4%

E' importante sottolineare che questo mercato è cresciuto e si stima in 80 miliardi di US\$ il movimento finanziario del settore; emergono come principali mercati consumatori la Cina, gli Stati Uniti, l'India e l'Italia.

Parallelamente allo sviluppo del commercio occorre registrare lo sviluppo di nuove tecnologie di produzione, controllo di qualità e controllo estetico dei prodotti di rocce ornamentali. Un importante meccanismo di controllo della qualità delle rocce commercializzate ed anche uno strumento per proteggere i mercati interni nell'Unione Europea, è stata la creazione della certificazione. Solo i prodotti che posseggono un certificato di origine ed un controllo delle caratteristiche fisiche, possono ottenere la marcatura CE, come avviene per altre *commodities*.

Esaminando in particolare la caratterizzazione estetica, si cerca di classificare i materiali in prima e seconda scelta; tipicamente, il primo è un materiale più omogeneo

possibile, senza grandi variazioni di forma e pigmentazione, un materiale più standard; il secondo invece tollera delle variazioni di tali caratteristiche. Come evidenziato da Bonduà (2001), l'utilizzazione delle

investigação de variações discretas

É importante ressaltar que este mercado tem crescido e estima-se em US\$ 80 bilhões o movimento financeiro do setor, destacando-se como principais mercados consumidores a China, os EUA, a Itália e a Espanha.

Paralelamente ao desenvolvimento do comércio acompanha-se o surgimento de novas tecnologias de produção, controle de qualidade e controle estético dos produtos de rochas ornamentais. Um importante mecanismo de controle da qualidade das rochas comercializadas bem como um instrumento para se resguardar os mercados internos na Comunidade Européia tem sido a criação da certificação. Todos os produtos que possuem registro de origem e controle das características físicas recebem a marca CE, a exemplo do que ocorre com outras *commodities*.

Guardando um olhar especial para a caracterização estética o que se procura é a classificação dos materiais como sendo de primeira e segunda linha, sendo o primeiro um material mais homogêneo possível, sem grandes variações de forma e pigmentação, um material mais padronizado, já o segundo seria tolerante a variações destas

rocce si basa molto sulle caratteristiche visive, a cominciare dal nome commerciale (*Rosa Raissa, Verde Ubatuba, Cinza andorinha*). La selezione si basa su un processo soggettivo, effettuata manualmente da parte di un tecnico specialista a partire dall'ispezione visiva.

Con lo sviluppo delle tecnologie software e hardware, è oggi possibile ottenere, memorizzare, estrarre e manipolare l'informazione estetica delle rocce in forma di immagini ed implementarla lungo il processo di produzione, sviluppando così l'automazione della classificazione estetica della produzione. Secondo Campello (2005), è possibile utilizzare questi strumenti tanto in fase di coltivazione dei depositi, a scala macroscopica, quanto nelle sezioni sottili petrografiche a scala microscopica.

Pensando ad una linea di produzione per la classificazione delle lastre, ove una telecamera acquisisce l'immagine dell'elemento, la analizza e seleziona la prima dalla seconda scelta, il DICMA-UNIBO ha realizzato una simile strumentazione, in cui il ricercatore (Bonduà, 2001) ha sviluppato le seguenti analisi per i diversi prodotti finiti:

- Separazione mediante istogramma
- Separazione mediante media-varianza
- Separazione mediante variogramma
- Separazione mediante granulometria

Campello (2005) propone nei suoi studi l'inclusione di un metodo che utilizza la trasformazione delle

caratteristiche. Conforme resalta (Bonduà, 2001) a utilização das rochas ocorre pelas características visuais, a começar pelo nome comercial (Rosa Raissa, Verde Ubatuba, Cinza andorinha), sendo, portanto um processo subjetivo, que se segue com a escolha manual feita por um técnico especialista a partir de inspeção visual.

Com o desenvolvimento de técnicas em softwares e hardwares é possível obter, armazenar, extrair e manipular a informação estética das rochas na forma de imagens e implementá-las ao longo do processo, desenvolvendo assim a automação da classificação estética da produção. De acordo com (Campello, 2005), é possível utilizar estas ferramentas tanto no processo de exploração das jazidas, uma visão macroscópica, quanto nas lâminas petrográficas, em uma abordagem microscópica.

Pensando na construção de uma linha de produção para classificação de chapas, onde uma câmera obterá a imagem da peça, que será analisada e como resultado no fim da linha ela será separada em primeira e segunda escolha, o DICMA-UNIBO viabilizou a construção de tal equipamento em que o pesquisador (Bonduà, 2001) desenvolveu as seguintes análises para diversas peças acabadas:

- Separação pelo histograma;
- Separação média x variância;
- Separação pelo variograma;
- Separação pela granulometria.

(Campello, 2005) em seus estudos propõe a inclusão de um método que utiliza a transformação das imagens

immagini dallo spazio dei colori RGB a quello IHS e la costruzione di un diagramma ternario in cui porre le medie dei tre canali, riuscendo così a distinguere un maggior numero di lastre di differenti materiali.

Queste metodologie di classificazione devono essere applicate congiuntamente, poiché da sole non possono distinguere un prodotto da un altro.

L'obiettivo principale di questo lavoro è di studiare la possibilità di usare il variogramma delle componenti principali delle immagini RGB delle lastre come strumento di classificazione estetica, in aggiunta alle tecniche proposte in precedenza. L'Analisi in Componenti Principali, semplificando, consiste nell'ottenere un piccolo numero di variabili (le componenti principali) con delle combinazioni lineari dell'insieme di variabili originali; tali combinazioni lineari devono assorbire il massimo possibile dell'informazione contenuta nelle variabili originali; devono consentire altresì di trasformare un insieme di variabili correlate in un nuovo insieme di variabili indipendenti (cfr. Maldonado, 1999).

## **2. MATERIALI E METODI**

Sono stati predisposti sette campioni di 20cm x 20cm, tre di gneiss grigio italiano (*Serizzo Antigorio*), due di granito giallo brasiliano (*Santa Cecilia* e *Arabesco*) e due di granito verde brasiliano (*Verde Pavão* e *Verde Jade*).

Questi campioni sono stati digitalizzati su scanner utilizzando una risoluzione di 96 dpi, ottenendo sette immagini di 510 x 510 pixels nello spazio dei colori RGB, in

do spazio di cores RGB per IHS e a costruzione di un diagramma ternario contendo la media del canale I, H e S rispettivamente, conseguendo assim distinguere un maggior numero di chapas de diferentes materiais.

Estas metodologias de classificação devem atuar em conjunto, pois isoladamente não podem caracterizar um produto como sendo diferente de outro.

O objetivo principal deste trabalho é estudar a possibilidade do uso do variograma das componentes principais das imagens RGB da chapas enquanto instrumento de classificação estética, somando-se às técnicas anteriormente propostas. A análise de componentes principais é a obtenção de um pequeno número de combinações lineares de um conjunto de variáveis, que retenham o máximo possível da informação contida nas variáveis originais, ela permite transformar um conjunto de variáveis correlacionadas, em um novo conjunto de variáveis não correlacionadas como observamos em (Maldonado, 1999).

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

Foram preparadas sete amostras medindo 20cmx20cm, três do gnaiss cinza italiano (*Serizzo Antigorio*), duas de granitos amarelos brasileiros (*Santa Cecilia* e *Arabesco*) e duas de granitos verdes brasileiros (*Verde Pavão* e *Verde Jade*).

Estas amostras foram digitalizadas em escâner utilizando resolução de 96 dpi, obtendo-se sete imagens de 510 x 510 pixels no espaço de cor RGB, formato bitmap, denominadas 000, 001 e 002 para o Serizzo, SC para Santa Cecilia, ARA

formato bitmap, denominati 000, 001 e 002 per il *Serizzo*, SC per *Santa Cecilia*, ARA per *arabesco*, VP- per *Verde Pavão* e VJ per *Verde Jade*.

Sono stati calcolati i variogrammi di ciascuna immagine R, G e B, utilizzando un programma sviluppato dal DICMA, con passo eguale ad un pixel e distanza massima eguale a duecento pixels; sono sempre state considerate le quattro direzioni principali (0°, 45°, 90° e 135°). I risultati numerici sono stati importati su Excel per un post-processing grafico.

Successivamente, queste immagini sono state introdotte nel software Spring (INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil) e sono state estratte altre tre immagini da ciascun campione, corrispondenti alle tre componenti principali, PC1, PC2 e PC3, delle immagini originali. Come per le immagini originali, anche per le immagini delle componenti principali sono stati calcolati i variogrammi con passo eguale ad un pixel e distanza massima di duecento pixels, secondo le quattro direzioni (0°, 45°, 90° e 135°). La rappresentazione grafica è stata ottenuta sempre mediante Excel.

### 3. RESULTATI E DISCUSSIONE

La Figura 1 rappresenta le immagini del campione 000 di *Serizzo* e di seguito è riportata la sua matrice di correlazione, che mostra l'alto grado di correlazione fra i canali:

	R	G	B
R	1	0.932	0.915
G	0.932	1	0.934
B	0.915	0.934	1

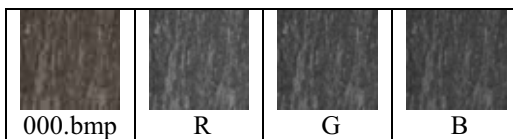
para arabesco, VP- verde pavão e VJ para verde Jade.

Efetuamos o cálculo dos variogramas de cada uma das imagens R, G e B utilizando algoritmo desenvolvido no DICMA, considerando-se o passo igual a um pixel e distância máxima igual a duzentos pixels, considerando-se sempre as quatro direções principais (0°, 45°, 90° e 135°). Os resultados foram levados ao Excel para montagem dos gráficos.

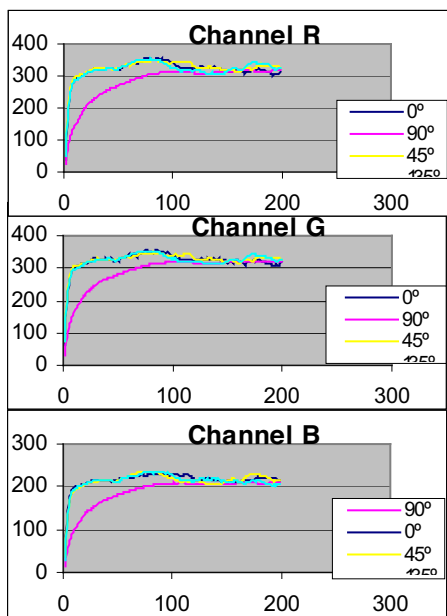
Posteriormente estas imagens foram levadas ao software Spring (INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil) onde foram extraídas mais três imagens de cada amostra, PC1, PC2 e PC3, representando as três componentes principais das imagens originais. Da mesma forma que as imagens originais, foram também calculados os variogramas com passo igual a um pixel e distância máxima igual a duzentos pixels, considerando-se as direções (0°, 45°, 90° e 135°). A representação gráfica dos resultados foi realizada no Excel.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta as imagens da amostra 000 do *Serizzo* e a seguir sua matriz de correlação, indicando o alto grau de semelhança entre os canais:



**Figura 1 – Immagini RGB campione 000 – *Imagens RGB amostra 000*. A sinistra la matrice di correlazione.**

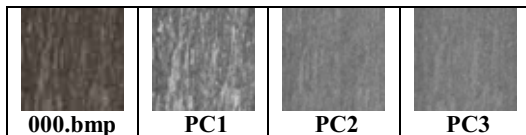


**Figura 2- Variogrammi RGB campione 000**

I variogrammi rappresentati in Figura 2 dimostrano la ridondanza dei dati, in quanto osserviamo lo stesso comportamento nei tre grafici. Occorre rilevare, inoltre, il forte comportamento anisotropo a scala centimetrica in direzione 90°, legato alla direzione principale delle venature, con un rapporto delle portate che si avvicina a 1/10.

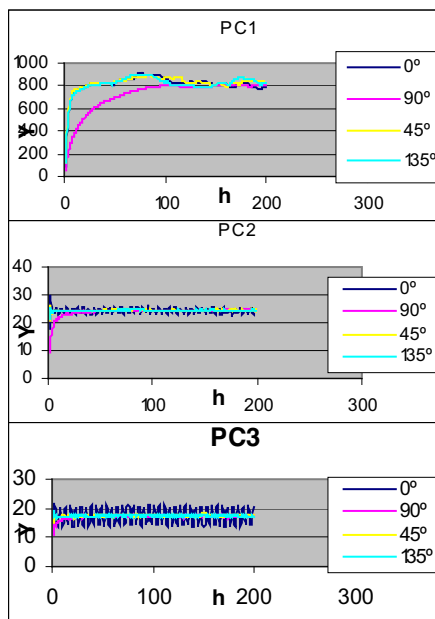
Ad un esame visivo, le immagini delle componenti principali risultano meno correlate, come si può verificare nella Figura 3.

**Figura 3 – Immagini PC1 PC2 e PC3, campione 000**



Os variogramas apresentados na Figura 2 demonstram a redundância de dados, pois observamos o mesmo comportamento nos três gráficos, ainda cabe destacar o comportamento anisotrópico na direção 90°, indicando a linha preferencial do bandamento.

Por inspeção visual as imagens das componentes principais são menos correlatas, como demonstrada na Figura 3.



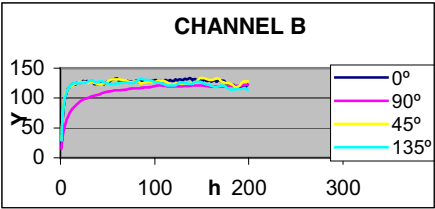
**Figura 4 – Variogrammi PC1 PC2 PC3, campione 000**

Observamos nos gráficos da Figura 4 que o variograma da componente PC1, como se esperava, apresenta comportamento bastante similar ao das imagens originais, uma vez que ela conserva a maior parte da informação inicial.

O comportamento dos gráficos referentes às componentes

Nei grafici di Figura 4 osserviamo che il variogramma della componente PC1, come ci si aspettava, presenta un comportamento abbastanza simile a quello delle immagini originali, visto che la componente assorbe la maggior parte dell'informazione iniziale. I grafici dei variogrammi relativi alle componenti PC2 e PC3 mostrano un andamento ciclico di tipo sinusoidale in direzione 0° a scala millimetrica, che esprime la variabilità della serie di venature dello gneiss, una alternanza di chiaro di scuro. I variogrammi nelle altre direzioni, invece, si mantengono stabili.

Le Figure da 5 a 8 rappresentano i risultati per il campione 001 di *Serizzo*, a cui si applicano le medesime osservazioni fatte precedentemente, indicando un comportamento abbastanza standardizzato. Le Figure da 9 a 12 mostrano i risultati per il campione 002 del *Serizzo*, e di nuovo si applicano le stesse osservazioni precedenti, rafforzando l'idea di un comportamento tipico, standard, di riferimento.



PC2 e PC3 presenta un comportamento ciclico tipo senoidale na direção 0°, capturando a sequência do bandamento gnáissico ora claro ora escuro, mantendo-se estável para as demais direções.

As Figuras 5 a 8 representam os resultados para a amostra 001 do Serizzo, cabendo para ela as mesmas observações anteriores, indicando um comportamento padrão. As Figuras 9 a 12 representam os resultados para a amostra 002 do Serizzo, cabendo para ela as mesmas observações das amostras anteriores, reforçando a idéia de um comportamento padrão.

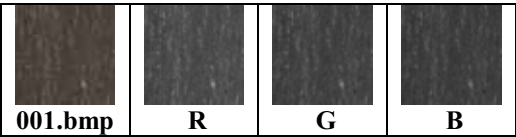


Figura 5 – Immagini RGB campione 001

**Matrice di Correlazione**

	R	G	B
<b>R</b>	1	0.891	0.860
<b>G</b>	0.891	1	0.897
<b>B</b>	0.860	0.897	1

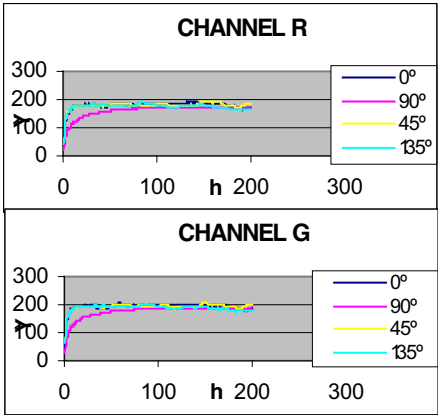


Figura 6 – Variogrammi RGB campione 001

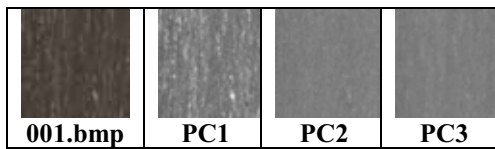


Figura 7 – Immagini PC1 PC2 e PC3, campione 001

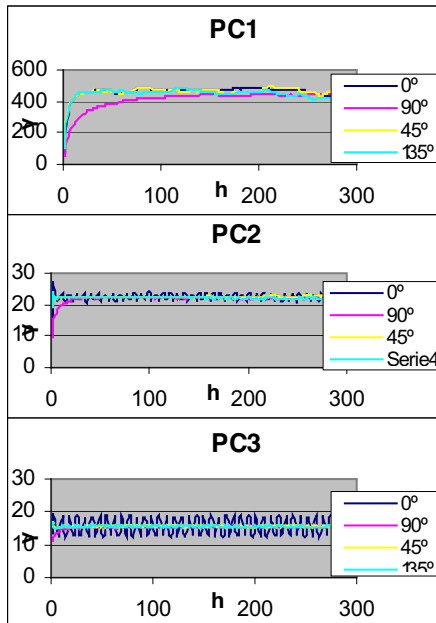
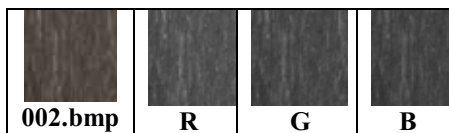


Figura 8 – Variogrammi PC1 PC2 PC3, campione 001



Matrice di Correlazione

	R	G	B
R	1	0.902	0.876
G	0.902	1	0.905
B	0.876	0.905	1

Figura 9 – Immagini RGB campione 002

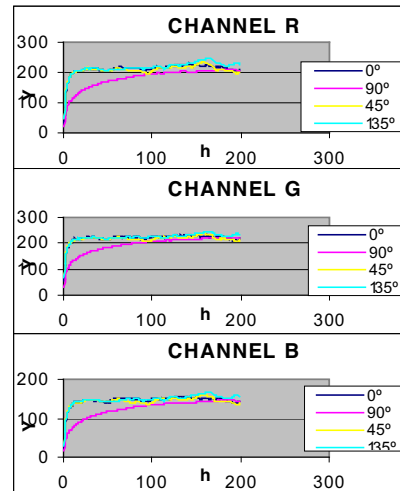


Figura 10 – Variogrammi RGB, campione 002

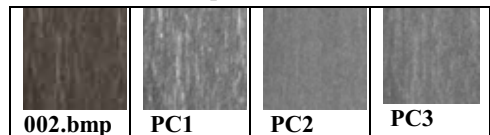


Figura 11 – Immagini PC1 PC2 E PC3 campione 002

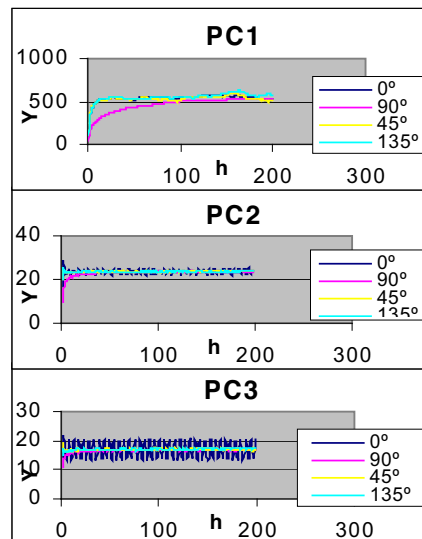
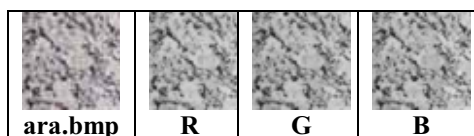


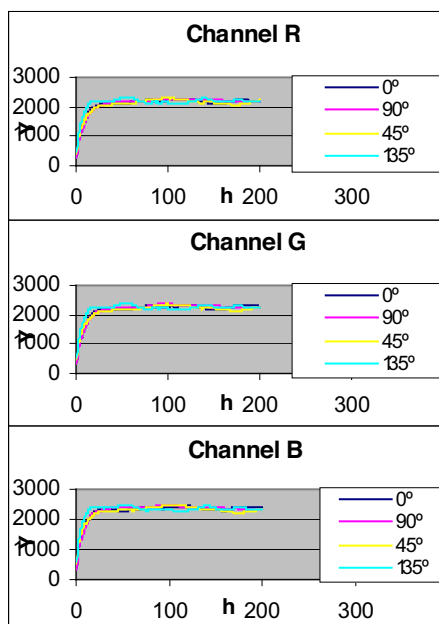
Figura 12 – Variogrammi PC1 PC2 e PC3, campione 002

### Matrice di Correlazione

	R	G	B
R	1	0.993	0.981
G	0.993	1	0.993
B	0.981	0.993	1



**Figura 13 – Immagini RGB campione Arabesco**



**Figura 14 – Variogrammi RGB campione Arabesco**

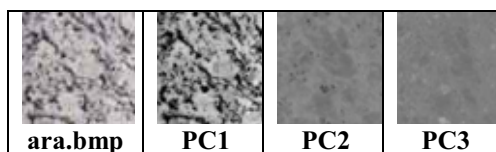
La Figura 13 presenta le immagini del campione di *arabesco* e, a seguire, la sua matrice di correlazione che giustifica l'uso delle componenti principali.

I variogrammi presentati in Figura 14 dimostrano la ridondanza di dati, poiché osserviamo lo stesso comportamento nei tre grafici; inoltre

A Figura 13 presenta as immagini da amostra do arabesco e, seguindo, sua matriz de correlação viabilizando o uso de componentes principais.

Os variogramas apresentados na Figura 14 demonstram a redundância de dados, pois observamos o mesmo comportamento nos três gráficos, ainda cabe destacar o comportamento anisotrópico na direção 135°, indicando a linha preferencial dos tons mais escuros.

A Figura 15 apresenta o resultado da decomposição em componente principais da amostra Arabesco.



**Figura 15 – Immagini PC1 PC2 PC3 campione Arabesco**

Nos variogramas das componentes principais da peça de arabesco verificamos mais uma vez que a PC1 acumula a informação original e as demais representam os detalhes, como é o caso da anisotropia observada na direção 90°, referente aos grãos de coloração avermelhada, destacadas na Figura 16.

Na Figura 17 observamos que, por se tratar de uma peça com tonalidades mais marcantes, o canal azul guarda uma informação diferenciada em relação às demais, demonstrada pela matriz de correlação e que se expressa nos variogramas da Figura 18. Nela percebemos nos canais R e G a anisotropia na direção 45°, parte mais



occorre rilevare una leggera anisotropia nella direzione 135°, con un rapporto delle portate inferiore a 1/2, a scala subcentimentrica, lungo la direzione preferenziale dei toni più scuri.

La Figura 15 mostra i risultati della scomposizione in componenti principali del campione *Arabesco*.

Nei variogrammi delle componenti principali della piastrella di *Arabesco* (Figura 16), abbiamo verificato ancora una volta che la PC1 accumula l'informazione originale e le altre ne rappresentano i dettagli, come nel caso dell'anisotropia del variogramma della PC2 in direzione 90°, che può essere agevolmente riferita ai grani di colorazione rossastra.

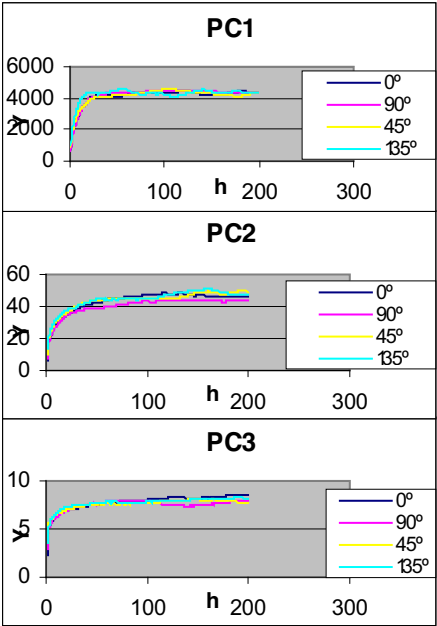


Figura 16 – Variogrammi PC1 PC2 PC3, campione *Arabesco*

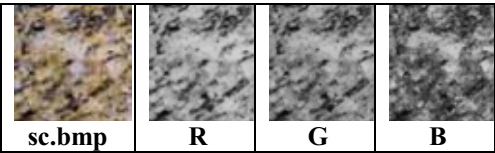


Figura 17 – Immagini RGB, campione *Santa Cecilia*

**Matrice di Correlazione**

	R	G	B
R	1	0.979	0.783
G	0.979	1	0.887
B	0.783	0.887	1

escura da peça, no canal B percebe-se uma leve anisotropia na direção 135°, representando as regiões esbranquiçadas da peça. Para distâncias maiores no variograma, apresenta-se um *trend* na direção 0° em todos os canais, acentuando-se no canal B, relacionado também às porções mais claras.

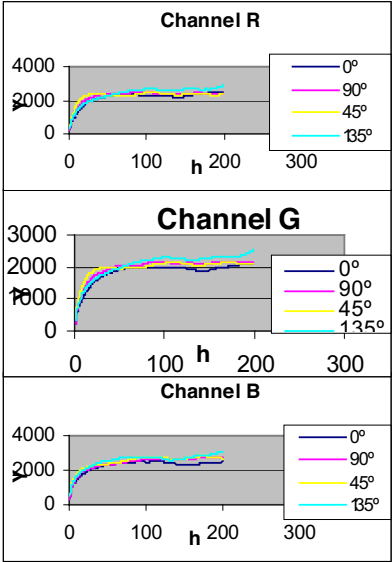
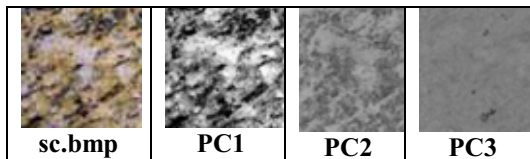


Figura 18 – Variogrammi RGB, campione *Santa Cecilia*

Nella Figura 17 sono rappresentate le immagini originali dei canali del campione di granito *Santa Cecilia*. Si può osservare che, trattandosi di una piastrella con tonalità più vive, il canale blu conserva un'informazione differenziata rispetto agli altri due canali. Lo dimostrano i valori dalla Matrice di Correlazione ed i variogrammi riportati nella Figura 18. In essa rileviamo nei canali R e G l'anisotropia in direzione 45°, parte più scura della piastrella; nel canale B si osserva una lieve anisotropia a scala subcentimetrica in direzione 135°, che può essere riferita alle regioni biancastre della piastrella. Per distanze maggiori del variogramma, si intuisce un comportamento intrinseco a scala decimetrica, in direzione 135°, su tutti i canali.

In Figura 19 sono rappresentate le immagini delle componenti principali relative al campione *Santa Cecilia*.

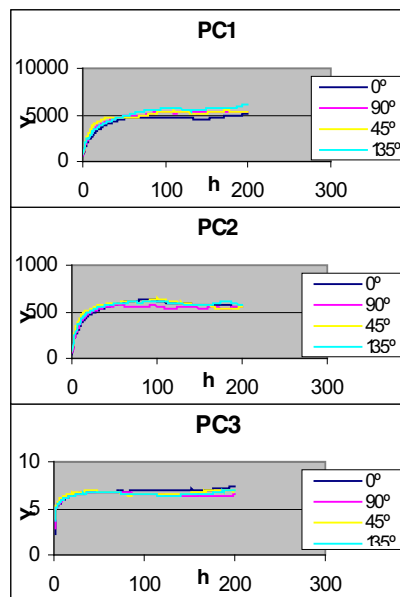


**Figura 19 – Immagini PC1 PC2 E PC3 campione *Santa Cecilia***

In Figura 20 sono riportati i variogrammi delle componenti principali. Come ci si aspettava, la componente PC1 conserva in generale il comportamento osservato nei variogrammi delle immagini originali; le componenti PC2 e PC3 quantificano la variabilità a grande (10 cm) e piccola (< 1cm), perdendo sempre più l'anisotropia. Tali comportamenti possono essere riferiti alla parte granulare del granito.

Na Figura 19 apresentam-se as imagens das componentes principais da amostra do granito *Santa Cecilia*.

Como esperávamos a componente PC1 guarda de maneira geral todo o comportamento observado nos variogramas das imagens originais, o variograma da imagem PC2 revela um *trend* para maiores distâncias na direção 90°, expressando a parte granular do granito. No variograma da imagem PC3 observa-se que só não existe *trend* em distâncias maiores para a direção 0°. Todas as observações anteriores referem-se à Figura 20.



**Figura 20 – Variogrammi PC1 PC2 e PC3, campione *Santa Cecilia***

Infine, per i graniti verdi si conferma l'elevata correlazione fra i canali dell'immagine RGB, come desumibile dalla Figura 21.

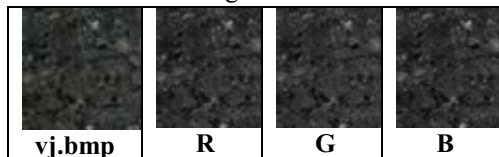


Figura 21 – Immagini RGB, campione Verde

Matrice di Correlazione			
	R	G	B
R	1	0.980	0.946
G	0.980	1	0.973
B	0.946	0.973	1

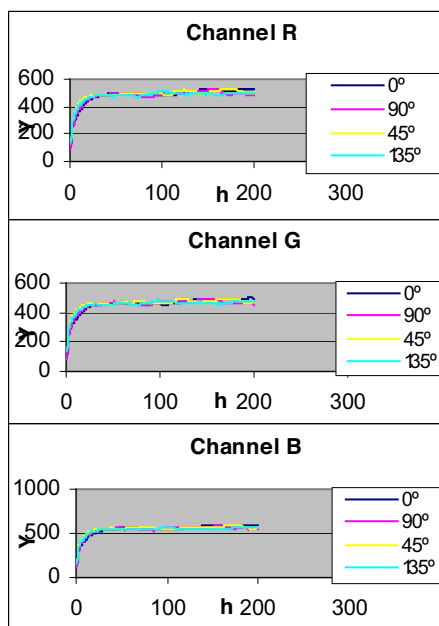


Figura 22 – Variogrammi RGB campione Verde

La figura 22, che riporta i variogrammi delle immagini RGB, ci mostra una variabilità a scala centimetrica, con una sostanziale, ma

Finalmente, para os granitos verdes temos na Figura 21, da mesma forma, uma alta correlação entre as imagens.

A Figura 22, com os variogramas das imagens RGB, nos revela um *trend* em todas as direções quando olhamos para as grandes distâncias do variograma, ressaltando as pequenas “fissuras” escuras presentes neste granito. As imagens das componentes principais nos evidência nas componentes PC2 e PC3 as variações mais sutis de granulações, ficando mais uma vez a componente PC1 com a informação das imagens originais, o que pode ser observado na Figura 23.

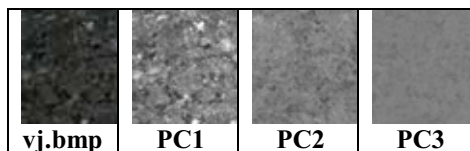


Figura 23 – Imagens PC1 PC2 e PC3, campione Verde

A Figura 25 apresenta as imagens originais da amostra da peça Verde Pavão, e a similaridade entre estas.

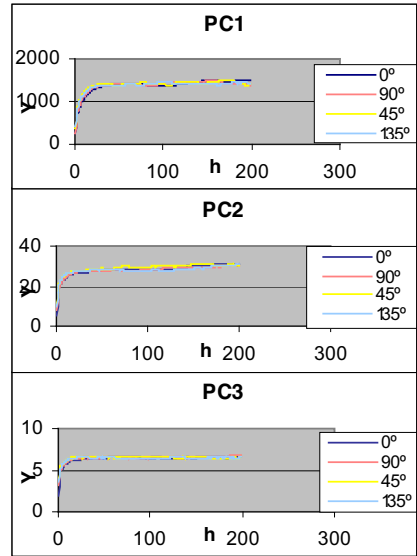
A Figura 26, relativa aos variogramas das imagens originais, revela uma anisotropia na direção 45° devido ao grande número de lineamentos existentes no interior da porção porfíritica deste granito. Na direção 0° observamos a anisotropia dos pequenos grãos de quartzo.

A figura 27 apresenta as imagens das componentes principais da amostra do granito Verde Pavão.

Assim observamos na Figura 28 o caráter aleatório dos grãos mais escuros demonstrado pelo variograma

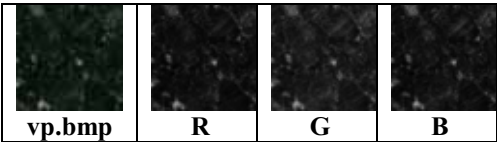
“strana”, isotropia. Inoltre appare una leggera periodicità in tutte le direzioni alle grandi distanze. Questa va riferita alle piccole “fessure” scure presenti in questo granito.

Le immagini delle componenti principali, rivelano con le componenti PC2 e PC3 le variazioni più fini della granulometria, mentre la componente PC1 assorbe sempre l’informazione delle immagini originali, come si può osservare nella Figura 23.



**Figura 24 – Immagini PC1 PC2 e PC3 campione Verde**

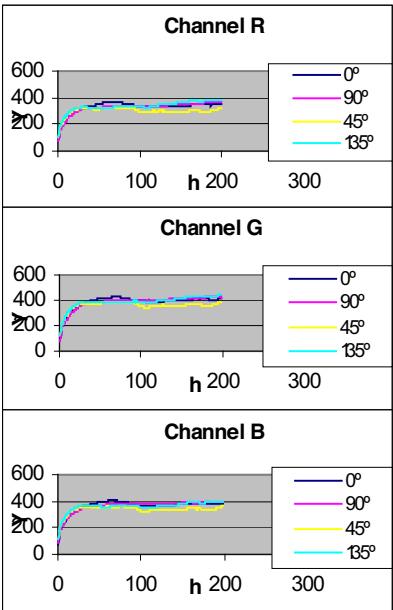
Ed infatti le portate dei variogrammi delle componenti PC2 e PC3 sono a scala subcentimetrica (Figura 24), contrariamente alla portata della PC1, la cui scala è centimetrica. Inoltre la PC2 evidenzia un comportamento lineare intrinseco alla grande scala, leggero, ma netto.



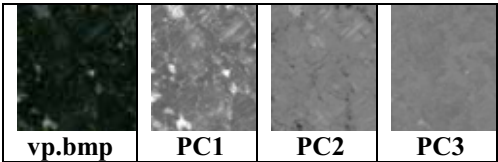
**Figura 25 – Immagini RGB, campione Verde Pavão**

**Matrice di Correlazione**

	R	G	B
R	1	0.971	0.935
G	0.971	1	0.965
B	0.935	0.965	1



**Figura 26 – Immagini RGB, campione Verde Pavão**



**Figura 27 – Immagini PC1 PC2 e PC3, campione Verde Pavão**

La Figura 25 mostra le immagini originali del campione della piastrina *Verde Pavão*, e la loro grande somiglianza, confermata dalla matrice di correlazione.

La Figura 26, relativa ai variogrammi delle immagini originali, rivela un'anisotropia limitata, ma complessa, dovuta al gran numero di lineamenti esistenti all'interno della porzione porfirica di questo granito. In direzione 0° osserviamo invece l'anisotropia dei piccoli grani di quarzo.

La Figura 27, presenta le immagini delle componenti principali del campione di granito *Verde Pavão*.

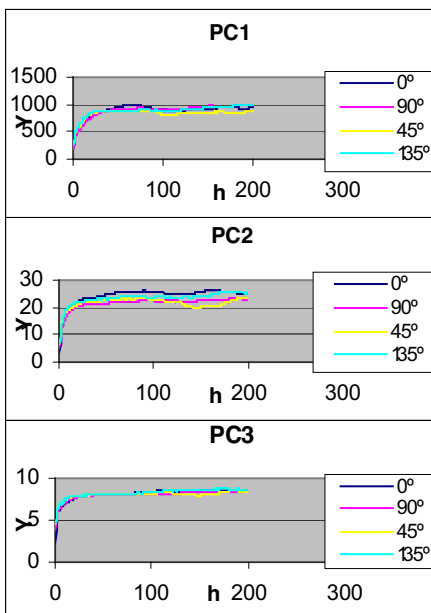
In Figura 28, si conferma la minore correlazione spaziale delle componenti PC2 e PC3. Il variogramma della PC2 evidenzia comportamenti complessi a scala decimetrica, con anisotropie di varia natura e ciclicità, probabilmente da riferire ai grani più scuri ed alle vene che circondano i grani maggiori. La PC3 presenta alle grandi distanze il comportamento più omogeneo.

#### 4. CONCLUSIONI

La grande correlazione che esiste fra i canali delle immagini originali RGB indica la validità di un'Analisi in Componenti Principali, ma senza che questo implichi l'eliminazione delle analisi ottenute con le immagini originali, soprattutto per le rocce con un maggior impatto di colore, come si è visto per il granito *Santa Cecilia*.

I tre campioni di granito italiano mostrano un'uniformità del comportamento e la possibilità di definire delle caratteristiche standard di riferimento. I campioni di granito

PC2 e também um *trend* para grandes distâncias no variograma relativo veios que circundam os grãos maiores.



**Figura 28 – Variogrammi PC1 PC2 e PC3, campione *Verde Pavão***

#### 4. CONCLUSÃO

A grande correlação verificada entre as imagens originais RGB indicam que é válida uma análise por componentes principais. Não podemos, entretanto, descartar as análises fornecidas pelas imagens originais principalmente para rochas com maior expressão de cores como vimos para o granito *Santa Cecilia*.

As três amostras dos granitos italianos demonstram a uniformidade no comportamento e um possível estabelecimento de padrão. Já para os granitos brasileiros, mesmo comparando as amostras de mesma tonalidade, amarelo com amarelo,

brasiliano, invece, anche raffrontando campioni della stessa tonalità, giallo con giallo, verde con verde, mostrano valori caratteristici differenti in quanto si tratta di tipi diversi. Ciò dimostra la possibilità di utilizzare i variogrammi come firma del tipo e dell'origine del materiale, potendo inoltre fornire dei parametri per la classificazione estetica.

Ciò che si nota, in generale, è che le immagini delle componenti principali sono legate alle variazioni discrete della roccia come piccoli grani, lineamenti o fessure, macchie e vene, che sono molto mescolate con l'informazione originale. Queste informazioni sono colte dai variogrammi e, pertanto, possono essere studiate a fondo.

Così come per gli altri parametri di classificazione estetica, i variogrammi delle immagini delle componenti principali non sono da soli sufficienti per separare la prima scelta dei prodotti lapidei dalla seconda scelta, ma devono essere abbinati congiuntamente alle altre tecniche esistenti.

Si raccomandano studi specifici su materiali con una maggiore importanza dei colori e su materiali più omogenei come i marmi, oltre alla creazione di una banca dati di queste caratterizzazioni estetiche.

verde con verde, osserviamo che os padrões são diferentes por se tratarem de tipos diferentes, demonstrando a possibilidade de os variogramas funcionarem como assinatura do tipo e origem do material, podendo ser um parâmetro para classificação estética.

O que se observa, de maneira geral, é que as imagens das componentes principais apresentam as variações discretas da rocha como pequenos grãos, lineamentos ou fissuras, manchas e veios que estão muito misturadas à informação original. Estas informações são captadas pelos variogramas e podem, portanto, serem mais bem estudadas.

Assim como os outros parâmetros de classificação estética os variogramas das imagens das componentes principais não são isoladamente suficientes para uma separação de primeira e segunda escolha, deve-se conjugá-la com outras técnicas existentes.

Recomendam-se o estudo em materiais com maior apelo de cores e em materiais mais homogêneos como os mármore, além da criação de um banco de dados destas caracterizações estéticas.

## **5. BIBLIOGRAFIA – BIBLIOGRÀFIA**

**BONDUA S. (2001). Novos instrumentos para valorização estética das rochas ornamentais: Simulação geoestatística e caracterização morfológica.** Instituto Superior Técnico de Lisboa. p. 41 a 128, 2001. (Tese de Doutorado).

**CAMPELLO M. S. (2005). Processamento digital de Immagini aplicado ao setor de rochas ornamentais.** Macaé, XXII Congresso Brasileiro de Cartografia. p. 3 a 7, 2005.

**MALDONADO F. D. (1999). Análise por componentes principais na caracterização da dinâmica do uso da terra em área do semi-árido brasileiro: Quixaba-PE.** Instituto de Pesquisas Espaciais-INPE. p. 30 a 42 , 1999. (Dissertação de Mestrado).

**MONTANI C. (2008) – STONE 2008. Repertorio Economico Mondiale.** Tav. 25, 122 pp, Faenza editrice, Faenza, Italia.

**STUDIO COMPARATIVO SULLA APPLICAZIONE DI  
ALGORITMI DI CLASSIFICAZIONE DELLE IMMAGINI DA  
SATELLITE E SCELTA DELLE IMMAGINI PER  
L'IDENTIFICAZIONE DELLE GEORISORSE IN AREE  
INTERESSATE DA COLTIVAZIONI MINERARIE – IL CASO  
DI NOVA LIMA, MINAS GERAIS – BRASILE – *Estudo  
comparativo de aplicação de algoritmos de imagens de satellite e  
escolha de imagens para a identificação de georecursos em áreas de  
atividades mineradoras – Estudo de caso em Nova***

Vladimir Diniz Vieira Ramos<sup>1</sup>

Ana Clara Mourão Moura<sup>1</sup>

Pedro Pina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais Departamento de Cartografia

<sup>2</sup>Instituto Superior Técnico – Portugal Departamento de Engenharia de Minas e Georecursos

**Riassunto**

Il lavoro esamina l'applicazione delle tecniche di classificazione delle immagini da satellite su scene *ASTER* e *LANDSAT* relative alle aree dei comuni di Belo Horizonte e Nova Lima, soprattutto al loro confine; la scelta è motivata dalla rilevante trasformazione dell'occupazione e dall'importanza dell'attività mineraria nell'area. Le procedure presentate sono state messe a punto nell'ambito dei moduli di elaborazione e classificazione delle immagini di *SPRING*, un software di libero accesso sviluppato dall'Istituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Brasil. L'obiettivo è quello di testare l'uso delle scene *ASTER* e *LANDSAT* per classificare, mediante gli algoritmi di *SPRING*, la copertura del suolo ed identificare le georisorse della regione, confrontandone i

**Resumo:**

O trabalho visa à aplicação de técnicas de classificação de imagens de satélite nas imagens *ASTER* e *LANDSAT* relativas às áreas dos municípios de Belo Horizonte e Nova Lima, sobretudo na fronteira entre eles, justificado pela expressiva transformação da ocupação e a importância da atividade mineradora na área. Os procedimentos apresentados foram desenvolvidos nos recursos de processamento e classificação de imagens do *SPRING*, software de livre acesso desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Brasil. O objetivo é testar a capacidade das imagens *ASTER* e *LANDSAT* para se classificar a cobertura do solo e identificar os georecursos da região, através de algoritmos do *SPRING*, e promover a *LANDSAT* comparação de



risultati. L'approccio metodologico prevede l'applicazione dei classificatori su entrambe le scene, *ASTER* e *LANDSAT*; inoltre su ciascuna scena sono applicati due metodi di classificazione supervisionata, il MAXVER ed il BATACHARA. Nelle immagini *LANDSAT* è applicato il metodo delle Componenti Principali per sfruttare il maggior numero di bande possibile, sintetizzando in tre sole bande l'informazione da utilizzare nella classificazione. Quindi, sulla scena *LANDSAT* è eseguita una composizione RGB543, finalizzata a raffrontare l'efficienza delle due immagini nell'ambito della metodologia.

## 1. INTRODUZIONE

La geoelaborazione (geoprocessing) è uno strumento di grande importanza nella gestione e amministrazione delle risorse alle diverse scale. La conoscenza del comportamento e della distribuzione delle risorse e dei fenomeni sulla superficie consente la pianificazione delle azioni mirate al pieno sviluppo di una regione, contribuendo così anche alla minimizzazione dell'impatto ambientale che questo sviluppo ha sull'area e sulle risorse naturali disponibili.

La presente ricerca è stata svolta nell'ambito delle attività della rete ALFA-FARO "*Formação Avançada no setor das Rochas Ornamentais e do Geoprocessamento*",

resultados. A metodologia baseou-se na aplicação classificadores tanto na imagem *ASTER* como na *LANDSAT*, e em cada uma a aplicação de dois métodos de classificação supervisionada, a a BATTACHARA. Nas imagens *ASTER* o método de Principais Componentes foi aplicado com o objetivo de aproveitar a informação do maior numero de bandas possível, condensado a informação em três bandas a serem utilizadas na classificação. Já na imagem *LANDSAT* uma composição RGB543 foi ajustada com o objetivo de comparar a eficiência das duas imagens dentro da metodologia.

## 1. INTRODUÇÃO

O Geoprocessamento tem sido ferramenta de grande importância na gestão dos recursos e nas administrações em diferentes escalas. Entender o comportamento e a distribuição dos recursos e fenômenos sobre a superfície possibilita o planejamento de ações que levam ao desenvolvimento pleno de uma região, e dessa maneira contribuir também para minimizar os impactos que esse desenvolvimento tem sobre a área e sobre os recursos naturais disponíveis.

A pesquisa está vinculada a estudos da Rede ALFA-FARO – Formação Avançada no Setor das Rochas Ornamentais e do Geoprocessamento. A rede é coordenada pela Universidade de

supportata dalla Commissione Europea, dal programma EUROPAID - ALFA, di cooperazione con i paesi dell'America Latina. La rete, coordinata dall'Università di Bologna, Italia, include la partecipazione dell'Istituto de GeoCiencias dell'Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brasile. La rete ha favorito la realizzazione di studi con le altre Università partecipanti, ed in particolare con l'Istituto Superior Técnico (IST), Lisbona, Portogallo. Uno degli obiettivi della rete è di indagare tecniche e metodologie di geoprocessing in grado di fornire degli elementi sia per localizzare e caratterizzare le Rocce Ornamentali, sia per elaborare progetti di sviluppo delle coltivazioni ambientalmente sostenibili. Coerentemente con le modalità di collaborazione in studi di gruppo, è stato promosso lo scambio di conoscenze fra UFMG e IST specificatamente sulle procedure di classificazione delle immagini. In questo lavoro è presentata una parte dei risultati di applicazione di algoritmi di classificazione nello studio di un caso di gestione del paesaggio ambientale in un comune caratterizzato da un'importante attività mineraria e da significative trasformazioni territoriali.

L'elaborazione di dati georeferenziati, fra cui le immagini telerilevate, è un

Bologna e inclui a participação do IGC-UFMG. Entre as universidades participantes tivemos a oportunidade de realizar estudos e intercambiar, particularmente, com o Instituto Superior Técnico – Portugal. Um dos objetivos da rede é explorar técnicas e metodologias de geoprocessamento que dêem subsídios para a localização e caracterização de Rochas Ornamentais, assim como propiciem a elaboração de propostas de exploração ambientalmente sustentável. Assim, como nossa colaboração nos estudos do grupo, promovemos troca de conhecimentos sobre processos de classificação de imagens no Instituto Superior Técnico e apresentamos aqui uma parte dos resultados de aplicação de algoritmos classificadores em estudo de caso de gestão da paisagem ambiental em um município caracterizado por ampla atividade de exploração mineral e expressiva transformação territorial.

O geoprocessamento é importante ferramenta no processo de gestão e desenvolvimento de atividades ambientais e antrópicas. Ele é também conhecido por um de seus componentes principais, os SIGs (Sistemas de Informação Geográfica). A partir desses sistemas complexos é possível identificar e espacializar ampla gama de fenômenos físicos e sociais, pois essa ferramenta

importante strumento nell'ambito della gestione e sviluppo di attività ambientali ed antropiche. Tali elaborazioni sono uno dei principali componenti di un Sistema Informativo Geografico (SIG). A partire da questi sistemi complessi è possibile identificare e spazializzare un'ampia gamma di fenomeni fisici e sociali, poiché un simile strumento consente di organizzare e sistematizzare i dati, permettendo un'analisi dettagliata delle informazioni, da cui si ricavano studi di pianificazione e, in particolare, studi previsionali. Secondo Xavier da Silva (1999), a partire dal momento in cui il dato è sistematizzato e specializzato, si realizza la capacità di analisi e il dato acquisisce un carattere geografico.

Uno spazio è in costante trasformazione, poiché influenzato dai diversi fattori fisici o sociali. Secondo Corrêa (2002), se lo spazio è un prodotto sociale, le azioni che lo trasformano agiscono attraverso diversi fattori sociali, direttamente o indirettamente correlati, e tali fattori possono mutare seguendo tendenze interne od esterne, generando nuove direttrici di localizzazione e, così, drastiche modifiche nell'uso del suolo. Trattandosi di trasformazioni spaziali intense, la Regione Metropolitana di Belo Horizonte (RMBH) rappresenta nel contesto dello Stato di Minas Gerais il miglior esempio. Nel corso di diversi periodi la RMBH è stata oggetto di diverse direttrici di

possibilità organizzare e sistematizar os dados, permitindo uma análise detalhada das informações, do que resultam estudos de planejamento e, mais detalhadamente, estudos preditivos. Segundo Xavier da Silva (1999), a partir do momento em que o dado é sistematizado e especializado, surge a capacidade de análise, e o dado adquire um caráter geográfico.

O espaço está em constante transformação, pois ele sofre influência de diversos fatores físicos ou sociais. Segundo Corrêa (2002), se o espaço é um produto social, as ações que os transformam se dão por diversos agentes sociais, relacionando-se direta ou indiretamente, e esses agentes podem mudar seguindo tendências internas ou externas, ocasionando novos eixos locais e assim drásticas mudanças no uso do solo.

Em se tratando de transformações espaciais intensas, a Região Metropolitana de Belo Horizonte é no contexto de Minas Gerais o melhor exemplo. Em diferentes períodos a RMBH sofreu influência de diferentes eixos de expansão, mas o enfoque do presente trabalho é o eixo mais atual de expansão, o eixo sul em direção ao município de Nova Lima.

É de extrema importância definir métodos de interpretação e monitoramento das mudanças espaciais, em municípios da importância de Nova Lima, pois só assim é possível definir uma

espansione; questo lavoro si focalizza sulla più attuale direttrice di espansione, l'asse sud in direzione del comune di Nova Lima.

E' di estrema importanza definire metodi di interpretazione e monitoraggio delle variazioni spaziali, in comuni dell'importanza di Nova Lima, poiché solo in questo modo è possibile definire una gestione sostenibile delle risorse, minimizzando sia l'impatto dell'espansione urbana di Belo Horizonte su Nova Lima, sia la sua stessa espansione.

Gli strumenti della geoelaborazione consentono una sistematizzazione ed un'analisi dell'informazione. Una delle fonti delle basi di dati che consentono queste analisi a differenti scale, sono i sensori remoti, a partire da immagini di satellite con differenti risoluzioni spaziali e spettrali.

Nell'evoluzione del rilevamento remoto, le immagini *LANDSAT* hanno fornito un importante contributo alla costruzione di basi di dati e alla loro analisi a partire da immagini *raster*, soprattutto per il territorio brasiliano. Nel frattempo, un nuovo prodotto sta attraendo l'attenzione dei ricercatori quanto a capacità radiometrica e quanto a risoluzione spaziale: le immagini *ASTER*.

Questo lavoro ha come obiettivo principale quello di raffrontare l'efficienza delle immagini *ASTER* e *LANDSAT*

gestão sustentável dos recursos minimizando os impactos da expansão urbana de Belo Horizonte sobre Nova Lima, e também da própria expansão do município.

As ferramentas de Geoprocessamento permitem uma sistematização e análise da informação. Uma das fontes de bases de dados que possibilitam essas análises em diferentes escalas, são os sensores remotos, a partir de imagens de satélite de diferentes resoluções espaciais e espectrais.

Na evolução do Sensoriamento Remoto, as imagens *LandSat* foram de grande contribuição na construção de bases e análises a partir de imagens *raster*, sobretudo para o território brasileiro. Entretanto, um novo produto vem chamando a atenção dos pesquisadores quanto à capacidade radiométrica e resolução espacial: as imagens *ASTER*.

Esse trabalho tem como objetivo principal comparar a eficiência das imagens *Aster* e *LandSat* na classificação da cobertura do solo e identificação de georecursos em Nova Lima. Nos estudos dos processos de classificação de cobertura do solo é novo objetivo comparar algoritmos de classificação e identificar qual algoritmo de classificação do *software SPRING* tem o melhor resultado na interpretação das imagens, a partir de um estudo comparativo do resultado das classificações.

nella classificazione della copertura del suolo e nell'identificazione di georisorse nel territorio di Nova Lima. Nell'ambito degli studi sulle procedure di classificazione della copertura del suolo, un altro obbiettivo è quello verificare quale algoritmo di classificazione del software *SPRING* fornisca il miglior risultato nell'interpretazione delle immagini.

## **2. CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA**

Il comune di Nova Lima confina col comune di Belo Horizonte, e dista 22 km dalla capitale. Interessa una superficie di circa 429 km<sup>2</sup> ed ha una densità demografica di 149.6 abitanti/km<sup>2</sup> (fig.1).

Di tradizione mineraria, la città fu fondata nel 1891. Costa e Pecheco (2004) spiegano che il nucleo urbano di Nova Lima si è consolidato nel periodo in cui si è sviluppata l'attività mineraria, la cui base era l'estrazione dell'oro. Ciò ha generato una significativa frammentazione sociale, con la presenza di diverse classi sociali.

La sua localizzazione, come comune della regione metropolitana di Belo Horizonte, colloca Nova Lima sotto un'influenza sempre maggiore della capitale; si è avviato un processo di con-urbanizzazione in funzione dell'espansione dei quartieri della regione sud e dei condomini chiusi che accompagnano l'asse della

Com isso podem ser definidos quais parâmetros, que tipo de imagem e a melhor metodologia para identificar as classes de cobertura do solo de interesse, usando o município de Nova Lima como área teste.

## **2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA**

O município de Nova Lima faz limite com o município de Belo Horizonte, estando a sede a 22 km da capital. Possui área de aproximadamente 429 km<sup>2</sup> e densidade demográfica de 149,6 hab/km<sup>2</sup> (Figura 1).

De tradição mineradora, o município foi fundado em 1891. Costa e Pacheco (2004) explicam que o núcleo urbano de Nova Lima se consolidou no período de fixação da atividade de mineração, onde a base era a extração de ouro. Esta realidade gera uma maior segmentação social com a presença de diversas classes sociais.

Em função de sua localização como município da região metropolitana, está sob influência cada vez maior da capital Belo Horizonte, iniciando-se um processo de conurbação, em função da expansão dos bairros da região sul e dos condomínios fechados que acompanham o eixo da BR040, saída para Ouro Preto. Essa expansão se reflete em seu crescimento populacional (Tabela 1) e também na sua urbanização

BR040, uscita verso Ouro Preto. Tale espansione si riflette nella sua crescita demografica (tab.1) ed anche nella sua urbanizzazione (tab.2).

**Tabella 1 – Comune di Nova Lima: livello di urbanizzazione**

Anno	% Popolazione Urbana	% Popolazione rurale
1970	80,54%	19,46%
1980	85,03%	14,98%
1991	84,04%	15,96%
2001	97,91%	2,09%



Fonte: IBGE (2001)

**Figura 1 - Localizzazione del comune di Nova Lima nello stato di Minas Gerais - Localização da Área de Estudo**

**Tabella 2 – Comune di Nova Lima: crescita demografica**

Periodo	Tasso di Crescita %
1970-80	21,27
1980-91	27,11
1991-96	8,7
1996- 2001	12,88

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A base de dados de sensoriamento remoto desse trabalho são duas cenas, uma Aster de 2002, órbita/ponto 131/602, abrangendo a área dos municípios de Nova Lima, e uma LandSat ETM de 2007 órbita/ponto 218/74, a área de estudo correspondendo às coordenadas  $-44^{\circ} 01'$ ,  $-20^{\circ} 13'$  /  $-43^{\circ} 47'$ ,  $-19^{\circ} 55'$ .

As cenas ASTER são produtos tipo Nível 1B Data que, segundo Abrams e Hook (2002), trata-se de produtos do mesmo tipo do Nível 1A Data, mas com parâmetros radiométricos e geométricos aplicados, além de serem armazenados em arquivo HDF junto com o metadado.

O software utilizado é o SPRING que, segundo o INPE (2004), possui as seguintes características: opera como um banco de dados geográfico sem fronteiras e suporta grande volume de dados (sem limitações

A partir das bandas com resolução espacial de 15 e 30 metros da Aster, e de 3 bandas da LandSat ETM de 30 metros, é testada a eficiência dos classificadores do SPRING a partir de uma composição simples e outra a partir da Principal Componente, no SPRING as bandas de 15 metros foram reamostradas para 30 metros, para que fosse possível o trabalho de classificação das imagens e a geração das componentes.

### 3. MATERIALI E METODI

La base di dati telerilevati utilizzati in questo lavoro è costituita da due scene, una *ASTER* del 2002, orbita/punto 131/602, che copre l'area del comune di Nova Lima; ed una *LANDSAT ETM* del 2007, orbita/punto 218/74; l'area di studio corrisponde alle coordinate  $-44^{\circ} 01'$ ,  $-20^{\circ} 13'$  /  $-43^{\circ} 47'$ ,  $-19^{\circ} 55'$ .

Le scene *ASTER* sono dei prodotti tipo Livello 1B Data che, secondo Abrams e Hook (2002), sono dello stesso tipo del Livello 1A Data, ma con parametri radiometrici e geometrici applicati, oltre ad essere memorizzati in un archivio HDF assieme al metadato.

Il software utilizzato è *SPRING* che, secondo l'INPE (2004), possiede le seguenti caratteristiche: opera come un database geografico senza frontiere e supporta un grande volume di dati (senza limitazioni di scala, proiezione e fuso); tratta sia dati vettoriali, sia dati matriciali *raster*; integra tutti i dati tele-rilevati e fornisce un ambiente di lavoro molto efficiente, combinando menù a finestre con un linguaggio spaziale facilmente programmabile dall'utilizzatore.

Sulle bande con risoluzione spaziale di 15 e 30 metri della scena *ASTER*, e sulle tre bande con risoluzione 30 m della scena *LANDSAT-ETM*, è stata testata l'efficienza dei classificatori di *SPRING* a partire da una

de scala, proieção e fuso), administra tanto dados vetoriais como dados matriciais *raster*, e realiza a integração de dados de sensoriamento remoto e prove um ambiente de trabalho poderoso, através da combinação de menus e janelas com uma linguagem espacial facilmente programável pelo usuário.

Segundo Crósta (1992), a Análise por Principais Componentes (APC), conhecida também como Transformação por Principais Componentes ou Transformada de Karhunen-Loeve, tem êxito para o processamento de imagens de imagens provenientes de sensores multiespectrais. Originalmente desenvolvida no âmbito da engenharia elétrica, com finalidade de processar sinais eletrônicos para remoção de ruídos, a APC foi adotada pelo sensoriamento remoto. Os resultados da APC são de difícil generalização para determinados tipos de aplicações. Os resultados são dependentes das características espectrais da cena estudada. Crósta (op. cit) explica que os resultados obtidos em uma área não necessariamente se repetem em outra:

*A geração de componentes principais é uma técnica de rotação espectral que reduz ou remove a redundância espectral. Considerando o espaço de atributos bidimensional de duas imagens A e B, especifica-se a posição do centróide da distribuição, centro de gravidade*

immagine ottenuta con una composizione semplice delle bande e da un'altra immagine ottenuta a partire dalla Componente Principale. In *SPRING* le bande di 15 m sono state ricampionate a 30 m, in modo da rendere possibile il lavoro di classificazione delle immagini e la generazione delle componenti principali.

Secondo Crosta (1992), l'Analisi in Componenti Principali (ACP), conosciuta anche come Scomposizione in Componenti Principali o trasformazione di Karhunen-Loeve, ha successo nell'elaborazione di immagini provenienti da sensori multi-spettrali. Sviluppata all'origine nell'ambito dell'Ingegneria Elettrica per eliminare i disturbi dai segnali elettronici, la ACP è poi stata applicata al telerilevamento. I risultati dell'ACP sono di difficile generalizzazione per determinati tipi di applicazioni. I risultati dipendono dalle caratteristiche della scena studiata. Crosta (op.citata) spiega che i risultati ottenuti in una area, non necessariamente si ripetono in un'altra.

*La scomposizione in componenti principali è una tecnica di rotazione spettrale che riduce o rimuove la ridondanza spettrale. Considerando lo spazio di attributi bidimensionale di due immagini A e B si specifica la posizione del centroide della distribuzione, cioè il centro di gravità della distribuzione, non il*

*da distribuzione, non o centro geométrico. Este centro da distribuição é um ponto em que um pixel de intensidade média, se ele houver, estaria posicionado. Conhecido este ponto, é feito um cálculo do espalhamento ao longo de cada eixo, a variância. Ela é medida pelo quadrado do desvio padrão do histograma de intensidades para cada banda e dá a medida do contraste de cada banda espectral. A correlação entre cada par de bandas da imagem é especificada, usando-se o parâmetro da covariância. Esta relaciona duas variâncias específicas e descreve o quanto de informação contida em um par de bandas é comum a ambas. O valor da covariância pode ser positiva, quando os dados são positivamente correlacionados, e negativa, quando são negativamente correlacionados.*

O importante é que as novas bandas geradas não tenham correlação entre si. Gera-se um novo conjunto de imagens cujas bandas principais, em número bem menor, apresentam uma concentração da informação total presente nos canais originais.

As classes foram definidas a partir de experiências anteriores com classificação, conhecimento da área e imagens de alta resolução disponíveis para validação da classificação. Foi usada uma imagem QuickBird do município de Nova Lima, do ano de 2007. Também para definição do grupo de classes foi levado em



*centro geometrico. Questo centro della distribuzione è un punto in cui starebbe posizionato, se vi fosse, un pixel di intensità media. Noto questo punto, viene calcolata la dispersione lungo ciascun asse, la varianza. Essa è pari al quadrato della deviazione standard dell'istogramma delle intensità per ciascuna banda e fornisce la misura del contrasto di ciascuna banda spettrale. Per misurare la correlazione fra ciascuna banda dell'immagine, si usa il parametro covarianza. La covarianza mette in relazione due specifiche variabilità e descrive quanta parte dell'informazione contenuta in una coppia di bande è comune ad entrambe. Il valore della covarianza può essere positiva, quando i dati sono correlati positivamente, e negativa quando lo sono negativamente.*

La condizione importante è che le nuove bande generate siano senza correlazione fra loro. Si genera così un nuovo insieme di immagini, le cui bande principali, in numero ben inferiore, rappresentano una concentrazione dell'informazione presente nei canali originari.

Le classi sono state definite a partire da precedenti esperienze di classificazione, dalla conoscenza dell'area e da immagini ad alta risoluzione disponibili per la validazione della classificazione. E' stata utilizzata un'immagine *QUICKBIRD* del comune di Nova Lima, dell'anno 2007. Sempre per definire il gruppo di classi, è stato

considerato o obiettivo de estudo na área, as suas características e o histórico de formação.

Também foi aplicada uma equalização de bandas. Para isto utilizou-se a ferramenta aritmética  $C = \text{ganho} * A + \text{offset}$  do *SPRING*, com média de 127 e desvio padrão de 40, sendo estes os melhores parâmetros para realçar imagens LandSat. Este pode ser expresso pela equação:

$$Is = (Ie - \text{média}(Ie)) * A + \text{média}(Iref)$$

$$Is = Ie * \text{ganho} + \text{offset}$$

Onde:

$$A = (Vref/Ve) (1/2)$$

Is= imagem de saída

$$\text{Offset} = \text{Média}(Iref) - (Vref/Ve)$$

$$(1/2) * \text{média}(Ie)$$

$$\text{Média}(Iref) = 127$$

$$\sigma(Iref) = 40$$

$$\sigma(Iref) = (Vref) (1/2)$$

Classes definidas para classificação:

- Área urbana ou Alterada – áreas urbanas, áreas de mineração, vias urbanas, afloramentos, áreas degradadas pela ação antrópica.
- Vegetação densa – área com predominância de vegetação arbórea, matas remanescentes, áreas de nascente, mata ciliar, parques, áreas de reflorestamento.
- Vegetação Rasteira – área com predominância de vegetação arbustiva e

considerato l'obiettivo dello studio nell'area, le sue caratteristiche e la storia della formazione.

E' stata inoltre applicata una equalizzazione delle bande. A tal fine è stata utilizzata la funzione aritmetica di *SPRING*:  $C = guadagno * A + offset$ , con media pari a 127 e deviazione standard di 40, risultando questi i migliori valori dei parametri per fare risaltare le immagini *LANDSAT*. Ciò può essere espresso dalla relazione

$$I_s = (I_e - m_e) * A + m_{ref}$$

$$I_s = I_e * guadagno + offset$$

Ove:

$I_e$  = immagine di input

$I_s$  = immagine di output

$m_e$ ,  $V_e$  = media e varianza dell'immagine di input

$m_{ref}$ ,  $V_{ref}$  = media e varianza di riferimento (127, 40<sup>2</sup>)

$$A = (V_{ref}/V_e)^{1/2}$$

$$guadagno = A$$

$$offset = m_{ref} - A * m_e$$

Classi definite per la classificazione:

- Area urbana o degradata – aree urbane, aree interessate dalle attività minerarie, strade urbane, affioramenti, aree degradate dall'azione antropica.
- Vegetazione densa – area con predominanza di vegetazione arborea, foreste residue, aree sorgive, foreste fluviali, parchi, aree di riforestazione.

herbácea, áreas de pastagem, áreas de cultivo, áreas típicas de Cerrado.

- Água e Sombra – Áreas de espelho d'água ou predominância de sombras.
- Solo Exposto – Áreas onde a estrutura do solo esta exposta em função de processos naturais ou ação antrópica.

Para testar a capacidade das imagens na classificação de cobertura do solo e identificação dos georecursos na região, foram definidos na metodologia dois tipos de classificadores do *SPRING*, testados nas duas imagens. A classificação foi realizada a partir de bandas do resultado das Principais Componentes e da composição RGB 543 da LandSat, ambas por métodos supervisionados, sendo que a primeira utilizando-se um procedimento de segmentação anterior ao processo de classificação e um modo de classificação pixel a pixel.

O processo de segmentação consiste de um agrupamento em regiões menores que apresentam uma determinada semelhança no seu comportamento espectral. Para a criação das segmentações os parâmetros do *SPRING* foram definidos com similaridade de 15 e área em pixels de 30, seguido da escolha do método de classificação de imagens segmentadas e o *Battacharya*. Segundo *INPE* (2004), a medida da distância de *Battacharya* é usada neste classificador por regiões para

- Sottobosco – area con predominanza di vegetazione arbustiva ed erbacea, aree di pascolo, aree coltivate, aree tipiche di Cerrado (savana brasileira).
- Acqua ed ombra – Aree con specchi d'acqua o con ombra predominante.
- Suolo esposto – Aree ove la struttura del suolo è esposta a processi naturali o azione antropica.

Per testare la capacità delle immagini di classificare il tipo di copertura di suolo e di identificare le georisorse lapidee della regione, l'approccio metodologico ha considerato due procedure di classificazione implementate su *SPRING*, tutte e due testate su entrambe le immagini. La classificazione è stata eseguita sulle bande risultato dell'ACP e sulla composizione RGB 543 della scena *LANDSAT*, in entrambi i casi mediante metodi di classificazione supervisionata. Nel primo caso si è utilizzata una procedura di segmentazione pre-classificazione ed una tecnica di classificazione pixel-per-pixel.

La procedura di segmentazione consiste nell'accorpamento in regioni minori di tutti i pixels che presentino una determinata rassomiglianza nel proprio comportamento spettrale. Per la creazione delle segmentazioni, in *SPRING* sono stati attribuiti i valori di 15 e 30 ai parametri “somiglianza” e “area

medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais, ou seja, mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais.

O outro método também utilizando nas duas imagens foi o Maxver, ou Máxima Verossimilhança, que é um processo de classificação pixel a pixel que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis de cinza das classes, utilizando parâmetros estatísticos, INPE (2004).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do método das Principais Componentes foram definidas 3 PCs (Principais Componentes) onde a maior parte da informação das 9 bandas do *Aster* se concentraram, (Tabela 3). A partir dessas 3 PCs foi criada a composição RGB de uma das imagens.

A segunda imagem é produto de uma composição RGB 543 do LandSat ETM, onde as bandas foram realçadas a partir de valores de ganho e *offset* pré-definidos.

O *SPRING* gera relatórios sobre as classes adquiridas no processo de classificação. A partir desses relatórios e da análise visual do resultado final do processo de classificação, pode-se chegar a uma resposta sobre qual método produz o melhor resultado dentro das classes definidas na metodologia.

in pixels”, a cui ha fatto seguito la scelta del metodo di classificazione di *Battachara* delle immagini segmentate.

Secondo INPE (2004), la misura della distanza di *Battachara* è usata, in questo classificatore per regioni, al fine di misurare la separabilità statistica tra una coppia di classi spettrali, in quanto misura la distanza media fra le distribuzioni di probabilità di classi spettrali.

L’altro metodo di classificazione, utilizzato sempre su entrambe le immagini, è stato quello di Massima Verosimiglianza, Maxver. Si tratta di un procedimento di classificazione pixel-per-pixel, che considera le distanze pesate fra le medie dei livelli di grigio delle classi, utilizzando dei parametri statistici (INPE, 2004).

#### 4. RISULTATI E DISCUSSIONE

Con l’Analisi delle Componenti Principali (ACP), sono state definite 3 Componenti Principali (CP), ove si concentra la maggior parte dell’informazione delle 9 bande di *ASTER* (tab.3). A partire da queste 3 CP, è stata creata la composizione RGB di una delle immagini. La seconda immagine è il prodotto di una composizione RGB 543 del *LANDSAT-ETM*, ove le bande sono state evidenziate a partire da valori di guadagno e offset predefiniti.

**Tabella 3- Autovalori risultato dell’Analisi in Componenti Principali - Autovalores gerados da Principal Componente**

PC	Autovalore	Varianza spiegata %
<b>P1</b>	<b>14148.45</b>	<b>84.82</b>
<b>P2</b>	<b>1552.52</b>	<b>9.31</b>
<b>P3</b>	<b>665.00</b>	<b>3.99</b>
P4	158.16	0.95
P5	53.89	0.32
P6	42.46	0.25
P7	26.14	0.16
P8	18.74	0.11
P9	14.85	0.09

Comparando os resultados de cada composição para os dois métodos definidos na metodologia, o classificador que utilizou o processo de segmentação e das bandas geradas a partir da Principal Componente foi o que apresentou melhor resultado segundo relatório gerado pelo SPRING, a partir das amostras de classificação. A partir também de uma análise visual do resultado da classificação, foi a que melhor pode identificar a diversidade de ocupação do solo da área (Tabela 4).

No processo de classificação pode-se perceber que as classes de solo exposto, água e sombra e vegetação densa são as que possuem menor confusão ou nenhuma, se comparadas com as demais. Entretanto, as classes de vegetação rasteira apresentam altos índices de confusão com área urbana e degradada. Essa mistura varia de método para

*SPRING* genera dei rapporti sulle classi identificate durante il processo di classificazione. A partire da questi rapporti e dall'analisi visiva del risultato finale della procedura, si può concludere su quale metodo produca il miglior risultato relativamente alle classi definite nel caso di studio.

Raffrontando i risultati di ciascuna composizione utilizzando i due metodi prescelti, il classificatore che ha mostrato il miglior risultato secondo quanto riportato da *SPRING*, a partire dai campioni di classificazione, è quello basato sulla procedura di segmentazione applicata alle bande generate dalle CP. Anche da un'analisi visiva dei risultati, questo metodo di classificazione dimostra di identificare al meglio la diversità di occupazione del suolo dell'area (tab.4).

metodo, sendo bem menor nos que utilizaram da imagem segmentada, e aumentando no método pixel a pixel, o que dificultou muito a classificação.

A imagem RGB a partir das Componentes Principais revelou a capacidade de identificar subclasses dentro de todas as classes definidas na metodologia, o que dificultou o levantamento das amostras para a classificação, mas demonstram boas condições das imagens Aster para identificação de um nível mais detalhado os tipos de ocupação do solo. Assim, fica claro o potencial que as imagens Áster, associadas ao processo das Principais Componentes, têm no mapeamento e monitoramento do uso e ocupação de diversas regiões, tanto no monitoramento de uso e ocupação, quanto na detecção de georecursos. (Figuras 2 e 3).

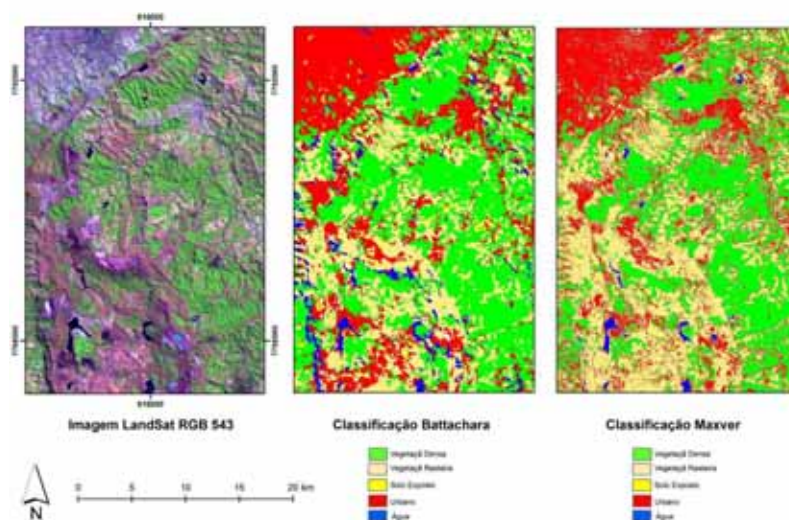
Immagine	Classificazione corretta	Confusione media
<b>RGB Componenti Principali Aster - BATTACHARA</b>	<b>99.8%</b>	<b>0.11%</b>
RGB Componenti Principali <i>ASTER</i> - MAX VER	97.08%	2.92%
RGB <i>LANDSAT</i> - BATTACHARA	97.47%	2.53%
RGB <i>LANDSAT</i> - MAX VER	93.91%	0.32%

**Tabella 4 - Raffronto dei risultati della classificazione - *Comparação de desempenho***

Nel processo di classificazione si può verificare che le classi di Suolo esposto, Acqua ed ombra e

Vegetazione densa sono quelle che hanno una confusione minore o nulla, se raffrontate con le altre. Per contro, la classe di Sottobosco presenta alti indici di confusione con l'Area urbana e degradata.

**Figura 2. Raffronto delle classificazioni sulla scena LANDSAT - Comparação Classificação LandSat**

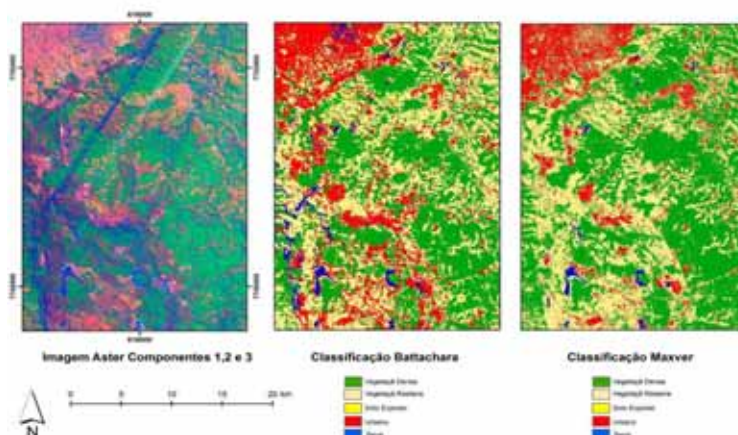


Questa confusione varia da metodo a metodo, è molto minore in quelli che hanno utilizzato l'immagine segmentata e aumenta nel metodo pixel per pixel, rendendo difficile la classificazione.

L'immagine RGB a partire dalle CP ha dimostrato di potere identificare sottoclassi all'interno di tutte le classi pre-definite, cosa che ha reso più difficile il campionamento per la classificazione-test, ma che altresì dimostra la potenzialità delle immagini *ASTER* di identificare con maggiore dettaglio l'uso del suolo. Risulta chiaro, pertanto, il potenziale delle immagini *ASTER*,

## 5. CONCLUSÃO

Como ferramentas de aquisição de base de dados, as imagens de satélite têm se mostrando, a cada dia, grande fonte de informação, à medida que evoluem em resolução espacial, espectral e temporal. Nesse trabalho as imagens Aster demonstraram essa capacidade, a partir de métodos de classificação do SPRING. Foi possível, dentro de uma área de grande complexidade, identificar com uma precisão aceitável a ocupação do solo dos dois municípios, em seus principais



**Figura 3. Raffronto delle classificazioni sulle Componenti Principali ASTER. Comparação Classificação Aster.-**

associate alla procedura delle CP, ai fini della mappatura e monitoraggio dell'uso e dell'occupazione di differenti regioni, e nella prospezione delle georisorse (figure 2 e 3)

## 5. CONCLUSIONI

Come strumenti di acquisizione di basi di dati, le immagini telerilevate dimostrano, giorno dopo giorno, di essere una fonte importante di informazioni, a misura in cui esse evolvono in termini di risoluzione spaziale, spettrale e temporale. In questo lavoro, le immagini ASTER hanno dimostrato questa potenzialità, sulla base di una classificazione del sw *SPRING*. E' stato infatti possibile, all'interno di un'area di grande complessità, identificare con precisione accettabile l'uso del suolo dei due comuni, relativamente ai suoi principali elementi.

elementos.

A associação dos métodos de classificação com as Principais Componentes deu maior capacidade de distinção dentre as classes, possibilitando identificar subclasses em todas as classes definidas na metodologia, o que proporcionará estudos sobre como identificar essas subclasses mais detalhadas.

Uma vez verificadas as boas condições do método para a identificação de ocupação do solo em uma determinada área, é possível que ele seja reproduzido em outras áreas onde existam imagens do mesmo padrão. É importante lavar em consideração que todo processo de classificação foi feito em um determinado tipo de imagem, que foi adquirida em uma data específica e também sofreu tratamento de realce, lembrando que todos esses aspectos variam de imagem para imagem.

A crescente necessidade de um planejamento cada vez mais detalhado atribui às ferramentas

L'associazione dei metodi di classificazione con le Componenti Principali ha dato maggiore capacità di discriminazione fra classi, consentendo di identificare sottoclassi in tutte le classi definite in questo studio metodologico. Ciò promuoverà studi su come identificare queste sottoclassi più dettagliate.

Una volta verificata l'efficacia del metodo per identificare l'uso del suolo in una determinata area, è sempre possibile reiterarlo su altre aree ove esistano immagini dello stesso tipo. Ma è importante sottolineare che tutta la procedura di classificazione è stata eseguita su un determinato tipo di immagine, acquisita ad una data specifica ed anche risaltata; e tutti questi aspetti variano da immagine a immagine.

La crescente necessità di una pianificazione sempre più dettagliata, attribuisce agli strumenti di classificazione una grande responsabilità nella costruzione delle basi di dati, per questo occorre avere una precisa cognizione della capacità e dei limiti di questo approccio. Dobbiamo costruire strumenti in grado di fornire basi di dati sempre più affidabili, infatti una maggiore precisione nella comprensione del comportamento spaziale dei fenomeni ci consente di gestire ed indirizzare azioni che minimizzino l'impatto antropico e ci consente di gestire in modo sostenibile le risorse naturali disponibili.

de classificação grande responsabilidade na construção das bases de dados, logo temos que estar conscientes da capacidade e limitações desse método. Devemos construir ferramentas para fornecer bases de dados cada vez mais confiáveis, pois entender o comportamento espacial dos fenômenos com maior precisão nos permite gerenciar e direcionar ações que minimizem as consequências de transformações antrópicas, e nos permita gerenciar os recursos naturais disponíveis de maneira sustentável.



## **6. BIBLIOGRAFIA – BIBLIOGRÀFIA**

ABRAMS M. & HOOK S. (2002). **ASTER User Handbook Version 2**, Jet Propulsion Laboratory 4800 Oak Grove Dr. Pasadena, CA 91109  
Bhaskar Ramachandran EROS Data Center Sioux Falls, SD 57198

CORRÊA, R.L. (2002). **O Espaço urbano**. São Paulo: Ática, 2002.

COSTA G.M.;PACHECO P. D. (2004). **Planejamento urbano no ambiente metropolitano: o caso do município de Nova lima na Região Metropolitana de Belo Horizonte**. In: VII Seminário da Historia da cidade e do Urbanismo, Niterói. Anais – VII SHCU: Escola de Arquitetura e Urbanismo da UFF, 2004 p. 1-12.

CRÓSTA Á.P. (1992). **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1992. 170p

IBGE (2001). **Pesquisa de Informações Básicas Municipais – 2001**.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2004). **SPRING**: manual do usuário. São José dos Campos: INPE. 2004

XAVIER-DA-SILVA J. (1999). **Acesso a dados e transformações preparatórias à análise ambiental**. Rio de Janeiro: Lageop, 1999a. 12 p. (apostila do Curso de Especialização em Geoprocessamento - Midia CD-rom).

**LA GEOELABORAZIONE NELLA GESTIONE DEL  
PAESAGGIO MINERARIO – CONFRONTO DI  
METODOLOGIE PER L'ANALISI ED IL MONITORAGGIO  
AMBIENTALE DELLE GEORISORSE- *Geoprocessamento na  
gestao da paisagem minerada***

Ana Clara Mourão Moura

*Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia  
Belo Horizonte, Minas Gerais*

**Riassunto**

Il lavoro affronta il tema delle tecniche di rappresentazione e analisi ambientale per la gestione del paesaggio minerario utilizzando le geoelaborazioni. Nell'ambito degli obiettivi della rete ALFA-FARO, l'approccio che viene proposto mira al raffronto di metodologie e procedure relative alle fasi di caratterizzazione e simulazione delle trasformazioni paesaggistiche in aree oggetto di coltivazioni minerarie. Vengono presentati due casi di studio di cave brasiliane inserite in paesaggi di grande valore ambientale e culturale. Gli studi mostrano come l'elaborazione di dati georeferenziati è stata utilizzata a supporto delle decisioni sul recupero paesaggistico e sulla scelta dei progetti di coltivazione, in fase di approvazione del progetto di fattibilità. Viene anche fatto un confronto con la situazione italiana, più specificatamente con le procedure di recupero delle cave proposte dall'Amministrazione della

**Resumo:**

O trabalho aborda técnicas de representação e análise ambiental para gestão da paisagem de mineração com o apoio das geotecnologias. Dentro do escopo do Alfa-Faro, a abordagem aqui apresentada visa a comparação de metodologias e procedimentos relacionados às etapas de caracterização e simulação das transformações da paisagem minerada. Apresenta dois estudos de caso no Brasil, em cavas inseridas em paisagens de grande valor cultural e ambiental, e demonstra como o geoprocessamento foi utilizado para dar apoio à tomada de decisões de recuperação de paisagens e de escolha de projetos de cavas na etapa de aprovação de extrações. Apresenta também a comparação com a situação italiana, mais especificamente com os procedimentos de recuperação de cavas indicados pela administração da Região Emilia-Romagna, proporcionando comparações entre roteiros e valores vigentes em ambos os países e reflexões sobre os

Regione Emilia-Romagna, fornendo raffronti fra guide e valori vigenti in entrambi i paesi, e delle riflessioni sui criteri per il recupero di paesaggi di aree oggetto di coltivazione mineraria.

## 1. PRESENTAZIONE

La partecipazione al progetto ALFA-FARO degli studi sull'elaborazione di dati georeferenziati mira all'uso di metodi e tecniche informatiche associate alla rappresentazione spaziale per le pratiche di gestione ambientale. L'informazione organizzata, corretta e disponibile in forma agile è una risorsa strategica e indispensabile per assumere decisioni adeguate e tempestive. In questo quadro, la geoelaborazione (geoprocessing) costituisce un importante strumento di gestione, poiché raccoglie un insieme di tecnologie finalizzate all'elaborazione di informazioni la cui ubicazione geografica è una caratteristica inerente, indispensabile per l'analisi.

Le tecnologie che fanno riferimento alla geoelaborazione sono la cartografia, la topografia, la geodesia il Sistema di Posizionamento Globale (GPS), la fotogrammetria, il telerilevamento, la scienza del calcolo, il tutto integrato nei Sistemi Informativi Geografici (SIG/GIS).

Il termine Geoelaborazione, nato nel senso di elaborazione di dati georeferenziati, abbraccia

caminhos da recuperação da paisagem minerada.

## 1. APRESENTAÇÃO

A participação os estudos de aplicação do geoprocessamento no projeto Alfa-FARO visa o emprego de métodos e técnicas de informática associada à representação espacial para as práticas de gestão ambiental. A informação organizada, correta e disponível de forma ágil é um recurso estratégico e indispensável para tomar decisões adequadas e em tempo hábil. Nesse contexto, o Geoprocessamento é importante ferramenta de gestão, pois é um conjunto de tecnologias para processamento da informação cuja localização geográfica é uma característica inerente, indispensável para análise.

As tecnologias integradas ao geoprocessamento são a cartografia, a topografia, a geodésia, o Sistema de Posicionamento Global (GPS), a fotogrametria, o sensoriamento remoto (SR), a ciência da computação, todos eles integrados nos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs ou GIS).

O termo Geoprocessamento, surgido do sentido de processamento de dados georreferenciados, significa implantar um processo que traga um progresso, um andar avanti, na grafia ou representação da Terra. Não é somente representar, mas é montar um sistema e associar a esse ato um novo olhar

delle procedure che consentono di progredire nella grafia o rappresentazione della Terra. Non si tratta solamente di rappresentare, ma di costruire un sistema e associare a quest'atto una nuova visione dello spazio, un incremento di conoscenza, appunto l'informazione. Il termine geolaborazione è più usato in Brasile che in Italia, ove sono più comuni i termini di cartografia numerica, telerilevamento e GIS.

I Sistemi Informativi Geografici, nella ricerca di modalità di lavoro con le relazioni spaziali o logiche, tendono ad evolvere dal descrittivo al previsivo. Un SIG è un sistema, un insieme di parti che interagiscono, che non sono solamente aggregate, ma piuttosto correlate. Al posto di descrivere semplicemente elementi o fatti, i SIG possono tracciare degli scenari, simulare fenomeni, basati su tendenze osservate o sulla valutazione di date condizioni, in modo da produrre informazioni spazializzate non percepibili altrimenti.

Si osserva una grande diffusione dei SIG nella produzione di inventari ed a supporto della pratica della pianificazione, poiché consentono la definizione fisica e l'analisi quantitativa delle componenti ambientali. Tali Sistemi sono così divenuti uno strumento fondamentale nella pianificazione della coltivazione mineraria e nella gestione del recupero ambientale, in quanto

sobre o espaço, um ganho de conhecimento, que é a informação. Ele é um termo mais usado no Brasil, pois na Itália são mais conhecidas as denominações cartografia numérica, teledetecção e GIS.

Os Sistemas de Informações Geográficas, ao buscarem formas de trabalhar com as relações espaciais ou lógicas, tendem a evoluir do descritivo para o prognóstico. Como um sistema, é um conjunto de partes que interagem; que não estão somente agregadas, mas sim correlacionadas. Em lugar de simplesmente descrever elementos ou fatos, podem traçar cenários, simulações de fenômenos, com base em tendências observadas ou julgamentos de condições estabelecidas, de modo a produzir informações espacializadas antes não perceptíveis.

Observa-se hoje uma grande difusão do SIG na produção de inventários e apoio à prática do planejamento, uma vez que permite a definição física e a análise quantitativa dos componentes ambientais. Tem-se se tornado ferramentais fundamentais no planejamento da exploração mineral e gestão da recuperação ambiental por possibilitarem um retrato mais fiel da complexidade e permitirem a integração de análises por disciplinas diversas (do ponto de vista geológico, econômico, logístico, entre outros).

Os estudos visam apoio à

rendono possibile ritrarre con maggior fedeltà la complessità e permettono l'integrazione di analisi multi-disciplinari (fra cui analisi geologica, economica, logistica).

Gli studi mirano al supporto delle decisioni relative ad azioni di pianificazione e gestione. Nel caso della pianificazione la dimensione temporale e spaziale è più ampia, mentre nel caso della gestione occorre accompagnare dinamiche di trasformazione a scala minore, caratterizzate dal monitoraggio quotidiano degli interventi. Nel primo caso si mira a pianificare il futuro, soprattutto negli studi di previsione; la gestione, invece, si concentra sul presente, sull'amministrazione di una situazione.

Riconosciuto il ruolo della geoelaborazione nella gestione ambientale, è stata proposta una linea di ricerca su questo tema nell'ambito della rete ALFA-FARO. La rete – Formação Avançada no Setor das Rochas Ornamentais e do Geoprocessamento – ha come obbiettivo lo sviluppo di ricerche che promuovano studi nei processi di coltivazione delle rocce ornamentali nei paesi dei partners, Brasile, Italia, Spagna, Portogallo, Argentina e Messico. Nell'approccio presentato in questo articolo, l'obbiettivo è il supporto al recupero ambientale, mediante caratterizzazione delle condizioni del paesaggio prima e dopo gli interventi e visualizzando l'esito dei possibili

decisioni per azioni di planejamento e gestão, sabendo que o planejamento ocorre em maior dimensão temporal e espacial, enquanto a gestão significa o acompanhamento das dinâmicas de transformação em menores dimensões, caracterizados pelo acompanhamento cotidiano das intervenções. Uma abordagem visa planejar o futuro, sobretudo nos estudos preditivos, enquanto gestão indica o presente, administrar uma situação.

Diante do reconhecimento do papel do geoprocessamento na gestão ambiental, foi proposta uma linha de pesquisa na Rede ALFA-FARO para abordagem do tema. A referida rede - Formação Avançada no Setor de Rochas Ornamentais e do Geoprocessamento - tem como objetivo desenvolver pesquisas que promovam estudos comparativos nos processos de exploração de rochas ornamentais nos países Brasil, Itália, Espanha, Portugal, Argentina e México. Na abordagem apresentada no presente artigo o objetivo é de apoio à recuperação da paisagem, em ações de caracterização das condições da paisagem antes e depois das intervenções, com vistas a simular as possíveis recuperações. Além as mencionada abordagem, é também objeto de pesquisa do convênio os estudos de aplicações do geoprocessamento na caracterização das condições de exploração mineral, para

recuperi. Oltre a ciò, sono anche oggetto di ricerca della rete FARO gli studi che applicano la geolaborazione nella caratterizzazione delle condizioni delle coltivazioni minerarie, per eseguire analisi multi-criterio che indichino le potenzialità e i limiti dell'attività dal punto di vista ambientale e logistico.

Le questioni di base della ricerca sono: come è trattato il problema del paesaggio in Brasile ed in Italia? Come si considera la questione paesaggio sia in fase di pianificazione, sia in fase di recupero?

## **2. OBIETTIVI**

La linea di ricerca attuale, nel quadro del progetto ALFA-FARO, ha i seguenti obbiettivi:

Obbiettivo Generale:

- Promuovere studi comparativi di procedure di recupero dei paesaggi oggetto di coltivazione di rocce ornamentali (paesaggi minerari).

Obbiettivi Specifici:

- presentare dei casi di studio di pianificazione e recupero di aree minerarie in Minas Gerais, Brasile;
- conoscere metodi e tecniche di geolaborazione usate per la rappresentazione, l'analisi e gli studi previsivi di trasformazione del paesaggio minerario in Italia; ottenere informazioni sulle normative italiane relative alla trasformazione e

applicazione de análise de multicritérios que indiquem potencialidades e restrições para a atividade do ponto de vista ambiental e logístico.

As perguntas norteadoras da investigação são: Como a questão da paisagem minerada é tratada no Brasil e na Itália? Como é considerada a questão da paisagem tanto na etapa de planejamento como na etapa de recuperação?

## **2. OBJETIVOS:**

A presente linha de pesquisa, dentro do projeto ALFA-FARO, tem os seguintes objetivos:

Objetivo Geral:

- Promover estudos comparativos de processos de recuperação de paisagens mineradas pela exploração de rochas ornamentais;

Objetivos Específicos:

- Apresentar estudos de caso de planejamento e recuperação de áreas mineradas em Minas Gerais – Brasil;
- Conhecer os métodos e técnicas de geoprocessamento utilizados na representação, análise e estudos preditivos de transformação da paisagem minerada na Itália;
- Obter informações sobre as normativas italianas para transformação e recuperação de paisagens mineradas;

- recupero dei paesaggi minerari;
- conoscere un caso di studio italiano per una analisi comparativa dei processi di recupero del paesaggio minerario.

### **3. CASI DI STUDIO DI PIANIFICAZIONE E GESTIONE DEL PAESAGGIO MINERARIO IN BRASILE**

Si osserva un incremento delle applicazioni delle geotecnologie, soprattutto delle tecniche di geoelaborazione, a supporto delle attività di pianificazione della coltivazione mineraria e della gestione del recupero ambientale, per consentire una rappresentazione più fedele della complessità e l'integrazione di analisi di diverse discipline (fra le altre, analisi geologica, economica, logistica).

Tra le risorse disponibili nella geoelaborazione e nell'uso delle geotecnologie, abbiamo eseguito studi destinati alla comunicazione visiva interattiva in diversi campi di interesse, dall'ambientale allo storico e turistico, al di là della simulazione dell'intervento sul paesaggio. La percezione offerta è di entrare nel paesaggio, poiché il prodotto finale utilizza gli effetti del campo visivo dell'osservatore e della sua posizione nello spazio. Abbiamo già sviluppato esperimenti di applicazione di risorse di Geoelaborazione e Realtà Virtuale sia nello sviluppo di un applicativo per la

- Conoscere studio de caso italiano para estudos comparativos de procedimentos de recuperação da paisagem minerada.

### **3. ESTUDOS DE CASO DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DA PAISAGEM MINERADA NO BRASIL**

Observa-se o crescimento das aplicações das geotecnologias, sobretudo das técnicas de geoprocessamento, no apoio às ações de planejamento de exploração mineral e gestão da recuperação ambiental, por possibilitarem um retrato mais fiel da complexidade e permitir a integração de análises por disciplinas diversas (do ponto de vista geológico, econômico, logístico, entre outros).

Entre os recursos disponíveis no geoprocessamento e no emprego das geotecnologias, temos produzido estudos que se destinam à comunicação visual interativa de áreas de diversos interesses, desde o ambiental até o histórico e turístico, além de simulação de intervenção na paisagem. A sensação é de inserção na paisagem, pois o produto final explora efeitos de campo de visada do observador e de seu posicionamento no espaço. Já desenvolvemos experimentos de aplicação de recursos de Geoprocessamento e Realidade Virtual no desenvolvimento de aplicativo para a promoção de Simulação de Intervenção na

promozione della Simulazione dell'intervento sul paesaggio in miniere di ferro a cielo aperto (Miniera di Capão Xavier – Nova Lima e Miniera di Pico – Itabirito, aree di coltivazione mineraria della società MBR-Minerações Brasileiras Reunidas, oggi consolidata in CVRD - Companhia Vale Rio Doce); sia in vari esempi di gestione del paesaggio urbano storico, soprattutto in Ouro Preto, città patrimonio dell'umanità. Presentiamo in questo articolo gli studi di simulazione di intervento nel paesaggio minerario di Pico do Itabirito e di Capão Xavier ( Figura 2).

La miniera di Capão Xavier è localizzata ai margini della strada nazionale BR40, che collega Belo Horizonte a Rio de Janeiro, in prossimità del quartiere Jardim Canadá e sulla Serra Rola Moça, a Nova Lima. E' considerata l'ultima grande riserva di minerale di ferro di alta qualità nell'area della capitale di Minas Gerais. La miniera ha cominciato la sua attività nel Giugno del 2004, preceduta da studi complessi di impatto ambientale, fra cui è stato affrontato il problema della trasformazione del paesaggio. L'obiettivo era di costruire l'immagine di quali sarebbero state le fasi del cantiere nella composizione del paesaggio, e di promuovere degli studi a supporto delle scelte sulla localizzazione delle attività e del recupero dello scavo da sviluppare in parallelo

Paisagem em minas de ferro a céu aberto (Mina de Capão Xavier – Nova Lima e Mina do Pico – Itabirito, áreas de exploração mineral da empresa MBR - Minerações Brasileiras Reunidas, hoje ambas pertencentes à CVRD - Companhia Vale do Rio Doce) e em vários exemplos de gestão da paisagem urbana histórica, sobretudo em Ouro Preto, cidade patrimônio da humanidade. Apresentamos no presente artigo os estudos de simulação de intervenção na paisagem das minas do Pico do Itabirito e de Capão Xavier (Figura 1).

A mina de Capão Xavier está localizada nas margens da BR040, que liga Belo Horizonte ao Rio de Janeiro, e nas proximidades do bairro Jardim Canadá e na Serra do Rola Moça, em Nova Lima. Ela é considerada a última grande reserva de minério de ferro de alta qualidade no entorno da capital mineira. A mina entrou em operação em junho de 2004, precedida por complexos estudos de impactos ambientais, entre os quais se abordou a questão da transformação da paisagem. O objetivo era construir visão do que seriam as etapas de lavra na composição da paisagem, assim como promover estudos que apoiassem as escolhas sobre localização de atividades e de recuperação da cava paralelamente ao processo de exploração (Figura 2).

A Mina do Pico está localizada no município de Itabirito, próximo à rodovia BR356, que liga Belo



do Pico all'avanzamento della coltivazione (Figura 3).

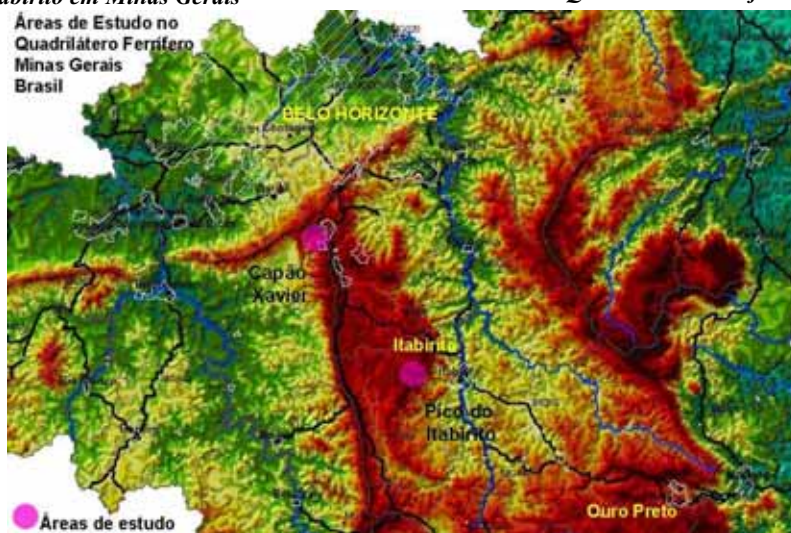
La proclamazione di Pico come patrimonio paesaggistico è giustificato dal fatto che esso è fortemente vincolato al paesaggio minerario fin dall'arrivo dei primi



**Figura 2 - Mappa con la localizzazione delle Miniere di Capão Xavier e di Pico do Itabirito nello Stato di Minas Gerais, Brasile. Mapa de localização das Minas de Capão Xavier e do Pico do Itabirito em Minas Gerais**

Horizonte a Ouro Preto, na borda leste do Sinclinal de Moeda, a mina do Pico se encontra aos pés do Itabirito. O Pico do Itabirito é de grande importância para o patrimônio paisagístico do Estado de Minas Gerais e do Brasil, uma vez que o Pico do Itabirito era referência de localização para os primeiros desbravadores do território mineiro, tendo sido retratado por naturalistas e historiadores. Desde 1962 o Pico do Itabirito é tombado como patrimônio paisagístico nacional, e em 1989 foi tombado também como patrimônio estadual, o que justifica a aplicação de técnicas de geoprocessamento nos estudos de seu entorno e de sua recuperação (Figura 2).

**Figura 3 – Localizzazione delle Miniere di Capão Xavier e di Pico do Itabirito nel Quadrilátero Ferrífero - Localização das Minas de Capão Xavier e do Pico do Itabirito no Quadrilátero Ferrífero**



esploratori nella regione, che si spostavano nella regione utilizzandolo come punto di riferimento. Oltre alla funzione di orientamento, il picco è stato incorporato nel paesaggio come valore di “minerarietà”, poiché è associato, nelle mappe mentali, alla regione delle miniere d’oro. Il valore del minerale estratto dal picco è stato tanto importante che da lì proviene il nome “itabirite”, poiché inizialmente la regione si chiamava Itabira do Campo. Rosière et al. (2005) descrivono così la caratterizzazione e l’importanza del Pico:

*“Il Pico de Itabirito si presenta come uno scenario singolare nel contesto geologico del Quadrilatero Ferrifero. Grazie a questa realtà, l’IPHAN, Istituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, ha dichiarato nel 1962 questa area geologica come insieme paesaggistico, con la giustificazione principale data dallo spazio storico dell’occupazione mineraria. La regione di Pico de Itabirito presenta inoltre una storia geologica estremamente ricca, che porta a discussioni di natura geologica e che merita di essere resa accessibile e tradotta per gli altri segmenti sociali; é poi la località-tipo del termine itabirite, introdotto dal geologo e metallurgista*

O tombamento do Pico como patrimônio paisagístico justifica-se por ele estar fortemente vinculado à paisagem mineira desde a chegada dos primeiros bandeirantes na região, que se deslocavam no território usando-o como marco referencial de localização. Além da função de orientação, o pico se incorporou à paisagem como valor de mineiridade, pois está associado, nos mapas mentais, à região das minas de ouro. O valor do minério extraído do pico foi tão expressivo que dele veio o nome “itabirito”, pois inicialmente a região se chamava Itabira do Campo. Rosière et al. (2005) assim descrevem a caracterização e importância do Pico:

*“O Pico de Itabirito apresenta-se como cenário singular no contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero. Em função desta realidade, o IPHAN tombou em 1962 este marco geológico e seu entorno como conjunto paisagístico, tendo o espaço histórico da ocupação mineira como justificativa central. A região do Pico de Itabirito apresenta também uma história geológica extremamente rica, que leva a discussões no meio geológico e que merece ser resgatada e traduzida para os demais segmentos da sociedade, sendo também a localidade – tipo do termo itabirito introduzido pelo*

*tedesco W.L. von  
Enschwege."*

Le trasformazioni nel paesaggio in funzione delle coltivazioni minerarie fanno parte del quotidiano e delle mappe mentali del minatore che vive nella regione del Quadrilatero Ferrifero, poiché l'uso del territorio è stato sempre dominato da questa attività. Se si riconosce che il territorio comune è un palinsesto di forme che registrano il passaggio dell'uomo sulla Terra, non si può dire che un'epoca storica sia più importante di un'altra, ma l'insieme deve mantenere memoria dei differenti aspetti che hanno fatto parte dell'occupazione mineraria. A fronte dell'importanza di agire sul paesaggio coscientemente, affinché esso sia un libro di annotazioni di valori di diverse epoche, si possono utilizzare le risorse della geolaborazione per ottenere delle simulazioni di intervento sul paesaggio e eseguire gli studi previsivi di questa trasformazione.

Dopo essere stati impegnati molto intensamente negli studi di rappresentazione del paesaggio a supporto delle decisioni nella gestione e conservazione culturale, abbiamo notato una grande difficoltà da parte degli utenti, in generale, nella lettura dei prodotti cartografici e, cosa più importante, nell'osservazione del paesaggio. Attraverso delle interviste, abbiamo potuto verificare che gli utenti, anche

*geólogo e metalurgista  
alemão W. L. von  
Enschwege."*

As transformações na paisagem em função da mineração fazem parte do cotidiano e dos mapas mentais do mineiro que vive na região do Quadrilátero Ferrífero, pois a ocupação do território sempre esteve atrelada a esta atividade. Reconhecendo o território como um palimpsesto de formas que registram a passagem do homem sobre a Terra, não se pode dizer que uma época da história seja mais importante que outra, mas o conjunto deve manter os registros dos diferentes olhares que fizeram parte da ocupação mineira. Diante da importância de atuar na paisagem com consciência, para que ela seja um livro de registros de valores de diferentes épocas, podem-se utilizar recursos de geoprocessamento para as simulações de intervenção na paisagem e atuar em estudos preditivos desta transformação.

Após nos envolvermos muito intensamente nos estudos de representação da paisagem com vistas a apoiarem tomadas de decisão na gestão e preservação cultural, observamos uma grande dificuldade dos usuários, de modo geral, na leitura de produtos cartográficos e, o mais importante: na observação da paisagem. Através de entrevistas verificamos que os usuários, mesmo aqueles que atuam nas áreas das ciências espaciais, têm dificuldades na formação de

coloro che lavorano nell'area delle scienze spaziali, hanno difficoltà a formarsi delle rappresentazioni mentali sul paesaggio circostante.

In questo senso, è stato nostro interesse sviluppare degli studi sulla comunicazione cartografica e sulla percezione del paesaggio, per potere proporre dei meccanismi di riduzione della difficoltà di riconoscere, interpretare e rappresentare il paesaggio. Il punto si basa sul fatto che è necessario conoscere per conservare. Qualunque tentativo di pianificazione e gestione del paesaggio sarà di piccola utilità se la comunità continua con "occhi che non vedono". Una nostra proposta è esattamente di promuovere prodotti cartografici comunicativi sul paesaggio del Quadrilátero Ferrífero, regione dove si colloca l'UFMG, in modo da supportare i professori dell'Istituto de Geociências nei lavori di campo e nelle attività all'interno della regione (Leite e Moura, 2008).

La nostra metodologia di lavoro si basa sulla costruzione di simulazioni di interventi sul paesaggio, col supporto di tecniche di cattura, trattamento e rappresentazione di dati digitali sull'ambiente. La questione di base è tenere conto dell'osservazione dell'utente, dal punto di vista del posizionamento sul territorio e dell'elaborazione di prodotti di forte richiamo alla comunicazione grafica. Così, si incorporano risorse di cartografia

mapas mentais sobre a paisagem que os cerca.

Nesse sentido, tem sido nosso interesse desenvolvermos estudos sobre a comunicação cartográfica e a percepção da paisagem, para que possamos propor mecanismo de redução da dificuldade de reconhecer, interpretar e representar a paisagem. O argumento se baseia no fato de que é preciso conhecer para preservar. Qualquer tentativa de planejamento e gestão da paisagem será de pouco retorno se a comunidade continuar com "olhos que não vêem". É nossa proposta promover a produção de produtos cartográficos comunicativos sobre a paisagem do Quadrilátero Ferrífero, região onde está inserida a UFMG, de modo a dar apoio aos professores do Instituto de Geociências em trabalhos de campo e atuação na região (Leite e Moura, 2008).

A nossa metodologia de trabalho baseia-se na construção de simulações de intervenções na paisagem, com o apoio de técnicas de captura, tratamento e representação de dados digitais sobre o ambiente. A questão norteadora é a consideração de olhar do usuário, do ponto de vista de posicionamento no território e de elaboração de produtos de forte apelo de comunicação gráfica. Assim, são incorporados recursos de cartografia digital 3D e navegação virtual, para que o usuário se sinta imerso no ambiente representado e recebam cartografias cuja

digitale 3D e di navigazione virtuale, affinché l'utente si senta immerso nell'ambiente rappresentato e riceva cartografie la cui comunicazione sia più prossima alle sue mappe mentali.

La classificazione delle aree a seconda del valore dell'insieme scenico è da riferire al senso di "*genius loci*", che significa lo "spirito del luogo", poiché gli spazi più dotati dell'essenza di ciò che rappresenta un ambiente sono quelli importanti per una comunità. Il termine "*genius loci*" è stato proposto da Norberg-Schulz (1975) per denominare il carattere speciale di uno spazio basato su elementi naturali, espressioni culturali e interazione cultura / ambiente.

L'identificazione di caratteristiche e luoghi simbolici dello spazio degli ambienti naturali e artificiali, così come l'utilizzazione di tali concetti nella pianificazione, è cominciata negli anni "60", con gli studi sul comportamento ambientale. Di questo periodo, merita di essere citato il lavoro di Lynch (1960), "*The image of the city*", in cui sono presentati i concetti di leggibilità, identità ed unicità, che sono le caratteristiche per cui uno spazio diviene un luogo speciale, dotato di un carattere proprio. In quell'epoca è stato costruito il concetto, ma non c'erano tecniche per supportare la rappresentazione e l'analisi del paesaggio.

Così, a fronte del riconoscimento del valore del paesaggio, la metodologia

comunicazione esteja mais próxima de seus mapas mentais.

A classificação das áreas segundo o valor para o conjunto cênico está relacionada ao sentido de "*genius loci*", que significa o "espírito do lugar", pois os espaços mais dotados da essência do que representa um ambiente são os importantes para uma comunidade. O termo "*genius loci*" foi proposto por Norberg-Schulz (1975) para denominar o caráter especial de um espaço, baseado em elementos naturais, expressões culturais e interação cultura e meio-ambiente.

A identificação de características e lugares simbólicos do espaço dos ambientes naturais e construídos, assim como a utilização desses conceitos no planejamento, iniciou-se na década de 60, com os estudos de comportamento ambiental. Desta época, merece destaque o trabalho de Lynch (1960), "*The image of the city*", no qual são apresentados os conceitos de legibilidade, identidade e unicidade, que são características que fazem do espaço um lugar especial, dotado de caráter próprio. Naquela época foi construído o conceito, mas não existiam técnicas para apoiar a representação e a análise da paisagem.

Assim, diante do reconhecimento do valor da paisagem, a metodologia aqui apresentada desenvolvida parte da escolha de pontos de visada em campo que traduzam a síntese do

svilupata e qui presentata, muove dalla scelta sul campo di punti di vista in grado di tradurre la sintesi dell'ambiente, ossia: se fosse necessario scegliere uno o più punti per la rappresentazione della vista di un paesaggio, quali sarebbero ? E quali sarebbero capaci di cogliere in sintesi il *genius loci*, l'identità di un paesaggio?

### 3.1. L'interpretazione del paesaggio per assi visuali – Il caso della miniera di Capão Xavier

L'obiettivo dell'analisi è la costruzione di una mappa che classifichi i differenti segmenti di un paesaggio secondo il grado di visibilità. Mediante la classificazione è possibile rispondere alle questioni:

- *Quella località (localizzazione geografica), da dove si vede?*
- *Quel punto significativo nel territorio, cosa si può vedere dalla sua posizione?*

Il metodo consiste nell'applicazione di criteri *riproducibili* per tracciare i coni d'ombra degli assi visivi, quindi per identificare le aree visibili a partire dai punti più significativi del paesaggio. Crediamo nell'importanza di questa procedura di analisi degli assi visivi per i nuovi orientamenti di applicazione di concetti della *Teoria della Percezione e*

ambiente, ou seja: se fosse necessário escolher um ou alguns pontos para representarem a visão de uma paisagem, quais seriam eles? Quais seriam capazes de retratar em síntese o *genius loci*, a identidade de uma paisagem?

### 3.1. A interpretação da paisagem por eixos visuais – Estudo de caso da mina de Capão Xavier

O objetivo da análise é a construção de mapa que classifique os diferentes segmentos de uma paisagem segundo o grau de visibilidade. Através da classificação, é possível responder às questões:

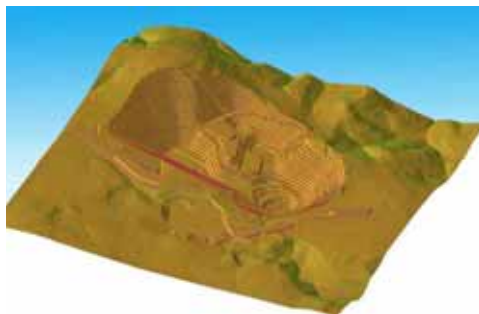
- *Tal localidade (tal localização geográfica), de onde está sendo vista?*
- *Tal ponto significativo no território, o que é visível a partir de sua posição?*

O método consiste na aplicação de critérios *reproduzíveis* para o traçado das manchas dos eixos visuais, que são as áreas visíveis a partir dos pontos mais significativos da paisagem. Acreditamos na importância deste procedimento de análise de eixos visuais para os novos rumos de aplicação de conceitos da *Teoria da Percepção e Cognição Espacial*.

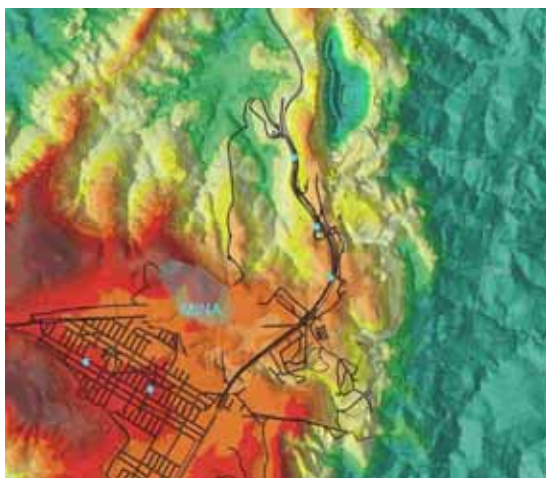
No desenvolvimento da proposta iniciamos pela construção do MDT - Modelo Digital de Terreno da área de estudo. A topografia da área foi cuidadosamente analisada, o que foi auxiliado por mapas

### *Cognizione Spaziale.*

La proposta considera come punto di partenza la costruzione del Modello Digitale del Terreno (MDT) dell'area di studio. La topografia dell'area è stata attentamente analizzata, utilizzando carte isometriche a 3D e studi sugli effetti-ombra in diverse ore del giorno. Sono stati generati dei modelli sia del paesaggio attuale, sia del paesaggio previsto fino alla fase dello scavo finale della cava (Figura 4a, 3b)



b)  
**Figura 3b - Costruzione del modello digitale del terreno dello scavo finale a partire dalla topografia prevista nel progetto.**

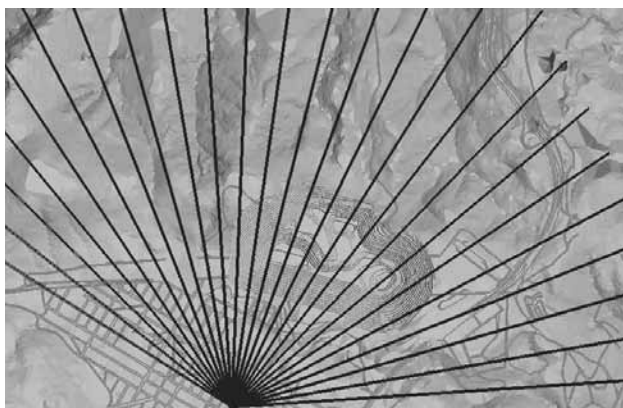


a)  
**Figura 4a - Costruzione del modello digitale del terreno dell'area e identificazione dei punti notevoli di osservazione del paesaggio. - Construção do MDT da área e identificação dos pontos notáveis de observação da paisagem**

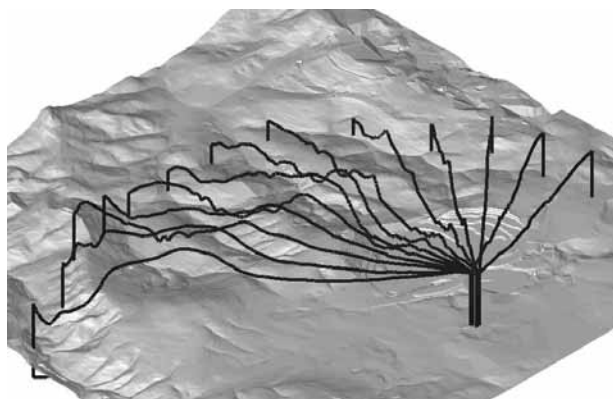
hipsométricos em 3D e por estudos de efeitos de sombras em diferentes horas do dia. Foram gerados modelos tanto da paisagem atual como da paisagem prevista até a etapa do pit final da cava (Figuras 3a e 3b).

O primeiro passo foi, a partir de trabalho de campo, escolher os pontos de maior alcance visual e que permitissem a melhor visibilidade do conjunto paisagístico. Nos apoios de campo contamos com sugestões de técnicos e de conhecedores da área. É importante destacar que este número de pontos não é conclusivo, mas são os pontos mais significativos, e que técnicos interessados em detalhar a paisagem da cidade podem acrescentar novas localidades ao conjunto de dados.

Il primo passo è stato, a partire dal lavoro di campo, la scelta dei punti di maggior raggio visivo in grado di migliorare la visibilità dell'insieme paesaggistico. In questo lavoro ci si è avvalsi dei suggerimenti dei tecnici e di chi conosce l'area. E' importante sottolineare che questo numero di punti non è esaustivo, ma si tratta solo dei punti più significativi; pertanto, i tecnici interessati a dettagliare il paesaggio della



**Figura 5 – Assi radiali utilizzati per la definizione dei profili topografici – passo 6 gradi. - Lançamento de eixos radiais de definição de perfis topográficos - deslocamento de 6 graus entre eles.**



**Figura 4 – Visione in 3D – evidenza di alcuni profili tracciati a partire da un punto di vista. - Visão em 3D - destaque de alguns perfis traçados a partir de um ponto de visada**

città possono sempre aggiungere nuove localizzazioni all'insieme dei dati.

Nei punti di vista scelti, è stata fissata l'altezza

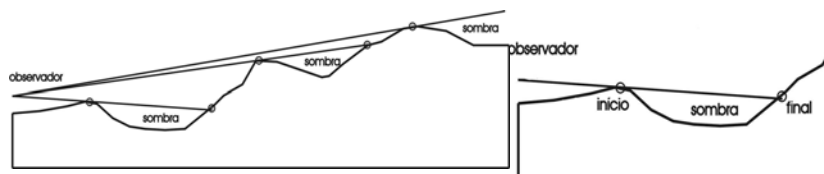
Nos pontos de visada escolhidos, foram fixadas as alturas do observador, colocado a 1.70m acima do piso. A partir deles, foram identificados os alcances visuais possíveis, pela definição dos

divisores de água, e foram traçados perfis topográficos em direção a esses limites, em eixos radiais a partir do ponto de visada, com deslocamento de 6 graus entre eles, conforme demonstrado nas Figuras 4 e 5.



dell'osservatore, posizionato a 1.70 m di altezza dal suolo. Da lì sono state identificate le visuali possibili mediante la definizione degli spartiacque e sono stati tracciati i profili topografici in direzione di questi limiti, secondo assi radiali che partono dallo stesso punto di vista e che descrivono l'angolo totale del campo visivo con passo di 6 gradi, come mostrato dalle figura 4 e paesaggio della Figura 5

Una volta tracciati tutti i profili, sono stati definiti i punti di intersezione fra piano visivo zenitale dell'osservatore e linea del profilo, definendo i coni d'ombra (non visibili). Ciò implica il tracciamento di un insieme di assi che originano dal punto di osservazione e che terminano quando le linee intercettano il disegno del profilo. In ogni intersezione è segnato il punto di inizio e fine dell'ombra (Figura 6).



**Figura 6** –Definizione delle intersezioni fra piani zenitali e profilo, per la definizione dei “coni d’ombra”, relativi alla visuale dell’osservatore. Dettaglio dei punti di origine e fine d’ombra relativa ad un profilo.

Via via si collegano tutti i punti di inizio e fine d’ombra, ed il risultato finale è costituito dalle superfici (shapes) che

Traçados todos os perfis, foram definidos os pontos de interseção entre plano visual zenital do observador e linha de perfil, definindo as áreas de "sombra" (não visíveis). Isto significa traçar uma coleção de eixos saindo do ponto de observação, até que estas linhas interceptem o desenho do perfil. Em cada interseção é marcado o ponto de início e o ponto de final da sombra (Figura 6).

Na sequência, são ligados todos os pontos de início de sombra e todos os pontos de final de sombra, e o resultado são superfícies (*shapes*) definidoras de manchas de áreas visíveis a partir da posição do observador (Figura 7).

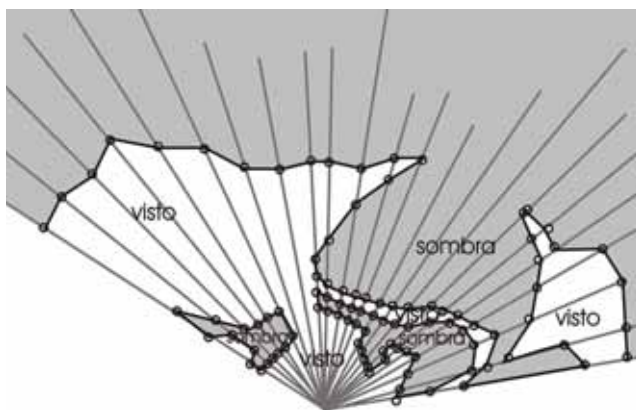
O processo de ligação de pontos é feito tendo como material de referência o mapa em 3D. A conferência final é obtida por colocação da mancha em 3D, encaixada no modelo digital de

*A partir do olhar do observador, definição das interseções entre planos zenitais e perfil, para definição de áreas de "sombra". Detalhe de pontos de início e final de uma sombra a partir de um perfil.*

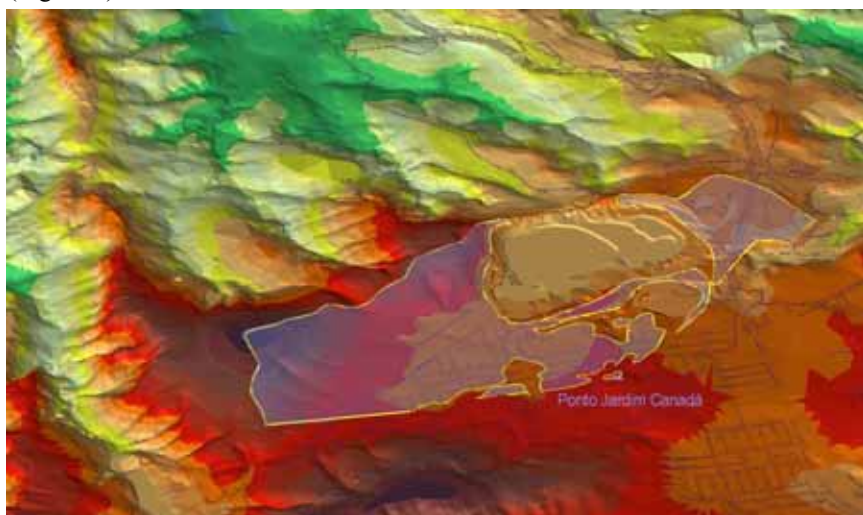
elevação, quando se verifica se ela realmente corresponde à realidade visível do ponto escolhido (Figura 8).

definiscono le aree visibili e non visibili relative alla posizione dell'osservatore (Figura 8).

Il collegamento dei punti è eseguito utilizzando come materiale di riferimento la mappa a 3D. Il risultato finale si ottiene collocando il cono d'ombra in 3D, inserendolo nel modello digitale del terreno una volta verificato che esso realmente corrisponde alla realtà visiva del punto scelto (Figura 7).



**Figura 8 – Collegamento fra punti e forma delle superfici delle aree visibili e non visibili (ombra).** - *Ligação de pontos e conformação das superfícies de áreas visíveis e não-visíveis (sombra).*



**Figura 7 – Inserimento del cono d'ombra nel modello 3D.** - *Encaixe da mancha de visibilidade no modelo 3D.*

A ligação dos pontos resultou em mapas com as manchas das superfícies visíveis, pois estas respostas dariam subsídios para escolhas, por exemplo, de localizações de

Il collegamento dei punti ha generato delle mappe coi l'individuazione delle superfici visibili, ed in effetti si tratta di un risultato a supporto alle scelte, per esempio, sulla localizzazione di cortine di vegetazione e sul posizionamento di altri elementi attenuatori dell'impatto visivo. L'identificazione del campo visivo ha supportato anche le decisioni sulle fasi e sui processi di trattamento dei paesaggi.

Una volta generati le superfici visibili relative ai punti scelti, esse possono essere consultate mediante due procedure, sintetizzate nella Figura 9:

- Una procedura di “*firma*” o intersezione fra strati che percorre i piani informativi per identificare ciò che avviene in un luogo di interesse. E’ così possibile consultare quali siano i coni d’ombra che riguardano il luogo specifico e, conseguentemente, da dove esso è maggiormente visibile nell’insieme.
- Una procedura di “*valutazione*” o algebra delle mappe, che permette la sintesi dei piani informativi, indicando le regioni dell’insieme più visibili, in funzione della sovrapposizione del maggior numero aree visibili. Il risultato è l’indicazione del grado di visibilità lungo l’insieme, e l’evidenza delle aree che richiedono una

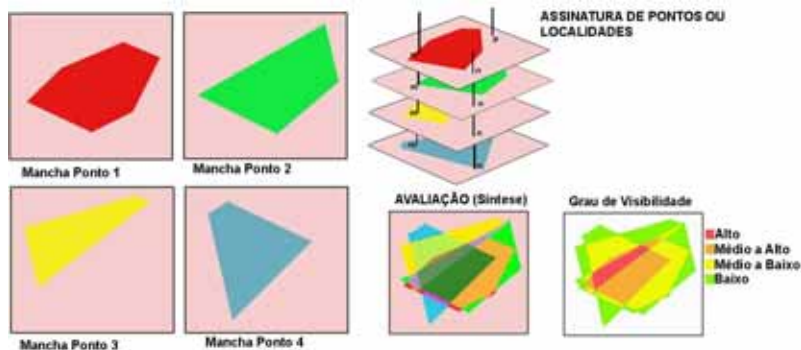
cortinas de vegetação e posicionamento de outros elementos amenizadores do impacto visual. A identificação dos alcances visuais deu apoio às decisões, também, sobre etapas e processos de tratamento das paisagens.

Uma vez geradas as manchas a partir dos pontos escolhidos, elas podem ser consultadas por dois processos, sintetizados na Figura 9:

- Um procedimento de *assinatura* ou interseção entre camadas que varre os planos de informação para identificar o que ocorre em uma localidade de interesse. Com esse recurso é possível consultar quais são as manchas que incidem sobre um local específico e, consequentemente, de onde o local é mais visível no conjunto.

- Um procedimento de *avaliação* ou álgebra de mapas que permite a síntese de planos de informação, indicando as regiões mais visíveis do conjunto, em função da sobreposição de maior número de manchas de eixos visuais. O resultado é a indicação do grau de visibilidade ao longo do conjunto, e o destaque das áreas que merecem maior atenção nos processos de aprovação de intervenções.

A partir da interpretação da paisagem e da identificação das áreas mais visíveis, assim como do que é visto em diferentes posições da paisagem, as informações são utilizadas no apoio à tomada de decisões. O



**Figura 9 – Schema della Firma (identificazione dei coni d'ombra) e della Valutazione (sintesi di mappe con l'indicazione del grado di visibilità) relativo alla costruzione di ciascun cono d'ombra.**

*Esquema da Assinatura (identificação das manchas de visibilidade) e da Avaliação (síntese de mapas indicando o grau de visibilidade) a partir da construção de cada mancha de visibilidade.*

maggiore attenzione nei processi di approvazione degli interventi.

A partire dall'interpretazione del paesaggio e dall'identificazione delle aree più visibili, così come da ciò che si vede in differenti posizioni del paesaggio, le informazioni sono utilizzate a supporto delle decisioni. Il caso della Miniera di Capão Xavier è un interessante esempio di come si possono coniugare le attività di coltivazione mineraria con la correzione del paesaggio trasformato. In questo caso, le azioni di recupero sono eseguite contestualmente allo sviluppo dell'intervento (coltivazione), ma senza necessariamente dovere ritornare al paesaggio minerario della situazione precedente. Negli studi di fattibilità, sono state costruite simulazioni di intervento sul paesaggio per prevedere le migliori localizzazioni delle

estudo de caso da Mina de Capão Xavier é um interessante exemplo de conjugação da atividade de mineração com a correção da paisagem transformada, na qual ao mesmo tempo em que se realiza a intervenção são feitas as ações de recuperação, mas sem necessariamente o compromisso de retornar a paisagem minerada à situação anterior. Em seus estudos de implantação foram construídas simulações de intervenção na paisagem com vistas a prever as melhores localizações para as atividades e a planejar as ações de recuperação das encostas lavradas.

Quando o trabalho é feito a partir de modelos topográficos, há o risco de se ignorar elementos construídos da paisagem, como os grandes edifícios e monumentos. Contudo, hoje este problema é resolvido com a aplicação de produtos obtidos por captura laser do ambiente, que resultam na

attività e pianificare le azioni di recupero delle fronti coltivate.

Quando il lavoro viene svolto a partire da modelli topografici, si ha sempre il rischio di ignorare gli elementi del paesaggio edificati, come i grandi edifici e i monumenti. Comunque, oggi questo problema è risolto con l'applicazione di prodotti che utilizzano rilevamenti laser dell'ambiente, che producono modelli digitali del terreno e non solo. Le simulazioni nel caso di Capão Xavier sono state realizzate a partire dalle basi di dati topografici a curve di livello vettoriali e dai progetti previsti per la fossa finale, disponibili in CAD 3D. Nel caso della Miniera di Pico de Itabirito, esaminato sempre in questo articolo, l'origine dei dati topografici è stato il rilievo laser.



**Figura 10 – Esempio di acquisizione dei dati mediante laser e rappresentazione del paesaggio** (fonte SAI – Servizi Aerei ed Industriali, 2008). - *Exemplo de captura de dados e representação da paisagem por laser*

geração de modelos digitais de elevação e não somente modelos digitais topográficos (Figura 10). As simulações no estudo de caso em Capão Xavier foram construídas a partir de bases topográficas em curvas de nível vetoriais e projetos previstos para o pit final, que se encontravam em CAD 3D. No estudo de caso da Mina do Pico do Itabirito, também abordado no presente artigo, a origem dos dados topográficos foi a captura laser.

A Mina de Capão Xavier hoje se encontra em plena atividade, com os cuidados de recuperação da paisagem transformada à medida que acontece a ocupação. Ela quase não é visível do principal eixo visual, a BR040, e da região do bairro Jardim Canadá o que se observa hoje é a parede Oeste recuperada. Nas imagens a seguir (Figuras 11 a 16) são apresentados eixos visuais antes da intervenção, simulação das transformações, assim como fotos da situação hoje, já em etapa de extração.



**Figura 11 – Visuale dell'area della Miniera di Capão Xavier prima dell'intervento, vista dalla BR040 - *Visão da área da Mina de Capão Xavier antes da intervenção, vista da BR040***



**Figura 12 – Visuale dell'area della Miniera di Capão Xavier con simulazione della coltivazione, vista dalla BR040 - *Visão da área da Mina de Capão Xavier com simulação da intervenção, vista da BR040***



**Figura 13 – Visuale dell'area della Miniera di Capão Xavier dopo la coltivazione, vista dalla BR040 - *Visão da área da Mina de Capão Xavier após a intervenção, vista da BR040***



**Figura 14 – Visuale dell'area della Miniera di Capão Xavier prima della coltivazione, vista dal quartiere Jardim Canadá - *Visão da área da Mina de Capão Xavier antes da intervenção, vista do bairro Jardim Canadá***



**Figura 15 – Visuale dell'area della Miniera di Capão Xavier con simulazione della coltivazione, vista dal quartiere Jardim Canadá- *Visão da área da Mina de Capão Xavier com simulação da intervenção, vista do bairro Jardim Canadá***



**Figura 16 – Visuale dell'area della Miniera di Capão Xavier dopo la coltivazione, vista dal quartiere Jardim Canadá - *Visão da área da Mina de Capão Xavier após a intervenção, vista do bairro Jardim Canadá***



La miniera di Capão Xavier oggi è in piena attività, con attenzione al recupero del paesaggio trasformato a misura in cui avviene l'occupazione. Essa quasi non è visibile dall'asse visivo principale, la strada nazionale BR040, e ciò che si osserva oggi dal quartiere Jardim Canadá è la parete Ovest recuperata. Nelle immagini che seguono (Figura 11-Figura 16), sono presentati gli assi visivi dell'intervento, la simulazione delle trasformazioni, così come le foto della situazione attuale, già in fase di coltivazione.

Il problema delle discariche di sterili, che generalmente costituisce un problema nella trasformazione del paesaggio, lo si sta risolvendo con lo spostamento del materiale, lungo una strada privata che passa sotto la BR040 (Figura 17). Lo sterile è collocato nella regione della Miniera di Mutuca, la cui coltivazione è terminata e che si trova in fase di recupero ambientale, recupero che utilizza lo sterile di Capão Xavier.



**Figura 17 – Mappa con la localizzazione delle cave di Mutuca e Capão Xavier, relativamente alla BR040 - Mapa de localização das cavas de Mutuca e Capão Xavier, a partir da localização da BR040.**

A questão das pilhas de estéril, que geralmente constituem um problema na transformação da paisagem, está sendo resolvida com o deslocamento do material, em estrada própria que cruza por debaixo da BR040. O estéril é colocado na região da Mina da Mutuca, exploração que se encontra exaurida e em fase de recuperação, onde o material estéril de Capão Xavier está sendo utilizado no processo de recuperação da cava (Figura 17).



Gli studi degli assi visivi e della navigazione virtuale attraverso lo spazio di studio, riscattano l'importanza della visione nelle analisi ambientali. Riteniamo che la nostra proposta metodologica possa incorporare questo valore nella gestione e nella pianificazione territoriale. Hissa (2002, p.187) sviluppa la questione della visione riscattando il valore della percezione d'uso, dei luoghi simbolici, spesso difficili da misurare. *"Spazio e territorio sono immagini, visive e non visive. Forme, volumi e flussi. Processi visibili e non visibili. Ma le immagini non costituiscono un prodotto esclusivo delle strutture visive, con cui sono in contatto diretto. Esse sono anche elaborate attraverso esperienze quotidiane sviluppate nel corso della storia, relativamente a diversi 'visioni' che superano il solo 'visibile'".*

### **3.2. Simulazione dell'effetto della coltivazione sul paesaggio Il caso di studio della Miniera di Pico do Itabirito**

L'obiettivo è simulare l'effetto della coltivazione sul paesaggio applicando una metodologia basata su criteri riproducibili, ovvero potere affermare con certezza, a fronte di studi previsionali, quale sarà il risultato di una trasformazione sull'ambiente. Le domande base dello studio sono: come misurare il valore del paesaggio? Come prevedere le conseguenze di un intervento sull'insieme

Os estudos de eixos visuais e de navegação virtual pelo espaço de estudo resgatam o valor do olhar nas análises ambientais. Acreditamos que nossa proposta metodológica possa incorporar esse valor na gestão e planejamento territoriais. Hissa (2002, p.187) desenvolve a questão do olhar resgatando o valor da percepção do uso, dos lugares simbólicos, muitas vezes difíceis de serem mensurados: *"Espaço e território são imagens, visuais e não visuais. Formas, volumes e fluxos. Processos visíveis e invisíveis. Mas as imagens não são produto exclusivo das estruturas visuais, com as quais se tem contato direto. Elas também são processadas através de experiências cotidianas desenvolvidas ao longo da história, a partir de vários olhares que ultrapassam e exclusivamente "visual".*

### **3.2. Simulação de intervenção na paisagem - Estudo de caso da mina do Pico do Itabirito**

O objetivo é simular a intervenção na paisagem com a aplicação de uma metodologia baseada em critérios reproduzíveis, ou seja: que se possa afirmar com segurança, diante de estudos preditivos, qual será o resultado de uma transformação no ambiente. São perguntas norteadoras do estudo: Como mensurar o valor da paisagem? Como prever as consequências de uma

paesaggistico? Come avere dei criteri riproducibili di analisi del paesaggio?

Secondo Moura (2003), la simulazione degli interventi sul paesaggio consente agli organi di controllo ambientale o agli istituti di protezione del patrimonio artistico di valutare con maggiore sicurezza i nuovi progetti. Il procedimento facilita soprattutto, il dialogo fra diversi segmenti della società, fra cui vi sono i tecnici, gli amministratori e gli abitanti della regione. Sulla base di disegni in pianta, di sezioni od anche di prospettive isolate del paesaggio, è molto difficile percepire l'impatto reale della coltivazione sull'insieme paesaggistico; ma attraverso la simulazione dell'inserimento nell'insieme del volume asportato, è possibile valutare la sua adeguatezza.

Il procedimento si basa sulle seguenti fasi:

- a) Elaborazione dei dati ottenuti mediante rilevamento laser – le curve di livello sono state fornite con passo 1 m fra isoipse principali, interpolate a 10 cm nelle intermedie
- b) Costruzione del MDT prima e dopo la coltivazione nel caso di trasformazioni del paesaggio minerario. Nel caso di strutture urbane, costruzione del modello 3D dell'oggetto della trasformazione e georeferenziazione degli interventi proposti (Fig. 19)

intervento no conjunto paisagístico? Como ter critérios reproduzíveis para analisar a paisagem?

Segundo Moura (2003), a simulação das intervenções na paisagem permite que órgãos de controle ambiental ou institutos de proteção ao patrimônio histórico julguem com maior segurança novos projetos. O procedimento facilita, sobretudo, o diálogo entre os diferentes segmentos da sociedade, entre os quais estão os técnicos, os administradores e os moradores de uma região. Em desenhos de plantas, cortes, ou mesmo perspectivas isoladas da paisagem, é muito difícil perceber o real impacto da intervenção no conjunto paisagístico; mas pela simulação do encaixe do volume no conjunto, é possível julgar sua adequabilidade.

O procedimento é baseado nas etapas:

a) Tratamento dos dados gerados pela captura laser – as curvas de nível foram fornecidas com equidistância de 1 metro entre as curvas mestras, interpoladas com 10 centímetros nas intermediárias (Figura 18).

b) Construção do MDT (modelo digital de terreno) antes e depois para o caso de transformações da paisagem minerada. No caso de estruturas urbanas construção do modelo 3D do objeto de transformação e georreferenciamento das intervenções propostas (Figura 19).

- c) Visualizzazione degli interventi relativi a punti notevoli del paesaggio (raggi visivi studiati nella fase degli assi visivi) sul paesaggio attuale e su quello previsto.
- d) Interpretazione delle trasformazioni del paesaggio.
- e) Simulazione di differenti alternative di progetto e ubicazione delle attività, ai fini del supporto alle decisioni.

c) Visualização das intervenções a partir dos pontos notáveis da paisagem (pontos de alcance visual estudados na etapa de eixos visuais) representando a paisagem hoje e a paisagem prevista.

d) Interpretação das transformações da paisagem.

e) Simulação de diferentes possibilidades de projetos e localização de atividades, visando o apoio à tomada de decisões.

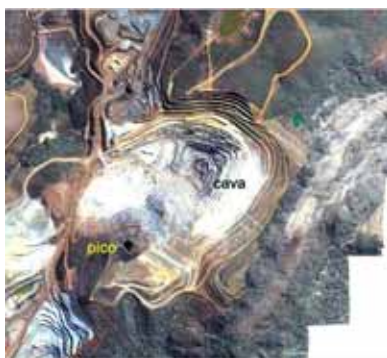


**Figura 18 – Costruzione del Modello Digitale del Terreno con curve di livello generate dal rilevamento laser. Costruzione del modello sia della fase iniziale sia della simulazione delle decisioni di nuove forme di paesaggio topografico a partire dai progetti di recupero studiati. Construção do Modelo Digital de Elevação por curvas de nível geradas a partir de captura laser. Construção do modelo tanto da etapa inicial com da simulação de decisões de novas formas da paisagem topográfica a partir dos projetos de recuperação estudados.**

**Figura 19 – Curve di livello e triangolazione con basi per la costruzione del Modello Digitale del Terreno.- Curvas de nível e triangulação com bases para a construção do Modelo Digital de Elevação.**



L'interpretazione deve seguire dei criteri difendibili, ossia: qualunque azione dell'uomo sul territorio implica delle trasformazioni. L'analisi del grado di accettabilità di questa trasformazione si deve basare su criteri indicati sia dalle competenze specialistiche, sia dalla comunità, a partire dall'identificazione del valore culturale che quell'ambiente rappresenta, intendendo per cultura tutto ciò che fa parte della memoria collettiva degli abitanti, tanto in termini di uso come di caratteristiche ambientali. E' un palinsesto di valori ed elementi che si sommano nel tempo e nello spazio, cosa che rende le differenti epoche ed attività degne della valorizzazione e conservazione, sempre all'interno della sostenibilità.



**Figura 20 – Vista del Pico – Vista do Pico - Ikonos, 2005**

Lo studio della Miniera di Pico, a Itabirito, ha applicato la metodologia proposta con l'obiettivo di simulare le possibilità di recupero della cava

A interpretação deve seguir critérios defensáveis, ou seja: toda ação do homem sobre o território resulta em transformações. O diagnóstico do grau de aceitabilidade desta transformação deve ser embasado por critérios indicados tanto pelo conhecimento especialista como pela comunidade, a partir da identificação do valor cultural que aquele ambiente apresenta, entendendo cultura como tudo aquilo que faz parte da memória coletiva dos habitantes, tanto em termos de uso como de características ambientais. É um palimpsesto de valores e elementos que se somam no tempo e no espaço, o que torna as diferentes épocas e atividades elegíveis à valorização e preservação, dentro do princípio de sustentabilidade.



**Figura 21 – Limite dell'area protetta (Rosière et al., 2005). - Limite de tombamento**

O estudo de caso da Mina do Pico, em Itabirito, aplicou a metodologia com o objetivo de simular as possibilidades de

prossima al picco, dal momento che la coltivazione in quest'area sta per concludersi e cominceranno nuove fasi di coltivazione nella regione. Come contropartita ambientale, l'impresa responsabile recupererà il paesaggio della cava e creerà un parco nell'area. In fig. 20 si osserva il picco e l'area di cava da recuperare ed in fig. 21 è riportata la visione aerea del Pico, con in evidenza i limiti dell'area protetta. Per capire la scala dell'area, sull'immagine ripresa dall'alto è riportata una linea rossa che corrisponde a circa 1 km, da cui si evince un'area di influenza diretta di circa 1 km x 1 km.

La prima tappa del lavoro è stato il Modello Digitale del Terreno relativo all'area di studio mediante curve di livello generate col rilevamento laser, cosa che ha consentito una rappresentazione ad alta risoluzione del paesaggio dell'area. Successivamente, sono stati studiati i modelli di rappresentazione dell'area da vari punti di vista, fornendo delle rappresentazioni oggettive delle caratteristiche topografiche e paesaggistiche. Questi studi sono serviti, anche, a supporto degli studi di recupero della cava.

Dal momento che l'obiettivo della simulazione è di studiare le possibilità di trasformazione di un paesaggio, una tappa fondamentale è costituita dalla ricerca di rappresentazioni dell'area precedenti all'attività mineraria.

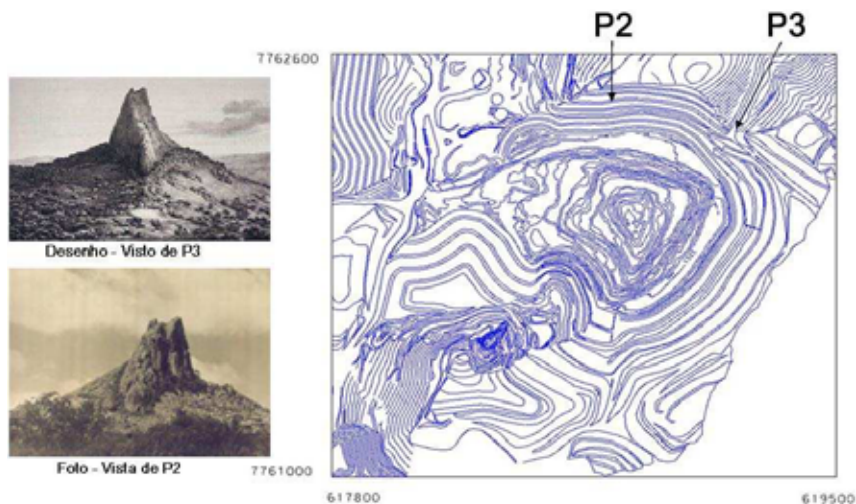
recuperação da cava próxima ao pico, pois a exploração nesse ponto está sendo concluída e serão iniciadas novas etapas de exploração na região. Como contrapartida ambiental, a empresa responsável irá recuperar a paisagem da cava e criar um parque na área. Na Figura 20 observa-se o pico e a área da cava a ser recuperada, e na Figura 21 a visão aérea no Pico, com destaque para o limite de tombamento. Para compreensão da escala da área, na imagem vista de topo o eixo marcado em vermelho corresponde a cerca de um quilômetro, o que resulta em área de influência direta de cerca de um quilômetro por um quilômetro.

A primeira etapa de trabalho foi composta pela modelagem digital de elevação da área a partir de curvas de nível geradas pela captura laser, o que resultou em representação de alta resolução da paisagem da área. Em seguida, foram estudados os modelos de representação da área segundo vários pontos de visada, objetivando o reconhecimento de sua constituição topográfica e paisagística. Estes estudos serviram, também, como apoio para a definição dos estudos de recuperação da cava.

Como o objetivo da simulação é estudar as possibilidades de transformação de uma paisagem, constitui etapa fundamental a busca de representações da área anteriores à atividade mineradora. Foram

Sono state recuperate due immagini: un disegno di F.J. Stephan (1840), Litografia de A.Brandmeyer, (in Martius, 1906) ed una fotografia dell'archivio IEPHA. Sono stati eseguiti dei lavori di campo con il fine di identificare la posizione da cui queste immagini sono state riprese, arrivando alla conclusione che i punti di vista sono quelli indicati come P2 e P3 sull'insieme (Figura 22).

obtidas duas imagens: um desenho de F.J. Stephan (1840), Litografia de A.Brandmeyer, (In Martius, 1906) e uma fotografia do acervo do IEPHA. Foram então realizados trabalhos de campo com o objetivo de identificar a posição de onde estas imagens foram registradas, chegando à conclusão de que os pontos de visada eram os nomeados como P2 e P3 no conjunto (Figura 22).

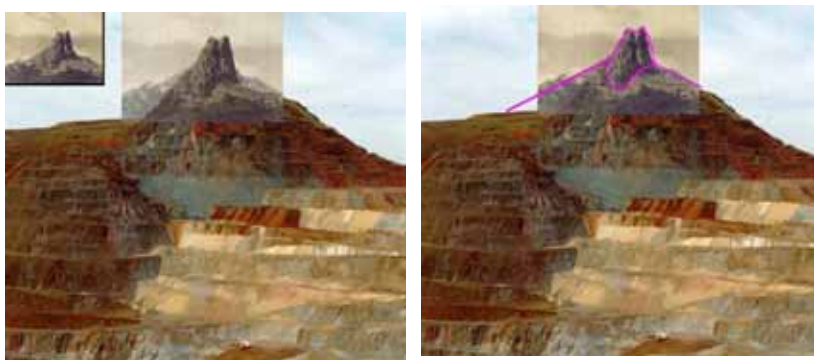


**Figura 22 – Desenho retratado da P3 da F.J. Stephan (1840), in Martius (1906). Foto dell'archivio IEPHA ritratta da P2. Pianta topografica dell'area con ubicazione dei due punti di vista.**

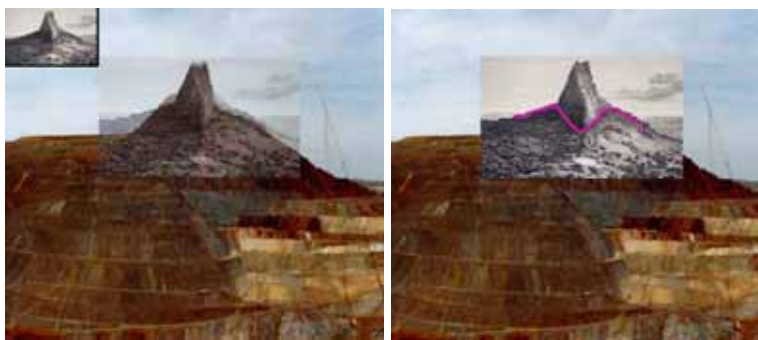
*Desenho visto de P3, por F.J. Stephan (1840), In.: Martius (1906); Foto do acervo IEPHA vista de P2; planta topográfica da área com os pontos de visada retratados.*

Una volta identificate le posizioni delle immagini nel paesaggio, sono state apportate le posizioni delle rappresentazioni e sono stati studiati i contatti fra la costa esistente ed il picco, e la costa coltivata ed il picco, come si può osservare nelle Figura 23 e Figura 24, per entrambe le ubicazioni, P2 e P3.

Uma vez identificadas as posições das imagens na paisagem, foram conferidas as posições de representação e estudados os contatos entre a encosta existente e o pico, e a encosta minerada e o pico, conforme pode ser observado na Figuras 23 e Figura 24, tanto para a localização P2 como de P3.

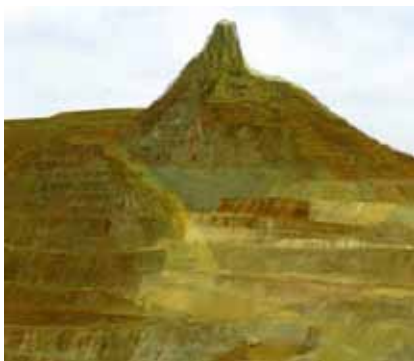


**Figura 23 – Punto P2, inserimento della foto in posizione - *Ponto 2 – Encaixe da foto na posição.***



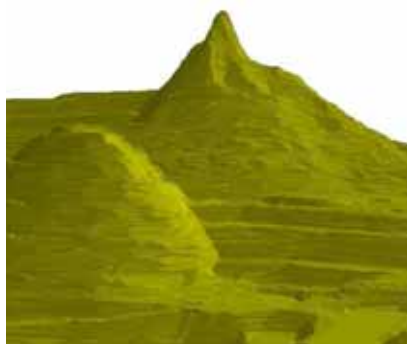
**Figura 24 – Punto P3, inserimento del disegno in posizione. - *Ponto 3 – Encaixe do desenho na posição.***

E' stata quindi studiata nel MDT la posizione esatta x/y/z dell'osservatore nella realizzazione, sia del disegno e della foto, sia delle foto recenti della cava. L'obiettivo era di mettere il modello in condizioni di iniziare le simulazioni di intervento di trasformazione. Così, in Figura 25 si osserva l'inserimento del modello nella fotografia della realtà in P2 e o steso procedimento per P3.



**Figura 25 – Punto P2, inserimento del MDT in posizione nella fotografia e MDT per gli studi di simulazione. - Ponto 2 - encaixe do MDE na posição da fotografia e MDE para os estudos de simulação.**

Foi então estudada no modelo digital de elevação a exata posição x/y/z de onde estava o observador, tanto na produção do desenho e da foto, como das fotografias recentes da cava. O objetivo era colocar o modelo em condições de se iniciar as simulações de intervenção na paisagem e já aplicá-las em uma visão que permitisse o acompanhamento das propostas de transformação. Assim, na Figura 25 observa-se o encaixe do modelo na fotografia da realidade em P2, e o mesmo procedimento para P3.



**Figura 26 – Studio della quota finale di riempimento della fossa. - Estudos da cota final de preenchimento da cava.**



In questa fase, sono iniziati studi di ricomposizione della cava e della costa, simulando differenti alternative di trasformazione della topografia. L'equipe ambientale e geotecnica dell'impresa ha studiato diversi livelli per la scelta del livello finale della fossa da riempire (Figura 26).

Ci si è preoccupati nella composizione delle tessiture di rappresentazione delle superfici, al fine di garantire un'elaborazione grafica la più reale possibile. E' stato utilizzato un modello frattale della tessitura, nella scelta di grani e colori. In Figura 27 è possibile osservare il risultato dell'elaborazione della tessitura del modello frattale (la costa) ed in Figura 28 l'elaborazione grafica mediante ripetizione dello standard (la vegetazione) in luoghi che non erano il centro principale della simulazione.

A partire dagli indirizzi forniti dai responsabili della gestione ambientale e geotecnica della miniera, sono stati proposti

Nesta etapa, foram iniciados estudos de recomposição da cava e da encosta, simulando diferentes possibilidades de transformação da topografia. A equipe de meio ambiente e geotecnica a empresa estudou diferentes níveis para a escolha do nível final da cava a ser repleencheda (Figura 26).

Houve a preocupação na composição das texturas de representação de superfícies, de modo a garantir um tratamento gráfico o mais real possível. Foi empregada modelagem fractal da textura, na escolha de grãos e cores. Na Figura 27 é possível observar o resultado do tratamento da textura de modo fractal (a encosta) e na Figura 28 o tratamento gráfico por repetição de padrão (a vegetação) em locais que não eram o foco principal da simulação.

A partir da orientação dos responsáveis pela gestão ambiental e geotécnica da mina foram propostos dois cenários possíveis para recuperação da cava, sem prejuízo para outras



**Figura 27 – Elaborazione dell composizione della tessitura con modalità frattali (costa). - Tratamento da composição de textura por arranjo fractal (encosta).**

idéias que possam ainda surgir e que terão condições de serem também simuladas na paisagem. Na Figura 29 está o exemplo no P3 (desenho de F.J. Stephan) com

**Figura 28 – Elaborazione della composizione della tessitura con ripetizione dello standard (vegetazione). - Tratamento da composição de textura por repetição de padrão (vegetação).**



due scenari possibili per il recupero della cava, senza pregiudicare altre idee che possano ancora sorgere e con caratteristiche che potranno anche essere simulate sul paesaggio. In Figura 29 è riportato l'esempio nel punto P3 (disegno di F.J. Stephan) con la situazione attuale. Nella Figura 30 è rappresentata la simulazione del recupero dell'area per colmamento della cava e rivegetazione della costa. Nella Figura 31 è simulato il recupero con, in aggiunta, la ricomposizione della costa e la rivegetazione dell'insieme.

a situação hoje, na Figura 30 é representada a simulação de recuperação da área por preenchimento da cava e revegetação da encosta, e na Figura 31 está simulada a recuperação somando também a recomposição da encosta e revegetação do conjunto.

**Figura 29 – Visualizzazione dal punto P3 della situazione attuale. - Visualização do Ponto 3 na situação atual**



**Figura 30 – Simulazione del recupero per riempimento della cava e rivegetazione della costa. - Simulação de recuperação por preenchimento da cava e revegetação da encosta**





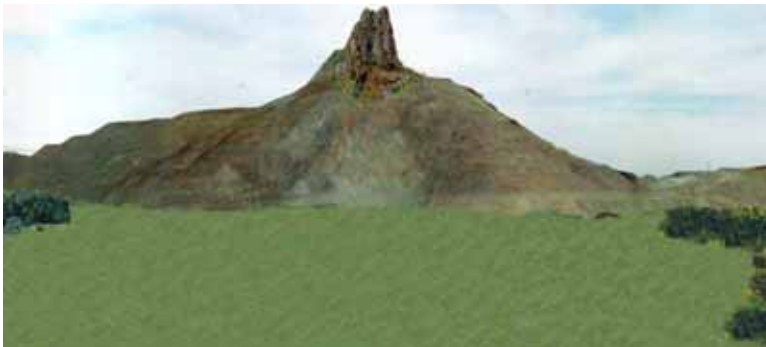
**Figura 31–** Simulazione del recupero per ricomposizione della costa e rivegetazione dell'insieme.



**Figura 31 –** Visualizzazione dal punto P2 della situazione attuale. - *Visualização do Ponto 2na situação atual*



**Figura 32 –** Simulazione del recupero per riempimento della cava e rivegetazione della costa. - *Simulação de recuperação por preenchimento da cava e revegetação da encosta*



**Figura 33 – Simulazione del recupero per ricomposizione della costa e rivegetazione dell’insieme. - *Simulação de recuperação por recomposição da encosta e revegetação do conjunto.***

Nella Figura 31 è riportato l’esempio del punto P2 (foto IEPHA - *Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico*) con la situazione attuale. Nella Figura 32 è rappresentata la simulazione del recupero per riempimento della cava e rivegetazione della costa. Nella Figura 33 è simulato il recupero sommando anche la ricomposizione della costa e la rivegetazione dell’insieme.

### 3.3. Discussione

Abbiamo osservato che molti dei nostri sforzi per rappresentare il paesaggio e per sviluppare una coscienza sul valore del paesaggio si infrangevano contro la difficoltà degli utenti a percepire, identificare e rappresentare i propri spazi vitali. La formazione di mappe mentali, la costruzione della visione del paesaggio, non è presente in molti gruppi di utenti. Così, dopo avere applicato delle geotecnologie avanzate, abbiamo

Na Figura 32 está o exemplo no P2 (foto do IEPHA) com a situação hoje, na Figura 33 é representada a simulação de recuperação da área por preenchimento da cava e revegetação da encosta, e na Figura 34 está simulada a recuperação somando também a recomposição da encosta e revegetação do conjunto.

### 3.3. Discussão

Observamos que muitos dos nossos esforços para representarmos a paisagem e para apoiarmos o desenvolvimento da consciência sobre o valor da paisagem esbarravam na dificuldade dos usuários em perceberem, identificarem e representarem seus espaços vivenciais. A formação de mapas mentais, a construção do olhar sobre a paisagem, não é presente em muitos grupos de usuários. Assim, após aplicação de recursos

preso la decisione di investire sulle basi: sull'insegnamento relativo al paesaggio. Abbiamo reso pubblici dei dati sul Quadrilatero Ferrifero, regione di grande importanza come punto di riferimento delle mappe mentali dei minatori, in cui i dati sono organizzati in modelli digitali del terreno, elaborati con i principi della comunicazione visiva e della localizzazione di punti notevoli del paesaggio, in modo da facilitare l'associazione fra paesaggio reale, paesaggio percepito e paesaggio rappresentato (Leite e Moura, 2008).

Al di là della preoccupazione di creare stimoli all'osservazione, comprensione e rappresentazione del Quadrilatero Ferrifero, abbiamo continuato i nostri test sull'impiego della metodologia qui presentata, poiché le applicazioni potenziali sono molteplici, dagli studi ambientali sino agli studi urbani. Sono già state realizzate delle esperienze in aree urbane ed in aree minerarie. Dal punto di vista della richiesta di comunicazione, le rappresentazioni si basano sul trattamento grafico dell'informazione, rendendo oggettivo il fatto che le immagini assomigliano alla realtà, facilitando la comprensione dell'utente che arriva così a capire e seguire i processi di trasformazione del paesaggio. La tecnica ha impiegato risorse di cartografia digitale 3D ed ha modellizzato le quote di livello,

avanzados de geotecnologias, tomamos a decisão de investirmos nas bases: no ensino sobre a paisagem. Lançamos um conjunto de dados sobre o Quadrilátero Ferrífero, região de muita importância como referencial dos mapas mentais dos mineiros, no qual os dados estão organizados em modelos digitais de elevação, trabalhados com princípios de comunicação visual e localização de pontos notáveis da paisagem, de modo a facilitar a associação entre paisagem real, paisagem percebida e paisagem representada (Leite e Moura, 2008).

Além da preocupação em criar estímulos à observação, compreensão e representação da paisagem do Quadrilátero Ferrífero, continuamos nossos testes no emprego da metodologia aqui apresentada, pois as aplicabilidades são muitas, desde os estudos ambientais, até os estudos urbanos. Já foram produzidas experiências em áreas urbanas e em áreas de mineração. Do ponto de vista do apelo da comunicação, as representações baseiam-se em tratamento gráfico da informação, objetivando que as imagens se assemelhem à realidade, facilitando a compreensão do usuário que passa a compreender e acompanhar os processos de transformação da paisagem. A técnica empregou recursos de cartografia digital 3D e modelagem de elevação, explorou a composição fractal de texturas,

ha sfruttato la caratterizzazione frattale delle tessiture ed ha inoltre promosso la realizzazione di una navigazione virtuale nell'area di studio che può essere conosciuta durante le presentazioni pubbliche del lavoro. I prodotti elaborati sono un supporto alle decisioni di progetto ed alla valutazione sulle possibili direttrici nella trasformazione di un paesaggio.

#### **4. CASO DI STUDIO IN ITALIA**

Come nel caso del Brasile in cui ogni intervento paesaggistico deve essere preceduto da studi di caratterizzazione ambientale secondo le analisi dei mezzi fisici, antropici e biotici, anche in Italia è prevista una fase di ampia caratterizzazione delle condizioni ambientali.

Trattandosi di uno scambio di esperienze promosso fra UFMG e l'Università di Bologna, abbiamo studiato i documenti predisposti dalla Regione Emilia-Romagna, che ha la responsabilità amministrativa corrispondente allo Stato in Brasile. Nel 2003 la Regione ha pubblicato un manuale in cui descrive dettagliatamente le fasi di caratterizzazione, recupero e riqualificazione ambientale delle cave in Emilia-Romagna, dal titolo "*Il recupero e la riqualificazione ambientale delle cave in Emilia-Romagna*", a cura di Muzzi e Rossi (2003).

e promoveu ainda a montagem de uma navegação virtual na área de estudo, que pode ser conhecida em apresentações públicas do trabalho. Os produtos elaborados são bases para decisões de projetos e avaliação dos possíveis caminhos nas transformações de uma paisagem.

#### **4. ESTUDOS DE CASO DA ITÁLIA**

Da mesma maneira que no Brasil toda intervenção paisagística deve ser precedida pelos estudos de caracterização ambiental conformados pelas análises dos meios físicos, antrópicos e bióticos, também na Itália é indicada uma fase de ampla caracterização das condições ambientais.

Como o intercâmbio de experiências foi promovido entre a UFMG e a Universidade de Bologna, estudamos os documentos organizados pela *Regione Emiglia-Romagna*, que tem a responsabilidade administrativa correspondente ao Estado no Brasil. No ano de 2003 a Regione publicou um manual detalhando as etapas de caracterização, recuperação e requalificação ambiental das cavas na Emilia Romagna, denominado: *Il recupero e la riqualificazione ambientale delle cave in Emilia-Romagna*, organizado por Muzzi e Rossi (2003).

É interessante destacar que documentos italianos que se

E' interessante rimarcare che documenti italiani che si presentano come manuali e guide pratiche per il recupero di cave coltivate, indicano chiaramente l'importanza dell'uso dei SIG nell'organizzazione di questi dati: *“Per organizzare tutte le informazioni può risultare utile l'uso dei GIS cioè dei sistemi informativi territoriali”*. (Muzzi e Rossi, op. cit., p. 73). Fra gli articoli organizzati come frutto dello scambio con Bologna, in questa pubblicazione uno di essi tratterà specificatamente l'uso delle potenzialità del SIG (Hungari et al., 2009).

Nel citato manuale sono proposti degli studi di caratterizzazione per la gestione del paesaggio minerario costituiti da strati informativi suddivisi in fattori ambientali e fattori antropici, ma con ampia coscienza della necessità di una visione sistemica dell'insieme, basata sui principi dell'ecologia del paesaggio e sulla visione olistica. Citiamo di seguito i principali strati informativi e gli aspetti che essi debbono affrontare.

#### 4.1. Fattori ecologici

- Condizioni climatiche di macro-, meso- e micro-clima. Fanno riferimento alla raccolta dati a grande scala temporale.
- Caratterizzazione morfologica. Si basa sulla cartografia topografica a differenti scale; a scala

apresentam como manuais de guias práticos para a recuperação de cavas de mineração indicam claramente a importância do emprego dos SIGs na organização destes dados: *“Per organizzare tutte le informazioni può risultare utile l'uso dei GIS cioè dei sistemi informativi territoriali”*. (Muzzi e Rossi, op. cit., p. 73). Entre os artigos organizados como fruto do intercâmbio com Bologna na presente publicação um deles tratará especificamente do emprego dos potenciais do GIS (Hungari et al.).

No manual citado são propostos estudos de caracterização para gestão da paisagem minerada compostas por camadas de informação separadas em fatores ambientais e fatores antrópicos, mas com ampla consciência da necessidade de visão sistêmica do conjunto, baseada nos princípios de ecologia da paisagem e visão holística. Citamos a seguir as principais camadas de informação e os aspectos que elas devem abordar:

##### 4.1. Fatores Ecológicos:

- Condições climáticas de macro, meso e micro-clima. Indicam a coleta de dados em larga escala temporal;
- Caracterização morfológica. Indicam a composição de cartografia topográfica em diferentes escalas, sendo na fase de planejamento em escalas 1:25.000 e 1:10.000, e na fase de projeto em escalas

1:25.000 e 1:10.000 nella fase di pianificazione; a scala 1:10.000 e 1:5.000, o con maggior dettaglio, in fase di progetto.

- **Caratterizzazione geologica.** E' necessario avere un quadro dettagliato con tutte le caratteristiche litologiche del sito e del suo intorno, sia in superficie, sia in profondità, ed in particolare la mappatura degli elementi superficiali statistici e dinamici. Tra gli elementi statici si cita la Carta Geologica di superficie, con l'indicazione delle coperture detritiche locali, le faglie ed il posizionamento (direzione e immersione) degli strati. Tra gli elementi dinamici si cita la carta Morfo-Meccanica, che permette di individuare i fenomeni geologici attivi, con particolare attenzione ai disastri ed ai rischi. Si indica anche la cartografia della stratigrafia, ossia gli elementi statici profondi.
- **Caratterizzazione idrologica.** Si tratta di un aspetto molto importante per la stabilità degli interventi; essa deve basarsi sulla rete idrologica superficiale dell'area e sulle sue caratteristiche idrauliche.
- **Caratterizzazione pedologica.** Occorre caratterizzare i tipi di suolo ed i suoi parametri chimico-fisici più importanti, con una corretta definizione di sub-aree omogenee; i substrati e le loro condizioni

1:10.000 e 1:5.000 ou de mais detalhe.

- **Caracterização geológica.** É necessário ter um quadro detalhado com todas as características litológicas do sítio e seu entorno, seja em superfície como em profundidade, e em particular o mapeamento dos elementos superficiais estáticos e dinâmicos. Entre os elementos estáticos indica-se a Carta Geológica de Superfície, indicando as coberturas detriticas locais, as falhas e o posicionamento (direção e mergulho) das camadas. Entre os elementos dinâmicos indica-se a Carta Morfomecânica, que permite individualizar os fenômenos geológicos em ação, com particular atenção aos desastres e riscos. Indica-se também o mapeamento da estratigrafia, ou seja, os elementos estáticos profundos.

- **Caracterização hidrológica.** Aspecto muito importante para a estabilidade das intervenções, ela deve ser caracterizada segundo a rede hidrológica superficial da área e suas características hidráulicas.

- **Caracterização pedológica.** Caracterizar os tipos de solo e seus parâmetros químico-físicos mais importantes, com correta definição das sub-áreas homogêneas, caracterização dos substratos e suas condições ecológicas em escala 1:10.000 ou 1:5.000.

- **Caracterização da cobertura vegetal.** Compreender



ecologiche a scala 1:10.000 o 1:5.000.

- Caratterizzazione della copertura vegetale. Occorre comprendere le condizioni floristiche e della vegetazione dell'area che deve essere rivegetata e del territorio limitrofo, per stazioni. Gli studi sulla flora devono essere condotti per almeno due anni, con la lista delle specie e classificazioni sistematiche della flora italiana.
- Inquadramento paesaggistico. L'approccio deve considerare aspetti estetici e funzionali, così come la loro correlazione, classificati come soggettivi o oggettivi (Maniglio-Calcano, 1995). L'approccio soggettivo nello studio del paesaggio si basa soprattutto sullo studio visivo, destinato alla qualità scenica, all'analisi visivo-percettiva. D'altro lato, l'analisi oggettiva attiene all'esame delle caratteristiche biotiche ed abiotiche che costituiscono la struttura del paesaggio, come, fra le altre: geologia, pedologia, botanica, silvicoltura. In entrambi gli approcci, l'uomo è considerato parte integrante del sistema naturale, all'interno del concetto di "Ecologia del Paesaggio", come una "visione olistica del paesaggio come ecosistema" (Zonneveld, 1995), o anche come

as condições florísticas e de vegetação da área a ser revegetada e do território limítrofe, segundo estações. Os estudos florísticos devem se conduzidos por pelo menos dois anos, com composição de lista de espécies e classificações sistemáticas relativas à flora italiana.

- Enquadramento paisagístico. A abordagem deve considerar aspectos estéticos e funcionais, assim como a correlação entre eles, classificadas como subjetivas ou objetivas (Maniglio-Calcano, 1995). A abordagem subjetiva no estudo da paisagem se fundamenta sobretudo ao estudo visual, destinado à qualidade cênica, à análise "visivo-percettiva" (visual-perceptiva). Por outro lado, a análise objetiva se atém ao exame das características bióticas e abióticas que constituem da estrutura da paisagem, quais sejam: geologia, pedologia, botânica, silvicultura, entre outras. Em ambas as abordagens o homem é considerado com parte integrante do sistema natural, dentro do conceito de "Ecologia da Paisagem" como uma "visão holística da paisagem como um ecossistema" (Zonneveld, 1995), ou mesmo como "Sistema de ecossistemas" (Ingegnoli, 1997) no qual as atividades humanas modificam e criam ecossistemas, em relação contínua com o ecomosaico de referência.

Assim, as análises da paisagem devem considerar fatores tais como segurança

“Sistema di ecosistemi” (Ingegnoli, 1997) nel quale le attività umane modificano e creano ecosistemi, in relazione continua con l’ecosistema di riferimento.

Così, le analisi del paesaggio devono considerare fattori come la sicurezza ambientale, la salubrità, la tutela di valori storici, culturali e rituali (della cultura, dell’uso). Lo studio del valore del paesaggio è fondamentale per definire la gerarchizzazione della funzione di ciascuna caratteristica prima individuata, rispetto all’insieme.

Si cita la mappatura delle unità di paesaggio (UDP), che costituiscono tipologie o sottosistemi omogenei definiti per alcune modalità e caratteristiche in comune. Il procedimento utilizzato per l’identificazione di queste aree omogenee è la scomposizione dell’analisi in strati informativi secondo i dettami della cartografia di base, mappatura delle componenti biotiche ed abiotiche e cartografia tematica di aspetti specifici, seguiti da sovrapposizioni degli strati e sintesi mediante algebra matriciale. Questa analisi matriciale compone una matrice che consente di individuare le relazioni fra il paesaggio e le tipologie di intervento (Oneto, 1997).

#### **4.2. Fattori antropici**

Uso reale del suolo.  
Mappatura e ambientale, a

salubrità, a tutela dei valori storici, culturali e rituali (della cultura, dell’uso). O studio del valore del paesaggio è fondamentale per definire la gerarchizzazione del ruolo di ciascuna caratteristica prima individualizzata, in relazione al complesso.

Indica-se o mapeamento de unidades de paisagem “unidade de paisagem (UDP)”, que constituem tipologias ou subsistemas homogêneos definidos por algumas modalidades e características em comum. O procedimento utilizado para a identificação destas áreas homogêneas e a decomposição da análise em camadas de informação segundo os temas cartografia básica, mapas dos componentes bióticos e abióticos e cartografia temática de aspectos específicos; seguidos de sobreposição das camadas e geração da síntese por álgebra matricial. Esta análise matricial compõe uma matriz que permite individualizar as relações da paisagem e as tipologias de intervenção (Oneto, 1997).

#### **4.2. Fatores antrópicos:**

- Uso real do solo. Através de seu mapeamento e caracterização.

- Planos Diretores municipais. Identificação das áreas de proteção e, sobretudo, para a etapa de reutilização após a atividade minerária, é importante conhecer bem o âmbito normativo no qual a área e o novo uso se enquadram.

caratterizzazione dell'uso del suolo.

- Piani Regolatori municipali. Occorre identificare le aree di protezione e, soprattutto per la fase di riutilizzazione dopo la fine dell'attività mineraria, è importante conoscere bene l'ambito normativo in cui l'area ed il suo nuovo uso si inquadrano.
- Vincoli e servitù. Oltre ai vincoli od alle protezioni urbanistiche, possono sussistere anche restrizioni definite da servitù specifiche, relative a passaggi di elettrodotti, gasdotti, strade, ferrovie e aeroporti, che richiedono esigenze particolari.
- Aspetti economici. Devono essere considerati aspetti che sono correlati alle esigenze dei piani di investimento e delle azioni previste dall'attività estrattiva e delle sue attese. Su questo aspetto, in Brasile, per esempio, vi sono molte delibere riferite alle necessità di opportune contropartite per le comunità dei municipi ove si coltiva e per la promozione e manutenzione del passivo ambientale).
- Coltivazione mineraria del sito: gestione dell'ingegneria. La conoscenza dell'ingegneria mineraria e le caratteristiche dei materiali sono fondamentali, per decidere quando si deve realizzare la coltivazione e

- Tombamentos e servidões. Além dos tombamentos ou proteções urbanísticas, podem existir também restrições definidas por servidões específicas, relativas a passagens de eletrodutos, gasodutos, estradas, ferrovias e aeroportos, que requerem exigências particulares.

- Aspectos econômicos. Devem ser considerados aspectos que estão relacionados às exigências dos planos de investimento e das ações previstas pela atividade extrativa e de suas expectativas. (Sobre este aspecto, no Brasil, por exemplo, há muitas determinações relacionadas às necessidades de contra-partida para a comunidade dos municípios de extração e para a promoção e manutenção de passivos ambientais).

- Cultivação minerária do sítio: gestão da engenharia. O conhecimento da engenharia de exploração e as características dos materiais são fundamentais, pois dão bases para se definir quando realizar a intervenção e sobre as condições morfomecânicas finais. O conhecimento do projeto de escavação e das fases previstas é base para a definição do modo e do momento das fases de recuperação.

- Expectativas sobre o uso da área. Muitas vezes as decisões relativas à recuperação final do sítio não provêm de vínculos ecológicos, paisagísticos ou do planejamento, mas sim das expectativas econômicas ou

per valutare le condizioni morfo-meccaniche finali. La conoscenza del progetto di scavo e delle fasi previste è la base per la definizione delle modalità e della tempistica del recupero.

- Aspettative sull'uso dell'area. Molte volte le decisioni relative al recupero finale del sito non prevedono vincoli ecologici, paesaggistici o di pianificazione, ma piuttosto delle aspettative economiche o legali, relative alla proprietà ed alla gestione dell'area. E' così necessario avere cognizione delle relazioni giuridiche fra la proprietà e l'impresa mineraria ed i suoi vincoli, studiando chiaramente l'utilizzazione del sito e la relativa tempistica.
- Proprietà. E' necessario definire con precisione il regime della proprietà e dei suoi investimenti nell'attività estrattiva, così come anche delle sue aree limitrofe. Ciò deve essere fatto con la cartografia catastale a scala 1:2.000, il che consentirà di identificare i soggetti proprietari e definire le aspettative attuali e future che condizionano le destinazioni finali dell'area. E' importante conoscere l'esistenza di accordi relativi alla cessione dei diritti di proprietà ed i soggetti interessati a questo diritto, siano essi pubblici o privati.

legais, relacionadas à propriedade e à gestão da área. Assim, é necessário ter conhecimento sobre as relações jurídicas entre a propriedade e a empresa mineraria e seus vínculos, estudando com clareza as definições de utilização do sítio e por quanto tempo.

- Propriedade. É necessário definir com precisão o regime de propriedade e dos seus investimentos na atividade extrativa, assim como também de suas áreas limítrofes. Isto deve ser feito com cartografia cadastral na escala 1:2000, o que permitirá identificar os sujeitos proprietários e definir as expectativas presentes e futuras que condicionam as destinações finais da área. É importante conhecer a existência de acordos relativos à cessão de direitos de propriedade e os sujeitos interessados neste direito, sejam eles públicos como privados.

#### **4.3. Ações de recuperação de áreas de atividade minerária**

Os estudos italianos são claramente separados em fatores ecológicos ou ambientais (variáveis físicas, químicas ou biológicas). Relacionados a eles são estudados também os fatores limitantes ou os intervalos de tolerância dentro dos quais são mantidas as condições vitais dos sistemas ambientais, considerados sempre como fatores que interagem, e não isoladamente.

### **4.3. Azioni di recupero dei aree oggetto di coltivazione mineraria**

Gli studi italiani sono chiaramente separati in fattori ecologici o ambientali (variabili fisiche, chimiche o biologiche). Correlati ad essi, sono studiati anche i fattori vincolanti od i margini di tolleranza entro cui si mantengono le condizioni vitali dei sistemi ambientali, considerati sempre come fattori che interagiscono e non isolatamente.

Per recupero ambientale si intende l'insieme di interventi che favoriscono il recupero della vegetazione caratteristica del contesto territoriale ove è inserito il sito (specie autoctone) e la garanzia di equilibrio nelle aree alterate, il cui risultato è il reinserimento della cava nel paesaggio circostante. Gli studi italiani presentano, per i casi di recupero, le azioni di ripristino, il cui obiettivo è di raggiungere una situazione identica a quella esistente prima dell'avvio dell'attività estrattiva. Essi però riconoscono che si tratta, nel gran parte dei casi, dell'intervento più difficile da realizzare, in certi casi impossibile. Tra le azioni di recupero si parla anche di restauro, termine impiegato quando le alterazioni ambientali in un territorio sono localizzate o poco estese, con danni poco diffusi, cosa rara nel caso delle cave. Esse affrontano inoltre la questione della riqualificazione ambientale, cioè degli interventi in aree fortemente antropizzate,

Por recuperação ambiental se entende o conjunto de intervenções que favorecem a recuperação da vegetação característica do contexto territorial onde é inserido o sítio (autoctone) e a garantia do equilíbrio nas áreas alteradas, o que resulta na reinserção da cava na paisagem do entorno. Os estudos italianos apresentam, para casos de recuperação, as ações de “ripristino”, que significa o objetivo de alcançar situação idêntica àquela existente anteriormente à realização da atividade extrativa, mas eles reconhecem que se trata, na grande maioria dos casos, da intervenção mais difícil de se realizar, chegando mesmo a ser impossível. Entre as ações de recuperação se fala também de restauro, termo empregado quando as alterações ambientais em um território são localizadas ou pouco extensas, com danos pouco difusos, o que é raro em situações de cavas. Eles abordam ainda a questão da requalificação ambiental, que são as intervenções em áreas de ações fortemente antrópicas, onde se promove a mudança no uso do solo e a composição da paisagem de modo a facilitar a relação com a paisagem circundante.

Entre os fatores limitantes considerados que coincidem com os desafios brasileiros, citamos os exemplos: precipitações e controle do fluxo das águas superficiais e freáticas, ações do vento e as necessidades de criar

ove si promuove la modifica dell'uso del suolo e la composizione del paesaggio in modo da facilitarne la relazione col paesaggio circostante.

Fra i fattori vincolanti considerati, che coincidono con le sfide brasiliane, citiamo come esempi : precipitazioni e controllo dei flussi di acque superficiali e freatiche; l'azione del vento e le necessità di creare condizioni di stabilità agendo sulle granulometrie dei materiali e sulle loro condizioni di stabilità; riduzione delle inclinazioni; preparazione delle superfici di appoggio che ricevono i rifiuti e gli sterili; ripiena degli scavi con materiale adeguato; rimodellamento morfologico delle superfici; azioni sui fronti dei cantieri al fine di produrre variazioni di inclinazione per favorire un aspetto diversificato e diverse incidenze del sole.

Quando il suolo da recuperare ha uno spessore ridotto, si attua un riporto di altri materiali meno pietrosi; in cave profonde si attua ricreando substrati colonizzabili dalla vegetazione, controllando l'altezza della falda e sviluppando una rete di drenaggio sotterraneo. Quando i suoli sono sfavorevoli e pietrosi si esegue una miscela di materiali con tessitura più fine o si crea un nuovo strato per lo sviluppo della vegetazione, con condizioni per favorire le attività biologiche nel suolo. Per contrastare l'erosione si favoriscono quelle azioni che

condizioni de estabilidade trabalhando as granulometrias dos materiais e suas condições de estabilidade, redução das inclinações, preparação das superfícies de apoio que recebem os rejeitos e estéreis, preenchimento da escavação com material adequado, remodelamento morfológico das superfícies, atuação nas frentes de lavra de modo a produzir variações de inclinação para favorecer diferentes aspectos e incidências solares.

Quando o solo que está sendo recuperado possui limitações de profundidade, atuam de modo a implantar outros solos menos pedregosos, atuam em cavas profundas recriando substratos colonizáveis pela vegetação e controle da altura do lençol freático e promoção de uma rede de drenagem subterrânea. Quando os solos são desfavoráveis e pedregosos realizam a mistura de materiais de textura mais fina ou criam um novo estrato para o desenvolvimento vegetal e condições para favorecer as atividades biológicas no solo. Para atuar contra as erosões favorecem ações que aumentam a rugosidade através da aplicação de *mulching* (técnica geralmente aplicada pelos agricultores com a finalidade de proteger as culturas e o solo da ação das intempéries na qual depositam sobre a superfície do terreno uma cobertura morta que atuam como barreira, composta por materiais

aumentano la rugosità mediante applicazione del *mulching* (tecnica generalmente applicata dagli agricoltori per proteggere le colture ed il suolo dalle intemperie; essi depositano sulla superficie del terreno una copertura morta che agisce come barriera, composta da materiali di origine vegetale, come paglia, lolla di riso, foglie secche, segatura ed altro).

Nonostante i molti percorsi possibili, occorre sempre tenere presente il livello di complessità che l'attività di recupero può raggiungere, in funzione degli obbiettivi fissati, ossia in funzione dell'equilibrio energetico e materiale. E' importante definire anche con chiarezza l'unità di paesaggio che si intende realizzare con sufficiente elasticità, in funzione dei vincoli. La scelta della vegetazione deve considerare la sua capacità di riproduzione e di continuità autonoma dopo l'intervento.

E' importante lavorare il territorio recuperato in modo integrato così da conformarsi ad una rete ecologica, come è illustrato nello schema seguente (

Figura 34). Nello schema, i disegni rettangolari sono i "nodi": aree dove è concentrata la maggior parte delle specie o ancora le più rare. I disegni triangolari sono le "zone di transizione", circondano i nodi e li proteggono da impatti negativi.

Le linee formate da piccoli quadrati sono i "corridoi ecologici secondari": strutture di progetto

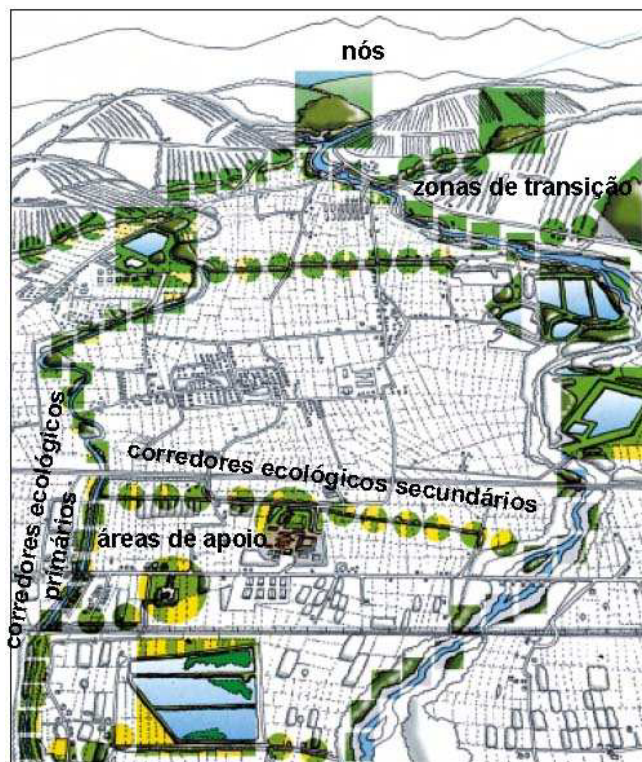
de origine vegetale, come palhas, casca de arroz, folhas secas, serragem e outros).

Não obstante os muitos caminhos que se pode escolher, ressaltam que deve se ter em mente o nível de complexidade que o empreendimento de recuperação pode chegar a ter, em função dos objetivos a serem alcançados, ou seja, o equilíbrio energético e material. É importante definir também com clareza a unidade de paisagem que se quer alcançar com bastante elasticidade, em função das condições limitantes. A escolha da vegetação deve considerar a sua capacidade de reprodução e de continuidade por conta própria após o período de intervenção.

É importante trabalhar o território recuperado de modo integrado de modo a conformar uma rede ecológica, com é apresentado no esquema a seguir (Figura 35). No esquema, os desenhos retangulares são os "nós": áreas onde está concentrada a maior parte das espécies ou ainda as mais raras. Os desenhos triangulares são as "zonas de transição": circundam os nós e os protegem de impactos negativos. As linhas formadas por pequenos quadrados são os "corredores ecológicos primários": elementos naturais da paisagem que favorecem o deslocamento das espécies entre os nós. As linhas formadas por pequenos círculos são "corredores ecológicos secundários": estruturas de projeto da paisagem

del paesaggio con funzione di connessione fra i nodi, che possono essere pascoli, sezioni alberate, recinzioni. I disegni circolari sono “aree di appoggio”: non sono sufficientemente grandi da accogliere una popolazione stabile, ma offrono rifugio e costituiscono un supporto al trasferimento degli organismi verso i nodi.

com função de conexão entre os nós que podem ser pastagens, seções arborizadas, cercas. Os desenhos circulares são “áreas de apoio”: que não são suficientemente grandes para receberem população estável, mas oferecem refúgio e constituem um suporte para a transferência dos organismos para os “nós”.



Al di là della difesa del criterio di recupero integrato, mirato alla ricomposizione dell’equilibrio, ma considerando in modo ampio le possibilità di questo intervento, il manuale citato presenta una significativa raccolta di tecniche per il

visando à recomposição do equilíbrio, mas considerando de modo amplo as possibilidades desta intervenção, o citado manual apresenta uma expressiva coleção de técnicas para as recuperações da morfologia da

**Figura 34 – Rielaborazione e della fig.2.7, pag.67, Rete ecologica territoriale, in Muzzi e Rossi 2003 “La guida pratica al recupero - Adaptado de Fig. 2.7, pg. 67, Rede ecológica territorial. In.: Muzzi e Rossi. La guida pratica al recupero. In.: Muzzi e Rossi, 2003.**

Além da defesa do critério de recuperação de modo integrado,



recupero della morfologia di cava. Il fine è il rimodellamento della superficie di scavo per assicurarne la stabilità, sia strutturale sia superficiale, ricreando forme diversificate di integrazione col paesaggio circostante e rispettando i processi geomorfologici in atto, come sostenuto dagli autori (Muzzi e Rossi, op.cit.).

*“Un requisito essenziale diventa non solo la conoscenza degli elementi fisici e biologici del sito interessato, ma anche il suo ruolo nel paesaggio, l’influenza che esso ha avuto e che potrà avere in seguito nella gestione delle risorse locali. Raffrontando tali conoscenze con le finalità della coltivazione della cava, è possibile prevedere con buona approssimazione quali modifiche potranno determinarsi negli equilibri preesistenti del sito interessato e commisurare ad esse sia le modalità e i mezzi di escavazione, sia l’opera di recupero e di riassetto finale.”*

## 5. CONSIDERAZIONI FINALI

Dopo avere realizzato gli studi in Brasile ed in Italia, più specificatamente in Minas Gerais ed in Emilia Romagna, osserviamo che entrambi i paesi sono estremamente attenti alle esigenze di definire gli elementi di caratterizzazione delle fasi di

cava. A finalidade é o remodelamento da superfície de escavação a fim de se assegurar uma estabilidade, seja ela estrutural ou superficial, criando formas

diversificadas de integração com a paisagem circundante e respeitando os processos geomorfológicos em atividade, como defendem os autores (Muzzi e Rossi, op. cit.):

*“Un requisito essenziale diventa non solo la conoscenza degli elementi fisici e biologici del sito interessato, ma anche il suo ruolo nel paesaggio, l’influenza che esso ha avuto e che potrà avere in seguito nella gestione delle risorse locali. Raffrontando tali conoscenze con le finalità della coltivazione della cava, è possibile prevedere con buona approssimazione quali modifiche potranno determinarsi negli equilibri preesistenti del sito interessato e commisurare ad esse sia le modalità e i mezzi di escavazione, sia l’opera di recupero e di riassetto finale.”*

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após realizarmos estudos no Brasil e na Itália, mais especificamente em Minas Gerais e na Emilia-Romagna, observamos que ambos os países são extremamente criteriosos em suas exigências na definição dos elementos de caracterização para

implementazione e gestione della attività estrattiva di cava. Gli studi di trasformazione dell'ambiente ed ogni aspetto previsivo da progetto sono prerequisiti negli studi di impatto ambientale.

Come strumenti di elaborazione di questa caratterizzazione, così come per la prosecuzione del progetto, i due paesi riconoscono il ruolo del SIG/GIS, soprattutto nei processi di analisi e sintesi di dati che promuovono l'integrazione delle variabili. La differenza consiste nel fatto che l'Italia già cita chiaramente nel manuale questa posizione, mentre in Brasile l'uso dell'insieme dei metodi e delle tecniche di geoelaborazione è ancora un'opzione a scelta da parte del ricercatore.

Il concetto di paesaggio, il riconoscimento del valore del campo visivo e dei valori visivo-percettivi, che includono anche la questione culturale (il patrimonio culturale), hanno guidato le nostre scelte di progetto in Brasile, ma sono fattori importanti anche in Italia. Il concetto di paesaggio culturale, che considera il valore della visione, arriva al punto di essere fondamentale per definire la gerarchizzazione del ruolo di ciascuna caratteristica ambientale e antropica in relazione all'insieme. In Italia si parla di inquadramento paesaggistico e della qualità scenica come elemento fondamentale nel processo di recupero delle cave. Dunque, in entrambi i paesi esiste la consapevolezza del valore del

a etapa de implantação e gestão da cava. Os estudos de transformação do ambiente e todas as previsões dos projetos são exigências nos estudos de impacto ambiental nos países.

Como instrumentos para a elaboração desta caracterização, assim como para o acompanhamento do projeto, ambos os países têm consciência do papel do GIS (Sistema de Informações Geográficas), sobretudo nos processos de análise e síntese de dados que promovem a integração das variáveis. A diferença é que a Itália já cita isto claramente em manual, enquanto no Brasil o emprego do conjunto de métodos e técnicas de geoprocessamento ainda é uma opção que dependerá do pesquisador.

O conceito de paisagem, o reconhecimento do valor do campo de visada e dos valores visivo-perceptivos que incluem também a questão cultural (patrimônio cultural) que regeram nossas escolhas de projeto no Brasil também são colocados como fatores importantes na Itália. O conceito de paisagem cultural, que leva em conta o valor do olhar, chega ao ponto de ser fundamental para definir a hierarquização do papel de cada característica ambiental e antrópica em relação ao conjunto. Na Itália fala-se de enquadramento paisagístico e em qualidade cênica como elemento fundamental no processo de recuperação de cavas.

paesaggio, il che giustifica studi come questi qui presentati. Perciò abbiamo confermato il ruolo della geolaborazione in un percorso metodologico molto efficace ai fini della rappresentazione e gestione delle trasformazioni paesaggistiche, in studi di simulazione dei progetti proposti. La differenza principale consiste nel fatto che il Brasile vive oggi con la aspettativa che il paesaggio sia ricomposto, tornando per quanto più possibile a quel che era, dimenticando che le azioni naturali ed antropiche provocano costanti trasformazioni nel paesaggio. In Italia esiste la necessità di ricomporre il paesaggio, però il concetto base è quello dell'integrazione con l'intorno ove si colloca, in modo da comporre un nuovo paesaggio dopo il recupero. Dunque, il paesaggio è effettivamente riconosciuto come un palinsesto di molti valori ed epoche che si assommano e sovrappongono, tutte rappresentative del passaggio dell'uomo su quel territorio, avendo come fattore principale la ricerca di un equilibrio ambientale, all'interno del principio di sostenibilità ed ecologia del paesaggio.

Assim, em ambos os países existe a consciência sobre o valor da paisagem, o que justifica estudos como o aqui apresentado, pois comprovamos o papel do geoprocessamento em roteiro metodológico muito eficaz para a representação e gestão das transformações da paisagens, em estudos de simulação dos projetos propostos. A principal diferença é que o Brasil vive hoje expectativas de se recompor a paisagem retornando ao máximo ao que um dia ela foi, esquecendo que as ações naturais e antrópicas provocam constantes transformações na paisagem. Na Itália existe sim a necessidade de recompor a paisagem, porém o conceito principal é o de integração em relação ao entorno onde ela está inserida, assim que se componha outra paisagem após a recuperação. Assim, a paisagem é efetivamente reconhecida como um palimpsesto (somatório) de muitos valores e épocas que se somam e sobrepõem, todas elas representativas da paisagem do homem sobre aquele território, sendo o principal fator a busca de um equilíbrio ambiental, dentro do princípio de sustentabilidade e de ecologia da paisagem.

## **6. BIBLIOGRAFIA– BIBLIOGRÀFIA**

HISSA, C. E. V. (2002) - **A mobilidade das fronteiras**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2002, 316p.

HUNGARI, R. (2009) – **Modelagem de GIS e analise de multicritérios nos estudos de areas favoraveis à prospecção e extração de rochas ornamentais: convenio Brasil &Italia**

INGEGNOLI, V. (1997) - (ed.) **Esercizi di ecologia del paesaggio**. Milano, Città Studi Edizioni, 1997.

LEITE, D.V.B., MOURA, A.C.M. (2008) - Universidade Federal de Minas Gerais. **Bases para interpretação da paisagem topográfica do Quadrilátero Ferrífero: coletânea**. In.: Quadrilátero Ferrífero. Belo Horizonte: IGC/UFGM, 2008. Anual. ISSN 1983-7259.

LYNCH, K. (1961) - **The image of the city**. Massachusetts: M.I.T. Press, 1961. 202 p.

MANIGLIO-CALCAGNO A. (1995) - Paesaggio: concezioni, analisi, valutazione. In.: Piccarolo P. (ed.). **Spazi verdi pubblici e privati**. Milano, Hoepli, 1995.

MARTIUS, C.F.P. (1906) - **The journey of von Martius - Flora Brasilienses**, Editora Index, 1966.

MOURA, A.C.M. (2003) - **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. Belo Horizonte, Ed da autora, 2003. 294 p.

MUZZI, E., ROSSI, G. (2003) - **Il recupero e la riqualificazione ambientale delle cave in Emilia – Romagna**, Manuale Teorico – Pratico. Bologna, Regione Emilia-Romagna, 2003.

NORBERG-SCHULZ, C. (1975) - **Genius loci**. Barcelona: H. Blume, 1975. 213 p.

ONETO, G. (1997) - **Manuale di pianificazione del paesaggio**. Milano, Pirola Edizioni, 1997.

ROSIÈRE, et al. (2005) - Pico de Itabira, Minas Gerais – **Marco estrutural, histórico e geográfico do Quadrilátero Ferrífero**. In.: Winge, M. Schobbenhaus, C.; Berbert-Born, M; Queiroz, E.T.; Campos, D.A.; Souza, C.R.G.; Fernandes, A.C.S., (Edit.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. DNPM/CPRM - SIGEP.

SAI - Serviços Aéreos e Industriais (2008) – Relatório Geomape – CEMIG. São Paulo, 2008.

ZONNEVELD I.S. (1995) - **Land Ecology**. Amsterdam, Spb Academic Publishing, 1995.

**MODELLAZIONE DEL GIS E DELL'ANALISI  
MULTICRITERIO NEL NOSTRO STUDIO DELLE AREE  
FAVOREVOLI ALLA PROSPEZIONE E ESTRAZIONE  
DELLE ROCCE ORNAMENTALI – *Modelagem de GIS e análise  
multicritérios nos estudos de áreas favoráveis a prospecção e  
extração de rochas ornamentais***

Renata Hungari<sup>1</sup>

Ana Clara Mourão Moura<sup>1</sup>

Sheyla Aguilar Santana<sup>1</sup>

Marcela Mourão Moura<sup>2</sup>

Marcos Campello<sup>2</sup>

Antônio Gilberto Costa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Minas Gerais - IGC – Lab. de Geoprocessamento

<sup>2</sup> Universidade Federal de Minas Gerais - IGC – Doutorado em Geologia

**Riassunto**

Questo articolo è il risultato dei lavori svolti all'interno del progetto ALFA-FARO, América Latina Formación Acadêmica – Formación Avanzada em Rochas Ornamentais e Geolaborazione.

Il progetto ha come fine il miglioramento della qualità della formazione delle risorse umane in un'area di grande rilevanza economica e culturale per i paesi partecipanti, quella delle georisorse, con particolare riferimento alle rocce ornamentali, alla geolaborazione e alle problematiche ambientali relazionate a questo settore.

Uno dei principali obiettivi del progetto è fare uno scambio di esperienze fra i paesi membri in modo tale che i problemi ambientali possano essere discussi e integrati. In questo modo, la costruzione del GIS sfrutta esempi

**Resumo**

Este artigo é resultado de tarefas exercidas dentro do projeto ALFA –FARO, o América Latina Formación Acadêmica – Formación Avanzada em Rochas Ornamentais e Geoprocessamento. O projeto tem em vista a melhoria da qualidade de formação de recursos humanos em uma área de grande relevância econômica e cultural para os países participantes, a área dos georecursos, com particular referência para as rochas ornamentais, o geoprocessamento e as problemáticas ambientais relacionadas com o setor. Um dos principais objetivos do projeto é fazer um intercâmbio de experiências entre os países membros de forma com que as discussões dos problemas ambientais possam ser discutidas e complementadas. Desta forma, a

sia brasiliani che italiani, in modo da realizzare un'integrazione fra l'Europa e l'America del Sud, attraverso dei case studies: marmo (Carrara - Italia), granito (regione di Oliveira – MG, Brasil) e scisti (Médio Jequitinhonha-MG, Brasil).

## 1. INTRODUZIONE

L'informazione organizzata, corretta e disponibile in forma agile è una risorsa strategica e indispensabile per prendere decisioni adeguate in tempi utili. In questo contesto, la geoelaborazione (*geoprocessing*) è uno strumento importante di pianificazione e gestione, poichè è un insieme di tecnologie per l'elaborazione dell'informazione la cui localizzazione geografica è una caratteristica intrinseca, indispensabile per l'analisi.

Nell'ambito del progetto ALFA-FARO l'applicazione della geoelaborazione ha come obiettivo lo studio delle metodologie di caratterizzazione, analisi e gestione delle georisorse, soprattutto quelle relative alla produzione di rocce ornamentali in Brasile e Italia. Lo scopo è di supportare la scelta dei luoghi migliori per l'attività mineraria in funzione della logistica di estrazione, dei vincoli ambientali e delle caratteristiche geologiche. Differenziando i processi inclusi nel termine "Geoelaborazione", e soprattutto chiarendo le questioni riguardo a dove arriva la cartografia digitale e dove

montagem dos SIGs buscou exemplos tanto brasileiros como italianos, como forma de fazer um integração entre Europa e América do Sul, através dos exemplos de estudos de caso do mármore (Carrara - Itália), granito (região de Oliveira – MG, Brasil) e xisto (Médio Jequitinhonha-MG, Brasil).

## 1. INTRODUÇÃO

A informação organizada, correta e disponível de forma ágil é um recurso estratégico e indispensável para tomar decisões adequadas e em tempo hábil. Nesse contexto, o Geoprocessamento é importante ferramenta de planejamento e gestão, pois é um conjunto de tecnologias para processamento da informação cuja localização geográfica é uma característica inerente, indispensável para análise.

No âmbito do projeto ALFA-FARO a aplicação do geoprocessamento teve como objetivo o estudo de metodologias de caracterização, análise e gestão de georecursos, sobretudo os relativos à produção de rochas ornamentais no Brasil e Itália. O intuito de dar apoio às decisões de escolha de lugares ótimos para a atividade mineraria em função das facilidades logísticas de extração, restrições ambientais e características geológicas. Diferenciando os processos incorporados pelo termo "Geoprocessamento", e

comincia un GIS, esistono oggi sul mercato delle applicazioni di CAD, GIS e una situazione intermedia, il *Computer Mapping*, che alcuni ricercatori chiamano *Desktop Mapping*. Il CAD è destinato al disegno, alla rappresentazione dei dati per insiemi, nuclei, stili di linee e risorse grafiche. Esiste un sistema che non si inquadra nelle definizioni di GIS o di CAD e che è classificato come una situazione intermedia: il *Desktop Mapping*, che usa un'interfaccia tra la banca dati cartografica e quella alfanumerica, rispondendo a due domande base: "in questo luogo, qual è la caratteristica?" e "questa caratteristica, dove è ubicata?". I GIS, d'altra parte, sono caratterizzati come sistemi che permettono di produrre non solo un inventario, ma anche l'analisi e la manipolazione dei dati, quindi è possibile gestire le informazioni e non solo recuperarle dalla banca dati.

Per rispondere ad esigenze come l'identificazione dell'area di un fenomeno, basta un CAD per "perimetrare" l'evento. Per rispondere alla domanda cosa succede nel punto "X" o dove si trova la caratteristica "A", basta aver un *Desktop Mapping* per consultare la banca dati e "spazializzare" la risposta. Comunque per realizzare previsioni, costruire scenari, correlare variabili, o anche applicare modelli di analisi spaziale è necessario utilizzare un GIS. I Sistemi Informativi

principalmente esclarecendo questões sobre até onde vai a cartografia digital e onde começa a atuação de um SIG, existem hoje no mercado aplicativos de CAD, SIG e uma situação intermediária, o *Computer Mapping*, que alguns pesquisadores denominam como *Desktop Mapping*. O CAD se destina ao desenho, à representação de dados por camadas, cores, estilos de linhas e recursos gráficos. Existem sistemas que não se enquadram nas definições de SIG ou de CAD, e que são classificados como uma situação intermediária: os *Desktop Mapping*, que atuam na interface entre banco de dados cartográfico e alfanumérico, respondendo a duas consultas básicas: "em tal local, qual é a característica?" e "tal característica, onde está localizada?". Os SIGs, por sua vez, são caracterizados como sistemas, que permitem produzir não só o inventário, como também a análise e a manipulação de dados, o que torna possível gerar informações e não só recuperá-las de um banco de dados.

Para responder questões como a área de um fenômeno, basta um CAD para planimetrar a ocorrência. Para responder o que ocorre em um ponto "X", ou onde está uma característica "A", basta um *Desktop Mapping* para consultar o banco de dados e espacializar a resposta. Contudo, para realizar previsões, construir cenários, correlacionar variáveis,

Geografici, SIG/GIS, nella misura in cui acquisiscono capacità elaborative con relazioni spaziali o logiche, tendono ad evolvere dal descrittivo verso il diagnostico. Il SIG è un sistema, un insieme di elementi che interagiscono, i quali non sono solamente aggregati, ma correlati. Al posto di descrivere semplicemente gli elementi o i fatti, essi possono tracciare scenari, simulazioni dei fenomeni, sulla base delle tendenze osservate o della valutazione delle condizioni stabilite, in modo da produrre informazioni "spazializzate" prima non evidenti.

Si registra oggi una grande diffusione del GIS nella produzione degli inventari ed a supporto della pianificazione, dato che permette la definizione fisica e l'analisi quantitativa delle componenti ambientali, come pure le analisi qualitative, attribuendo dei pesi alle caratteristiche individuate all'interno di una scala di valori stabilita. Si è quindi trasformato nello strumento principale di pianificazione dell'estrazione mineraria e della gestione del recupero ambientale, per rendere possibile un ritratto più fedele della complessità e per permettere l'integrazione delle analisi per le diverse discipline (dal punto di vista geologico, economico e logistico, fra gli altri).

Gli strumenti qui proposti mirano ad ottimizzare le analisi e le pianificazioni per il posizionamento dell'area di

ou mesmo aplicar modelos de análise espacial, é necessário utilizar um SIG.

Os Sistemas de Informações Geográficas, ao buscarem formas de trabalhar com as relações espaciais ou lógicas, tendem a evoluir do descritivo para o prognóstico. Como um sistema, é um conjunto de partes que interagem; que não estão somente agregadas, mas sim correlacionadas. Em lugar de simplesmente descrever elementos ou fatos, eles podem traçar cenários, simulações de fenômenos, com base em tendências observadas ou julgamentos de condições estabelecidas, de modo a produzir informações espacializadas antes não perceptíveis.

Observa-se hoje uma grande difusão do SIG na produção de inventários e apoio à prática do planejamento, uma vez que permite a definição física e a análise quantitativa dos componentes ambientais, mesmo análises qualitativas, atribuindo pesos às características identificadas dentro de uma escala de valores estabelecida. Tem-se tornado o principal instrumento de planejamento de extração mineral e gestão da recuperação ambiental por possibilitar um retrato mais fiel da complexidade e permitir a integração de análises por disciplinas diversas (do ponto de vista geológico, econômico, logístico, entre outros).

Os instrumentos aqui propostos visam otimizar as análises e os



estrazione mineraria, tenendo in considerazione la complessa gamma della variabilità spaziale. Essi hanno come scopo fondamentale il miglioramento nella gestione dei dati e l'appoggio nel momento delle decisioni, tenendo in conto il fatto che vi sono molti fattori che interferiscono nelle decisioni sulla scelta del luogo di un'estrazione, con differenze tra le questioni ambientali e le condizioni economiche legate alla logistica di estrazione.

## **2. LA GEOELABORAZIONE NEL PROCESSO DI PIANIFICAZIONE SPAZIALE**

Le fasi che compongono la struttura di un sistema di Geolaborazione, più specificatamente di un Sistema Informativo Geografico, sono le seguenti:

a. Definizione degli obiettivi nell'uso del sistema – interviste congiunte ai possibili utenti per identificare le applicazioni desiderate per la composizione della banca dati;

b. Organizzazione della banca dati alfanumerica e cartografica:

- Mappe analogiche o digitali;
- Inclusione dei dati risultanti dalle osservazioni sul campo;
- Immagini telerilevate;
- Dati alfanumerici (tabelle).

planejamentos de implantação de áreas de extração mineral, levando em consideração complexa gama de variáveis espaciais. Eles têm como ponto fundamental a melhoria no gerenciamento de dados e o apoio à tomada de decisões, tendo em vista que são muitos os fatores que interferem nas decisões sobre a implantação de uma extração, com destaque para as questões ambientais e os condicionantes econômicos relacionados à logística de extração.

## **2. GEOPROCESSAMENTO NO PROCESSO DE PLANEJAMENTO ESPACIAL**

As etapas componentes da organização de um sistema de Geoprocessamento, mais especificamente de um Sistema de Informações Geográfico, são as seguintes:

a. Definição dos objetivos no uso do sistema - entrevistas junto a possíveis usuários para identificação das aplicações desejadas para a composição do banco de dados;

b. Organização da base de dados alfanumérica e cartográfica:

- Mapas analógicos ou digitais;
- Incorporação de dados resultantes de observações de campo;

c. Organizzazione del GIS:

-Associazione dei prodotti cartografici e alfanumerici e implementazione del sistema di gestione dei dati;

-Studio dei modelli di analisi spaziale adeguati agli obiettivi del sistema.

d. Costruzione delle Analisi:

-Studio delle Correlazioni delle Variabili;

-Studio dell'Evoluzione Temporale;

-Applicazione dei Modelli di Analisi delle aree di influenza considerando l'insieme dei punti di diffusione e le divergenze ambientali. Studio della zonizzazione spaziale dei fenomeni di interesse;

-Studio di identificazione delle aree potenziali di occorrenza dei fenomeni, tenendo in considerazione la combinazione, per l'analisi multicriterio, della complessa gamma delle variabili organizzate in livelli informativi.

e. Calibrazione del Sistema:

-A partire dallo studio delle relazioni fra le variabili, confrontare i risultati ottenuti con la realtà esistente, scegliendo come riferimento della calibrazione i settori dello spazio nei quali la situazione è conosciuta. Questo significa conferire risultati gestiti dai modelli in segmenti di ambiente le cui caratteristiche sono di dominio più ampio. La calibrazione deve essere eseguita

- Imagens de Sensoriamento Remoto;

- Dados alfanuméricos (tabelas).

c. Organização do SIG:

- Associação de produtos cartográficos e alfanuméricos e implementação de sistema de gerenciamento de dados;

- Estudo de modelos de análise espacial adequados aos objetivos do sistema.

d. Construção de Análises:

- Estudos de Correlações de Variáveis;

- Estudos de Evolução Temporal;

- Aplicação de Modelos de Análise de áreas de influência considerando as massas dos pontos de difusão e os atritos ambientais. Estudos de zoneamento espacial de fenômenos de interesse;

- Estudos de identificação de áreas potenciais de ocorrência de fenômenos, tendo em vista a combinação, por análise de multicritérios, de complexa gama de variáveis organizadas em planos de informação.

e. Calibração do Sistema:

A partir do estudo de relações entre variáveis, cotejar os resultados obtidos à realidade existente, escolhendo como referência de calibração setores do espaço cujas situações são conhecidas. Isto significa conferir resultados gerados pelos modelos em segmentos do ambiente cujas

contestualmente  
all'applicazione dei modelli di  
analisi, funzionando come  
aggiustamento del sistema e  
promuovendo nuove sezioni di  
analisi.

f. Costruzione degli scenari  
(*if-then*):

-Simulazione dei risultati  
degli interventi in certi luoghi o  
delle nuove combinazioni tra le  
variabili, in modo da realizzare  
previsioni per le azioni future.

g. Elaborazione delle  
proposte di interventi, azioni e  
limitazioni.

-Questo step consiste nella  
redazione delle relazioni e delle  
proposte, tenendo conto dei  
moduli già detti e nella  
rappresentazione dei dati nelle  
mappe in carta e in video, in  
tabelle e in diversi grafici.

### **3. LA BANCA DATI CREATA DAL PROGETTO ALFA- FARO**

Sono state create tre  
banche dati con l'appoggio dei  
GIS: lo studio degli scisti nel  
Médio Jequitinhona nel Minas  
Gerais, Brasile; lo studio dei  
graniti a Candeias, Minas Gerais,  
Brasile e i marmi di Carrara,  
Italia. La collezione dei dati ha  
mirato non solo allo studio delle  
caratteristiche personalizzate dei  
vari aspetti di interesse per la  
coltivazione mineraria, ma anche  
ad intersecare queste variabili in  
un processo di analisi spaziale  
multicriterio.

caratteristiche são de amplo  
domínio. O processo de  
calibração deve ser realizado  
junto à aplicação dos modelos de  
análise, funcionando como ajuste  
do sistema e promovendo novas  
seções de análise.

f. Construção de cenários (*if-  
then*):

- Simulação de resultados de  
intervenção em certas localidades  
ou de novas combinações entre  
variáveis, de modo a realizar  
previsões de ações futuras.

g. Elaboração de propostas  
de intervenção, manejo e  
restrições.

- Esta etapa consiste na  
redação de relatórios e propostas,  
contando com módulos de saída e  
apresentação de dados em mapas  
em papel e na tela do vídeo, em  
tabelas e gráficos diversos.

### **3. OS BANCOS DE DADOS CRIADOS PARA O PROJETO ALFA-FARO**

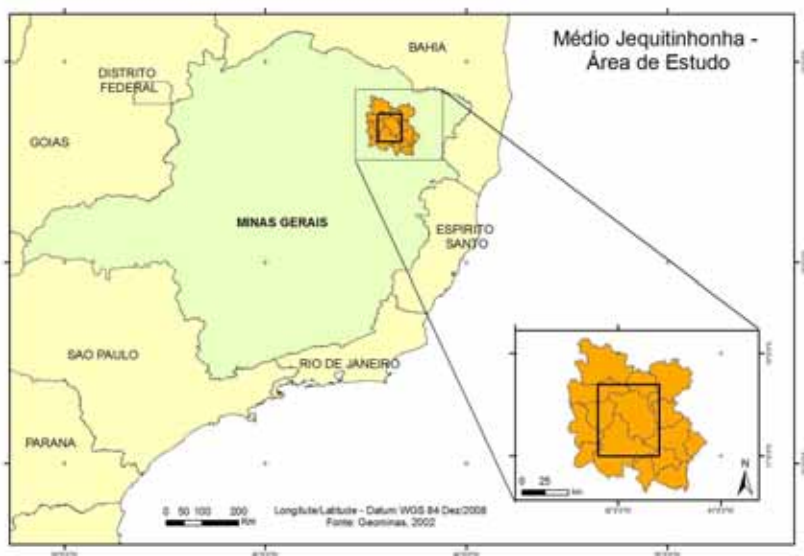
Foram criados três bancos de  
dados com o apoio dos SIGs: o  
estudo de xistos no Médio  
Jequitinhona em Minas Gerais,  
Brasil; o estudo de granitos em  
Candeias, Minas Gerais, Brasil e  
os mármore em Carrara, Itália. A  
coleção de dados visou não só o  
estudo das características  
individualizadas de vários  
aspectos de interesse para a  
extração mineral, como também a  
promoção de cruzamentos destas  
variáveis em processos de análise  
espacial por multicritérios.

### 3.1. Scisti nel Médio Jequitinhonha, Minas Gerais, Brasile

La regione del Médio Vale do Jequitinhonha si trova nella parte Nordest dello stato di Minas Gerais, Brasile. In questa regione hanno il predominio delle rocce silicatiche, con estrazione degli scisti (Figura 1). La costruzione della banca dati degli scisti nel Jequitinhonha è stata realizzata in collaborazione con il lavoro del Dottorato di Marcela Moura. Essa è formata dall'insieme delle mappe elencate in Tabella 1.

### 3.1. Xistos no Médio Jequitinhonha, Minas Gerais, Brasil

A região do Médio Vale do Jequitinhonha se situa na parte Nordeste do estado de Minas Gerais, Brasil. Nesta região há o predomínio de rochas silicáticas, com extração de xistos (Figura 1). A montagem do banco de dados de xistos no Jequitinhonha foi realizada em associação com os trabalhos de Doutorado de Marcela Moura e contaram com as camadas de mapa elencadas na Tabela 1.



**Figura 1 – Mappa di localizzazione delle aree di studio degli scisti — *Mapa de localização da área de estudos de xistos Médio Jequitinhonha, Minas Gerais, Brasile***

<b>Insiemi</b>	<b>Fonte</b>
Curva di livello	Geominas
Punti quotati	Geominas
Distretto	Geominas
Sedi	Geominas
Limiti Municipali	Geominas
Poligoni di richiesta di ricerca mineraria	DNPM
Icone	Google Earth
Laghi	Geominas
Drenaggi	Geominas
MDE	Curve di Livello e Punti Quotati
Cave	Raccolta diretta in campo
Autostrade	Geominas
Sedi	Geominas
Litologia	DNPM

**Tabella 1 – Piano delle Informazioni del Progetto Scisti – Planos de Informação do Projeto Xistos - Médio Jequitinhonha**

### **3.2. Graniti nel Centro Produttore di Candeias- Oliveira, Minas Gerais, Brasile**

La regione del Distretto Estrattivo di Candeias – Oliveira si trova nel sud-est dello stato di Minas Gerais, Brasile e, secondo la definizione di Teixeira et al. in Campello (2006), è formata per la maggior parte (almeno 80%) dalle rocce del Complesso Metamorfico Campo Belo (CMCB), che è fatta di gneiss. La costruzione della banca dati di Candeias Oliveira, relativa ai graniti è stata realizzata nell'ambito del dottorato di ricerca di Marcos Campello (Figura 2).

La scelta del quadro che comprende il progetto è stata effettuata da Campello (op. cit.) e a partire da questa definizione sono stati raccolti i dati durante il

### **3.2. Granitos no Centro Produtor de Candeias- Oliveira, Minas Gerais, Brasil**

A região de do Centro Produtor Candeias – Oliveira situa-se a sudoeste do estado de Minas Gerais, Brasil e conforme definido por Teixeira et al. apud Campello (2006) é constituído em sua maior parte (pelo menos 80%) por Rochas do Complexo Meta mórfico Campo Belo (CMCB), que é formado por rochas ginásticas. A montagem do Banco de Dados de Candeias Oliveira, direcionada a Granitos foi realizada em associação com os trabalhos de Doutorado de Marcos Campello (Figura 2).

A escolha do retângulo envolvente do projeto foi efetuada por Campello (op. cit.) e a partir desta definição foram recortados os dados trabalhados, que podem ser resumidos na Tabela 2. Os dados de organização política no território, tais como localidades, distritos, sedes e limites municipais foram obtidos do Projeto Geominas (1996, Sistema de Coordenada Geográfico, Datum SAD 69, escala 1: 50.000), assim como as curvas de nível e os ponto cotados, cursos d'água e lagoas. O mapa de Declividades e Hipsometria, assim como o Modelo Digital de Elevação, foram produzidos através dos dados de curva de nível e das imagens SRTM. O conjunto de dados contou também com imagens de satélite Landsat, assim como por estudos de classificação

lavoro, i quali possono essere riassunti nella tabella 2. I dati dell’organizzazione amministrativa nel territorio, come le località, i distretti, le sedi e i limiti municipali sono stati ottenuti dal Progetto Geominas (1996, Sistema de Coordenada Geográfico, Datum SAD 69, scala 1: 50.000), così come pure le curve di livello e i punti quotati, i corsi d’acqua e i laghi. La mappa dei Declivi e Ipsometria, così come il Modello Digitale del Terreno, vennero prodotte attraverso i dati della curva di livello e le immagini SRTM. L’insieme dei dati include inoltre le immagini del satellite Landsat, così come per gli studi di classificazione dell’uso del suolo mirando ad identificare gli affioramenti rocciosi che potevamo essere obiettivi di estrazione del granito.

de uso do solo visando à identificação dos afloramentos rochosos que poderiam ser alvo de extração de granitos.

Insiami	Fonte
Curva di Livello	Geominas, 1996.
Punit quotati	Geominas, 1996.
MDE	Curve di Livello e Punti Quotati
Declivi	Curve di Livello e Punti Quotati
Distretti	Geominas, 1996.
Sedi	Geominas, 1996.
Località	Geominas, 1996.
Limiti Municipali	Geominas, 1996.
Aree Urbane	IBGE
Poligoni di richiesta della ricerca mineraria	DNPM
Laghi	Geominas, 1996.
Drenaggi	Geominas, 1996.
Autostrade	Geominas, 1996.
DNPM	CPRM
Affioramento Roccioso	Classificazione delle Immagini LandSat
Faglie Geologiche	CPRM
Litologia	CPRM
SRTM	NASA
Landsat	Universidade de Maryland
Unità di conservazione	Geominas, 1996.
Aree di Protezione Permanente	Curva di Livello, Idrografia

**Tabella 1- Piano delle Informazioni del Progetto Granito –Planos de Informação do Projeto Granito – Candeias**



**Figura 2 – Mappa di localizzazione dell’area degli studi di Granitos - Mapa de localização da área de estudos de Granitos – Candeias, Minas Gerais, Brasil (Fonte: Campello, 2006).**

3.3. Marmi di Carrara, Italia

Carrara è una città italiana della regione Toscana, in provincia di Massa Carrara, con circa 65.000 abitanti (Figura 3). La costruzione della banca dati di Carrara, relativa ai marmi, è stata realizzata durante un periodo di lavoro nell’Università di Bologna in Italia, ed è formato dall’insieme delle mappe menzionate in Tabella 3.



Figura 3 - Mappa di localizzazione dell’area di studio dei marmi - *Mapa de localização da área de estudos de Mármore – Carrara, Italia*

Tabella 3- Piano delle Informazioni del Progetto marmi di Carrara - *Planos de Informação do Projeto Mármore de Carrara - Italia*

3.3. Mármore em Carrara, Itália

Carrara é um município italiano da região da Toscana, província de Massa-Carrara, com cerca de 65.560 habitantes (Figura 3). A montagem do Banco de Dados de Carrara, direcionada a mármore foi realizada durante o período de pesquisa na Universidade de Bologna – UNIBO, Itália e conta com as camadas de mapa relacionadas na Tabela 3.

Insiami	Fonte
Landsat 1990 - - RGB 753	Universidade de Maryland
Landsat 2001 - - RGB 753	Universidade de Maryland
SRTM ( Shuttle Radar Topography Mission)	NASA
Immagini IKONOS -	Google Earth
Uso del Suolo 1990	Classificazione delle immagini Landsat 1990
Uso del Suolo 2001	Classificazione delle immagini Landsat 2001
Uso del Suolo 2007	Classificazione delle immagini Ikonos 2007
Idrografia	Immagini SRTM
Autostrada	Openstreetmap Geofabrik, Italy Roads, Italy, 2008
Ipsometria	Processamento attraverso l’Immagine SRTM
Declivi	Processamento attraverso l’Immagine SRTM
Limiti statali	GADM, First Level Administrative Boundaries (States), Italy, 2008
Ponti di Interesse	Openstreetmap Geofabrik, Italy Points of Interest, Italy, 2008
Geologia	Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia

#### 4. ANALISI MULTICRITERIO

L'Analisi Multicriterio, la cui caratteristica risiede nella pluralità degli attori e dei criteri, consiste in un insieme di metodi e tecniche a supporto delle decisioni che permette l'oggettivazione dei giudizi di valore o la non soggettività inerente al processo decisionario in cui interagiscono diversi agenti e in cui la decisione deve essere basata su multipli criteri (Januzzi, 2005). Secondo Moura (2007):

*“L'Analisi Multicriterio è un procedimento metodologico di incrocio delle variabili ampiamente accettato nelle analisi spaziali. Essa è anche conosciuta come Albero delle Decisioni o come Analisi Gerarchica dei Pesi. Il procedimento si basa sul mappaggio delle variabili per strato informativo e sulla definizione del grado di pertinenza di ogni strato informativo e di ognuno dei componenti della sua legenda per la costruzione del risultato finale.”*

I criteri sono attributi che possono essere quantificati o valutati e che aiutano nel prendere le decisioni. La ricerca della soluzione di un problema frequentemente si ha in un quadro conflittuale dei criteri, ossia quando il prevalere di un criterio implica l'abbandono di un altro. Questi criteri possono essere di tipo fattoriale, composti da variabili che accentuano o

#### 4. ANÁLISE DE MULTICRITÉRIOS

A Análise Multicritérios, cuja característica reside na pluralidade dos atores e critérios, consiste em um conjunto de métodos e técnicas para tomada de decisão que permite a objetivação dos juízos de valor ou subjetividade inerente ao processo decisório em que interagem vários agentes e em que a decisão deve ser baseada em múltiplos critérios. (Januzzi, 2005). Segundo Moura (2007):

*“A Análise de Multicritérios é um procedimento metodológico de cruzamento de variáveis amplamente aceito nas análises espaciais. Ela é também conhecida como Árvore de Decisões ou como Análise Hierárquica de Pesos. O procedimento baseia-se no mapeamento de variáveis por plano de informação e na definição do grau de pertinência de cada plano de informação e de cada um de seus componentes de legenda para a construção do resultado final.”*

Os critérios são atributos que podem ser quantificados ou avaliados e que contribuem para as tomadas de decisões. A busca da solução de um problema frequentemente ocorre em ambiente onde os critérios são conflitantes, ou seja, onde o ganho de um critério poderá causar uma perda em outro. Estes critérios podem ser do tipo fator,



diminuiscono l'attitudine di una determinata alternativa a perseguire un obiettivo, o possono essere di tipo esclusivo, variabili che limitano le alternative considerate in un'analisi, escludendo degli insiemi di soluzioni (Mousseau, 1997).

Un'*Esclusione* è un criterio che limita le alternative da considerare nell'analisi. Esempi di esclusione sono le aree di protezione permanente (APPs), considerate "non adatte", con divieto di qualunque tipo di attività antropica. Anche secondo Silva et al (2005), nella maggior parte dei casi un'esclusione si traduce nella creazione di limitazioni allo spazio dell'analisi, definendo le alternative non eleggibili che verranno quindi escluse dallo spazio iniziale delle soluzioni possibili. Tuttavia, qualche volta, le esclusioni possono a mala pena garantire che la soluzione finale posseda qualcuna delle caratteristiche prestabilite, per esempio, la ricerca di aree in cui l'attività di interesse sia compatibile con la zonazione o con la destinazione d'uso prevista dall'autorità pubblica.

Un *Fattore* è un criterio che accentua o diminuisce l'attitudine di una determinata alternativa per l'obiettivo richiesto. Generalmente, questa attitudine è misurata su una scala continua che include tutto lo spazio delle soluzioni inizialmente previste (Silva et al, op. cit.).

composti por variáveis que acentuam ou diminuem a aptidão de uma determinada alternativa para o objetivo em causa ou podem ser do tipo exclusão, variáveis que limitam as alternativas em consideração na análise, excluindo-as do conjunto solução (Mousseau, 1997).

Uma *Exclusão* é um critério que limita as alternativas em consideração na análise. Exemplos de exclusão são as áreas de proteção permanente (APPs), consideradas "não aptas", com condições impeditivas para qualquer tipo de atividade antrópica. Ainda segundo Silva et al (2005), na maioria dos casos uma exclusão se traduz na criação de limitações ao espaço de análise, definindo as alternativas não elegíveis que deverão ser excluídas do espaço inicial de soluções possíveis. No entanto, por vezes, as exclusões podem apenas pretender garantir que a solução final possua algumas características preestabelecidas, por exemplo, ao se procurar áreas em que a atividade de interesse seja compatível com o zoneamento ou tipologia de ocupação prevista pelo poder público.

Um *Fator* é um critério que acentua ou diminui a aptidão de uma determinada alternativa para o objetivo em causa. Geralmente, esta aptidão é medida em uma escala contínua abrangendo todo espaço de solução inicialmente previsto. (Silva et al, op. cit.)

Una *Regola di Decisione* è un procedimento attraverso il quale i criteri sono combinati per raggiungere una determinata valutazione, includendo il raffronto tra le valutazioni allo scopo di prendere le decisioni. Normalmente, le regole di decisione includono procedimenti per normalizzare e combinare differenti criteri, generando un indice composto e una regola che governi il confronto fra le alternative.

Secondo Januzzi (2005t), il processo di *Normalizzazione dei Criteri* permette che i valori dei criteri non confrontabili fra loro vengano normalizzati ad una stessa scala, rendendo possibile l'aggregazione fra essi. La maggior parte dei processi di normalizzazione utilizza il valore massimo e minimo per la definizione di una scala. È possibile raggruppare i metodi di definizioni dei pesi in quattro categorie: i metodi basati sull'ordinazione dei criteri (Stillwell et al., 1981), su scale dei punti (Osgood et al., 1957), sulla distribuzione dei punti (Easton, 1973) e sul confronto dei criteri uno ad uno (Saaty, 1977). Il processo di normalizzazione è nella sua essenza identico al processo di *fuzzification* introdotto dalla logica Fuzzy, secondo il quale un insieme di valori può essere espresso (convertito) in una scala normalizzata (per esempio, tra zero e uno), che li rende confrontabili. Per questo processo

A *Regra de Decisão* é o procedimento através do qual os critérios são combinados para chegar a uma determinada avaliação, incluindo a própria comparação entre avaliações no sentido de produzir decisões. Normalmente, as regras de decisão incluem procedimentos para normalizar e combinar diferentes critérios, determinando um índice composto e uma regra que regem a comparação entre as alternativas.

Segundo Januzzi (2005t), o processo de *Normalização de Critérios* permite que valores de critérios não comparáveis entre si sejam normalizados para uma mesma escala, viabilizando a agregação entre eles. A maior parte dos processos de normalização utiliza o valor máximo e mínimo para a definição de uma escala. É possível agrupar os métodos de definição de pesos em quatro categorias: métodos baseados em ordenação de critérios (Stillwell et al., 1981), em escalas de pontos (Osgood et al., 1957), em distribuição de pontos (Easton, 1973) e comparação de critérios par a par (Saaty, 1977). O processo de normalização é na sua essência idêntico ao processo de *fuzzification* introduzido pela lógica Fuzzy, segundo o qual um conjunto de valores pode ser expresso (convertido) numa escala normalizada (por exemplo, entre zero e um), tornando-os comparáveis. Para este processo existem várias funções fuzzy que

esistono diverse funzioni fuzzy che possono essere utilizzate, le più conosciute sono: sigmoideale, j-forme, lineare e complessa (Zadeh, 1965).

Le regole sono strutturate nel contesto di un obiettivo specifico, il quale corrisponde alla visione del mondo del modellista (persona alla quale interessano le decisioni) e orienta la strutturazione delle regole delle decisioni.

Per raggiungere un determinato obiettivo, è frequente che diversi criteri debbano essere valutati attraverso dei procedimenti denominati di *Valutazione Multicriterio*. I modelli basati sulla decisione multicriterio sono indicati dai problemi per i quali esistono vari criteri di valutazione.

Secondo Malczewski (1999, apud Silva et AL, 2005), nonostante i GIS e i metodi di decisione multicriterio siano due aree distinte di ricerca, nei problemi di modellizzazione e gestione del mondo reale si può beneficiare della combinazione delle due tecniche e dei due procedimenti, come sostiene Moura (2007):

*“Il procedimento di analisi multicriterio è molto utilizzato nella geolaborazione, poiché si basa ragionevolmente sulla logica di base della costruzione di un GIS: selezione delle principali variabili che caratterizzano un fenomeno, realizzando*

*podem ser utilizadas, sendo as mais conhecidas: sigmoideale, j-shaped, linear e complexa (Zadeh, 1965).*

As regras são estruturadas no contexto de um objetivo específico, o qual corresponde à visão de mundo do planejador (pessoa a quem interessa a decisão) e orienta a estruturação das regras de decisão.

Visando atingir um determinado objetivo, é frequente que diversos critérios tenham de ser avaliados através de procedimentos denominados de *Avaliação Multicritérios*. Os modelos baseados em decisão multicritérios são indicados para problemas onde existam vários critérios de avaliação.

Segundo Malczewski (1999, apud Silva et AL, 2005), apesar dos SIGs e dos métodos de decisão multicritérios serem duas áreas distintas de pesquisa, os problemas de planejamento e gerenciamento do mundo real podem se beneficiar da combinação de suas técnicas e procedimentos, como ratifica Moura (2007):

*“O procedimento de análise de multicritérios é muito utilizado em geoprocessamento, pois se baseia justamente na lógica básica da construção de um SIG: seleção das principais variáveis que caracterizam um fenômeno, já realizando um recorte metodológico de simplificação da complexidade espacial;*

*così un quadro metodologico che semplifica la complessità spaziale; rappresentazione della realtà secondo differenti variabili, organizzate in insiemi di informazione; discretizzazione dei livelli di analisi nella risoluzione spaziale adeguata, tanto per le fonti dei dati come per gli obiettivi da raggiungere; promozione della combinazione degli insiemi delle variabili, integrate nella forma di un sistema che traduca la complessità delle variabili; infine, possibilità di validazione e calibrazione del sistema tramite l'identificazione e la correzione delle relazioni costruite tra le variabili mappate.”*

Xavier-da-Silva (1999b, p.2) spiega che la ricerca ambientale parte dai seguenti presupposti: tutti i fenomeni devono essere localizzati; tutti i fenomeni hanno una loro estensione determinabile; tutti i fenomeni sono in costante evoluzione; tutti i fenomeni presentano delle correlazioni fra essi, in quanto nessun fenomeno osservato risulta totalmente isolato; secondo il postulato della causalità è possibile mettere in luce relazioni di causa tra le correlazioni associate ai fenomeni, ma con margini di errore, il che conduce ad una validità relativa.

Così, nel realizzare un'analisi spaziale basata sulla

*representação da realidade segundo diferentes variáveis, organizadas em camadas de informação; discretização dos planos de análise em resoluções espaciais adequadas tanto para as fontes dos dados como para os objetivos a serem alcançados; promoção da combinação das camadas de variáveis, integradas na forma de um sistema, que traduza a complexidade da realidade; finalmente, possibilidade de validação e calibração do sistema, mediante identificação e correção das relações construídas entre as variáveis mapeadas.”*

Xavier-da-Silva (1999b, p.2) explica que a pesquisa ambiental parte dos seguintes pressupostos: todo fenômeno é passível de ser localizado; todo fenômeno tem sua extensão determinável; todo fenômeno está em constante alteração; todo fenômeno apresenta-se com relacionamentos, não sendo registrável qualquer fenômeno totalmente isolado; segundo o postulato da causalidade, é possível revelar relações causais entre as correlações associadas aos fenômenos, com margens de erro, o que leva a uma validade relativa.

Assim, ao realizar uma análise espacial baseada na conjugação de uma coleção de variáveis, é importante ter claro que os resultados obtidos cabem

coniugazione di una collezione di variabili, è importante avere chiaro che i risultati ottenuti corrispondono ad un contesto temporale e spaziale e ad una situazione specifica. Ciascuna nuova analisi richiede una nuova scelta di un insieme di variabili e il peso che ciascuna di esse avrà nel risultato finale è relazionato al contesto dell'analisi.

L'Analisi *Multicriterio* è un procedimento metodologico di incrocio delle variabili ampiamente accettata nelle analisi spaziali. Essa è anche conosciuta come *Albero delle Decisioni*. Il procedimento si basa sulla mappatura delle variabili per livello informativo e nella definizione del grado di pertinenza di ogni strato informativo e di ognuna delle sue componenti della legenda per la costruzione del risultato finale. La matematica impiegata può essere la semplice *Media Pesata*, ma ci sono dei ricercatori che già usano la logica *Fuzzy* per attribuire i pesi ed i voti.

L'impiego della *Media Pesata* crea uno spazio classificato, ordinale, che può essere anche inteso come una scala di un intervallo. Questo processo può anche essere utilizzato in scala nominale, affinché gli eventi siano gerarchizzati secondo qualche criterio di valore. La ponderazione deve essere fatta per "*knowledge driven evaluation*", ossia, tramite la conoscenza dei fenomeni e delle variabili della

em um contexto no tempo e no espaço, em uma situação específica. Cada nova análise irá exigir nova escolha de conjunto de variáveis e o peso que cada uma delas terá no resultado final está relacionado ao contexto da análise.

A Análise de *Multicritérios* é um procedimento metodológico de cruzamento de variáveis amplamente aceito nas análises espaciais. Ela é também conhecida como *Árvore de Decisões*. O procedimento baseia-se no mapeamento de variáveis por plano de informação e na definição do grau de pertinência de cada plano de informação e de cada um de seus componentes de legenda para a construção do resultado final. A matemática empregada pode ser a simples *Média Ponderada*, mas há pesquisadores que já utilizam a lógica *Fuzzy* para atribuir os pesos e notas.

O emprego da *Média Ponderada* cria um espaço classificatório, ordinal, que pode ser também entendido como uma escala de intervalo. Esse processo pode também ser utilizado em escala nominal, desde que os eventos sejam hierarquizados segundo algum critério de valor. A ponderação deve ser feita por "*knowledge driven evaluation*", ou seja, por conhecedores dos fenômenos e das variáveis da situação avaliada, ou por "*data-driven evaluation*" que se refere ao conhecimento prévio de situações semelhantes. Nesse

situazione valutata, o per "*data-driven evaluation*" che si riferisce alla previa conoscenza delle situazioni simili. In questo processo, la possibilità di ponderare in maniera inadeguata una situazione è l'inverso del numero di ponderazione attribuita. Per costruire una funzione di pertinenza si indica l'applicazione del metodo *Delphi* o si consulta direttamente uno specialista (*experts*).

Il metodo *Delphi*, per ottenere i pesi, si basa sulla scelta di un gruppo multidisciplinare di specialisti, che conoscano bene il fenomeno e che, ancora meglio, conoscano bene dove è localizzata la realtà spaziale. Lo specialista chiave è sollecitato a gerarchizzare o collocare le variabili (o i livelli informativi) in ordine di importanza rispetto al fenomeno studiato. Un esempio: per la gestione della mappa del *Potenziale di Estrazione Minerale*, qual è l'ordine di importanza delle variabili scelte? Sarebbe inoltre più interessante se gli specialisti fossero consultati per la definizione dell'insieme delle variabili di mappatura. Una volta ricevute le risposte dal gruppo, si realizza la selezione della media e l'indicazione del predominio nella manifestazioni. Lo specialista intanto riceve il risultato della riunione ed è sollecitato a rivedere la sua posizione; nel caso in cui sia convinto della sua scelta, mantiene la sua risposta, ma nel

processo, la possibilità di se ponderar de modo inadeguado uma situação é o inverso do número de ponderações atribuídas. Para construir uma função de pertinência indica-se a aplicação do método *Delphi* ou a consulta direta a especialistas (*experts*).

O método *Delphi* na obtenção dos pesos e notas baseia-se na escolha de um grupo multidisciplinar de especialistas, que conheçam bem o fenômeno e melhor ainda se conhecerem bem a realidade espacial onde ele se localiza. A esses especialistas é solicitado que hierarquizem ou coloquem as variáveis (ou planos de informação) em ordem de importância para a manifestação ou ocorrência de fenômeno estudado. Exemplo: para a geração do mapa de *Potencial de Extração Mineral*, qual é a ordem de importância das variáveis escolhidas? Seria ainda mais interessante se os especialistas fossem consultados na definição da coleção de variáveis de mapeamento. Uma vez recebidas respostas do grupo, realiza-se a seleção da média e a indicação do predominio nas manifestações. O especialista então recebe o resultado da consulta e é solicitado a rever suas posições – caso ele tenha firmeza das suas escolhas, mantém suas respostas, mas caso ele decida ajustar suas avaliações diante da resposta do grupo, ele manifesta nova opinião. Assim é feito por 2 rodadas, mas há situações em que

caso decida di cambiare la sua valutazione in base alla risposta del gruppo, egli manifesta la nuova opinione. Il procedimento è iterato dure volte, ma ci sono situazioni in cui si fanno tre iterazioni.

Secondo l'Instituto de Estudos Avançados della USP (2004, p.5):

*“L'evoluzione in direzione di un consenso ottenuta nel processo rappresenta la consolidazione dell'opinione intuitiva di un gruppo di esperti sugli eventi e le tendenze future. La tecnica si basa sullo studio strutturato della conoscenza, dell'esperienza e della creatività di un quadro di specialisti, presupponendo che l'opinione collettiva, quando organizzata adeguatamente, è migliore dell'opinione di un solo individuo o anche di alcuni individui che però mancano di un'ampia varietà di conoscenze specializzate.”*

Nella definizione del numero di specialisti da consultare, lo studio di IEA-USP (op. cit) indica, a partire dalle referenze di Vichas (1982, apud IEA-USP, 2004), che essi possano essere fra le 15 e le 30 persone.

Gli specialisti coinvolti nell'applicazione di *Delphi* devono essere mantenuti nell'anonimato, poiché le informazioni sulla composizione della formazione degli elementi del gruppo e delle loro

se applicam 3 rodadas.

Segundo o Instituto de Estudos Avançados da USP (2004, p.5):

*“A evolução em direção a um consenso obtida no processo representa uma consolidação do julgamento intuitivo de um grupo de peritos sobre eventos futuros e tendências. A técnica baseia-se no uso estruturado do conhecimento, da experiência, e da criatividade de um painel de especialistas, no pressuposto que o julgamento coletivo, quando organizado adequadamente, é melhor do que a opinião de um só indivíduo, ou mesmo de alguns indivíduos desprovidos de uma ampla variedade de conhecimentos especializados.”*

Na definição do número de especialistas a serem consultados, estudos do IEA-USP (op. cit) indicam, a partir de referências de Vichas (1982, apud IEA-USP, 2004), que eles podem ser entre 15 e 30 pessoas.

Os especialistas envolvidos na aplicação do *Delphi* devem ser mantidos em anonimato, pois informações sobre a composição da formação do grupo e suas especialidades poderiam conduzir na avaliação de um indivíduo. Caso um participante saiba, por exemplo, que nomes respeitados na área de geotecnia fazem parte do grupo, a informação pode interferir sobre suas avaliações

specializzazioni possono condurre alla valutazione di un individuo. Nel caso in cui un partecipante sappia, per esempio, quali nomi importanti nell'area della geotecnica fanno parte del gruppo, questa informazione potrebbe interferire sulla sua valutazione del tema. Nello stesso modo in cui gli specialisti esprimono opinioni sulla gerarchia delle variabili, essi lo fanno anche sul grado di pertinenza di ciascuna componente della legenda, mediante una classificazione numerica da 0 a 10 in cui i valori maggiori sono attribuiti agli elementi di maggior rischio.

Esistono procedimenti applicativi, come nel caso dell'*AHP* (Analisi Gerarchica dei Pesi), metodo sviluppato dal Prof. Thomas Saaty nel 1978, nella Università della Pensilvania. Esso aiuta nell'attribuzione dei pesi dei vari strati informativi, nel determinare la contribuzione relativa di ciascuno di essi, ma anche lo specialista deve definire la gerarchia fra le variabili e i pesi di ciascuna componente della legenda delle variabili. Nell'esempio citato, lo specialista colloca le variabili in ordine di importanza ai fini della definizione del rischio di coltivazione (rischio geotecnico, inclinazione, coltivazione a cielo aperto, fascia di rispetto del fiume/della strada) e il programma calcolerebbe i valori numerici (il cui totale è 100%). Il metodo propone il confronto delle

sobre o tema. Da mesma forma que os especialistas opinam sobre a hierarquia das variáveis, eles opinam também sobre o grau de pertinência, de 0 a 10, de cada componente de legenda, destacando com valores maiores os elementos de maior risco.

Existem procedimentos aplicativos, como é o caso do *AHP* (Análise Hierárquica de Pesos), método desenvolvido pelo Prof. Thomas Saaty em 1978, na Universidade da Pensilvânia. Ele auxilia na atribuição dos pesos dos planos de informação, para determinar a contribuição relativa de cada um, mas ainda assim o especialista ainda deve definir a hierarquia entre as variáveis e os pesos de cada componente de legenda das variáveis. No exemplo citado, o especialista colocaria as variáveis em ordem de importância para a composição do risco à ocupação (risco geotécnico, declividades, mineração a céu aberto, faixa de domínio de rio, faixa de domínio de rodovia) e o aplicativo calcularia os valores numéricos (que somam 100%). O método propõe a comparação de variáveis par a par e é atribuído um critério de importância relativa entre eles, conforme a escala apresentada na Tabela 4. Contudo, o procedimento analisa o plano de informação de um modo geral, e não certas áreas definidas nos mapas. A escolha de áreas específicas no mapa para estudar a relação entre variáveis e assim atribuir pesos, que são a



**Tabella 4 - Scala dei Valori AHP per la Comparazione Accoppiata - Escala de Valores AHP para Comparação Pareada**

<b>Intensità di importanza</b>	<b>Definizione e Spiegazione</b>
1	Importanza uguale - i due fattori contribuiscono ugualmente all'obiettivo
3	Importanza moderata - un fattore è leggermente più importante di un altro
5	Importanza essenziale - un fattore è chiaramente più importante di un altro
7	Importanza dimostrata - un fattore è fortemente favorito e la sua maggior rilevanza è stata dimostrata nella pratica
9	Importanza estrema - l'evidenza che differenzia i fattori è del maggior ordine possibile
2,4,6,8	Valori intermedi tra julgamentos - possibilidade de compromissos adicionais

Fonte: DPI, Instituto de Pesquisas Espaciais, 2005. ([www.dpi.inpe/spring](http://www.dpi.inpe/spring))

variabili una ad una e viene attribuita un'importanza relativa fra esse, secondo la scala presentata in tabella 4. Comunque il procedimento analizza i livelli informativi in modo generale e non solo aree specifiche definite nelle mappe.

La scelta delle aree specifiche nella mappa per studiare la relazione tra le variabili e così attribuirne il peso è un procedimento abbastanza efficace; infatti il peso materializza numericamente la gerarchia di importanza di ciascuna di esse sul risultato finale. La procedura si basa sul lavoro di campo o sulla conoscenza dell'area e del fenomeno, in modo che siano scelti i modelli territoriali nei

hierarquia de participação de cada uma no resultado final, é um procedimento bastante eficaz.

Ele baseia-se em apoio de campo ou no conhecimento sobre a área e o fenômeno, de modo que são escolhidas amostras territoriais nas quais se conhece bem o resultado do fenômeno. Exemplo: no caso da *Síntese de Potencial de Extração Mineral* seriam escolhidas porções do território nas quais já se comprovou o alto potencial e os estudos de relações entre variáveis e a atribuição de seus pesos seria definido pelo comportamento dessas amostras. Para ampliar a segurança poderiam ser escolhidas amostras também em áreas de baixo potencial.

quali si conosce bene il risultato del fenomeno. Esempio: nel caso della *Sintesi del Potenziale di Estrazione Mineraria* vengono scelte delle porzioni di territorio nelle quali già è stato comprovato un alto potenziale; gli studi delle relazioni tra le variabili e l'attribuzione dei loro pesi sono stati definiti sulla base del comportamento di tali modelli. Per aumentare la sicurezza possono essere scelti modelli anche nelle aree di basso potenziale.

Comunque, è importante osservare che benché esistano metodi e tecniche per dare allo specialista la responsabilità di attribuire tutti i valori numerici dell'analisi, rappresentati dai pesi e degli strati informativi e dalle rispettive componenti della legenda, si avrà sempre un livello di soggettività. Si avrà sempre la necessità di indicare una gerarchia tra le variabili (che sommano a 100%) o tra i pesi della loro suddivisione (con un indice che va da 0 a 10). Non esiste una ricerca che non abbia una piccola traccia di soggettività, poiché la scelta di un modello è già di per sé l'opinione di uno specialista secondo una visione sulla realtà spaziale. Comunque, si fa affidamento sulla conoscenza dello specialista, poi sulla professionalità, nel giorno dopo giorno, *"...facciamo supposizioni quasi precise nei loro domini"* (Levine et al., 1988, p.97).

I prodotti generati hanno caratterizzato la *zonazione*

Contudo, è importante osservare che embora existam métodos e técnicas para tirar do especialista a responsabilidade de atribuir todos os valores numéricos da análise, representados pelos pesos e notas dos planos de informação e de seus respectivos componentes de legenda, sempre haverá um nível de subjetividade. Sempre haverá a necessidade de indicar uma hierarquia entre variáveis (que se somam em 100%) ou os pesos de suas subdivisões (que recebem grau de pertinência de 0 a 10). Não existe pesquisa sem um pequeno traço de subjetividade, pois a própria escolha de um modelo já é a opinião de um especialista segundo um olhar sobre a realidade espacial. Contudo, confia-se no conhecimento especialista, pois esses profissionais, no dia-a-dia, *"...fazem suposições quase que precisas em seus domínios"* (Levine et al., 1988, p.97).

Os produtos gerados caracterizaram *zoneamentos* segundo diferentes variáveis ambientais, com identificação de situações especiais que caracterizam a área analisada, segundo conflitos, potenciais, riscos e prioridades de intervenção. Os processos de decisão de pesos e notas das variáveis e seus componentes de legenda requerem a atribuição de valores numéricos que traduzam a hierarquia definida. Devido a essa necessidade de transformar os dados da análise em valores

secondo differenti variabili ambientali, con l'identificazione di situazioni spaziali che caratterizzano l'area analizzata, secondo conflitti, potenziali, rischi e priorità di intervento. I processi di decisione dei pesi e del rango delle variabili e delle loro componenti nella legenda richiedono l'attribuzione di valori numerici che si traducono in una gerarchia definita. Legato a questa necessità di trasformare i dati dell'analisi in valori *numeric*, c'è un passo importante di padronanza delle scale di misura. Questo permette che i dati qualitativi (descrittivi o nominali) vengano rappresentati in modo quantitativo (tramite numeri) secondo la valutazione o *ranking* delle sue qualità. La risposta parte dal principio che non si può definire semplicemente come "sì" o "no" per l'importanza della partecipazione di una variabile nell'insieme, ma deve essere caratterizzata secondo il *grado di pertinenza* con l'obiettivo dell'analisi, valutazione utilizzata nell'attribuzione di pesi e voti. Così, un sistema binario è poco adattabile alle situazioni reali, poiché la natura continua coglie meglio la soggettività delle situazioni.

## **5. ANALISI MULTICRITERIO PER LA DEFINIZIONE DEI LUOGHI FAVOREVOLI PER L'ESTRAZIONE DELLE ROCCE ORNAMENTALI**

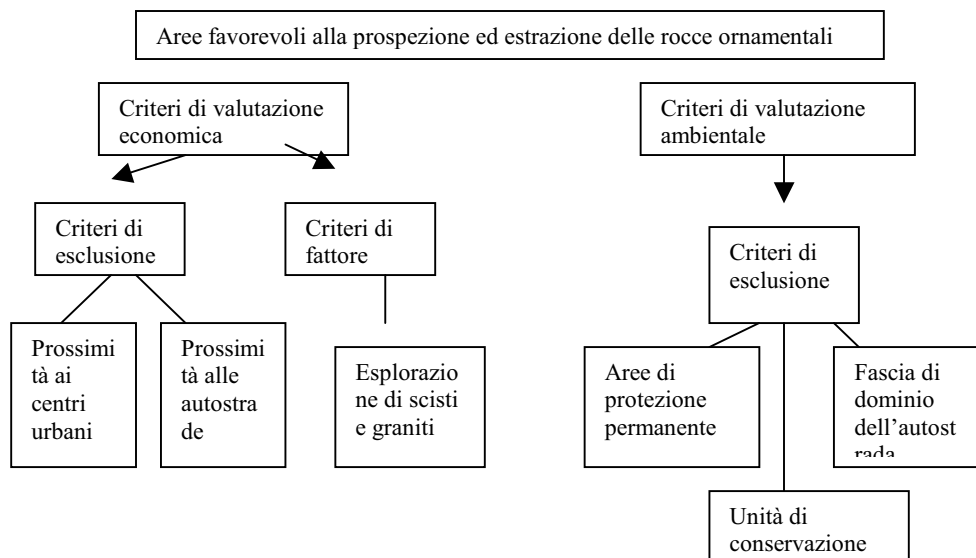
Tra gli studi dei casi sviluppati, sono state fatte delle

*numéricos*, há uma etapa importante de padronização de escalas de mensuração. Isto permite que dados qualitativos (descritivos ou nominais) sejam apresentados de modo quantitativo (por números) segundo a avaliação ou *ranking* de suas qualidades. A resposta parte do princípio de que não se pode definir simplesmente como "sim" ou "não" a importância da participação de uma variável no conjunto, mas deve-se caracterizá-la segundo o *grau de pertinência* para o objetivo de análise, o que é operacionalizado por atribuição de pesos e notas. Assim, a natureza binária é pouco adaptável a situações reais, enquanto a natureza contínua capta melhor a subjetividade das situações.

## **5. ANÁLISES MULTICRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DE LOCAIS FAVORÁVEIS À EXTRAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

Entre os estudos de caso desenvolvidos, foram desenvolvidas análises ambientais com o apoio do geoprocessamento segundo a metodologia de multicritérios para os exemplos brasileiros. A definição de locais favoráveis através da análise multicritérios visa eleger os locais mais indicados para a extração de rochas ornamentais através de avaliação de critérios tanto de base econômica quanto ambiental, segundo a Figura 4.

**Figura 4 - Schema dell'Albero delle Decisioni dell'Analisi Multicriterio -  
Esquema da Árvore de Decisões da Análise de Multicritérios**



analisi ambientali con l'ausilio del geoprocessing secondo la metodologia del multicriterio per gli esempi brasiliani. La definizione dei luoghi favorevoli attraverso l'analisi multicriterio mira a trovare i luoghi più indicati per l'estrazione delle rocce ornamentali attraverso la valutazione dei criteri tanto di base economica quanto ambientale, secondo la Figura 4.

### **5.1. Criteri di Valutazione Ambientale**

Nel procedimento di analisi ambientale sono definiti i fattori che riducono l'insieme delle soluzioni, denominati fattori "esclusione", che definiscono le aree ove è interdetta la

### **5.1. Critérios de Avaliação Ambiental**

No procedimento de análise ambiental são determinados fatores que reduzem o conjunto de soluções, denominados fatores "exclusão", que definem as áreas de restrição à atividade de extração de rochas ornamentais. São três os fatores exclusão: as áreas de proteção permanente determinadas pelo CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), as faixa de domínio de rodovias determinadas pelo DNIT (Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes) e as UCs (unidades de conservação).

coltivazione delle rocce ornamentali. Sono tre i fattori esclusione: le aree di protezione permanente determinate dal CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), la fascia autostradale determinata dal DNIT (Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes) e le UC (unità di conservazione).

Le unità di conservazione costituiscono un insieme di esclusione senza la costituzione di *buffer*, la legislazione suggerisce le zone di transizione nel loro intorno, ma non limita le attività antropiche come nelle zone urbane propriamente dette.

Le fasce autostradali sono stabilite dal DNIT nella forma seguente: *“La Fascia Autostradale è la base fisica sulla quale si posa l’autostrada, è costituita dalla corsia, su cui transitano i veicoli, dai cantieri, dalle opere d’arte, dai sostegni e dalla segnaletica, e si estende fino alle recinzioni che separano la strada delle proprietà ilmitrofe o della fascia di rispetto. In generale, si elimina una fascia di 60 metri, quando si tratta di corsia semplice, e di 100 metri, in caso di corsia doppia.”*

Le aree di protezione ambientale definite con la risoluzione 303 del Marzo 2002 del CONAMA fanno riferimento a diversi casi:

1) Corsi d’acqua (nel caso non ci siano informazioni di larghezza, si utilizza il valore minore):

- a) 30 metri, per il corso d’acqua con meno di 10

As unidades de conservação constituem uma camada de exclusão sem constituição de *buffer*, uma vez que a legislação sugere zonas de transição em seus entornos, mas não restringe as atividades antrópicas como nas manchas propriamente ditas.

As faixas de domínio de rodovias são estabelecidas pelo DNIT da seguinte forma: *“A Faixa de Domínio é a base física sobre a qual se assenta a rodovia, sendo constituída pela pista de rolamento, onde os veículos trafegam, canteiros, obras de arte, acostamentos e sinalização, estendendo-se até o alinhamento das cercas que separam a estrada dos imóveis marginais ou da faixa de recuo. Em geral, faz-se uma reserva de 60 metros, quando se trata de pista simples, e de 100 metros, em caso de pista dupla.”*

As áreas definidas pela resolução 303 de março de 2002 pelo CONAMA como de proteção ambiental:

1) Cursos d’água (na inexistência de informação de largura, utilize-se o menor valor.):

- a) trinta metros, para o curso d’água com menos de dez metros de largura;
- b) cinquenta metros, para o curso d’água com dez a cinquenta metros de largura;
- c) cem metros, para o curso d’água com cinquenta a duzentos metros de largura;
- d) duzentos metros, para o curso d’água com duzentos a seiscentos metros de largura;

metri di larghezza;

b) 50 metri, per il corso d'acqua con 10-50 metri di larghezza;

c) 100 metri, per il corso d'acqua con 50-200 metri di larghezza;

d) 200 metri, per il corso d'acqua con 200-600 metri di larghezza;

e) 500 metri, per il corso d'acqua con più di 600 metri di larghezza;

2) Sorgenti: *“area circostante la sorgente o lo specchio d'acqua, anche se intermittente, con raggio minimo di cinquanta metri in modo che protegga, in ogni caso, il bacino idrografico afferente”*.

3) Zone collinari : *“nei luoghi di collina e montagna, aree delimitate a partire dalla curva di livello corrispondente ai due terzi dell'altezza minima della quota dal piano campagna”*.

4) Montagne: *“pendici o parte di queste, con inclinazione superiore al cento per cento (o quarantacinque gradi) calcolata sulla linea di maggior declivio”*

Dall'unione di tutti i vincoli sopra citati, si forma un'unica area denominata: “criterio di esclusione” (Figure 5 e 6).

## **5.2. Criteri di Valutazione Economica**

I criteri favorevoli in questo caso sono quelli che potenziano lo sfruttamento commerciale delle miniere (Figure 7 e 8). Tra essi saranno considerati la prossimità con le vie di trasporto (autostrade e ferrovie) e con la mano d'opera

e) quinhentos metros, para o curso d'água com mais de seiscentos metros de largura;

2) Nascentes: *“ao redor de nascente ou olho d'água, ainda que intermitente, com raio mínimo de cinqüenta metros de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia hidrográfica contribuinte”*.

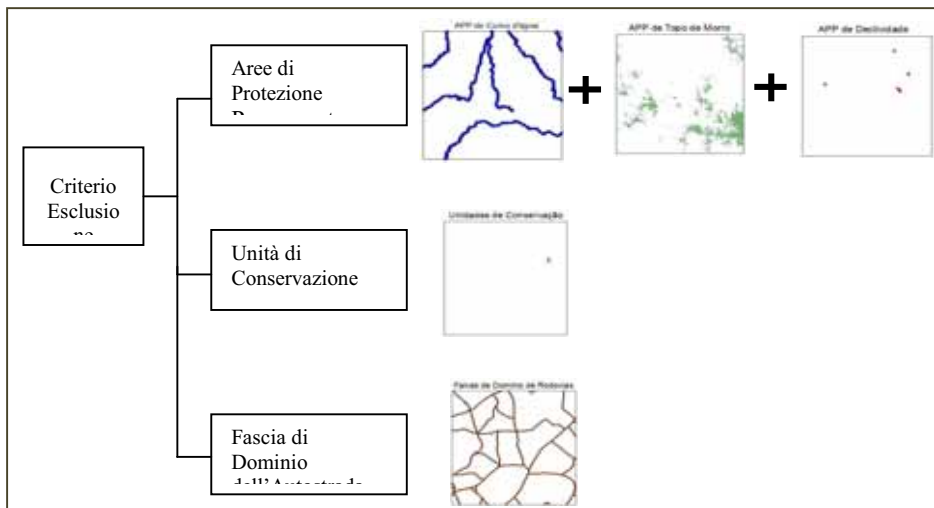
3) Topos de Morro : *“no topo de morros e montanhas, em áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura mínima da elevação em relação a base”*.

4) Declividade: *“em encosta ou parte desta, com declividade superior a cem por cento ou quarenta e cinco graus na linha de maior declive”*

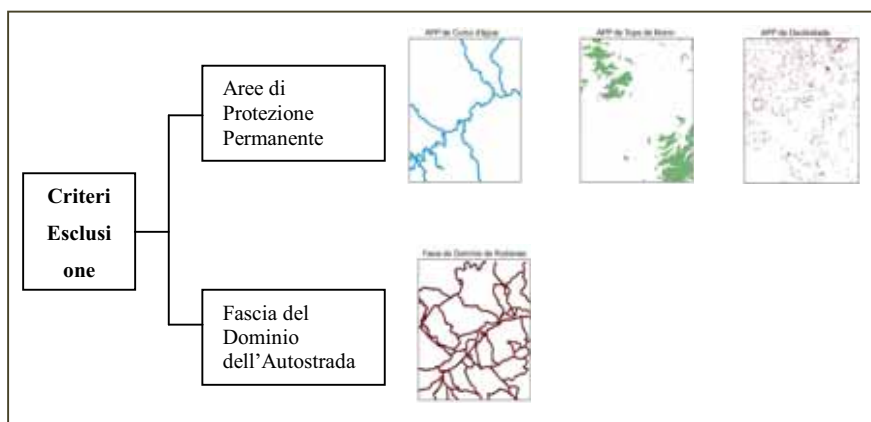
Da união de todas as camadas acima citadas, formou-se uma única camada denominada: “critérios de exclusão” (Figuras 5 e 6).

## **5.2. Critérios de Avaliação Econômica**

Os critérios favoráveis neste caso são aqueles que potencializam a exploração comercial do minério (Figuras 7 e 8). Para eles serão considerados a proximidade com vias de escoamento (rodovias e ferrovias) e com mão de obra (manchas de urbanização). Analisando o escoamento da produção foram selecionadas todas as áreas requeridas que estivessem até 5 quilômetros de um rodovia, considerando-se esta uma situação



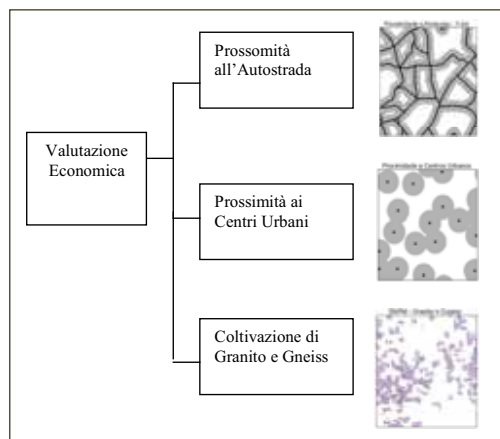
**Figura 5: Criterio de Exclusão – Studio del caso dei Graniti di Candeias - MG**



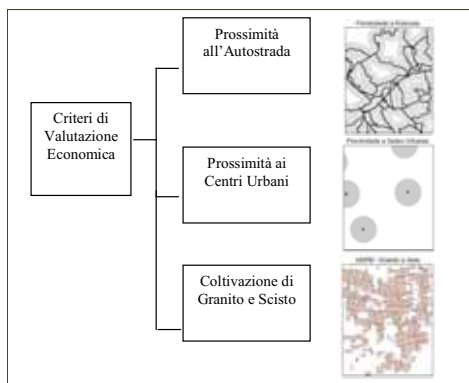
**Figura 6: Criterio di Esclusione – Studio del caso degli Scisti nel Médio Jequitinhonha - MG**

(zone di urbanizzazione).

In relazione al flusso della produzione sono state selezionate tutte le aree richieste distanti meno di 5 chilometri da un'autostrada, in quanto si considera questa situazione ideale per il trasporto della produzione verso le zone di lavorazione, secondo quanto detto dagli specialisti. In relazione alla prossimità dei centri urbani per l'accesso della mano d'opera, sono state selezionate le aree che si trovavano ad una distanza inferiore a 10 km da una zona urbana. Per queste ricerche di prossimità vennero confezionati dei *buffers* nei dintorni delle strutture citate attraverso il pacchetto *Analysis Tools* di *ArcView*.



**Figura 7-Criteri di Valutazione Economica, Studio del caso dei Graniti a Candeias - *Cr terios de Avalia  o Econ mica, Estudo de caso de Granitos em Candeias***



**Figura 8: Criteri di Valutazione Economica– Studio del caso degli Scisti nel M dio Jequitinhonha - *Cr terios de Avalia  o Econ mica – Estudo de caso de Xistos no M dio Jequitinhonha - MG***

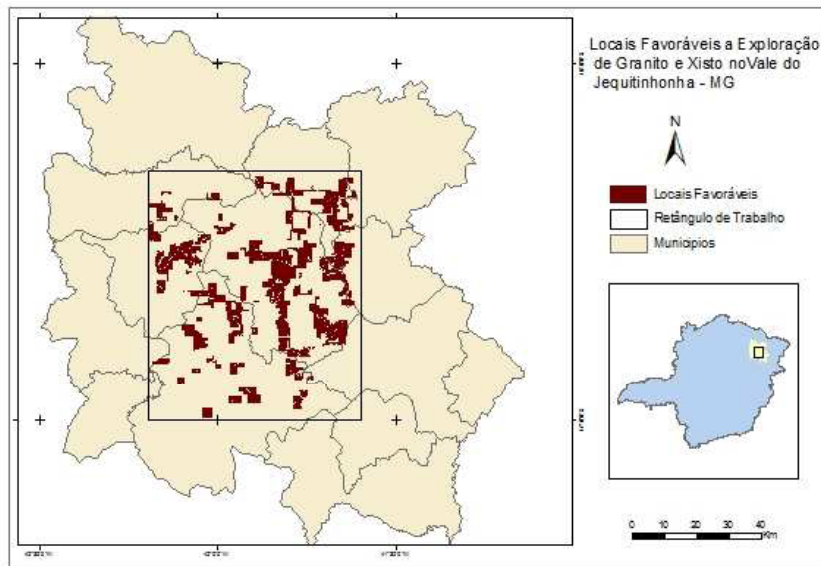
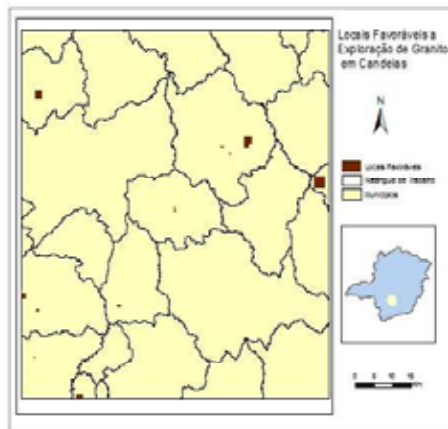
una situazione ideale di escoamento da produção parazonas de beneficiamento, segundo distância de até 10 km de uma mancha urbana. Para estas buscas de proximidades foram confeccionados *buffers* ao redor das estruturas citadas através do pacote *Analysis Tools* do *ArcView*.

No estudo de caso de granitos em Candeias o cruzamento dos mapas possibilitou encontrar 12 áreas de requerimento de pesquisa ou extração de na região, as quais se encontravam próximas a rodovias (5 quilômetros) e manchas urbanas (10 quilômetros) e n o estavam dentro de áreas de



**Figura 9: Luoghi ottimali per l'estrazione dei graniti a Candeias - *Locais ótimos para a extração de granitos Candeias***

Nello studio del caso dei graniti di Candeias l'incrocio delle mappe permette di individuare 12 aree che richiedono ricerca o estrazione nella regione, le quali si trovano vicine all'autostrada (5 chilometri) e alle zone urbane (10 chilometri) e in cui non ricadono le aree di APP o nelle fasce autostradali (Figura 9).



Nello studio del caso degli scisti nel Médio Jequitinhonha l'incrocio delle mappe ha permesso di individuare 165 aree con necessità di ricerca o estrazione nella regione, le quali si trovavano vicine alle autostrade (5 chilometri) e alle zone urbane (10 chilometri) e in cui non

**Figura 10: Luoghi ottimali per l'estrazione dei graniti e degli scisti nel Médio Jequitinhonha - MG - *Locais ótimos para a extração de xistos e granitos no Médio Jequitinhonha***

APP ou de faixas de domínio (Figura 9).

ricadono le aree di APP o le fasce autostradali (Figura 10).

## 6. CONCLUSIONI

Lo sviluppo di strumenti di geoelaborazione nell'ambito del progetto ALFA-FARO ha confermato l'esistenza di somiglianze nella gestione dell'informazione e del controllo ambientale nei paesi studiati: Brasile e Italia. Osserviamo che in ambo i paesi esistono normative di tutela degli stessi valori ambientali, da coniugare con le attività antropiche e con gli interessi socio-economici, nella ricerca delle condizioni sostenibili per lo sfruttamento delle georisorse.

Sottolineiamo il ruolo delle tecnologie della geoelaborazione nella strutturazione della base dei dati, che nel presente approccio sono destinate alle analisi spaziali per l'identificazione delle potenzialità, ma che tuttavia sono la base per la strutturazione del WebGis, altro tema di studio del programma ALFA-FARO, trattato in un altro articolo in questa pubblicazione. È necessario dare risalto all'importanza della strutturazione della base dei dati nella geoelaborazione, poiché se i dati non sono organizzati correttamente, non producono analisi rappresentativi della realtà complessa.

La guida ai procedimenti di gestione delle aree di estrazione mineraria in Italia indica la mappatura delle "unità di paesaggio (UDP)", che

No estudo de caso de xistos no Médio Jequitinhonha o cruzamento dos mapas possibilitou encontrar 165 áreas de requerimento de pesquisa ou extração na região, as quais se encontravam próximas a rodovias (5 quilômetros) e manchas urbanas (10 quilômetros) e foram excluídas as áreas de APP e de faixas de domínio (Figura 10).

## 6. CONCLUSÕES

A oportunidade de desenvolvimento de geoprocessamento no âmbito do projeto ALFA-FARO resultou na comprovação da existência de semelhanças na gestão da informação e controle ambiental nos países estudados, quais sejam: Brasil e Itália. Observamos que em ambos os países existem normativas de preservação dos mesmos valores ambientais que devem ser conjugados com ações antrópicas e interesses socio-econômicos na busca de condições sustentáveis de extração dos georecursos.

Destacamos o papel das tecnologias de geoprocessamento na estruturação da base de dados, que na presente abordagem se destinam às análises espaciais para identificação de potenciais, mas que também são base para a estruturação do WebGis, outro tema de estudo do programa ALFA-FARO e que está sendo tratado em artigo na presente publicação. É necessário ressaltar a importância boa estruturação da base de dados em

costituiscono le tipologie o sottosistemi omogenei definiti per alcuni generi e caratteristiche in comune. Il procedimento utilizzato per l'identificazione di queste aree omogenee è la decomposizione dell'analisi in insiemi di informazioni secondo i temi: cartografia di base, mappe dei componenti biotici e abiotici e cartografia tematica degli aspetti specifici; successivamente si sovrappongono gli insiemi e si esegue una gerarchizzazione di sintesi mediante l'algebra matriciale. Questa analisi matriciale è composta da una matrice che permette di individuare le relazioni del paesaggio e le tipologie di intervento (Oneto, 1997, apud Muzzi e Rossi, 2003, p. 88). Questa indicazione della definizione delle tipologie spaziali a supporto delle decisioni è giustamente il procedimento dell'analisi multicriterio per identificare le aree omogenee e gerarchizzarle in relazione a un potenziale che si desidera riconoscere – nel nostro caso il potenziale di estrazione delle rocce ornamentali.

Il procedimento di analisi multicriterio qui presentato è un modello di rappresentazione delle realtà complesse che contiene criteri riproducibili e sostenibili. Questo significa che essi possono essere rappresentati e esplicitati nei differenti settori della società, rendendo l'insieme delle decisioni aperto ad un'ampia comprensione.

Ciò significa utilizzare le

geoprocessamento, pois se os dados não são organizados corretamente, não resultam em análises representativas da complexa realidade.

Roteiros de procedimentos de gestão de áreas de extração mineral na Itália indicam o mapeamento de unidades de paisagem “unità di paesaggio (UDP)”, que constituem tipologias ou subsistemas homogêneos definidos por algumas modalidades e características em comum. O procedimento utilizado para a identificação destas áreas homogêneas é a decomposição da análise em camadas de informação segundo os temas cartografia básica, mapas dos componentes bióticos e abióticos e cartografia temática de aspectos específicos; seguidos de sobreposição das camadas e geração da síntese por álgebra matricial. Esta análise matricial compõe uma matriz que permite individualizar as relações da paisagem e as tipologias de intervenção (Oneto, 1997, apud Muzzi e Rossi, 2003, p. 88). Esta indicação de definição de tipologias espaciais para a tomada de decisões é justamente o procedimento de análise de multicritérios para a identificação de área homogêneas e hierarquizadas em relação a um potencial que se deseja reconhecer – no nosso caso o potencial de extração de rochas ornamentais.

O procedimento de análise

geotecnologie come appoggio all'insieme delle decisioni.

Infine, sottolineiamo tuttavia la crescente importanza dei fattori di luogo. In un mondo globalizzato e competitivo, pochi fattori che differenzino le condizioni di coltivazione possono essere decisivi per scegliere le ubicazioni ottimali per le attività estrattive delle rocce ornamentali.

de multicritérios aqui apresentado é um modelo de representação de realidades complexas que apresentam critérios reproduzíveis e defensáveis. Isto significa que eles podem ser apresentados e explicados para diferentes setores da sociedade, tornando a tomada de decisões aberta à ampla compreensão. Isto significa utilizar as geotecnologias no apoio à tomada de decisões

Finalmente, salientamos também a crescente importância dos fatores locais. Em um mundo globalizado e competitivo, pequenos fatores diferenciadores de condições de exploração podem ser decisivos na escolha de locais ótimos para as atividades de extração de rochas ornamentais.

## 7. BIBLIOGRAFIA– BIBLIOGRÀFIA

CONAMA (2002) **Resolução N° 302**, de 20 de março de 2002

INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais, Divisão de Processamento de Imagens, (2005) **Apostila Spring**. (www.dpi.inpe/spring)

INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS da USP.(2004) Projeto Brasil 3 Tempos, Dimensão Global. São Paulo, USP. 44 p. (relatório técnico).

JANNUZZI, P. (2005) **Construção de Indicadores e Mapas de Pobreza e Riqueza nos Municípios Brasileiros**. Semana de Extensão do Departamento de Estatística. **Universidade de Brasília**.

LEVINE, R. I., DRANG, D. E., EDELSON, B (1988) **Inteligência artificial e sistemas especialistas**. São Paulo, McGraw-Hill, p.97-128.

MOURA, A.C. M..(2007) **Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritério**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2899-2906.

MOUSSEAU, V. (1997) **Compensatoriness of Preferences in Matching and Choice**. Foundations of Computing and Decision Sciences, v.22, n.1.

MUZZI, E., ROSSI, G. (2003) **Il recupero e la riqualificazione ambientale delle cave in Emilia – Romagna**, Manuale Teorico – Pratico. Bologna, Regione Emilia-Romagna.

ONETO, G. (1997) **Manuale di pianificazione del paesaggio**. Milano, Pirola Edizioni.

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL.(1997) Lei n° 9.503, de 23 de Setembro de 1997.

SILVA A. N. R.; ZAMBON, K. L., CARNEIRO, A. A. M; NEGRi, J. C. (2005) **Análise De Decisão Multicritério Na Localização De Usinas Termoeletricas Utilizando SIG**. Pesquisa Operacional, v.25, n.2, p.183-199, mai-ago.

VICHAS. R. P. (2004) Complete Handbook of Profitable Marketing Research Techniques. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, Inc, 1982, apud

INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS da USP. Projeto Brasil 3  
Tempos, Dimensão Global. São Paulo, USP. 44 p. (relatório técnico).

XAVIER-DA-SILVA, J. (1999) **Geoprocessamento para análise ambiental**. Rio de Janeiro: Lageop. 15 p. (apostila do Curso de Especialização em Geoprocessamento)

**MODELLIZZAZIONE DELLA COMUNICAZIONE  
WEBGIS A SUPPORTO DELLA PROSPEZIONE E  
DELLA COLTIVAZIONE DELLE ROCCE  
ORNAMENTALI – *Modelagem da comunicação WebGIS  
para apoio a la gestao da prospecção e da extracção de rochas  
ornamentais***

Sheyla Aguilar de Santana<sup>1</sup>  
Ana Clara Mourão Moura<sup>1</sup>  
Renata Hungari<sup>1</sup>  
Marcela Moura Mourão<sup>2</sup>  
Marcos dos Santos Campello<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Minas Gerais - IGC – Lab. de Geoprocessamento

<sup>2</sup> Universidade Federal de Minas Gerais - IGC – Doutorado em Geologia

**ABSTRACT**

Questo lavoro è stato svolto nell'ambito delle attività della rete FARO - Formação Acadêmica no sector das Rochas Ornamentais e Geoprocessamento ([www.alfa\\_faro.eu](http://www.alfa_faro.eu)), progetto finanziato dalla Commissione Europea, programma EUROPAID-ALFA di cooperazione con l'America Latina.

La proposta generale di questa parte del progetto mira a comprendere le relazioni della comunicazione promossa dai media del "world wide web", la rete modiale che consente di interconnettere documenti ed eseguirli in internet. In particolare ci si è focalizzati sulla consultazione e l'analisi di dati georeferenziati, al fine di costruire dell'informazione sulla realtà territoriale. E' quindi di nostro interesse

**RESUMO**

Esse trabalho foi desenvolvido no âmbito do convênio ALFA-FARO, América Latina formações acadêmicas - Formação Acadêmica em Rochas Ornamentais e Geoprocessamento, com a participação da Universidade Federal de Minas Gerais (BR) e Università degli Studi di Bologna (IT). A proposta geral dessa parte do projeto visa compreender as relações de comunicação promovidas pelas mídias de "world wide web" - rede de alcance mundial, que propicia que documentos sejam interligados e executados na internet, no que se refere às consultas e análises de dados espacialmente localizados, com a finalidade de construção de informação sobre a realidade territorial. Nesse sentido, é nosso interesse

comprendere come si formano i processi di comunicazione, per studiare più specificatamente questo processo nelle applicazioni informatiche destinate alla diffusione e all'analisi dei dati spaziali.

Dopo avere studiato il fenomeno della comunicazione nell'ambito delle geotecnologie, proponiamo la modellizzazione di un prodotto basato sul SIG/GIS (sistema informativo geografico), a supporto delle decisioni attraverso i media del web, implementando, quindi, il cosiddetto WEBGIS in 3 casi di studio: a) il marmo di Carrara (Italia), b) gli scisti e c) i graniti nello stato di Minas Gerais (Brasile).

## **1. INTRODUZIONE**

Le mappe sono dei mezzi di comunicazione che hanno come obiettivo fornire all'utente informazioni spaziali su affioramenti e fenomeni geografici. Quando utilizzano le tecniche di elaborazione nelle differenti fasi di uno studio tecnico scientifico, le mappe sono utilizzate come supporto alle decisioni e anche nella presentazione dei risultati.

Il ruolo della mappa va ben oltre la semplice comunicazione delle informazioni quando utilizzata nell'analisi visiva. Secondo Maceachren e Kraak (1997) il

comprendermos como se formam os processos de comunicação, para estudarmos mais particularmente este processo nos aplicativos de informática destinados à difusão e análise de dados espaciais. Uma vez estudado o fenômeno de comunicação nas geotecnologias, estamos propondo a modelagem de um produto baseado em SIG (sistema de informações geográficas) que apoie a tomada de decisões através da mídia web, implementando, então, os chamados WEBGIS em três estudos de casos: mármore em Carrara (IT), xistos e granitos em Minas Gerais (BR).

## **1. INTRODUÇÃO**

Os mapas são meios de comunicação que têm como objetivo fornecer informações espaciais sobre ocorrências e fenômenos geográficos para o usuário. Quando empregam técnicas computacionais nas diferentes fases do estudo técnico científico, os mapas são utilizados para dar suporte às tomadas de decisão e também apresentar resultados. O papel do mapa ultrapassa a simples comunicação da informação quando são utilizados na análise visual. Segundo Maceachren e Kraak (1997) o processo chamado de visualização cartográfica, ou seja, a preocupação com a comunicação na interface de



cosiddetto processo di visualizzazione cartografica, ossia l'interesse della comunicazione all'interfaccia della presentazione della mappa all'utente finale, ha un'importanza essenziale per la trasmissione della conoscenza. Questa importanza della comunicazione cartografica è risaltata con l'evoluzione della tecnologia e con l'aumento della domanda dei prodotti che provengono dalla geolaborazione (geoprocessing).

Nel contesto di una rete come ALFA-FARO, che coinvolge 6 paesi e differenti culture, con l'obiettivo di scambiare esperienze nella caratterizzazione, utilizzo e gestione delle georisorse, in particolare delle georisorse lapidee, il ruolo della geoinformatica e del WEBGIS è di funzionare come un laboratorio di analisi e di rappresentazione dei dati ambientali, a supporto delle decisioni relative alla scelta delle aree e delle condizioni ottimali per lo sfruttamento delle risorse minerarie. La comunicazione cartografica si distingue come un linguaggio comune di facile comprensione per tutti, quando sono sfruttate le risorse dell'elaborazione grafica dell'informazione. Inoltre è fondamentale il ruolo di diffusione dell'informazione prodotta dal progetto, in quanto il WebGis mira all'accesso da

esposizione o mappa per l'utente finale, ha una importanza essenziale per la trasmissione del conoscenza.

Essa importanza della comunicazione cartografica si è evidenziata con l'evoluzione della tecnologia e con l'aumento della domanda per prodotti derivanti dalla geoprocessing.

Dentro il contesto di un programma di scambio che coinvolge 6 paesi e diverse culture, tutti con l'obiettivo di scambio di esperienze di caratterizzazione, utilizzo e gestione di georecursos, soprattutto i georecursos di roccie ornamentali, il ruolo delle geotecnologie e del WebGIS è di funzionare come uno strumento di analisi e rappresentazione di dati ambientali, per supportare le decisioni nella scelta di aree e condizioni ottimali per l'utilizzo dei recursos minerari. Si evidenzia la comunicazione cartografica come una lingua comune di facile accesso e comprensione per tutti, quando sono utilizzati i recursos di trattamento grafico dell'informazione. Si evidenzia, ancora, il ruolo di diffusione dell'informazione prodotta dal progetto, una volta che il WebGIS garantisce l'accesso a diversi gruppi di utenti in rete, in accessi multipli e remoti, in modo che ogni consultazione, in funzione della capacità tecnica di chi la elabora, possa essere

parte di differenti gruppi di utenti della rete. E' stato progettato per consentire accessi multipli e remoti, in modo che ogni consultazione, in funzione della capacità tecnica di chi la elabora, possa avere differenti livelli di complessità di analisi e interpretazione dei risultati.

La cartografia convenzionale si basa sulla rappresentazione dei fenomeni spaziali in forma statica. Tutte le informazioni sono rappresentate da simboli. L'utente, nel guardare la mappa, ha bisogno di decodificare il messaggio ed eseguire quelle analisi necessarie a capire ciò che è rappresentato. Con l'avvento dell'elaborazione informatica nella produzione e diffusione cartografica, l'utente ha smesso di essere un attore passivo nel processo di interpretazione delle informazioni ed ha cominciato ad interagire con la rappresentazione. Ciò è stato reso possibile con le mappe interattive, GIS e WebGis. L'interattività, per esempio, permette all'utente di visualizzare differenti aspetti del fenomeno, i layers di suo interesse, di visualizzare diverse scale, con differenti gradi di dettaglio; o, addirittura, di scegliere la simbologia della rappresentazione.

diferentes níveis de complexidade de análise e interpretação dos resultados.

A cartografia convencional está baseada na representação dos fenômenos espaciais de forma estática. Todas as informações são representadas por símbolos. O usuário, ao olhar para o mapa, precisa decodificar a mensagem e fazer as análises necessárias para entender o que está sendo representado. Com o advento da tecnologia computacional na produção e disseminação cartográfica, o usuário deixou de ser um ator passivo no processo de interpretação das informações e começou a interagir com a representação. Isso foi possível com os mapas interativos, SIGs (GIS) e WebGis. A interatividade permite, por exemplo, o usuário visualizar diferentes aspectos do fenômeno, visualizar os *layers* de seu interesse, visualizar diferentes escalas, com diferentes graus de detalhes ou até mesmo escolher a simbologia de representação.

## **2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA**

Com o crescimento exponencial de pessoas que estão conectadas à rede mundial de computadores, a *World Wide Web* se tornou um veículo muito importante na disseminação de informações

## 2. CONTESTUALIZZAZIONE DEL TEMA

Con la crescita esponenziale delle persone connesse alla rete mondiale dei computers, il *World Wide Web(WWW)* si è trasformato in un veicolo molto importante di diffusione delle informazioni in tutto il mondo. La sua attività è iniziata con la diffusione di documenti contenenti testo e alcune immagini di bassa qualità, ad esempio i formati GIF e JPEG. I protocolli HyperText Transfer Protocol (HTTP) e HyperText Markup Language (HTML) sono stati alla base del funzionamento del *www* ed hanno consentito l'invio dei contenuti *online*, aumentando l'interattività, anche se limitata agli attuali standard delle applicazioni grafiche convenzionali. Nel caso dei dati georeferenziati, lo standard base della diffusione è la WebMap. Secondo Ramos (2005), a partire dal concetto di ipertesto, sono comparse le ipermappe, definite come mappe digitali interattive, che permettono all'utente di accedere ad una serie di informazioni georeferenziate per mezzo dei *links*. Si parte da una "mappa indice", che permette la consultazione a differenti scale ed a diversi gruppi di informazioni. La costante evoluzione delle tecnologie ha permesso la

por todo mundo. Suas atividades iniciaram com a dissipação de documentos contendo textos e algumas imagens de baixo padrão de qualidade, como as GIF e JPEG. O protocolo HyperText Transfer Protocol (HTTP) e o HyperText Markup Language (HTML) foram base do funcionamento e permitiram o envio de conteúdos *online*, aumentando a interatividade, embora bem limitada aos atuais padrões das aplicações gráficas convencionais. A forma mais básica da disseminação, em se tratando de dados geoespaciais, são os WebMaps. Segundo Ramos (2005), a partir do conceito de hipertexto, surgiram os hipermapas, definidos como mapas digitais interativos, que possibilitam ao usuário acessar uma série de informações georreferenciadas por meio dos *links*. Parte-se de um mapa índice, que permite consultas a diferentes escalas e diferentes conjuntos de informações. A constante evolução das tecnologias permitiu a criação das bibliotecas digitais para a publicação de dados. As bibliotecas digitais de informações geográficas são centros de dados geográficos que fornecem infra-estrutura para a criação, estruturação, armazenamento, processamento, recuperação e distribuição dos dados geográficos (Câmara et al.,

creazione delle biblioteche digitali per la pubblicazione dei dati. Le biblioteche digitali di informazioni geografiche sono centri di dati geografici che forniscono l'infrastruttura per la creazione, la ristrutturazione, l'immagazzinamento, l'elaborazione, il recupero e la distribuzione dei dati geografici (Câmara et al., 1996). Si può dire che il WebGis ed i portali già fanno parte di questo tipo di servizio.

I miglioramenti tecnologici hanno generato una nuova cartografia nella quale i prodotti sono organizzati più velocemente e l'interazione è praticamente in tempo reale. Inizia così il periodo della cartografia multimediale. I concetti di multimediale interattivo e di ipermedia sono stati introdotti per riferirsi alla combinazione di media con la struttura dei links interattivi. L'enfasi cambia e passa dallo "statico" al "dinamico". Così, il multimedia diventa l'interfaccia di comunicazione fra chi produce l'informazione e chi la riceve, e l'interazione diviene la chiave per la formazione della conoscenza. *"I sistemi interattivi stanno modificandosi in canali di comunicazione dell'infinita informazione spaziale"* (Rijken, 1996, p.37).

I WebGis allora possono essere intesi come un sistema per la diffusione e la costruzione di cartografie (1996).

Pode-se dizer que os WebGis e os portais já fazem parte desse tipo de serviço. Os avanços tecnológicos resultaram em uma nova cartografia na qual os produtos são organizados mais rapidamente e a interação é quase em tempo real. Inicia-se o período da cartografia multimídia. A concepção da multimídia interativa e hipermídia foi introduzida para referir à mídia combinada com a estrutura de *links* interativos. A ênfase muda de "estático" para "dinâmico". Com isso, a multimídia se tornou a interface de comunicação entre emissor e destinatário da informação, e a interação a chave para a formação do conhecimento. *"Sistemas interativos estão virando caminhos para a comunicação da infundável informação espacial"* (Rijken, 1996, p.37).

Os WebGis então podem ser entendidos como sistema para disponibilização e construção cartográfica utilizando a interface da internet. Ele busca resolver a dificuldade de levar a informação de ponta a ponta, ou seja, decodificar a informação especialista para o usuário final.

Atualmente, a construção do pensamento da geoinformação está centrada na fase de preocupação com a comunicação entre o especialista produtor das

utilizzando l'interfaccia di internet. Esso mira a risolvere la difficoltà di portare l'informazione da punto a punto, ossia, di decodificare l'informazione specialistica per l'utente finale.

Attualmente, la costruzione del pensiero della geoinformazione è centrato nella fase della comunicazione tra lo specialista, che produce le informazioni, e l'utente finale che può, molto spesso, non conoscere bene i concetti cartografici. Infatti, vi è la consapevolezza che la produzione dell'informazione non significa necessariamente la trasmissione della conoscenza, poiché il dato si trasforma in un incremento di conoscenza solo se porta con sé una nuova prospettiva e un nuovo punto di vista. Di conseguenza crescono gli studi sulla forma di visualizzazione e sui modelli di comunicazione volti al dialogo corretto fra i due punti della conoscenza. Con ciò, la modellizzazione della comunicazione diventa un importante strumento per studiare e comprendere come i diversi tipi di utente utilizzino i browsers e come essi decodifichino le informazioni generate nell'ambito della geolaborazione. Così è possibile creare sistemi informativi geografici con interfacce ad alta comunicabilità e usabilità, pronti per essere pubblicati

informações e o usuário final que pode, muitas vezes, não conhecer muito sobre os conceitos cartográficos. Isso se deve ao fato da percepção de que a produção da informação não significa necessariamente a transmissão do conhecimento, uma vez que o dado só se torna um ganho de conhecimento se trazer uma nova perspectiva e um novo olhar. Conseqüentemente crescem os estudos sobre formas de visualização e modelos comunicacionais voltados para o diálogo correto entre as duas pontas do conhecimento. Com isso, a modelagem da comunicação entra como uma importante ferramenta para estudar e compreender como os diversos tipos de usuários utilizam os *browsers* e como eles decodificam as informações geradas no âmbito do geoprocessamento. Com isso, é possível criar sistemas de informação geográfica com interfaces com grande grau de comunicabilidade e usabilidade e prontos para serem publicados na internet.

### **3. MODELOS COMUNICACIONAIS**

Dentro do contexto da cartografia e dos modelos comunicacionais, os mapas se colocam como importantes meios de comunicação para fornecer ao usuário informações sobre fenômenos geográficos desempenhando

in internet.

### **3. MODELLI DI COMUNICAZIONE**

All'interno del contesto della cartografia e dei modelli di comunicazione, le mappe si collocano come importanti mezzi di comunicazione per fornire all'utente informazioni sui fenomeni geografici, svolgendo funzioni di supporto alle decisioni ed alle analisi spaziali. Il ruolo delle mappe va oltre la comunicazione quando esse sono utilizzate come strumenti per l'analisi visiva, nel processo detto di visualizzazione cartografica (International Cartographic Association, 2001). Semplificando, visualizzazione significa utilizzo dei metodi grafici per l'analisi e la rappresentazione dei dati (DiBiasi et al., 1992).

Nell'utilizzo delle mappe come mezzo di comunicazione esistono 3 elementi coinvolti: il cartografo, in qualità di "trasmettitore"; la mappa, in qualità di canale della trasmissione; l'utente finale, in qualità di "ricevitore". Nella comunicazione c'è sempre il rischio del disturbo, del "rumore", se il trasmettitore non usa bene il codice, se il codice non è condiviso da trasmettitore e ricevitore, e se il canale non mantiene adeguatamente il codice. L'interesse sulla

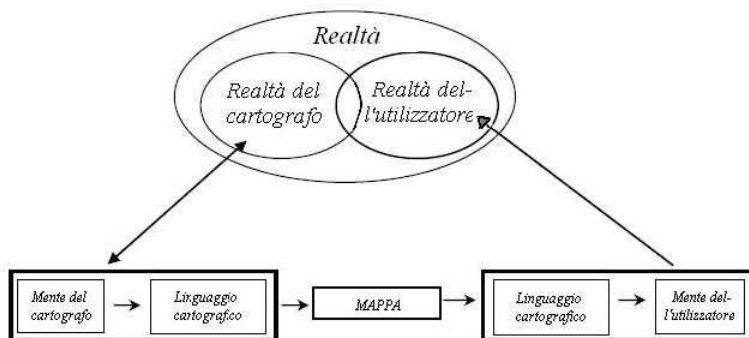
funções de suporte para tomadas de decisões e análises espaciais. O papel dos mapas ultrapassa a comunicação quando são utilizados como instrumentos para análises visuais, no processo denominado de visualização cartográfica (International Cartographic Association, 2001). De maneira simplificada, visualização significa utilização de métodos gráficos para análise e apresentação de dados (DiBiasi et al, 1992).

Na utilização dos mapas como meio de comunicação, existem três elementos envolvidos: o cartógrafo, na qualidade de emissor; o mapa, na qualidade de canal de transmissão; o usuário final na qualidade de receptor. Há sempre o risco de ruído na comunicação se o emissor não usa bem o código, se o código não é compartilhado por emissor e receptor, e se o canal não comporta adequadamente o código.

O interesse sobre a produção de mapas não é recente. Um dos estudos mais importantes foi de Kolacny (1977) que propõe um modelo de comunicação cartográfica mostrado na Figura 1. Esse modelo assume que deve existir uma sobreposição das realidades dos cartógrafos e dos usuários para que estes últimos entendam o significado das representações das

produzione delle mappe non è recente. Uno degli studi più importanti, Kolacny (1977), ha proposto il modello di comunicazione cartografica mostrato in Figura 1.

informações. Para a confecção de um mapa, o cartógrafo observa o mundo sobre a sua ótica e representa no mapa. O usuário extrai uma mensagem desse mapa. Para que o mapa



**Figura 1 – Modello di comunicazione cartografica - Modelo de Comunicação Cartográfica (Kolacny, 1977, p.42)**

Tale modello assume che debba esistere una sovrapposizione delle due realtà, quella dei cartografi e quella degli utenti, affinché questi ultimi capiscano il significato delle rappresentazioni delle informazioni. Per confezionare una mappa, un cartografo osserva il mondo sulla base della sua ottica e lo rappresenta nella mappa. L'utente estrae un messaggio da questa mappa. Affinché la mappa possa comunicare in maniera efficiente, è necessario valutare tutte le condizioni che influenzano questo processo, ossia le necessità dell'utente, il

possa comunicare de forma eficiente, é preciso avaliar todas as condições de influência nesse processo, ou seja, as necessidades do usuário, meio de apresentação, o nível de compreensão dos usuários, a circunstância de uso, a percepção do usuário, possibilidade de técnicas e seus custos além da complexidade da informação. Somado a essas preocupações, o processo envolve duas etapas: aparência e forma do conteúdo e na segunda fase os detalhes, como por exemplo, a simbologia utilizada.

Como o mapa em papel não conseguia atender todos os usuários devido aos diferentes níveis de conhecimento e percepções, inicia-se uma nova etapa no processo de comunicação cartográfica:

mezzo della presentazione, il livello di comprensione degli utenti, le condizioni d'uso, la percezione dell'utente, le potenzialità della tecnica e i suoi costi, oltre che la complessità dell'informazione. In aggiunta a questi problemi, il processo di comunicazione cartografica si sviluppa in due fasi successive: la prima riguarda l'aspetto e la forma del contenuto, la seconda i dettagli come per esempio la simbologia utilizzata.

Dato che la mappa cartacea non riusciva a rispondere a tutti gli utenti, a causa dei differenti livelli di competenza e percezioni, è cominciata una nuova tappa nel processo della comunicazione cartografica:

*“Il computer, che fino a poco tempo fa era utilizzato per automatizzare la produzione delle mappe cartacee, comincia a incorporare una forma di cartografia interattiva e diviene, in questo caso, non solamente un mezzo di produzione di mappe, ma un mezzo di comunicazione.”*

(Peterson, 1995, p. 147)

Le mappe interattive, o che utilizzano alcuni multimedia, sono state intese come una nuova forma di trattamento delle informazioni, tali che le caratteristiche ed i fenomeni del mondo reale siano meglio

*“O computador, que até há pouco tempo era utilizado para automatizar a produção dos mapas em papel, começa a incorporar uma forma de cartografia interativa e passa a ser, neste caso, não somente um meio de produção de mapas, mas um meio de comunicação.”* (Peterson, 1995, p. 147)

Os mapas interativos, ou que utilizam alguma multimídia, foram entendidos como uma nova forma de manipular as informações, de forma que as características e fenômenos de mundo real fossem melhores percebidas:

*“Mapas em papel somente podem representar um mundo de forma estática e imutável, as representações mentais que são derivadas a partir dele delimitam as interações do usuário com a realidade.”* (Peterson, op.cit., p.20)

À medida que o usuário pode alterar o mapa para adequá-lo à sua percepção do mundo, o mapa deixa de ser um elemento estático e passa a ser uma *Obra Aberta*, transformando-se em uma apresentação interativa e controlada pelo usuário. O conceito de *Obra Aberta* é proposto por Humberto Eco (1962), grande linguista italiano e importante autor dos



percepiti.

*“Le mappe cartacee  
possono solamente  
rappresentare un mondo  
in forma statica e  
immutabile, le  
rappresentazioni mentali  
che ne derivano  
delimitano le interazioni  
dell’utente con la realtà.”*  
(Peterson, op.cit., p.20)

Nel momento in cui l’utente può modificare la mappa per adeguarla alla sua percezione del mondo, la mappa cessa di essere un elemento statico e diventa un’*Opera Aperta*, trasformandosi in una presentazione interattiva e controllata dall’utente. Il concetto di *Opera Aperta* è stato proposto da Umberto Eco (1962), grande linguista italiano e importante autore di studi di Semiotica, già professore dell’Università di Bologna. L’autore difende l’importanza della partecipazione interpretativa da parte dei lettori (nel nostro caso gli utenti della cartografia) e il completamento del senso che i lettori fanno dell’opera secondo il contesto all’interno del quale essi si inseriscono.

Peterson ha quindi proposto un nuovo modello di comunicazione cartografica in cui l’utente partecipa al controllo del processo di comunicazione, non più nelle sole mani del cartografo. In

estudos de Semiótica, que foi professor da Universidade de Bologna. O autor defende a importância da participação interpretativa por parte dos leitores (no nosso caso usuários de cartografia), o preenchimento de sentido que os leitores fazem da obra segundo o contexto em que se inserem.

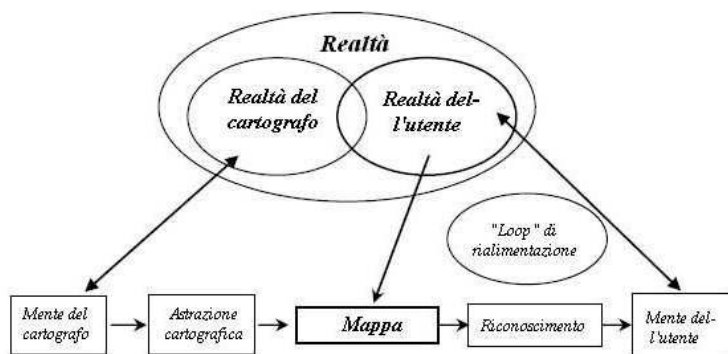
Peterson apresenta a proposta de um novo modelo de comunicação cartográfica onde o controle do processo de comunicação tem a participação do usuário e não está mais só nas mãos do cartógrafo. Nesse modelo existe um ambiente para a utilização do mapa preparado pelo cartógrafo, bem como as bases e camadas de visualização, mas é o usuário quem decide como e quais informações serão apresentadas. (Figura 2).

Um grande esforço tem sido feito para o desenvolvimento de aplicativos para mapeamento interativo. Essas pesquisas tiveram início em 1979 como o sistema DIDS (Domestic Informations Display System) e vêm aumentando até hoje com a criação de sistemas como o *i3geo* que pode ser incorporado na classe dos sistemas abertos por terem o código fonte à disposição dos desenvolvedores para darem início ao processo de customização dos dados. Esse

questo modello esiste un ambiente per l'utilizzo della mappa preparato dal cartografo, oltre alle basi e ai livelli di visualizzazione; inoltre è l'utente che decide come e quali informazioni devono essere rappresentate (Figura 2).

é um sistema aberto tanto para o cartógrafo quanto para o usuário:

*“Talvez a mudança mais importante na prática do mapeamento interativo, nos últimos dez anos, seja o surgimento do “usuário-produtor” de mapas.”*



**Figura 2- Modello di Comunicazione Cartografica per le mappe interattive - *Modelo de Comunicação Cartográfica para mapas interativos* (Peterson, 1995, p 249).**

Un grande sforzo è stato fatto per sviluppare degli applicativi di cartografia interattiva. Queste ricerche hanno avuto inizio nel 1979 con il sistema DIDS (Domestic Informations Display System) e sono andate aumentando fino ad oggi, con la creazione di sistemi come *i3geo*, un sistema che può essere incluso nella classe dei sistemi aperti, perché il codice sorgente è a disposizione degli sviluppatori per consentire il processo di personalizzazione dei dati.

(Fairbairn, 1994, p 11).

Com base nessa visualização dinâmica e interação cartógrafo e usuário, segundo Cowen (1990), há quatro fases marcantes na construção do pensamento da geoinformação: a modelagem dos processos, o desenvolvimento de aplicações, a ênfase em ferramentas e os interesses na base de dados. Acrescenta-se a estas quatro etapas uma quinta, surgida da preocupação com o diálogo entre os produtos gerados pelo geoprocessamento e os seus usuários. Isto justifica a modelagem de dados visando comunicabilidade das

Questo sistema è aperto tanto per il cartografo quanto per l'utente.

*“Forse il cambiamento più importante degli ultimi anni nella pratica della cartografia interattiva, è il sorgere della figura dell'”utente-produttore” di mappe.”* (Fairbairn, 1994, p 11).

Sulla base di questa visualizzazione dinamica e dell'interazione cartografo-utente, secondo Cowen (1990) si hanno 4 fasi principali nella costruzione del pensiero della geoinformazione: la modellazione dei processi, lo sviluppo delle applicazioni, l'importanza degli strumenti e gli interessi nella base dei dati. Occorre aggiungere un quinto passaggio, sorto dalla necessità di dialogo tra i prodotti di geolaborazione e i loro utenti. Questo giustifica un modello di dati che tenga conto della comunicabilità delle informazioni.

In questo modo la nuova comunicazione cartografica va incontro ai concetti di *Opera Aperta*, visto che può essere intesa come un modello di possibilità di comunicazione, che non si esaurisce mai totalmente. Secondo Erwin Panofsky (1955, p.29) le informazioni contenute in una comunicazione non sono un dato fisso e deciso, ma sono una proposta di significato, nel senso che l'interpretazione

informazioni.

Com isso, a nova comunicação cartográfica vai ao encontro aos conceitos da *Obra Aberta*, já que pode ser entendida como um modelo de possibilidades comunicacionais que nunca se esgota totalmente. Para Erwin Panofsky (1955, p.29) as informações emitidas em uma comunicação não são como um dado fixo e resolvido, e sim como uma proposta de significação no sentido de que a interpretação se dará por cada um de maneiras diferentes. Sintetizando, o emissor da informação produz uma forma comunicacional acabada em si e deseja que ela seja usufruída e compreendida da forma como a produziu. Porém, a reação a estímulos e entendimento das relações, trás uma situação existencial concreta, uma sensibilidade condicionada a determinados gostos, vivências, experiências que permitem que a compreensão da informação seja verificada segundo uma perspectiva particularmente individual. Em tese, a forma final da comunicação pode ser compreendida segundo múltiplas perspectivas sem deixar de ser ela mesma.

Dentro da *Obra Aberta*, o código não é oculto, ou seja, permite a continuidade da construção por outras pessoas que queiram incorporar ao projeto. Bons exemplos são os

verrà data da ciascuno in maniera differente. Riassumendo, il trasmettitore dell'informazione produce una forma comunicazionale compiuta in sé e desidera che essa venga usata e compresa nella forma in cui l'ha prodotta. Tuttavia, la reazione agli stimoli e la comprensione delle relazioni, dietro una situazione esistenziale concreta, una sensibilità condizionata a determinati gusti, modi di vivere, esperienze, consentono che la comprensione delle informazioni sia verificata secondo una prospettiva particolarmente individuale. In sintesi, la forma finale della comunicazione può essere compresa secondo molteplici prospettive senza cessare però di essere la stessa.

All'interno dell'*Opera Aperta*, un codice non è segreto, ossia, permette la continuità della costruzione da parte di altre persone che desiderino unirsi al progetto. Buoni esempi sono i software liberi disponibili in internet per la creazione di WebGis, come nel caso citato di *i3geo*. Questo software fornisce i codici aperti affinché l'utente utilizzi i dati creati fino a quel momento e prosegua il lavoro a partire da un determinato punto, potendo creare un nuovo modello di comunicazione e di disponibilizzazione dei dati.

software liberi disponibili in internet per la creazione di WebGis, come è il caso citato di *i3geo*. Esso software fornisce i codici aperti per cui un utente utilizzi i dati creati fino al momento e prosegua il lavoro a partire da un determinato punto potendo creare un nuovo modello di comunicazione e disponibilizzazione dei dati.

#### **4. COMUNICAZIONE CARTOGRAFICA E CARTOGRAFIA MULTIMEDIA**

Con la rivoluzione elettronica nella era dell'informazione permettendo la manipolazione di grandi quantità di dati, somati al aumento dei problemi ambientali di crescente complessità, e di fronte alla necessità di dati per conoscere e gestire queste questioni ambientali, ha avuto una grande diffusione la cartografia. Con un pubblico sempre maggiore e variato quanto al livello di conoscenza della scienza, iniziò un processo di preoccupazione con il trattamento delle informazioni grafiche per garantire la corretta interpretazione delle informazioni osservando le proprietà inerenti alla percezione visiva.

A lungo la storia più recente della cartografia ha visto sviluppati studi correlati al trattamento grafico dell'informazione spaziale, con l'obiettivo di ridurre gli

#### 4. COMUNICAZIONE CARTOGRAFICA E CARTOGRAFIA MULTIMEDIALE

Con la rivoluzione elettronica nell'era dell'informazione, che permette la gestione di grandi quantità di dati, e con l'aumento dei problemi ambientali di crescente complessità, data la necessità di dati per conoscere e gestire le questioni ambientali, c'è stata una grande diffusione della cartografia. Con un pubblico sempre maggiore e vario dal punto di vista della competenza scientifica, è iniziato un processo di attenzione al trattamento delle informazioni grafiche, volto a garantire la corretta interpretazione delle informazioni sulla base delle proprietà inerenti alla percezione visuale.

Nel corso della storia più recente della cartografia sono stati sviluppati degli studi relativi al trattamento grafico dell'informazione spaziale, con l'obiettivo di ridurre il "rumore" nella comunicazione tra il redattore grafico e l'utente. Tra i concetti proposti, uno dei più importanti è lo studio della relazione tra gli elementi che compongono l'espressione grafica, soprattutto lo studio delle relazioni tra le parti della composizione di un sistema. Questo concetto per il quale "il

rumore di comunicazione tra redattore grafico e l'utente. Entre os conceitos propostos, um dos mais importantes é o estudo da relação entre os elementos componentes da expressão gráfica, sobretudo o estudo das relações entre as partes de composição de um sistema. Este conceito de que "o todo é mais do que a soma das partes" é explicado por Moura (2006, p. 4):

*"Isto equivale a dizer que "A + B" não é simplesmente "(A+B)", mas sim um terceiro elemento "C" que possui características próprias. Na cartografia isto está relacionado à justaposição dos muitos elementos, pois caso não seja estudada a relação de hierarquia entre os componentes, haverá ruído na comunicação."*

Em um contexto mais geral, pode-se perceber que a comunicação visual estudada por todas essas teorias está intimamente ligada à percepção visual gerando o que podemos chamar de visualização. O termo visualização significa construir uma imagem visual na mente humana, e isto é mais do que uma representação gráfica de dados ou conceitos. Card (1999, p.21) define de forma mais específica, a visualização como sendo "o uso de representações visuais de

tutto è più che la somma delle parti” è spiegato da Moura (2006, p. 4):

*“Questo equivale a dire che  $A + B$  non è semplicemente  $(A+B)$ , ma c'è un terzo elemento  $C$  che possiede caratteristiche proprie. Nella cartografia ciò va posto in relazione alla giustapposizione di molti elementi, per cui nel caso non sia nota la relazione gerarchica fra i diversi componenti, si avrà un rumore nella comunicazione.”*

In un contesto più generale, si può comprendere come la comunicazione visiva studiata in tutte queste teorie sia strettamente legata alla percezione visiva che stiamo gestendo, e che possiamo chiamare visualizzazione. Il termine visualizzazione significa costruire un'immagine visiva nella mente umana e ciò è più che una rappresentazione grafica di dati o di concetti. Card (1999, p.21) definisce in maniera più specifica la visualizzazione come *“l'uso delle rappresentazioni viive dei dati astratti, supportata dal computer e dall'interazione per ampliare la conoscenza”*.

In questo concetto, la visualizzazione è considerata come un complemento alla comunicazione. Fino a questo momento, la comunicazione

dados abstratos, suportadas por computador e interativas para ampliar a cognição”.

Nessa concepção, a visualização é considerada um complemento da comunicação. Até nesse momento, a pesquisa da comunicação cartográfica evidencia o uso de mapas estáticos tendo como foco o consumo público enfatizando extração de parte específicas da informação. Já os estudos atuais dentro da cartografia buscam associar ferramentas multimídias aos produtos cartográficos para gerar visualizações que atendam a exploração e análise dos dados.

As inovações trazidas pela visualização cartográfica exigem que algumas novas pesquisas sejam realizadas para que novas técnicas computacionais sejam aplicadas dentro do contexto das geoinformações. Programas computacionais para cartografia permitem que o usuário interaja desde a seleção de características até a definição de simbologia a ser aplicada na visualização do mapa, trazendo, com isso, o conceito de *Obra Aberta* e um novo conceito dentro dos modelos comunicacionais cartográficos.

A multimídia deu suporte à consolidação desse novo modelo comunicacional. Ela é a integração de múltiplas formas de representação disponibilizadas pelo

cartografica evidenzia l'uso delle mappe statiche, mirate ad un consumo pubblico ed enfatizzando l'estrazione di parti specifiche di informazione. Già adesso gli studi cartografici mirano ad associare gli strumenti multimediali ai prodotti cartografici per generare delle visualizzazioni che rispondano all'esigenza di esplorare e analizzare i dati.

Le innovazioni apportate dalla visualizzazione cartografica esigono che siano realizzate alcune nuove ricerche affinché nuove tecniche elaborative siano applicate all'interno del contesto delle geoinformazioni. Programmi di elaborazione cartografica permettono all'utente di interagire in ogni fase, dalla selezione delle caratteristiche fino alla definizione della simbologia che dovrà essere applicata nella visualizzazione della mappa. Si importa, così, il concetto di *Opera Aperta* ed un nuovo concetto all'interno dei due modelli di comunicazione cartografica.

Il multimediale ha supportato il consolidamento di questo nuovo modello comunicazionale. Esso è l'integrazione di molteplici forme di rappresentazione rese disponibili dal computer ed è il responsabile della creazione del concetto di interattività. È stata l'interattività che ha che

computador e é a responsável pela criação do conceito da interatividade. Foi a interatividade que permitiu que a comunicação fosse feita de forma aberta e dinâmica conforme o usuário. A multimídia e interação resolveram o problema de restrição dos mapas a uma única percepção, permitindo aos usuários testarem métodos representativos mais significativos segundo a sua percepção do mundo e de acordo com suas velocidades de compreensão. A *world wide web*, por sua vez, mudou a forma como os mapas são distribuídos e usados além de ter um potencial de melhora de qualidade desses mapas como uma forma de comunicação. Hoje existem milhões de pessoas conectadas a web que estão procurando por todos os tipos de informação. Com tudo isso, a cartografia multimídia é o novo momento no processo evolutivo da cartografia que veio no intuito de trabalhar as questões de visualização e disseminação da ciência unindo a internet com conceitos de interatividade.

## 5. INTERFACE E INTERAÇÃO

Segundo Freitas (2005), o conceito de interface se expressa pela presença de uma ou mais ferramentas para o uso e movimentação de qualquer sistema de informações, seja

consentito alla comunicazione di essere fatta in forma aperta e dinamica, secondo l'utente. Il multimediale e l'interazione hanno risolto il problema della limitazione delle mappe ad un'unica percezione, permettendo agli utenti di testare modalità di rappresentazione più significative in funzione della propria percezione del mondo e delle proprie velocità di comprensione. Il *world wide web*, a sua volta, ha cambiato la forma in cui le mappe sono distribuite e usate; al di là ad avere un potenziale di miglioramento della qualità di tali mappe come forma di comunicazione. Oggi esistono milioni di persone connesse al web alla ricerca di qualunque tipo di informazione. In questo quadro, la cartografia multimediale è la nuova fase nel processo evolutivo della cartografia, a cui si è arrivati nell'intuito di lavorare sulle questioni di visualizzazione e diffusione della scienza, coniugando internet coi concetti di interattività.

## 5. INTERFACCIA E INTERAZIONE

Secondo Freitas (2005), il concetto di interfaccia si esprime per la presenza di uno o più strumenti per usare e movimentare qualunque sistema di informazioni, sia materiale sia virtuale.

ele material, seja ele virtual.

Segundo Leite (2000) considera-se que uma interface homem-máquina é a parte de um artefato que permite a um usuário controlar e avaliar o funcionamento deste através de dispositivos sensíveis às suas ações e capazes de estimular sua percepção. No processo de interação usuário-sistema a interface é o combinado de software e hardware necessário para viabilizar e facilitar os processos de comunicação entre o usuário e a aplicação. O projetista de interface deve conhecer o funcionamento da atividade cognitiva do usuário para projetar interfaces efetivas e fáceis de usar (Eberts, 1994 apud Lucena, 1998).

*“A interface de usuário deve ser entendida como sendo a parte de um sistema computacional com a qual uma pessoa entra em contato - física, perceptiva ou conceitualmente.”*  
(Moran, 1981, p.7).

A interação é um processo de ação exercida pelo usuário no sistema e as interpretações do mesmo sobre as respostas oferecidas pela interface desse mesmo sistema. Um dos principais requisitos de uma interface é que ela seja comunicativa e de fácil usabilidade. Quanto mais a interface guiar o passo-a-passo do usuário, principalmente aquele inexperiente, mais



Secondo Leite (2000) si considera che un'interfaccia uomo-macchina è la parte di un prodotto che permette ad un utente di controllarne e valutarne il funzionamento attraverso dispositivi sensibili alle sue azioni e capaci di stimolare la sua percezione. Nel processo di interazione utente-sistema, l'interfaccia è un'unione di software e hardware, necessaria per rendere possibili e facilitare i processi di comunicazione tra utente e applicazione. Il progettista dell'interfaccia deve conoscere il funzionamento dell'attività cognitiva dell'utente per progettare interfacce efficaci e facili da usare (Eberts, 1994 apud Lucena, 1998).

*“L'interfaccia-utente deve essere intesa come parte di un sistema elaborativo con cui una persona entra in contatto fisico, percettivo o concettualmente.”*  
(Moran, 1981, p.7).

L'interazione è un processo caratterizzato da un'azione esercitata dall'utente nel sistema e dall'interpretazione delle risposte offerte dall'interfaccia del sistema stesso. Uno dei principali requisiti di un'interfaccia è che sia comunicativa e di facile utilizzo. Quanto più un'interfaccia guida passo per passo l'utente, soprattutto quello inesperto, tanto più

efficaz ela é. Geralmente, projetar uma interface é um trabalho longo e com várias etapas. Além de todo trabalho de conceituação, operacionalização e implantação, é imprescindível que se faça a validação do sistema com testes de usabilidade com diferentes tipos de usuários.

As interfaces devem ser intuitivas. O uso de imagens é um ponto positivo. Ele permite uma facilidade no aprendizado. A redundância texto e imagem é a composição ideal. Além de a ferramenta possuir o nome, se ela ainda possui um desenho a fixação do significado para o usuário será mais rápida.

Segundo o Common Front Group (1995), projetar uma interface é uma combinação de arte e ciência. Além disso, necessita de se apoiar em aspectos da cognição para que sua eficiência seja plena. Outro fator importante no projeto de interfaces é assegurar a consistência da aplicação com o uso de ícones, nome das funções, localização de botões de diferentes janelas sempre da mesma forma, etc. Alguns dos elementos importantes na composição de uma interface são: comunicabilidade e interatividade; navegabilidade e usabilidade; acessibilidade; e aplicabilidade.

essa è efficace. Generalmente, progettare un'interfaccia è un lavoro lungo e con varie fasi. Oltre a tutto il lavoro di concettualizzazione, sviluppo e implementazione, è imprescindibile che si faccia una validazione del sistema con dei test di usabilità su differenti tipi di utente.

Le interfacce devono essere intuitive. L'uso delle immagini è un fattore positivo: esse permettono una maggior facilità di apprendimento. La ridondanza di testo e immagini è la composizione ideale. Se lo strumento applicativo oltre ad avere un nome possiede un disegno, l'utilizzatore ne fissa il significato più rapidamente.

Secondo il Common Front Group (1995), progettare un'interfaccia è una combinazione di arte e scienza. Oltre a ciò, affinché la sua efficienza sia piena è necessario considerare gli aspetti della cognizione. Un altro fattore importante da considerare quando si progettano le interfacce è assicurare la consistenza dell'applicazione con l'uso delle icone, il nome delle funzioni, la localizzazione dei pulsanti delle differenti finestre sempre della stessa forma, etc. Alcuni degli elementi importanti nella composizione di un'interfaccia sono: comunicabilità e interattività, navigabilità e usabilità, accessibilità e applicabilità.

## **5.1. Comunicabilidade /Interatividade**

O conceito de comunicabilidade (Souza, 2005) refere-se ao correto diálogo, através das interfaces, a mensagem do designer sobre o que é o sistema (que pode ser uma página da internet, um programa de computador, um video-game ou a interface do telefone celular), além de deixar claro para quem serve esse sistema, para quem se destina, como funciona, etc. A hipótese subjacente ao conceito de comunicabilidade é que, se um usuário entende as decisões que o projetista tomou ao construir a interface, aumentam suas chances de fazer um bom uso daquele sistema.

A interatividade, então, se torna um fator essencial para que exista o correto diálogo do sistema com o usuário. Segundo Makedon (1994, p.41) é a interatividade que *“coloca o usuário no controle do sistema, manipulando as diversas mídias nos diferentes modos de interação”*. E que permitirá a cooperatividade dos múltiplos autores.

## **5.2. Navegabilidade e Usabilidade**

É comum, ao se tratar do conceito usabilidade, o uso do termo “fácil de usar”. Também é freqüente perceber que “fácil de usar” rapidamente se confunde com “menos cliques para chegar a uma resposta

### **5.1. Comunicabilità /Interattività**

Il concetto di comunicabilità (Souza, 2005) si riferisce al corretto dialogo attraverso le interfacce, si riferisce al messaggio del progettista riguardo a ciò che è il sistema (che può essere una pagina internet, un programma di calcolo, un video-game o l'interfaccia del telefono cellulare), oltre a chiarire a cosa serva il sistema, a chi è destinato, come funzioni, etc. L'ipotesi alla base del concetto di comunicabilità è che, se l'utente capisce le decisioni che il progettista ha preso per costruire l'interfaccia, aumentano le sue possibilità di fare un buon uso di tale sistema.

L'interattività, pertanto, diviene un fattore essenziale affinché esista un corretto dialogo fra sistema ed utente. Secondo Makedon (1994, p.41) è l'interattività che *“consente all'utente di controllare il sistema, manipolando i diversi strumenti nei differenti modi di interazione”*. E che permetterà la cooperazione di molteplici autori.

### **5.2. Navigabilità e Usabilità**

È comune, nel trattare il concetto di usabilità, l'uso del termine “facile da usare”. Inoltre è frequente che “facile da usare” si confonda rapidamente con “meno click per ottenere la risposta

esperada”. Resumendo, as pessoas confundem arquitetura de informação com usabilidade.

Usabilidade é o termo técnico usado para descrever a qualidade de uso de uma interface (Bevan, 1995). Essa é uma qualidade importante, pois interfaces com usabilidade aumentam a produtividade dos usuários, diminuem a ocorrência e erros (ou a sua gravidade) e, não menos importantes, contribuem para a satisfação dos usuários. A satisfação é um critério importante, embora não o único, para determinação da qualidade global da aplicação. De um modo geral, este é um critério final para que o usuário adquira um software ou visite regularmente um site.

Navegabilidade e usabilidade fazem parte do mesmo conceito, qual seja: o grau de facilidade que o usuário possa ter no contato, manutenção do interesse, navegação e uso da hipermídia, indo desde o uso dos ícones, e dos menus até a busca por palavras-chave.

### **5.3. Acessibilidade**

Acessibilidade é o termo usado para descrever problemas de usabilidade encontrados por usuários com necessidades especiais como, por exemplo, usuários que têm algum tipo de dificuldade auditiva ou visual.

richiesta". Riassumendo, le persone confondono l'architettura dell'informazione con l'usabilità.

Usabilità è il termine tecnico usato per descrivere la qualità d'uso di un'interfaccia (Bevan, 1998). Essa è una qualità importante, poiché le interfacce con l'usabilità aumentano la produttività degli utenti, diminuiscono la frequenza degli errori (o la loro gravità) e, non meno importante, contribuiscono alla soddisfazione degli utenti. La soddisfazione è un criterio importante, benché non unico, per la determinazione della qualità globale dell'applicazione. In generale, questo è un criterio finale affinché l'utente compri un software o visiti regolarmente un sito.

Navigabilità e usabilità fanno parte dello stesso concetto, quale che sia: il grado di facilità che l'utente può avere nel contatto, il mantenimento dell'interesse, navigazione e uso dell'ipermediale, spaziando dall'uso delle icone e dei menù sino alla ricerca per parole chiave.

### **5.3. Accessibilità**

L'accessibilità è il termine usato per descrivere i problemi di usabilità incontrati dagli utenti con necessità speciali, come per esempio quelle degli utenti che hanno delle

Acessibilidade implica em tornar utilizável a interface por qualquer pessoa, independente de alguma deficiência física, sensorial, cognitiva, condição de trabalho ou barreiras tecnológicas.

Acessibilidade e usabilidade são conceitos fortemente relacionados, pois ambos buscam melhorar a satisfação e eficiência de uso da interface. Contudo, acessibilidade diz respeito a uma população muito mais ampla e genérica.

### **5.4. Aplicabilidade**

A aplicabilidade de um sistema também determina sua qualidade de uso. Este conceito está relacionado com a utilidade deste sistema em uma variedade de situações e problemas (Fischer, 1998). Este conceito permite determinar o quanto o sistema é útil para o contexto em que foi projetado e em que outros contextos o sistema pode ser útil.

### **5.5 Testes de Usabilidade**

O teste de usabilidade é executado em laboratório e tem por objetivo permitir que se apreciem os fatores que caracterizam a usabilidade de um software, ou seja, facilidade de aprendizado, facilidade de uso, eficiência de uso e produtividade, satisfação do usuário, flexibilidade, utilidade e segurança no uso

difficoltà uditive o visuali. L'accessibilità implica rendere utilizzabile l'interfaccia per qualunque persona, indipendentemente da qualsiasi deficienza fisica, sensoriale, cognitiva, da condizioni di lavoro o barriere tecnologiche.

L'accessibilità e l'usabilità sono concetti fortemente correlati, dato che entrambi mirano a migliorare la soddisfazione e l'efficienza d'uso dell'interfaccia. Comunque, l'accessibilità si rivolge ad una popolazione molto più ampia e generica.

#### **5.4. Applicabilità**

Anche l'applicabilità di un sistema determina la sua qualità d'uso. Questo concetto è legato all'utilità di tale sistema in una varietà di problemi e situazioni (Fischer, 1998) e permette di determinare quanto il sistema sia utile per il contesto nel quale è stato progettato e in quali altri contesti possa essere utile.

#### **5.5 Test di Usabilità**

Il test di usabilità è eseguito in laboratorio ed ha come obiettivo permettere che si valutino i fattori che caratterizzano l'utilizzabilità di un software, ossia, facilità di apprendimento, facilità d'uso, efficienza d'uso e produttività, soddisfazione dell'utente, flessibilità, utilità e sicurezza d'uso (Preece et al., 2002).

(Preece et al., 2002). Attraverso i test si procura di quantificare il rendimento dell'utente. In questa misurazione, si tenta di quantificare la misurazione del tempo e delle azioni dell'utente, come per esempio, tempo impiegato per eseguire un compito, numero di errori eseguiti, percentuale di utenti a riuscire a recuperare da un errore, o percentuale di utenti a sentirsi soddisfatti con l'applicazione, o a preferirla a un'altra sistema che viene utilizzato.

Nella analisi dei risultati raccolti si identificano i problemi secondo la loro gravità. Il risultato dell'analisi permette di individuare le carenze dell'applicativo in relazione all'interfaccia e all'uso dello stesso, essendo importante per correggere i difetti gravi dell'applicazione.

Le prove sono:

- Problemi catastrofici: impediscono che l'utente termini l'esecuzione di un compito.
- Problemi seri: ostacolano l'esecuzione del compito.
- Problemi cosmetici: ritardano l'esecuzione o irritano l'utente.

#### **5.6. Teste de comunicabilidade**

Assim como os testes de usabilidade, os testes de comunicabilidade também devem ser executados em laboratório. Todavia, o seu objetivo é avaliar a qualidade

Attraverso il test si cerca di quantificare le prestazioni dell'utente. In questa misurazione si tenta di quantificare la misura del tempo e le azioni dell'utente, come per esempio, il tempo speso per eseguire un compito, il numero di errori effettuati, la percentuale di utenti che riescono a correggere gli errori e la percentuale degli utenti che si dicono soddisfatti dell'applicazione o che preferiscono l'applicazione ad un altro sistema utilizzato.

L'analisi dei risultati raccolti identifica i problemi secondo la loro gravità. Il risultato dell'analisi permette di riscontrare le carenze dell'applicazione relative all'interfaccia e al suo uso; si tratta di un'informazione fondamentale per potere eliminare i difetti gravi dell'applicazione.

I test di usabilità devono potere mettere in luce:

- problemi "catastrofici", che impediscono all'utente di realizzare un lavoro;
- problemi "seri", che ostacolano l'esecuzione del lavoro;
- problemi "cosmetici", che rallentano l'esecuzione o irritano l'utente.

## 5.6. Test di comunicabilità

Così come i test di usabilità, anche i test di

da comunicazione entre o projetista e o usuário: *"O teste de comunicabilidade é analisado através de um pequeno conjunto de expressões que o usuário potencialmente pode usar para se exprimir em uma situação onde acontece uma ruptura na sua comunicação com o sistema"*. (Prates et al., 2000, p. 34).

No caso de testes de comunicabilidade, a gravação da interação do usuário com o sistema durante o teste deve ser feita, pois a análise será feita principalmente a partir deste registro. Além das anotações do observador durante o teste, as gravações em vídeo também podem ser feitas para enriquecer os dados, e permitir a verificação da reação do usuário relativa a algum trecho da interação observado.

A análise é dividida em três etapas, segundo Prates et al., 2003: Etiquetagem, Interpretação e Perfil Semiótico, descritas as seguir.

**5.6.1. Etiquetagem:** Consiste em assistir às gravações da interação e atribuir a expressão apropriada nos momentos de ruptura da interação. Na etiquetagem, o avaliador assiste as gravações feitas da interação do usuário com a aplicação. Ao observar uma ruptura da interação o avaliador associa à sequência de ações problemática uma das

comunicabilità devono essere eseguiti in laboratorio. Peraltro, il loro obiettivo è valutare la qualità della comunicazione tra il progettista e l'utente: “*Il test di comunicabilità è analizzato attraverso un piccolo insieme di espressioni che l'utente potenzialmente può usare per esprimersi in una situazione nella quale si abbia un'interruzione della sua comunicazione con il sistema*”. (Prates et al., 2000, p. 34).

Nel caso dei test di comunicabilità occorre effettuare la registrazione dell'interazione dell'utente con il sistema, poiché l'analisi sarà fatta principalmente sulla base di questo record. Oltre alle annotazioni dell'osservatore durante il test, possono essere fatte anche delle registrazioni-video per arricchire i dati e permettere la verifica della reazione dell'utente in qualche fase dell'interazione osservata.

L'analisi è divisa, secondo Prates et al. 2003, nelle seguenti tre fasi: etichettaggio, interpretazione e profilo semiotico.

**5.6.1. Etichettaggio.** Consiste nell'assistere alle registrazioni dell'interazione e attribuire l'espressione appropriata nei momenti di interruzione dell'interazione. Nell'etichettaggio, l'osservatore assiste alle registrazioni fatte

espressioni de comunicabilidade.

Descriveremo alguns conjuntos de expressões, seus significados e algumas ações de interface que caracterizam cada uma delas.

- Cadê? - Ocorre quando o usuário sabe a operação que deseja executar, mas não a encontra de imediato na interface. Um sintoma frequente é abrir e fechar menus e submenus e passar com o cursor de mouse sobre botões, inspecionando diversos elementos de interface sem ativá-los.

- O que fazer? – O usuário não sabe o que fazer e procura se orientar sobre qual é o próximo passo a ser seguido. Os sintomas incluem vagar com o cursor do mouse sobre a tela e inspecionar os menus de forma aleatória ou sequencial.

- O que é isso? – Ocorre quando o usuário não consegue compreender o significado de um elemento da interface. O sintoma principal é quando o usuário deixa o mouse sobre o elemento para ver se ele obtém alguma dica.

- Onde estou? - O usuário efetua operações que são apropriadas para outros contextos, mas não para o contexto atual. Um sintoma típico é desfazer a ação incorreta e mudar em seguida para o contexto desejado.

sull'interazione dell'utente con l'applicazione. Quando osserva un'interruzione

dell'interazione, l'osservatore associa alla sequenza di azioni che ha generato il problema una delle espressioni della comunicabilità. Si descrivono, di seguito, alcuni insiemi di espressioni, i loro significati e alcune azioni dell'interfaccia che caratterizzano ciascuna di esse.

- Dove ? – Avviene quando l'utente conosce l'operazione che vuole eseguire, ma non la trova immediatamente nell'interfaccia. Un sintomo frequente è aprire e chiudere i menu e i sottomenu e passare con il cursore del mouse sui pulsanti, ispezionando i diversi elementi dell'interfaccia senza attivarli.

- Che fare? – L'utente non sa che fare e cerca di orientarsi circa il prossimo passo da eseguire. I sintomi includono il vagare con il cursore del mouse sullo schermo e l'ispezionare il menu in maniera casuale o sequenziale.

- Che cos'è questo? – Si verifica quando l'utente non riesce a comprendere il significato di un elemento dell'interfaccia. Il sintomo principale è quando l'utente lascia il mouse su un elemento per vedere se ottiene qualche suggerimento.

- O que fiz de errado? -

A operação efetuada não produz o resultado esperado, mas o usuário não entende ou não se conforma com o fato. O sintoma típico consiste em o usuário repetir a ação.

- O que houve? - O usuário não percebe ou não entende a resposta dada pelo sistema para a sua ação. Os sintomas típicos incluem repetir a ação, buscar uma forma alternativa de alcançar o resultado esperado ou procurar um help que o auxilie na execução da tarefa.

- Para mim está bom... - Ocorre quando o usuário acha equivocadamente que concluiu uma tarefa com sucesso. O sintoma típico é encerrar a tarefa e indicar na entrevista ou no questionário pós-teste que a tarefa foi realizada com sucesso.

- Desisto. – O usuário não consegue executar determinada função e desiste. O sintoma principal é a interrupção da tarefa prematuramente.

- Vai de outro jeito mesmo! - O usuário não consegue realizar a tarefa da forma como o projetista gostaria que ele o fizesse, e resolve seguir outro caminho, geralmente mais longo ou complicado. Sintoma clássico é a utilização de várias ferramentas e mais tempo na execução da tarefa.



- Dove sono? – L'utente effettua delle operazioni che sono appropriate in altri contesti, ma non per il contesto attuale. Un sintomo tipico è annullare l'azione non corretta per andare successivamente al contesto voluto.

- Che cosa ho fatto di sbagliato? – L'operazione effettuata non produce il risultato atteso, ma l'utente non lo capisce o non si adegua. Un sintomo tipico consiste nel fatto che l'utente ripete l'azione.

- Che cosa è successo? – L'utente non percepisce o non capisce la risposta data dal sistema ad una sua azione. I sintomi tipici includono la ripetizione dell'azione, la ricerca di una forma alternativa per arrivare al risultato atteso o la ricerca di un help che aiuti nell'esecuzione del lavoro.

- Per me va bene... – Avviene quando l'utente, equivocando, pensa che il compito sia stato concluso con successo. Il sintomo tipico è chiudere il compito e indicare nel questionario o nell'intervista post-test che il lavoro è stato realizzato con successo.

- Desisto. – L'utente non riesce ad eseguire una funzione determinata e abbandona il lavoro. Il sintomo principale è l'interruzione prematura del compito. Lo faccio in un altro modo! -

- Socorro! - O usuário não consegue realizar sua tarefa através da exploração da interface. O sintoma é recorrer à documentação ou pedir explicação a outra pessoa.

Para conseguir determinar o conjunto de expressões e ações, é importante observar o usuário e fazer anotações ou mesmo gravar as feições do usuário através de uma *webcam* ou um câmera. É indispensável fazer anotações sobre suas ações no aplicativo para determinar qual o problema na comunicação e conseguir ajustar os ruídos.

**5.6.2. Interpretação:** Consiste em tabular e consolidar a informação obtida, ou seja, as expressões obtidas, associando-as a classificações de problemas de interação ou diretrizes de design. A classificação genérica define os problemas de interação como sendo de navegação, atribuição de significado, percepção, falha de execução da tarefa, e incompreensão ou recusa de *affordance*<sup>1</sup>.

Problemas de falha na execução da tarefa são os mais

---

<sup>1</sup> Termo que se refere às propriedades percebidas e reais de um artefato, em particular as propriedades fundamentais que determinam como este artefato pode ser utilizado (Norman, 1988, p.67).

L'utente non riesce a realizzare il compito nella forma desiderata dal progettista e così decide di seguire un altro percorso, generalmente più lungo e complicato. Il sintomo classico è l'utilizzo di svariati strumenti e il maggior tempo nell'esecuzione del compito.

- Aiuto! – L'utente non riesce a realizzare il suo compito tramite l'esplorazione dell'interfaccia. Il sintomo è il ricorso alla documentazione o la richiesta di spiegazioni ad un'altra persona.

Per arrivare a determinare l'insieme delle espressioni e delle azioni, è importante osservare l'utente e fare delle annotazioni o anche registrare i tratti dell'utente attraverso una *webcam* o una telecamera. È indispensabile fare delle annotazioni sulle sue azioni nell'applicazione per determinare quale sia il problema nella comunicazione e per arrivare ad aggiustare i “rumori”.

**5.6.2. Interpretazione,** Consiste nel tabulare e consolidare l'informazione ottenuta, ovvero le espressioni ottenute, associandole a classificazioni di problemi di interazione o linee guida di design. La classificazione generica definisce i problemi dell'interazione come navigazione, attribuzione di significato, percezione, esecuzione del compito non

graves, uma vez que o usuário não consegue atingir o objetivo que o levou a usar a aplicação. Os de navegação se referem àqueles nos quais os usuários se “perdem” durante a interação com o sistema. Os de atribuição de significado, conforme o nome diz, acontecem quando o usuário não é capaz de atribuir um significado relevante para os signos encontrados na interface. Os de percepção são quando os usuários não conseguem perceber alguma resposta do sistema ou seu estado corrente. No caso do problema de incompreensão de *affordance*, o usuário não consegue entender uma solução oferecida pelo designer, e acaba por executar a tarefa desejada de uma forma mais complicada, que não caracteriza a solução principal do designer. Finalmente, no caso de recusa de *affordance*, o usuário entende a solução principal oferecida, mas escolhe não utilizá-la e em seu lugar utilizar outra forma de interação que julga ser melhor.

**5.6.3. Perfil semiótico:** Consiste em interpretar os resultados do passo anterior, dentro do quadro teórico da semiótica na tentativa de se reconstruir a meta-mensagem sendo transmitida pelo designer ao usuário através da interface. Através da tabulação dos resultados, esse último

riuscita e incomprensioni o rifiuto di *affordance*<sup>2</sup>.

I problemi di esecuzione non riuscita del compito sono i più gravi, dato che l'utente non riesce a raggiungere l'obiettivo che l'ha spinto ad usare l'applicazione. I problemi della navigazione si riferiscono a quelli in cui utenti si perdono durante l'interazione con il sistema. I problemi di attribuzione del significato, come dice il nome, sorgono quando l'utente non è capace di attribuire un significato rilevante ai simboli incontrati sull'interfaccia. I problemi di percezione si hanno quando gli utenti non riescono a percepire alcuna risposta del sistema o il suo stato corrente. Nel caso del problema d'incomprensione dell'*affordance*, l'utente non capisce una soluzione offerta dal designer e finisce con l'eseguire il compito voluto in modo più complicato, che non caratterizza la soluzione principale del designer. Infine, nel caso del rifiuto di *affordance*, l'utente capisce la soluzione principale offerta, ma sceglie di non utilizzarla utilizzando al suo posto passo

---

2 Termine che si riferisce alle proprietà percepite e reali di un prodotto, in particolare le proprietà fondamentali che determinano come questo prodotto possa essere utilizzato (Norman, 1988, p.67).

acrescenta à avaliação problemas identificados na linguagem de interface da aplicação, podendo fazer considerações sobre possíveis premissas de design e conhecimentos táticos utilizados.

### **5.7. Teste de Usabilidade X Teste de Comunicabilidade**

A diferença dos dois testes está na qualidade de uso que eles pretendem propiciar para a interface. Os testes de usabilidade pretendem avaliar a solução do designer quanto às facilidades de manipulação do aplicativo, enquanto o teste de comunicabilidade avalia a comunicação feita sobre essa solução. Para isso, os testes de usabilidade normalmente coletam dados quantitativos e buscam informar designers durante o ciclo de desenvolvimento quais critérios não correspondem ao objetivo almejado para o software. Testes de comunicabilidade, por sua vez, coletam dados qualitativos e têm por objetivo informar designers sobre pontos da sua aplicação que não estão sendo transmitidos com sucesso aos usuários. É importante que se faça os dois testes para conseguir deixar a aplicação funcional no sentido de facilidade de uso e de compreensão comunicacional.

un'altra forma di interazione che egli giudica migliore.

### **5.6.3. Profilo semiotico:**

Consiste nell'interpretare i risultati del passo precedente all'interno del quadro teorico della semiotica, nel tentativo di ricostruire il meta-messaggio trasmesso dal designer all'utente attraverso l'interfaccia. Attraverso la tabulazione dei risultati, quest'ultimo passo aumenta la valutazione dei problemi identificati nel linguaggio dell'interfaccia

dell'applicazione. Si possono così fare delle considerazioni riguardo alle possibili premesse del design ed alle conoscenze tattiche utilizzate.

### **5.7. Test di Usabilità / Test di Comunicabilità**

La differenza fra i due test sta nella qualità d'uso che essi cercano di fornire all'interfaccia. I test di usabilità cercano di valutare la soluzione adottata dal designer relativamente alla facilità di utilizzare l'applicazione, mentre il test di comunicabilità valuta la comunicazione fatta su questa soluzione. Per questo, i test di utilizzabilità normalmente raccolgono dati quantitativi e cercano di informare il designer durante il ciclo di sviluppo su quali criteri non corrispondono all'obiettivo del software. I test

## **6. ROTEIRO METODOLÓGICO PARA A MODELAGEM DE UM WEBGIS.**

Esse trabalho se baseou na aplicação dos princípios de comunicação para a composição de aplicativo de WebGis. Para tanto, segue as etapas metodológicas de organização conceitual, operacional e implantação do sistema propriamente dito.

### **6.1. Nível Conceitual: A Definição do Problema**

A crescente demanda por produtos oriundos do geoprocessamento por diversos tipos de usuários fez com que houvesse uma grande preocupação com a difusão da informação. Inicialmente, os produtos eram feitos de especialistas para especialistas. A divulgação da importância da utilização de mapas para a compreensão dos fenômenos territoriais colocou o geoprocessamento em foco. Surge um novo momento de preocupação não apenas com os métodos de confecção dos mapas e com a preparação das bases a serem utilizadas, mas sim com a forma de dissipação das geoinformações para que elas fossem do domínio público.

Hoje o público em geral utiliza mapas diariamente como meio de aquisição de informações ou como ferramenta de localização. Os

di comunicabilità, d'altra parte, raccolgono dati qualitativi e hanno come obiettivo informare il designer sui punti della sua applicazione che non vengono trasmessi con successo agli utenti. È importante che si facciano questi due test per ottenere un'applicazione funzionale nel senso della facilità d'uso e della comprensione comunicazionale.

## **6. GUIDA METODOLOGICA PER LA MODELLIZZAZIONE DI UN WEBGIS.**

Questo lavoro si è basato sull'applicazione dei principi della comunicazione per la composizione dell'applicativo WebGis. Pertanto, seguono le tappe metodologiche dell'organizzazione concettuale, dello sviluppo e dell'implementazione del sistema propriamente detto.

### **6.1. Livello Concettuale: la definizione del problema**

La crescente domanda da parte di diversi tipi di utenti sui prodotti che provengono dalla geolaborazione ha alimentato una grande attenzione alla diffusione dell'informazione. Inizialmente i prodotti erano fatti dagli specialisti e rivolti agli specialisti. La divulgazione dell'importanza dell'utilizzo delle mappe per la comprensione dei fenomeni

usuários são bombardeados com informações espaciais nas televisões, internet, jornais, revistas. A predominância de usuários leigos combinado com a produção de mapas destinados à interpretação por especialistas foi substituída pela necessidade de elaboração de produtos que seriam inseridos na mídia, na forma de mapas digitais, bases cartográficas e imagens de sensoriamento remoto (Forer, 1993). Perkins (2003, p.95) acrescenta: *"There may well be a requirement to translate data to new media, in order to preserve its utility in the future."*<sup>3</sup>

A multimídia interativa se estabeleceu como um meio no qual os produtos podem ser amplamente utilizados e distribuídos. Novos mapas utilizam recursos de animações, multimídia, hipertextualidade e interatividade. Com a multimídia, os usuários podem desenvolver um produto de forma a atender as suas necessidades pessoais. A multimídia, desenvolvida inicialmente para mídia discreta, como os CDs e disquetes, passou a abranger a

---

3 Tradução: "Há uma exigência na tradução das informações em novas mídias, a fim de preservar sua utilidade no futuro."

ùterritoriali ha portato in primo piano la geoelaborazione. Nasce una nuova attenzione, non più limitata ai metodi di realizzazione delle mappe ed alla strutturazione delle basi di dati da utilizzare; l'attenzione adesso si sposta sulle modalità di diffusione delle geoinformazioni, per farle diventare di dominio pubblico.

Oggi il pubblico usa le mappe quotidianamente come mezzo di acquisizione delle informazioni o come strumento di localizzazione. Gli utenti sono bombardati con informazioni spaziali in televisione, in internet, su giornali e riviste. Ad una fase in cui gli utenti erano generalmente profani e le mappe erano destinate all'interpretazione degli specialisti, è seguita la fase in cui è necessario elaborare dei prodotti da inserire nei media, in forma di mappe digitali, basi cartografiche e immagini telerilevate (Forer, 1993). Perkins (2003, p.95) aggiunge: *"There may well be a requirement to translate data to new media, in order to preserve its utility in the future."*<sup>4</sup>

Il multimediale interattivo si è

distribuição via internet (World Wide Web). A tecnologia na cartografia sempre foi bastante divulgada, mas atualmente ela é mais uma forma de distribuição de mapas em tempo real, desenvolvimento de WebGis, acesso e grandes bancos de dados. A informática democratizou a cartografia. Todas as pessoas com acesso à internet são capazes de fazerem consultas sobre melhores rotas, localização de lugares e acesso a mapas de todos os tipos.

Nosso objetivo em estudos de WebGis é possibilitar a representação espacial de informações de forma que as elas sejam compreensíveis para os diversos tipos de usuários, sendo eles casuais ou com conhecimento especialista. O protótipo também tem o intuito de fornecer para toda a comunidade virtual um espaço de divulgação de dados georreferenciados e uma ferramenta de subsídio para o conhecimento territorial e a tomada de decisões. Para o sistema, o objetivo principal é que ele seja customizado de forma a ficar comunicativo e acessível para diferentes tipos de usuários e, ao mesmo tempo, continue aberto para que cada usuário consiga fazer definições sobre a interface ou características de legenda de acordo com os seus anseios.

No presente trabalho objetivamos publicar exemplos

---

4 Traduzione: "ci potrebbe essere un'esigenza di trasferire i dati nei nuovi media, al fine di preservare la sua utilità nel futuro."

imposto come un mezzo nel quale i prodotti possono essere ampiamente utilizzati e distribuiti. Le nuove mappe fanno ricorso ad animazioni, multimedialità, ipertestualità e interattività. Con il multimediale, gli utenti possono sviluppare un prodotto in forma tale da rispondere alle proprie necessità personali. Il multimediale, sviluppatosi inizialmente per media fisici, come i CD e i dischetti, è passato poi a coprire la distribuzione via Internet (WWW). La tecnologia nella cartografia è stata sempre abbastanza divulgata, ma attualmente essa consiste piuttosto in una forma di distribuzione delle mappe in tempo reale, nello sviluppo di WebGis, nell'accesso a grandi banche dati. L'informatica ha democratizzato la cartografia. Tutte le persone con accesso ad internet sono capaci di fare delle consultazioni riguardo ai migliori percorsi, alla localizzazione dei luoghi ed all'accesso ad ogni tipo di mappe. Il nostro obiettivo negli studi di WebGis è rendere possibile la rappresentazione spaziale delle informazioni in modo tale che esse siano comprensibili ai diversi tipi di utenti, siano essi casuali o con conoscenze specialistiche. Anche il prototipo ha lo scopo di fornire a tutta la comunità virtuale uno spazio di divulgazione dei dati

de WebGis no âmbito do convênio ALFA-FARO. Após a definição de qual aplicativo utilizar e da customização da interface, a etapa cumprida na Universidade de Bologna teve como objetivo fazer a publicação de três exemplos de WebGis relacionados com rochas ornamentais no intuito de dar apoio à gestão da prospecção e extração de rochas ornamentais. A publicação desses três exemplos se destina aos testes de usabilidade, navegabilidade, acessibilidade e comunicabilidade. Esses testes foram realizados via web, através de acessos remotos por diferentes usuários em diferentes locais do mundo, e se colocaram como um fator de importância para a avaliação do grau de aceitabilidade do aplicativo.

## **6.2. Nível Operacional: Desenvolvimento do aplicativo:**

No nível operacional são cumpridos os objetivos propostos no nível conceitual e a partir de técnicas operacionais. Nesse estágio definimos o que os usuários gostariam de ter em um aplicativo de geoprocessamento na internet, quais as características visuais desses elementos para que eles sejam comunicativos, quais são as facilidades e dificuldades para mexer em softwares já

georeferenziati ed uno strumento di ausilio alla conoscenza territoriale ed a supporto alle decisioni. Per il sistema, l'obiettivo principale è che esso sia personalizzato in modo da essere comunicativo e accessibile per differenti tipi di utenti e, allo stesso tempo, che resti aperto affinché ogni utente riesca a realizzare definizioni nell'interfaccia o caratteristiche di legenda secondo i propri desideri.

In questo lavoro ci si è posti l'obiettivo di pubblicare degli esempi di WebGis sviluppati nell'ambito della rete ALFA-FARO. Dopo la scelta dell'applicazione da utilizzare e della personalizzazione dell'interfaccia, la fase di lavoro svolta nell'Università di Bologna ha avuto come obiettivo di sviluppare tre esempi del WebGis legati alle rocce ornamentali, con lo scopo di supportare la gestione della prospezione e della coltivazione delle rocce ornamentali. La pubblicazione di questi tre esempi è mirata ai test di usabilità, navigabilità, accessibilità e comunicabilità. Questi test sono stati realizzati via web, mediante degli accessi remoti da differenti utenti in differenti luoghi del mondo. Si è trattato di un fattore molto importante per la valutazione del grado di accettabilità dell'applicazione.

esistenti no mercado, etc. O procedimento é dividido em três etapas: definição das ferramentas, construção da interface e indicação das análises de interesse para serem contempladas pelo sistema.

**6.2.1. Ferramentas:** Para definir quais as ferramentas seriam necessárias dentro do aplicativo, foram selecionadas vinte e sete pessoas com diferentes habilidades na utilização do computador e da internet para responder a um questionário e fazer alguns testes práticos a fim de avaliar onde existe a dificuldade de manuseio. Nesse contexto, após um estudo com esse grupo, definiram-se quais seriam as ferramentas de uso básico, quais seriam as de uso customizado e qual seria o melhor ícone gráfico para representar as ferramentas. Para as ferramentas de uso básico, ficaram definidos os botões de *zoom*, *pan*, *refresh*, *fit view*, informação. Para as ferramentas interativas, ficaram definidos: medir trecho, medir área, consulta a banco de dados, insere xy, insere gráfico, insere texto, lente, interface com Scielo (*Scientific Electronic Library Online*), interface com Google Earth, modelos 3d, interface com servidores de fotos e impressão de mapas temáticos.



## **6.2. Livello Operativo: sviluppo dell'applicazione**

A livello operativo si raggiungono gli obiettivi proposti a livello concettuale ed a partire da tecniche operative. In questa fase di lavoro abbiamo definito ciò che gli utenti vorrebbero ottenere da un'applicazione di geolaborazione in internet, quali sono le caratteristiche visive di questi elementi affinché essi siano comunicativi, quali sono le facilità e difficoltà ad operare con softwares già esistenti nel mercato, etc. La procedura è divisa in tre fasi: i) la definizione degli strumenti, ii) la costruzione dell'interfaccia e iii) l'indicazione delle analisi di interesse da includere nel sistema.

**6.2.1. Strumenti:** Per definire quali strumenti siano necessari all'interno dell'applicazione, sono state selezionate ventisette persone, con differenti competenze nell'utilizzo del computer e di internet, per rispondere ad un questionario e fare qualche test pratico al fine di valutare dove risiedano le difficoltà di manipolazione. In tale contesto, dopo uno studio con questo gruppo, sono stati identificati gli strumenti di base, quelli d'uso personalizzato e la miglior icona grafica per rappresentare tali strumenti. Per gli strumenti

**6.2.2. Interface:** Para definir como deveria ser a interface, também foi selecionado um grupo de trinta pessoas com diferentes conhecimentos sobre o uso do computador e da internet. Eles discutiram tudo relacionado ao layout como, por exemplo, onde deveriam ficar localizado as ferramentas, onde deveriam estar localizado os menus, quais as características da legenda deveriam ser abertas, ou seja, quais dessas feições o usuário poderia customizar segundo seus interesses.

**6.2.3. Análises:** Nessa etapa um grupo de quatro especialistas responderam um questionário dizendo quais seriam as análises territoriais mínimas. Foram citadas as análises territoriais de área de influência tais como centróides, buffer, agrupamentos, dissolve, além de distância entre pontos e consulta por atributo espacial.

## **7. ESTUDOS DE CASO NO ÂMBITO DO PROJETO ALFA-FARO BRASIL E ITÁLIA**

Decidiu-se, como parte das atividades do projeto Alfa-FARO, pela organização de três estudos de caso, sendo um deles italiano (relativo ao mármore de Carrara) e dois deles brasileiros (relativo aos xistos em porção do Médio Jequitinhonha – MG e relativo

di base, sono stati scelti i pulsanti di *zoom*, *pan*, *refresh*, *fit view*, informazione. Per gli strumenti interattivi, sono stati definiti:

- misurare tratto
- misurare area
- consultare la banca dati
- inserire xy
- inserire grafico
- inserire testo
- lente
- interfaccia con SciELO (*Scientific Electronic Library Online*)
- interfaccia con Google Earth
- modelli 3d
- interfaccia con i server di foto e le stampe delle mappe tematiche.

**6.2.2. Interfaccia:** Per definire l'interfaccia, è stato selezionato anche un gruppo di trenta persone con differenti livelli di conoscenza sull'uso del computer e di internet. Esse hanno discusso tutto ciò che è legato al layout come, per esempio, dove dovrebbero essere posizionati gli strumenti, dove i menu, quali sono le caratteristiche della legenda che dovrebbero essere aperte, ovvero quali di queste caratteristiche l'utente potrebbe adattare secondo i propri interessi.

aos granitos na região de Candeias – MG).

Para a implementação dos três estudos de caso de WebGis junto à universidade de Bologna, foi preciso, inicialmente, montar o GIS (sistema de informação geográfica). As bases para Médio Jequitinhonha fazem parte da tese de doutorado de Marcela Mourão Moura (IGC, UFMG) e foram manipuladas de forma a atender os requisitos básicos para darem entrada em um sistema web. Para o médio Jequitinhonha, trabalhou-se com dados de imagem de satélite, dados geológicos, dados cadastrais (rodovias, limites urbanos, sedes, ect.), dados de áreas de requerimento DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineraria) dentre outros. Esse sistema teve o enfoque na exploração de áreas de xisto localizadas no médio Jequitinhonha, porção nordeste de Minas Gerais.

O segundo estudo de caso teve o enfoque no granito. A área de estudo foi Candeias, porção sudoeste de Minas Gerais (BR). As bases de dados foram tiradas da tese de doutorado de Marcos dos Santos Campello, defendida em 2006 na Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil. Foram usados dados cadastrais (rodovias, limites municipais, hidrografia, distritos, etc), geologia,

**6.2.3. Analisi:** In questa fase di lavoro un gruppo di quattro specialisti ha risposto ad un questionario specificando quali siano le analisi territoriali minime. Sono state citate le analisi territoriali dell'area di influenza come i centroidi, buffer, raggruppamenti, dissolvenza, oltre alla distanza tra punti e la consultazione per attributo spaziale.

## **7. CASI DI STUDIO NELL'AMBITO DEL PROGETTO ALFA-FARO**

E' stato deciso, come parte delle attività del progetto ALFA-FARO, di sviluppare tre case studies, uno italiano (relativo al bacino marmifero di Carrara) e due brasiliani (uno relativo agli scisti nella parte del Médio Jequitinhonha – MG e l'altro relativo ai graniti nella regione di Candeias – MG).

Per implementare i casi di studio del WebGis presso l'università di Bologna, inizialmente è stato necessario installare il GIS di riferimento. Le informazioni di base del caso di studio del Médio Jequitinhonha fanno parte della tesi di dottorato di Marcela Mourão Moura (IGC, UFMG) e sono state elaborate in modo da renderle disponibili in un formato utile per il loro input in un sistema web. Per il Médio Jequitinhonha, si è lavorato, tra gli altri, con i dati

imagens de satélite e áreas de proteção permanente.

Por último, o exemplo utilizado da Itália foi de Carrara, porção noroeste do país. A base de dados foi toda criada a partir do processamento de imagens de satélite Landsat, Ikonos e SRTM. Alguns dados foram como pontos de interesse e estradas foram obtidos com o Openstreetmap Geofabrik e, por último, a camada de geologia do Departamento Defesa del Suolo.

A contribuição do WEBGIS para o projeto ALFA-FARO está vinculada a divulgação dos dados geográficos produzidos durante a vigência do projeto e a disponibilização dos dados geoespaciais para a comunidade participante do convênio e para a comunidade virtual, de modo geral. Somado a isso, objetivou-se trazer para o convênio e para a Itália uma tecnologia não muito divulgada sobre geoprocessamento e cartografia digital. Além dessas questões, o desenvolvimento desses três estudos de caso permitiu os estudos de acessibilidade, navegabilidade, usabilidade e comunicabilidade do modelo e os testes sobre multi-acesso.

delle immagini da satellite, i dati geologici, i dati catastali (autostrade, limiti urbani, località, etc.), i dati delle aree di attività del DNPM (Dipartimento Nazionale di Produzione Mineraria). Questo sistema si è focalizzato sullo sfruttamento delle aree degli scisti localizzate nel Jequitinhonha, nel nord-est di Minas Gerais.

Il secondo caso di studio riguarda il granito; l'area di studio è stata Candeias, nel sud-est di Minas Gerais. I dati di base sono stati ottenuti dalla tesi di dottorato di Marcos dos Santos Campello, discussa nel 2006 presso l'Universidade Federal de Minas Gerais, Brasile. Sono stati usati dati catastali (autostrade, limiti municipali, idrografia, distretti, etc), geologia, immagini da satellite e aree di protezione permanente.

Per ultimo, l'esempio italiano sviluppato è stato quello di Carrara, Toscana. La base dei dati è stata tutta creata a partire dall'elaborazione delle immagini da satellite Landsat, Ikonos e SRTM. Alcuni dati sono stati i punti di interesse; le strade sono state ottenute con Openstreetmap Geofabrik e, infine, è stato utilizzato l'insieme dei dati geologici del Dipartimento Difesa del Suolo.

Il contributo del WebGis nell'ambito del progetto ALFA-FARO è legato alla

## **7.1. O Nível de Implementação**

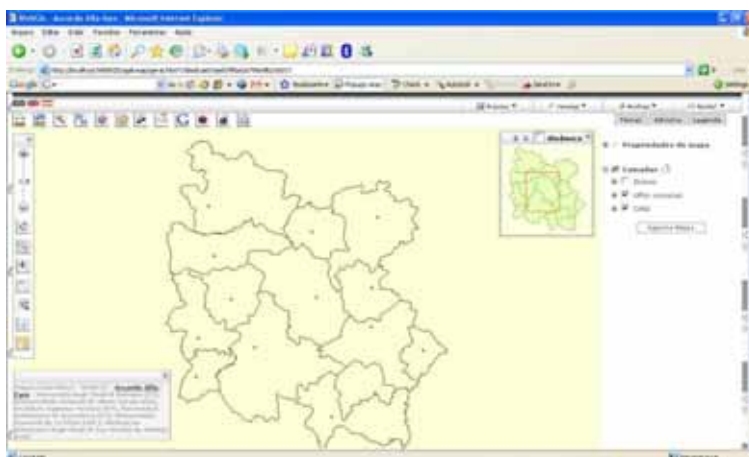
Inicialmente é necessário analisar as condições de hardware e software disponíveis para a implantação. Os objetivos traçados na fase conceitual e operacional definem o ambiente de desenvolvimento do aplicativo. Nessa fase forma definidas as interfaces e estilos de interação. Quanto a software, optou-se por utilizar o Mapserver, PHP, i3geo, Apache e algoritmos de softwares proprietários do geoprocessamento tais como o Grass.

O aplicativo foi traduzido para italiano para ser depositado no servidor do DICMA (Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali) da Universidade de Bologna.

A base de dados utilizada foi o shapefile que armazena tanto a geometria como os atributos da feição espacial. Todas as bases estão no sistema de coordenada geográfica WGS84.

Quanto à interface optou-se, a partir dos testes de comunicabilidade, que se trataria de uma interface limpa no qual grande parte da tela estivesse disponível para a visualização do mapa (Figura 3).

Nessa interface customizada, a barra de ferramentas básicas fica



**Figura 3– Interfaccia del WebGIS – Interface do WebGIS**

divulgazione dei dati geografici prodotti dalle ricerche svolte durante il progetto ed alla diffusione dei dati georeferenziati ai partecipanti alla rete ed alla comunità virtuale in generale. Inoltre, ci si è prefisso l'obiettivo di introdurre nella rete FARO e in Italia una tecnologia ancora poco diffusa nella geoelaborazione e nella cartografia digitale. Oltre a ciò, lo sviluppo dei tre casi ha permesso di studiare l'accessibilità, la navigabilità, l'utilizzabilità e la comunicabilità del modello e di realizzare dei test sul multi-accesso.

### **7.1. Il Livello dell'Implementazione**

Per implementare il sistema, inizialmente è necessario analizzare le caratteristiche dell'hardware e del software disponibili. Gli obiettivi progettati nella fase

posizionada no canto esquerdo da tela, as ferramentas interativas na barra superior e a área para manipulação das camadas no lado direito da tela. Existem três abas disponíveis junto ao controle de layer. A aba “adiciona” fica responsável pelo *download* e *upload* de arquivos e a aba “legenda” para a visualização dos componentes de legenda dos temas visíveis.

### **7.2. As Ferramentas:**

Para as barras de ferramentas básicas como *zoom* e *pan*, foram testados alguns aplicativos já existentes para a determinação de qual melhor desenho gráfico de representação da ferramenta. Alguns softwares utilizados foram o SinGeo, i3geo, Geomedia e outros softwares que não se relacionam com

concettuale e operativa definiscono l'ambiente di sviluppo dell'applicazione. In questa fase sono state definite le interfacce e gli stili di interazione. Per quel che riguarda il software, si è optato per l'utilizzo di *Mapserver*, *PHP*, *i3geo*, *Apache* e algoritmi di software proprietari della geolaborazione come *Grass*.

L'applicazione è stata tradotta in italiano per essere depositata nel server del DICMA (Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali) dell'Università di Bologna.

La base dei dati utilizzata è stata lo *shapefile* che fornisce sia la geometria sia gli attributi dell'aspetto spaziale. Tutte le basi dati sono nel sistema di coordinate geografiche *WGS84*.

Per quel che riguarda l'interfaccia si è optato, a partire dai test di comunicabilità, per un'interfaccia pulita, nella quale una gran parte della finestra restasse disponibile per la visualizzazione della mappa (Figura 3).

In questa interfaccia personalizzata, la barra degli strumenti di base viene posizionata nel lato sinistro della finestra, gli strumenti interattivi nella barra superiore e l'area per la manipolazione dei fogli nel lato destro della finestra. Esistono tre schede

geoprocessingo como, por exemplo, o Photoshop e o Corel Draw. Para determinação de qual o melhor ícone e o elemento mais comunicativo, foi feito um teste com 27 pessoas diferentes divididas nos grupos: pessoas que utilizam o computador esporadicamente – uma vez por mês, pessoas que usam o computador casualmente – uma vez a cada semana e pessoas que usam o computador diariamente. Os ícones mais entendidos pela grande maioria dos usuários foram os da Figura 4:



**Figura 4– Strumenti di Base – Ferramentas Básicas**

Para a barra de ferramentas com elementos definidos como os mais interativos e diferentes dos usuais em diversos aplicativos, foram feitos os testes para avaliar quais dessas eram interessantes de se manter no protótipo. Dentre as ferramentas testadas, as escolhidas foram: medir trecho, medir área, consulta a banco de dados (seleção), Inserir

Gráfico, Inserir Texto, Lente, Scielo, Conexão com o Google, 3D, Inserir Fotos e impressão de mapas temáticos.



assieme al controllo del layer. La scheda «aggiungi» è responsabile del *download* e *upload* degli archivi e la scheda «legenda» della visualizzazione dei componenti di legenda dei temi visivi.

## 7.2. Gli strumenti:

Per la barra degli strumenti base come *zoom* e *pan*, sono state testate alcune applicazioni già esistenti per la determinazione di quale fosse il miglior disegno grafico di rappresentazione degli strumenti. Alcuni dei software utilizzati sono stati *SinGeo*, *i3geo*, *Geomedia* e altri software che non sono legati alla geolaborazione come, per esempio, *Photoshop* e *Corel Draw*. Per determinare quali fossero le migliori icone o gli elementi più comunicativi, è stato fatto un test con 27 persone differenti divise in un gruppo di persone che utilizza il computer sporadicamente (una volta al mese), uno che lo usa occasionalmente (una volta alla settimana) e uno che lo usa quotidianamente. Le icone maggiormente comprese dalla grande maggioranza degli utenti sono state quelle della Figura 4. Per la barra degli strumenti con gli elementi definiti come più interattivi e differenti da quelli usuali nei

**Figura 5 – Strumenti interattivi – Ferramentas Interativas**

Portanto, no teste de representação gráfica, os elementos mais aceitos foram as da Figura 5.

Como estamos tratando das ferramentas que serão de fato avaliadas pela sua capacidade interativa, cada ferramenta possui algum tipo de forma para atrair o usuário e ao mesmo tempo facilitar a usabilidade desta, mesmo para os usuários que têm o costume de utilizar aplicativos de geoprocessamento.

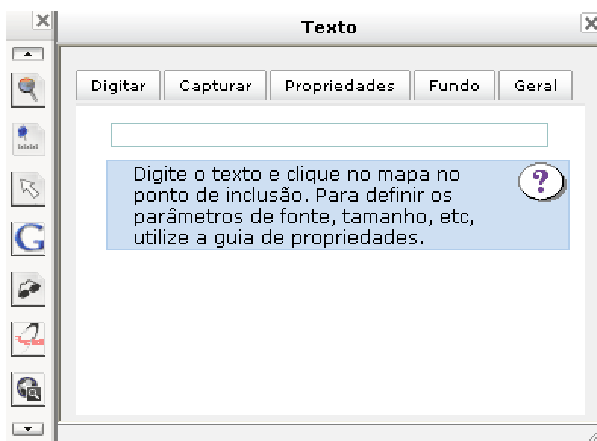
Todas as ferramentas que serão inseridas no protótipo passaram por um teste com os vinte e sete usuários para saber não só qual a melhor representação gráfica utilizar, mas também qual é a melhor forma de colocar a ferramenta disponível para que ela seja usada sem grandes dificuldades. Todas as ferramentas descritas foram planejadas de forma a atender as sugestões dos usuários e ajustadas a partir de nossa observação de erros de comunicação na usabilidade existentes em alguns softwares que disponibilizam as mesmas ferramentas. Para todas elas, ficou claro que a melhor forma de disponibilização é através

diversi sw applicativi, sono stati fatti dei test per valutare quali di essi era interessante mantenere nel prototipo. All'interno degli strumenti testati, quelli selezionati sono state: misurare tratto, misurare area, consultare la banca dati (selezione), inserire un grafico, inserire del testo, lente, interfaccia con **SciELO** (*Scientific Electronic Library Online*), connessione con **Google Earth**, 3D, inserire foto e stampe delle mappe tematiche. Pertanto nel test di rappresentazione grafica, gli elementi più accettati sono stati quelli della Figura 5.

Dato che stiamo trattando degli strumenti che saranno di fatto valutati per la loro capacità interattiva, ciascuno strumento possiede un tipo di forma per attrarre l'utente e allo stesso tempo per facilitarne l'uso, anche per gli utenti che sono soliti usare le applicazioni della geolaborazione.

Tutti gli strumenti che saranno inseriti nel prototipo hanno passato un test con i ventisette utenti per sapere non solo quale è la miglior

da apertura di una caixa de diálogo explicativa e indicando os passos a serem seguidos pelo usuário para a utilização correta da mesma. (Figura 6).



**Figura 6 – Esempio di strumento che usa il box di dialogo - Exemplo de ferramenta que utiliza caixa de diálogo.**

### 7.3. A interface:

As propriedades do mapa respondem como os elementos mais importantes de definição se o aplicativo é de fácil manuseio e se é comunicativo, ou seja: a interface do protótipo. Para conseguir determinar quais elementos da interface são importantes para a melhor visualização cartográfica, foi feita uma pesquisa com trinta pessoas de três níveis de conhecimentos digitais diferentes (pessoas que usam internet diariamente, pessoas que usam internet casualmente, pessoas que nunca usam a internet). Um



rappresentazione grafica da usare, ma anche quale è la migliore collocazione dello strumento disponibile affinché esso sia usato senza grandi difficoltà. Tutti gli strumenti descritti sono stati pianificati in modo tale da rispettare i suggerimenti degli utenti e aggiustati a partire dal nostro esame di errori di comunicazione nell'usabilità, esistenti in alcuni softwares che mettono a disposizione gli stessi strumenti. Per ciascuno di essi, si è acclarato che la miglior forma per renderli disponibili è attraverso l'apertura di un box di dialogo esplicativo e indicando i passi che l'utente deve seguire per utilizzarli correttamente (Figura 6).

### **7.3. L'interfaccia**

Le proprietà della mappa sono gli elementi più importanti per definire se l'applicazione è di facile utilizzo e se è comunicativa. Per poter determinare quali elementi dell'interfaccia sono importanti per la miglior visualizzazione cartografica, è stata fatta un'inchiesta con trenta persone con tre diversi livelli di competenza informatica (persone che usano internet giornalmente, saltuariamente o che non lo usano). È stato fatto un questionario per sapere ciò che gli utenti desideravano di poter personalizzare secondo i propri interessi per creare le

questionario foi aplicado para saber o que os usuários gostariam de poder customizar conforme o seu interesse para criar os seus mapas temáticos. Como o sistema traz consigo a idéia da Obra Aberta para ser o mais comunicativo e acessível possível, essa é uma etapa muito importante na definição do protótipo. As alterações requisitadas pela maioria dos usuários nos questionários em relação à interface foram: cor de fundo, cor de seleção, tamanho, escala, legenda.

Outra questão muito citada foi em relação à legenda das camadas visíveis no sistema. Ela foi um item muito observado por todos os tipos de usuários, independente do grau de intimidade com computador/internet. Todos mostraram o desejo de customização individual conforme os seus interesses de visualização. Os elementos de maior requisição para a customização foram: nome da camada, procurar (procurar alguma informação na tabela de dados), label ou texto (estampa no mapa os dados existentes em uma coluna da tabela) e edição da representação gráfica da camada. Além dessas possibilidades, outras customizações estão presentes, como: Tabela – Ferramenta que trabalha com os dados alfanuméricos. Aqui, se existe alguma coluna com dados

loro mappe tematiche. Dato che il sistema nasce con l'idea dell'Opera Aperta, per essere il più comunicativo e accessibile possibile, l'interfaccia è una tappa molto importante nella definizione del prototipo. Le modifiche richieste dalla maggior parte degli utenti nei questionari in relazione all'interfaccia sono state: colore dello sfondo, colore della selezione, misure, scala, legenda.

Un'altra questione molto citata è stata quella relativa alla legenda dei livelli visivi nel sistema. Si è trattato di un punto molto considerato da tutti i tipi di utenti, indipendentemente dal grado di familiarità con il computer/internet. Tutti hanno mostrato il desiderio di una personalizzazione secondo i propri interessi di visualizzazione. Gli elementi di maggior richiesta per la personalizzazione sono stati: nome del layer, ricercare (cercare qualche informazione nella tabella dei dati), label o testo (stampa nelle mappe i dati esistenti in una colonna della tabella) e edizione della rappresentazione grafica del livello. Oltre a queste possibilità, sono presenti altre personalizzazioni, come: Tabella- Strumento che lavora con i dati alfanumerici. Qui, se esiste una colonna con dei dati numerici, è possibile lavorare con alcune operazioni di

numéricos, é possível trabalhar com algumas operações de estatística.

## **8. TESTES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Muito pouco foi estudado e desenvolvido até hoje sobre os modelos comunicacionais associados à cartografia. Com a expressiva disseminação da informação, sobretudo as associadas à web, fica evidente a importância de se criar interfaces interativas para decodificar a linguagem que fará a ponte entre especialista e usuário. Esse projeto tem como característica inovadora um modelo de interface testado e aprovado por diferentes tipos de usuários. O modelo comunicacional proposto será de grande interesse para os avanços do estudo da visualização cartográfica e comunicação visual, uma vez que criará um sistema totalmente avaliado e testado por mais de cinquenta usuários de diferentes níveis de conhecimento. Alguns resultados já foram alcançados, sobretudo os relativos às conceituações teóricas e definições operacionais.

Os três protótipos implantados para fazer os testes das ferramentas e das propriedades da interface, usabilidade, comunicabilidade e multiacessos conseguiram responder algumas perguntas para a melhoria do modelo.

statistica.

## **8. TEST E CONSIDERAZIONI FINALI**

I modelli comunicazionali associati alla cartografia sono stati studiati e sviluppati molto poco fino ad oggi. Con la diffusione rilevante delle informazioni, soprattutto quelle associate al web, risulta evidente l'importanza di creare delle interfacce interattive per decodificare il linguaggio che farà da ponte fra lo specialista e l'utente. Questo progetto ha come caratteristica innovatrice un modello di interfaccia testato e approvato da differenti tipi di utenti. Il modello comunicazionale proposto sarà di grande interesse per l'avanzamento dello studio della visualizzazione cartografica e della comunicazione visiva, poiché creerà un sistema totalmente valutato e testato da più di cinquanta utenti con differenti livelli di competenza. Già alcuni risultati sono stati raggiunti, soprattutto in relazione alle concettualizzazioni teoriche e alle definizioni operazionali. I tre prototipi implementati per eseguire i test degli strumenti e delle proprietà dell'interfaccia, dell'usabilità, della comunicabilità e del multi-accesso, sono riusciti a rispondere ad alcune richieste

Percebeu-se que existe ainda certa dificuldade do grupo de pessoas que não são habituadas ao uso do computador/internet. As pessoas que não possuem nenhum conhecimento sobre os conceitos cartográficos também tiveram uma resposta abaixo das expectativas em relação ao tempo para a realização de tarefas pré-estabelecidas. Os testes mostraram que apesar desse grupo de pessoas conseguirem atingir os objetivos, ele, às vezes, demoram demasiadamente a ponto de se cansarem de utilizar o sistema. Muitos deles se mostraram satisfeitos com a questão do sistema ser uma Obra Aberta e permitir a customização da quase todos os elementos da interface.

O maior ganho de conhecimento se deu para o grupo dos que já usam o computador com certa frequência, mas não diariamente e, principalmente, para as pessoas que têm conhecimentos básicos sobre cartografia e também têm o costume de mexer em outros sistemas na web diariamente. Essa constatação confirmou a idéia de que o grupo intermediário de conhecimento seria o grupo que teria mais ganhos de aprendizado. O grupo que teve mais tranquilidade em manusear o software, como já esperado, foi o dos usuários que além de ter

di miglioria del modello.

Si è compreso che esiste una certa difficoltà per il gruppo di persone che non sono abituate all'uso del computer/internet. Anche le persone che non possiedono alcuna conoscenza riguardo ai concetti cartografici, hanno avuto una risposta al di sotto delle aspettative in relazione al tempo di esecuzione dei compiti prestabiliti. I test hanno mostrato che, nonostante questo gruppo di persone abbia raggiunto gli obiettivi, ogni tanto esse impiegano un tempo eccessivo, al punto da stancarsi di utilizzare il sistema. Molte di esse si sono mostrate soddisfatte per il fatto che il sistema sia un'Opera Aperta e che permetta la personalizzazione di quasi tutti gli elementi dell'interfaccia. Il maggior incremento di conoscenza si è avuto per il gruppo di soggetti adusi al computer con una certa frequenza, ma non quotidianamente e, soprattutto, per le persone che hanno delle conoscenze cartografiche di base e che hanno inoltre l'abitudine di usare giornalmente anche altri sistemi accessibili nel web. Questa constatazione ha confermato l'idea che il gruppo di competenze intermedie sarebbe il gruppo con il maggior incremento di apprendimento. Il gruppo che ha utilizzato con maggior

conhecimento profundo de computador conhecem alguns conceitos sobre cartografia, ou seja, os especialistas. Os testes de multiacesso simultâneos mostraram que a configuração ideal de hardware baseia-se em uma arquitetura de servidores redundantes de aplicação e um servidor de banco de dados, conforma ilustrado na Figura 7, e de software que seja armazenado em cima da plataforma Windows Server 2003, no mínimo.

Os resultados alcançados com o sistema implantado foram satisfatórios e cumpriram a função de detectar os pontos positivos e negativos do modelo. O resultado do sistema como uma Obra Aberta foi muito recebido por todos os tipos de usuários.

A participação no convênio ALFA-FARO foi de grande importância para as duas universidades envolvidas, pois permitiu a difusão dos dados de rocha ornamentais através das ferramentas de geoprocessamento, entregando um sistema com resultados finais do convênio. Para a Universidade Federal de Minas Gerais, os benefícios estão relacionados à finalização dos testes de usabilidade e comunicabilidade para a conclusão da etapa final de nossa Dissertação de Mestrado (Sheyla Aguilar de Santana) no curso de Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais. Um

tranquillità il software, come ci si attendeva, è stato quello degli utenti che, oltre ad avere una conoscenza approfondita del computer, hanno alcune competenze cartografiche, ovvero gli specialisti. I test di multiaccesso

simultaneo hanno mostrato che la configurazione ideale dell'hardware si basa su un'architettura di server ridondanti per le applicazioni e di un server banca dati, simile a quello illustrato in Figura 7, e con il software implementato almeno su una piattaforma Windows Server 2003. I risultati raggiunti con il sistema implementato sono stati soddisfacenti e hanno soddisfatto l'obiettivo di ricercare i punti positivi e negativi del modello. Il risultato del sistema come un'Opera Aperta è stato molto ben accolto da tutti i tipi di utenti.

La partecipazione alla rete ALFA-FARO è stata di grande importanza per le due università coinvolte, poiché ha permesso la diffusione dei dati delle rocce ornamentali attraverso gli strumenti della geoelaborazione, distribuendo un sistema coi risultati finali della collaborazione. Per



**Figura 7 – Architettura dell'InfraStruttura per la soluzione WebGis As Alta Disponibilidade - Arquitetura de Infra-Estrutura para a solução WEBGIS de Alta disponibilidade.**

risultato do desenvolvimento desse trabalho foi a possibilidade de articulação interinstitucional e multidisciplinar entre a Universidade Federal de Minas Gerais e a Universidade de Bologna, através da troca de conhecimentos, proporcionando um produto e fornecendo resultados à comunidade de usuários de georecursos.

l'Universidade Federal de Minas Gerais, i benefici sono relativi alla finalizzazione dei test di utilizzabilità e comunicabilità per la conclusione dello step finale della Dissertação de Mestrado (Sheyla Aguilar de Santana) nell'ambito del corso di Analisi e Modelli dei Sistemi Ambientali. Un risultato dello sviluppo di questo lavoro è stata la possibilità di un'articolazione interistituzionale e multidisciplinare fra l'Universidade Federal de Minas Gerais e l'Università di Bologna, attraverso lo scambio delle conoscenze, offrendo un prodotto e fornendo i risultati alla comunità degli utenti di georisorse.

## 10. BIBLIOGRAFIA– BIBLIOGRÁFIA

BEVAN, N. (1998) - Usability Issues in web site design. In: **Proceedings of UPA'98**, Washington DC, 22-26, . 1998.

CÂMARA, G. et al. (2008) - **Introdução à Ciência das Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2005. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>> Acesso em: Março de 2008.

CARD, S.K., MACKINLAY, J., SHNEIDERMAN, B.. (1999) - **Readings in Information Visualization: using vision to think**. Morgan Kaufmann Publishers. 1999, 689p. (1999)

CARTWRIGHT, W.; PETERSON, M. P.; GARTNER, G. (1993) **Multimedia Cartography**. Alemanha: Springer, 1999. 343 p.

COMMOM FRONT GROUP (2008). **Some background on user interfaces**. Disponível em <<http://cfg.cit.cornell.edu/cfg/>>. Acesso em 28 Jul 2008

COWEN, D. (1990) - Gis versus Cad versus DBMS: what are the differences? In.: PEUQUET, Donna, MARBLE, Duane. **Introductory readings in Geographic Information Systems**. London, Taylor and Francis, 1990.

DIBIASI, D. et al. (1992) - Animation and the role of map design in Scientific Visualization. **Cartography and Geographic Information Systems**, v.19, n.4, p.201-214, 265-266, 1992.

ECO, U. (1962) - **A obra aberta**. São Paulo, Perspectiva, 1962.

EGBERT, S. L. **The design and evaluation of an interactive choropleth map exploration system**. 1994. 129p. Tese (PhD) – Department of Geography – University of Kansas, Kansas, 129p, 1994.

FAIRBAIN, D.J. (1994) - The frontier of cartography: mapping a changing discipline. **Photogrammetric Record**. Vol.14, n.84, p.903-915, 1994.

FISCHER, G. (1998) - “Beyond ‘Couch Potatoes’: From Consumers to Designers.” In: **Proceedings of the 5th Asia Pacific Computer-Human Interaction Conference**. IEEE Computer Society, 2-9, 1998.

FORER, P. (1993) - Envisioning environments: map metaphors and multimedia databases in education and consumer mapping. In: **Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Cartographic Association Conference**, Köln, Germany, ICA, pp.959-982, 1993.

FREITAS, J.C. (2005) - O design como interface de comunicação. In: Leão, Lúcia. **O chip e o calidoscópio: reflexões sobre as novas mídias**. São Paulo: Editora Senac São Paulo,. 2005.

ICA - INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC ASSOCIATION (2008) – **Penn State University. Commission Overview**. Disponível em: <[http://www.geovista.psu.edu/sites/icavis/com\\_overview.html](http://www.geovista.psu.edu/sites/icavis/com_overview.html)>. Acesso em 22 maio 2008.

KOLACNY, A. (1977) - Cartographic Information – A Fundamental Concept and Term in Modern Cartography. **Cartographica**. Suplemento n.1, Vol. 14, p.39-45, 1977.

LEITE, J.C. (2000) - DESIGN DE INTERFACES DE USUÁRIO. 2000. **Notas de aula de engenharia de Software**. Disponível em: <<http://www.dimap.ufrn.br/~jair/ES>>. Acesso em: 28 Jul 2008  
MACEACHREN, A. M.; KRAAK, M.J. (1997) - Exploration Cartography Visualization: advancing the agenda. **Computer & Geosciences**. V.23, n.4, p.335 a 344, 1997.

MAKEDON, F. et al. (1994) - Issues and Obstacles with Multimedia Authoring. **Proceedings of the EDMEDIA 94**. Educational Multimedia and Hypermedia, 1994. 38-45,. 1994.

MORAN, T. (1981) - “The Command Language Grammars: a representation for the user interface of interactive computer systems. In.:Em **International Journal of Man-Machine Studies**, Academic Press, 15:3-50, Academic Press. 1981.

MOURA, A.C.M., OLIVEIRA, S.P., LEÃO, C. (2006). - Cartografia eE Geoprocessamento aAplicados aAos eEstudos eEm Turismo. **Geomática**, Santa Maria, v.1, n.1, p.77-87, 2006.

NORMAN, D. (1988) - **Psychology of Everyday Things**. BasicBooks. HarperCollins Publishers, 1988, 257p..

PANOFSKY, E. (1955) - **Meaning in the visual arts: papers in and on art history**. Universidade de Michigan, 1955, 362p.



PERKINS, C. (2003) - Cartography: mapping theory. **Progress in Human Geography**. Volume 27, p. 341,. 2003.

PETERSON, M. P. (1995) - Elements of Multimedia Cartography. In: CARTWRIGHT, W.; PETERSON, M. P.; GARTNER, G. **Multimedia Cartography** . 1a ed. Berlin: Springer-Verlag, 1999, 343 p.

PRATES, R.O.; de SOUZA, C.S.; BARBOSA, S.D.J.; (2000) - “A Method for Evaluating the Communicability of User Interfaces.” **Interactions** 7, 1. New York, NY: ACM Press, 31-38, 2000.

PRATES, R.O.; de SOUZA, C.S.; BARBOSA, S.D.J.; (2003) - “Avaliação de interfaces de usuários – conceitos e métodos.” **XXII Jornada de Atualização em Informática em Anais do XXIII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação**, 2003, p. 245 – 293, Campinas, São Paulo, Brasil.

PREECE, J.; ROGERS, Y.; SHARP, E.; BENYON, D.; HOLLAND, S.; CAREY, T. (1994) - **Human-Computer Interaction**. England: Addison-Wesley, 1994, 775p.

RAMOS, C. **Visualização Cartográfica e Cartografia Multimídia: Conceitos e Tecnologias**. São Paulo: ed.UNESP, 2005.

RIJKEN, D. (1996) Tools and Media. Public Discussion About Doors of Perception, 1996. <<http://www.doorsofperception.com>>/ Acesso em Fevereiro de 2008.

SOUZA, C. S. (2005) - **The Semiotic Engineering of Human-Computer Interaction**. MIT Press, Cambridge, MA. 2005, 257p.

**Parte II**

**La caratterizzazione dei materiali  
lapidei**

**CARATTERIZZAZIONE DELLE ROCCE ORNAMENTALI  
PORTOGHESI SULLA BASE DELLE PROPRIETÀ FISICO-  
MECCANICHE - *Caracterização de rochas ornamentais  
portuguesas com base nas suas propriedades físico-mecânicas***

Victor Lamberto<sup>1,2</sup>

José Saraiva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CERENA / Centro de Recursos Naturais e Ambiente, Instituto Superior Técnico,  
Lisboa

<sup>2</sup> Dept. Geociências, Univ. Évora

**RIASSUNTO**

La difesa della posizione portoghese sul mercato globale delle rocce ornamentali dipende in gran parte dall'adozione di misure per la certificazione dei materiali. Questa azione consentirà di garantire la qualità di una roccia e di certificarne l'origine. Per raggiungere tale obiettivo è fondamentale che la caratterizzazione di una roccia ornamentale sia eseguita nella maniera più completa e chiara possibile. Questo lavoro intende contribuire a tal fine, mediante l'analisi statistica dei valori ottenuti in prove fisico-meccaniche effettuate su delle rocce portoghesi.

Parole-chiave: Roccia ornamentale, Proprietà fisico-meccaniche, caratterizzazione, Analisi Statistica

**1. INTRODUZIONE**

Il settore delle rocce ornamentali contribuisce in modo significativo all'economia nazionale. Il Portogallo ha mantenuto, nel

**SUMÁRIO**

A defesa da posição portuguesa no mercado global de rochas ornamentais depende em grande parte da adopção de medidas que conduzam à certificação dos materiais. Este passo permitirá garantir a qualidade de uma rocha e relacioná-lo com a sua origem. Para o alcançar é fundamental que a caracterização de uma rocha ornamental seja realizada da forma mais completa e clara possível. Este trabalho pretende contribuir para esse fim, através da análise estatística dos valores obtidos em ensaios físico-mecânicos efectuados sobre rochas portuguesas.

Palavras-chave: Rocha ornamental, Propriedades físico-mecânicas, Caracterização, Análise Estatística

**1. INTRODUÇÃO**

O sector das rochas ornamentais contribui de forma significativa para a economia nacional. Portugal

corso degli anni, una posizione di preminenza nel mercato mondiale delle rocce ornamentali, nonostante la continua evoluzione da cui è stata interessata a causa dell'ingresso di nuovi paesi in grado di offrire i materiali lapidei a prezzi decisamente inferiori. La difesa della posizione del nostro paese può essere sostenuta solamente attraverso una efficiente valorizzazione dei prodotti nazionali che consenta di accrescerne la competitività. Una solida base per questa azione è la certificazione – una garanzia di qualità legata alle caratteristiche del materiale ed alla sua origine geografica, rafforzata dall'esigenze relative ai processi utilizzati lungo il ciclo di estrazione e trasformazione.

La caratterizzazione dei materiali lapidei si basa su una serie di analisi e test eseguiti in condizioni controllate, che permettono perciò di stabilire l'attitudine dei diversi tipi di rocce ornamentali alle differenti utilizzazioni possibili.

L'obiettivo di questo lavoro è di procedere ad un'analisi statistica dell'informazione disponibile nei diversi cataloghi pubblicati da parte di enti nazionali operanti nel settore delle rocce ornamentali. Tale analisi si è focalizzata principalmente

tem mantido, ao longo dos anos, uma posição de destaque no mercado mundial de rochas ornamentais, apesar da constante evolução que este tem sofrido, com a entrada de novos países capazes de oferecer materiais pétreos a custos reduzidos. A defesa da posição do nosso país só pode ser conseguida através de uma eficiente valorização dos produtos nacionais, que permita potenciar a sua competitividade. Uma base sólida para esse passo é a certificação – uma garantia de qualidade ligada às características do material e à sua origem geográfica, reforçada pela exigência quanto aos procedimentos utilizados ao longo do ciclo de extracção e transformação.

A caracterização dos materiais pétreos baseia-se numa série de análises e ensaios realizados em condições controladas, que permitem, por isso, estabelecer a aptidão dos diversos tipos de rochas ornamentais para as diferentes utilizações possíveis.

O objectivo deste trabalho é proceder a uma análise estatística da informação disponível nos diversos catálogos publicados por entidades nacionais com actividade no sector das rochas ornamentais. Essa análise incidiu preferencialmente sobre as características que são

sulle caratteristiche che sono quantificabili, ma senza ignorare le altre che possono assumere un grande importanza, come il colore.

## **2. IL VALORE COMMERCIALE DELLE ROCCE ORNAMENTALI**

Il valore commerciale di un determinato tipo di roccia ornamentale è la conseguenza di una serie di parametri, alcuni intrinseci alla stessa roccia, altri estrinseci. La sua valutazione è complessa, dal momento che alcuni di questi fattori non sono quantificabili, ed anche quelli quantificabili sono soggetti a fluttuazioni a volte difficili da spiegare, essendo legate a tutte le fasi del ciclo di vita di una roccia, dalla formazione, estrazione e trasformazione alla commercializzazione ed utilizzazione.

La qualità estetica di una pietra, che giustifica il suo potenziale approvvigionamento a scopi ornamentali, all'inizio è direttamente legata al colore (o colori) ed allo standard di riferimento, fattori la cui quantificazione è estremamente complessa. Le questioni legate alla suddivisione del massiccio roccioso influenzano anche in modo decisivo la possibilità di approvvigionamento di una data roccia.

quantificáveis, mas sem descurar outras que podem assumir relevância, como a cor.

## **2. VALOR COMERCIAL DAS ROCHAS ORNAMENTAIS**

O valor comercial de um determinado tipo de rocha ornamental é consequência de uma série de parâmetros, alguns intrínsecos à própria rocha, outros extrínsecos. A sua avaliação é complexa, já que alguns destes factores não são quantificáveis, e mesmo os que o são encontram-se submetidos a flutuações por vezes difíceis de explicar, já que estão ligados a todas as fases do ciclo seguido por uma rocha, desde a formação, extracção e transformação à comercialização e utilização.

A qualidade estética de uma pedra, que justifica o seu potencial aproveitamento para fins ornamentais, está, à partida, directamente relacionada com a cor (ou cores) e o padrão que apresenta, factores cuja quantificação é extremamente complexa. As questões relacionadas com a compartimentação do maciço rochoso influenciam também de forma decisiva a possibilidade de aproveitamento de uma dada rocha.

Porém, uma vez determinada a viabilidade

Peraltro, una volta definita la fattibilità tecnico-economica della coltivazione, un ruolo fondamentale nella valorizzazione di una roccia sul mercato deriva dalla possibilità che la roccia sia trasformata in prodotti vendibili senza eccessivi scarti, il che deriva soprattutto dalle sue proprietà meccaniche (che le consentono di essere segata e lucidata, per es.).

### 3. METODOLOGIA

Questo studio è stato svolto nel corso di varie fasi. In primo luogo si è proceduto alla costruzione ed organizzazione di una base di dati, facendo attenzione ad alcuni problemi rilevati nelle fonti utilizzate per la raccolta (per es. ripetizione di informazione, errori, omissioni, mancanza di chiarezza relativamente ad alcune caratteristiche non quantificate, come il colore, la tessitura e granulometria).

In una seconda fase è stata sviluppata una analisi statistica mono- e bivariata, volta ad ottenere una descrizione sintetica del comportamento delle diverse variabili nell'insieme delle tipologie commerciali delle rocce a catalogo.

Infine, sono stati applicati alcuni metodi della statistica multivariata, per definire delle relazioni non facilmente identificabili

técnico-económica de exploração, a possibilidade da rocha ser transformada em produtos vendáveis sem perdas excessivas, que resulta sobretudo das suas propriedades mecânicas (que lhe permitem ser serrada e polida, por exemplo) desempenha um papel fundamental na valorização de uma rocha para o mercado.

### 3. METODOLOGIA

Este estudo desenrolou-se ao longo de várias fases. Em primeiro lugar, procedeu-se à compilação e organização de uma base de dados, tendo em atenção alguns problemas detectados nas fontes utilizadas para a sua recolha (e.g. repetição da informação, erros, omissões, falta de clareza quanto a certas características não quantificadas, como a cor, textura e granulometria).

Numa segunda fase foi realizada uma análise estatística uni e bivariada, para obter uma descrição sumariada do comportamento das diferentes variáveis no conjunto dos tipos comerciais de rochas que estão catalogados. Por fim, foram aplicados alguns métodos da estatística multivariada, no sentido de definir relações que não sejam facilmente identificadas na análise descritiva inicial.

nell'analisi descrittiva iniziale. Sono qui presentati degli esempi del lavoro svolto nella seconda e nelle terza fase prima citate.

#### **4. ANALISI MONOVARIATA**

Come già detto, l'obiettivo di questa fase è di descrivere il comportamento delle differenti variabili sull'insieme delle 146 rocce ornamentali portoghesi per le quali esiste un'informazione disponibile nei differenti cataloghi (DGGM 1983, 1984, 1985; IGM 2000; CEVALOR 1995). A tal fine, si è adottato il principio di presentare dei grafici, la cui analisi visiva consente di cogliere più chiaramente le osservazioni fattibili. Sono stati sperimentati diversi tipi di grafico, dei quali si presentano alcuni esempi rilevanti.

Di fatto, le diverse denominazioni delle rocce, quelle utilizzate nell'industria (graniti, marmi, calcari e scisti) – non si distinguono sulla base di valori misurati di una proprietà fisica meccanica. Però, la suddivisione per tipi e la successiva proiezione dei valori, può fornire alcune indicazioni che non sarebbero visibili in altra forma.

Come si può osservare nella Fig.1, generalmente è di minore interesse la semplice

São aqui apresentados exemplos do trabalho realizado nas segunda e terceira fases acima referidas.

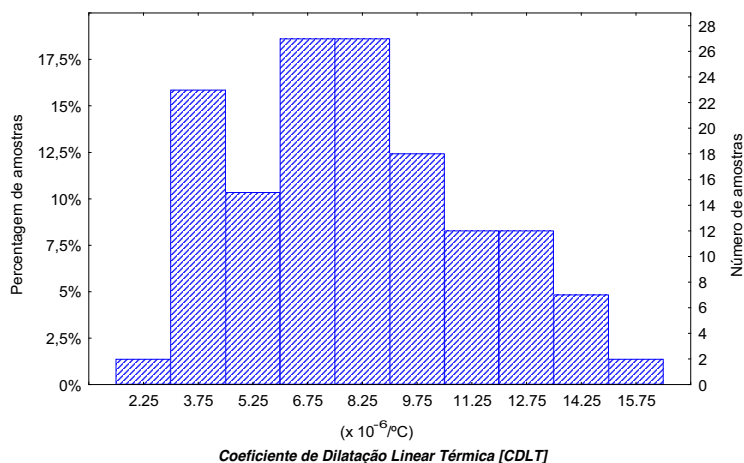
#### **4. ANÁLISE UNIVARIADA**

Como foi enunciado, o objectivo desta fase é descrever o comportamento das diferentes variáveis no conjunto das 146 rochas ornamentais portuguesas sobre as quais existe informação disponível nos diferentes catálogos [1-6]. Para o efeito, adoptou-se o princípio de apresentar gráficos, cuja análise visual permite apreender mais claramente as observações que se podem realizar.

Foram experimentados diversos tipos de gráficos, dos quais se apresentam alguns exemplos relevantes.

De facto, muitas das vezes as diferentes designações de rochas – entendidas como as que são utilizadas na indústria (granitos, mármore, calcários e xistos) - não se distinguem pelos valores que foram determinados para uma dada propriedade física ou mecânica. Porém, a separação por tipos e a subsequente projecção dos valores pode dar algumas indicações que não seriam de outra forma visíveis.

Como se pode observar na Fig. 1, é geralmente de reduzido interesse a simples descrição



**Figura 1- Istogramma dei valori della variabile CDLT er i 146 campioni di rocce portoghesi catalogate.**

***Histograma dos valores da variável CDLT no conjunto das 146 rochas portuguesas catalogadas***

descrizione grafica del comportamento di una data variabile (in questo caso, il coefficiente di dilatazione termica, o CDLT) nell'ambito di un insieme di rocce. La forma della distribuzione dipende fortemente dal numero e dall'ampiezza delle classi considerate, per cui la sua analisi visiva è poco conclusiva.

Già un raffronto dei valori in funzione del tipo di roccia, può fornire delle indicazioni interessanti per una futura coltivazione.

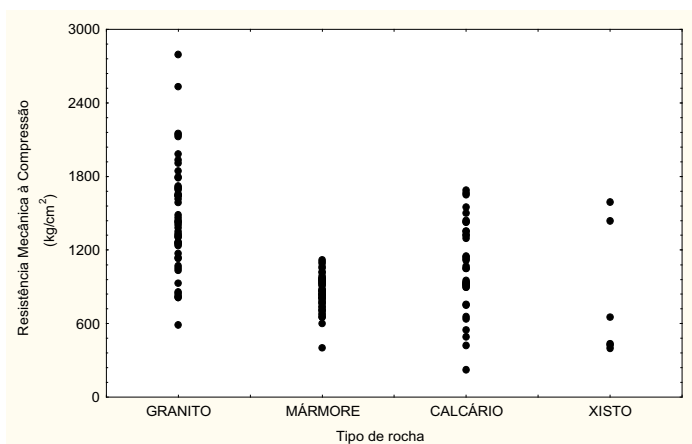
In Fig. 2 è proposto un altro grafico, riferito alla resistenza meccanica a compressione (RMC) in cui questo raffronto è possibile. Si

gráfica do comportamento de uma dada variável (no caso, o coeficiente de dilatação linear térmica, ou CDLT) no conjunto de todas as rochas. A forma da distribuição depende fortemente do número e amplitude das classes consideradas, pelo que a sua análise visual é pouco conclusiva.

Já a comparação dos valores em função do tipo de rocha pode fornecer pistas interessantes para futura exploração.

Na Fig. 2 apresenta-se um outro gráfico, referente à resistência mecânica à compressão (RMC), em que essa comparação é possível. Note-se que, para além de se poder avaliar os valores que





**Fig.2: Valori della RMC per e 146 rocce, distinte per tipo.**

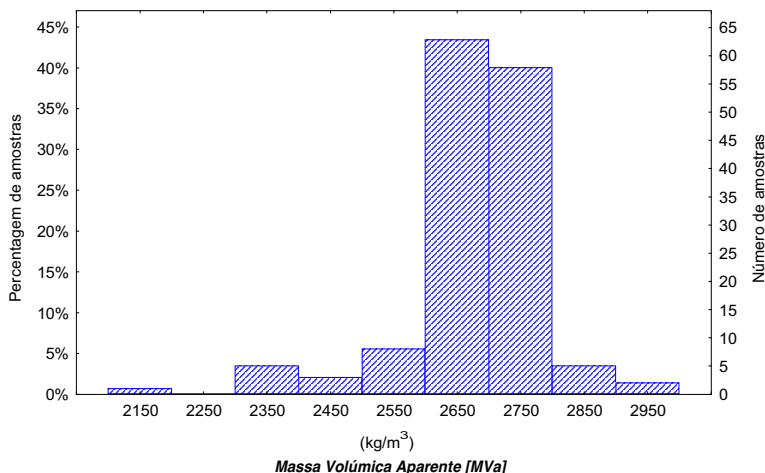
*Valores de RMC para as 146 rochas, separadas por tipos.*

noti che, oltre a potere valutare i valori che questa proprietà assume sull'insieme delle 146 rocce, è possibile osservare il comportamento di questa variabile in funzione del tipo di roccia, più concentrato o più disperso – i marmi presentano una stretta gamma di valori, mentre calcari e graniti ottengono risultati più vari relativamente a questa proprietà.

Le figure 3 e 4 consentono di valutare l'informazione ottenibile rapidamente nei due tipi di grafico, dal momento che fanno riferimento entrambi alla stessa proprietà fisica, la massa volumica apparente (MVA). Dall'analisi dell'istogramma deriva l'idea che la grande maggioranza delle rocce presenta dei valori attorno ai  $2,7 \text{ kg/m}^3$ . Tale analisi è completata con la

esta proprietà assume no conjunto das 146 rochas, pode ser apreciado o comportamento desta variável segundo o tipo de rocha, mais concentrado ou mais disperso – os mármore apresentam uma gama de valores restrita, enquanto calcários e granitos têm resultados mais variados no que diz respeito a esta propriedade.

As Figs. 3 e 4 permitem avaliar melhor a informação que se pode rapidamente obter nos dois tipos de gráficos, já que se referem ambos à mesma propriedade física, a massa volúmica aparente (MVA). Da análise do histograma fica a ideia de que a larga maioria das rochas apresenta valores em torno de  $2,7 \text{ kg/m}^3$ . Esta análise é complementada com a apreciação do outro gráfico, em que se torna evidente que



**Fig.3: Istogramma dei valori della variabile MVA sull'insieme delle 146 rocce**

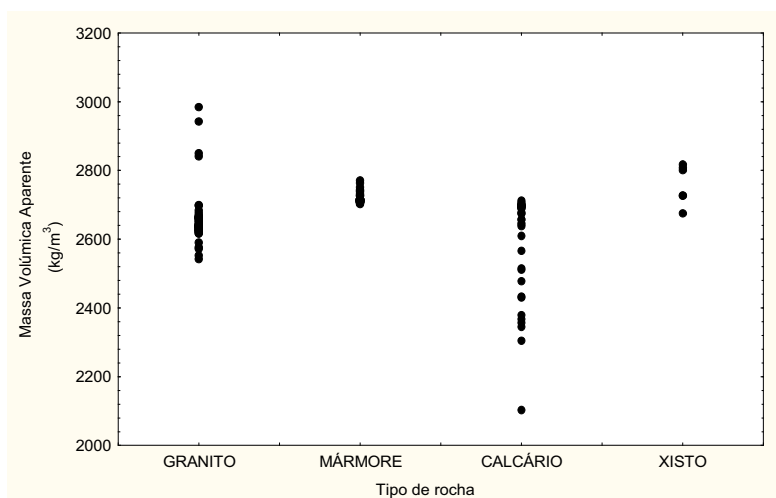
***Histograma dos valores da variável MVA para o conjunto das 146 rochas***

valutazione dell'altro grafico, in cui è evidente che i marmi sono generalmente più densi dei graniti (ad eccezione di quelli basici) e che presentano una limitata variabilità al contrario delle altre rocce carbonatiche, i calcari.

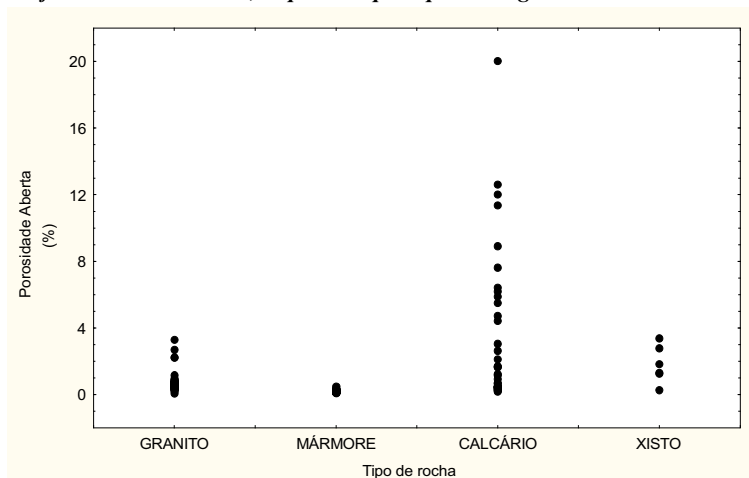
Una distribuzione con qualche somiglianza può essere osservata nel caso della porosità apparente (PA), in cui i marmi mostrano valori bassi e concentrati, mentre i graniti possono presentare dei valori un poco più elevati ed i calcari mostrano una grande variabilità, come si può osservare nella Fig.5.

os mármoreos são geralmente mais densos que os granitos (com excepção dos tipos básicos) e apresentam uma estreita gama de variação, ao contrário das outras rochas carbonatadas, os calcários.

Uma distribuição com alguma semelhança pode ser apreciada para o caso da porosidade aparente (PA), em que os mármoreos exibem valores baixos e concentrados, enquanto os granitos apresentam alguns valores mais elevados e os calcários mostram uma grande variação de valores, como se pode apreciar na Fig. 5.



**Fig.4: Valori della variabile MVA per l'insieme delle 146 rocce, suddivisi per tipo litologico - *Histograma dos valores da variável MVA para o conjunto das 146 rochas, ùseparados por tipos litológicos***



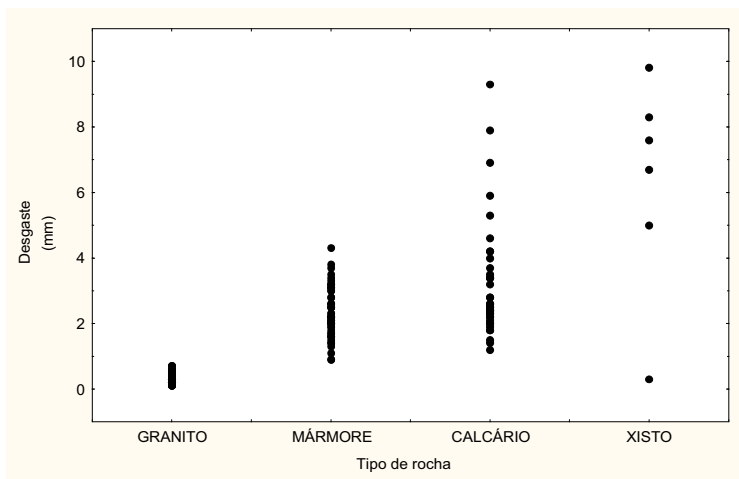
**Figura 5: Valori della proprietà PA, suddivisi per tipo litologico - *Valores da propriedade PA, separados por tipos litológicos***

Un altro esempio è l'usura (RD) testata su differenti tipi di roccia mediante una prova specifica (spesso detto resistenza all'usura, quando il valore trovato è, di fatto,

Um outro exemplo diz respeito ao desgaste (RD) sofrido pelos diferentes tipos de rochas no ensaio respectivo (muitas vezes descrito como de resistência ao desgaste,

quello dell'usura osservata – e, perciò, tanto migliore quanto più è basso); di seguito (Fig.6) si può vedere come siano i graniti a distinguersi per la concentrazione di valori bassi, mentre il marmo e soprattutto i calcari mostrano variazioni grandi, raggiungendo nei test valori molto più elevati.

quando o valor encontrado é, de facto, o do desgaste verificado – e portanto, tanto melhor quanto mais baixo); aqui (Fig. 6) pode ver-se que são os granitos que se distinguem pela concentração de valores baixos, enquanto mármore e sobretudo calcários mostram variação apreciável, atingindo valores



**Fig.6: Valori della proprietà RD, suddivisi per litotipo**

Non si commenta il comportamento di questa variabili per gli scisti, in quanto il numero di rocce catalogate in questo gruppo è troppo limitato per potere desumere conclusioni minimamente significative.

## 5. ANALISI BIVARIATA

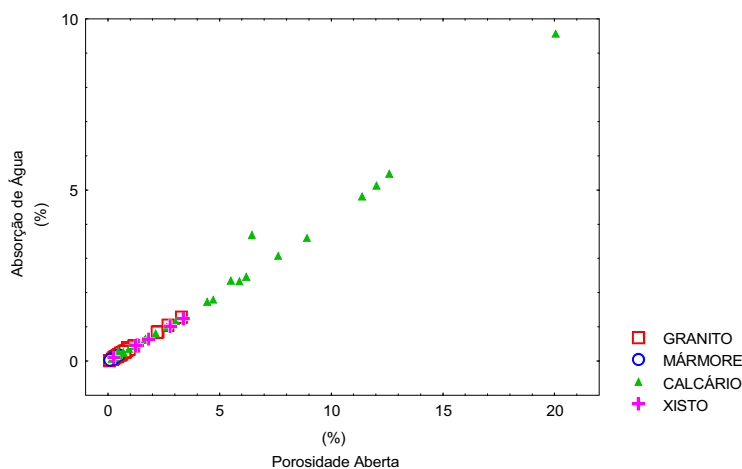
Per valutare le correlazioni fra coppie di proprietà, sono stati costruiti dei diagrammi di dispersione,

muito mais elevados no ensaio.

Não são adiantados comentários sobre o comportamento destas variáveis no grupo dos xistos, já que o número de rochas catalogadas nesse grupo (seis) é demasiado diminuto para que se possam extrair conclusões minimamente significativas.

## 5. ANÁLISE BIVARIADA

Para avaliar as relações entre pares de propriedades foram construídos diagramas de



**Fig.7: Dispersione delle variabili PA e ABS sull'insieme delle 146 rocce. Proiezione per litologia.**

*Diagrama de dispersão para as variáveis PA e ABS no conjunto das 146 rochas. Projecção por tipos litológicos*

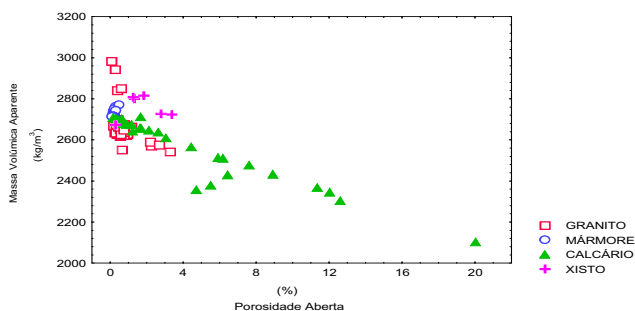
come quelli rappresentati nelle Figure 7 e 8. Non si notano evidenti relazioni strette (forti correlazioni positive o negative) fra coppie di variabili, con alcune eccezioni. Anche in questi diagrammi si è scelto di differenziare i valori in funzione della classe litologica della roccia a cui fanno riferimento.

Nel caso della Fig. 7, risalta la forte correlazione fra porosità (PA) e la capacità di assorbimento d'acqua (ABS), ma tale risultato era chiaramente atteso, indipendentemente dal tipo di roccia.

Già il diagramma presentato nella Fig. 8 sembra indicare una correlazione negativa fra porosità (PA) e

dispersão, como os que se apresentam nas Figs. 7 e 8. Não são geralmente evidentes relações estreitas (fortes correlações positivas ou negativas) entre os pares de variáveis, com algumas exceções. Também nestes diagramas se optou por diferenciar os valores de acordo com o tipo litológico da rocha a que dizem respeito. No caso da Fig. 7, a forte relação entre a porosidade (PA) e a capacidade de absorção de água (ABS) é posta em evidência, mas este resultado era claramente expectável, independentemente do tipo de rocha.

Já o diagrama apresentado na Fig. 8 parece indicar uma correlação negativa global entre porosidade (PA) e massa



**Fig.8: Dispersione delle variabili PA e MVA sull'insieme delle 146 rocce. Proiezione per litologia.**

massa volumica (MVA), sebbene non così forte come ci si poteva attendere. Nel caso dei marmi, in particolare, i valori di PA sono molto concentrati, come abbiamo già visto prima.

## 6. ANALISI MULTIVARIATA

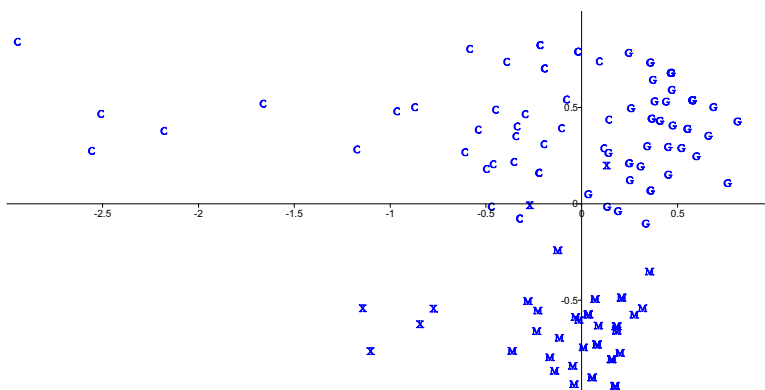
Dopo avere analizzato un insieme di un centinaio di rocce catalogate (campioni) e diverse proprietà misurate su ciascuna di esse (variabili), si è scelto di utilizzare delle tecniche di analisi multivariata, per ricercare delle possibili correlazioni nella matrice dei dati, che non siano state enucleate nelle fasi precedenti. In Fig. 9 è mostrato un esempio di cosa ci si può attendere da questa fase di analisi. Si tratta di un grafico che mostra una Analisi in Componenti Principali (ACP) sulle 146 rocce catalogate.

*Diagrama de dispersão para as variáveis PA e MVA no conjunto das 146 rochas.*

volúmica (MVA), embora não tão pronunciada como seria de esperar; além disso, essa correlação negativa parece ser de diferente grau para os vários tipos de rocha – o que justifica que este tipo de análise seja prosseguido em separado para cada tipo de rocha. No caso dos mármore, em particular, os valores de PA são muito concentrados, como já vimos atrás.

## 6. ANÁLISE MULTIVARIADA

Uma vez que a análise incide sobre um conjunto de mais de uma centena de rochas catalogadas (amostras) e várias propriedades medidas em cada uma delas (variáveis), optou-se por fazer uso de técnicas de análise multivariada, para procurar relações que possam existir nesta matriz de dados, mas que não tenham sido evidenciadas nas fases anteriores.



**Fig.9: ACP eseguita sull'insieme delle 146 rocce catalogate. Primo piano fattoriale.**

*ACP realizada sobre o conjunto das 146 rochas catalogadas. Primeiro plano factorial.*

Sebbene tale risultato sia da considerare preliminare, dal momento che le tecniche da utilizzare in questa fase non sono state totalmente sperimentate, questa figura consente di osservare una chiara separazione fra le rocce appartenenti ai differenti tipi considerati.

## 7. CONCLUSIONI

Gli obiettivi di uno studio di questo tipo possono essere considerati semplicemente descrittivi. Peraltro, il proposito di questo lavoro è più ampio. Al di là dell'analisi quantitativa delle proprietà fisico-meccaniche sull'insieme delle rocce ornamentali portoghesi oggetto di una caratterizzazione più approfondita, si è inteso proporre una linea di ricerca che permetta di contribuire,

Na Fig. 9 é apresentado um exemplo do que se pode esperar nesta fase da análise. Trata-se de um gráfico que mostra o resultado de uma Análise em Componentes Principais (ACP) sobre as 146 rochas catalogadas.

Embora se possa considerar este resultado preliminar, já que as técnicas a utilizar nesta fase ainda não foram totalmente exploradas, esta figura permite observar uma separação clara entre as rochas pertencentes aos diferentes tipos considerados.

## 7. CONCLUSÕES

Os objectivos de um estudo deste tipo podem ser entendidos como meramente descritivos. No entanto, o propósito deste trabalho é mais vasto. Para além da análise quantitativa das

con suggerimenti consistenti, al processo di certificazione dei materiali lapidei nazionali. Alcune idee, che saranno sviluppate in futuro, fanno riferimento allo studio di fattori come le caratteristiche cromatiche (colori e toni), le tessiture (e la loro correlazione con l'alterabilità della roccia), gli standard di riferimento ornamentali (che riflettono il colore e la tessitura), la provenienza, l'inquadramento geologico ed il tipo litologico. Peraltro, si cerca anche di chiarire meglio l'importanza relativa delle proprietà fisico-meccaniche sulla definizione dell'attitudine delle rocce a determinate utilizzazioni; e ancora di indagare l'importanza di altri test e prove che possano essere utilizzati per la caratterizzazione dei materiali.

propriedades físico-mecânicas no conjunto das rochas ornamentais portuguesas que foram alvo de uma caracterização mais aprofundada, pretendeu-se lançar as bases para uma linha de investigação que permita contribuir com sugestões fundamentadas para o processo de certificação dos materiais pétreos nacionais. Algumas ideias que serão desenvolvidas no futuro prendem-se com o estudo de factores como as características cromáticas (cores e tons), as texturas (e a sua relação com a alterabilidade da rocha), os padrões ornamentais (que reflectem cor e textura), a proveniência, o enquadramento geológico e o tipo litológico. Por outro lado, pretende-se também conseguir uma melhor clarificação da importância relativa das propriedades físico-mecânicas na definição da aptidão das rochas para determinadas utilizações, e ainda averiguar da importância de outros testes e ensaios que possam ser utilizados para a caracterização dos materiais.



## **8. BIBLIOGRAFIA– BIBLIOGRÀFIA**

DGGM (1983) **Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas**, Vol. I, DGGM, Lisboa.

DGGM (1984) **Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas**, Vol. II, DGGM, Lisboa.

DGGM (1985) **Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas**, Vol. III, DGGM, Lisboa.

IGM (2000) **Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas**, Vol. IV, IGM, Lisboa.

CEVALOR (1995) **Rochas Ornamentais de Portugal**, CEVALOR, Borba.

IGM (2000) **Granitos e Rochas Similares de Portugal**, IGM, 179 pp., Lisboa.

# USO ORNAMENTALE DEI BASALTI DELLA PROVINCIA DI MISIONES, ARGENTINA. CARATTERIZZAZIONE DI BASE E ANALISI TECNOLOGICHE. – *Uso ornamental de basaltos de la Provincia de Misiones, Argentina. Caracterización básica y ensayos tecnológicos*

Susana E. Ciccioli<sup>1</sup>

Isidoro B. Schalamuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dirección Provincial de Vialidad, Francisco de Haro y Luchess, Provincia de Misiones (Arg.).

<sup>2</sup> Instituto de Recursos Minerales UNLP (INREMI). La Plata, Provincia de Buenos Aires (Arg.)

## 1. INTRODUZIONE

All'interno della denominazione « rocce da applicazione » sono incluse le *rocce ornamentali*, le *rocce da costruzione* (usate per aggregati di pietra) e le *rocce industriali* (utilizzate per la fabbricazione di strade e cementi). Le «rocce ornamentali» corrispondono ai materiali lapidei impiegati come rivestimenti nelle costruzioni, nelle sculture o nell'artigianato (Domínguez y Ponce de Maio, 1990).

Nella provincia di Misiones (Argentina), i basalti costituiscono una risorsa molto diffusa e si utilizzano come rocce di applicazione, principalmente nelle costruzioni civili, come aggregati di roccia per la fabbricazione di calcestruzzo e miscela asfaltica, e, in maniera minore, nella costruzione di pavimenti e come rivestimento grossolano. Anche se l'uso ornamentale di queste rocce è ridotto, negli ultimi anni si osserva una tendenza maggiore alla loro incorporazione in opere di architettura e decorazione che mirano al riscatto e alla

## 1. INTRODUCCIÓN

Dentro de la denominación “rocas de aplicación”, se incluyen las *rocas ornamentales*; las *rocas de construcción* (empleadas para agregados pétreos) y las *rocas industriales* (utilizadas para la fabricación de cales y cementos). Las “rocas ornamentales” corresponden a los materiales lapídeos empleados como revestimientos en la construcción, esculturas o artesanías (Domínguez y Ponce de Maio, 1990).

En la Provincia de Misiones (Argentina), los basaltos constituyen un recurso de amplias reservas y se utilizan como roca de aplicación, principalmente en la construcción civil, como agregado pétreo para la fabricación de hormigones y mezclas asfálticas, y en menor medida, en la construcción de adoquinados y como revestimiento rústico.

Si bien el uso ornamental de estas rocas es restringido, en los últimos años se observa una mayor tendencia a su incorporación en obras de arquitectura y decoración que

valorizzazione dell'effetto estetico nell'applicazione dei materiali locali.

Riguardo principalmente la scala artigianale degli ornamenti usuali, non si conoscono precedenti nella realizzazione di analisi tecnologiche orientate alla valutazione del potenziale sviluppo di questa risorsa nel campo ornamentale.

In questo lavoro si mostrano i risultati della caratterizzazione di base e delle analisi tecnologiche effettuate per quel che riguarda i basalti provenienti dalle località di Eldorado e Oberá, Provincia di Misiones.

Questo lavoro è parte della preparazione della tesi di dottorato di Susana E. Ciccioli (UNLP) ed ha contato sull'appoggio del Programma Alfa-FARO "Formación Avanzada en el Area de Rocas Ornamentales y Geoprocesamiento", che ha facilitato le attività di scambio con il Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali (DICMA), Università di Bologna.

## **2. LIMITE GEOLOGICO GENERALE**

I basalti affioranti a Misiones hanno avuto origine nel Cretacico inferiore a partire da un episodio vulcanico di allargamento, la cui occorrenza si associa alla separazione del supercontinente Gondwana. Le manifestazioni di

buscan rescatar y valorizar el efecto estético de la aplicación de materiales locales.

Debido posiblemente a la escala artesanal de los ornamentos usuales, no se conocen antecedentes de la realización de ensayos tecnológicos orientados a la evaluación del potencial desarrollo de este recurso dentro del campo ornamental.

En esta contribución se dan a conocer los resultados de la caracterización básica y los ensayos tecnológicos efectuados sobre dos basaltos procedentes de las localidades de Eldorado y Oberá, Provincia de Misiones.

Este trabajo es parte de la preparación de la tesis doctoral de Susana E. Ciccioli (UNLP). El mismo ha contado con el apoyo del Programa Alfa-FARO "Formación Avanzada en el Área de Rocas Ornamentales y Geoprocesamiento", que facilitó actividades de intercambio en el Departamento de Ingeniería Química, Mineraria e de las Tecnologías Ambientales (DICMA), Universidad de Bologna.

## **2. MARCO GEOLÓGICO GENERAL**

Los basaltos aflorantes en Misiones fueron originados en el Cretácico inferior a partir de un episodio volcánico de envergadura cuya ocurrencia se asocia a la separación del supercontinente Gondwana. Las manifestaciones de este volcanismo, desarrollado durante

questo vulcanesimo, sviluppatosi in diversi milioni di anni (134-129 Ma, Peate, 1997), occupano la porzione centro orientale dell'America del Sud e il NE della Namibia in Africa, formando una grande provincia ignea detta Paraná – Etendeka (Peate, 1997). La porzione sudamericana di questa provincia è conosciuta come Conca del Paraná, la quale copre un'area di circa  $1,2 \times 10^6$  km<sup>2</sup> e abbraccia il SE del Brasile, dell'Uruguay e del Paraguay e il NE dell'Argentina (Cordani y Vandomos, 1967).

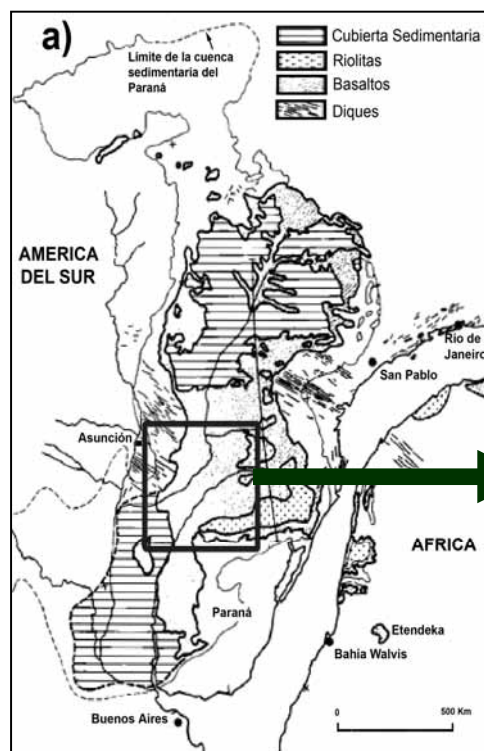
La provincia di Misiones è situata nel SW della Conca del Paraná (Figura 1) e forma, insieme a Corrientes e Entre Ríos, la provincia geologica argentina denominata Mesopotamia. I tipi litologici presenti a Misiones corrispondono alle arenarie continentali, rocce basiche effusive, terreni residuali (lateriti) e sedimenti alluvionali antichi e recenti (CARTA, 1964). Le arenarie continentali e le rocce effusive basiche (basalti) furono denominate Formazione Curuzú Cuatiá secondo Gentili e Rimoldi (1979), la quale è fatta di due membri: Posadas, di natura magmatica (basalto) e Solari, di natura clastica (arenarie), interstratificata con la prima. I basalti del Membro Posadas, conosciuti anche con il nome di Formazione Serra Geral in Brasile; Formazione Alto Paraná in Paraguay e Formazione Arapey in Uruguay, furono classificati da Teruggi (1955), come basalti

varios millones de años (134-129 Ma, Peate, 1997), ocupan la porción centro oriental de América del Sur y NE de Namibia en África, conformando una gran provincia ígnea denominada Paraná – Etendeka (Peate, 1997). La porción sudamericana de esta provincia es conocida como Cuenca del Paraná, la cual cubre un área de por lo menos  $1,2 \times 10^6$  km<sup>2</sup> y abarca el SE de Brasil, Uruguay, E de Paraguay y NE de Argentina (Cordani y Vandomos, 1967).

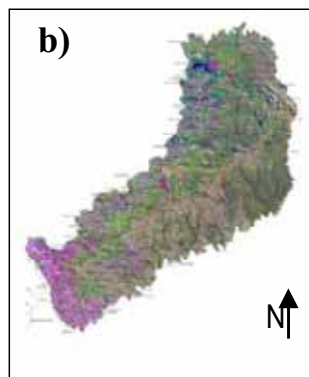
La Provincia de Misiones está ubicada en el SW de la Cuenca del Paraná (Figura 1) e integra junto con Corrientes y Entre Ríos la provincia geológica argentina denominada Mesopotamia. Los tipos litológicos presentes en Misiones corresponden a areniscas continentales, rocas efusivas básicas, terrenos residuales (lateritas) y sedimentos aluvionales antiguos y recientes (CARTA, 1964). Las areniscas continentales y las efusivas básicas (basaltos) fueron denominadas Formación Curuzú Cuatiá por Gentili y Rimoldi (1979), la cual está integrada por dos miembros: Posadas, de naturaleza magmática (basaltos) y Solari, de naturaleza clástica (areniscas), interstratificado con el primero. Los basaltos del Membro Posadas, conocidos también con las denominaciones de Formación Serra Geral en Brasil; Formación Alto Paraná en Paraguay y Formación Arapey en

tholeitici. La deposizione di questi basalti si è prodotta attraverso vari eventi effusivi che originarono numerose colate disposte suborizzontalmente le quali occupano più di un terzo della superficie della Provincia (CARTA, 1964). Sovrapposti al Membro Posadas ci sono dei depositi residui di limo argilloso, conosciuto come “laterite” o “suolo colorato”, alluvioni e sedimenti recenti. I primi hanno una distribuzione superficiale dominante mentre i secondi sono vicini ai corsi d’acqua.

Uruguay, fueron clasificados por Teruggi (1955), como basaltos tholeiíticos. La deposición de estos basaltos se produjo a través de varios pulsos efusivos que originaron numerosas coladas de disposición subhorizontal que ocupan más de las dos terceras partes de la superficie de la Provincia (CARTA, 1964). Superpuestos al Miembro Posadas existen depósitos residuales limo arcillosos conocidos como “lateritas” o “suelo colorado”, aluviones y sedimentos recientes. Los primeros tienen una distribución superficial dominante mientras que los segundos están acotados a cursos de agua.



**Figura 1. a) Ricostruzione della estensione del magmatismo della Provincia ignea Paraná-Etendeka (modificata da Peate, 1997). Il riquadro indica l’ubicazione della Provincia di Misiones nella Conca del Paraná e b) Mappa della Provincia di Misiones. Modificata da Ciccioni et al. (2005).**



### 3. MATERIALI E METODI

Sono state utilizzati due campioni di basalto provenienti dalle località di Eldorado e Oberá. La caratterizzazione di base di queste rocce è stata realizzata con i metodi abituali di microscopia ottica per la descrizione di sezioni sottili, DRX di polvere, analisi chimiche (elementi maggiori) e classificazione geochimica.

La caratterizzazione tecnologica dei due campioni ha incluso la realizzazione di analisi fisiche, meccaniche e di alterabilità effettuate nel Centro de Investigación en Geología Aplicada (CIGA) del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). Le prove di compressione e flessione sono state realizzate secondo le norme ASTM C170-94 y ASTM C880/85; l'analisi di alterazione è stata fatta con il metodo Dorry con un tour di una pista di 1000 m. Per la determinazione della resistenza agli agenti chimici è stata presa come riferimento la norma IRAM 11836 per non fare affidamento ad un procedimento specifico per le rocce. Le analisi di attacco con solfato di sodio e con glicoletilene sono state effettuate nel Laboratorio de Investigaciones Viales y Ensayos Tecnológicos de la Dirección Provincial de Vialidad (Misiones), secondo le norme IRAM 1525 e IRAM 1519.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron dos muestras de basalto procedentes de las localidades de Eldorado y Oberá. La caracterización básica de estas rocas se realizó por los métodos habituales de microscopía óptica de descripción de cortes delgados, DRX de polvo, análisis químicos (elementos mayoritarios) y clasificación geoquímica.

La caracterización tecnológica de ambas muestras incluyó la realización de ensayos físicos, mecánicos y de alterabilidad realizados en el Centro de Investigación en Geología Aplicada (CIGA) del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). Las pruebas de compresión y flexión se realizaron según normas ASTM C170-94 y ASTM C880/85, respectivamente; el ensayo de desgaste se realizó utilizando el método de desgaste Dorry con un recorrido de pista de 1.000 m. Para la determinación de la resistencia a los agentes químicos se tomó como referencia la norma IRAM 11836 por no contarse con un procedimiento específico para rocas. Los ensayos de ataque con sulfato de sodio y ataque con etilén glicol fueron realizados en el Laboratorio de Investigaciones Viales y Ensayos Tecnológicos de la Dirección Provincial de Vialidad (Misiones), según normas IRAM 1525 e IRAM 1519, respectivamente.



**Figura 2. Mappa della Provincia di Misiones (Arg.) con indicazione delle località di provenienza dei pezzi studiati. - Mapa de de la Provincia de Misiones (Arg.) con indicación las localidades de procedencia de las muestras estudiadas.**

#### 4. RISULTATI

##### 4.1 Petrografia e geochemica

Il basalto Eldorado è una varietà massiccia di colore grigio, a grana fine, microcristallina e a tessitura intergranulare. La mineralogia riconosciuta consiste in un aggregato di plagioclasti (labradorita) e pirosseni (augita) con ossidi di ferro (magnetite) e ilmenite come minerale accessorio. Va sottolineata l'assenza del vetro e lo scarso

#### 4. RESULTADOS

##### 4.1 Petrografia y geoquímica

El basalto Eldorado es una variedad maciza de color gris, de grano fino, microcristalino y de textura intergranular. La mineralogía reconocida consiste en un agregado de plagioclastas (labradorita) y piroxenos (augita) con óxidos de hierro (magnetita) e ilmenita como minerales accesorios. Es de destacar la ausencia de vidrio y el escaso

contenuto di olivina. Il basalto Oberá presenta colore grigio chiaro verdastro con vene di color marrone rossiccio, grana grossa, macrocristallino e tessitura intergranulare. La mineralogia identificata è composta da listelli di plagioclasi tra i quali si dispongono i pirosseni (augita) e i minerali opachi. È stata osservata la presenza di minerali di colore verde (distinte tonalità) disposti intergranularmente negli spazi con forma irregolare, molte volte con aspetto fibroso o squamoso. Le analisi chimiche realizzate (elementi maggioritari) aiutano nella classificazione di queste rocce subalcaline come basalti di tipo tholeítico.

#### 4.2 Analisi tecnologiche

L'uso ornamentale richiede che i materiali possiedano certe caratteristiche tecniche che permettano la loro applicazione e durabilità. Le analisi necessarie per valutare le

**Tabella 1- Analisi prioritarie conformemente all'utilizzo delle rocce - Ensayos prioritarios conforme a la utilización de las rocas**

FUNZIONE DI RIVESTIMENTO	PAVIMENTI		PARETI		FACCIA TE	PIANO CUCIN A
	Ext.	Int.	Ext.	Int.		
TIPO DI ROCCIA	X	X	X	X	X	X
ASSORBIMENTO	X	X	X	X	X	X
RESISTENZA ALL'ABRASIÓN E	X	X				
RESISTENZA A FLESSIÓN E	X	X			X	X
RESISTENZA A COMPRESSIONE	X		X	X	X	
DILATAZION E TERMICA	X	X	X	X	X	
RIFINITURA SUPERFICIALE	X	X			X	
ALTERABILITA'	X	X			X	X

contenido de olivina. El basalto Oberá presenta color gris claro verdoso con venillas de color pardo rojizo, grano grueso, macrocristalino y textura intergranular. La mineralogía identificada esta compuesta por tablillas de plagioclasa entre las cuales se disponen piroxenos (augita) y minerales opacos. Se observó la presencia de minerales de color verde (distintas tonalidades) dispuestos intergranularmente en espacios con formas irregulares, muchas veces con aspecto fibroso o escamoso. Los análisis químicos realizados (elementos mayoritarios) corroboraron la clasificación de estas rocas subalcalinas como basaltos de tipo tholeítico.

#### 4.2 Ensayos tecnológicos

El uso ornamental demanda que los materiales posean ciertas características técnicas que permitan su aplicación y durabilidad. Los ensayos necesarios para evaluar las aptitudes ornamentales de una roca se definen de acuerdo al uso pretendido.



attitudini ornamentali di una roccia si definiscono in funzione dell'uso desiderato.

La tabella 1 mostra le analisi considerate prioritarie in relazione con le differenti possibilità d'uso, secondo Frascá, M.H.B.O., 2002.

La tabella 2 presenta i risultati delle analisi tecnologiche corrispondenti ai basalti studiati.

El Cuadro 1 muestra los ensayos considerados prioritarios en relación con las diferentes posibilidades de uso, según Frascá, M.H.B.O., 2002.

El Cuadro 2 presenta los resultados de los ensayos tecnológicos correspondientes a los basaltos estudiados.

A los fines comparativos se muestran en el Cuadro 3 los

TIPO DI CAMPIONE	BASALTO ELDORADO	BASALTO OBERÁ
PROPRIETA' FÍSICHE		
DENSITA' RELATIVA gr./cm <sup>3</sup>	2,93	2,85
ASSORBIMENTO (%)	0,64	0,69
POROSITA' APERTA (%)	1,87	1,95
PROPRIETA' MECCÁNICHE		
RESISTENZA A COMPRESSIÓNE (MPa)	151,98	91,75
RESISTENZA A FLESSIONE (MPa)	26,24	13,04
RESISTENZA ALL'ABRASIÓNE (mm)	1,93	2,84
DURABILITA'		
RESISTENZA AGLI AGENTI CHIMICI Soluzione di acido cloridrico 3 % Soluzione di acido cloridrico 100 g/L Soluzione di idrossido di sodio 30g/L	Non si registrano cambi visivi nella superficie esposta agli agenti chimici utilizzati sul campione, perciò si considera la roccia come resistente a tali agenti.	Non si registrano cambi visivi nella superficie esposta agli agenti chimici utilizzati sul campione, perciò si considera la roccia come resistente a tali agenti.
ATTACCO CON SOLFATO DI SODIO (%)	5,3	s/dato
ATTACCO CON GLICOL- ETILENE (%)	0	s/dato

**Tabella 2. Risultati delle analisi fisico-meccaniche e di durabilità dei campioni studiati.**

***Resultados de los ensayos físico-mecánicos y de durabilidad de las muestras estudiadas.***

A fini comparativi vengono mostrati nella tabella 3 i valori ottenuti e quelli corrispondenti a due varietà commerciali di rocce vulcaniche

valores obtenidos y los correspondientes a dos variedades comerciales de rocas volcánicas de características estéticas similares a las rocas estudiadas.

similari alle rocce studiate. Il Porfido Colum è una basandesita argentina a tessitura porfirica e di colore grigio. La Basaltina è una roccia lavica, anch'essa di colore grigio, di origine italiana, ampiamente utilizzata per la costruzione di strade e rivestimenti con differenti tipi di superficie (grezza, pulita con e senza lucidatura; fiammata, con caratteristiche estetiche simili alla sabbia, etc.).

**Figura 3- Provini di basalto Oberà – Probetas del basalto Oberà**



TIPO DI CAMPIONE	BASALTO ELDORADO	BASALTO OBERÀ	PORFIDO COLUM	BASALTINA
DENSITA' RELATIVA gr./cm <sup>3</sup>	2,93	2,85	2,34	2,24
ASSORBIMENTO (%)	0,64	0,69	2,19	-
POROSITA' APERTA (%)	1,87	1,95	3,67	-
RESISTENZA A COMPRESSIÓNE (MPa)	151,98	91,75	98,8	82,45
RESISTENZA A FLESSIONE (MPa)	26,24	13,04	8,9	13,8
RESISTENZA ALL'ABRASIÓNE (mm)	1,93	2,84	1,44	2,30

**Tabella 3. Valori delle analisi fisico-meccaniche dei campioni studiati e delle due varietà commerciali di rocce laviche ornamentali. I valori delle varietà commerciali sono stati presi da INTEMIN – SEGEMAR, 2000. Piedras ornamentales de la Argentina 2000 e dal catalogo commerciale di BASALTINA S.r.l.**

El Pórfido Colum es una basandesita argentina de textura porfirica y de color gris. La Basaltina es una roca lávica, también de color gris, de origen italiano, ampliamente utilizada en la construcción de calzadas y revestimientos con diferentes acabados de superficie (rústico,

*Valores de los ensayos físico-mecánicos de las muestras estudiadas y de 2 variedades comerciales de rocas lávicas ornamentales. Valores de las variedades comerciales tomados de INTEMIN – SEGEMAR, 2000. Piedras ornamentales de la Argentina 2000 y del catálogo comercial de BASALTINA S.r.l.*

Per conoscere l'apparenza delle rocce pulite sono state realizzate prove che hanno rivelato i colori e le tessiture mostrate in Figura 4.



**Figura 4. a) Basalto Eldorado superficie naturale e pulita. a) Basalto Eldorado superficie natural y pulida**

pulido con y sin lustre; flameados, arenados, etc.).

Para conocer la apariencia de las rocas pulidas se realizaron pruebas que revelaron los colores y texturas que se muestran en la Figura 4.



**b) Basalto Oberá superficie naturale y superficie pulita.. b) Basalto Oberá superficie natural y superficie pulida.**

## 5. CONSIDERAZIONI FINALI

Sono vari i fattori che devono essere considerati per valutare le possibilità di uso ornamentale di una roccia.

Alcuni di essi corrispondono alla natura stessa del materiale (petrografia, proprietà fisiche, comportamento meccanico, durabilità, etc.). Altri, invece, corrispondono alla coltivazione e commercializzazione del prodotto e richiedono la valutazione dei fattori come la possibilità estrattiva (forma e dimensione dei blocchi che possono essere ottenuti; viabilità, ambiente della coltivazione, tecnologia e metodi di coltivazione; infrastruttura; etc.), e principalmente, la valorizzazione estetica che va

## 5. CONSIDERACIONES FINALES

Son varios los factores que se deben considerar para evaluar las posibilidades del uso ornamental de una roca.

Algunos de ellos corresponden a la propia naturaleza del material (petrografía, propiedades físicas, comportamiento mecánico, durabilidad, etc.). Otros, en cambio, corresponden a la explotación y comercialización del producto y requieren la evaluación de factores tales como las posibilidades extractivas (formas y dimensiones de los bloques que pueden ser obtenidos; viabilidad ambiental de la explotación; tecnología y métodos de explotación; infraestructura; etc.), y principalmente, la

fatta sul materiale data la sua funzione di ornamento.

Il livello di caratterizzazione raggiunto in questo lavoro ha permesso di stabilire che i due campioni analizzati hanno composizioni chimiche e mineralogiche similari, ma differiscono per quel che riguarda le caratteristiche tessiturali (dimensioni dei grani). I risultati ottenuti attraverso le analisi realizzate, anche se puntuali, indicano un'attitudine fisico-meccanica accettabile e una qualità estetica favorevole.

La caratterizzazione di base e tecnologica delle rocce basaltiche studiate costituisce il primo passo per proseguire con gli studi finalizzati alla definizione di un loro possibile utilizzo ornamentale.

valoración estética que se haga del material dada su función de ornamento.

El nivel de caracterización alcanzado en este trabajo permitió establecer que las dos muestras analizadas tienen composiciones químicas y mineralógicas similares pero difieren en sus características texturales (tamaño de grano). Los resultados obtenidos a través de los ensayos realizados, si bien puntuales, indican aptitudes físico-mecánicas aceptables y cualidades estéticas favorables.

La caracterización básica y tecnológica de las rocas basálticas estudiadas constituye el primer paso para proseguir con los estudios tendientes a definir su posible aprovechamiento ornamental.

**Figura 5 -**  
**Fotografie**  
**a,b,c,d.**  
**Esempi**  
**dell'uso**  
**ornamentale**  
**e delle rocce**  
**basaltiche**  
**in facciate e**  
**pavimenti**  
**grezzi.** –  
*Ejemplos*  
*del uso*  
*ornamental*  
*de rocas*  
*basálticas*  
*en fachadas*  
*y*  
*pavimentos*  
*rusticos.*



## 6. BIBLIOGRAFIA

- BRADLEY, F. (1989) **Cenni sull' analisi geologica delle rocce ornamentali**. Technostone S.p.A. Carrara, Italia. 91 pág.
- CARTA (1964) **Estudio Geológico de la Provincia de Misiones**. Informe Inédito.
- CICCIOLI, S. E., GARRIDO L. B. e GÓMEZ J. C. (2005) **Aspectos mineralógicos y geoquímicos de los basaltos de Eldorado, Provincia de Misiones, orientados a su posible utilización en la industria cerámica**. En: LLambías, E.; De Barrio, R.; González, P. y Leal, P. (eds.). 16º Congreso Geológico Argentino. Actas CD-ROM: Artículo N° 771, 1-8. La Plata.
- DOMINGUEZ, M. B. e PONCE DE MAIO, M. B. (1990) **Rocas de aplicación. Ensayos de caracterización tecnológica**. 11º Congreso Geológico Argentino, Actas I: 414-417. San Juan.
- FRASCÁ, M. H. B. O. (2002) **Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento: estudo por meio de ensaios e análises e das patologias associadas ao uso**. In Anais... III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste: curso de rochas ornamentais para projetos arquitetônicos e urbanísticos. Recife - Pernambuco. 11p.
- GENTILE, C. A. e RIMOLDI H. V. (1979) Mesopotamia. En: **Geología Regional Argentina**. 2º Simposio Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, 1, 185-223.
- INTEMIN – SEGEMAR (2000) **Piedras ornamentales de la Argentina 2000**. Catálogo en formato CD-ROM interactivo.
- PEATE, D. W. (1997) The Paraná-Etendeka Province. En: **Large Igneous provinces: Continental, Oceanic, and Planetary Flood Volcanism**, Ed. J. J. Mahoney and M. F. Coffin (Geophysical Monograph; 100) American Geophysical Union, 217-245.
- TERUGGI, M. (1955) **Los basaltos tholeiíticos de Misiones. Notas del Museo de la Plata**. Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la UNLP, XVII, Geología n° 70, 259 – 278.

**CARATTERIZZAZIONE TECNOLOGICA DELLE VARIETÀ  
DI GRANITI ORNAMENTALI “ROJO SIERRA CHICA” E  
“LABRADORITA”, REGIONE DI OLAVARRÍA, BUENOS  
AIRES, ARGENTINA - *Caracterización tecnológica de las  
variedades de granitos ornamentales “Rojo Sierra Chica” y  
“Labradorita”, partido de Olavarría, Buenos Aires, Argentina.***

Daniela Marchionni<sup>1</sup>

Raúl de Barrio<sup>1</sup>

Nelson Coriale<sup>2</sup>

Horacio Echeveste<sup>1</sup>

Isidoro Schalamuk<sup>1</sup>

Mario Tessone<sup>1</sup>

Barbara Ravaglia<sup>3</sup>

Roberto Bruno<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Recursos Minerales (UNLP – CIC)*

<sup>2</sup>*Dirección Provincial de Minería, provincia de Buenos Aires*

<sup>3</sup>*Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali (DICMA).  
Università di Bologna*

## **1. INTRODUZIONE**

La provincia di Buenos Aires possiede importanti giacimenti e riserve di rocce da applicazione e di minerali industriali, e storicamente ha fornito grandi quantità di materiali all'industria edile. La località di Sierra Chica, nella regione di Olavarría, costituisce un classico distretto dedicato allo sfruttamento della pietra granitica ornamentale e tritata. L'estrazione dei materiali per uso ornamentale è ristretto alle attività dei cantieri dedicati all'estrazione dei blocchi di granito delle varietà commerciali denominate “Rojo Sierra Chica” e “Labradorita”. Anche se i graniti dell'area della Sierra Chica sono riconosciuti a livello internazionale per la loro qualità, non si hanno sufficienti

## **1. INTRODUCCIÓN**

La provincia de Buenos Aires posee importantes yacimientos y reservas de rocas de aplicación y minerales industriales, e históricamente ha provisto gran cantidad de materiales a la industria de la construcción. La localidad de Sierra Chica, en el partido de Olavarría, constituye un clásico distrito dedicado a la explotación de la piedra granítica ornamental y triturada. La extracción de materiales para uso ornamental está restringida a la actividad de seis canteras dedicadas a la extracción de bloques de granito de las variedades comerciales denominadas “Rojo Sierra Chica” y “Labradorita”. Si bien los granitos del área de Sierra Chica son reconocidos

dati da analisi che seguano la normativa internazionale. In questo contesto, all'interno del lavoro del Programma Alfa-FARO "Formación Avanzada en el Área de Rocas Ornamentales y Geoprocesamiento" (Programma Alfa di Cooperazione tra la Comunità Economica Europea e l'America Latina), le varietà "Rojo Sierra Chica" e "Labradorita" sono state caratterizzate dal punto di vista delle loro proprietà fisico-meccaniche e delle loro caratteristiche petrografiche nel Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali (DICMA) dell'Università di Bologna.

## 2. PRECEDENTI

La località di Sierra Chica iniziò a popolarsi dal 1880 e immediatamente vennero aperti nella sua zona dei cantieri dedicati all'estrazione della pietra granitica. La rapida evoluzione economica della zona risiede nell'esistenza delle sue grandi ricchezze, favorita dalla sua ubicazione strategica nel centro geografico della provincia di Buenos Aires; ciò le permise una comunicazione fluida con la Capitale Federale e con il resto del paese. L'arrivo della ferrovia nel 1883 è stato uno strumento fondamentale per lo sviluppo di questa regione poiché ha permesso la distribuzione dei suoi prodotti in diverse zone del paese. L'inizio dell'attività mineraria nella località della Sierra Chica è

internazionalmente per su calidad, no se registran suficientes datos de ensayos que se ajusten a las normativas que hoy rigen el mercado internacional.

En este contexto, dentro del marco del Programa Alfa-FARO "Formación Avanzada en el Área de Rocas Ornamentales y Geoprocesamiento" (Programa Alfa de Cooperación entre la Comunidad Económica Europea y América Latina), las variedades "Rojo Sierra Chica" y "Labradorita" han sido caracterizadas desde el punto de vista de sus propiedades físico-mecánicas y sus características petrográficas en el Departamento de Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali (DICMA) de la Università di Bologna.

## 2. ANTECEDENTES

La localidad de Sierra Chica empezó a poblarse hacia 1880 e inmediatamente se abrieron en su ámbito canteras dedicadas a la extracción de la piedra granítica. La rápida evolución económica de la zona radicó en la existencia de sus grandes riquezas, favorecida por su ubicación estratégica en el centro geográfico de la provincia de Buenos Aires, hecho que le permitió una fluida comunicación con la Capital Federal y con el resto del país. La llegada del ferrocarril en 1883, se convirtió en una herramienta fundamental para el avance de esta región, que permitió la distribución de sus

legato all'installazione del vecchio penitenziario, la cui esistenza è datata 1882. I suoi lavori minerari offrono un valore storico speciale in virtù del fatto che è stato sviluppato dai reclusi, come lavoro forzato, ma allo stesso tempo come parte dell'obiettivo di preparazione al lavoro per la loro riabilitazione sociale. Il cantiere della prigione cominciò la sua attività nel 1885 con la produzione di lastre per pavimenti, marciapiedi e blocchi, e iniziò la sua meccanizzazione nel 1911 con l'ottenimento dei trituratori di pietre.

L'area della Sierra Chica venne popolata inizialmente da gruppi distinti di immigrati: italiani, spagnoli, tedeschi, portoghesi e sirio-libanesi, alcuni dei quali furono precursori di questa attività. Come Martín Gregorini, che nel 1890, attraverso una deviazione della Ferrovia del Sud, cominciò a mandare massicciamente i materiali dei suoi cantieri a Buenos Aires. Seguito dopo dai suoi discendenti, fornì lastre per pavimenti e materiali per facciate usati nelle costruzioni che oggi formano parte del patrimonio storico delle città di Buenos Aires e La Plata (Radice, 1949) e di varie località dell'Argentina, oltre che alcune opere importanti nelle capitali europee. Deve essere inoltre menzionato Tomás Barbieri, che nel 1926 cominciò a sviluppare il cantiere e l'industria che diedero luogo alla Marmolería Sierra Chica SA e ad alcuni dei cantieri

productos a distintas zonas del país.

El comienzo de la actividad minera en la localidad de Sierra Chica está ligado a la instalación de su antigua penitenciaría, cuya existencia data de 1882. Sus labores mineras ofrecen un valor histórico especial en virtud de haber sido desarrolladas por los reclusos, como trabajos forzados, pero al mismo tiempo como parte de un objetivo de capacitación en oficios para su rehabilitación social. La cantera del penal comenzó sus actividades en 1885 con la producción de adoquines, cordones y bloques, habiéndose iniciado su mecanización en 1911, para la obtención de triturados pétreos.

El área de Sierra Chica fue poblada inicialmente por distintos grupos de inmigrantes: italianos, españoles, alemanes, portugueses y sirio-libaneses, algunos de los cuales fueron precursores de esta actividad, como Martín Gregorini, quien en 1890, a través de un desvío del Ferrocarril de Sud, comenzó a despachar masivamente los materiales de sus canteras a Buenos Aires. Seguido luego por sus descendientes, proveyó adoquines y materiales para frentes usados en construcciones que hoy forman parte del patrimonio histórico de las ciudades de Buenos Aires y La Plata (Radice, 1949) y de varias localidades de Argentina, además de algunas obras importantes en



che esistono attualmente.

### 3. I CANTERI DELLA SIERRA CHICA

Attualmente sono in attività otto imprese produttrici di blocchi di granito (Figura 1), alcune delle quali hanno delle segherie proprie: Alsina Vial S.A. - Galasur S.A., Marmolería Sierra Chica S.A., Genaro y Andrés D'Stéfano, Carlos Campolonghi e Hijos S.A., Calello Hnos. S. A., Granito Orcollano S.A., Granito Serrano S.A. e Grado S. A. La produzione totale è di 4.000 m<sup>3</sup> annuali di granito, destinati principalmente al consumo interno. Una parte della produzione delle rocce ornamentali, tanto del materiale grezzo quanto di quello lavorato, è destinata eventualmente

capitali europee. También debe mencionarse a Tomás Barbieri, quien en 1926 comenzó el desarrollo de la cantera e industria que dio lugar a la Marmolería Sierra Chica SA y a algunas de las canteras que existen en la actualidad.

### 3. LAS CANTERAS DE SIERRA CHICA

Actualmente se encuentran en actividad ocho empresas productoras de bloques de granito (Figura 1), algunas de las cuales cuentan con aserraderos propios: Alsina Vial S.A. - Galasur S.A., Marmolería Sierra Chica S.A., Genaro y Andrés D'Stéfano, Carlos Campolonghi e Hijos S.A., Calello Hnos. S. A., Granito Orcollano S.A., Granito Serrano S.A. y Grado S. A. La producción



**Figura 1. Ubicazione geografica dei cantieri produttori di graniti ornamentali dell'area della Sierra Chica. Varietà Rojo Sierra Chica (GR) e Labradorita (L)**

**Ubicación geográfica de las canteras productoras de granitos ornamentales del área de Sierra Chica. Variedades Rojo Sierra Chica (GR) y Labradorita (L)**

all'esportazione, essendo la Comunità Economica Europea una delle regioni in cui la domanda è più alta. Occasionalmente si esporta granito in blocchi verso i paesi asiatici.

Le principali attività nella catena della produzione includono l'estrazione dei blocchi di pietra granitica (Figura 2) e il suo successivo trasporto alla segheria, dove si realizzano i compiti di taglio e pulitura della pietra (Figura 3). L'estrazione dei blocchi si realizza nei cantieri a cielo aperto di piccole dimensioni. La separazione dei blocchi nei cantieri si realizza per mezzo della perforazione pneumatica e volata con miccia detonante e/o cemento espandibile. Il taglio dei blocchi si realizza con mezzi meccanici: perforazione pneumatica, idraulica e filo diamantato e, in maniera minore, mediante l'uso del *flame-jet*. La separazione e la caduta dei blocchi si realizza per mezzo di cunei, cementi espandibili e mezzi idraulici. Nello sfruttamento più artigianale si tagliano "bochones" di roccia mediante fori e polvere nera. Il riquadramento finale dei blocchi si realizza utilizzando cunei e altri separatori. I blocchi così formati raggiungono dimensioni comprese fra 4 e 6 m<sup>3</sup> (1,4 m x 1,6 m x 2,5 m). Il taglio dei blocchi per la produzione di "fogli" si realizza mediante "telai", si utilizzano lame di acciaio senza denti e si usa granella di acciaio come abrasivo,

total es de unos 4.000 m<sup>3</sup> anuales de granitos, destinados principalmente al consumo interno. Una parte de la producción de rocas ornamentales, tanto de material bruto como elaborado, es destinada eventualmente a la exportación, siendo la Comunidad Económica Europea una de las regiones donde la demanda ha sido más sostenida. Ocasionalmente se exporta granito en bloques a países asiáticos. Las principales actividades en la cadena de producción incluyen la extracción de bloques de piedra granítica (Figura 2) y su posterior transporte al aserradero, donde se realizan las tareas de corte y pulido de la piedra (Figura 3). La extracción de los bloques se realiza en canteras a cielo abierto de pequeñas dimensiones. La separación de los bloques en cantera se realiza por medio de perforación neumática y voladura con cordón detonante y/o cemento expansivo. El corte de los bloques se realiza por medios mecánicos: de perforación neumática, hidráulica e hilo diamantado y, en menor medida, mediante el uso de *flame-jet*. La separación y vuelco de los bloques se hace por medio de cuñas, cemento expansivo y medios hidráulicos. En las explotaciones más artesanales se cortan "bochones" de roca mediante barrenos y pólvora negra. El recuadre definitivo de los bloques se realiza utilizando cuñas y otros separadores. Los



**Figura 2** Principali step della produzione dei blocchi di granito nel cantiere Galasur S.A.: a) taglio dei blocchi, b) separazione e caduta, c-d-e) squadramento, f) blocco terminato.

incorporata tramite una pioggia fatta di un mescolio di acqua e ossido di calcio refrigerante.

Nei telai si ottengono lastre da 2 a 3 cm di spessore, il cui aspetto finale può essere pulito e lucido, fiammato o bocciardato. Le segherie si concentrano nel Gran Buenos Aires, ce ne sono poche a Tandil e Olavarría. In esse ha

*Principales etapas de la producción de bloques de granito en la cantera Galasur S.A.: a) corte de bloques, b) separación y vuelco, c-d-e) recuadre, f) bloque terminado.*

bloques así formateados alcanzan tamaños de entre 4 y 6 m<sup>3</sup> (1,4 m x 1,6 m x 2,5 m). El aserrado de los bloques para la producción de "chapas" se realiza mediante "telares". Se utilizan lamas de acero sin dientes, y se utiliza granalla de acero como abrasivo, incorporada mediante una lluvia junto con una mezcla de agua y



a



b



c



d



e



f

**Figura 3. Lavorazione delle lastre e della pavimentazione di granito nella segheria di Marmolería Sierra Chica S.A.: a e b) taglio nei telai, c-d) lastre terminate e) lucidatura delle lastre e dei pavimenti, f) materiali terminati, pronti per la loro commercializzazione.**

luogo la produzione delle lastre (taglio e trattamento superficiale),

*Elaboración de chapas y baldosas de granito en el aserradero de Marmolería Sierra Chica S.A.: a y b) corte en telar, c-d) chapas terminadas e) lustrado de chapas y baldosas, f) materiales terminados, listos para su comercialización.*

cal refrigerante. En los telares se obtienen chapas de 2 a 3 cm de

i rivestimenti standard (pavimenti), i rivestimenti su misura e i pezzi speciali.

#### **4. I GRANITI DELLA SIERRA CHICA**

I graniti della Sierra Chica sono riconosciuti mondialmente per il loro cromatismo e la loro qualità e hanno eccellenti possibilità di crescita della loro produzione per rispondere al mercato internazionale. Queste rocce fanno parte del basamento igneo-metamorfico di età precambriana del Sistema de Tandilla e furono studiate originariamente da Cortelezzi (1954). Sono due le varietà commerciali del granito proveniente dalle località della Sierra Chica: “Rojo Sierra Chica” e “Labradorita”, varietà molto simili a livello composizionale e tessiturale, ma differenti nel colore (Figura 4). Si tratta di graniti di colore dal rosso al rosato (varietà Rojo Sierra Chica) o dal marrone al marrone verdastro (varietà Labradorita) con una tessitura a grana grossa porfirica a prima vista. Nelle sezioni sottili, la tessitura di queste rocce è granulare allotriomorfa, con marcate evidenze di cataclasi e ricristallizzazione.

##### **4.1 Descrizione petrografica**

Il granito “Rojo Sierra Chica” è il più conosciuto dei graniti dell’Argentina a livello internazionale, grazie al suo

spessore, cuyo acabado final puede ser pulido y lustrado, flameado o martelinado. Los aserraderos se concentran en el Gran Buenos Aires, existiendo unos pocos aserraderos en Tandil y Olavarría. En ellos tiene lugar la producción de chapas (aserrado y acabado superficial), revestimientos standard (balosas), revestimientos a medida y piezas especiales.

#### **4. LOS GRANITOS DE SIERRA CHICA**

Los granitos de Sierra Chica son reconocidos mundialmente por su cromatismo y calidad y tienen excelentes posibilidades de acrecentar su producción para atender el mercado internacional. Estas rocas forman parte del basamento ígneo-metamórfico de edad precámbrica del Sistema de Tandilla y fueron estudiadas originalmente por Cortelezzi (1954). Son dos las variedades comerciales de granito provenientes de la localidad de Sierra Chica: “Rojo Sierra Chica” y “Labradorita”, variedades muy similares desde lo composicional y textural pero que difieren en el color (Figura 4). Se trata de granitos de color rojizo a rosado (variedad Rojo Sierra Chica) o marrón a marrón verdoso (variedad Labradorita) con una textura granuda gruesa a porfiroide a simple vista. En corte delgado, la textura de estas rocas es granuda alotriomorfa, con marcadas evidencias de

intenso colore rosso determinato dai cristalli di feldspato potassico che sono presenti di grandi dimensioni. Il minerale più abbondante è il microclino, pertitico, in grani anedrali fino a 2 cm, con tipico raggruppamento a griglia e bordi ondulati. In qualche caso i cristalli presentano dei bordi suturati o mostrano contatti con altri cristalli attraverso delle sottili bande milonitiche. In alcune occasioni si presentano abbondanti mirmechite. Sono frequenti le fratture intra e intercristalline, a volte associate a piccole diaclasi isolate. Alcune fratture sono riempite di sericite. In ordine di abbondanza segue il quarzo, in cristalli anedrali fino a 7,5 mm, con bordi suturati e fine ondulata, con frequenti grani mirmechitici. Il quarzo riempie gli spazi fra i feldspati. Il terzo minerale in ordine di abbondanza è il plagioclasio, anedrale, in individui di più di 1 cm, con incipiente alterazione argillosa. Come minerali mafici, non molto abbondanti, abbiamo gli anfiboli e la biotite. L'anfibolo (ornblenda) è poco diffuso e appare associato alla biotite. Questa si dispone in aggregati, formando "nidi". Alcuni dei cristalli presentano un'alterazione incipiente da clorite (pennina). Come minerali accessori abbiamo zirconio e apatite. Alcune volte è visibile una incipiente e moderata milonizzazione in questo granito, la quale significa che ha sofferto

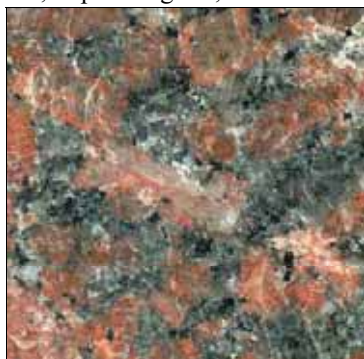
cataclasi e ricristallizzazione.

#### 4.1 Descrizione petrográfica

El granito "Rojo Sierra Chica" es el más conocido de los granitos de Argentina a nivel internacional, debido a su intenso color rojo determinado por los cristales de feldespato potásico que aparecen en grandes individuos. El mineral más abundante es microclino, pertítico, en granos anhedrales de hasta 2 cm, con típica macla en enrejado y extinción ondulante. En algunos casos los cristales presentan bordes suturados o muestran contactos con otros cristales a través de delgadas bandas miloníticas. En ocasiones se presentan abundantes mirmequitas. Son frecuentes las fracturas intra e intercristalinas, a veces asociadas a pequeñas diaclasas plumosas por cizalla. Algunas fracturas están rellenas con sericita. Sigue en orden de abundancia el cuarzo, en cristales anhedrales de hasta 7,5 mm, con bordes suturados y extinción ondulante, con frecuentes desmezclas mirmequíticas. El cuarzo rellena los espacios entre los feldespatos. El tercer mineral en orden de abundancia es la plagioclase, anedral, en individuos de más de 1 cm, con incipiente alteración arcillosa. Como minerales máficos, no muy abundantes, se presentan anfibol y biotita. El anfibol (hornblenda) es escaso y aparece asociado a la biotita. Ésta se dispone en

di un metamorfismo dinamico sufficientemente intenso tale da originare microfratturazioni che determinano un'orientamento più o meno uniforme dei suoi componenti. Questa anisotropia è sfruttata dai cantieristi, poichè parallelamente a queste orientazioni, la roccia offre minor resistenza al taglio e in coincidenza delle microfratture si indeboliscono quelle meno esposte.

Il granito “Labradorita” è una varietà del Rojo Sierra Chica in cui i cristalli del feldspato sono di colore marrone e marrone verdastro, determinando il tono della roccia in generale. In questa roccia, alcuni cristalli di plagioclasio sono parzialmente rimpiazzati dalla muscovite come pure dalla clorite. Inoltre si osserva cataclasi per la deformazione dei gruppi polisintetici del plagioclasio. Come minerali accessori si hanno zircone, apatite, calcite e qualche epidoto, in piccoli grani, isolati.



**Figura 4. Varietà commerciali dei graniti a) “Rojo Sierra Chica” e b) “Labradorita”.**

agregados, formando “nidos”. Algunos de los cristales presentan una alteración incipiente a clorita (pennina). Como minerales accesorios se presentan circón y apatita.

Algunas veces es visible una incipiente a moderada milonización en este granito, lo cual significa que ha sufrido un metamorfismo dinámico suficientemente intenso como para originar microfracturaciones que determinan una orientación más o menos uniforme de sus componentes. Esta anisotropía es aprovechada por los canteristas, ya que en forma paralela a estas orientaciones, la roca ofrece menor resistencia al corte y en coincidencia las microfisuraciones quedan menos expuestas.

El granito “Labradorita” es una variedad cromática del Rojo Sierra Chica en la que los cristales de feldespato son de color marrón y marrón verdoso, determinando ese tono para la roca en general.



*Variedades comerciales de los granitos a) “Rojo Sierra Chica” y b) “Labradorita”.*

4.2 Proprietà Fisico-Meccaniche

Nel laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali (DICMA) dell’Università di Bologna, vennero realizzati le diverse analisi fisico-meccaniche necessarie per realizzare la caratterizzazione di queste rocce seguendo le norme internazionali dal punto di vista della resistenza meccanica e della stabilità fisico-chimica. I procedimenti, metodi e attrezzature furono regolati da una serie di norme tecniche standardizzate con l’obiettivo di essere riproducibili e comparabili con i risultati ottenuti dalle analisi in altri laboratori. I pezzi analizzati corrispondono alle due varietà del granito: “Rojo Sierra Chica” e “Labradorita” e vennero preparati secondo gli standard delle norme UNI EN (Figura 5).

En esta roca, algunos cristales de plagioclasa están parcialmente reemplazados por muscovita además de clorita. También se observa cataclasis por la deformación de la macla polisintética de la plagioclasa. Como minerales accesorios se presentan circón, apatita, calcita y escaso epidoto, en granos pequeños, aislados.

4.2 Propiedades Físico-Mecánicas

En el laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali (DICMA) de la Università di Bologna, fueron realizados los distintos ensayos físico-mecánicos necesarios para realizar la caracterización de estas rocas siguiendo las normas internacionales desde el punto de vista de su resistencia mecánica y

ANALISI	NORMA	DIMENSIONE RICHIESTA
Resistenza alla compressione	UNI EN 1926	Cubo Di 70x70x70 mm
Compressione + congelamento	UNI EN 12371	Cubo di 70x70x70 mm
Resistenza alla flessione	UNI EN 12372	Paralelepipedo di 30x60x180 mm
Flessione + congelamento	UNI EN 12371	Paralelepipedo di 30x60x180 mm
Resistenza all’urto	UNI EN 14158	Paralelepipedo di 200x200x30 mm
Resistenza all’usura (abrasione)	UNI EN 14157	Paralelepipedo di 100x100x30 mm
Resistenza allo scivolamento secco	UNI EN 14230	Paralelepipedo di 200x90x30 mm
Resistenza allo scivolamento umido	UNI EN 14230	Paralelepipedo di 200x90x30 mm
Massa volumetrica apparente (δ)	UNI EN 1936	Cubo di 40x40x40 mm
Porosità aperta	UNI EN 1936	Cubo di 40x40x40 mm
Assorbimento di acqua a P° atm.	UNI EN 13755	Cubo di 50x50x50 mm
Cristallizzazione dei sali	UNI EN 12370	Cubo di 40x40x40 mm

Figura 5. Analisi fisico-meccaniche realizzate sui campioni dei graniti della Sierra Chica nelle sue varietà commerciali “Rojo Sierra Chica” e “Labradorita”. Norme utilizzate.

Ensayos físico-mecánicos realizados sobre muestras de los granitos de Sierra Chica (“Rojo Sierra Chica” y “Labradorita”). Normas utilizadas.



Con la caratterizzazione realizzata si può predire il comportamento del materiale roccioso analizzato quando esso è sottoposto a diversi tipi di sforzi e a agenti atmosferici e dell'attività umana come pure al passare del tempo. La conoscenza di queste proprietà è necessario per valutare l'attitudine delle rocce ad un determinato uso (rivestimenti, pavimenti, uso interno o esterno). I risultati delle analisi realizzati sono riportati in Figura 6. Nelle Figure 7 e 8 vengono illustrati alcuni dei procedimenti e degli strumenti utilizzati per queste analisi.

**Figura 6. Caratterizzazione fisico-meccanica dei graniti della Sierra Chica nelle sue varietà commerciali "Rojo Sierra Chica" e "Labradorita". Risultati delle analisi realizzati**

ANALISI	VARIETA' COMMERCIALI	
	GRANITO SIERRA CHICA	LABRADORITA
Resistenza alla compressione	170,00 MPa	170,10 MPa
Compressione + congelamento	146,42 MPa	185,27 MPa
Resistenza alla flessione	13,005 MPa	13,465 MPa
Flessione + congelamento	14,20 MPa	12,10 MPa
Resistenza all'urto	40 cm	----
Resistenza all'uso (abrasione)	13,875 mm	15,500 mm
Resistenza a scivolamento secco	55,0 (pulida) - 85,1 (lisa)	64,7 (pulida) - 95,15 (lisa)
Resistenza a scivolamento umido	0,8 (pulida) - 50,4 (lisa)	10,2 (pulida) - 59,65 (lisa)
Massa volumetrica apparente (δ)	2650,70 Kg/m <sup>3</sup>	2655,49 Kg/m <sup>3</sup>
Porosità aperta	0,341 %	0,380 %
Assorbimento dell'acqua a P° atm.	0,1165 %	0,1345 %
Cristallizzazione del sale	- 0,0166 %	- 0,0030 %

stabilità fisico-chimica. Los procedimientos, métodos y equipos estuvieron regulados por una serie de normas técnicas estandarizadas con el objeto que puedan ser reproducidos y sean comparables los resultados obtenidos con los de ensayos realizados en otros laboratorios. Las muestras ensayadas, corresponden a las dos variedades de granito: "Rojo Sierra Chica" y "Labradorita" y fueron preparadas según los estándares de las normas UNI EN (Figura 5).

Con la caracterización realizada se puede predecir el comportamiento del material pétreo ensayado cuando este sea sometido a distintos tipos de esfuerzos y sea sometido a la acción de los agentes atmosféricos y de la actividad

*Caracterización físico-mecánica de los granitos de Sierra Chica ("Rojo Sierra Chica" y "Labradorita"). Resultados de los ensayos realizados.*



Figura 7. Esempio delle analisi fisico-meccaniche realizzate:  
a-b) Resistenza alla compressione e c-d) Resistenza alla flessione.

Figura 8. Esempio delle analisi fisico-meccaniche realizzate:  
a-b) Resistenza all'usura e c-d) Resistenza allo scivolamento

## 5. CONCLUSIONE

I risultati delle analisi a cui furono sottoposti i campioni di graniti dell'area della Sierra Chica nelle sue due varietà (Marchionni et al., 2008) sono soddisfacenti e permettono di qualificare le rocce analizzare come ottimali per l'utilizzo in distinte applicazioni. Le norme utilizzate fanno parte dei nuovi standard di qualità che si esigono per caratterizzare i materiali ornamentali commercializzati nel Mercato Comune Europeo. Questi risultati stimolano a consigliare alle imprese che estraggono e commercializzano queste due varietà di graniti provenienti dall'area della Sierra Chica, Olavarría, di realizzare la caratterizzazione tecnologica di

humana a medida que transcurre el tiempo. El conocimiento de estas propiedades es necesario para evaluar la aptitud de las rocas para un determinado uso (revestimientos, pavimentos, uso en interiores o exteriores). Los resultados de los ensayos realizados se consignan en la Figura 6. En las Figuras 7 y 8 se ilustran algunos de los procedimientos y equipamientos utilizados para dichos ensayos.

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados de los ensayos a los que fueron sometidas las muestras de granitos del área de Sierra Chica en sus dos variedades (Marchionni et al., 2008) son satisfactorios y permiten calificar a las rocas

questi materiali secondo questo insieme di analisi, con l'obiettivo di prevedere il comportamento fisico-meccanico delle future partite di blocchi e garantire il loro uso nelle diverse applicazioni. L'utilizzo di questo tipo di procedimento faciliterà la commercializzazione di questi materiali, tenendo in considerazione il crescente mercato della "pietra naturale" tanto a livello nazionale quanto internazionale.

ensayadas como óptimas para su utilización en distintas aplicaciones. Las normas utilizadas forman parte de los nuevos estándares de calidad que se exigirán para caracterizar a los materiales ornamentales que se comercialicen dentro del Mercado Común Europeo. Estos resultados alientan a recomendar a las empresas que extraen y comercializan estas dos variedades de granitos provenientes del área de la Sierra Chica, Olavarría, a que realicen la caracterización tecnológica de sus materiales siguiendo este conjunto de ensayos, con el objeto de prever el comportamiento físico-mecánico de las futuras partidas de bloques y garantizar su uso en las distintas aplicaciones. La utilización de este tipo de procedimiento facilitará la comercialización de estos materiales, teniendo en cuenta el creciente mercado de la "piedra natural", tanto a nivel nacional como internacional.

## **6. BIBLIOGRAFIA– BIBLIOGRÀFIA**

**CORTELEZZI, C. R. (1954) Estudio petrográfico de las rocas de la zona de Sierra Chica (partido de Olavarría) con los ensayos físicos para determinar sus cualidades técnicas. L.E.M.I.T. Serie II, N° 33. La Plata.**

**MARCHIONNI, D., CORIALE, N., DE BARRIO, R., ECHEVESTE, H., TESSONE, M., BRUNO, R., RAVAGLIA, B., PEDDIS, F. e VESCOGNI, C. (2008) Caracterización tecnológica de los granitos con aptitudes ornamentales de las canteras de Sierra Chica, Olavarría, provincia de Buenos Aires, Argentina. XVIIº Congreso Geológico Argentino, Jujuy. Octubre 2008. Actas Resúmenes. Tomo III. Pp: 1441-1442.**

**RADICE, M. (1949) Piedras de construcción, de pavimentación y decorativas usadas en la ciudad de La Plata. Serie Técnica y Didáctica 2; 59 pp.**

**NUOVE VARIETA' DI ROCCE ORNAMENTALI DELLA  
PROVINCIA DI BUENOS AIRES, REPUBBLICA  
ARGENTINA: CATALOGO ILLUSTRATO. -**

*Nuevas variedades de rocas ornamentales de la Provincia de Buenos  
Aires, República Argentina : catalogo ilustrato*

Daniela Marchionni<sup>1</sup>

Horacio Echeveste<sup>1</sup>

Nelson Coriale<sup>2</sup>

Nestor Ronconi<sup>1</sup>

*\* Instituto di Recursos Minerales (UNLP – CIC)*

*\*\* Dirección Provincial di Minería, provincia di Buenos Aires*

L'attività mineraria della Provincia di Buenos Aires (Argentina) costituisce un'industria di importanza fondamentale per lo sviluppo economico regionale, contribuendo in maniera significativa alla produzione mineraria nazionale. Questa attività è concentrata sull'estrazione e sullo sfruttamento dei materiali lapidei (graniti, calcari e dolomie) e dei minerali industriali (es. argille) e si sviluppa principalmente nell'ambito della *Sierras Septentrionales* di questa provincia.

Le *Sierras Septentrionales* (Figura 1) formano una catena orientata in direzione NO-SE che si estende in lunghezza per circa 350 km dalla città di Olavarría fino alla città di Mar del Plata, con una larghezza massima di circa 60 km nella zona centrale. Sono formate da uno zoccolo cristallino precambrico (*Complejo Buenos Aires*) sul quale si poggiano in discordanza dei

La actividad minera de la Provincia de Buenos Aires (República Argentina) constituye una industria de trascendencia fundamental para el desarrollo económico regional, contribuyendo de manera significativa a la producción minera nacional. Esta actividad está centrada en la extracción y beneficio de rocas de aplicación (granitos, calizas y dolomías) y minerales industriales (grupo de las arcillas) y se desarrolla principalmente en ámbito de las Sierras Septentrionales de esta provincia.

Las Sierras Septentrionales (Figura 1) conforman un cordón de orientación NO-SE que se extiende a lo largo de unos 350 Km desde las proximidades de la ciudad de Olavarría hasta Mar del Plata, con un ancho máximo de unos 60 Km en la zona central. Está constituido por un zócalo cristallino precámbrico (*Complejo Buenos Aires*) sobre el que se apoyan en discordancia sedimentitas del Precámbrico

sedimenti del Precambrico superiore (*Grupo Sierras Bayas*) e del Paleozoico inferiore (*Formación Balcarce*).

La produzione mineraria in questo settore è essenzialmente legata all'industria edile, dato che i materiali estratti servono come materiali da costruzione, come rocce ornamentali e come materia prima per produrre altri materiali; le aree di maggior produzione si concentrano vicino alle località di Olavarría, Sierras Bayas, Azul, Chillar, Tandil, Barker e Balcarce.

In questo contesto grande parte degli studi sviluppati dall'INREMI relativamente alle *Sierras Septentrionales* sono concentrati sulla geologia delle stesse e sulla determinazione del loro potenziale minerario. Negli ultimi anni, è stato portato avanti uno studio orientato alla ricerca delle aree alternative per lo sfruttamento delle rocce ornamentali. Gli studi realizzati hanno permesso di identificare numerose zone con affioramenti adatti alla coltivazione di questo tipo di materiale, le quali sono state selezionate sulla base delle loro caratteristiche topografiche, strutturali e geologiche (Figura 1). La qualità ornamentale di queste rocce è stata determinata a partire dagli studi petrografici, dalle analisi fisico-meccaniche e dalla valorizzazione estetica che effettuata su lastre lucidate.

Sono state definite una dozzina di aree potenziali per l'attività estrattiva nelle regioni di Olavarría, Azul, Tandil e

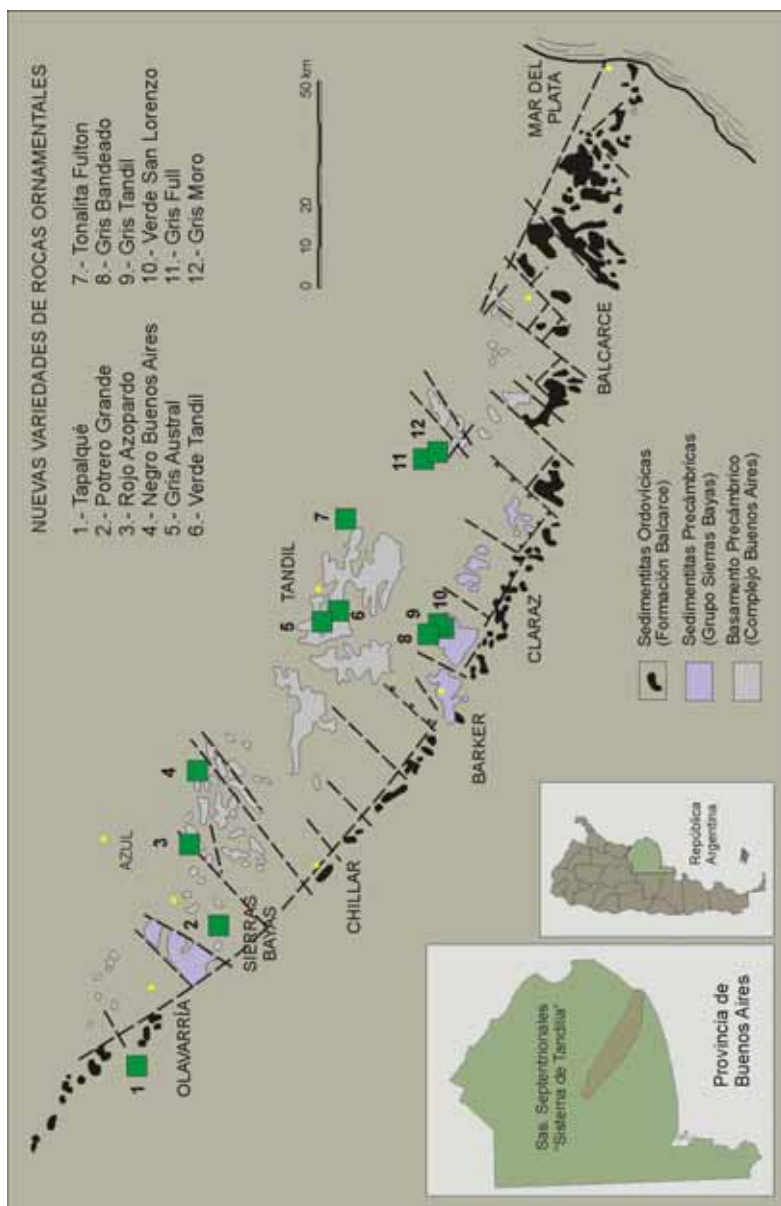
superior (Grupo Sierras Bayas) y Paleozoico inferior (Formación Balcarce).

La producción minera en este sector está esencialmente vinculada a la industria de la construcción, respondiendo los materiales extraídos a su uso como materiales básicos u ornamentales y como materia prima en la generación de otros materiales, concentrándose las áreas de mayor producción en torno a las localidades de Olavarría, Sierras Bayas, Azul, Chillar, Tandil, Barker y Balcarce.

En este contexto, gran parte de los estudios desarrollados por el INREMI en ámbito de las Sierras Septentrionales, se orientan a avanzar en el conocimiento geológico de las mismas y en determinar su potencialidad minera. En los últimos años, se ha llevado adelante una investigación orientada a la búsqueda de áreas alternativas para la explotación de rocas ornamentales. Los estudios realizados permitieron identificar numerosos sectores con afloramientos aptos para la explotación de este tipo de materiales, los que fueron seleccionados sobre la base de sus características topográficas, estructurales y geológicas (Figura 1). La calidad ornamental de estas rocas fue determinada a partir de estudios petrográficos, ensayos físico-mecánicos y valoración estética sobre planchas pulidas. Fueron definidas una docena de áreas potenciales para la actividad

Balcarce. Sono state definite le seguenti varietà: a) nella regione di Tandil: Gris Bandeadó, Gris Tandil, Gris Austral, Tonalita Fulton, Verde Tandil e Verde San Lorenzo, b) nella regione di Azul: Negro Buenos Aires, Rojo Azopardo e Potrero Grande, c) nella regione di Balcarce: Gris Moro e Gris Full, e d) nella regione di Olavarría: Tapalqué (Ronconi et al., 1991, Ronconi et al., 1994, Echeveste & Marchionni, 1994). In questo lavoro viene presentata una sintesi delle principali caratteristiche dei materiali selezionati. Sono descritti gli aspetti geologici e topografici degli affioramenti, le proprietà petrografiche e le caratteristiche tecnologiche delle rocce e si valorizzano le potenzialità minerarie per questi settori.

extractiva en los partidos de Olavarría, Azul, Tandil y Balcarce. Se definieron las siguientes variedades: a) en el partido de Tandil: Gris Bandeadó, Gris Tandil, Gris Austral, Tonalita Fulton, Verde Tandil y Verde San Lorenzo, b) en el partido de Azul: Negro Buenos Aires, Rojo Azopardo y Potrero Grande, c) en el partido de Balcarce: Gris Moro y Gris Full, y d) en el partido de Olavarría: Tapalqué (Ronconi et al., 1991, Ronconi et al., 1994, Echeveste & Marchionni, 1994). En esta contribución se presenta una síntesis de las principales características de los materiales seleccionados. Se describen los aspectos geológicos y topográficos de los afloramientos, las propiedades petrográficas y características tecnológicas de las rocas y se hace una valoración de las perspectivas mineras de estos sectores.



**Figura 1. Mappa geologica  
semplificata delle Sierras  
Septentrionales della provincia e  
localizzazione degli affioramenti  
delle nuove varietà di rocce  
ornamentali - Mapa geológico**

*simplificado de las Sierras  
Septentrionales de la provincia y  
localización de los afloramientos de  
las nuevas variedades de rocas  
ornamentales..*



## Tapalqué



**Affioramenti:** Banchi massivi di ridotte dimensioni, morfologia e dislivello (7-8 m) favorevoli.

**Petrografia:** Le caratteristiche granulometriche e di colore devono essere confermate anche in profondità.

**Coesione moderata.** Buona lucidabilità.

**Fratturazione:** Diaclasi ortogonali subverticali. Che facilitano l'estrazione dei blocchi commerciali.

**Riserve:** Grandi quantità.

**Logistica:** Buone condizioni di accesso.

**Lavori minerari:** Non esistono

**Prospettive di coltivazione:** favorevoli allo sviluppo di vari fronti di estrazione dei blocchi e di una produzione di livello adeguato

## Granito rosato granudo

### CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS

Roca	Granito alcalifeldespático
Color	Rosado
Estructura	Masiva
Textura	Granuda alotriomorfa

### CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

Densidad Saturada	2.66
Absorción de Agua ½ h(%)	0.2
Absorción de Agua 24 h(%)	0.2
Desgaste Dorry (IRAM 1539)	19.4
Rotura Compresión Simple (kg/cm <sup>2</sup> )	820



## Potrero Grande



**Affioramenti:** Blocchi arrotondati di dimensioni ridotte, su morfologia quasi pianeggiante.

**Petrografia:** L'alterazione dei plagioclasti deve essere studiata in profondità

**Fratturazione:** diaclasi di bassa densità.

**Riserve:** Si rende necessaria una valutazione in dettaglio.

**Logistica:** Buone vie di accesso.

**Lavori minerari:** Non esistono.

**Prospettive di coltivazione:** Lo sfruttamento dell'affioramento dovrà essere fatto al di sotto del livello della pianura circostante. Si raccomanda l'apertura di un cantiere pilota al fine di determinare le variazioni petrografiche verticali.

## Granito rosso pallido

### CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS

Roca	Granito
Color	Rojo pálido
Estructura	Masiva
Textura	Granuda alotriomorfa = Sutura

### CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

Densidad Saturada	2.6
Absorción de Agua ½ h(%)	0.1
Absorción de Agua 24 h(%)	0.1
Desgaste Dorry (IRAM 1539)	19.1
Rotura Compresión Simple (kg/cm <sup>2</sup> )	111



## Rojo Azopardo



**Affioramenti:** Blocchi arrotondati di grandi dimensioni (circa 300 m<sup>3</sup>) e banchi massivi.

**Morfologia e dislivello** molto favorevoli.

**Petrografia:** Le caratteristiche granulometriche e cromatiche sono omogenea su tutta la superficie. Sono presenti in alcune zone lineazioni sub-verticali e inclusioni di materiali preesistenti.

**Buona Coesione.** Eccellente lucidabilità.

**Fratturazione:** Non si osservano diaclasi.

**Riserve:** Di grandi dimensioni.

**Logistica:** Buone condizioni di accesso.

**Lavori minerari:** Inesistenti.

**Prospettive di coltivazione:** Per la sua morfologia e struttura ammette la coltivazione a partire dai blocchi isolati o dai banchi massivi

## Granito rosso porfiroide

### CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS

Roca	Granito
Color	Rojo
Estructura	Masiva
Textura	Porfiroide = Sutura da

### CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

Densidad Saturada	2.67
Absorción de Agua ½ h(%)	0.11
Absorción de Agua 24 h(%)	0.13
Desgaste Dorry (IRAM 1539)	19.12
Rotura Compresión Simple (kg/cm <sup>2</sup> )	1309



## Negro Buenos Aires



**Affioramenti:** Banchi massivi e blocchi isolati (circa 10 m<sup>3</sup>).  
**Morfologia e dislivello** (20 m) favorevoli che permettono lo sviluppo di più di un fronte di estrazione.

**Petrografia:** Omogenea superficialmente. L'orientazione dei minerale (lineazione dei feldspati) determinerà il senso del taglio.

**Fratturazione:** Non si osservano diaclasi.

**Riserve:** Considerevoli.

**Logistica:** Eccellente ubicazione poiché si trova a 2 km dall'autostrada N° 226.

**Lavori minerari:** Inesistenti.

**Prospettive di coltivazione:** E' possibile l'apertura di fronti distinti. L'assenza di fratturazione permette l'estrazione di blocchi di grande dimensione.

## Gneiss granitico nero

### CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS

Roca	Gneiss granítico
Color	Negro
Estructura	Masiva con lineación
Textura	Oftálmica = Sutura da

### CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

Densidad Saturada	2.70
Absorción de Agua ½ h(%)	0.05
Absorción de Agua 24 h(%)	0.08
Desgaste Dorry (IRAM 1539)	18.97
Rotura Compresión Simple (kg/cm <sup>2</sup> )	681



## Gris Austral



**Affioramenti:** Banchi massivi e blocchi isolati.

**Morfologie e dislivello (20-30 m)** favorevoli.

**Petrografia:** Granulometria e colore costanti in superficie. Presenza di qualche inclusione. Buona coesione e eccellente lucidabilità.

**Fratturazione:** Bassa densità di fratturazione.

**Riserve:** Grandi quantità.

**Logistica:** Buone condizioni di accesso.

**Lavori minerari:** Esistono vari fronti da cui si estraggono i blocchi. Il più importante è lungo 100 largo 17m di spessore e alto 7 a 8 m.

**Prospettive di coltivazione:** Ammette lo sviluppo di vari fronti di estrazione dei blocchi di dimensioni commerciali e una produzione di livello adeguato.

## Granito grigio azzurro

### CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS

Roca	Granito
Color	Gris azulado
Estructura	Débil lineación
Textura	Suturada-Gráfica

### CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

Densidad Saturada	2.70
Absorción de Agua $\frac{1}{2}$ h(%)	0.1
Absorción de Agua 24 h(%)	0.2
Desgaste Dorry (IRAM 1539)	19.5
Rotura Compresión Simple (kg/cm <sup>2</sup> )	1764



## Verde Tandil



**Affioramenti:** corpo tabulare di 1200 m di lunghezza e 20-40 m di potenza che affiora in blocchi.

**Morfologia e dislivello** rispetto alle zone circostanti (25 m) favorevoli

**Petrografia:** la granulometria e il colore sono costanti sia in superficie che in verticale.

**Buona coesione e buona lucidabilità.**

**Fratturazione:** diaclasi frequenti.

**Riserve:** Sufficienti.

**Logistica:** Accesso con dislivelli pronunciati.

**Lavori minerari:** Pochi fronti abbandonati di estrazione di cubetti.

**Prospettive di coltivazione:** Limitate all' estrazione di piccoli blocchi.

## Diabasa verde scuro

### CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS

Roca	Diabasa
Color	Verde
Estructura	Masiva
Textura	Ofítica-Subofítica

### CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

Densidad Saturada	3.04
Absorción de Agua ½ h(%)	0.1
Absorción de Agua 24 h(%)	0.3
Desgaste Dorry (IRAM 1539)	18.8
Rotura Compresión Simple (kg/cm <sup>2</sup> )	2242



## Tonalita Fulton



**Affioramenti:** formano una altura bassa continua in superficie, con un dislivello di circa 6 m.

**Petrografia:** granulometrica variabile che determina la formazione di piccole vene.

**Buona coesione e lucidabilità.**

**Fratturazione:** Bassa densità di fratturazione.

**Riserve:** da accertare. Le Riserve visibili risultano di interesse per iniziare una coltivazione.

**Logistica:** Buone condizioni di accesso.

**Lavori minerari:** Inesistenti.

**Prospettive di coltivazione:** in funzione delle discontinuità granulometriche (vene) si raccomanda l'esecuzione di un cantiere pilota.

## Tonalita grigio-rosada porfiroide

### CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS

Roca	Tonalita
Color	Gris rosado
Estructura	Masiva
Textura	Porfiroide

### CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

Densidad Saturada	2.69
Absorción de Agua ½ h(%)	=
Absorción de Agua 24 h(%)	0.18
Desgaste Dorry (IRAM 1539)	19.38
Rotura Compresión Simple (kg/cm <sup>2</sup> )	1302





## Gris Bandeado



**Affioramenti:** banchi massivi e blocchi isolati che formano piccole alture.

**Morfologia e dislivello (30 m)** favorevoli.

**Petrografia:** Presenza di bande metamorfiche, con inclusioni e pieghe disarmoniche.

**Coesione** molto buona e buona lucidabilità.

**Fratturazione:** Bassa densità di fratturazione.

**Riserve:** di grandi dimensioni.

**Logistica:** Buone condizioni di accesso.

**Lavori minerari:** Esistono due fronti di estrazione di blocchi, uno di questi di circa 20 metri di lunghezza per 10 metri di altezza.

**Prospettive di coltivazione:** E' possibile lo sviluppo di vari fronti di estrazione di blocchi commerciali.

## Migmatita grigia

### CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS

Roca	Migmatita epibolitica
Color	Gris
Estructura	Foliación
Textura	Porfiroblástica

### CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

Densidad Saturada	2.81
Absorción de Agua ½ h(%)	0.1
Absorción de Agua 24 h(%)	0.2
Desgaste Dorry (IRAM 1539)	19.5
Rotura Compresión Simple (kg/cm <sup>2</sup> )	
= paralelo a la foliación	1026
= normal a la foliación	1475





## Gris Tandil



**Affioramenti:** Superfici massive e blocchi isolati (fino a 320 m<sup>3</sup>).

**Morfologia e dislivello (20 m)** molto favorevoli.

**Petrografia:** Granulometrica e colore uniformi, sia in superficie, sia in profondità.

**Coesione elevata ed eccellente** lucidabilità.

**Fratturazione:** Bassa densità.

**Riserve:** di grandi dimensioni.

**Logistica:** Buone condizioni di accesso.

**Lavori minerari:** limitati all'estrazione artigianale di blocchi a partire dai blocchi isolati.

**Prospettive di coltivazione:** E' possibile lo sviluppo di vari fronti di estrazione di blocchi commerciali.

## Granito grigio porfiroide

### CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS

Roca	Granito
Color	Gris
Estructura	Masiva
Textura	Porfiroblástica

### CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

Densidad Saturada	2.70
Absorción de Agua ½ h(%)	0.2
Absorción de Agua 24 h(%)	0.2
Desgaste Dorry (IRAM 1539)	19.4
Rotura Compresión Simple (kg/cm <sup>2</sup> )	1325



## Verde San Lorenzo



**Affioramenti:** Blocchi isolati di circa 25 m<sup>3</sup> distribuiti superficialmente con alta frequenza.

**Morfologia e dislivello** (circa 8 m) favorevoli.

**Petrografia:** Granulometria e colore costanti in superficie.

**Coesione** buona, eccellente lucidabilità.

**Fratturazione:** Sistema ortogonale di diaclasi non omogeneo che isola i blocchi.

**Riserve:** di grande dimensioni.

**Logistica:** Buone condizioni di accesso.

**Lavori minerari:** Inesistenti.

**Prospettive di coltivazione:** Prima della diagrammazione della coltivazione, si raccomanda l'apertura di un fronte pilota di estrazione.

## Diorita verde scura

### CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS

Roca	Diorita
Color	Verde oscuro
Estructura	Masiva
Textura	Ofítica = Subofítica

### CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

Densidad Saturada	3.01
Absorción de Agua ½ h(%)	0.1
Absorción de Agua 24 h(%)	0.2
Desgaste Dorry (IRAM 1539)	18.7
Rotura Compresión Simple (kg/cm <sup>2</sup> )	1053



## Gris Full



**Affioramenti:** Ampie superfici massive con uno scarso dislivello (di 5 m), che obbliga a degli scavi per sviluppare i cantieri di estrazione.

**Petrografia:** Presenza di bande E-W che condizionano il senso del taglio.

**Coesione e lucidabilità** molto buone.

**Fratturazione:** Quasi inesistente in superficie.

**Riserve:** di interesse.

**Logistica:** Cammino sicuro senza dislivelli.

**Lavori minerari:** inesistenti.

**Prospettive di coltivazione:**

L'assenza di diaclasi permette l'estrazione di blocchi di grandi dimensioni. Si raccomanda di aprire un cantiere pilota per verificare l'effetto delle bande sul recupero.

## Granito grigio

### CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS

Roca	Granito
Color	Gris
Estructura	Débil lineación
Textura	Porfiroide

### CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

Densidad Saturada	2.77
Absorción de Agua ½ h(%)	=
Absorción de Agua 24 h(%)	0.3
Desgaste Dorry (IRAM 1539)	19.48
Rotura Compresión Simple (kg/cm <sup>2</sup> )	1129



## Gris Moro



**Affioramenti:** Ampie superfici massive con blocchi di 10 m di diametro.

**Morfologia e dislivelli (15 m)** favorevoli

**Petrografia:** Presenza di inclusioni basiche.

**Coesione e lucidabilità** buone.

**Fratturazione:** Presenza di diaclasi ortogonali

**Riserve:** Elevate.

**Logistica:** Accessi senza dislivelli.

**Lavori minerari:** inesistenti.

**Prospettive di coltivazione:** La spaziatatura delle diaclasi facilita l'estrazione dei blocchi commerciali. Si raccomanda di aprire un cantiere pilota per verificare l'effetto delle discontinuità miner5alogiche.

## Granito grigio porfiroide

### CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS

Roca	Granito
Color	Gris
Estructura	Débil lineación
Textura	Porfiroide con débil orientación

### CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

Densidad Saturada	3.01
Absorción de Agua ½ h(%)	=
Absorción de Agua 24 h(%)	0.13
Desgaste Dorry (IRAM 1539)	=
Rotura Compresión Simple (kg/cm <sup>2</sup> )	1280



## **BIBLIOGRAFIA– BIBLIOGRÀFIA**

RONCONI N., ECHEVESTE H. & MARCHIONNI D., (1991) **Nuevas variedades de rocas ornamentales de la provincia de Buenos Aires. I Parte.** Situación ambiental de la Provincia de Buenos Aires. Recursos y rasgos naturales en la evaluación ambiental. C.I.C. 1, N° 9: 28 pp.

RONCONI N., ECHEVESTE H. & MARCHIONNI D. (1994) **Nuevas variedades de Rocas ornamentales de la provincia de Buenos Aires. II Parte.** Situación ambiental de la Provincia de Buenos Aires. Recursos y rasgos naturales en la evaluación ambiental. C.I.C. 4. N° 28: 23 pp.

ECHEVESTE H. & MARCHIONNI D. (1994) **Áreas potenciales para la extracción de materiales lapídeos en el ámbito del sistema de Tandilia, provincia de Buenos Aires.** Encuentro Internacional de Minería, Actas I: 110-112.

# **LE ROCCE IGNIMBRITICHE, ROCCE ORNAMENTALE NEL CENTRO STORICO DI MORELIA, MICHOACAN, MEXICO -**

*Las ignimbritas, rocas ornamentales del Centro Histórico de Morelia*

W. Martínez Molina  
E. M. Alonso Guzmán  
J. C. Rubio Avalos  
F. A. Velasco Ávalos

*Facoltà di Ingegneria Civile, Università Michoacana di San Nicholas de Hidalgo,*

## **1. INTRODUZIONE**

Le rocce hanno sempre formato una parte importante della storia dello sviluppo umano sulla terra, tanto che due ere geologiche sono chiamate “litiche” : paleolitico e neolitico.

Fra le necessità primarie dell'uomo c'è la casa; le prime case sono state costruite con materiali che abbondavano nelle regioni in cui si svilupparono. La casa fu poi perfezionata, per soddisfare sia una necessità basica che una necessità estetica e il desiderio di trascendenza.

Queste prime case furono costruite pensando ad una vita utile limitata, ma successivamente l'uomo, in forma collettiva, immaginò di creare lavori monumentali che avessero una vita utile maggiore della loro. Per edificare le costruzioni, le persone impararono ad usare strumenti e materiali differenti, a specializzarsi in laboratori come muratori, tagliatori di rocce, scultori, architetti, ingegneri e costruttori.

Il Messico è un paese con una grandiosa tradizione culturale proveniente dalle antiche civiltà che si instaurarono.

## **1. ANTECEDENTES.**

Las rocas siempre han formado parte importante de la historia del desarrollo del hombre sobre la tierra, incluso dos eras geológicas están referenciadas a los líticos: paleolítico y neolítico.

Entre las necesidades primarias del hombre está la vivienda, las primeras viviendas estuvieron construidas con materiales que abundaban en la región. La vivienda fue perfeccionándose, pasando de cumplir con una necesidad básica a cumplir con una necesidad estética y con el deseo de trascendencia.

Esas primeras viviendas se construyeron pensando en una vida útil limitada, pero posteriormente el hombre, en forma colectiva, imaginó crear obras monumentales que tuvieran vida útil mayor que la propia.

Para edificar las construcciones, las personas aprendieron a usar herramientas y diferentes materiales, a profesionalizarse en oficios como albañiles, canteros, escultores, arquitectos, ingenieros, constructores.

México es un país con gran tradición cultural proveniente de antiguas civilizaciones que se qui.

Ci sono costruzioni monumentali precolombiane, del preclassico, che fanno parte del patrimonio mondiale dell'umanità come Mitla, Chichén Itlá, Calakmul, Tajín e altre.

Esistono 9 città coloniali i cui centri storici appartengono alla lista dei Patrimoni dell'Umanità; tali città sono Campeche, Guanajuato, Morelia, Mexico DF, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tlacotalpan e Zacatecas. In ciascuna di tali città l'immagine urbana è meravigliosa. Eccetto Tlacotalpan e Zacatecas, tutte sono costruite con le rocce della regione, sullo stile ornamentale tipico di origine spagnola, ma con i dettagli propri dell'etnia locale predominante. L'architettura, l'ornamento, il processo estetico e la tecnica costruttiva hanno molto a che fare con i gruppi locali che abitavano la zona.

Nel periodo coloniale in Messico gli insediamenti e le città erano costruite con le tecniche descritte nei trattati Europei, come quelli di Vitruvio e Palladio, ma adattati ai materiali esistenti nella regione. L'impero del gruppo etnico Purhépecha in Michoacán era forte e il sito su cui si trovava aveva qualità attrattive per gli spagnoli, che erano basati nella Valle del Guayangareo con il Vice Regno della Nuova Spagna, nella città chiamata Valladolid (oggi Morelia in onore a Jose Maria Morelos e Pavón, suo importante figlio). Fra i vantaggi della zona, c'è il clima (temperature che variano fra 12° e

asentaron aquí. Tenemos construcciones monumentales precolombinas, del preclásico, que forman parte del patrimonio mundial de la humanidad como Mitla, Chichén Itzá, Calakmul, Tajín y otras.

Existen 9 ciudades coloniales cuyos centros históricos también pertenecen a la lista de Patrimonio de la Humanidad. Las ciudades son: Campeche, Guanajuato, Morelia, México DF, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tlacotalpan y Zacatecas; en todas ellas la imagen urbana es bellísima. Exceptuando Tlacotalpan en Veracruz, todas están construidas con rocas regionales, su estilo ornamental es en lo general de origen español, pero con los detalles propios de la etnia local predominante. La arquitectura, el ornamento, el proceso estético y la técnica constructiva tuvieron mucho que ver con los grupos locales que habitaban la zona de manera previa.

En la época colonial en México, los asentamientos y ciudades se construyeron con las técnicas descritas en tratados europeos, como Vitrubio y Paladio, pero adecuadas a los materiales existentes en la región. El imperio de la etnia Purhépecha en Michoacán, México, era fuerte y el sitio tenía cualidades atractivas para los españoles, quienes se asentaron en el Valle de Guayangareo con el Virreinato de la Nueva España, en la ciudad llamada Valladolid, hoy Morelia en honor a José María Morelos y

26°C secondo la bibliografia storica) e l'abbondanza di acqua è all'origine del nome con il quale è conosciuta Morelia e cioè " Il Giardino della Nuova Spagna"). Morelia si trova fra i paralleli 19°30' e 19°50' di latitudine Nord e i meridiani 101°00' 101°30' di longitudine ovest, con un altitudine di 1960 m s.l.m. Geograficamente, è nel mezzo fra la Sierra Madre Occidentale, la Cintura Vulcanica messicana e le Placche di Cocco; si trova nell'intersezione geometrica fra le montagne e i torrente. Questa location ha garantito una geologia specifica, formata da rocce ignee estrusive, rioliti, ignimbriti e tufo. Michoacán, insediamento del Reame di Purhèpecha, è caratterizzato dalle costruzioni in roccia e argilla, con bordi e muri bene definiti, colloquialmente noti come Yácatas, piramidi locali e anche dal costume di "distuggere" tutto prima di cambiare di sito. Quest'ultima azione ha reso difficile la ricostruzione delle sue rotte. Quando i monaci arrivarono in Michoacán, Don Vasco de Quiroga iniziò la sua catechesi basata sull'educazione ai lavori che avevano a che fare con i materiali delle zone circostanti, creando dei gruppi sociali di tagliatori di pietre, costruttori, pittori, tessitori, vasai; tali lavori hanno promosso l'interazione fra diversi gruppi etnici e hanno migliorato l'economia. La città di Morelia ha 1130 monumenti storico-architettonici

Pavón, hijo dilecto. Entre las bondades remarcables están el clima, cuya temperatura variaba de 12 a 26 °C según la bibliografía histórica, además de tener agua en abundancia, ese es el origen de uno de los nombres con que se conoce a Morelia: "El Jardín de la Nueva España". Morelia, Michoacán, México está ubicada entre los paralelos 19°30' y 19°50' de latitud norte, y los meridianos 101°00' y 101°30' de longitud oeste, con altitud de 1960 msnm. Geográficamente está localizada en la intersección geométrica de la Sierra Madre Occidental, el Cinturón Volcánico Mexicano, las Placas de Cocos y Rivera. Esta localización proveyó de una geología específica, consistente en rocas ígneas extrusivas, tobas riolíticas, ignimbritas. Michoacán, asentamiento del Reino Purhèpecha, se caracterizó por el hecho de construcciones de roca y arcilla, con aristas y muros redondeados, coloquialmente conocidas como Yácatas, pirámides locales, y también por su costumbre de "barrer" todo antes de mudarse de sitio. Esta última acción ha hecho difícil trazar sus rutas. Cuando llegaron los religiosos a Michoacán, Don Vasco de Quiroga, inició su catequesis basado en la enseñanza de oficios que tuvieran que ver con los materiales del entorno, así creó grupos sociales como canteros, tejedores, alfareros, constructores, pintores, estas acciones



nel suo centro storico e ognuno di essi è catalogato. Il colore predominante delle rocce ornamentali usare è rosa chiaro, da cui deriva l'altro nome tramite il quale è conosciuta Morelia, ovvero "città dai mattoni rosa". La quantità e lo stato dei monumenti del centro storico di questa città ha permesso a Morelia, all'inizio degli anni 90, di entrare all'interno della Lista dei Patrimoni dell'Umanità dell'UNESCO.

Il piano della città è quello tipico spagnolo, cioè una griglia con la chiesa al centro. La cattedrale è il tempio più importante della città di Morelia e topograficamente si trova nella parte più alta del piano (la sua torre è al secondo posto in altezza in Messico, sorpassata solo da quella della cattedrale di Puebla).

Morelia, secondo le statistiche, è la città non balneare più visitata in Messico proprio grazie ai suoi monumenti. Negli anni 60 c'era la moda di riscoprire i monumenti che avevano una copertura in malta (la quale in molti casi era dipinta del colore corrispondente al distretto religioso o al santo al quale erano legate); tale moda nacque nello stesso momento in cui ci fu l'aumento dell'utilizzo dei veicoli a benzina. L'uso dei combustibili, l'industria nascente, la produzione dei solfuri nelle emissioni vulcaniche e la combustione del legno per produrre la ceramica o per cucinare hanno causato la formazione di una patina sulle

promovieron la interacción entre los diferentes grupos étnicos y el mejoramiento de la economía.

La ciudad de Morelia tiene 1130 monumentos histórico-arquitectónicos en el Centro Histórico. Todos los monumentos están catalogados. El color predominante de las rocas ornamentales es ligeramente rosado, de ahí el otro nombre con que se conoce a Morelia: "Ciudad de la Cantera Rosa".

La cantidad y el estado de los monumentos del Centro Histórico lograron que la ciudad fuera admitida dentro de la Lista de Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO al iniciar la última década del siglo XX.

La traza de la ciudad es la típica española de cuadrícula con iglesia al centro. La Catedral es el templo principal en la ciudad de Morelia y topográficamente está localizada en la máxima altura de la cuadrícula, sus torres ocupan el segundo lugar en altura en México, sólo son superadas por la Catedral de Puebla.

Morelia, según las estadísticas, es el primer destino turístico no playa del país. Las personas acuden a la ciudad para ver sus monumentos. En 1960 hubo una "moda" de descubrir los monumentos que tenían recubrimiento de mortero de cal, en muchos casos el mortero estaba pintado del color correspondiente al barrio religioso o santo patrón al que pertenecían, lamentablemente esta "moda" coincidió con el auge de los

facciate dei monumenti specialmente in quelle orientate nella direzione dominante del vento. I venti principali erano in direzione S-SW, con velocità medie comprese tra i 2 e i 4 m/s; tali venti non sono in grado di causare un'abrasione meccanica ma possono trasportare particelle aeree inquinanti che si depositano sugli elementi verticali esposti.

Le rocce con cui è stato costruito il centro storico di Morelia sono ignee estrusive, ignimbriti. Dal punto di vista ornamentale le ignimbriti presentano dei vantaggi: sono calde alla vista e al tatto, sono facili da scolpire e per questo motivo si è creato uno stile architettonico locale, sono relativamente resistenti, non presentano alcun problema di contatto tra la loro superficie e la malta su cui aderiscono, sono abbondanti nella regione e per coltivarle non c'è bisogno di utilizzare gli esplosivi, gli scarti di lavorazione sono anch'essi utilizzati nelle costruzioni e per riempire i vuoti tra i blocchi di ignimbrite (stile "rajueado").

## **2. LE ROCCE IGNIMBRITICHE**

Le ignimbriti sono rocce ignee estrusive dette anche flussi piroclastici o flussi di cenere; prodotti tipici delle zone tettoniche, sono principalmente composti da riolite, dacite e andasite. La maggior parte delle ignimbriti sono rioliti, alcune

veicoli automotore che funzionano con combustibili fossili. La quema de los combustibles, la incipiente industria, el azufre producto de las emisiones volcánicas, la quema de madera para producir cerámicos y cocinar, propició pátinas en las fachadas de los monumentos, especialmente en aquellas fachadas orientadas hacia la dirección de los vientos dominantes.

Los vientos dominantes son S-SW, con velocidades promedio de 2 a 4 m/s, que no provocan abrasión mecánica pero si pueden transportar partículas aéreas contaminantes que depositan en los elementos verticales expuestos.

Las rocas con que se construyó el centro histórico de Morelia son rocas ígneas extrusivas, ignimbritas. Desde el punto de vista ornamental las ignimbritas presentan ventajas: son cálidas a la vista y al tacto, por su facilidad de labrado han creado estilos arquitectónicos locales, son relativamente resistentes, no presentan problemas de interface entre su superficie y el mortero con que se adhieren, son abundantes en la región, su explotación en lo general no requiere de explosivos, las esquirlas producto de la talla, labrado y extracción también se usan en la construcción, creando estilos como el llamado localmente rajueado.

hanno la composizione chimica ben zonata che indica la chiusura graduale di grandi camere magmatiche (Cas, 1988). Quando la percentuale di silice nelle ignimbriti arriva circa al 70% vengono generalmente chiamate rioliti. Inoltre, in funzione della quantità di silice, le rocce ignee vengono classificate come rocce acide se contengono più del 66% di silice (Best, 1981).

Le ignimbriti si generano ad alte temperature e la saldatura, la ricristallizzazione e l'alterazione possono avvenire durante il periodo di raffreddamento. Tutti i vetri sono metastabili e possono cristallizzare o devitrificare. Tre grandi processi possono essere identificati: saldatura, cristallizzazione della fase vapore e devitrificazione. La saldatura è il momento della sinterizzazione dei frammenti di pomice e di vetro sotto alti carichi di compattazione. I controlli più importanti sono: a) viscosità del gas dipendente dalla temperatura e dalla composizione; b) carico litostatico dipendente dallo spessore del deposito. La cristallizzazione della fase vapore si ha a causa della percolazione di gas caldi attraverso le ignimbriti durante il raffreddamento. Le fonti più importanti di gas sono probabilmente sia la diffusione delle particelle giovani vitree sia il flusso idrotermale. I prodotti principali sono la cristobalite e i feldspati alcalini. La devitrificazione circonda la

## **2. LAS IGNIMBRITAS.**

Las ignimbritas son rocas ígneas extrusivas también llamadas flujos piroclásticos o cenizas volantes, productos muy comunes encontrados en todos los asentamientos tectónicos; principalmente están compuestas de riolita, dacita y andesita; muchas de las ignimbritas son riolitas, algunas de las composiciones químicas están zonificadas, indicando el taponamiento de grandes calderas de magma [Cas, 1988]. Cuando el porcentaje de sílice en las ignimbritas es de alrededor del setenta por ciento se les suele llamar riolitas. En adición, dependiendo del porcentaje de sílice contenido, las rocas ígneas son clasificadas como rocas ácidas si contienen 66 % o más del mismo [Best, 1981].

Las ignimbritas son emplazadas a altas temperaturas y el soldamiento, recrystalización y alteración pueden ocurrir durante el período de enfriamiento. Todos los vidrios son metaestables y eventualmente cristalizan o se devitrifican. Tres grandes procesos pueden ser reconocidos: soldamiento, fases vapor de cristalización y devitrificación. Soldamiento es la sinterización de fragmentos de pumicitas y esquirlas de vidrio bajo cargas compactacionales. Los controles más importantes son: a) viscosidad de los gases dependiendo de la temperatura y la composición; b) carga litostática dependiendo del

cristallizzazione sub-solido del vetro metastabile.

La maggior parte dei monumenti di Morelia è realizzata con blocchi di ignimbrite, molto abbondanti in questa regione del Messico. Molte altre città storiche del Messico non sono state costruite con queste rocce (ad esempio il centro di Città del Messico è in basalto mentre i monumenti Maya sono in calcare).

Gli studi sul deterioramento delle ignimbriti sono assenti dalla letteratura, mentre è stato scritto molto su quello di altre rocce come sabbie e marmi. Il danneggiamento delle costruzioni in ignimbrite può essere causato da diversi fattori fra i quali la contaminazione dell'aria e gli agenti inquinanti prodotti dalla combustione delle benzine che giocano un ruolo importante. Come noto,  $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_2$  sono gli elementi chimici maggiormente responsabili del deterioramento delle altre rocce come il marmo (Lal Gauri, 1981). Anche altri meccanismi sono noti come mezzi tramite i quali gli agenti di inquinamento atmosferico possono danneggiare i materiali esposti (ad esempio l'abrasione, rimozione degli strati, attacco chimico diretto / indiretto, corrosione elettrochimica). L'umidità, la temperatura, il congelamento e il scongelamento, influenzano il modo di danneggiare i materiali dei diversi agenti inquinanti (Yocom, 1979). Un importante

spessore del deposito. La cristallizzazione della fase vapore risulta dalla percolazione dei gas caldi attraverso le ignimbritas durante il raffreddamento. Le più importanti fonti di gas sono probabilmente la diffusione di particelle vitree giovanili e flussi idrotermali. I principali prodotti sono cristobalite e feldspati alcalini. La devitrificazione coinvolge la cristallizzazione sub-solido del vetro meta-stabile.

La maggioranza dei monumenti in Morelia furono fatti di blocchi di ignimbritas, che sono molto abbondanti in questa regione del Messico. Molte delle altre città storiche del Messico non furono costruite con queste rocce, come le basaltiti del centro storico della Città del Messico o le calze dei monumenti Mayas.

Los estudios de deterioro en ignimbritas están ausentes de la literatura, se ha escrito mucho de otras rocas como las areniscas y el mármol. El daño a los edificios de ignimbritas puede ser causado por diferentes factores entre los cuales la contaminación del aire y los contaminantes producidos por la combustión de gasolinas juegan un papel importante. Como se sabe el  $\text{NO}_x$  y el  $\text{SO}_2$  son los principales químicos responsables del deterioro de otras rocas como el mármol [Lal Gauri, 1981].

También se conocen otros mecanismos mediante los

problema della muratura dei vecchi edifici è il danneggiamento della malta; test di laboratorio hanno mostrato che la reattività della malta alla  $\text{SO}_2$  è maggiore per la malta rispetto alla roccia (Zappia, 1994). Ciò conferma il fatto che in alcune facciate la malta è scomparsa completamente (Coursimault, 1995).

La radiazione solare produce danneggiamenti allo stesso modo del congelamento. L'acqua in tutte le sue forme è l'agente che promuove attivamente azioni chimiche, deterioramento graduale dei materiali e danni sugli edifici (Feilden, 1982).

Il devitrificazione delle rocce è una classe di alterazione, ma non ci sono standard come l'ASTM (ASTM, 2000) che ci permetta di quantificare il danno sugli edifici.

Le ignimbriti sono un tipo di roccia acida pertanto per ora è possibile eliminare l'attacco chimico da parte dell'atmosfera della città e della qualità della sua aria e quindi si può suggerire l'ipotesi di un deterioramento fisico delle rocce, meccanismo che è stato largamente studiato (Camuffo, 1995 e 2004).

Nella maggiore parte delle facciate dei monumenti, la malta è stata usata per evitare il danno antropico sull'ambiente e per diminuire l'evaporazione dell'acqua e la capillarità, le quali lasciano il sale che cresce nei pori della roccia e porta ad una

cuali i contaminanti ambientali (atmosferici) possono danneggiare i materiali esposti all'ambiente, come la abrasione, deposizione e rimozione, attacco chimico diretto, attacco chimico indiretto e corrosione elettrolitica. L'umidità, la temperatura, il congelamento e lo scongelamento influenzano il modo in cui i contaminanti danneggiano i materiali [Yocom, 1979]. Un problema importante per la albañilería dei edifici antichi è il danno a i mortari, le prove di laboratorio hanno mostrato che la reattività al  $\text{SO}_2$  è maggiore nel mortaio che quello che presentò la pietra [Zappia, 1994]. Questo rafforza il fatto che i mortari di alcune facciate hanno scomparso completamente [Coursimault, 1995].

La radiazione solare produce tanta distruzione come il congelamento. L'acqua in tutte le sue forme è l'agente che promuove azioni chimiche, deterioramento graduale dei materiali e danneggia attivamente i edifici [Feilden, 1982]. La devitrificazione nelle rocce è una classe di alterazione, ma non esistono standard come l'ASTM [ASTM, 2000] che permettano quantificare il danno nei edifici. Le ignimbritas sono un tipo di roca ácida, entonces es posible descartar el ataque químico por el momento, por la atmósfera de la ciudad y la calidad de su aire, y sugerir

possibile fratturazione delle stesse. Questi fenomeni si verificano in ogni località piovosa (Colloque International, 1978; Griffiths, 1999). Se la polvere e le particelle polverose si depositano sulle facciate dei monumenti, esse distruggono questi ultimi per abrasione, accumulo o reazione. I prodotti derivanti dalla devitrificazione delle ignimbriti sono argille o terreno e esistono delle tecniche speciali per caratterizzarli (Goldstein, 1996; Schiavon, 1995 and 1996). È stato osservato che le facciate che si trovano di fronte ai venti predominanti sono più suscettibili al deterioramento rispetto a quelle che sono più protette (Leuzzi, 1998).

### **3. METODOLOGIE PER CARATTERIZZARE LE IGNIMBRITI**

Al fine di studiare e caratterizzare le ignimbriti, abbiamo studiato le rocce esposte all'ambiente confrontandole con le rocce "sane" o quelle appena arrivate dalle cave locali. I monumenti studiati sono emblematici della città, sono posizionati nel centro storico: la cattedrale, il Collegio Nazionale di San San Nicholas de Hidalgo (Aula Mater dell'Università di Michoacana di San Nicholas de Hidalgo), Tempio di Carmen e Casa della Cultura, Costoni della Cupola del Tempio di San Agustin, Tempio dei Cappuccini e Palazzo Municipale (nel quale

deterioro fisico de las rocas, un mecanismo que ha sido ampliamente investigado [Camuffo, 1995 y 2004]. En la mayoría de las fachadas de los monumentos, los morteros han sido empleados para evitar el daño antropogénico por el medio ambiente y minimizar la evaporación del agua y la capilaridad, que dejan sales que crecen dentro de los poros de las rocas y eventualmente las fracturan. Estos fenómenos se repiten en cada estación lluviosa [Colloque International, 1978; Griffiths, 1999]. Si el polvo y las partículas pulverulentas son depositadas en las fachadas de los edificios, ellas destruyen los monumentos por abrasión, acumulación o reacción. Los productos de la devitrificación de las ignimbritas son arcillas o suelos ambientales y existen técnicas especiales para caracterizarlos [Goldstein, 1996; Schiavon, 1995 y 1996]. Se ha observado que en las fachadas que están de frente a los vientos dominantes son más susceptibles de deteriorarse que aquellas superficies que están protegidas [Leuzzi, 1998].

### **3. METODOLOGÍA PARA CARACTERIZAR LAS IGNIMBRITAS.**

Para estudiar y caracterizar a las ignimbritas, se estudiaron las rocas que ya han sido expuestas al meteorismo y rocas "sanas" o recién extraídas de las canteras locales. Los

hanno sede gli uffici governativi nella città di Morelia).

Le rocce sane sono state ricavate dalle cave di Cointzio, Jamaica e di Tejocote, e i campioni sono stati realizzati dalla Compagnia Quarries of Morelia. Per quel che riguarda la caratterizzazione delle rocce danneggiate prese dagli edifici storici, è necessario avere il permesso dell' INAH, Istituto Nazionale di Antropologia e Storia: solo in questo modo infatti è possibile effettuare dei test distruttivi sulle rocce prese dai monumenti (i test non distruttivi vengono invece realizzati direttamente in sito).

La diretta determinazione dello sforzo di compressione a rottura implica il test del provino fino al collasso. Questa procedura non è adatta ai campioni dei monumenti storici e per questo sono state sviluppate delle tecniche non distruttive per quantificare le proprietà come la durezza e la resistenza e sono il martello svizzero, lo sclerometro e la frequenza ultrasonica (Qasrawi, 2000).

Per determinare la resistenza dei blocchi delle facciate, si usa lo sclerometro e il test viene descritto nell' ASTM C805 (ASTM, 1993) e BS 1881 (British Standard, 1986). I valori ottenuti vengono confrontati con quelli trovati per le rocce sane (si prende il valore ottenuto dalla media di tre misure).

Le proprietà fisico-meccaniche delle rocce sane e

monumenti studiati sono emblematici de la ciudad, se encuentran en el Centro Histórico o Primer Cuadro: La Catedral, el Primitivo y Nacional Colegio de San Nicolás de Hidalgo (Aula Máter de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo), Templo del Carmen y Casa de la Cultura, Costillas de la Cúpula del Templo de San Agustín, Templo de Capuchinas y Palacio Municipal (Alberga las oficinas de gobierno del Municipio de Morelia).

Las rocas sanas se muestrearon en las canteras de Cointzio, Jamaica y El Tejocote, y los especímenes fueron labrados por la Empresa Canteras de Morelia. Respecto a las rocas deterioradas provenientes de los edificios históricos, se obtuvo el permiso del INAH, Instituto Nacional de Antropología e Historia, para que en aquellos que se estuvieran realizando retiros de rocas, se nos permitieran hacer pruebas destructivas, las pruebas no destructivas se realizaron en la fábrica del sitio del edificio.

La determinación directa del esfuerzo de ruptura a la compresión implica que los especímenes de roca deben ser probados hasta el colapso. Este procedimiento no es adecuado para muestras de monumentos históricos, por esta causa se han desarrollado técnicas no destructivas para cuantificar propiedades como la dureza y la resistencia, como el martillo suizo o esclerómetro y la frecuencia

deteriorate vengono ottenute sulla base degli standards dell'ASTM. I test meccanici distruttivi sono stati realizzati in una Tinius Olsen Universal Machine della capacità di 50 t e approssimazioni di 0,5 kg. Il modulo dinamico dell'elasticità delle rocce sane è stato ottenuto con l'apparato Grindosonico che lavora con il programma Emod.

La diffrazione XR è stata realizzata sulla polvere che passa la maglia 400 ASTM, così come pure la fluorescenza XR e l'analisi elementare in ppm. Negli scarti di roccia è stato osservato che la morfologia, ottenuta con la microscopia a diffusione elettronica e con le microanalisi, conferma gli elementi trovati con la XRF; inoltre le osservazioni petrografiche sulle sezioni sottili di questi scarti confermano le fasi trovate con la XRD.

#### 4. RISULTATI

Le ignimbriti furono abbreviate secondo questi indici:

**Tabella 1-  
Descrizione delle  
ignimbriti ad uso  
ornamentale e  
strutturale della  
città di Morelia,  
Michoacán,  
Mexico -  
Descripción de las  
ignimbritas de uso  
ornamental y  
estructural de  
Morelia,  
Michoacán, México**

<i>Campione</i>	<i>Descrizione</i>
PM	Palazzo Municipale
SA	Costoni della Cupola Tempio San Agustin
CF	Facciata della Cattedrale
CB	Balaustre applicate alla cattedrale
CBE	Balaustre applicate alla cattedrale (esterne)
CBI	Balaustre applicate alla cattedrale (interne)
CSN	Collegio Nazionale di San Nicholas de Hidalgo
CCTC	Casa della Cultura e Tempio di Carmen
TCap	Tempio dei Cappuccini
C	Cava di Cointzio
J	Cava di Jamaica
T	Cava di Tejocote

ultrasónica [Qasrawi, 2000]. Para determinar la resistencia de los bloques de las fachadas, se empleó el esclerómetro, prueba descrita en la ASTM C805 [ASTM 1993] y la BS 1881 [British Standard 1986]. Los valores así obtenidos fueron comparados con los encontrados en las rocas sanas, el valor indicado es el promedio de tres mediciones.

Las propiedades físicas y mecánicas de las rocas sanas y deterioradas se obtuvieron según lo estándares de la ASTM. Las pruebas mecánicas destructivas se realizaron en una Máquina Universal de Pruebas Tinius Olsen con capacidad de 50 ton y aproximaciones de 0.5 kg. El módulo de elasticidad dinámico en rocas sanas se obtuvo con el aparato Grindosonic que funciona con el programa Emod. La Difracción se realizó en polvos que pasan malla 400 ASTM, así como la Fluorescencia y el análisis elemental en ppm. En esquirlas del material se observó la



**Tabella 2. Fluorescenza XR delle ignimbriti- *Resultados de la Fluorescencia de Rx en las ignimbritas.***

S	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Lost	
P.m.	74.77	0.148	13.14	1.71	0.011	0.034	1.03	3.21	4.68	0.022	0.98	99.67
SA	64.482	0.387	13.610	3.116	0.026	0.763	1.989	2.922	3.160	0.114	5.06	99.63
CF	69.47	0.365	13.31	3.01	0.021	0.522	1.62	2.68	3.14	0.092	5.69	99.92
CB	67.02	0.404	13.49	3.23	0.098	1.327	2.99	2.98	3.29	0.104	5.10	100.03
CBE	68.74	0.381	13.961	2.891	0.027	0.826	1.191	3.141	3.420	0.079	4.96	100.62
CBI	69.238	0.399	13.971	3.008	0.031	0.751	2.059	3.181	3.407	0.081	4.64	100.77
CSN	75.30	0.15	12.79	1.61	0.016	0.313	0.81	2.64	4.55	0.022	2.02	100.22
CCTC	69.03	0.16	12.96	1.62	0.027	0.218	2.87	2.43	4.81	0.125	5.74	99.99
TCap	72.96	0.16	12.92	1.71	0.028	0.208	1.32	3.08	4.77	0.017	2.80	99.97
C	72.076	0.407	14.124	3.097	0.048	0.224	1.443	3.889	4.367	0.098	0.64	100.41
J	76.467	0.199	12.239	1.671	0.034	0.147	0.893	3.444	4.306	0.056	0.54	100.00
T	76.675	0.150	12.723	1.222	0.018	0.350	0.705	2.918	4.562	0.030	1.42	100.77

**Tabella 3. Elementi chimici in ppm nelle ignimbriti - *Elementos traza en ppm, presentes en las ignimbritas***

M	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Th	Pb
PM	161	99	930	23	152	7	29	<2	<3	7	22	27	13	32
SA	131	240	995	20	262	7	40	11	10	8	48	133	15	18
CF	152	220	2465	36	233	8	46	7	7	7	29	79	4	81
CB	126	249	936	49	251	7	42	5	25	10	23	65	5	45
CBE	133	209	858	25	249	7	36	12	9	197	17	69	21	21
CBI	135	232	898	25	310	8	38	6	11	28	34	291	20	17
CSN	148	100	975	29	170	10	22	<2	23	3	7	34	18	18
CCTC	147	185	796	29	139	7	25	<2	9	4	12	29	15	28
TCap	148	163	1050	30	159	13	31	<2	21	4	8	32	16	22
C	147	170	963	21	254	6	36	9	7	3	15	70	19	13
J	157	106	963	16	167	6	17	6	14	11	28	61	16	13
T	168	105	1059	15	147	6	28	<2	9	6	15	33	18	16

Una ignimbrite locale tipica ha questa composizione indicata in Tabella T-2 e T-3 (Alonso, 2003)

Le ignimbriti normalmente contengono dei plagioclasti, come l'albite e l'anortite, e quarzi, come la cristobalite e la tridimite. Tutti questi fenocristalli minerali sono inseriti in una matrice vetrosa. L'indagine petrografica rivela che i componenti principali dell'ignimbrite dopo una lunga

morfologia con microscopia elettronica de barrido y microanálisis para confirmar lo encontrado con FRX, también de las esquirlas se tallaron las secciones delgadas para observación petrográfica y revisión de las fases encontradas con DRX.

#### 4. RESULTADOS

Una ignimbrite local típica tiene la composición

esposizione all'ambiente sono il quarzo alfa e beta, l'albite, la montmorillonite, la cristobalite, l'anortite e i residui di vetro.

I prodotti del deterioramento ambientale sono detti minerali accessori o secondari, normalmente nella forma di montmorillonite e di particelle polverose. Tali minerali vennero trovati nell'analisi petrografica su sezioni sottili e anche nell'XRD.

indicada en las Tablas T-2 y T-3 [Alonso, 2003].

Las ignimbritas típicamente contienen plagioclasas como la albite y la anortita; cuarzo, como cristobalita y tridimita. Todos esos fenocristales minerales están embebidos en una matriz vítrea. La inspección petrográfica revela que los principales componentes de la ignimbrita después de largas exposiciones al medio ambiente son cuarzo alfa y beta, albite, montmorillonita, cristobalita, anortita, esquirlas de vidrio. Los productos del deterioro ambiental son también llamados minerales accesorios, usualmente en la forma de montmorillonita y partículas pulverulentas. Estos minerales fueron encontrados en la observación petrográfica en secciones delgadas en concordancia con los minerales encontrados por DRx.

**Tabella 4. XRD Riassunto - Resumen de Resultados de la Difracción de Rx**  
S SPECIE MINERALOGICHE

PM	Cristobalite, feldspati
SA	Plagioclasi (andesite), montmorillonite, caolinite, materiale non cristallino
CF	Feldspati, cristobalite e smettite
CB	Feldspati, cristobalite, quarzo e argilla (halloysite e smettite)
CBE	Plagioclasi (andesite), montmorillonite, materiale non cristallino
CBI	Plagioclasi (andesite), montmorillonite, materiale non cristallino
C	Quarzo, plagioclasi (andesite)
J	Quarzo, plagioclasi (andesite)
T	Quarzo, plagioclasi (andesite)

**Tabella 5. Proprietà fisico-meccaniche delle ignimbriti sane di 3 cave nelle vicinanze di Morelia, confrontate con i valori suggeriti dal Codice di Costruzione degli edifici dello stato di Michoacán e con i valori delle ignimbriti prese dai monumenti architettonici - *Resultados de las propiedades físicas y mecánicas de ignimbritas de tres bancos de roca sana aledaños a la ciudad de Morelia, contra los valores sugeridos por el \* Reglamento de Construcciones del Estado de Michoacán y los obtenidos en monumentos arquitectónicos***

Test	*	CF	CSN	CCTC	TCap	C	J	T
densità apparente, T/M <sup>3</sup> o gr/cm <sup>3</sup> ASTM C99-52 (76)	1.50 mín.	1.78	1.854	1.921	1.96	1.56	1.49	1.63
% assorbimento acqua ASTM C 97-47 (77)	4% máx.	14.55	15.468	12.7	9.57	25.55	22.25	16.63
Gravità specifica ASTM C97-52 (56)	2.3 mín.	1.65	1.638	1.74	1.65	1.44	1.44	1.60
Modulo a flessione Kg/cm <sup>2</sup> ASTM C97-52 (76)	- -	- - -	- - -	- - -	- - -	25.04	42.15	51.63
Resistenza a compressione, condizioni asciutte, Kg/cm <sup>2</sup> ASTM C170- 50 (76)	100 mín.	280 **	350 **	300 **	320 **	47.03	61.51	73.86
Los Angeles Tests %, ASTM C241-51 (76)	30% máx.	- - -	- - -	- - -	- - -	41.00	43.00	18.00
Danneggiamento meteorico accelerato, %	10% máx.	- - -	- - -	- - -	- - -	30.00	35.00	13.00
Modulo dinamico elastico, E <sub>d</sub> , in GPa	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	1.53	4.53	5.73

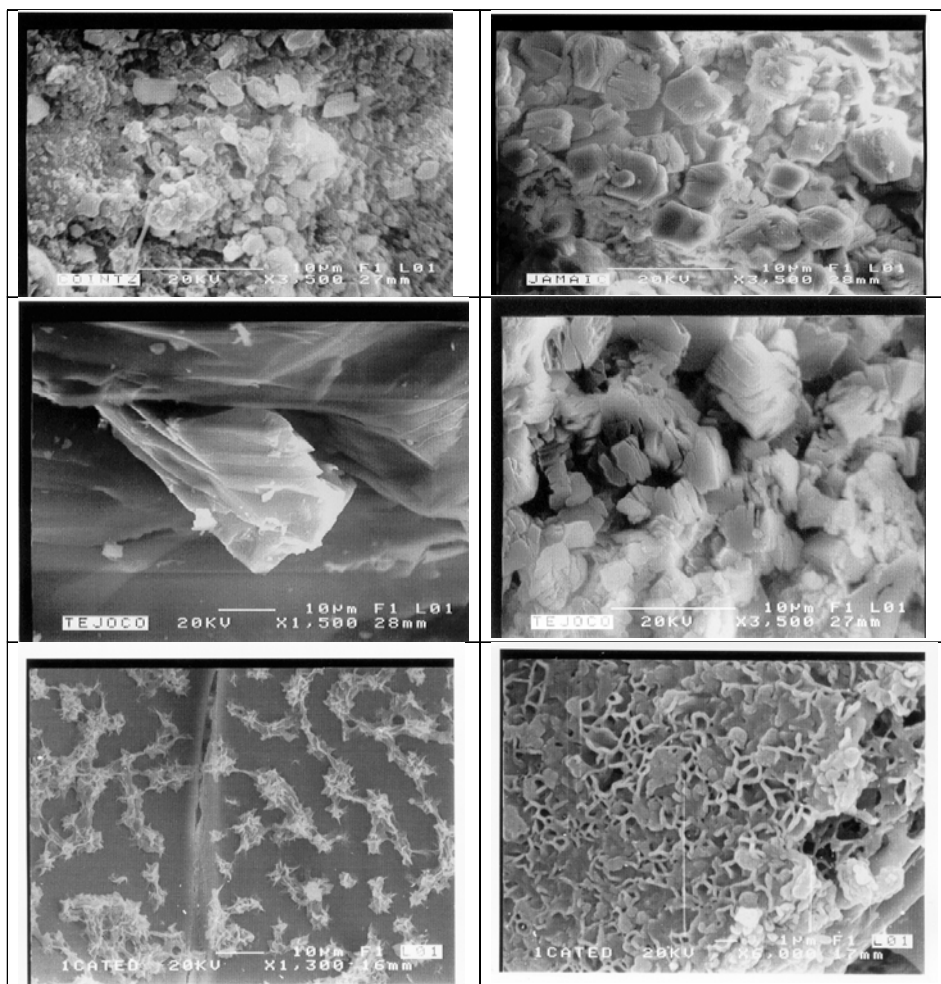


Figure 1, 2, 3, 4, 5 e 6. Figure 1 - 4, immagini al microscopio elettronico a diffusione di ignimbriti sane derivanti dalle cave. Figure 5 e 6, immagini al microscopio elettronico a diffusione di ignimbriti danneggiate della cattedrale e della patina della cattedrale. - *Figuras 1 a 4, Fotomicrografías de Microscopia Electrónica de Barrido en Ignimbritas sanas provenientes de las Canteras. Figuras 5 y 6, fotomicrografías de morfología de ignimbritas de la catedral y vista de pátina en la catedral.*

**Figure 7. Immagine della facciata della Cattedrale di Morelia, orientata verso nord. - Imagen de la Fachada principal de la Catedral de Morelia, orientada hacia el Norte.**



## **5. DISCUSSIONE**

Morelia non è una città industriale e non ci sono grandi sorgenti di emissione di solfuri artificiali. La fonte più importante di solfuri deriva dalla combustione delle benzine, nella quale la percentuale di solfuri è andata diminuendo negli ultimi anni.

Anche il contributo delle benzine diesel dei veicoli potenti e dei trasporti collettivi esiste e contiene solfuri in una composizione simile a quella delle benzine.

In aggiunta alle piogge, al danno generato dai venti e da agenti naturali come il meteorismo, il metasomatismo, il metamorfismo, l'abrasione meccanica, i solfuri

## **5. DISCUSIÓN.**

Morelia no es una ciudad industrial y no existen grandes fuentes de emisiones de azufre antropogénico. La fuente más importante de azufre antropogénico es la combustión de fósiles, cuyos porcentajes de azufre han decrecido en las últimas décadas. También existe la contribución del combustible diesel de los vehículos pesados y de transporte colectivo, que contiene azufre en un rango similar de composición.

Además de la lluvia, el viento y los agentes naturales deletéreos como el meteorismo, metasomatismo, metamorfismo, abrasión mecánica; el azufre ambiental parece ser la principal

sembrano essere la principale sostanza artificiale a causare il deterioramento dei monumenti architettonici. Le emissioni dei solfuri in città vanno ridotte nel futuro in due maniere: ridurre il contenuto di zolfo delle benzine o ridurre il traffico nel centro storico. Un'altra possibilità è l'utilizzo di prodotti chimici come sostanze consolidanti, coperture o polimeri per prevenire il deterioramento dell'ignimbrite. Altri monumenti nella città sono stati costruiti con blocchi non scolpiti di ignimbrite e pertanto vennero coperti con muratura in malta che li ha protetti.

Studiando il gradiente di distribuzione dei solfuri, c'era un aumento nella parte esterna che diminuiva la quantificazione all'interno delle ignimbriti; la quantità maggiore era nelle facciate esposte e formava delle patine.

Il fattore che è stato considerato come più importante per il deterioramento dei blocchi di ignimbrite è quindi quello legato ai solfuri di origine antropica. Questo implica che tutti i monumenti che sono stati esposti all'ambiente per più di 400 anni hanno subito in realtà il danneggiamento peggiore negli ultimi decenni, in coincidenza con l'apparizione dei veicoli a benzina. Le ignimbriti sane presentano delle resistenze meccaniche dell'ordine dei 35-110 kg/cm<sup>2</sup>, mentre i blocchi di ignimbrite delle facciate studiati con lo sclerometro (su tutto il loro

sustancia antropogénica asociada al deterioro de los monumentos arquitectónicos. Las emisiones de azufre en la ciudad deben ser reducidas en el futuro, existen dos formas: reducir los contenidos de azufre en los combustibles o se reducir el tráfico en el primer cuadro o centro histórico. Otra posibilidad es el empleo de recubrimientos o polímeros consolidantes para prevenir el deterioro de la ignimbrita. Otros monumentos en la ciudad fueron contruídos con bloques de ignimbritas no labrada y por lo tanto fueron pensados como recubiertos con morteros de albañilería, el recubrimiento los ha protegido.

Al estudiar el gradiente de distribución del azufre, se encontró un incremento en el exterior que disminuyó en las cuantificaciones hacia el interior de las ignimbritas, la mayor cantidad estaba en las caras expuestas y formando las patinas.

El factor que ha tomado el papel más importante en el deterioro de los bloques de ignimbrita es el del azufre de origen antropogénico. Esto implica que aún que todos los monumentos han estado expuesto al medio ambiente por más de 400 años, su daño ha sido causado especialmente en las últimas décadas, que es cuando aparecieron los vehículos automotores accionados con combustible fósil. Las ignimbritas sanas estudiadas aquí presentaron resistencias del orden de 35 a 110 por otro lado los bloques de

perimetro, metro dopo metro in via longitudinale e a differenti altezze da terra, 0.5-1-1.5-2-2.5-3-metri) danno valori di 200-630 kg/cm<sup>2</sup> con medie di 250-350 kg/cm<sup>2</sup>. questo significa che le rocce usate per la costruzione della cattedrale non vennero prese dalle cave studiate, pertanto non è raccomandabile utilizzarle per rimpiazzare i blocchi danneggiati dei monumenti. Con le analisi XRF, XRD e petrografiche è stato osservato che i blocchi di ignimbrite non derivano dallo stesso evento vulcanico, ma nondimeno i valori corrispondenti alla cattedrale, a San Agustín e alla cava di Tejocote presentano una grande somiglianza. Un problema sociale locale non permette però di sfruttare ulteriormente questa cava.

Durante questo studio è stato osservato inoltre che le ignimbriti che presentano il maggior danno sono quelle che hanno un più alto contenuto di Fe e Ca. Ciò può essere spiegato con il fatto che lo zolfo ha una forte affinità con le sostanze che contengono tali elementi. Riassumendo il danno di origine antropica è rinforzato anche dalla presenza di Ni e Cr, in addizione a S, trovati nelle superfici esposte dei monumenti. Questi elementi derivano principalmente dalla combustione fossile (infatti è stato verificato che tali elementi non si trovano nei blocchi sani di ignimbrite).

Una strategia di recupero soddisfacente prevede di trovare una cava di rocce con le

ignimbritas de las paredes expuestas de los monumentos estudiados con el esclerómetro, probados en todo su perimetro, metro a metro de manera longitudinal y a diferentes alturas diferentes a partir del nivel de piso terminado: 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.00 y 3.50 metros presentaron valores del orden de 200 a 630 kg/cm<sup>2</sup>, con promedios de entre 250 y 350 kg/cm<sup>2</sup>. Esto significa que las rocas empleadas para la construcción de la catedral no fueron tomadas de las canteras estudiadas: Cointzio, Jamaica y El Tejocote; no es recomendable emplearlas entonces para reemplazar los bloques dañados.

Con los análisis de Fluorescencia de Rx, Difracción y Petrografía, se observa que los bloques de ignimbrita no provienen del mismo evento volcánico, pero sin embargo los valores correspondientes a la Catedral, San Agustín y el Banco o Cantera de El Tejocote, presentan gran similitud. Existe un problema ejidal en dicho banco y no puede ser explotado de nuevo.

Durante este estudio también se observó que las ignimbritas que presentaron el mayor daño ambiental eran aquellas cuyos contenidos de Fe y Ca eran mayores. Esto puede ser explicado por la afinidad del S con compuestos que contienen tales elementos. En resumen el daño de origen antropogénico se refuerza por la presencia de Ni y Cr, en adición al S, en las partículas presentes en las

caratteristiche simile a quelle presentate dai blocchi dei kg/cm<sup>2</sup>, monumenti o, in mancanza di essa, usare una muratura in malta come copertura. Inoltre si può concludere che va migliorata la qualità dell'aria per preservare le facciate esposte dei monumenti costruiti con le ignimbriti.

La presenza di solfato di calcio idrato (intonaco) è una prova della disintegrazione delle ignimbriti che si sfogliano e devitrificano.

Facendo una distinzione fra le componenti naturali ed antropiche, l'intonaco di gesso, localizzato nelle ignimbriti studiate, ha avuto origine da strati umidi e secchi di solfuri atmosferici e dalla successiva trasformazione del solfato deidratato di calcio in carbonato di calcio, presente perciò come composto precipitato o come frammento residuale della roccia originale.

Si può dire che S, Cs, Br, Pb e Zn sono elementi di origine antropica; riassumendo S e C sono associati alle emissioni atmosferiche legate ai combustibili fossili (impianti termo-elettrici, sistemi di riscaldamento domestico, macchine diesel), Pb e Br sono tipici degli impianti di combustione della gasolina e lo Zn è legato alle emissioni degli inceneritori e delle industrie di produzione e/o raffinamento del Pb (Sabbioni, 1995 and 1998).

superfici esposte de los bloques de ignimbritas de los monumentos. Estos elementos se deben principalmente a la combustión de fósiles; se comprobó que las partículas enriquecidas con Ni y Cr estuvieron ausentes en todas las observaciones en bloques de ignimbritas sanas. Se requiere una estrategia de restauración satisfactoria encontrando una cantera con características similares a las presentadas en los bloques de los monumentos o, en su defecto, emplear morteros de albañilería de materiales permitidos como cubiertas protectoras. Se concluye también que la calidad del aire debe ser perfeccionada para preservar las fachadas expuestas de los monumentos construidos con ignimbritas.

La presencia del sulfato de calcio hidratado (yeso) es también un detonante de la desintegración de las ignimbritas al exfoliarlas y deteriorar la matriz de las mismas. Discriminando entre los componentes naturales y antropogénicos, el yeso, localizado en las ignimbritas estudiadas, se debe a las depositaciones secas y húmedas del azufre atmosférico y la subsecuente transformación del carbonato de calcio en sulfato de calcio dihidratado, de donde el carbonato de calcio está presente como un compuesto reprecipitado o como un fragmento residual de



## 6. CONCLUSIONI.

Le ignimbriti sono state precursori di un intero stile che domina nelle città coloniali del centro-ovest del Messico. Le cave attuali di ignimbriti non presentano però le stesse caratteristiche fisiche, meccaniche e mineralogiche delle ignimbriti con cui sono stati costruiti i monumenti dei centri storici. Bisogna pertanto continuare la ricerca di cave e il confronto tra le diverse ignimbriti esistenti.

Il deterioramento a cui sono sottoposti i blocchi di ignimbriti può essere classificato come un danno antropico nella forma di patine o croste nere, biodanno dovuto a fauna, flora e cianobatteri, e danno diagenetico dovuto alla presenza di minerali accessori o secondari; quest'ultimo danno è al di fuori del controllo umano e avviene in tempi geologici.

la roca original. Puede sugerirse que S, C, Br, Pb y Zn son elementos de origen antropogénico. En resumen S y C están asociados con la emisión atmosférica de fuentes de combustible (plantas termoeléctricas, sistemas de calefacción domésticos y máquinas de diesel), Pb y Br son trazas típicas de la combustión de gasolina y el Zn está relacionado con emisiones de incineradores y con fábricas de producción y/o refinación de Pb [Sabbioni, 1995 y 1998].

## 6. CONCLUSIONES.

Las ignimbritas han sido precursoras de todo un estilo que prevalece en las ciudades coloniales del centro occidente de México. Los bancos locales de ignimbritas actualmente en explotación, no presentan las mismas características físicas, mecánicas ni mineralógicas, que las ignimbritas con que se construyeron los monumentos del centro histórico. Debe continuarse la búsqueda de canteras y la comparación entre las diferentes ignimbritas existentes en la localidad. El deterioro que presentan los bloques de ignimbritas expuestos a la intemperie pueden clasificarse como daño antropogénico en forma de patinas; biodeterioro con fauna, flora y cianobacterias; y daño diagenético como presencia de minerales secundarios o accesorios, éste último escapa al control humano, pero ocurre en tiempos geológicos.

## 7. BIBLIOGRAFIA– BIBLIOGRÀFIA

ALONSO, E. AND L. MARTINEZ, (2003), **“Environmental The role of the sulfur on degradation of ignimbrites of the Cathedral in Morelia, Mexico”**, Building and Environment, Elsevier Science, Bowl 38, 861-867

AMERICAN FOR SOCIETY TESTING AND MATERIALS, ASTM, (2000), **Section Four Construction**, Volume 04,08, Soil and Rock (i): D 420 - D 5779, SO40800, West Conshohocken, PA.

AMERICAN FOR SOCIETY TESTING AND MATERIALS (1993), ASTM C805-85, for Test Rebound Number of Hardened Concrete, Phil, the USA

BEST, MYRON G., 2002, **Igneous and Metamorphic Petrology**, Chapter 2: Petrography and Composition of Magmatic Rocks, ISBN 1405105887, 2<sup>nd</sup> Edition, Blackwell Pub.USA, 42-43

STANDARD BRITISH 1881: Part 202 (1986) for Recommendations Surface Hardness Tests by the Rebound Hammer, BSI, U.K.

CAMUFFO, D. (1995) **“Physical weathering of stones”**, The Science of the Total Environment, Elsevier Science, Volume 167, 1-14

CAMUFFO, D., E. THEY PAY, A. BERNARDI and F. BECHERINI (2004) **“The impact of heating, lighting and people in the re-using buildings: to study marries”**, Journal of Cultural Heritage, Elsevier, Volume 5, Number 1, 409-416

CAS, R.A.F. and J.V. WRIGHT (1988) **“Volcanic Successions, Modern and Ancient”**, Edit. Unwin-Hyman, London, Chapter 8, Ignimbrites and Ignimbrites Forming Eruptions, 233-266

COLLOQUE INTERNATIONAL ALTERATION ET PROTECTION DES MONUMENTS IN PIERRE (1978) Colloque International Alteration ET Protection DES Monuments in Pierre. Methods experimentals. Essais Recomendés pour to mesurer l' altération DES pierres ET you evaluate l' efficacité DES methods of truittenent. UNESCO-Rilem, Volume 5, Paris, France

COURSIMAULT, A., DONATI, J. and VIELLARD, H. (1995) **“Pollution Automobile due aux hydrocarbures aromatiques monocycliques to Paris”**, The Science of the Total Environment, Number 1-3, Volume 169, 17-23

FEILDEN, BERNARD M. (1982) **Conservation of Historic Buildings**. Butterworth Architecture, Butterworth-Heinemann LTD, Chapter 7, ISBN 0750658630, 91-116

GOLDSTEIN, S. J., SLEMMONS, A. K. and CANAVAN, H. E. (1996) **“Energy-Dispersive X-ray Fluorescence for Methods Environmental Characterization of Soils”**, Environmental Science and Technology, Volume 30, Number 7, 2318-2321

GRIFFITHS, R.F. and ROBERTS, I.D. (1999) **“Droplet evaporation from porous surfaces; model validation from field and wind for tunnel experiments sand and makes specific”**, Atmospheric Environment, Pergamon; Volume 33, 3531-3549

LAL GAURI, K. and G.C. HOLDREN, Jr (1981) **“Pollutant effects on stone monuments”**, Environmental Science and Technology, Volume 15, Number 4, 386-390

LEUZZI, G. and MONTI, P. (1998) **“Particle trajectory simulation of Around Dispersion to Building”**, Atmospheric Environment, Volume 32, Number 2, 203-214

QASRAWI, H. AND. (2000) **“Makes specific strength combined nondestructive methods simply and reliably predicted”**, Cement and Concrete Research, Volume 30, 739-746

RILEY, W.J., ROBINSON, A.L., GADGIL, A.J. and NAZAROFF, W.W. (1998) **“Variable Effects of wind speed and direction on random transport from soil into buildings: model development and exploratory results”**, Atmospheric Environment, Volume 33, 2157-2168

SABBIONI, C. (1995) **“Contribution of atmospheric deposition to the formation of damage layers”**, Science of the Total Environment, Volume 167, pp 49-55

SABBIONI, C., ZAPPIA, G., GHENIDI, N., GOBBI, G. and FAVIONI, Or. (1998) **“Black crusts on ancient mortars”**, Atmospheric Environment, Volume 32, Number 2, 215-233

SCHIAVON, N., G. CHIAVIARI, G. SCHIAVON and D. FABBRI (1995) **“Nature and decay effects of urban soiling on granitic building stones”**, The Science of the Total Environment, Volume 167, 87-101

SCHIAVION, N. and L. ZHOU (1996) **“Magnetic, Chemical, and Microscopical Characterization of Urban Soiling on Historical Monuments”**, Environmental Science and Technology, Volume 30, No 12, 3624-3629

YOCOM, J.E. (1979) **“Air pollution damage to buildings on the the Acropolis”**, Journal of the Air Pollution Association Control, Volume 29, Number 4, 333-338

**CARATTERIZZAZIONE FISICA E CHIMICA E  
DIAGNOSTICA DEL PROCESSO DI DETERIORAMENTO  
DELLA FORMAZIONE CALCAREA DE LA TAMPA USATA  
NELLE ARCHITETTURE DI MEDELLÍN (COLOMBIA). -**

***Physical and chemical characterization and diagnostic of  
deterioration Process of La Tampa Formation Limestones used in  
the architecture of Medellín (Colombia).***

Javier Eduardo Becerra Becerra<sup>1</sup>

Antônio Gilberto Costa<sup>2</sup> & Roberto Bruno<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, Brazil*

<sup>2</sup>*LABTEC-Rochas, CPMT, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, Brazil*

<sup>3</sup>*Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali  
DICMA/Università di Bologna, Italia*

**ABSTRACT:** I calcari della Formazione La Tampa sono largamente usati come dimension stone in diversi contesti urbani incluse le facciate, i pavimenti e gli ornamenti generali dell'architettura urbana della città di Medellín. Quattro prodotti commerciali sono coltivati a due gradoni. Il primo gradone produce calcare biosparite, con un buon assortimento e arrotondamento, cementato dalla sparite cristallina. Il calcare coltivato nel secondo gradone è biomicrite, con uno scarso assortimento e una matrice di micrite. I processi di deterioramento come lo sfaldamento, croste nere, efflorescenza salina, fessure, rotture e sviluppo di macchie sono stati osservate in questi calcari nella città di Medellín, causati dalla cattiva qualità dell'aria e dalle proprietà intrinseche della roccia. Differenti stadi dell'alterazione della roccia nei gradoni, la presenza di minerali non carbonatici come il quarzo o

**ABSTRACT:** The limestone of the La Tampa Formation is widely used as dimension stone in different urban setting, including facades, floors, and general ornament in the urban architecture in Medellín city. Four commercial products are exploited in two stope faces. The stope face 1 produces biosparite limestones, with a good sorting and rounding, cemented by crystalline sparite. The limestone exploited on stope face 2 is biomicrite, with poor sorting and micrite matrix. Deterioration processes such as flaking, black crust, salt efflorescence, fissures, break out and patch development have been observed on these limestones in the Medellín city, caused by the bad quality of the air and the intrinsic stone properties. Different stages of alteration of the rock in the stope-faces, presence of non-carbonated minerals such as quartz and iron oxides, and some characteristics linked to porosity and

gli ossidi di ferro, e alcune caratteristiche legate alla porosità e alla microfratturazione sono i più importanti fattori di deterioramento. I test di assorbimento capillare, di perdita d'acqua per evaporazione e di resistenza alla compressione mostrano differenze nei diversi tipi di roccia.

## 1. INTRODUZIONE

La Colombia ha un grande potenziale geologico per lo sviluppo dell'industria delle Dimension Stones. La localizzazione privilegiata, con porti in due oceani, Atlantico e Pacifico e l'interesse del governo per lo sviluppo del settore minerario rende il paese un luogo interessante per nuovi investimenti stranieri e per lo sviluppo della ricerca.

I calcari della formazione de La Tampa sono un esempio dell'uso come roccia ornamentale in Colombia con elevata approvazione e sviluppo. Le cave sono posizionate nella regione Caribbean della Repubblica colombiana, vicino alla città di Montería, Dipartimento di Córdoba (Fig. 1).

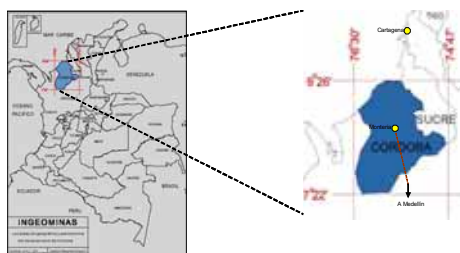
L'autostrada Sincelejo-Montería permette l'accesso alle miniere e alle aree di trattamento delle rocce. Grazie alla vicinanza del porto marittimo di Cartagena de Indias, i prodotti sono commercializzati nel mercato internazionale del Nord America, del Centro America e dell'Europa.

microfracturing, are the most important factors of deterioration. Capillarity absorption and loss water for evaporation and compressive strength tests show differences among the different stone types.

## 1. INTRODUCTION

Colombia has a great geological potential for the development of the Dimension Stones industry. The privileged locating, with ports in two oceans, Atlantic and Pacific and the government interest in the development of the mining sector does the country an interesting place for new foreigner investments and research development.

The limestone of La Tampa Formation is an example of use like ornamental rock in Colombia with great acceptance and development. The quarries are located in the Caribbean region of the Republic of Colombia, near the town of Montería, Department of Córdoba (Fig. 1).



**Figura 1- Location delle cave di Calcare della formazione de La Tampa -Location of the ornamental limestone quarries of La Tampa Formation.**

## 2. CARATTERISTICHE DEI GRADONI DI CALCARE

Ci sono due gradoni attivi nella coltivazione del calcare della formazione de La Tampa. Il calcare estratto nel primo gradone (Fig. 2A), è della biosparite, con frammenti di fossile di differenti dimensioni, giacitura non parallela planare e spessore di 1-2 metri. Il calcare è caratterizzato da fratture verticali e piccole fessure. Dove inalterato, il colore della roccia è verde, mentre ci sono variazioni cromatiche nel calcare danneggiato dalla circolazione dell'acqua nelle zone fratturate e fessurate, cambiando dal verde ai colori dorati. Noduli tondi di ferro random appaiono nel letto di calcare.

Nel secondo gradone, il calcare (Fig. 2B) è una biomicrite compressa con letto massivo e spessore di 9 metri. La roccia è gialla con assortimento povero e abbondanti frammenti fossili. È meno compatto del materiale trovato nel primo gradone e ciò causa problemi nella coltivazione.



The Sincelejo-Montería roadway permits the access to the mining and rock treatment areas. Due to the proximity of the maritime port of Cartagena de Indias, the products are traded in international markets of North America, Central America and Europe.

## 2.CHARACTERISTICS OF THE LIMESTONE STOPE FACES

There are two active stope faces for the mining of La Tampa Formation limestone. The limestone extracted in the stope face 1 (Fig. 2A), is a biosparite, with different size of fossil fragments and non-parallel planar bedding and 1-2 meters thickness. The limestone is characterized by vertical fractures and small fissures. Where unaltered, the color of the rock is limestone via water circulation along fractured and fissured zones, changing from green to golden colors. Random rounded iron nodules appear in the limestone beds.

In the stope face 2, the limestone (Fig. 2B) is a packed biomicrite with massive bedding and thickness of 9 meters. The rock is

**Figure 2. Gradone di calcare 1 della Formazione de La Tampa, mostra un letto non parallelo planare e noduli di ferro (A). Gradone 2 mostra un letto massivo (B) - Limestone stope face 1 of the La Tampa Formation, showing non-parallel planar bedding and iron nodules (A). Stope face 2 showing massive bedding (B).**

Tre prodotti commerciali diversi si ottengono dal primo gradone (Fig. 3) i quali sono caratterizzati solo dall'intensità di danneggiamento che causa i cambiamenti di colore. Un tipo di prodotto (RV) si ottiene dall'estrazione delle rocce inalterate di colore verde e con tessitura omogenea (Fig. 4A). Il secondo tipo (RVt) è in parte una roccia danneggiata (Fig. 4B), che conserva ancora delle porzioni inalterate, con un colore misto fra il verde (zone inalterate) e giallo (zone alterate). Il terzo tipo (RB) si ottiene dalle rocce completamente alterate e in questo caso gialle (Fig. 4C). Tutti e tre i tipi vengono usati per le facciate, i pavimenti, muri interni e elementi decorativi nelle costruzioni in Colombia e anche in altri stati.

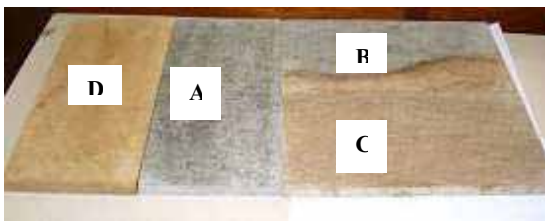
Solo un prodotto commerciale (RD) si ottiene dal secondo gradone, con colori dorati e tessitura simile a quella della sabbia. Questo tipo è largamente usato nelle costruzioni urbane e anche come ornamento nelle proprietà statali (es. fattorie) nella regione Andina Centrale in Colombia.

yellow with poor sorting and abundant fossil fragments. It is less packed than the rock material found in the stope face 1, which causes problems in the mining.

Three different commercial products are obtained from the stope face 1 (Fig. 3), and those are characterized only by the weathering intensity that causes color changes. One product type (RV) is obtained by the extraction of unaltered rock with green color and homogeneous texture (Fig. 4A). The second type (RVt) is a partially weathered rock (Fig. 4B), still preserving unaltered portions, with a color mixture of green (unaltered zones) and yellow (altered zones). The third type (RB) is obtained from the fully altered rock, and in this case is yellow (Fig. 4C). All three types are used as facades, floors, internal walls and decorative elements in building constructions in Colombia and also in other countries.

**Figure 3. Commercial types from: Stope face 1 (A) RV, green unaltered limestone, (B) RVt, mixed-color limestone and (C) RB, yellow altered limestone; and Stope face 2 (D) RD, golden limestone.**

**Figura 3. Tipi commerciali da: Gradone 1 (A) RV, calcare verde inalterato, (B) RVt, calcare di colore misto e (C) RB, calcare giallo alterato; e dal Gradone 2 (D) RD, calcare dorato.**





### 3. PROCESSI DI DETERIORAMENTO DEL CALCARE DE LA TAMPA

Tutte le differenti varietà del calcare de La Tampa descritte sono spesso applicate nella costruzione di edifici nella città di Medellín. Esse vengono usate per muri interni ed esterni, facciate, scale e pavimenti. Esempi della loro applicazione (Fig. 4) possono essere visti nel “Centro dei Convegni”, “Planetario Jesús Emilio Ramírez” e “Centro amministrativo la Alpujarra”.



**Figura 4. Uso dei calcari RV e RVt nella facciata del “Centro de Exposiciones” - Use of RV and RVt limestone in the facade of “Centro de Exposiciones” Medellín, Colombia.**

La scarsa qualità dell'aria di Medellín è caratterizzata dall'alta concentrazione di sostanze inquinanti, come SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> e particolato. Essi causano alcuni dei deterioramenti dei calcari ornamentali.

Il processo di danneggiamento più importante identificato nei muri e nelle piastre della pavimentazione degli edifici di Medellín sono sintetizzate di seguito.

Only one commercial product (RD) is obtained from the stope face 2, with golden color and texture similar to sandstone. This type is widely used in the urban building constructions and also as ornament in the country properties (e.g. farms) in the Andean Central region of Colombia.

### 3. DETERIORATION PROCESSES OF THE LA TAMPA LIMESTONES

All different varieties of La Tampa limestone described are often applied in the construction of buildings in Medellín city. They are used in external and internal walls, facades, stairs and floors. Examples of their application (Fig. 4) can be seen in: the “Centro de Convenciones”, “Planetario Jesús Emilio Ramírez” and “Centro administrativo la Alpujarra”.

The low quality of the air in Medellín is characterized by the high concentration of pollutant substances, such as SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> and of particulate material. They cause some deterioration in ornamental limestone.

The most important weathering processes identified in wall and floor slabs of the urban buildings in Medellín are summarized below.

#### 3.1 Salt Efflorescence

Powdery salts, developed in the stone or brick surfaces (salt efflorescence), usually migrate within the stone (Gauri and

### 3.1 Efflorescenza salina

Sali pulverulenti, sviluppatisi sulla superficie della roccia o dei mattoni (efflorescenza salina), di solito migrano all'interno della roccia (Gauri e Bandyopadhyay, 1999). Essi sono il prodotto della cristallizzazione del sale solubile, trasportato dal processo di capillarità e depositato dall'evaporazione (Aires-Barros, 2001). L'efflorescenza salina è frequente nella parete esterna del "Centro de Exposiciones" (Fig. 5) e nelle scale del "Centro Administrativo La Alpujarra".



### 3.2 Fessure e rotture

I processi di fessura e rottura sono comuni, specialmente nei calcari RVt e RB. Questi tipi hanno porzioni inalterate e anche parti alterate dalla circolazione dell'acqua. Le fessure originarie delle rocce sono piani di debolezza, dove il processo di deterioramento può continuare a generare altre fessure, con conseguente rottura della roccia (specialmente nelle scale di calcare - Fig. 6).

Bandyopadhyay, 1999). They are product of the soluble salt crystallization, transported by capillarity process and deposited by evaporation (Aires-Barros, 2001). Salt efflorescence is frequent in external walls of the "Centro de Exposiciones" (Fig. 5) and stairs of "Centro Administrativo La Alpujarra".

**Figura 5.** Sviluppo delle efflorescenze saline sulla superficie della pavimentazione delle scale del "Centro de Convenciones". Notare che questo processo è accentuato vicino alle aree ossidate.-*Development of salt efflorescence in the surface of stair slabs in the "Centro de Convenciones". Note that this process is accentuated around oxidized areas*

### 3.2 Fissures and break out

Fissures and break out processes are common, especially in the RVt and RB limestones. These types have unaltered portions and also altered parts due water circulation. The original rock fissures are weakness planes, where the deterioration process can be continued generating more fissures, with consequent rock break out (especially in limestone stairs - Fig. 6).



**Figura 6. Processi di rottura e fessurazione. Scale nel “Centro Administrativo La Alpujarra”.**

### 3.3 Sfaldatura

Il processo di sfaldatura è definito come il distacco di piccoli, sottili pezzi di roccia (scaglie), paralleli alla superficie della roccia (Fitzner, 1999). Le scaglie hanno spessore compreso tra 1 e 3 mm e possono esserci singole o multiple scaglie (Fig. 7). Questo processo è frequente nella pavimentazione esterna del “Centro amministrativo la Alpujarra”.



**Figure 7. Processo di singola e multipla sfaldatura, pavimento esterno del “Centro amministrativo La Alpujarra” - Single and multiple flaking processes, external floor of the “Centro administrativo La Alpujarra”.**

*Fissures and break out processes. Stairs in the “Centro Administrativo La Alpujarra”.*

### 3.3 Flaking

Flaking process is defined as the detachment of small, thin stone pieces (flakes), parallel to the stone surface (Fitzner, 1999). The flakes have thickness between 1 and 3 mm and single flakes and multiple flakes may occur (Fig. 7). This process is frequent in external floor in the “Centro administrativo la Alpujarra”.



**Figure 8. Croste nere in un muro grezzo esterno - Black crust in an external unpolished wall.**

### 3.4 Black crust

Black crust is the accumulation of solid particles, which are originated of human activity, especially by fuel combustion. Crusts formed by outdoor weathering are often black (Fig. 8). They grow outwards by the diffusion of calcium ions that latter react with gases at the surface of the growing crust (Gauri and Bandyopadhyay, 1999). This process is incipient on those limestones used as external walls protected by rain in

### 3.4 Croste nere

Le croste nere sono gli accumuli di particelle solide, le quali hanno origine per l'attività umana, specialmente dalla combustione della benzina. Le croste formatesi per il danneggiamento esterno sono spesso nere (Fig. 8). Esse crescono verso l'esterno a causa della diffusione degli ioni di calcio che successivamente reagiscono con i gas sulla superficie della crosta nascente (Gauri and Bandyopadhyay, 1999). Questo processo è incipiente in quei calcari usati per i muri esterni protetti dalla pioggia in Medellín. Comunque, il processo è cresciuto e si è sviluppato rapidamente.

### 3.5 Sviluppo di macchie

Lo sviluppo di macchie è una pigmentazione accidentale trovata sulla superficie della roccia. Nei materiali studiati, queste macchie sono legate al nucleo ferruginoso, presente nei letti di calcare, dovuto all'ossidazione



**Figura 9. Sviluppo di macchie localizzate in un muro esterno. -**  
*Development of located patches in an external wall.*

Medellín. However, the process has fast increased and developed.

### 3.5 Patch development

Patch developments are accidental pigmentations founded in the rock surface. In the studied material, these patches are related to ferruginous nucleous, present in the limestone beds, due to iron sulphides oxidation. The oxidation is continued in the rock slabs and, when it is exposed to the rain effects, patches are developed in the surface creating an ugly esthetic appearance (Fig. 9).

## 4. PETROGRAPHIC CHARACTERIZATION

There are textural and mineral differences between the ornamental limestones of La Tampa Formation. In the stope face 1, the limestone is a biosparite or fossiliferous grainstone, exclusively made of fossil shells with good sorting and rounding, cemented by sparry calcite. The most abundant fossil fragments are foraminiferous, mollusk, corals and algal. There is a low content of micrite matrix, usually less than 5%. Less quantity of terrigenous minerals such as quartz and opaque matter were observed under microscope. The rock exploited in the stope face 2 is a biomicrite, with higher content of micrite matrix and less sorting and rounding of the bioclasts constituents. The most important fossil fragments are corals, alga, mollusk and

dei solfiti di ferro.

L'ossidazione è continua nelle lastre di roccia e, quando esposte agli effetti della pioggia, le macchie si sviluppano sulla superficie creando un brutto effetto estetico (Fig. 9).

#### **4. CARATTERIZZAZIONE PETROGRAFICA**

Ci sono differenze tessiturali e minerali tra i calcari ornamentali della formazione de La Tampa.

Nel primo gradone, il calcare è la biosparite o grainstone fossilifero, esclusivamente fatto di conchiglie fossili con buon assortimento e rotondeggianti, cementate da calcite spatita. I frammenti di fossile più abbondanti sono quelli foraminiferi, molluschi, coralli e alghe. C'è un basso contenuto di matrice di micrite, di solito meno del 5%. Al microscopio è stata osservata una piccola quantità di minerali terrigeni come quarzo e materia opaca.

La roccia coltivata nel secondo gradone è biomicrite, con un altro contenuto di matrice di micrite e scarso assortimento e rotondezza dei costituenti bioclastici. I frammenti di fossile più importanti sono coralli, alghe, molluschi e foraminiferi, gli ultimi in piccola proporzione. Materiali non carbonatici, per esempio frammenti angolari di grani di quarzo e materia opaca, sono stati osservati. Stilolite e porosità sono altre caratteristiche importanti per il processo di alterazione dei calcari (Gauri and Bandyopadhyay, 1999) e sono

foraminifers, the latter in less proportion.

Non-carbonate materials, for example angular quartz grain fragments and opaque matter, have been observed.

Stylolite and porosity are other important features in the alterability process in limestone (Gauri and Bandyopadhyay, 1999) and have been observed in the La Tampa Formation Limestone. Stylolites are present in the limestone stope face 2 (Fig. 10). Limestone slabs containing stylolites are often used in outdoor architecture, however this is not a good choice because water can easily migrate into the rock and, on freezing, disrupt the stone.

The porosity is one of the most important factors that determine the deterioration susceptibility of La Tampa Formation limestone. Some types such as intergranular, intragranular and moldic by dissolution have been identified under the optical microscope.

#### **5. MINERALOGICAL CHARACTERIZATION**

Limestone often contains clastic particles and alteration minerals, such as oxides, sulphides and salts. These minerals influence the durability when used in external environment like wall or door, usually exposed to rain effects, causing spot and other deteriorations. Their identification has been quite difficult under the optical microscopy, and because of it, other techniques (such as

stati osservati nella formazione calcarea de La Tampa. Stiloliti sono presenti nel calcare del secondo gradone (Fig. 10). Lastre di calcare contenenti stiloliti sono spesso usate nelle architetture esterne, anche se esso ciò non è una buona scelta dato che l'acqua può facilmente migrare nella roccia e, congelandosi, la può distruggere.

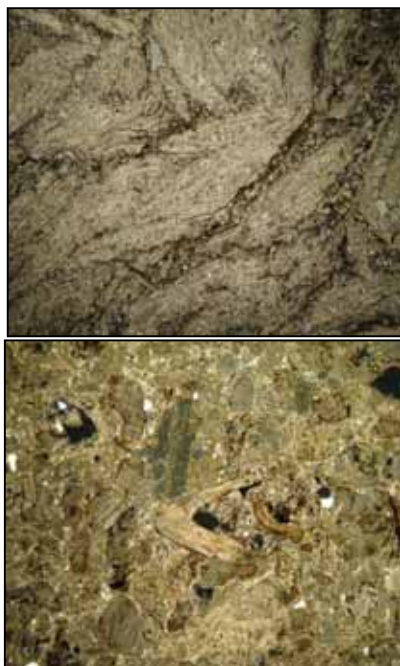
La porosità è uno dei fattori più importanti che determina la suscettibilità al deterioramento dei calcari della formazione de La Tampa. Alcuni tipi di porosità come l'intergranulare, intragranulare e dovuta alla dissoluzione sono stati identificati con l'osservazione al microscopio ottico.

## 5. CARATTERIZZAZIONE MINERALOGICA

I calcari spesso contengono particelle clastiche e minerali alterati, come ossidi, solfiti e sali. Questi minerali influenzano la durabilità quando vengono usati in ambienti esterni come muri e porte, di solito esposti agli effetti della pioggia, che causa macchie e altri deterioramenti. La loro identificazione è stata abbastanza difficile con il microscopio ottico e per questo motivo sono state usate altre tecniche (come XDR e ICP) per identificarli.

Le analisi con la diffrazione a Raggi-X (XDR) hanno identificato calcite nei calcari, con una piccola quantità di calcite magnesica. Altri minerali come quarzo, goethite ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ), pirite

XDR and ICP) have been used to identify them.



**Figura 10.** Foto al microscopio di sezioni sottili che mostrano: (A) calcare biosparite del gradone 1 con stiloliti, ae (B) biomicrite del gradone 2 che mostra porosità intragranulare e moldica (aree nere). - *Photomicrographs of thin section showing: (A) biosparite limestone stope face 1 with stylolites, and (B) biomicrite stope face 2 showing moldic and intragranular porosity (dark areas).*

Ray-X Diffraction (XDR) analyses have identified calcite in the limestone, with a few quantity of low magnesium calcite. Other minerals, such as Quartz, Goethite ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ), Pyrite ( $\text{Fe}_2\text{S}$ ), Muscovite and Mirabilite ( $\text{Fe}_2\text{S}$ ), ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), have been also

muscovite e mirabilite ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) sono stati identificati.

Il calcare RV (materiale inalterato del gradone 1) è formato da calcite e calcite basso magnesica in minor quantità. Le analisi XDR del residuo ottenuto dalla dissoluzione del calcare, in un acido acetico gelato, hanno permesso l'identificazione dei minerali non carbonatici come il quarzo e la mirabilite, entrambe a meno del 2%.

La goethite deriva dall'alterazione dei solfiti. Questo minerale si trova nei calcari parzialmente alterati (RVt) e anche in quelli totalmente alterati (RB), entrambi provenienti dal primo gradone. La goethite è responsabile del colore giallo di queste rocce. Le rocce molto alterate (colore giallo intenso) hanno la maggior percentuale di goethite (5%), che indica il più alto grado di alterazione delle rocce nel gradone 1.

Le analisi XDR nei campioni del gradone 2 mostrano la stessa composizione di base del calcare del gradone 1, con le differenze fra le due legate solo alla tessitura.

Le analisi ICP (Tab. 1) dei campioni rappresentativi dei diversi tipi di materiale mostrano importanti differenze fra loro. Il calcare ornamentale del gradone 1 ha un contenuto più basso in  $\text{SiO}_2$  rispetto al calcare del gradone 2. Tutte le rocce hanno una piccola quantità di  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , che è legata

identificata.

The RV limestone (unaltered material of stope face 1) is composed of calcite and low-Mg calcite in less proportion. XDR analysis of the residue obtained by dissolution of limestone, in glacial acetic acid, permitted the identification of non-carbonate minerals such as Quartz and Mirabilite, both less than 2%.

Goethite results from sulphide alteration. This mineral occurs in the partially weathered limestone (RVt) and also in the totally weathered (RB), both from stope face 1. Goethite is responsible for the yellow color of these rocks. The high-altered rock (intense yellow color) has the highest proportion of Goethite (5%), indicating the most altered state of rock in the stope face 1.

XDR analysis in samples from the stope face 2 shows the same basic composition of the limestone stope face 1, with differences among them being related with texture.

ICP analyses (Tab. 1) of representative samples of different material types show important differences among them. The ornamental limestones from stope face 1 have lower  $\text{SiO}_2$  content than the stope-face 2 limestone. All rocks have a low proportion of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , which is related to the presence of clay minerals.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  content is directly related to the rock weathering intensity. Then, the yellow rock (RB) which is the most altered of the stope face 1, has high content

alla presenza di minerali argillosi. Il contenuto di  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  è direttamente legato all'intensità del danneggiamento della roccia. Poi, la roccia gialla (RB) che è la più alterata del gradone 1, ha un alto contenuto di  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

**Tabella1. Contenuti in ossido determinati con la tecnica ICP.**  
*Oxide contents determined by ICP technique*

Ossidi	Gradone1			Gradone2
	Roccia inalterata (RV)	Roccia semi-alterata (RVt)	Roccia alterata (RB)	Calcare dorato (RD)
$\text{SiO}_2$	3.03	3.58	4.11	6.23
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1.28	1.27	1.92	1.62
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	4.11	5.75	8.88	5.38
MgO	2.08	1.37	1.42	0.64
CaO	88.56	85.90	81.79	84.47

Eden (1990) ha riconosciuto tre processi principali nel danneggiamento chimico, i quali sono:

1-La rottura della struttura originaria dei materiali e la mobilizzazione risultante di elementi come ioni e molecole.

2-La rimozione in soluzione di alcuni di questi costituenti.

3-La formazione di nuovi minerali dalla reazione con l'atmosfera e l'idrosfera e con gli ioni e le molecole mobilizzate.

Nel caso della formazione calcarea de La Tampa, le reazioni chimiche, principalmente l'ossidazione, la rimozione in soluzione di elementi come i composti ferrosi all'interno del calcare, sono la prima causa del

of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Eden (1990) recognized three principal processes of chemical weathering, as following:

1- The breakdown of the parent material structure and the resultant mobilization of the elements as ions and molecules.

2- The removal in solution of some of these constituents.

3- The formation of new minerals

from reactions with the atmosphere and hydrosphere and with the mobilized ions or molecules. In the case of

La Tampa Formation limestones, chemical reactions, notably oxidation, removal in solution of the elements such as ferrous compounds within the limestone, are the primary cause of deterioration. The presence of fissures and the porosity characteristics permits water circulation, facilitating the alteration process, responsible of changing the green color to yellow, as mentioned above.

## 6. TECHNOLOGICAL PROPERTIES

Technological properties related to water circulation in the rock structure were observed. The deterioration occurs in water presence. The porosity, the fissure and their interconnection, leads



deterioramento. La presenza di fessure e le caratteristiche di porosità permettono la circolazione dell'acqua, facilitando il processo di alterazione responsabile del cambiamento di colore da verde a giallo, come sopra citato.

## **6. PROPRIETÀ TECNOLOGICHE**

Sono state osservate le proprietà tecnologiche legate alla circolazione d'acqua nella struttura della roccia. Il deterioramento si ha in presenza d'acqua. La porosità, le fessure e la loro interconnessione, conducono la suscettibilità della roccia al deterioramento fisico e chimico permettendo il passaggio dell'acqua attraverso il materiale. Questo è molto importante quando l'ambiente è caratterizzato da una relativamente alta umidità e da vari periodi di precipitazioni durante l'anno, specialmente nella città di Medellín.

L'indice fisico, determinazione dell'assorbimento per capillarità e il processo inverso, la perdita dell'acqua per evaporazione e la resistenza alla compressione, comprendono le proprietà tecnologiche osservate in tutti i tipi di calcare sfruttato.

### **6.1 Indice fisico**

È stata osservata una alta correlazione tra l'alterazione di intensità, porosità e assorbimento dell'acqua nel calcare del gradone 1. La varietà gialla alterata (RB) presenta il più alto valore di

the rock susceptibility to physical and chemical weathering allowing the passage of water through the material. This is a very important where the environment is characterized by high relative humidity and various periods of precipitation during the year, especially in Medellín city.

Physical index, determination of absorption by capillarity and the inverse process, loss of water by evaporation and resistance to compressive strength, comprise technological properties observed in all types of limestone exploited.

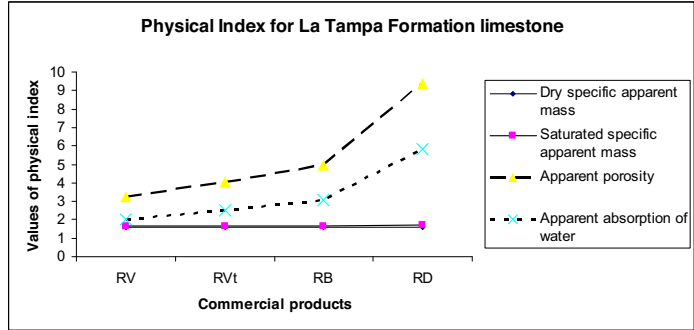
### **6.1 Physical Index**

It is observed a high correlation between alteration intensity, porosity and absorption of water in the limestone stope face 1. The altered yellow variety (RB) presents the highest values of apparent porosity and water absorption, when compared to the partially altered (RVt) and non-altered (RV) varieties. There are also differences between the two stope faces. The RD limestone has higher apparent porosity and apparent absorption of water if compared with values obtained for RV, RVt and RB limestone of stope face 1 (Fig. 11).

### **6.2 Absorption by capillarity and loss of water by evaporation**

The absorption by capillarity experiment, did in accordance with the final draft EN1925,

porosità apparente e assorbimento dell'acqua, se confrontato con le varietà parzialmente alterate (RVt) e non alterate (RV). Ci sono inoltre differenze tra i due gradoni. I calcari RD hanno una maggiore porosità apparente e un maggiore assorbimento apparente dell'acqua se comparati con i valori ottenuti per i calcari RV, RVt e RB del gradone 1 (Fig. 11).



**Figura 11. Indice fisico del calcare della formazione de La Tampa Formation.- Physical index of La Tampa Formation limestone.**

## 6.2 Assorbimento per capillarità e perdita d'acqua per evaporazione

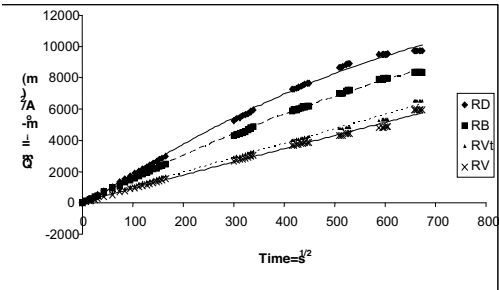
L'esperimento di assorbimento per capillarità, fatto in accordo con il disegno finale della EN1925, permette di stabilire le differenze tra i diversi tipi di calcare. I calcari RD hanno il maggior assorbimento per capillarità rispetto a tutti i tipi di calcare della formazione de La Tampa, se confrontati

permits to establish differences among the limestone types. The RD limestone has the biggest capillarity absorption for all types of limestone of La Tampa Formation, when compared to RV, RVt and RB limestones. In the stope face 1, there is a correlation as well, among the alteration intensity and capillarity absorption. The RB limestone

shows the most intensive process of ascension by capillarity process when compared to RVt and RV

limestones (Fig. 12).

**Figure 12. Assorbimento per capillarità della formazione dei calcari de La Tampa - Absorption by capillarity of La Tampa Formation limestone.**

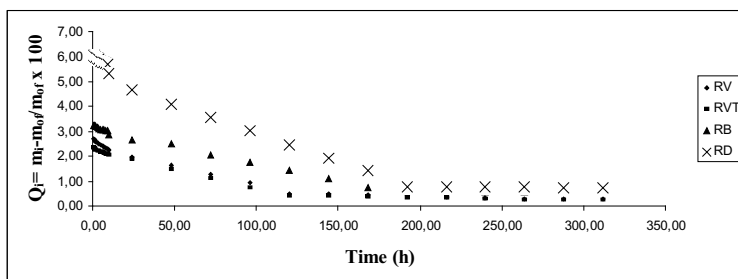


con i calcari RV, RVt e RB. Nel gradone 1, c'è comunque una correlazione, fra le alterazioni di intensità e l'assorbimento per capillarità. Il calcare RB mostra il più intenso processo di risalita per capillarità se confrontato con i calcari RVt e RV (Fig. 12)

Il processo inverso, cioè l'esperimento di perdita d'acqua per evaporazione (Normal 29/88), mostra differenze fra i vari tipi di calcare (Fig. 13). Il calcare RD ha alti contenuti d'acqua in funzione del tempo, necessitando di molto tempo per perdere l'acqua fino a raggiungere la massa costante. Questa caratteristica aiuta le reazioni chimiche e fisiche nella struttura della roccia per la presenza d'acqua. Il calcare RD è stato usato per le pareti esterne di alcuni edifici nella città di Medellín. La capacità di assorbimento e ritenzione dell'acqua nelle strutture interne può rappresentare un grosso problema per l'uso del calcare in ambienti esterni, rendendo necessaria l'applicazione delle strategie waterproof. In relazione al gradone 1, il calcare inalterato RV mostra una minor ritenzione

The inverse process, the experiment of loss of water by evaporation (Normal 29/88), also shows differences among all limestone types (Fig. 13). RD limestone has high water content in function of time, needing a lot of time to loose the water until reach the constant mass. This characteristic supports chemical and physical reactions in the rock structure by water presence. The RD limestone has been used in external wall in some buildings of Medellín city. The capacity of absorption and water retention in the internal structure can represent a big problem for the use of this limestone in external environment, making necessary the application of waterproofing strategies. In relation to the stope face 1, unaltered limestone RV shows minor water retention in the structure when compared to RVt and RB limestones.

**Figura 13. Perdita d'acqua per evaporazione nei calcari della formazione di La Tampa.- Loss of water by evaporation in La Tampa Formation limestone.**



idrica nella struttura se comparato con i calcari RVt e RB.

### 6.3 Resistenza allo sforzo di compressione

Sette lastre di tutte le varietà di calcare sono state sottoposte alle prove di compressione. Tutte hanno mostrato bassa resistenza alle forze di compressione e questo fattore è legato allo stato di danneggiamento della roccia (Fig. 14). Per i calcari del primo gradone, le lastre di RV hanno la maggior resistenza allo stress compressivo quando sono comparate con i campioni di RVt e RB.

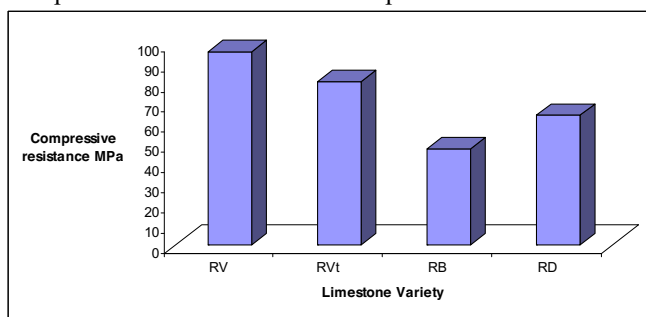
I valori di Rvt hanno una forte variazione dovuta ai diversi stadi di alterazione dei diversi campioni.

I calcari RB, spesso usati per pareti e pavimenti interni ed esterni, hanno i valori più bassi di resistenza fra tutte le varietà di calcare del gradone 1. I calcari del gradone 2 hanno una resistenza intermedia allo sforzo di compressione, più alta dei calcari RB, ma sempre minore dei calcari RV/RVt.

### 6.3 Resistance to compressive strength

Seven slabs of all varieties of limestone were submitted to compressive strength. All of them show low resistance to compressive strengths and this factor is related to the weathering state of the rock (Fig. 14).

For the limestone stope face 1, RV slabs have the highest resistance to compressive stress when compared to RVt and RB samples. RVt values have important variation due to the different stage of alteration for each sample.



**Figura 14. Diagramma che mostra la resistenza agli sforzi compressivi nelle diverse varietà di calcare -**  
*Diagram showing resistance to compressive strength results in limestone varieties.*

The RB limestone, often used as external and internal walls and floors, has the lowest resistance among all stope face 1 limestone varieties. RD limestone of Stope-face 2 has an intermediate resistance to the compressive strength, higher than RB limestone, but always lower than RV/RVt limestones.

## 7. CONCLUSIONI

Questa ricerca è un importante progresso per lo sviluppo scientifico nella produzione delle rocce ornamentali in Colombia. La caratterizzazione dei processi tecnologici e di danneggiamento è necessaria per il corretto uso dei materiali e per la crescita e lo sviluppo del commercio internazionale di queste risorse economiche.

Gli studi di laboratorio preliminari dei calcari della formazione de La Tampa ha rivelato un range di differenti varietà con considerevoli variazioni nelle loro proprietà tecnologiche e relativamente alle loro caratteristiche intrinseche. Due diversi tipi di calcari sono estratti e utilizzati; sono stati trovati in questi calcari differenti processi di deterioramento, caratterizzati dalla perdita di materiale roccioso, depositi, distacco del materiale e discontinuità strutturali.

Tutti i processi di deterioramento sono legati alle differenze di stato di danneggiamento delle diverse varietà commerciali oltre che alle caratteristiche petrografiche e di porosità di queste rocce. Tutti i calcari sono costituiti principalmente dalla calcite con piccole parti di ossidi, identificati con l'ICP, come ossidi di ferro e di alluminio. Questi ossidi sono importanti nel processo di danneggiamento, a cui i calcari sono sottoposti nell'ambiente

## 7. CONCLUSIONS

This research is an important advance for the scientific development of the ornamental stones production of Colombia. The technological and weathering process characterization is necessary for the correct use of materials and to the growth and development of international trade for these economical resources.

The preliminary laboratory studies of La Tampa Formation ornamental limestones have revealed a range of different varieties with considerable variations in their technological properties and related with the intrinsic characteristics. Two different types of limestone are extracted and utilized; different process of deterioration, characterized by loss of stone material, deposits, detachment of stone material and structural discontinuities, have been found in these limestones.

All deterioration processes are related to weathering state differences among the commercial varieties and also to the petrographical and to the porosity characteristics of these stones. All limestones are basically constituted by calcite with small proportion of oxides, determined by ICP, such as iron and aluminum oxides. These oxides are important in the weathering processes, where limestones are used in external environment. The oxides content is directly related with the weathering degree in the rock.

esterno. Il contenuto di ossidi è legato direttamente al grado di danneggiamento della roccia.

Tutte le differenze nell'assorbimento per capillarità e nella perdita d'acqua per evaporazione sono molto importanti per determinare il miglior utilizzo per le rocce studiate. I risultati mostrano chiaramente che l'applicazione dei calcari RB e RD in ambiente esterno, senza ricorrere alle strategie di waterproofing, è inadeguato. Le caratteristiche legate alla resistenza a compressione mostrano l'importanza di stabilire lo spessore ottimale nella dimensione delle lastre per l'uso in facciate, pareti interne ed esterne, pavimenti e scale.

All differences in the absorption by capillarity and loss of water of evaporation are very important to determine the best use for the studied rocks. The results show clearly that the application of RB and RD limestones in external environment without waterproofing strategies is inadequate. The characteristics related to resistance to compressive strength show the importance of establish the best thickness of slab dimension for the use in facades, internal and external walls, floors and stairs.

## **8. BIBLIOGRAFIA– BIBLIOGRÀFIA**

AIRES-BARROS, L. (2001). **“As rochas dos monumentos portugueses. Tipologias e patologias”**. Volumen 1. Lisboa. Instituto Português do Patrimônio Arquitetônico. 590p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARIZATION CEN. (1999). **Natural Stone Test Methods. Determination of water absorption coefficient by capillarity**. Norma EN 125. 7p.

EDEN, M.A. (1990) **The in-service performance of limestone building stones and their predominant mechanisms of decay**. M.Sc dissertation, Queen Mary and Westfield College, University of London.

FITZNER et al. (2002) **Limestone weathering of historical monuments in Cairo, Egypt**. In Natural Stone, Weathering Phenomena, Conservation, Strategies and Case Studies. Geological Society, London, Special Publications, 205, p. 217-239.

GAURI, K.L & BANDYOPADHYAY, J.K. (1999). **Carbonate Stone. Chemical Behavior, Durability and Conservation.** University of Louisville. A Wiley-Interscience publication. 284p.

UNI. Ente Nazionale Italiano di Unificazione (1991). **Misura della perdita per evaporazione dell'acqua assorbita dal materiale.**

**ROCCE ORNAMENTALI NEI MONUMENTI: UNA GUIDA  
PER LA CARATTERIZZAZIONE E LA VALUTAZIONE –**  
*Ornamental stones in monuments: a guide for the characterisation  
and evaluation*

A.G. Costa<sup>1</sup>

R. Bruno<sup>2</sup>

J.E. Becerra-Becerra <sup>1</sup>

<sup>1</sup>IGC, Università Federale di Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasile

<sup>2</sup>DICMA, Università di Bologna, Bologna, Italia

**ABSTRACT:** Lo studio dei materiali lapidei usati per la costruzione dei monumenti necessita di numerose indagini e caratterizzazioni, quali studi sulla condizione ambientale attuale e storica, studio delle proprietà del materiale e del loro livello di deterioramento. L'area da sfruttare deve essere localizzata e le proprietà petrografiche devono essere bene definite. La caratterizzazione quantitativa della variabilità delle proprietà più significative è essenziale, così come lo studio delle relazioni fra le strutture dei materiali e le proprietà richieste per gli usi specifici. Lo studio di alcuni siti storici dello stato di Minas Gerais (Brasile) e della regione Emilia Romagna (Italia) ha permesso lo sviluppo di analisi della conservazione delle rocce, sia nel tempo in cui erano state usate sia adesso. Sono state fatte inoltre delle osservazioni sull'uso di tali materiali nei progetti architettonici attuali.

**ABSTRACT:** The study of stone materials used for building monuments needs several surveys and characterisations, as studies of historical and actual environmental conditions, of material properties and of their level of deterioration. The exploitation area must be localised and the petrographic properties must be stated. The quantitative characterisation of variability of meaningful properties is essential as well as the study of relationships between the structures of the materials and the properties required by the specific uses. The study of some historical sites of Minas Gerais (Brazil) and of Emilia-Romagna Region (Italy) allowed developing an analysis of the stone conservation, both at the time when they were used and now. Some remarks on the use of such materials in actual architectonic projects have been made as well.



Ricerca effettuata nel dominio della rete “FARO Formação Avançada no setor das Rochas Ornamentais” ([www.alfa-faro.eu](http://www.alfa-faro.eu)) finanziata da EUROPAID – ALFA programma dell’Unione Europea e FAPEMIG/ Brazil.

## 1 INTRODUZIONE

La scelta dei materiali lapidei, inizialmente considerati come materiali life-long, deve essere effettuata sulla base di una serie di azioni, tra le quali i test tecnologici per avere una caratterizzazione completa delle loro proprietà. Inoltre, una corretta valutazione del comportamento delle rocce a seconda dei differenti usi, dei diversi stress e delle diverse condizioni ambientali, impone l’effettuazione di studi di durabilità (Costa & Maciel 2001, Costa et al. 2004, Campello et al. 2005, Bruno et al. 2004b, 2005). Pertanto, le ricerche attuali al LABTECRochas del CPMTC/IGC-UFG e al Dipartimento di Georisorse dell’Università di Bologna (DICMA-UNIBO), effettuate da geologi, ingegneri e chimici mirano a individuare delle procedure non solo nel quadro della caratterizzazione tecnologica, ma anche in quello dei metodi conservativi. Lo scopo è trovare come ridurre il lento, ma inevitabile deterioramento dei materiali lapidei. Per quel che concerne questo ultimo punto, sono gli edifici esistenti che svolgono il ruolo di laboratorio

Research made in the framework of the network “FARO Formação Avançada no setor das Rochas Ornamentais” ([www.alfa-faro.eu](http://www.alfa-faro.eu)) financed by the EUROPAID – ALFA programme of European Union and FAPEMIG/Brazil.

## 1 INTRODUCTION

The choice of stone materials, in principle con-sidered as life-long materials, must be preceded by a set of actions, among which the technological tests for a full characterisation of their properties. More-over, a correct evaluation of stone behaviour in case of different uses, different stress and environmental conditions, calls for durability studies (Costa & Ma-ciel 2001, Costa et al. 2004, Campello et al. 2005, Bruno et al. 2004b, 2005). Therefore, the actual re-searches at LABTECRochas do CPMTC/IGC-UFG and Dept. Of Geo-resources of Univ. of Bologna (DICMA-UNIBO), by geologists, engineers and chemists aim to set up procedures in the frame-work not only of technological characterisation, but also of conservative methods. The goal is to find out how to reduce the slow, but inevitable deterioration of stone materials. From this last point of view, the existing buildings play the role of natural laboratory for the study of time alterations.

By a detailed analysis, description and characteri-sation of stones and of their pathologies, such a

naturale per lo studio delle alterazioni dovute al tempo.

Per mezzo di una analisi dettagliata, di una descrizione e caratterizzazione delle pietre e delle loro patologie, questo studio si concentra sull'uso delle rocce ornamentali in edifici recenti ed in monumenti storici di città brasiliane, come Belo Horizonte, Ouro Preto, Mariana e Congonhas do Campo, nella regione di Minas Gerais, e di città italiane come Bologna (Costa et al., 2007).

Dopo la scelta dei monumenti e dei progetti architettonici, il passo successivo è l'identificazione delle rocce utilizzate e della loro area di origine. Nei nostri casi di studio, l'calcare, la steatite, la serpentinite, la quarzite, l'arenaria e il marmo sono stati studiati in dettaglio, senza dimenticare l'ampio spettro delle rocce ignee, isotrope o disomogenee e la composizione variabile per ciò che riguarda la classificazione dei graniti, alcalini e basici. Molte ragioni differenti, come la scarsità locale di materiali appropriati o le variazioni climatiche, oppure la mancanza di personale specializzato, spiegano perché l'eredità storica del Brasile come pure quella dell'Italia, costruita usando delle rocce come elemento ornamentale o strutturale, ora presenta seri problemi di manutenzione e di importante deterioramento.

I materiali scelti, dopo il campionamento, vengono testati per la caratterizzazione fisico-meccanica: indici fisici, resistenza

study focuses on the usage of dimension stones in recent buildings and in historical stone monuments of Brazilian towns as Belo Horizonte, Ouro Preto, Mariana and Congonhas do Campo, in the Minas Gerais state, and of Italian towns as Bologna (Costa et al., 2007).

After choosing the monuments and architectonic projects, the next step is the identification of the used stones and their area of origin. In the case studies, limestones, steatites, serpentinites, quartzites, sandstones and marbles have been studied in detail, but without forgetting the wide set of igneous rocks, isotropic or inhomogeneous and of variable composition following the granites classification, alkaline and basic. Several different reasons such as the local shortage of appropriate materials or the climatic changes, up to the lack of specialised personnel explain why most of historical heritage in Brazil as well as in Italy, built by using the stones as ornamental or structural element, now show serious problems of maintenance and of severe deterioration.

The chosen materials, after sampling, are tested for the physical-mechanical

characterisation: physical indexes, flexural strength, compressive strength, abrasion test, thermal dilation, etc. (Bruno et al., 2004a). An improved evaluation of the conservation state of such stones for

a flessione, resistenza a compressione, test di abrasione, dilatazione termica, etc. (Bruno et al., 2004a). Una valutazione migliore dello stato di conservazione di alcune rocce, ornamentali o da rivestimento, necessita di molti test di laboratorio sull'alterabilità.

Gli studi precedenti e la creazione di una data base con le differenti composizioni mineralogiche, tessiturali e le differenti proprietà strutturali, con i possibili livelli di alterazione, possono aiutare nell'evitare l'utilizzo di materiali inadeguati. In questo modo i segni patologici, molto frequenti in pavimenti e facciate dei monumenti e dei palazzi, nuovi o antichi, possono essere ridotti.

## **2 LA RICERCA NELL'AREA DELL' USO E CONSERVAZIONE DEI MATERIALI LAPIDEI**

Un ramo della ricerca è stato orientato verso la proposta di una procedura che abbia il fine di studiare e valutare la sensitività delle rocce ornamentali e identificare il processo di conservazione contro il deterioramento.

Nel quadro delle ricerche in corso al LABTECRochas del CPMTC/IGC-UFGM e al Dipartimento di Georisorse dell'Università di Bologna (DICMA-UNIBO), gli studi si concentrano sulle diverse rocce usate nelle costruzioni civili come elementi strutturali, ornamentali e fatti a mano. Particolare

ornamentale or cladding use, needs several laboratory tests of alterability. The preceding studies and the set-up of a data-base with different mineralogical compositions, textural and structural properties, and with possible levels of alteration, can help to avoid the use of inadequate materials. In this way the pathological signs, very frequent in floors and façades of monuments and buildings, new or old, may be reduced.

## **2 THE RESEARCH IN THE AREA OF USE AND CONSERVATION OF STONE MATERIALS**

A research effort has been oriented towards the proposal of a procedure aimed to study and to evaluate the ornamental stone sensitivity, and to identify the conservation process against deterioration.

In the framework of researches in progress at LABTECRochas of CPMT/IGC-UFGM and at Dept. of Georesources of University of Bologna, the studies focused on different stones used in civil constructions such as structural, ornamental and crafts-man elements. Particular attention has been given to steatites, serpentinites, quartzites, sandstones, schists, marbles and limestones. The non-destructive tests, known and in development, are the necessary tools for such works (Bruno et al., 2000; Campello et al 2005). Several

attenzione è stata riservata alle steatiti, serpentiniti, quarziti, arenarie, scisti, marmi e calcari. I test non distruttivi, conosciuti e in fase di sviluppo, sono strumenti necessari per questo tipo di lavoro (Bruno et al., 2000; Campello et al 2005). Vari stadi sono considerati, dall'identificazione e mappatura del deposito /cava, alla caratterizzazione fisico-meccanica, fino alla creazione di un data base. Tale data base è formato in modo da supportare entrambe le fasi, una scelta efficiente del materiale lapideo per le applicazioni esistenti così come una proposta alternativa per nuove applicazioni, sempre in accordo con la mineralogia, la tessitura, la struttura e il livello di alterazione.

Per migliorare la valutazione dello stato di conservazione di questi tipi di roccia usate nelle applicazioni ornamentali e per favorire una più efficiente proposta nelle costruzioni civili attuali, le ricerche sono state fatte in parte sui monumenti in roccia. Lo studio delle patologie esistenti negli edifici svolge il ruolo di laboratorio naturale del deterioramento delle rocce nel tempo. Tali studi, accoppiati ai risultati dei test di laboratorio, mirano a fornire elementi per permettere il rispetto delle specifiche e delle richieste, ma in maniera meno empirica e, di conseguenza, con maggiore efficienza, confidenza e sicurezza. In questo modo, la non-soddisfazione e i reclami del

steps are considered, from the identification and mapping of deposits and quarries, to the physical-mechanical

characterisation up to a database set-up. This database is designed for sup-orting both, an efficient choice of stone materials in existing applications as well as a proposal of alterna-tives for new applications; always according to its mineralogy, texture, structure and alteration level.

To improve the evaluation of conservation state of these stone types, used as ornamental applications, and to favour more efficient proposals of in-tervention in actual civil constructions, the researches are partly made on stone monuments. The studies of pathologies in existing buildings play the role of natural laboratory of stone deterioration dur-ing the time. Such studies, coupled with laboratory test results on alterability, aim to furnish elements for allowing to respect specifications and require-ments, but less empirically and, consequently, with more efficiency, confidence and savings. In this way, consumers' dissatisfaction and claims can be avoided, together with the negative effects for pro-ject companies and stone suppliers.

Moreover, the relevance of a research focused on deteriorating processes observed in monument's stones is well justified from the technological point of view. In fact, stones must be considered as dy-namic

cliente possono essere evitati, assieme a tutti gli effetti negativi per le compagnie di progetto e per i fornitori delle rocce.

Inoltre, la rilevanza di una ricerca focalizzata sui processi di deterioramento osservati nelle rocce dei monumenti è bene giustificata da un punto di vista tecnologico. Infatti, le rocce possono essere considerate un materiale dinamico, che mostra differenti comportamenti a seconda dell'ambiente e delle condizioni locali dove applicate, così come dal tempo di esposizione. Tali ricerche devono valutare le condizioni atmosferiche durante la vita storica, spesso complessa, di questo monumento. Infatti, molti fenomeni atmosferici possono essere chiariti prima tenendo conto delle proprietà delle rocce e, successivamente, studiando il loro comportamento tipico alle differenti condizioni di esposizione.

Per analizzare lo stato di conservazione dei monumenti realizzati in arenaria, calcare, steatite, quarziti, scisti, marmi, serpentiniti o qualsiasi altro tipo di roccia, è necessaria una conoscenza scientifica degli agenti deterioranti e delle loro cause. Quindi, al di là della necessità di test per scegliere i materiali e il metodo procedurale più adeguato per la buona conservazione degli stessi, è necessario ricorrere a dei test di invecchiamento accelerato, fatti in

material, showing different behaviour depending on the environment and on the local conditions where they are applied, as well as on the exposure time. Such researches need to evaluate the weather conditions during the historical life, often complex, of these monuments. In fact, many weathering phenomena can be clarified first by taking into account the stone properties and, subsequently, by studying their typical behaviour on different exposing conditions.

For analysing the conservation state of monuments made by sandstones, limestones, steatites, quartzites, schists, marbles, serpentinites or any other stone type, a scientific knowledge of deteriorating agents and of its causes is necessary. Then, besides the necessary tests for choosing the materials and the most adequate processing methods for the conservation of such goods, it is necessary to resort to accelerated ageing tests, made in laboratories. It then highlights the relevance of developing the research not only on the material extracted in the actual quarries, but also in existing constructions. The problems related to the use of dimension stone depend on the lack of data not only on material intrinsic properties, but also on properties induced by quarrying and processing. Finally, an incorrect application or use or an inadequacy to actual situations can accelerate the alteration.

laboratorio. Ciò evidenzia quindi la rilevanza dello sviluppo di una ricerca non solo sui materiali estratti nelle cave attuali, ma anche su quelli delle costruzioni esistenti.

I problemi legati all'uso di dimension stone dipende dalla mancanza di dati non solo sulle proprietà intrinseche del materiale, ma anche sulle proprietà indotte dalla cavazione e dalla lavorazione. Infine, un'applicazione o un uso non corretto come un'inadeguatezza alle situazioni attuali, può accelerare l'alterazione. Di nuovo si rivela quindi giustificato lo studio dei monumenti esistenti, sia per realizzare i test previsti, sia per sperimentare e proporre nuove procedure. Tali procedure sono di interesse non solo per i ricercatori e per i fornitori delle dimension stones, ma anche per gli architetti, per i responsabili dell'eredità storica, per i disegnatori, per gli esperti incaricati di specifiche tecniche e per le commissioni che si occupano degli standard tecnici. Molti di loro nella maggior parte dei casi non conoscono le caratteristiche tecnologiche dei materiali con cui lavorano e, di conseguenza, nemmeno le caratteristiche di durabilità e il comportamento nel tempo. Pertanto, un'analisi delle proprietà del materiale, ottenuta sia nel "run-of-mine" e nelle condizioni ambientali attuali, assicura un supporto rilevante nella scelta dei materiali più adeguati, una volta fornite le

Again it is justified to study the existing monuments, both for making the envisaged tests, and for experimenting and proposing new procedures. These procedures are of interest not only for the researchers and for the suppliers of dimension stones, but also for architects, the responsible for historical heritage, designers, the experts charged of technical specifications and for the standardisation technical committees. Many of them, in most of cases don't know the technological characteristics of working materials and, consequently, of their durability and behaviour along the time. Therefore, the analysis of material properties, obtained both, on the "run-of-mine" and in the environmental actual conditions, assures a relevant support to the choice of the most adequate materials, given the project requirements in civil constructions.

### **3 THE STONES IN MONUMENTS OF MINAS GERAIS AND OF EMILIA-ROMAGNA**

The identification of materials used in construction of stone monuments provides an understanding that in the past different limestones, marbles, steatites, serpentinites, quartzites, sandstones and several other stones have been used extensively in the sculpture art, in structures, claddings of churches, buildings, setts, fountains, mausoleums etc.

specifiche di progetto di un'opera civile.

### **3 LE ROCCE NEI MONUMENTI DI MINAS GERAIS E DELL'EMILIA ROMAGNA**

L'identificazione dei materiali usati per la costruzione dei monumenti in roccia porta alla comprensione che nel passato differenti calcari, marmi, steatiti, serpentiniti, quarziti, arenarie e molte altre rocce sono state usate massicciamente nell'arte scultorea, nelle strutture e nei rivestimenti delle chiese, edifici, fontane, mausolei, etc.. Nel caso del Brasile, anche se ci sono grandi depositi di granito, questo tipo di materiale è stato raramente utilizzato. Osservando e descrivendo alcuni di questi monumenti (Fig. 1, 2) nelle città di Minas Gerais e dell'Emilia Romagna, è stato possibile capire le patologie e quantificare l'alterazione della roccia. Fra gli altri fattori, il differente periodo di esposizione e il cambiamento delle condizioni climatiche sono stati presi in conto.

#### **3.1 Calcarei e marmi**

Anche se non sono appropriate per certi usi, i calcari e i marmi sono stati e sono massicciamente utilizzati per rivestimenti interni/esterni di grandi unità architettoniche. Nonostante i grandi depositi, l'uso di tali tipi di materiale non è stato mai molto importante a livello di eredità culturale in Minas Gerais.

In case of Brazil, even if there are large deposits of granites, this type of material has been seldom used. By observing and describing some of these monuments (Figs. 1, 2), in towns of Minas Gerais and of Emilia Romagna, it has been possible to understand the pathologies and to quantify the alteration of stones. Among other factors, the different periods of exposure and the change of climatic conditions have been taken into account.

#### **3.1 Limestones and Marbles**

Even if they are not appropriate for some uses, lime-stones and marbles have been and are extensively used as external/internal cladding of big architec-tonic units. In spite of their deposits, the use of such materials in Minas Gerais has never been important in terms of cultural heritage. Actually, important ma-terials have been applied with higher frequency, but very indiscriminately. In the past, most of such ma-terials were coming from Portugal and, during the colonial age, part of the stones were transported as floor of the same boats that were carrying back min-erals and other goods from the colony to the metropolis.

In Minas Gerais of the XIX century, it is worth to mention, among others, the rare applications in the churches of Ouro Preto and the applications in Attualmente importanti materiali

sono stati applicati con una frequenza maggiore, ma in maniera indiscriminata. Nel passato molto di tali materiali provenivano dal Portogallo e, durante l'era coloniale, una parte delle rocce vennero trasportate come pavimentazione delle stesse navi che portavano indietro minerali e beni dalle colonie alle metropoli. Al contrario, a Bologna grandi volumi di calcari sono stati utilizzati; essi sono per la maggior parte fossiliferi e il loro colore varia dal rosso al bianco. Una di tali varietà fossilifere era la Pietra d'Istria, di colore bianco. Altri calcari, sempre fossiliferi, avevano colori più rossicci: fra le diverse costruzioni che fanno uso di tali materiali, da ricordare sono i pavimenti della Basilica di San Petronio e alcuni particolari del Palazzo Comunale. Nella Minas Gerais del XIX secolo, bisogna dire che esse vennero utilizzate, in una delle loro rare applicazioni, nelle chiese di Ouro Preto e nel cimitero di Negra di Rocinha, vicino Matias Barbosa, nella regione del Juiz de Fora.



**Figura 1. Materiali lapidei delle costruzioni storiche di Minas Gerais ed esempi di deterioramento. (a) Steatite con calcite e clorite in una scultura all'ingresso della chiesa di Bom Jesus do Matosinhos a Congonhas do Campo/MG. Si vedono l'alterazione del colore, le macchie e le cavità dovute alla dissoluzione dei carbonati.; (b) Granada - cianite – mica scisto e quarzite, nel dettaglio del Museo di Arte Sacra di Mariana, Minas Gerais, che mostra un'erosione differenziale; (c) Granito del portale della Chiesa di Cachoeira di Campo con ossidazioni; (d) Quarzite del portale del Cimitero di a Ouro Preto, che mostra processi di efflorescenza e dissoluzione.**

the Cemetery of Negra de Rocinha, near Matias Bar-bosa, in the region of Juiz de Fora. On the contrary, in Bologna big volumes of lime-stones have been largely used. They are mainly fossiliferous and their colours vary from red to white. One of such



### **3.2 Steatiti, Serpentiniti e altre rocce verdi**

In riferimento all'insieme dei derivati delle rocce ultramafiche, l'uso delle steatiti/soap stone, talchi, serpentiniti e scisti verdi è molto presente nelle costruzioni di Minas Gerais. In Italia questi materiali sono stati utilizzati accoppiati a calcari e ad altre rocce

sedimentarie, come nel caso di molti edifici a Firenze. A Bologna sono presenti nei mosaici della Basilica di Santo Stefano. In vari monumenti viene utilizzata la serpentinite. Nonostante questo la produzione delle serpentiniti dalle cave di Minas Gerais, considerato il volume dei depositi disponibili nello Stato, non è significativo per rapporto alle altre rocce.

### **3.3 Quarziti e Arenarie**

Le quarziti sono state e sono attualmente largamente utilizzate nelle unità architettoniche di Minas Gerais. Possiamo dire che in nessuna città di Minas Gerais manchino le applicazioni delle quarziti nelle costruzioni. Generalmente queste rocce presentano forti variazioni di colore (gialle, rosa, ..) dipendenti dalle diverse composizioni mineralogiche e dal livello di ossidazione. Esfoliazione e microincrostazioni possono essere frequenti a seconda delle associazioni di minerali ( fra i quarzi, ci sono la sericite, muscovite, cianite, sillimanite, tormalina e ossidi) e

fossiliferous variety is called Pietra d'Istria which is white. Other limestones, always fossiliferous, have reddish colour. Among the several constructions that used these materials, remarkable are the claddings of Basilica of San Petronio and some details of Palazzo Comunale.

### **3.2 Steatites, Serpentinites and other basic green stones**

With reference to the set of ultramafic derived stones, the use of steatites / soapstone, talc stone, serpentinites and green schists is noted mainly in the constructions of Minas Gerais. In Italy these materials have been used coupled with limestones and with other sedimentary stones, as is the case of several buildings in Florence. In Bologna they are partly present in the mosaics of the Basilica of Santo Stefano.

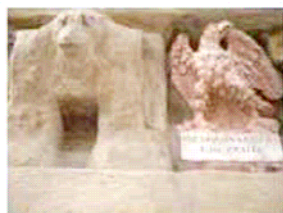
In many mining monuments the use of serpentinites is observed. In spite of that, the production of serpentinites quarried in Minas Gerais, considering the volume of deposits available in the State, is not significant compared to other stones.

### **3.3 Quartzites and Sandstones**

Quartzites have been and currently are largely applied in architectonic units in Minas Gerais. We can say that in the towns of Minas Gerais the

di tessiture, granoblastica o granolepidoblastica.

quartzite applications in construction are missing.



**Figura 2. Materiali lapidei delle costruzioni stoiche dell' Emilia Romagna, a Bologna ed esempi di deterioramento. (a) Arenaria e calcare detto Veronese, nel Palazzo Comunale, che mostra la dissoluzione; (b) Calcarei fossiliferi nella Basilica di San Petronio (Pietra d'Istria e calcare a dischi rossi) che mostra la dissoluzione e l'alterazione del colore; (c) arenaria che mostra idrolisi e dissociazione.**

Nel caso delle arenarie, meno coesive e resistenti delle quarziti, esse hanno alti valori di assorbimento dell'acqua e di porosità. Queste rocce sono formate principalmente da cristalli di quarzo e grani fini, hanno colori che variano dal giallo al bianco a seconda degli altri minerali o elementi presenti. Questi materiali sono stati utilizzati intensamente nelle costruzioni e nelle pavimentazioni

Generally, these stones show large colour variations (yellow, pink, ...), depending on the mineralogical content and of the oxidation level. Exfoliation or scaling can be frequent depending on

mineral associations (besides quartz, there are sericite, muscovite, cyanite, sillimanite, tourmaline and oxides) and on textures, granoblastic or granolepidoblastic.

In case of sandstones, less cohesive and resistant than quartzites, there are high values of water absorption and porosity. These stones are made merely of quartz crystals and thin grains. They show colours varying from yellow to white, depending on the other minerals or elements present. These materials have been extensively used in the construction or cladding of many monuments in Bologna, as is the case of Palazzo Comunale or of Palazzo del Podestà, as well as in case of several old entering doors of the town and in many of the former and present buildings.

di molti monumenti a Bologna, come nel caso del Palazzo Comunale o del Palazzo del Podestà, come pure nel caso di molte antiche porte di ingresso alla città e di molti palazzi recenti e vecchi.

### **3.4 Scisti**

Scisti, come gli scisti cloritici o quelli sericitici, sono stati spesso usati nel XVIII e XIX secolo nello stato di Minas Gerais, come pure nelle regioni di Diamantina, Serro, Conceição do Mato Dentro, Santa Bárbara e Caraça.

Gli scisti garnet, che possono contenere o meno la cianite e che sono comuni nelle regioni di Mariana e Ouro Preto, sono stati frequentemente applicati alle pavimentazioni nella regione di Minas Gerais (spesso vengono confusi con le steatiti).

Scisti che contengono anfiboli sono stati trovati nelle costruzioni delle regioni di Cachoeira do Campo e São Bartolomeu. È molto tempo che tali materiali non sono usati per le costruzioni civili. Nonostante il largo uso passati, non esistono documenti scritti riguardanti l'identificazione delle prime aree sfruttate: ciò può compromettere il lavoro di ricomposizione dell'eredità.

## **4 LE PROCEDURE DI RICERCA**

Per perseguire gli obiettivi della ricerca, la quale include lo studio di materiali quali steatiti, serpentiniti, calcari, scisti, marmi,

### **3.4 Schists**

Schists, as the chlorite-schists or the sericite-schists have been very often used in XVIII and XIX century in Minas Gerais, as well as in the regions of Dia-mantina, Serro, Conceição do Mato Dentro, Santa Bárbara and Caraça. The garnet schists which can containe or not cianite and which are common in the regions of Mariana and Ouro Preto, have been frequently ap-plied in different claddings in this region of Minas Gerais; often they are confused with steatites. Schists, that contain amphiboles, are found in the constructions of Cachoeira do Campo and São Bar-tolomeu regions. It is a long time that these materials are not used in the civil constructions. In spite of the large use in the past, no written documents exist concerning the identification of the former exploitation areas. This fact can compromise the heritage recomposition work.

## **4 THE RESEARCH PROCEDURES**

For pursuing the research goals, which involve the study of materials like steatites, serpentinites, lime-stones, schists, marbles, sandstones, quartzites and granites, used in architectonic projects, available in the market as blocks as well as finished or semi-finished products, it is necessary to fix a procedure. This procedure considers the identification of stone deposits; it adopts an adequate methodology

arenarie, quarziti e graniti, usati in progetti architettonici, disponibili nel mercato come blocchi o come prodotti semi-finiti e finiti, è necessario fissare una procedura. Questa procedura comprende l'identificazione del deposito della roccia, adotta una metodologia adeguata per la caratterizzazione delle proprietà tecnologiche del materiale in questione (Fig. 3a); valuta il quadro del deterioramento sulla base dello studio dei monumenti e dei processi generati artificialmente in laboratorio (Fig. 3b). Questa procedura deve fornire informazioni fondamentali per la manutenzione dei monumenti storici e per la prevenzione delle alterazioni per quel che riguarda gli usi futuri.

Basato sul lavoro di ricerca in corso, viene presentata una proposta metodologica per studiare l'alterazione delle rocce ornamentali.

Vengono definiti i seguenti passi:

1<sup>a</sup> step – Lavoro in campo

- identificazione con dati fotografici e caratterizzazione macroscopica dei tipi litologici (arenarie, quarziti, steatiti, calcari, ...) usati come elementi nella costruzione degli edifici, considerando anche quelli storici di Minas Gerais, Emilia Romagna, etc, o usati per ottenere sculture e elementi ornamentali a livello artigianale. valutazione con delle azioni non distruttive

for characterising the technological properties of the materials at hand (Fig. 3a); it evaluates the deterioration framework by the study of monuments and by the study of processes artificially generated in laboratory (Fig. 3b). This procedure must give fundamental information for historical monuments maintenance and for the alteration prevention in case of future uses. Based on the research work in progress, a methodological proposal for studying the alteration of ornamental stones is presented. The following steps are defined:

1<sup>a</sup> step – field work

- Identification by photographic record and macroscopic characterisation of lithological types (sandstones, quartzites, steatites, serpentinites, schists, limestones, etc.) used as construction elements in buildings, including the historical ones of Minas Gerais, Emilia-Romagna, etc.; or used by craftsmen for sculptures and ornamental elements;
- Evaluation by non-destructive actions of the deteriorating level; identification, cartography and photographic record of the main types of alteration observed in the monument's stones (scaling, original colour and texture alteration caused by oxidation and hydration with mass loss;

del livello di deterioramento; identificazione, cartografia e fotografie dei tipi principali di alterazione osservati nelle rocce dei monumenti (scaling, alterazioni del colore originale e della tessitura dovute all'ossidazione e dall'idratazione con perdita di massa, concentrazione di popolazioni fungine, modellamento della forma dovuto all'abrasione meccanica e alle azioni di vento e pioggia, macchie e cavità, efflorescenze, microfratture, etc.); lo scopo è la valutazione dello stato attuale di tali materiali e lo studio del loro comportamento quanto esposti a differenti condizioni climatiche e usi; per esempio, il regime di pioggia, la direzione del vento, il tipo e il livello di inquinamento atmosferico sono tutti parametri da tenere in considerazione.

- Studio nel campo geologico per localizzare le aree deposito delle rocce di interesse, con il fine di registrare l'aspetto delle cave e la varietà delle rocce commerciali prodotte; bisogna sempre effettuare dei report fotografici e dei campionamenti per i test di laboratorio (caratterizzazione tecnologica e test di alterabilità accelerata).

concentration of mushroom populations; form modelling by mechanical abrasion and rain and wind action, stains and shells, efflorescence, micro-cracks, etc.) ; the aim is the evaluation of actual state of these materials and the study of their behaviour when exposed to different climatic conditions and uses; for instance, the raining regime, the wind directions, type and level of atmospheric pollution ( $SO_2$ ,  $CO_2$  etc.) all are parameters to be considered;

- Geological field study to localise the deposit areas of the stones of interest, with the aim of registering the quarry faces and the stone commercial varieties produced; always, photographic reports and sampling for the following laboratory testing must be done (technological characterisation and accelerated alterability tests);

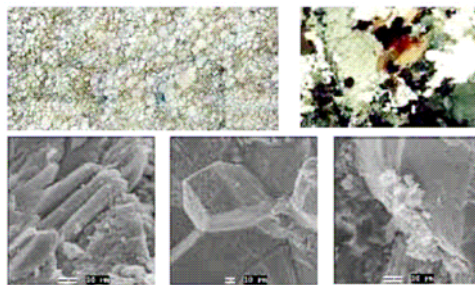
<sup>nd</sup>  
2 step: laboratory work:

- Characterisation of physical-mechanical properties of the stones to be studied, differentiating by variations as colour, texture, structure;
- Accelerated ageing characterisation by alterability tests in laboratory with simulation of atmospheric conditions as pollution, acid rains, etc. These tests

- 2<sup>nd</sup> step: lavoro di laboratorio
- Caratterizzazione delle proprietà fisico-meccaniche delle rocce da studiare, differenziazione sulla base delle variazioni di colore, tessitura e struttura.
  - Caratterizzazione dell'invecchiamento accelerato tramite i test di alterabilità in laboratorio simulando le condizioni atmosferiche (inquinamento, piogge acide, etc.). Questi test considerano anche lo sviluppo dei processi di simulazione statica e continua dell'estrazione e di misura della perdita di massa. Essi permettono di ottenere una valutazione approssimata degli effetti dell'inquinamento ambientale e dei processi di deterioramento atmosferico; infatti l'invecchiamento accelerato è un tema difficile da studiare profondamente per migliorare la significatività dei risultati;
  - Analisi degli aspetti previsti dei prodotti waterproof sulle rocce la cui superficie è stata trattata con prodotti simili; le condizioni reali che si verificano durante il loro utilizzo (attacco chimico, macchie, abrasione, bagnabilità,...) sono simulate e le metodologie per caratterizzare e mantenere i trattamenti della roccia sono

- consider also the development of processes simulating static and continuous leach-ing, and measure the mass loss. They allow for an approximated evaluation of the effects of en-vironmental pollution and of weathering on deterioration processes; in fact, the accelerated age-ing is a difficult task to be deeply studied for improving the significance of the results;
- Analysis of expected effect of waterproofing products on stones whose surface is treated with similar products; the real conditions that occur during their use (moistening, chemical attack, staining, abrasion, etc.) are simulated and the methodologies to characterise and maintain the stone treatments are adapted;
  - Correlation of physical indexes and of other technological parameters with mineralogical tex-tural and structural characteristics; transforma-tion of qualitative evaluations of similar characteristics, only seldom quantitative, and of stone sensitivity into objective data: particular atten-tion must be given to the daily alterations;
  - Set-up of a database with the market structure of the stones at hand; particular attention must be given to properties required by consumers and to the market conditions.

- adattate.
- Correlazione degli indici fisici e di altri parametri tecnologici con la tessitura mineralogica e le caratteristiche strutturali; trasformazione della valutazione qualitativa di caratteristiche simili, solo in parte quantitative, e della sensitività della roccia in dati oggettivi: particolare attenzione va data alle alterazioni giornaliere.
  - Creazione di un data base con le strutture di mercato delle rocce studiate; particolare attenzione va data alle proprietà richieste dai consumatori e dalle condizioni del mercato.



**Figure 3. Valutazione microscopica delle rocce ornamentali. (a) Studio delle caratteristiche petrografiche delle rocce ornamentali (composizione mineralogica e tessitura), tramite le analisi al microscopio petrografico delle sezioni sottili (a-1: marmo; a-2: granito); (b) Analisi del tipo di contatto fra i grani e degli effetti delle sub-efflorescenza indotti nel marco di Carrara, con il microscopio elettronico**

## 5 CONCLUSIONE

Il problema della conservazione delle dimension stones usate nelle costruzioni civili e nei lavori artistici è senza dubbio di attualità da un punto di vista tecnico ed economico. È chiaro che certe difficoltà nascono durante l'implementazione della procedura proposta, come nel caso dell'adeguatezza dei test di invecchiamento o dell'identificazione del corpo incaricato della creazione e della gestione del database.

Tuttavia, si spera che l'adozione delle procedure proposte possa in breve tempo fornire una base solida alle soluzioni per la conservazione delle rocce sia nelle costruzioni studiate sia nelle altre. Di sicuro, bisogna sfruttare i

## 5 CONCLUSION

The problem of conservation of dimension stones used in civil constructions and in artistic works is no doubt topical from the technical and economic point of view. It is clear that some difficulties arise when implementing the procedure proposed, as is the case of the adequacy of ageing tests or of the identification of the body charged of setting-up and managing the databases.

Nevertheless, it is expected that the adoption of the procedure proposed may shortly give a solid base to the solutions for the stone conservation in the studied and other constructions. Of course, it has to exploit the progresses

progressi registrati nella cavazione, nella lavorazione, nell'applicazione delle tecniche e nei metodi di analisi, e tenere in conto l'esistenza di test di invecchiamento accelerato per la valutazione in laboratorio dei trattamenti di durabilità.

Infine la metodologia proposta, una volta completata, sarà un fattore essenziale per ottenere dei voti di qualità consistenti, al fine di garantire l'origine e la qualità del prodotto finale in roccia.

accounted in the quarrying, in the processing, in the application techniques and in analysis methods; and it must take into account the existing accelerated ageing tests for laboratory assessment of durability treatments.

Finally, the proposed methodology, once fulfilled, will be an essential factor for getting any consistent quality mark, aimed to guarantee the origin and quality of stone finished product.



## 6 BIBLIOGRAFIA– BIBLIOGRÀFIA

BRUNO, R., BONDUÀ, S., CINALLI, F., LAURENGE, P. & PERSIPAOLI, S. (2000). **“New Methodologies for Aesthetical Characterisation of Ornamental Stones through Image Analysis”**- Pro-ceedings of the International Congress “Quarry-Laboratory-Monument”, G. Calvi and U. Zezza (eds.) – September 26-30, 2000, Pavia, Italy, pp. 189-194.

BRUNO, R., MONTOTO, M. AND PASPALIARIS, I. (2004a). **“Characterisation Methodologies And Norms”** –OSNET Editions Volume 5 - EUR 20637/5 - Published and printed by the Laboratory of Metallurgy, National Technical University of Athens GR-157 80 Zografos, Athens, Greece Athens 185 pp.

BRUNO, R., MONTOTO, M. AND PASPALIARIS, I. (2004b). **“Needs and priorities in stone characterisation”** –OSNET Editions Volume 6 - EUR 20637/6 - Published and printed by the Laboratory of Metallurgy, National Technical University of Athens GR-157 80 Zografos, Athens, Greece Athens 147 pp.

BRUNO, R., MONTOTO, M. & PASPALIARIS, I. (2007). **“Finished products characteristics and uses: a guide”** – OSNET Editions Volume 15 – EUR 20637/15 - Published and printed by the Laboratory of Metallurgy, National Technical University of Athens GR-157 80 Zografos, Athens, Greece Athens and Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali, Alma *(Brasil) e da Emilia-Romagna (Itália)*”. Atti del III Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais, Natal, Brasile– 15-18 Novembre 2007.

COSTA, A.G. & MACIEL, S.L. (2001). **“Granada-cianita xistos com aplicação ornamental: exemplos da cidade de Mariana, Minas Gerais”**. XI Simpósio de Geologia de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG.

COSTA, A.G., SILVA, M.E. & BECERRA, J.E.B. (2004). **“Ornamental and dimension stones: a study of cultural heritage buildings in Brazil.”** 32<sup>nd</sup> International Geological Congress, Florença-Itália.

# **ROCCE ORNAMENTALI DELL'ARGENTINA: LE LORO POTENZIALITÀ - *Rocas Ornamentales de Argentina. Su potencialidad***

Isidoro Schalamuk<sup>1</sup>

Daniela Marchionni<sup>1</sup>

Susana Ciccioli<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Recursos Minerales (UNLP-CIC). La Plata - Argentina*

## **1. INTRODUZIONE**

Nonostante in Argentina, per la sua estesa e variata geologia, si estraggano materiali accettati nel mercato nazionale e internazionale, la produzione non è stata sostenuta nel tempo; ciò è dovuto alle oscillazioni della politica economica, finanziaria e le dogane esistenti, nonché la mancanza delle tecnologie adeguate per sviluppare i prodotti che concorrono nel mercato mondiale. Nelle ultime decadi, senza embargo, come conseguenza del fatto che gli organismi ufficiali e le imprese tornarono in contatto con gli altri paesi che guidano l'avanguardia nella produzione e nel commercio delle rocce ornamentali (Italia, Spagna, fra i Paesi della CEE), ha avuto inizio un lento ma progressivo sviluppo nello studio geologico e nella caratterizzazione tecnologica delle risorse delle rocce ornamentali, anche se per la maggior parte lavori a carattere preliminare.

Gli studi precedenti dimostrano che il nostro paese contiene nelle sue diverse

## **1. INTRODUCCIÓN**

Si bien en Argentina, por su extensa y variada geología, se destacan materiales ornamentales aceptados por el mercado nacional e internacional, la producción no ha sido sostenida en el tiempo, ello se debe a las oscilaciones de las políticas económicas, financieras y arancelarias existentes y de la falta de tecnologías adecuadas para desarrollar productos que compitan en el contexto mundial. En las últimas dos décadas, sin embargo, como consecuencia de que organismos oficiales y empresas tomaron contacto con otras de países que marchan a la vanguardia en la producción y comercialización de rocas ornamentales (Italia, España, entre otros países de la CEE), se inició un lento pero progresivo desarrollo en el estudio geológico y en la caracterización tecnológica de los recursos de rocas ornamentales, si bien en su mayoría son trabajos de carácter preliminar.

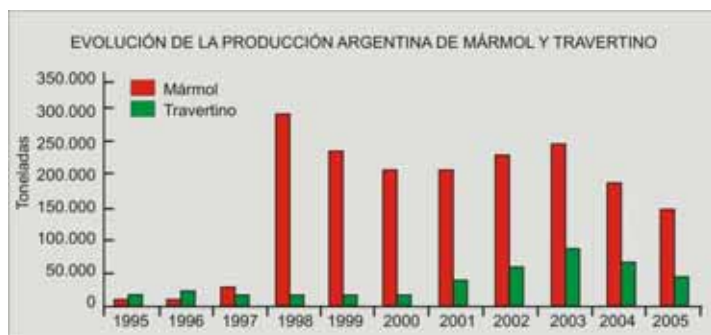
unità geologiche delle rocce ignee, metamorfiche e sedimentarie con proprietà adeguate (varietà di colore, tessitura e riserve) per implementare, nel futuro, una massiccia produzione tale da soddisfare il mercato domestico e tale da contribuire al mercato internazionale. Per esso sarebbe necessario ampliare le conoscenze geologico-strutturali e petrografiche dei differenti tipi litologici, conoscere le loro caratteristiche tecnologiche e certificare le riserve. Per ampliare lo sviluppo di tale industria, è necessario appoggiare economicamente le imprese interessate e pianificare lo sviluppo prevedendo l'uso di equipaggiamenti e tecnologie adeguate nei diversi step dello sfruttamento e dell'elaborazione, al fine di raggiungere i livelli e le specifiche di qualità richieste dalla normativa internazionale. Questo permetterà di implementare i progetti economici di coltivazione e di imporre nel mercato nazionale e internazionale nuove varietà di materiali elaborati o semielaborati, con maggior valore aggiunto. Attualmente si realizzano modeste esportazioni di blocchi, per la maggior parte verso paesi della CEE.

Los antecedentes existentes demuestran que nuestro país contiene en sus diferentes unidades geológicas rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias con propiedades adecuadas (variedades de colores, texturas y reservas) para implementar, a futuro, una producción sostenida tanto para abastecer el mercado domestico e incluso contribuir al mercado internacional. Para ello es necesario ampliar el conocimiento geológico-estructural y petrográfico de los diferentes tipos litológicos, conocer sus características tecnológicas y certificar reservas. Para ampliar el desarrollo de esta industria, se deberá apoyar crediticiamente a las empresas interesadas y planificar el desarrollo previendo utilizar equipamientos y tecnologías adecuadas en las etapas de explotación y elaboración, a los efectos de lograr los niveles y especificaciones de calidad exigidos según normativas internacionales. Esto permitirá implementar proyectos económicos de explotación e imponer en el mercado nacional e internacional nuevas variedades de materiales elaborados o semielaborados, con mayor valor agregado. Actualmente se realizan modestas exportaciones de

La produzione di rocce ornamentali, nelle loro distinte varietà, si sta sviluppando in maggior scala nelle unità geologiche conosciute come Sierras Pampeana (specialmente nella Provincia di Cordoba e San Luis), Sierras Septentrionales della Provincia di Buenos Aires e nella Precordillera Argentina (principalmente nella provincia di San Juan). La regione della Patagonia che include il Massiccio del Deseado (provincia di Santa Cruz) e il Massiccio Nordpatagonico (Rio Negro e Chubut) sono produttori di pietre e porfidi, la cui produzione viene esportata in Italia (sporadicamente si sfruttano varietà di granito e marmo). La regione della Puna (che include le province di Salta, Catamarca e Jujuy) è solita produrre pietre, marmo di tipo onice e travertino (figura 1 e tabella 1).

bloques, en su mayor parte a países que integran la CEE.

La producción de rocas ornamentales, en sus distintas variedades, se viene desarrollando en mayor escala en las unidades geológicas que se conocen como Sierras Pampeana (especialmente en las provincias de Córdoba y San Luis); Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires y en la Precordillera Argentina (principalmente en la provincia de San Juan). La región Patagónica que incluye el Macizo del Deseado (provincia de Santa Cruz) y el Macizo Nordpatagónico ( Río Negro y Chubut ) son productoras de lajas y pórfidos, cuya producción en mayor parte se exporta a Italia ( esporádicamente se explotan variedades de granitos y mármoles). La región de la Puna (que incluye las provincias de Salta, Catamarca



**Figura 1.**

In questo breve articolo faremo riferimento alle potenzialità delle rocce ornamentali localizzate nella Sierras Pampeanas di San Luis e Cordoba e a quelle che si trovano nella regione precordillera della provincia di San Juan (Figura 2). La potenzialità della Sierras Septentrionales della provincia di Buenos Aires verrà trattata in un altro articolo di questa stessa pubblicazione.

**Figura 2.**



y Jujuy), también suele producir lajas, mármoles tipo ónix y travertinos (figura 1 y tabla I). En esta breve contribución haremos referencia a la potencialidad de las rocas ornamentales localizadas en las Sierras Pampeanas de San Luís y Córdoba y los que se registran en la región precordillerana de la provincia de San Juan (Figura 2). La potencialidad de Las Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires se indica en otra contribución, en esta misma edición.

**Tabella 1**  
**PRODUCCIÓN 2006**

PRODUCTO	GRANITO	MÁRMOL	TRAVERTINO
Bloque	XXX	XXX	XXX
Plancha	XXX	XXX	XXX
Baldosa	XXX	XXX	XXX
Escultura	XX	XXX	X
Piezas moldeadas	XXX	XXX	X

XXX Alta      XX Media      X Baja

## 2. SIERRAS PAMPEANAS

Sono divise attualmente in due unità di caratteristiche differenti, la Sierra Pampeanas Orientale e quella Occidentale. Noi faremo riferimento brevemente al basamento delle Sierra Orientale, in ragione del fatto che essa copre la provincia di Cordoba e gran parte della provincia di San Luis, le quali costituiscono le regioni di maggior produzione e potenzialità per le rocce ornamentali. Il basamento della Sierra Orientale corrisponde ad un erogeno generato durante il Proterozoico con una collisione prossima al limite Precambrico-Cambrico, che corrisponderebbe al magmatismo e metamorfismo di questa età (Ramos, 1999). In questa unità sono incluse la Sierra de Cordoba Nord, la Sierra Grande e Chica di Cordoba e la Sierra di Comechingones. Esse sono caratterizzate da metamorfismi proterozoici, in cui si piazzano dei granitoidi alcalini associati alla subduzione e che corrisponderebbero ad un arco magmatico dell'età proterozoica. I graniti post collisionali sono attribuiti ad un'età cambrica. In successione ha la batolite di Achala, assegnata da diversi autori ad una età compresa fra il silurico e il carbonifero

## 2. SIERRAS PAMPEANAS

Se dividen attualmente en dos unidades de características diferentes, las sierras Pampeanas Orientales y las Occidentales. Nos referiremos brevemente al basamento de las sierras citadas en primer término, en razón que la misma cubre a la provincia de Córdoba y gran parte de la provincia de San Luis, que constituyen las regiones de mayor producción y potencialidad de rocas ornamentales. El basamento de las sierras Orientales corresponde a un erógeno generado durante el Proterozoico, con una colisión próxima al límite Precámbrico-Cámbrico, que correspondería al magmatismo y metamorfismo de esa edad (Ramos 1999). En esta unidad se incluyen las Sierras de Córdoba Norte, la Sierra Grande y Chica de Córdoba y la Sierra de Comechingones. Están caracterizadas por metamorfitas proterozoicas, en donde se emplazan granitoides alcalinos asociados a subducción y que corresponderían a un arco magmático de edad proterozoica. Los granitos postcolisionales se atribuyen a una edad cámbrica. En forma póstuma y postectónica se emplaza el batolito de Achala asignado por diversos autores a una edad silúrica a carbonífera inferior. Sobre

inferiore. Al di sopra di questo basamento sono poggiati i terreni del Paleozoico, Mesozoico e Terziario. Questo insieme è stato interessato da fratture longitudinali, con avanzamento dei blocchi limitato dalle faglie inverse e riattivazione geotettonica di origine compressiva.

Questa unità è formata da potenti pacchetti di rocce metamorfiche come gneiss, scisti, anfiboliti, calcolomie, etc., con partecipazione di corpi ultrabasici trasformati, in alcuni punti, in serpentina e da rocce dioritiche, granitiche e in seguito si hanno dei grandi corpi di dimensioni batolitiche che occupano, nella Sierra di Cordoba e in quella di San Luis, approssimativamente il 25% della superficie.

## **2.1 Marmo**

Cordoba costituisce la provincia che storicamente occupa il primo posto nella produzione di marmo del paese, con un apporto dell'ordine dell'80% della produzione nazionale. L'approvvigionamento di calcare e dolomie (marmi) che, come grandi corpi, si distribuiscono in tre ampi cordoni con una estensione di circa 300 km in direzione nord-sud, con contenuto variabile in carbonato di calcio e di magnesio.

dicho basamento se apoyan terrenos del Paleozoico, Mesozoico y Terciario. El conjunto ha sido afectado por fracturas longitudinales, con ascensos de bloques limitadas por fallas inversas y reactivaciones geotectónicas de origen compresivo.

Esta unidad está representada por potentes paquetes de rocas metamórficas como gneises, esquistos, anfibolitas, calizas-dolomías, etc., con participación de cuerpos ultrabásicos transformados en algunos sectores en serpentina, y por rocas dioríticas, graníticas y su séquito que se presentan en grandes cuerpos de dimensiones batolíticas, que para las Sierras de Córdoba y San Luis ocupan aproximadamente el 25% de su superficie.

## **2.1 Mármol**

Córdoba constituye la provincia que históricamente ocupa el primer término en cuanto a la producción de mármoles del país, con un aporte del orden del 80% del producido nacional. El aprovechamiento de calizas y dolomías (mármoles) que, como grandes cuerpos, se distribuyen en tres amplios cordones, en una extensión de unos 300 kilómetros en sentido norte-sur, con variado contenido en carbonato de

I giacimenti formano strati i banchi piano-paralleli, ben divisi, lenticolari, in qualche caso piano convessi e piano concavi, intercalati con gli scisti anfibolici e con altre rocce metamorfiche, di un variato insieme, di lunghezza dalla decina al centinaio di metri e fino a mille metri, e potenze fino a 300 metri. Essi hanno una direzione prevalente nord-sud con inclinazione verso est e ovest, a grande raggio; meno frequenti sono quelli che hanno una direzione sud-est e nord-est.

Per quel che riguarda la composizione mineralogica, a parte la partecipazione essenziale della calcite e della dolomite, ne fanno parte, come minerali accessori: diopsido, forsterita, serpentina, grosularia, wollastonita, tremolita, actinolita, hornblenda, quarzo, flogopita, talco e espinelo, fra gli altri. Il marmo ha una struttura compatta, massiva, con tessitura granulare e pezzi piccoli, medi e grandi con zone granoblastiche e saccaroidi. Raramente si osservano breccie. Certi marmi hanno una struttura con inclusioni di minerali accessori nei carbonati, che conferiscono ad essi diverse colorazioni. Quando abbiamo un colore bianco, si ha predominanza di quarzo e calcite; quando va dal grigio al

calcio y carbonato de magnesio.

Los yacimientos conforman capas o bancos plano –paralelos, bien demarcados, lenticulares, en algunos casos plano convexo y plano cóncavos, intercalados en esquistos anfibólicos y otras rocas metamórficas, de muy variados tamaños, con longitudes de decenas a centenas y hasta miles de metros y potencias de hasta 300 metros. Mantienen un rumbo norte-sur con inclinaciones hacia el este y oeste, de gran radio; menos frecuentes son los que registran dirección sureste y noreste.

En su composición mineralogica, aparte de la participación esencial de calcita y dolomita, toman parte como minerales accesorios: diópsido, forsterita; serpentina, grosularia, wollastonita, tremolita, actinolita, hornblenda, cuarzo, flogopita, talco y espinelo, entre otros. El mármol mantiene una estructura compacta, masiva, con textura granular, e individuos finos, mediano a grandes con transiciones a granoblástica y sacaróide. Raramente se los observa brechados. Ciertos mármoles registran estructura listada por inclusiones de minerales accesorios en los carbonatos, que además le otorgan



nero si ha la presenza di grafite o eventualmente di biotite; i rosati hanno minerali ferrosi; i verdi epidoto, granato e serpentina.

Per quel che concerne la frequenza di colorazione, si ha al primo posto il bianco, con circa il 30% dei volumi identificati (conosciuto nel mercato come bianco neve, marfilino, punilla, mar, serrano, tra gli altri), poi il marmo grigio (punilla, nube, platino, tra i più diffusi), le varietà di marmo verde (limone, nilo, cipollino) e il rosato (salmone, centenario e venato). In minor proporzione si registra una varietà di marmo con tonalità azzurre.

In generale questi marmi sono poco porosi e relativamente duri per la presenza di quarzo e silicati. Sono resistenti alle intemperie e presentano una buona lucidità in lastra. I blocchi prodotti hanno un volume che varia tra i 4 e gli 8 metri cubi.

## 2.2 Graniti

Le rocce granitiche che si coltivano nella Sierra Pampeanas (San Luis e Córdoba) includono le rocce ignee plutoniche a composizione granitica e dioritica e anche quelli commercialmente chiamati “graniti neri”, i quali petrograficamente corrispondono a rocce gabriche.

diversas coloraciones al material. Los de color blanco obedecen al predominio de calcita y cuarzo, los grises a negro a la presencia de grafito y eventualmente a biotita, los rosados a minerales ferruginosos, los verdes a epidoto, granate y serpentina.

En lo que respecta a la frecuencia de coloración, se registra el blanco en primer lugar, con aproximadamente el 30% del volumen identificado (conocidos en el mercado como blanco niveo, marfilino, punilla, mar, serrano, entre otros), le sigue el mármol gris (punilla, nube, platino, entre los más frecuente), las variedades del mármol verde (limón, nilo, cipollino, etc.) y el rosado (salmón, centenario y veteado). En menor proporción se registra una variedad de mármol con tonalidad azul.

En general, estos mármoles son poco porosos y relativamente duros por la presencia de cuarzo y silicatos. Son resistentes a la intemperie y presentan buen lustre en el pulido de las chapas. Los bloques que se producen varían normalmente entre 4 a 8 m<sup>3</sup>.

## 2.2 Granitos.

Las rocas graníticas que se explotan en las Sierras Pampeanas (San Luis y Córdoba) incluyen rocas ígneas plutónicas de

Nell'ambito della provincia di San Luis, nelle vicinanze di Potrerillos, nel batolite conosciuto come Las Chacras Cerro Colorado si coltivano da diverse decadi tre tipi di granito noti nel mercato come "Rosso Dragone", "Rosa del Salto" e "Grigio Perla". Questo distretto ha una massiccia produzione di blocchi, la quale supera le estrazioni della provincia di Cordoba. La roccia citata per prima è quella che genera il maggior volume di produzione in virtù della sua ampia accettazione nel mercato interno e esterno; essa ha un colore rosato intenso, dovuto alla grande presenza di feldspato potassico. Si tratta di un granito calco-alcalino costituito prevalentemente da quarzo e microclino e, in minor quantità, da ortosa e plagioclasio acido. Contiene biotite e muscovite, qualche magnetite e raramente tormalina. Nella sua tessitura porfirica si individuano grani di microclino e ortosa di raggio 1,5 cm.

Il granito noto come "Rosa del Salto" è caratterizzato da una tessitura grano-porfirica data la presenza di grandi cristalli di microclino rosato con raggio 5 cm, inseriti in una massa grigiastra formata da quarzo e da individui ben sviluppati e abbondanti lamine di biotite. Il quarzo di solito ospita

composizione granitica a dioritica y también a los comercialmente llamados "granitos negros" que petrográficamente corresponden a rocas gábricas.

En ámbito de la provincia de San Luis, en las inmediaciones de Potrerillos, en el batolito conocido como Las Chacras-Cerro Colorado, se explotan desde hace varias décadas, tres tipos de granitos conocidos en el mercado como "Rojo Dragón", Rosa del Salto" y "Gris Perla". Es el distrito que mantiene una sostenida producción de bloques que supera a las extracciones de la provincia de Córdoba. La roca citada en primer término es la que alcanza mayor volumen de producción en virtud de su amplia aceptación en el mercado interno y externo, acusa un color rosado intenso debido a la gran participación de feldespato potásico. Se trata de un granito calcoalcalino constituido predominantemente por cuarzo y microclino, en menor proporción ortosa y plagioclase ácida. Contiene biotita y moscovita, escasa magnetita y raramente tormalina. En su textura porfídica se destacan individuos de microclino y ortosa de hasta 1,5 cm. El granito conocido como "Rosa del Salto" se

inclusioni di rutilo e apatite. La varietà commercializzata come “Grigio Perla” presenta caratteristiche simili a quelle indicate per la “Rosa del Salto”, solo che i minerali di feldspato hanno una colorazione dal bianco al grigio chiaro (tabella II).

Nella provincia di Córdoba, la produzione di blocchi di roccia granitica è inferiore a quella che si ha nella provincia di San Luis, senza embargo la coltivazione di queste rocce ignee come il granito triturato, utilizzato come inerte, raggiunge alti livelli produttivi. Le rocce ignee che di solito vengono sfruttate come materiali ornamentali hanno varietà conosciute come “Granito Nero” e anche “Granito Champaquí”, di color grigio scuro, di tessitura olocristallina, con grani da medi a piccoli, compatta e massiccia. Si tratta di una gabbro noritico-biotitico, in parte biotitico-orblendifero. Queste rocce basiche formano dei corpi lenticolari, allineati, di circa 150 m di potenza, disposti in maniera concordante con la struttura delle rocce metamorfiche incassanti.

In altri settori delle sierre si trovano rocce a composizione granodioritica, con tessitura grano-epidioritica, oltre che rocce granitiche grigie che hanno diversi nomi a seconda della

caratterizza per la sua texture granulosa-porfirica data la presenza di grandi cristalli di microclino rosato di un sviluppo di fino a 5 cm., inserti in una massa grigia costituita da quarzo in individui ben sviluppati e abbondanti lamine di biotite. Il quarzo solitamente porta inclusioni di rutilo e apatite. La varietà commercializzata come “Gris Perla” presenta caratteristiche simili a quelle indicate per la “Rosa del Salto”, solo che gli individui di feldspato registrano una colorazione bianca a grigio chiaro (Tabla II).

En la provincia de Córdoba, la producción de bloques de rocas graníticas es inferior a lo que ocurre en la provincia de San Luis, sin embargo el aprovechamiento de estas rocas ígneas como granito triturado, utilizados como áridos, alcanza altos niveles de producción. Las rocas ígneas que suelen ser explotadas como materiales ornamentales registran variedades conocidas como “Granito Negro” y también “Granito Champaquí”; de color gris oscuro, de texturas holocristalina, de grano mediano a fino, compacta y maciza. Se trata de un gabbro norítico-biotítico, en partes biotítico-horblendífero. Estas rocas básicas conforman cuerpos lenticulares, alineados, de hasta 150

Color	Densidad Kg/m3	Absorción %	Porosidad %	Resistencia a la compresión Mpa	Resistencia a la flexión Mpa	Desgaste por abrasión mmx100m	Variedades comerciales
Gris claro	2680-2710	0,10-0,12	0,21-0,26	133-152	13-14	0,76-0,85	Gris Mara Gris Perla San Felipe San Marcos
Gris oscuro/ Negro	2680-2800	0,09-0,20	0,18-0,24	140-170	10-16	0,50-0,60	Gris Plata Ematita Malambo Orcoyana
Rosados/ Rojos	2620-2680	0,09-0,20	0,15-0,43	120-155	8-10	0,58-0,70	Rosa del Salto Liláceo Rosa Mara Rojomar Rojo Principe Rojo Dragón
Beige/ Marrones	2610-2650	0,08-0,21	0,18-0,40	100-140	9-11	0,63-0,70	M. Perlado Orcollano Beige Puma Beige Irina

Propiedades físico mecánicas de los granitos agrupados por color de las provincias de Córdoba y San Luis

#### **Tabella II.**

zona a cui appartengono.

In un paio di cantieri localizzati nella cittadina di Orcoyama, nelle cave denominate Negro e Taiman, distanti circa 185 km a NNO della città di Córdoba, vengono coltivate le rocce cordieritiche. Si tratta di rocce nella cui composizione si registra un'alta percentuale di cordierite e biotite e come componenti minori quarzo, sillimanite, apatite e tormalina. Essa è conosciuta petrograficamente come cordierite. Il materiale offre diverse varietà per la loro colorazione, quali: grigio-verde a grana medio-fine, grigio scuro per la gran quantità di biotite e altre varietà conosciute come

metros de potencia, dispuestos concordantemente en la estructura de las metamorfitas encajantes.

En otros sectores de las sierras se aprovechan rocas de composición granodiorítica, de textura granuda hipidiomorfica, además de rocas graníticas grises que reciben distintos nombres con referencia a las localidades que pertenecen. En un par de canteras localizadas en la localidad de Orcoyama, en los cerros denominados Negro y Taiman, distantes unos 185 kilómetros al NNO de la ciudad de Córdoba, se ha explotado rocas cordieríticas. Se trata de una roca en cuya composición intervienen altos porcentajes de cordierita y biotita y como componentes

“Negra Noche Buena » (nero a macchie bianche dovute alla presenza di quarzo e plagioclasti) e “Verde Smeraldo” (tonalità dovuta alla clorite). Queste rocce sono caratterizzate da un’elevata durezza (maggiore del quarzo), da una straordinaria tenacità e da una buona brillantezza, con riflessi violacei. I blocchi sono di dimensioni modeste ( 3-4 metri cubi). La loro elevata durezza implica un maggior costo nella coltivazione e nella lavorazione delle lastre. Nonostante ciò, date le caratteristiche del materiale per quel che riguarda il colore, la tessitura e la brillantezza, esso costituisce una roccia di interesse ornamentale.

### **3. PRECORDIGLIERA**

La regione precordigliera centrale, che include la zona dei marmi (calcari e dolomie) della provincia di San Juan, è formata da rocce carbonatiche di un piattaforma dell’età ordovicica inferiore, ad eccezione di alcuni depositi calcarei cambrici, pochi depositi maggiormente pelitici del silurico e arenarie che si appoggiano in discordanza sulle precedenti. L’insieme, a grandi linee, è piegato secondo anticlinali e sinclinali, in parte parzialmente sottoposte ad erosione che le mette in contatto con le rocce più antiche.

menores cuarzo, sillimanita, apatita y turmalina. Se la conoce petrográficamente como cordierita. El material ofrece diferentes variedades por su coloración, tales como: gris verdoso, de grano mediano a fino, gris oscuro debido a la mayor proporción de biotita y otras variedades conocidas como “Negra Noche Buena”, esto es negra con manchas blancas, por la participación de cuarzo y plagioclasa y “ Verde Esmeralda”, tonalidad debida a la presencia de clorita. Se trata de una roca de alta dureza (mayor que el cuarzo), de extraordinaria tenacidad y buen pulimento, con reflejos azul violáceos. Los bloques registran tamaños modestos (de 3-4 m3). Su alta dureza implica mayores costos en la explotación y en la elaboración de chapas. No obstante dada las características del material, en cuanto a color, textura y pulido, constituye una roca de interés ornamental.

### **3. PRECORDILLERA**

La región precordillerana central que incluye a la zona de mármoles (calizas y dolomías) en la provincia de San Juan, está conformada por rocas carbonáticas de plataforma de edad ordovícica inferior. con excepción de algunos depósitos calcáreos cámbricos.

### 3.1 Calcari e dolomie

I calcari ordovicici appaiono in potenti banchi, con diaclasi che presentano giunti di solito orizzontali e verticali, separati tra loro, che permettono l'estrazione di blocchi medio-grandi. I corpi calcarei e dolomitici si distribuiscono su una larghezza di decine di km, su cui si trovano, oltre che dei cantieri di estrazione dei blocchi, anche delle zone per la lavorazione della calce, del cemento e per altri usi.

Il materiale è un calcare compatto, a grana fine, a frattura sub-conoidale e di colore dal grigio scuro al grigio biancastro, con differenti tonalità che vanno dal rosato al giallo. Nell'insieme si nota l'esistenza di piccole guide o fili di calcite che l'attraversano in diverse direzioni, di colore bianco, rossiccio, grigio e nero, come una trama che dona al materiale, una volta lucidato, una singolare bellezza, che dona ad esso il nome di marmo tipo "pasta di ragno". In accordo con la colorazione e con il tono che ha il calcare, nel mercato esso viene commercializzato nelle varietà "Bianco", "Marroqui", "Lunel Bussi", "Lunel Rosato", "Rosso Verona", "Rosa Andino" (tabella III).

Il materiale dolomitico che si coltiva di

delgados depósitos mayormente pelíticos del silurico y areniscas devónicas de ambiente somero que se apoyan en discordancia sobre las anteriores. El conjunto, a grandes rasgos, se encuentra plegado con anticlinales y sinclinales fallados, en parte parcialmente decapitados por fenómenos erosivos poniendo así en contacto las rocas de mayor antigüedad.

### 3.1 Caliza y Dolomía

Las calizas ordovícicas asoman en potentes banco masivos, con diaclasas que presentan juegos comúnmente horizontales y verticales, separados entre si, que permiten la extracción de bloques medianos y grandes. Los cuerpos calcáreos y dolomíticos se emplazan a lo largo de varias decenas de kilómetros, donde se localizan, además de las canteras para la extracción de bloques, las explotaciones para la elaboración de cal, cemento y para otros usos.

El material es una caliza compacta, de grano fino, de fractura subconcooidal y de color gris oscuro a gris blanquecino, con diferentes tonalidades que van del rosado hasta el amarillo. En su masa se destaca la existencia de finas guías o hilos de calcita que la atraviesan en distintas direcciones, de coloraciones blancas, rojizas, grises y

PROPIEDADES	MÁRMOL	DOLOMITA	TRAVERTINO
Densidad Kg/m <sup>3</sup>	2670 - 2800	2630 - 2650	2390 - 2430
Absorción de agua %	0,06 - 0,20	0,80 - 1,18	1,72 - 1,84
Porosidad %	0,10 - 1,80	1,30 - 1,80	2,70 - 3,10
Resistencia a la compresión Mpa	95 - 120	117 - 138	48 - 56
Resistencia a la flexión Mpa	7 - 24	9 - 12	12 - 14
Desgaste por abrasión mm x 1000 m	2,3 - 6,5	4,8 - 5,2	1,70 - 2,90

**Tabella III (Castro e al. 2005)**

solito è di colore grigio chiaro, con bande scure, cristallino, a grana medio-fine. Si dispone in banchi potenti, preferibilmente in direzione est-ovest. Questa varietà è chiamata “chipollino” sul mercato. Inoltre esiste anche un materiale giallastro bianco che è conosciuto come “Chiampo”.

### 3.2 Travertino

Ad est della porzione medio-australe del cordone calcareo-dolomitico della Sierra di Villicum, nella Precordiglieria, si inizia la coltivazione, con varie intensità, del travertino in blocchi. Il materiale calcareo occupa nell'insieme un'area di vari km<sup>2</sup>, si dispone in due filoni orientati NE-SO, separati nel senso est-ovest da circa 4 km. Lo spessore del manto calcareo varia tra pochi metri fino a 20 m, con una posizione suborizzontale. L'origine di questo deposito di carbonato di calcio è legata alla dissoluzione del calcare ordovicico ad azione delle acque termali bicarbonatiche, in un ambiente lagunare

negras, como un entramado que otorga al material, cuando es pulido, de una singular belleza, conocido por ello como mármol tipo “pata de araña”. Acorde con la coloración y tono que ofrece la caliza en el mercado se la comercializa en las variedades “Blanco”, “Marroquí”, “Lunel Bussi”, “Lunel Rosado”, “Rojo Verona”, “Rosa Andino”, entre otras variedades (Tabla III).

El material dolomítico que se suele explotar, es de color gris claro, con bandas o guías oscuras, cristalino, de grano mediano a fino. Se dispone en potentes bancos, preferentemente en dirección este-oeste. Esta variedad se denomina en el mercado como “Chipollino”. También se presenta un material amarillento blanquecino que se conoce como “Chiampo”.

### 3.2 Travertino

Al este de la porción media austral del cordón calcáreo-dolomítico de las Sierras de Villicum, en ámbito de la Precordillera, se viene explotando con variada intensidad travertino en

avvenuta nel Pleistocene.

Il materiale presenta una tessitura marcatamente porosa fino ad alveolare con cavità intercomunicanti. Presenta un'ampia varietà di colore e tessitura. Le varietà dominanti sono conosciute come "Bianco", "Roble", "Scuro" e "Giallo".

#### 4. CONCLUSIONE

La diversità geologica dell'Argentina permette di localizzare e caratterizzare numerose varietà di rocce ornamentali, molte delle quali ancora non sfruttate o con scarso sviluppo produttivo. Nella breve sintesi presentata in questo contributo sulla Sierra Pampeanas di Cordoba e San Luis, e sulla Precordigliera di San Juan, si sottolinea che nella linea minero-industriale legata alle rocce ornamentali, in un contesto economico favorevole, raggiungerà in futuro un grande sviluppo.

Le riserve stimate delle risorse, che si distribuiscono nel contesto delle diverse unità geologiche del paese, sono considerevoli per quel che concerne il granito. Minore è in generale il volume delle rocce basiche (gabbri). Le riserve di marmo sono significative, considerando i calcari sedimentari e quelli cristallini, nei loro diversi tipi, esistendo stime che, nell'insieme,

conocen como "Blanco", "Roble" y "Oscuro" y "Amarillo"

#### 4. CONCLUSIONES

La diversidad geológica de Argentina permite localizar y caracterizar numerosas variedades de rocas ornamentales, muchas de ellas aún no explotadas o con escaso avance de producción. En la breve síntesis presentada en esta contribución sobre las Sierras Pampeanas, de Córdoba y San Luis, y de la Precordillera de San Juan, se destaca que el renglón minero-industrial referido a las rocas ornamentales, en un contexto económico favorable, debería alcanzar en el futuro un alto desarrollo.

Las reservas estimadas de los recursos que se distribuyen en el contexto de las distintas unidades geológicas del país, son considerables en cuanto a variedades de granitos. Menor es en general el volumen de rocas básicas (gabbri). Las reservas de mármol son significativas, considerando las calizas sedimentarias y las calizas cristalinas, en sus distintos tipos, existiendo apreciaciones que suman, en conjunto, más de doscientos millones de toneladas. De proporciones menores son las concentraciones carbonáticas de travertino, ónix y aragonita.



contano più di 200 milioni di tonnellate. Di proporzioni minori sono le concentrazioni carbonatiche di travertino, onice e aragonite.

En cuanto al rubro lasjas es de destacar cuantiosos recursos especialmente los que se encuentran en el Macizo Nordpatagónico, en los complejos volcánicos Los Menucos y Marífil (Río Negro y Chubut, respectivamente) y en los que se emplazan en la Formación Chon Aike, en el Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz.

## 5. BIBLIOGRAFIA– BIBLIOGRÀFIA

ANGELELLI, V., SCHALAMUK, I., y FERNANDEZ, R. (1980) **Los Yacimientos Minerales No Metalíferos y Rocas de Aplicación de la región Centro-Cuyo**. Ministerio de economía. Anales XIX, Buenos Aires.

CASTRO, G., CANO, E., MATAR, M., PERUCA, J., e SIMAN, G., (2005) **El sector de la piedra natural en San Juan-Argentina**. Universidad de San Juan- Facultad de Ingeniería.

Estadística Minera de la República Argentina. Ministerio de Economía. Varios años, Buenos aires.

GAMKOSIAN, A., DI FINI, A., e BIANUCCI, A., (1978). **Los yacimientos de mármoles calcáreos de la provincia de Córdoba**. Inf. Inédito. Secretaría de Minería de la provincia de Córdoba.

PONCE, B. (2008) **Análisis del sector de la roca ornamental en Argentina**. Congreso Argentino de Áridos. Tomo I: 561-571. Mar del Plata.

RAMOS, V. (1999) **Las provincias Geológicas del Territorio Argentino**. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Anales 29 (3): 41-96. Buenos Aires.

SCHALAMUK, I., FERNANDEZ, R., e ETCHEVERRY, R.. (1983) **Los Yacimientos No Metalíferos y Rocas de Aplicación de la región NOA**. Ministerio de Economía. Anales XX. Buenos Aires.

