

USO ORNAMENTALE DEI BASALTI DELLA PROVINCIA DI MISIONES, ARGENTINA. CARATTERIZZAZIONE DI BASE E ANALISI TECNOLOGICHE

ORNAMENTAL BASALTS FROM THE PROVINCE OF MISIONES, ARGENTINA. BASIC CHARACTERIZATION AND TECHNOLOGICAL TESTING

Susana E. Ciccioli¹
Isidoro B. Schalamuk²

¹ Dirección Provincial de Vialidad, Francisco de Haro y Luchess, Provincia de Misiones (Arg.).
² 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 (Dominguez 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 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 poten-

1. INTRODUCTION

Within the denomination of "application rocks", ornamental rocks, construction rocks (used for construction aggregates) and industrial rocks (used to make clay and cement) are included. The "ornamental rocks" belong to the stony materials used as wall rustic covering, sculptures or artcraft (Dominguez and Ponce de Maio, 1990).

In the province of Misiones (Argentina), basalts constitute a resource of ample reserves, and they are used as application rocks, mainly in civil construction, as aggregates in the making of concrete and asphalt concretes, and to a lesser extent in paving and as wall rustic coverings.

Even if the ornamental use of these rocks is restricted, in the last years a greater tendency has been observed in its incorporation in works of architecture and decoration that seek to rescue and value the aesthetic effect of the application of local material.

Possibly due to the artcraft scale of the usual ornaments, no previous technological testing is known oriented to the evaluation of the potential development of this resource within the ornamental field.

This contribution shows the re-

ziale 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 Área 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 Cretaceo inferiore a partire da un episodio vulcanico di allargamento, la cui occorrenza si associa alla separazione del supercontinente Gondwana. Le manifestazioni di 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 $1,2 \times 10^6$ km² e abbraccia il se del Brasile, dell'Uruguay e del Paraguay e il ne dell'Argentina (Cordani e Vadoros, 1967).

La provincia di Misiones è situata nel SW della Conca del Paraná (Figura 1) e forma, insieme a Corrientes e Entre Rios, la provincia geologica argentina denominata Mesopotamia.

sults of the basic characterization and the technological testing carried out on two basalts coming from the localities of Eldorado and Oberá, Province of Misiones.

The present work is part of the doctoral thesis preparation of Susana E. Ciccioli (UNLP). It has received the support of the Project Alfa-FARO "Formação Avançada no sector das Rochas Ornamentais e do geoprocesamiento", which enabled exchange activities in the Departamento de Ingeniería Química, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali (DICMA), Università di Bologna.

2. GENERAL GEOLOGICAL FRAMEWORK

Basalt outcrops in Misiones were originated in the lower Cretaceous from a major volcanic event whose occurrence is associated with the parting of the Gondwana supercontinent. The manifestations of this continental flood volcanism, developed over several million years (134-129 Ma. Peate, 1997) and occupy the central-oriental portion of South America and North East of Namibia in Africa, making up a great igneous province called Paraná-Etendeka (Peate, 1997). The South American portion of this province is known as the Paraná Basin, which covers at least 1.2×10^6 Km² and includes the SE of Brazil, Uruguay, the East of Paraguay and the NE of Argentina (Cordani and Vadoros, 1967).

The Province of Misiones is located in the SW of the Paraná Basin (Fig.1) and it conforms, together with Corrientes and Entre Rios, the Argentinian geological province called Mesopotamia. The rock types present in Misiones correspond to continental sandstones, effusive basic rocks, laterite (alteration clays of

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 tholeitici.

basalts) and ancient and recent alluvial sediments (CARTA, 1964). The continental sandstones and effusive basics (basalts) were denominated Curuzú Cuatiá Formation, by Gentili and Rimoldi (1979), and they are made up of two members: Posadas, of magmatic natures (basalts) and Solari, of clastic nature (sandstones), interstratified with the first. The basalts of the Posadas member also known as the Serra Geral Formation in Brazil; Alto Paraná Formation in Paraguay; and Arapey Formation in Uruguay were classified by Teruggi (1955), as tholeiitic basalts.

The deposit of these basalts was produced through various effusive pulses that originated numerous

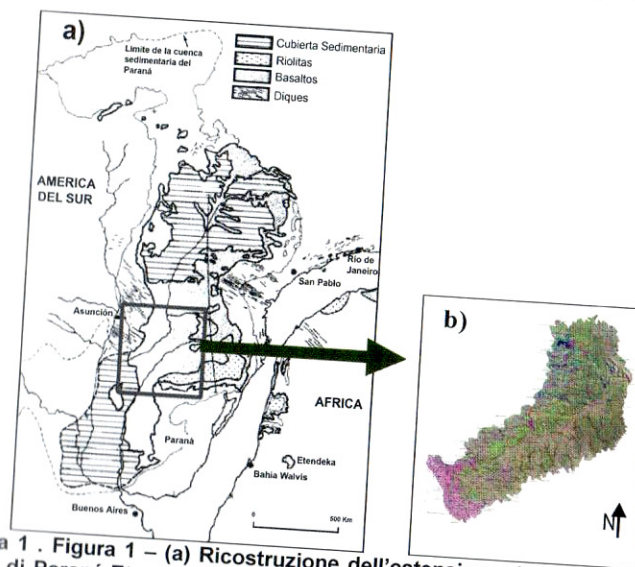


Figura 1. Figura 1 - (a) Ricostruzione dell'estensione del magnetismo della provincia ignea di Paraná-Etendeka (adattata da Peate, 1997). Il quadrato ingloba la provincia di Misiones nel bacino del Paraná; (b) Mappa della provincia di Misiones (adattata da Ciccioli et al., 2005) - (a) Reconstruction of the extension of magnetism into the igneous province of Paraná-Etendeka (adapted from Peate, 1997). The square includes the province of Misiones in the Paraná basin. (b) Map of the province of Misiones (adapted from Ciccioli et al., 2005).

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 residuali 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.

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 della 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 e 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 della Dirección Provincial de Vialidad (Misiones), secondo le norme IRAM 1525 e IRAM 1519.

lava flows of subhorizontal disposition that occupy more than two thirds of the surface of the province (CARTA, 1964). Superposed to the Posadas member, there are clayed silt deposits known as "laterites" or "red soil", alluvial deposits and recent sediments. The first have a dominant superficial distribution whereas the second are limited to water courses.

3. MATERIALS AND METHODS

Two samples of basalts coming from the localities of Eldorado and Oberá were used. The basic characterization of these rocks was carried out by the habitual methods of interpretation of petrographic thin sections, X-Ray Diffraction (XRD), chemical analysis (major elements) and geochemical classification.

The technological characterization of both samples included physical, mechanical and alterability tests carried out in the Centro de Investigación en Geología Aplicada (CIGA) belonging to SEGEMAR (Geological and Mining Service of Argentina). The tests of compressive strength and flexural strength were carried out according to norms ASTM C170-94 and ASTM C880/85 respectively; the abrasion test was made using the Dorry Abrasion Tester with a track distance of 1,000 mts. To determine the resistance to chemical agents the IRAM 11836 norm, was taken as a reference not counting with a specific procedure for rocks. The sodium sulphate and ethylene glycol attack tests were carried out at the Laboratorio de Investigaciones Viales y Ensayos Tecnológicos de la Dirección Provincial de Vialidad (Misiones), according to norms IRAM 1525 and IRAM 1519 respectively.



Figura 2. Mappa della Provincia di Misiones (Arg.) con indicazione delle località di provenienza dei pezzi studiati - Map of the Province of Misiones - indicating the localities of procedence of the studied samples.

4. RISULTATI

4.1 Petrografia e geochimica

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 (labradorite) e pirosseni (augite) con ossidi di ferro (magnetite) e ilmenite come minerale accessorio. Va sottolineata l'assenza del vetro e lo scarso contenuto di olivina. Il basalto Oberá presenta colore grigio chiaro verdastro con vene di color marrone rossiccio, grana grossa, macrocristallina e tessitura intergranulare. La mineralogia identificata è composta da listelli di plagioclasti tra i quali si dispongono i pirosseni (augite) e i minerali opachi. È stata osservata la presenza di minerali di colore verde (distinte tonalità) disposti inter-

4. RESULTS

4.1 Petrography and geochemistry

The Eldorado basalt is a grey massive structure variety, of thin grain, microcrystalline and of an intergranular texture. The known mineralogical composition of an aggregate of plagioclase (labradorite) and clinopyroxene (augite) with iron oxides (magnetite) and ilmenite as accessory minerals. It is important to underline the absence of glass and the scarce content of olivine. The Oberá basalt is light grey greenish with light reddish veins; coarse grain, macrocrystalline and intergranular texture. The mineralogical composition identified is made up of plagioclase boards interfaced with clinopyroxene (augite) and opaque minerals. The presence of green minerals was observed (dif-

granularmente 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 tholeiitico.

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 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.

| FUNZIONE DI RIVESTIMENTO | PAVIMENTI | | PARETI | | FACCIATE | | PIANI |
|---------------------------|-----------|------|--------|------|----------|--|-------|
| | Ext. | In t | Ext. | In t | | | |
| TIPO DI ROCCIA | X | X | X | X | X | | X |
| ASSORBIMENTO | X | X | X | X | X | | X |
| RESISTENZA ALL'ABRASIONE | X | X | | | | | |
| RESISTENZA A FLESSIONE | X | X | | | X | | X |
| RESISTENZA A COMPRESSIONE | X | | X | X | X | | |
| DILATAZIONE TERMICA | X | X | X | X | X | | |
| RIFINITURA SUPERFICIALE | X | X | | | X | | |
| ALTERABILITA' | X | X | | | X | | X |

Tabella 1-Analisi prioritarie conformemente all'utilizzo delle rocce - Main tests according to the rock uses

ferent colour degrees) intergranularly disposed in spaces with irregular shapes, many times with a fiber-like or scale-like aspect. The chemical analysis carried out (major elements) corroborated the classification of these subalcaline rocks as basalts of the tholeiitic type.

4.2 Technological testings

The ornamental use demands the materials to possess certain technical characteristics to allow their application and durability.

The necessary tests to evaluate the ornamental aptitudes of a rock are defined according to the pretended use. Chart 1 shows the tests considered a priority in relation to the different use possibilities according to Frascá, M.H.B.O., 2002.

| TIPO DI CAMPIONE | BASALTO ELDORADO | BASALTO OBERÁ |
|---|---|---|
| PROPRIETA' FÍSICHE | | |
| DENSITA' RELATIVA gr./cm ³ | 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 FLESSIÓNE (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 - results of the technological tests corresponding to the studied basalts.

A fini comparativi vengono mostrati nella tabella 3 i valori ottenuti e quelli corrispondenti a due varietà commerciali di rocce vulcaniche simili 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 (grez-

For comparison purposes, chart 3 shows the values obtained and the corresponding ones to two commercial varieties of volcanic rock of similar aesthetic characteristics to the studied rocks. The Porfido Colum is an Argentinian basandesite of porfiroic texture and grey colour. The Basaltina is a lavic rock, also grey, of Italian origin, widely used in the construction of roads and coverings; with different surface finishings (rustic, po-

za, pulita con e senza lucidatura; fiammata, con caratteristiche estetiche simili

(alla sabbia, etc.).

Per conoscere l'apparenza delle rocce pulite sono state realizzate prove che hanno rivelato i colori e le tessiture mostrate in Figura 4.

lished with or without gloss; flamed, sanded, etc.)

Tests were made to know the appearance of polished rocks and they revealed the colours and textures shown in Fig. 4

| TIPO DI CAMPIONE | BASALTO ELDORADO | BASALTO OBERÁ | PORFIDO COLUM | BASALTINA |
|---------------------------------------|------------------|---------------|---------------|-----------|
| DENSITA' RELATIVA gr./cm ³ | 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 COMPRESIÓN (MPa) | 151,98 | 91,75 | 98,8 | 82,45 |
| RESISTENZA A FLESIÓN (MPa) | 26,24 | 13,04 | 8,9 | 13,8 |
| RESISTENZA ALL'ABRASIÓN (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. - Values of the physical-mechanical test of the studied samples and of two commercial varieties of ornamental lavic rocks. The values of the commercial varieties were taken from INTEMIN-SEGEMAR, 2000, Ornamental Rocks of Argentina 2000 and the commercial catalogue of BASALTINA S.r.l.

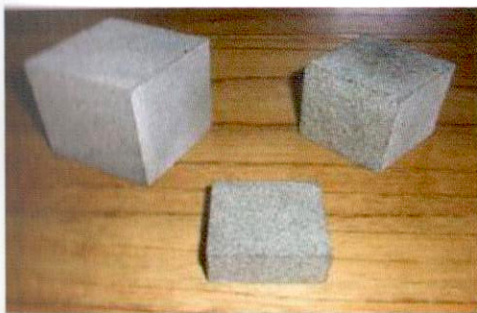


Figura 3- Provini di basalto Oberá - Test Samples of the Oberá Basalts

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 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 simili, 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.

5. FINAL CONSIDERATIONS

There are various factors to consider in order to evaluate the possibilities of the ornamental use of a rock.

Some of them correspond to the innate nature of the materials (petrography, physical properties, mechanical behavior, durability, etc.). Whereas others correspond to the product exploitation and commercialization and they require factors such as the extraction possibilities (shape, dimension of the blocks that can be obtained, environmental feasibility of exploitation; technology and methods of exploitation; infrastructure, etc.) and mainly the aesthetic value made of the material given its ornamental function.

The level of characterization reached in this work allowed to establish that both samples analyzed have similar chemical and mineral composition but they differ in their textural characteristics (grain size). The results obtained through the tests carried out, even if punctual, indicate acceptable physical-mechanical aptitudes and favorable aesthetic qualities. The basic technological characteristics of the basaltic rocks studied constitute the first step to further studies in order to define their possible ornamental use.

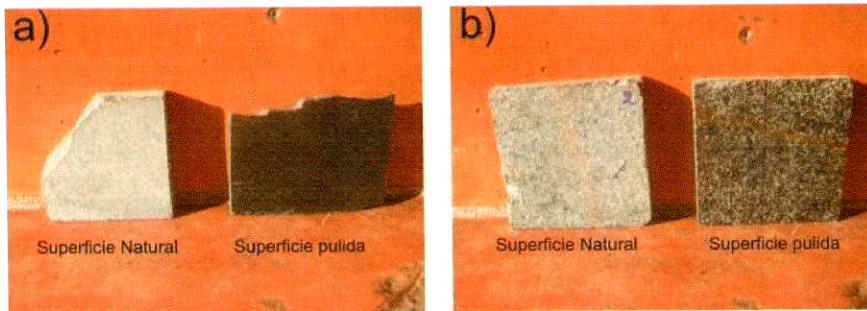


Figura 4. a) Basalto Eldorado superficie naturale e pulita. b) Basalto Oberá superficie naturale y superficie pulita - a) Eldorado Basalt, natural and polished surface. b) Oberá Basalt, natural and polished surface.

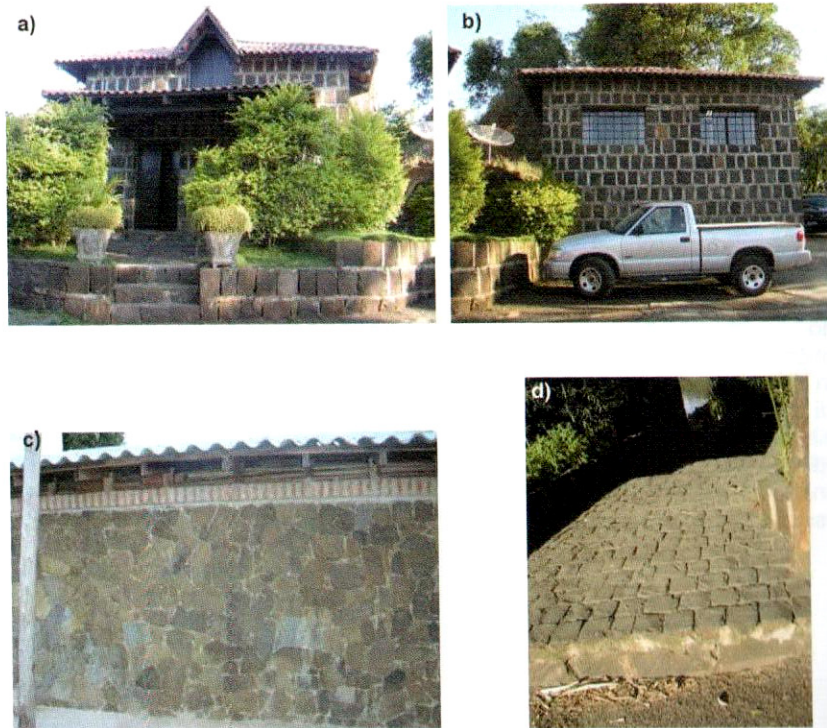


Figura 5 - Fotografie a,b,c,d. Esempi dell'uso ornamentale delle rocce basaltiche in facciate e pavimenti grezzi - Photos a, b, c and d. Examples of the ornamental use of basaltic rocks in façades and rustic paving.

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.). 16° 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**. 11° 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**. 2° Simposio Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, 1, 185-223.
- INTEMIN – SEGEMAR (2000) **Piedras ornamentales de la Argentina 2000**. atálogo 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.