1506
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI URBINO
CARLO BO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE PURE ED APPLICATE (DiSPeA)

CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA IN SCIENZE DI BASE E APPLICAZIONI

Curriculum – Scienze della Terra

XXXII CICLO - Progetto EUREKA

# RICERCA E INNOVAZIONE FINALIZZATA ALL'UTILIZZO DI "MARMI" NEL SISTEMA LEGNO PER ARREDAMENTI DI INTERNI

Settore Scientifico Disciplinare: GEO/09

RELATORE
Prof.ssa PATRIZIA SANTI

DOTTORANDO
Dott. LEONARDO CELLI

ANNO ACCADEMICO 2018/2019

## RICERCA E INNOVAZIONE FINALIZZATA ALL'UTILIZZO DI "MARMI" NEL SISTEMA LEGNO PER ARREDAMENTI DI INTERNI

**Abstract**


**1. Il Progetto Eureka: collaborazione tra Università degli Studi di Urbino Carlo Bo ed azienda S2 S.p.a.** Pag. 1

1.1 Introduzione generale: i "marmi" nel mondo commerciale Pag. 3

**2. Il ciclo produttivo dei "marmi" adottato da S2 S.p.a.: dalle fasi di acquisto alle fasi di consegna** Pag. 7

2.1 Fasi preliminari: collaudo, acquisto dei blocchi e/o lastre e lavorazioni superficiali Pag. 7

2.2 Il ciclo produttivo aziendale del "marmo": dalla sezionatura delle lastre alla consegna del prodotto finito Pag. 10

2.2.1 Sezionatura Pag. 10

2.2.2 Pantografatura ed asciugatura Pag. 12

2.2.3 Rifinitura manuale, verniciatura e consegna del prodotto finito Pag. 19

**3. Linee guida per l'acquisto di blocchi e lastre in "marmo": esempi specifici di alcuni materiali lapidei** Pag. 22

3.1 Fattori principali da considerare Pag. 22

3.2 Modalità di acquisto delle lastre e dei blocchi Pag. 24

3.3 Alcuni esempi di acquisto specifici per particolari materiali lapidei Pag. 32

3.3.1 "Calacatta Venato" Pag. 33

3.3.2 "Calacatta Vagli" Pag. 35

3.3.3 "Arabescato Vagli" Pag. 36

3.3.4 Particolari modalità di acquisto per variazioni tessiturali in una stessa lastra Pag. 37

3.3.5 "Bianco Carrara" Pag. 38

3.3.6 "Statuarietto" Pag. 40

3.3.7 "Dark Emperador" Pag. 41

3.3.8 "Nero Marquinia" Pag. 43

3.3.9 "Rosso Rubino Venato" o "Rosso Levanto" Pag. 44

3.3.10 "Verde Alpi" Pag. 45

3.3.11 "Grigio Roma" Pag. 46

3.3.12 "Portoro" Pag. 47

3.3.13 "Sahara Noir" Pag. 48
3.4 Considerazioni Pag. 48
**4. Principali caratteristiche estetiche dei materiali lapidei ornamentali** Pag. 50
4.1 Il colore di fondo Pag. 50
4.2 "Il disegno" Pag. 51
4.3 La grana Pag. 52
4.4 Difetti dei materiali lapidei Pag. 53
**5. Metodi e strumenti utilizzati per la caratterizzazione composizionale e delle proprietà fisico-meccaniche dei materiali lapidei impiegati da S2 S.p.a.** Pag. 54
5.1 Analisi composizionali: studio in sezione sottile, analisi diffrattometriche (XRD), studio al microscopio elettronico a scansione (ESEM-BSE) Pag. 54
5.2 Point Load Test o prova di punzonamento Pag. 56
5.3 Prova di resistenza alla flessione Pag. 57
**6. I "marmi" in produzione presso S2 S.p.a. suddivisi per colore come richiesto in ambito commerciale** Pag. 59
6.1 "Marmi Bianchi" Pag. 59
6.1.1 Breve Introduzione sui marmi di Carrara Pag. 59
6.1.2 Alcune varietà merceologiche di marmi arabescati proveniente dalle Alpi Apuane Pag. 65
6.1.3 "Calacatta Vagli" Pag. 71
6.1.4 "Calacatta Venato" Pag. 76
6.1.5 "Bianco Carrara" Pag. 80
6.1.6 "Statuarietto" Pag. 85
6.1.7 "Invisible Grey" Pag. 89
6.1.8 "Panda White" Pag. 93
6.2 "Marmi grigi" Pag. 97
6.2.1 "Grigio Roma" Pag. 97
6.2.2 "Calacatta Cielo" Pag. 102
6.2.3 "Grigio Carnico" Pag. 105
6.2.4 "Grigio Imperiale" Pag. 109
6.3 "Marmi rosa e rossi" Pag. 113
6.3.1 "Fior di Pesco" Pag. 113
6.3.2 "Rosso Levanto" o "Rosso Rubino Venato" Pag. 117
6.4 "Marmi Verdi" Pag. 125
6.4.1 "Verde Alpi Chiaro" Pag. 128

6.4.2 “Verde Alpi Scuro” Pag. 131
6.5 “Marmi Marroni” Pag. 135
6.5.1 “Dark Emperador” Pag. 135
6.5.2 “Light Emperador” Pag. 139
6.5.3 “Mystic Brown” Pag. 143
6.5.4 “Valentine Grey” Pag. 145
6.6 “Marmi Neri” Pag. 149
6.6.1 “Nero Marquinia” Pag. 149
6.6.2 “Sahara Noir” Pag. 153
6.6.3 “Ardesia” Pag. 161
6.6.4 “Portoro” Pag. 164
6.6.5 “Portoro Silver” Pag. 167
6.7 “Marmi Beige” Pag. 169
6.7.1 “Travertino Romano” Pag. 169
6.7.2 “Crema Marfil” Pag. 173
6.7.3 “Castagna Limestone” Pag. 176
6.7.4 “Botticino” Pag. 178
6.8 Considerazioni sulle prove fisico-meccaniche eseguite sui materiali lapidei impiegati da S2 S.p.a. Pag. 181
6.9 Correlazioni tra i caratteri tessiturali e i dati fisico-meccanici dei materiali lapidei impiegati da S2 S.p.a. Pag. 186
**7. Breve resoconto dello stage svolto all’estero: i marmi ornamentali portoghesi della regione dell’Alentejo** Pag. 189
7.1 Introduzione Pag. 189
7.2 Genesi e stratigrafia Pag. 190
7.3 Caratteristiche petrografiche, chimiche, mineralogiche e fisico-meccaniche delle principali varietà di marmi commerciali portoghesi Pag. 192
7.4 Attività estrattiva, reperibilità e disponibilità dei giacimenti Pag. 196
7.5 Considerazioni Pag. 200
**8. Studio per l’ottimizzazione degli scarti di lavorazione** Pag. 201
**9. Materiali artificiali impiegati come supporto ai piani di “marmo” o come materiale innovativo ultra alleggerito** Pag. 207
9.1 Laminam Pag. 207
9.2 High Pressure Laminate (HPL) Pag. 209
9.3 Flex Stone Pag. 211

**10.** **Considerazioni finali** Pag. 217

**Bibliografia** Pag. 220

## ABSTRACT

During the 3-year PhD program, the research dealt with the characterization and use of ornamental stones such as commercial “marbles” and relative development of innovative processes in the industry of interior design.

This doctorate, started in the framework of the EUREKA Project, partially supported by the Marche Region and carried out through a collaboration between S2 S.p.a. enterprise (Fermignano, PU) and the Dipartimento di Scienze Pure e Applicate (DISPEA) of the University of Urbino. S2 S.p.a. has been involving in the wood sector since 1973, producing a series of manufacts for the most prestigious Italian brands, in which various types of “marbles” often represent an essential material in the final product to be commercialized.

At the first stage of the project, technical sheets of the single stone material processed by the enterprise were drawn reporting (i) petrographic classification, (ii) commercial name, (iii) main physical-mechanical features, (iv) photographic documentation showing the aesthetic aspect, (v) availability and size of blocks and slabs and (vi) appropriate finishing process and precautions for each surface treatment. In addition, the principal geological areas of exploitation and the presence of similar lithotypes that could be used as alternative stone materials, were also included. These sheets represent a fundamental background for a digital archive (database) of the overall stones processed by S2 S.p.a. During the three-years program all the steps of the productive industrial cycle were checked, from the purchase of the stone material (testing) up to the delivery of the finished product.

As required by the enterprise, a “Guidelines for the selection and buying of blocks and slabs” were also performed on the basis of the experience acquired by myself during testing sessions at the quarrying sites of the different suppliers. These “Guidelines”, together with detailed reports compiled after each testing session, summarize the different purchase methods applied for each stone material. Before each testing, the technical specifications required by the different customers, such as the aesthetic features of the stone materials (i.e. background color, thickness and color of the veins), the sizes of tops (tables) achievable from the slabs and, finally, the number of slabs available in the warehouse for an efficient production planning have to be considered.

All the identification data of the purchased slabs and blocks were stored into a specific database. In this way, each slab is associated with (i) a progressive identification number (ID), (ii) type of material, (iii) processing and type of finishing, (iv) length, width and thickness, (v) date of purchase and cost. This database is a useful tool both for quantifying the products obtained (and therefore their traceability) and for calculating the waste. The percentage of waste depends to some aspects including the different modes of purchases (e.g. by measure or by weigth), the type of table (dimensions) and the appropriate choice of the slabs. In the framework of a circular economy, for each block and/or slab we are able to know the number of obtained tops (tables) and the average waste, in order to reduce disposal costs and to encourage the reuse of the waste in the field of furniture and design. The slabs, having a thickness between 2 and 4 cm, produce waste

which is not suitable (too thick) for floors and coverings and, for this reason, it has been hypothesized to be reused for other purposes.

The enterprise production cycle consists of numerous phases: sectioning slabs, pantographing tops, drying tops in a climatic chamber setted at a temperature between 28-32°C, polish table, packaging and final delivery. A monitoring activity in the phases of drying tops was carried out, concerning temperature, relative humidity and dew point, also focussing the check on the ventilation with warm air circulation. The collection of such data allowed to estimate the temperature below which the humidity of the air condenses, creating problems during the subsequent polyester painting phases. Mostly in the winter season, the climatic chamber does not respect the established temperature and humidity values (even below 25°C). In order to avoid these inconveniences, the S2 S.p.a. enterprise, is going to set a much more innovative drying system for the tops.

It is worth to note that the "marbles" slabs are involved in various industrial processing such as the adding of "marble powder" or polymers (e.g. polyester resin), whose interaction with the stone material should be monitored over time to detect the presence of possible undesirable imperfections. Investigations were therefore carried out following the national (UNI) and international (ISO) reference standards for both natural stones and the technology processing (mandatory standards for the European market, CE marking). Moreover, factors such as increase of brittleness and color variations linked to the processing techniques and to the assemblage of the manufact are often responsible for critical issues of some "marbles".

Physical-mechanical tests such as the Point Load Test and the flexural strength test, as well as the study of thin sections under the polarized light microscope were carried out. Where necessary and especially for seldom-used or newly produced materials, additional compositional analyses such as ESEM-BSE analysis and X-ray diffractometry (XRD) were performed, aimed to a more in-depth knowledge and characterization of some stone materials.

Laboratory tests and compositional analyses were performed on the following lithotypes (sorted by color as commercially requested):

- white "marbles": "Arabescato Vagli", "Calacatta Vagli", "Calacatta Venato", "Bianco Carrara", "Statuarietto", "Panda White", "Invisible Grey";
- grey "marbles": "Grigio Imperiale", "Grigio Roma", "Grigio Carnico", "Calacatta Cielo";
- black "marbles": "Nero Marquina", "Portoro Silver", "Portoro", "Sahara Noir";
- brown "marbles": "Dark Emperador", "Mystic Brown", "Valentine Grey", "Light Emperador";
- beige "marbles": "Castagna Limestone", "Botticino", "Crema Marfil", "Travertino Romano";
- red and pink "marbles": "Rosso Rubino Venato", "Fior di Pesco Carnico";
- green "marbles": "Verde Alpi", "Verde Alpi Scuro".

The thin sections study allowed to classify the stone materials according to UNI 8458/1983.

The group of commercial "marbles" includes: metamorphic marbles *stricto sensu* ("Arabescato Vagli",

“Calacatta Vagli”, “Calacatta Venato”, “Bianco Carrara”, “Statuarietto”, “Panda White”, “Grigio Roma”, “Calacatta Cielo”, “Fior di Pesco Carnico”), organogenic limestones (“Mystic Brown”, “Crema Marfil”, “Nero Marquina”), micritic limestone (“Sahara Noir”), brecciated limestones (“Valentine Grey”, ”Grigio Imperiale”, “Grigio Carnico”), brecciated dolomitic limestones (“Dark Emperador”, “Light Emperador”, “Invisible Grey”), slightly metamorphosed limestones (“Portoro”, “Portoro Silver”, “Botticino”), ophicalcites (“Verde Alpi Chiaro”, “Verde Alpi Scuro”, “Rosso Rubino Venato” or “Rosso Levanto”), travertines (“Travertino Romano”, “Castagna Limestone”).

The Cararra marbles have a typical saccharoid texture mainly composed of calcite (<90%) and minor accessory minerals (dolomite, sulphides, oxides). The limestones include brecciated texture and microcrystalline texture with veins consisting of secondary and/or accessory minerals (clay minerals, oxides, dolomite, calcite, quartz). In the ophicalcites veins are mainly present calcite and talc.

The physical-mechanical analyses showed that the “green marbles” have the highest values of Point Load Test (3525-4288 kg/cm$^2$) and flexural strength (217-292 kg/cm$^2$) than all the other investigated stone materials. The lowest values of Point Load Test were found in the “Rosso Rubino Venato” or “Rosso Levanto” (1168 kg/cm$^2$) and “Travertino Romano” (1137 kg/cm$^2$), characterized, respectively, by brecciated/fragmented texture and vacuolar structure. For the flexural strength tests, the lowest values were found in some limestones (e.g. “Sahara Noir”, 92 kg/cm$^2$ and “Mystic Brown”, 99 kg/cm$^2$) and travertines (“Travertino Romano”, 107 kg/cm$^2$). In some lithotypes such as “Sahara Noir”, “Valentine Grey”, “Grigio Carnico”, “Invisible Grey”, the weak zone frequently corresponds to the presence of veins. Concerning the white Carrara marbles (“Arabescato Vagli”, “Calacatta Venato”, “Calacatta Vagli”, “Bianco Carrara”, “Statuarietto”) they show homogeneous values for the Point Load Test (between 1070-1350 kg/cm$^2$) and the flexural strength test (between 106-137 kg/cm$^2$).

Finally, during the third year, an internship period (stage) was also carried out (from 28 May to 26 June 2019) at the University of Évora, Portugal. During this experience, some varieties of commercial Portuguese “marbles” were taken into account for comparison with those generally processed by S2 S.p.a., through visiting the exploitation areas of Vila Viçosa (part of the Estremoz Anticline) the most important marble district of Portugal, exporting stones all over the world.

# 1. Il Progetto Eureka: collaborazione tra Università degli Studi di Urbino Carlo Bo ed azienda S2 S.p.a.

Questo progetto di dottorato ha sviluppato un programma di ricerca e innovazione finalizzato all'utilizzo dei "marmi" nel sistema legno per arredamento di interni in stretta collaborazione tra il Dipartimento di Scienze Pure e Applicate dell'Università di Urbino (DISPeA) e l'azienda S2 S.p.a. di Fermignano che opera nel settore dell'arredamento dal 1973. Questa azienda produce per le più importanti firme del design italiano ed internazionale esclusivi prodotti per arredamento di interni in cui è previsto l'impiego di diverse tipologie di "marmo". Questo materiale lapideo risulta molto pregiato ed elegante, ben lavorabile, lucidabile e di notevole durabilità, trovando quindi un ottimo impiego in questo settore industriale. Aspetto non trascurabile è anche il valore estetico (caratteristica principale ricercata dai designers), che è legato alle varie tonalità di colore e alle tessiture presenti in natura, che lo rendono utilizzabile in diversi ambiti del settore dell'arredamento (tavoli, mobili, allestimenti interni).

Il nostro obiettivo è stato quello di fornire all'azienda un database più completo possibile comprendente le caratteristiche principali di tutti i materiali lapidei ("marmi") utilizzati, suddividendoli, come spesso richiesto in ambito commerciale, in base al loro colore principale o colore di fondo in: "marmi bianchi", "marmi grigi", "marmi rossi e rosa", "marmi verdi", "marmi marroni", "marmi neri", "marmi beige".

Per ogni materiale utilizzato da S2 S.p.a. sono state redatte delle schede tecniche, comprendenti il nome del materiale lapideo e le varietà commerciali, la definizione petrografica, le peculiarità tessiturali, l'aspetto macroscopico e il colore di fondo (corredati da immagini fotografiche), le dimensioni e l'andamento delle venature, le caratteristiche fisico-meccaniche principali, gli areali estrattivi, la reperibilità, le dimensioni dei blocchi e delle lastre e il loro più idoneo utilizzo. Presso il Dipartimento di Scienze Pure e Applicate dell'Università di Urbino, sono state svolte analisi di laboratorio come lo studio mineralogico petrografico in sezione sottile al microscopio ottico a luce trasmessa polarizzata, analisi mineralogiche al diffrattometro a raggi X (XRD), prove fisico-meccaniche di punzonamento o Point Load Test e test di resistenza alla flessione. In alcuni casi sono state condotte anche analisi al microscopio elettronico a scansione (ESEM-BSE) e calcimetrie. Questa approfondita caratterizzazione dei "marmi" ha rappresentato lo scopo principale di questo progetto di ricerca, producendo informazioni e conoscenze utili all'azienda per l'impiego più appropriato dei materiali lapidei.

Secondo quanto richiesto dall'azienda sono state redatte delle Linee Guida per l'acquisto di blocchi e lastre in "marmo" al fine di standardizzare le operazioni di acquisto di blocchi e lastre sulla base dei collaudi che sono stati condotti durante il dottorato assieme ai responsabili dell'azienda stessa. I principali fattori presi in considerazione in queste linee guida, tenendo presente le caratteristiche intrinseche e la disponibilità

delle diverse tipologie di materiale ornamentale, sono i requisiti e le richieste dei committenti, le dimensioni dei piani/tavoli da realizzare e i fabbisogni produttivi.

Inoltre sono stati caratterizzati alcuni materiali artificiali impiegati in azienda come supporto ai piani/tavoli come (i) Laminam costituito da gres porcellanato; (ii) Flex Stone che abbina un sottile strato di roccia ad un supporto in poliestere e fibre di vetro e (iii) High Pressure Laminate (HPL) in carta laminata costituito da strati pressati di carta Kraft impregnata con resine termoindurenti e da uno o più strati superficiali di carta decorativa impregnata anch'essa con resine aminoplastiche.

Al fine di quantificare gli articoli prodotti (secondo quanto richiesto da S2 S.p.a.) e quindi avere una tracciabilità del materiale utilizzato, è stato elaborato un software per l'inserimento di tutti i dati identificativi delle lastre e dei blocchi acquistati dall'azienda nel corso degli anni. In questo modo, ogni lastra possiede un numero identificativo progressivo (ID) che contiene i dati più significativi, come la tipologia del materiale acquistato, il tipo di finitura superficiale delle lastre, le misure di acquisto, lo spessore, il costo del materiale, la data di acquisto e di lavorazione. Questo database risulta utile per calcolare la quantità di piani ottenuti e lo scarto effettivo di ogni blocco e/o lastra espresso come scarto medio e di conseguenza la quantità in $m^2$ effettivamente utilizzata per produrre i tavoli. Un aspetto interessante di questo studio, oltre a quantificare l'entità degli scarti di lavorazione e ridurre i costi di smaltimento, è stato quello di proporre un riutilizzo di tali scarti che tuttavia presentano uno spessore tra 2 e 4 cm troppo alto per pavimenti e rivestimenti. Per questo motivo si è ipotizzato di impiegarli in settori comunque legati all'arredamento, come tavoli costituiti dagli stessi scarti di lavorazione, oggettistica varia, intarsi per mosaici, accessori lifestyles (occhiali, set da scrivania, caricatori per Wi-Fi, posacenere, orologi, calici, scacchiere).

Come stabilito dal Progetto Regionale Eureka, questo dottorato ha previsto una buona parte dell'impegno direttamente in azienda, svolgendo numerosi collaudi presso gli areali estrattivi e rivenditori, attività di controllo della qualità del materiale lapideo acquistato e dei prodotti finiti.

Sempre secondo quanto previsto dal progetto di dottorato, è stato svolto uno stage all'estero (dal 28 maggio al 25 giugno 2019) presso l'Università di Evora (Portogallo) al fine di approfondire le conoscenze sui materiali lapidei ornamentali della regione dell'Alentejo. Questa esperienza ha permesso di conoscere alcune delle varietà merceologiche più importanti dei marmi portoghesi, effettuando anche dei sopralluoghi presso alcuni areali estrattivi come il distretto marmifero di Vila Viçosa. Questa località, che fa parte dell'anticlinale di Estremoz, costituisce il più importante bacino marmifero del Portogallo da cui vengono esportati i marmi in tutto il mondo. Durante questo periodo di stage ho avuto anche la possibilità di partecipare alle attività svolte presso il Laboratorio Hercules, un centro di ricerca dell'Università di Évora.

## 1.1 Introduzione generale: i “marmi” nel mondo commerciale

Le risorse lapidee rappresentano da sempre una delle principali fonti di materiale nel campo dell’architettura e dell’edilizia. Sono diventate un importante elemento culturale, in quanto impiegate come materia prima per realizzare capolavori nel mondo della scultura, del design e dell’arredamento. Con il termine lapidei ornamentali vengono indicati tutte le rocce naturali che possono essere estratte e lavorate con specifiche tecnologie ed in possesso di requisiti tecnici ed estetici che ne consentono l’impiego nel settore delle costruzioni, inteso nel suo più ampio significato. La loro conoscenza, dalle caratteristiche mineralogiche, petrografiche e tessiturali alle proprietà fisico-meccaniche fino alla definizione dei principali areali estrattivi, ne determina l’utilizzo più appropriato nei vari settori. Il mondo lapideo commerciale suddivide il gran numero di materiali esistenti in quattro grandi categorie, ovvero “marmi”, “graniti”, “pietre”, “travertini” (“Terminologia e classificazione in generale”, UNI 8458/1983, sostituita da UNI EN 12670/2003). Tuttavia, il gruppo dei travertini non viene quasi più distinto come categoria a sé stante, ma accorpato a quello dei “marmi” data la possibilità di essere lucidati. Questa nomenclatura è imprecisa dal punto di vista petrografico, ma è di uso corrente e pratico per tutti gli addetti ai lavori operanti nel settore lapideo: ad ogni roccia infatti è associato un nome commerciale, che solo raramente corrisponde a quello scientifico come riportato in Tabella 1.1.1.

| DENOMINAZIONE COMMERCIALE | DENOMINAZIONE GEOLOGICA |
|---|---|
| PIETRA DORATA (Italia) | Arenaria |
| GIALLO ANTICO (Italia) | Arenaria |
| BROCATELLO (Italia) | Breccia poligenica |
| VERDE ISSOIRE (italia) | Oficalce |
| FANTASTICO ARNI (Italia) | Marmo a clorite e muscovite |
| CALACATTA (italia) | Meta-breccia a muscovite |
| ROSSO LEVANTO (Italia) | Oficalce |
| PEPERINO (Italia) | Ignimbrite |
| BARDIGLIO (Italia) | Marmo a pirite |
| PIETRA DI CARDOSO (Italia) | Meta-arenaria |
| BEOLA GHIANDONATA (Italia) | Gneiss occhiadino |
| SERIZZO ANTIGORIO (Italia) | Gneiss |
| VERDE MARINA (India) | Migmatite |
| PORFIDO DI ALBANO (Italia) | Ignimbrite dacitico-riolitica |
| ZEBRINO (Italia) | Marmo a muscovite |
| ROSA BETA (Italia) | Monzogranito |
| NEW IMPERIAL RED (India) | Granito subalcalino |
| BLUE PEARL (Norvegia) | Anortosite |
| VERDE FONTAIN (Sud Africa) | Monzogranito |
| AZUL BAHIA (Brasile) | Sienite a feldspatoidi |

Tabella 1.1.1 – Esempio di doppia definizione di alcuni materiali lapidei ornamentali (Primavori, 1997).

Una piccola difficoltà riscontrata durante lo svolgimento di questo progetto è stata quella di adeguarsi a questa nomenclatura commerciale. È importante sottolineare che talvolta nomi commerciali diversi sono applicati allo stesso litotipo, oppure uno stesso nome commerciale viene usato per materiali differenti tra loro, ovvero per materiali esteticamente molto simili ma con differente caratteristiche petrogenetiche e provenienza. I materiali lapidei che sono stati oggetto di studio in questo progetto di dottorato sono quelli che rientrano nella categoria dei "marmi" secondo la classificazione commerciale, ovvero "rocce tenere lucidabili, con durezza media nella scala di Mohs compresa tra 3 e 4, composti principalmente da minerali come la calcite" (Blanco, 1999). In questa definizione sono compresi i marmi in senso stretto, calcari (limestones), brecce calcaree, oficalciti/serpentiniti e alcuni travertini. Questi materiali, come mostrato in Tabella 1.1.2 presentano tra loro caratteristiche petrografiche e fisico-meccaniche molto differenti.

| | **Massa volumica (kg/m³)** | **Resistenza alla compressione monoassiale (MPa)** | **Resistenza alla compressione monossiale dopo cicli di gelività (MPa)** | **Resistenza alla flessione (MPa)** | **Resistenza all'usura** | **Dilatazione termica mm/°C E-6** | **Coefficiente di imbibizione** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Marmi** | 2701<br>*2215-2845* | 127<br>*12-210* | 126<br>*70-191* | 18<br>*8-31* | 0.42<br>*0.20-0.74* | 5.3<br>*1.5-11.3* | 0.19<br>*0.04-2.28* |
| **Calcari** | 2596<br>*1855-2740* | 166<br>12-255 | 166<br>*18-259* | 15<br>*3-26* | 0.63<br>*0.045-0.99* | 4.6<br>*4.0-4.8* | 1.7<br>*0.05-8.35* |
| **Brecce Calcaree** | 2643<br>*2250-2735* | 123<br>*21-239* | 118<br>*23-259* | 12<br>*4-24* | 0.67<br>*0.22-0.90* | 4.5<br>*1.6-6-6* | 0.6<br>*0.08-3.34* |
| **Serpentiniti-oficalciti** | 2754<br>*2600-2927* | 177<br>*82-256* | 162<br>*86-245* | 25<br>*5-68* | 0.71<br>*0.45-1.2* | 6.4<br>*3.0-13.4* | 0.44<br>*0.03-1.65* |

Tabella 1.1.2 – Principali caratteristiche fisico-meccaniche di alcuni litotipi italiani compresi nella categoria commerciale dei "marmi"; in corsivo gli intervalli di variazione dei vari parametri (http://www.assomarmistilombardia.it).

Come già accennato, la definizione commerciale si distingue di molto rispetto a quella scientifica. Nel mondo petrografico infatti, il marmo è definito come una roccia carbonatica che ha subito processi di metamorfismo a scala regionale o locale. Principalmente sono rocce derivanti da protoliti sedimentari carbonatici (calcari, dolomie), che possono contenere altre fasi mineralogiche (marmi impuri) come solfuri, clorite, ossidi, anfiboli, miche, quarzo, clinopirosseni od essere costituiti esclusivamente da calcite (marmi puri). Il marmo è una risorsa utilizzata sin dall'antichità, attraverso un commercio sviluppato tra culture di

paesi diversi: dal Portogallo alla Spagna, dalla Francia all'Italia, dal Nord Africa alla Grecia, fino alla Turchia; il marmo veniva commercializzato per la realizzazione di opere monumentali e manufatti alcuni dei quali sono tutt'oggi mirabili (Fig. 1.1.1).



Fig. 1.1.1 – La Pietà di Michelangelo, opera d'arte realizzata in marmo di Carrara.

Oltre che nell'edilizia, il marmo viene utilizzato soprattutto nel mondo dell'architettura e del design. In tale campo rientra il mercato dei complementi di arredo, dell'oggettistica di lusso e delle produzioni personalizzate: piani da cucina, tavoli, caminetti vengono riprodotti con qualsiasi forma, esaltando le caratteristiche estetiche che ogni materiale possiede. Attualmente la tipologia degli arredi che vengono proposti sul mercato sono realizzati con lavorazioni speciali: superfici curve, profili e sagome sviluppate grazie alle moderne tecnologie, prima assolutamente inesistenti ed in grado ora di soddisfare le richieste più particolari. Grazie ad una conoscenza più approfondita del materiale e ad una visione più contemporanea, l'evoluzione tecnologica è cresciuta di pari passo con le esigenze del mercato. Se prima questo materiale era utilizzato per sculture, bassorilievi, pavimenti e rivestimenti, oggi il mondo imprenditoriale richiede di renderlo il più sottile possibile per essere applicato a qualsiasi tipo di forma e superficie. Il corretto ed appropriato utilizzo, unito alla conoscenza di tutte le caratteristiche petrografiche

e fisico-meccaniche, permette di creare forme inaspettate, oltre ad un mix di colori e materiali unici ed esclusivi, come mostrato in Fig. 1.1.2.



Fig. 1.1.2 – Allestimento presentato in occasione del The Italian Stone Theatre (Fiera Marmomacchine 2019, Verona) che rappresenta “paesaggi di pietra entro spazi racchiusi”; designer Sestu e Shinobu Ito. Materiali utilizzati: marmi “Bardiglio”, “Calacatta”, “Statuarietto”, “Bianco Carrara”.

# 2. Il ciclo produttivo dei “marmi” adottato da S2 S.p.a.: dalle fasi di acquisto alle fasi di consegna

## 2.1 Fasi preliminari: collaudo e acquisto dei blocchi e/o lastre e lavorazioni superficiali

Le fasi preliminari del ciclo produttivo dei “marmi” adottato da S2 S.p.a., che ha come principale risultato la realizzazione di tavoli, è riassumibile in:

- una prima fase di acquisto e collaudo delle lastre, che deriva dalle richieste dei committenti e a cui sarà dedicato un capitolo a parte (Capitolo 3.);
- una fase che riguarda la lavorazione o rifinitura superficiale delle lastre presso terzisti, stabilita e pianificata in base alle richieste della produzione: retinatura + levigatura, retinatura + satinatura, retinatura + lucidatura a sale;
- il trasporto delle lastre presso S2 S.p.a., con successiva registrazione con numero identificativo (ID) progressivo ed inserimento dei dati in un database chiamato GEST_MARMI.

Dopo l’acquisto, se le lastre visionate non hanno ancora subito nessun tipo di finitura superficiale (lastre grezze) si valuta, a seconda delle esigenze aziendali e in base alla produzione, quale tipo di lavorazione eseguire come:

- retinatura + levigatura;
- retinatura + levigatura + stuccatura;
- retinatura + levigatura + spazzolatura (finitura satinata);
- retinatura + levigatura + lucidatura a sale (finitura lucida);
- nessuna lavorazione (questa opzione è valida solo per lastre spesse 3 o 4 cm).

In particolare,

- la retinatura consiste nell’applicazione manuale di una rete in fibra di vetro-nylon nella parte posteriore di quello che sarà il piano di finitura, la rete viene incollata con resine epossidiche trasparenti, la lastra deve essere ben asciutta prima di entrare nell’impianto di lavorazione in quanto l’umidità contrasta l’adesione della rete alla lastra;
- la levigatura è un’operazione che si effettua generalmente con dischi diamantati per rendere liscia ed omogenea tutta la superficie della lastra, rendendo più uniforme anche il suo spessore;
- la stuccatura è una speciale lavorazione in grado di ripristinare crepe e fessure profonde e di correggere altre imperfezioni derivanti da agenti atmosferici o danni accidentali. Quest’operazione è resa possibile grazie all’utilizzo di prodotti speciali come resine o cementi, e di appositi mastici, coloranti e polveri a grana finissima. Una volta utilizzati questi prodotti, si procede a levigare la superficie attraverso attrezzature specifiche in modo da rendere omogenea ed uniforme la lastra. Lo stucco è disponibile in

diversi stati (solido, semisolido, liquido) in alcuni casi è previsto anche un induritore in pasta aggiunto allo stucco;

- la spazzolatura, conosciuta anche come finitura satinata, si effettua per abrasione progressiva della superficie grezza della lastra con abrasivi a grana fine fino a raggiungere la cosiddetta sensazione tattile tipo “pelle d’uovo”. La quantificazione della opacità ottenuta, espressa in Glöss Units (GU), deve essere di circa 14÷18 Glöss ed è stimata utilizzando un riflettometro o glossmetro, che misura la riflessione speculare, ossia l'intensità della luce riflessa entro un'area di ridotte dimensioni. Questo tipo di lavorazione viene impiegata su alcuni materiali come “Calacatta Venato”, “Grigio Roma”, “Bianco Carrara” e “Statuarietto”;
- la lucidatura a sale consiste nell’abrasione progressiva della superficie grezza della lastra con abrasivi a grana finissima, che restituisce la superficie riflettente con un valore di riflessione speculare tra 72÷ 80 Glöss (anche questa lavorazione è utilizzata per alcune tipologie di materiali lapidei come “Nero Marquinia”, “Verde Alpi”, “Calacatta Venato”, “Portoro Silver”).

Le lastre che hanno uno spessore di 3 o 4 cm vengono acquistate senza alcun tipo di lavorazione, perché alcune finiture (come la retinatura) non sono necessarie, mentre tutte le altre operazioni (stuccatura, lucidatura a sale, satinatura, ecc.) vengono eseguite solamente dopo che le lastre sono state sezionate e lavorate secondo i disegni richiesti dai committenti.

La registrazione e identificazione di ogni lastra utilizzando il programma GEST_MARMI (Fig. 2.2.1) permette di fornire una “carta di identità” che racchiude tutte le informazioni principali, come il tipo di materiale e la relativa lavorazione eseguita, il nome/numero del blocco da cui è stata ricavata, il peso del blocco, la data di acquisto e di lavorazione della lastra, le dimensioni di acquisto e le misure totali di ogni lastra, il fornitore, il costo del materiale, la modalità di acquisto. In questo software è inoltre presente anche un plug-in aggiuntivo che permette di esportare tutti i dati delle lastre in un unico report in formato Excel (Fig. 2.1.2 e Fig. 2.1.3), necessario per l’ufficio acquisti di S2 S.p.a. per la formulazione degli ordini, nell’intento di avere un corretto approvvigionamento ed un’adeguata pianificazione dei materiali utilizzabili che sono presenti in azienda. In questo modo si ha una semplificazione di tutti i dati relativi ai collaudi che sono contenuti in un unico file, con le quantità dei blocchi/lastre acquistati (espresse in $m^3$ e $m^2$) e le rispettive lavorazioni da eseguite presso i vari fornitori. Queste operazioni sono necessarie anche per avere una tracciabilità del prodotto finale.




| IDLastra | RiferimentoBlocco | CodMarmo | DescMarmo | CodOpera | LungBuon | LargBuona | MQBuoni | LungTot | LargTot | MQTot | Peso |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2016000001 | TCR16767/1 | M0060002202 | MARMO LASTRA ARABESCATO CM.2 | 001 | 1030 | 1600 | 1,65 | 1030 | 1600 | 1,65 | 5,6 |
| 2016000002 | TCR16767/1 | M0060002202 | MARMO LASTRA ARABESCATO CM.2 | 001 | 1030 | 1600 | 1,65 | 1030 | 1600 | 1,65 | 5,6 |
| 2016000003 | TCR16767/1 | M0060002202 | MARMO LASTRA ARABESCATO CM.2 | 001 | 1030 | 1600 | 1,65 | 1030 | 1600 | 1,65 | 5,6 |
| 2016000004 | TCR16767/1 | M0060002202 | MARMO LASTRA ARABESCATO CM.2 | 001 | 1030 | 1600 | 1,65 | 1030 | 1600 | 1,65 | 5,6 |
| 2016000005 | TCR16767/1 | M0060002202 | MARMO LASTRA ARABESCATO CM.2 | 001 | 1030 | 1600 | 1,65 | 1030 | 1600 | 1,65 | 5,6 |
| 2016000006 | TCR16767/1 | M0060002202 | MARMO LASTRA ARABESCATO CM.2 | 001 | 1030 | 1600 | 1,65 | 1030 | 1600 | 1,65 | 5,6 |
| 2016000007 | TCR16767/1 | M0060002202 | MARMO LASTRA ARABESCATO CM.2 | 001 | 1030 | 1600 | 1,65 | 1030 | 1600 | 1,65 | 5,6 |
| 2016000008 | TCR16767/1 | M0060002202 | MARMO LASTRA ARABESCATO CM.2 | 001 | 1030 | 1600 | 1,65 | 1030 | 1600 | 1,65 | 5,6 |
| 2016000009 | TCR16767/1 | M0060002202 | MARMO LASTRA ARABESCATO CM.2 | 001 | 1030 | 1600 | 1,65 | 1030 | 1600 | 1,65 | 5,6 |
| 2016000010 | TCR16767/1 | M0060002202 | MARMO LASTRA ARABESCATO CM.2 | 001 | 1030 | 1600 | 1,65 | 1030 | 1600 | 1,65 | 5,6 |
| 2016000011 | TCR16767/1 | M0060002202 | MARMO LASTRA ARABESCATO CM.2 | 001 | 1030 | 1600 | 1,65 | 1030 | 1600 | 1,65 | 5,6 |
| 2016000012 | TCR16767/1 | M0060002202 | MARMO LASTRA ARABESCATO CM.2 | 001 | 1030 | 1600 | 1,65 | 1030 | 1600 | 1,65 | 5,6 |
| 2016000013 | TCR16767/1 | M0060002202 | MARMO LASTRA ARABESCATO CM.2 | 001 | 1030 | 1600 | 1,65 | 1030 | 1600 | 1,65 | 5,6 |
| 2016000014 | TCR16767/1 | M0060002202 | MARMO LASTRA ARABESCATO CM.2 | 001 | 1030 | 1600 | 1,65 | 1030 | 1600 | 1,65 | 5,6 |
| 2016000015 | TCR16767/1 | M0060002202 | MARMO LASTRA ARABESCATO CM.2 | 001 | 1030 | 1600 | 1,65 | 1030 | 1600 | 1,65 | 5,6 |
| 2016000016 | TCR16767/1 | M0060002202 | MARMO LASTRA ARABESCATO CM.2 | 001 | 1030 | 1600 | 1,65 | 1030 | 1600 | 1,65 | 5,6 |
| 2016000017 | TCR16767/1 | M0060002202 | MARMO LASTRA ARABESCATO CM.2 | 001 | 1030 | 1600 | 1,65 | 1030 | 1600 | 1,65 | 5,6 |
| 2016000018 | TCR16767/1 | M0060002202 | MARMO LASTRA ARABESCATO CM.2 | 001 | 1030 | 1600 | 1,65 | 1030 | 1600 | 1,65 | 5,6 |
| 2016000019 | TCR16767/1 | M0060002202 | MARMO LASTRA ARABESCATO CM.2 | 001 | 1030 | 1600 | 1,65 | 1030 | 1600 | 1,65 | 5,6 |

Fig. 2.1.1 – Esempio di scheda identificativa (Software GEST_MARMI) utilizzata per l'inserimento dei dati delle sessioni di collaudo.

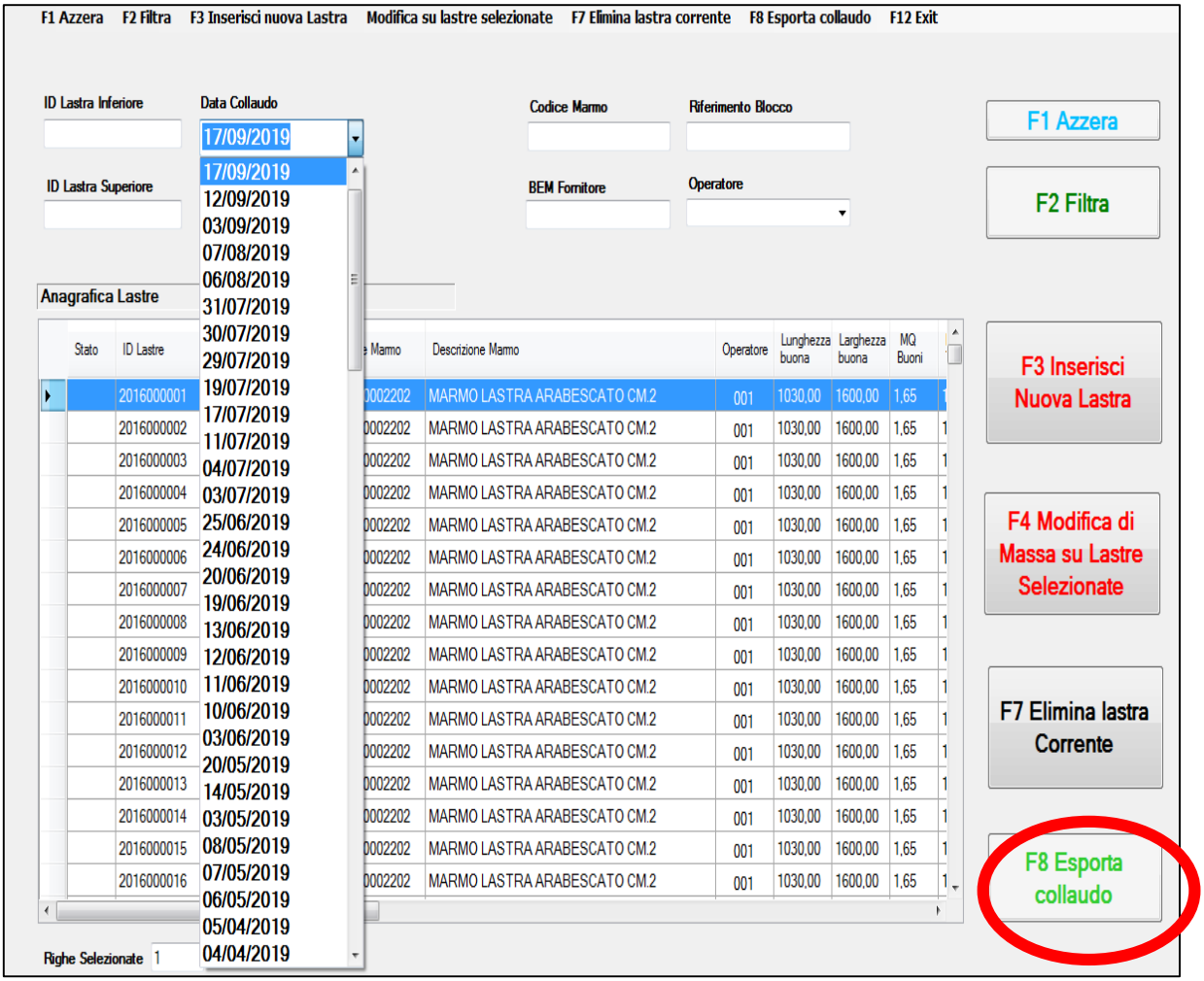
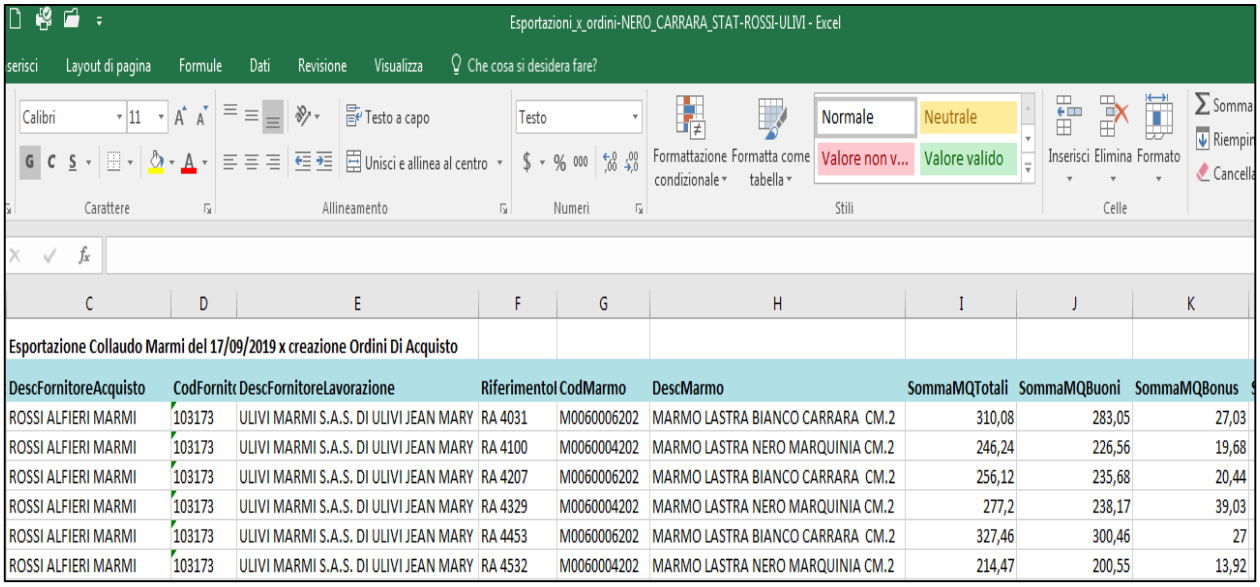



Fig. 2.1.2 – Esempio di schedatura (Software GEST_MARMI) contenente le informazioni relative alle sessioni di collaudo. Cerchiato in rosso il plug-in per l'esportazione dei dati in formato file Excel.



Esportazioni_x_ordini-NERO_CARRARA_STAT-ROSSI-ULIVI - Excel

Esportazione Collaudo Marmi del 17/09/2019 x creazione Ordini Di Acquisto

| DescFornitoreAcquisto | CodFornit | DescFornitoreLavorazione | Riferimentol | CodMarmo | DescMarmo | SommaMQTotali | SommaMQBuoni | SommaMQBonus |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ROSSI ALFIERI MARMI | 103173 | ULIVI MARMI S.A.S. DI ULIVI JEAN MARY | RA 4031 | M0060006202 | MARMO LASTRA BIANCO CARRARA CM.2 | 310,08 | 283,05 | 27,03 |
| ROSSI ALFIERI MARMI | 103173 | ULIVI MARMI S.A.S. DI ULIVI JEAN MARY | RA 4100 | M0060004202 | MARMO LASTRA NERO MARQUINIA CM.2 | 246,24 | 226,56 | 19,68 |
| ROSSI ALFIERI MARMI | 103173 | ULIVI MARMI S.A.S. DI ULIVI JEAN MARY | RA 4207 | M0060006202 | MARMO LASTRA BIANCO CARRARA CM.2 | 256,12 | 235,68 | 20,44 |
| ROSSI ALFIERI MARMI | 103173 | ULIVI MARMI S.A.S. DI ULIVI JEAN MARY | RA 4329 | M0060004202 | MARMO LASTRA NERO MARQUINIA CM.2 | 277,2 | 238,17 | 39,03 |
| ROSSI ALFIERI MARMI | 103173 | ULIVI MARMI S.A.S. DI ULIVI JEAN MARY | RA 4453 | M0060006202 | MARMO LASTRA BIANCO CARRARA CM.2 | 327,46 | 300,46 | 27 |
| ROSSI ALFIERI MARMI | 103173 | ULIVI MARMI S.A.S. DI ULIVI JEAN MARY | RA 4532 | M0060004202 | MARMO LASTRA NERO MARQUINIA CM.2 | 214,47 | 200,55 | 13,92 |

Fig. 2.1.3 – Esempio di foglio elettronico (formato Excel) dei dati esportati relativi ad una sessione di collaudo.

## 2.2 Il ciclo produttivo aziendale del “marmo”: dalla sezionatura delle lastre alla consegna del prodotto finito

Il ciclo produttivo aziendale è suddiviso a sua volta in tre diversi stabilimenti produttivi che sono i seguenti:

a) reparto marmi: lavorazione delle lastre grezze;

b) reparto verniciatura;

c) reparto lucidatura/brillantatura e imballaggio con consegna del prodotto finito.

### 2.2.1 Sezionatura

Nella fase di sezionatura avviene la selezione della lastra seguendo quelle che sono le specifiche tecniche di riferimento richieste dal committente: ogni materiale possiede infatti delle specifiche tecniche che racchiudono le informazioni più importanti (caratteristiche estetiche, criteri di accettabilità del committente che saranno approfonditi nel Capitolo 3). Dopo aver selezionato la lastra, il procedimento è il seguente:

- mappatura delle lastre per identificare le zone da cui ricavare le diverse tipologie di tavoli/piani (Fig. 2.2.1, Fig. 2.2.2);
- sezionatura della lastra attraverso macchine a controllo numerico (Fig. 2.2.3).




Fig. 2.2.1 – Mappatura delle lastre per identificare le zone da cui ricavare le diverse tipologie di piani prima di procedere alla fase di sezionatura della lastra.

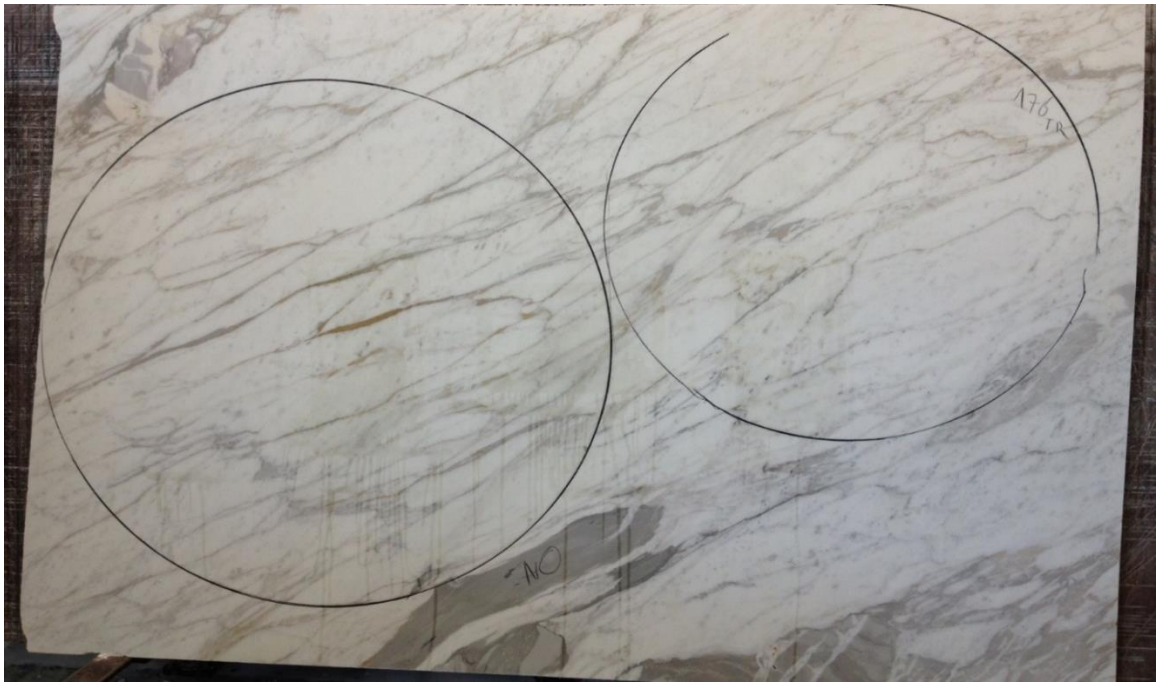


Fig. 2.2.2 – Alcuni modelli di tavoli selezionati in una lastra di “Calacatta Venato”, pronti per essere sezionati.



Fig. 2.2.3 - Sezionatura della lastra attraverso macchine a controllo numerico.

## 2.2.2 Pantografatura ed asciugatura

Nella lastra sezionata vengono effettuati una serie di passaggi con utensili diamantati (frese o mole) ed acqua per ottenere la sagomatura e la profilatura del tavolo (Fig. 2.2.4).



Fig. 2.2.4 – Pantografatura delle lastre sezionate attraverso mole o frese diamantate ed acqua.

Segue una fase di essiccazione dei piani di marmo in camera climatica (Fig. 2.2.9) attraverso circolazione di aria calda, necessaria per le successive fasi di verniciatura a poliestere. Riguardo al funzionamento della camera climatica, impostata ad una temperatura oscillante tra 28 e 32 °C, è stato eseguito un monitoraggio utilizzando un termoigrometro portatile (Fig. 2.2.5) che ha permesso di misurare la temperatura, l'umidità relativa e il punto di rugiada raggiunto al suo interno. Questo studio ha permesso di valutare la temperatura al di sotto della quale l'umidità dell'aria condensa (punto di rugiada, Fig. 2.2.6) creando problemi durante le successive fasi di verniciatura a poliestere (Fig. 2.2.7).




Fig. 2.2.5 – Termoigrometro portatile utilizzato per il monitoraggio della camera climatica.

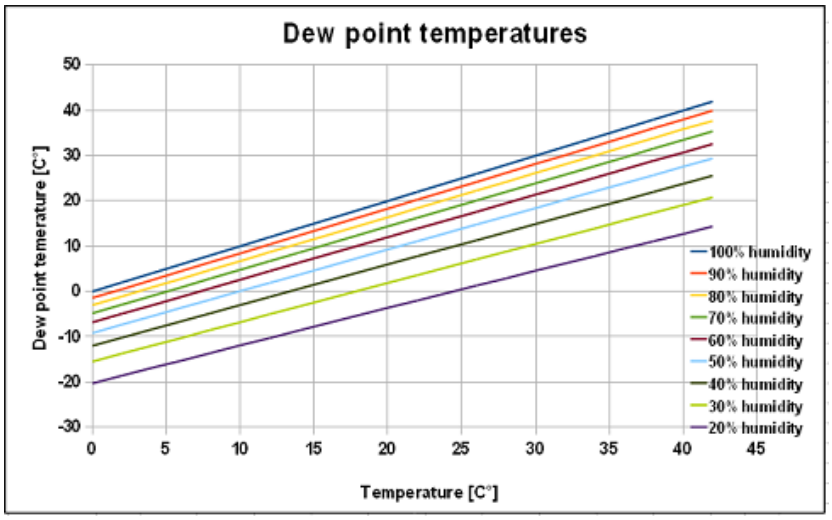



Fig. 2.2.6 – Grafico che mostra la dipendenza del punto di rugiada (dew point) dalla temperatura dell'aria e dall'umidità relativa. Se la temperatura aumenta senza cambiare l'umidità assoluta, aumenterà anche il punto di rugiada. Ridurre l'umidità assoluta farà regredire il punto di rugiada al suo valore iniziale. Nello stesso modo incrementare l'umidità assoluta dopo un calo della temperatura porta il punto di rugiada al livello iniziale.

Sulla base di dei dati forniti da S2 S.p.a. i tavoli in "marmo" con spessore di 2 cm dovrebbero sostare all'interno della camera climatica, per una corretta asciugatura, per un tempo di almeno 48 ore, ad

eccezione di materiali come “Dark Emperador” che richiedono invece un tempo maggiore, come mostrato in Tabella 2.2.1 e Tabella 2.2.2. Questo tempo prestabilito, è necessario per ridurre la quantità di vapore acqueo prima delle fasi di verniciatura, per evitare successivi distacchi o sollevamenti della pellicola di vernice a poliestere che viene applicata. Se l’asciugatura-essiccazione non viene effettuata rispettando i limiti riportati, nei piani potrebbe verificarsi la condensazione del vapore acqueo contenuto all’interno del materiale lapideo e successive problematiche come mostrato in Fig. 2.2.7.

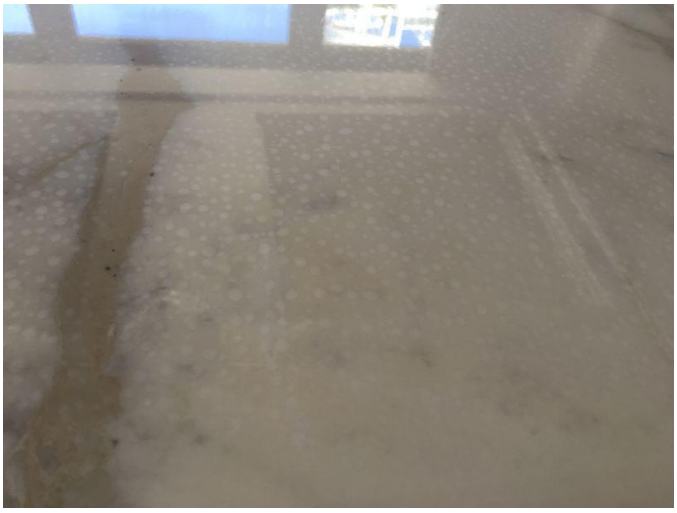


Fig. 2.2.7 – Sollevamento della pellicola di verniciatura dovuto alla presenza di umidità all’interno del materiale lapideo.

| “MARMI” | SPESSORE (mm) | UMIDITA’ RELATIVA ARIA | TEMPO MINIMO ESSICCAMENTO (ore) |
|---|---|---|---|
| “ARABESCATO” | 20 | 20 % | 48 |
| “CALACATTA” | 20 | 20 % | 48 |
| “BIANCO CARRARA” | 20 | 20 % | 48 |
| “STATUARIETTO” | 20 | 20 % | 48 |
| “NERO MARQUINIA” | 20 | 20 % | 48 |
| “SAHARA NOIR” | 20 | 20 % | 48 |
| “ROSSO RUBINO VENATO” | 20 | 20 % | 48 |
| “VERDE ALPI” | 20 | 20 % | 48 |
| “GRIGIO ROMA” | 20 | 20 % | 48 |
| “DARK EMPERADOR” | 20 | 20 % | 72 |
| “PORTORO” | 20 | 20 % | 48 |

Tabella 2.2.1 – Tempo di essiccamento previsto per una corretta asciugatura per alcuni materiali lapidei (spessore 2 cm) trattati da S2 S.p.a.

| “MARMI” | SPESSORE (mm) | UMIDITA’ RELATIVA ARIA | TEMPO MINIMO ESSICCAMENTO (ore) |
|---|---|---|---|
| “ARABESCATO” | 30 | 20 % | 72 |
| “CALACATTA” | 30 | 20 % | 72 |
| “BIANCO CARRARA” | 30 | 20 % | 72 |
| “STATUARIETTO” | 30 | 20 % | 72 |
| “NERO MARQUINIA” | 30 | 20 % | 72 |
| “SAHARA NOIR” | 30 | 20 % | 72 |
| “ROSSO RUBINO VENATO” | 30 | 20 % | 72 |
| “VERDE ALPI” | 30 | 20 % | 72 |
| “DARK EMPERADOR” | 30 | 20 % | 96 |

Tabella 2.2.2 - Tempo di essiccamento previsto per una corretta asciugatura per alcuni materiali lapidei (spessore 3 cm) impiegati da S2 S.p.a.

Tuttavia, per raggiungere una corretta asciugatura si devono considerare anche altre variabili che entrano in gioco come le temperature rigide invernali che talvolta raggiungono anche valori sotto 0°C e che condizionano la temperatura della camera climatica oppure la quantità di piani immessi nella camera rispetto alle sue ridotte dimensioni (lunghezza 4 metri, larghezza 6 metri, altezza 3 metri). La camera infatti è stata inizialmente progettata e proporzionata per contenere un certo numero di piani che è passato da circa 10.000 piani a 30.000 lastre lavorate all’anno. Inoltre, anche le dimensioni dei piani, che prima raggiungevano al massimo 2500 mm di lunghezza, oggi superano anche i 3000 mm. Per questi motivi si è reso necessario un monitoraggio che è stato eseguito nel periodo da giugno 2017 ad ottobre 2018, con misurazioni effettuate a cadenza giornaliera e in orari casuali. La localizzazione dei punti di rilevamento dei parametri all’interno della camera climatica è rappresentata nella Fig.2.2.8.

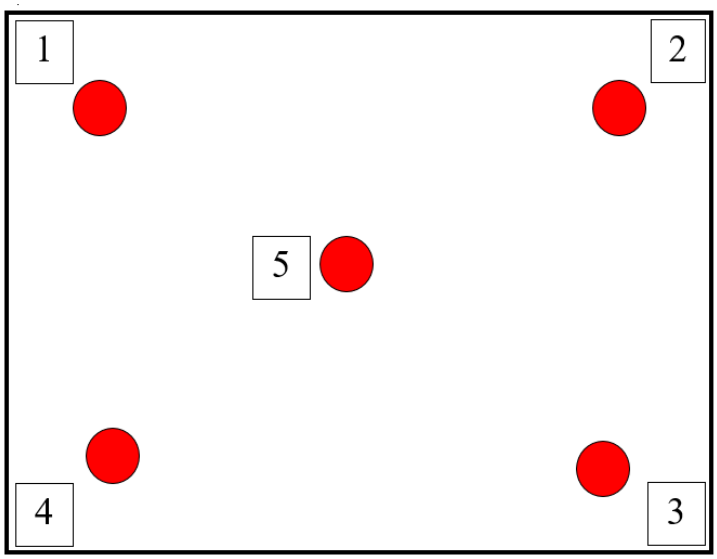



Fig. 2.2.8 – Pianta della camera climatica con la localizzazione dei punti di rilevamento (cerchi in rosso).

Un esempio della disposizione dei piani all'interno della camera climatica è riportato in Fig.2.2.9 e Fig. 2.2.10. La camera può contenere un numero massimo di cavalletti di acciaio e/o bancali in legno in base alle dimensioni dei tavoli di marmo e più precisamente fino ad un massimo di nr. 9 cavalletti in acciaio se non sono presenti piani superiori ai 2000 mm di lunghezza. Ciascun cavalletto può contenere fino ad un massimo di 19 piani con dimensioni medie di 2500 mm di lunghezza x 1400 mm di larghezza x 20 mm di spessore. I bancali di legno hanno invece dimensioni più ridotte: 1200 mm di lunghezza x 800 mm di larghezza x 100 mm di altezza.






Fig. 2.2.9 e Fig. 2.2.10 – Camera climatica con all'interno alcuni piani di marmo posizionati su cavalletti in acciaio o su bancali di legno. Le frecce blu indicano la direzione del flusso di aria calda per l'asciugatura.

Nelle Figure 2.2.11, 2.2.12 e 2.2.13 vengono presentati, rispettivamente, i dati relativi al monitoraggio della temperatura, dell'umidità relativa e del punto di rugiada interni alla camera climatica.

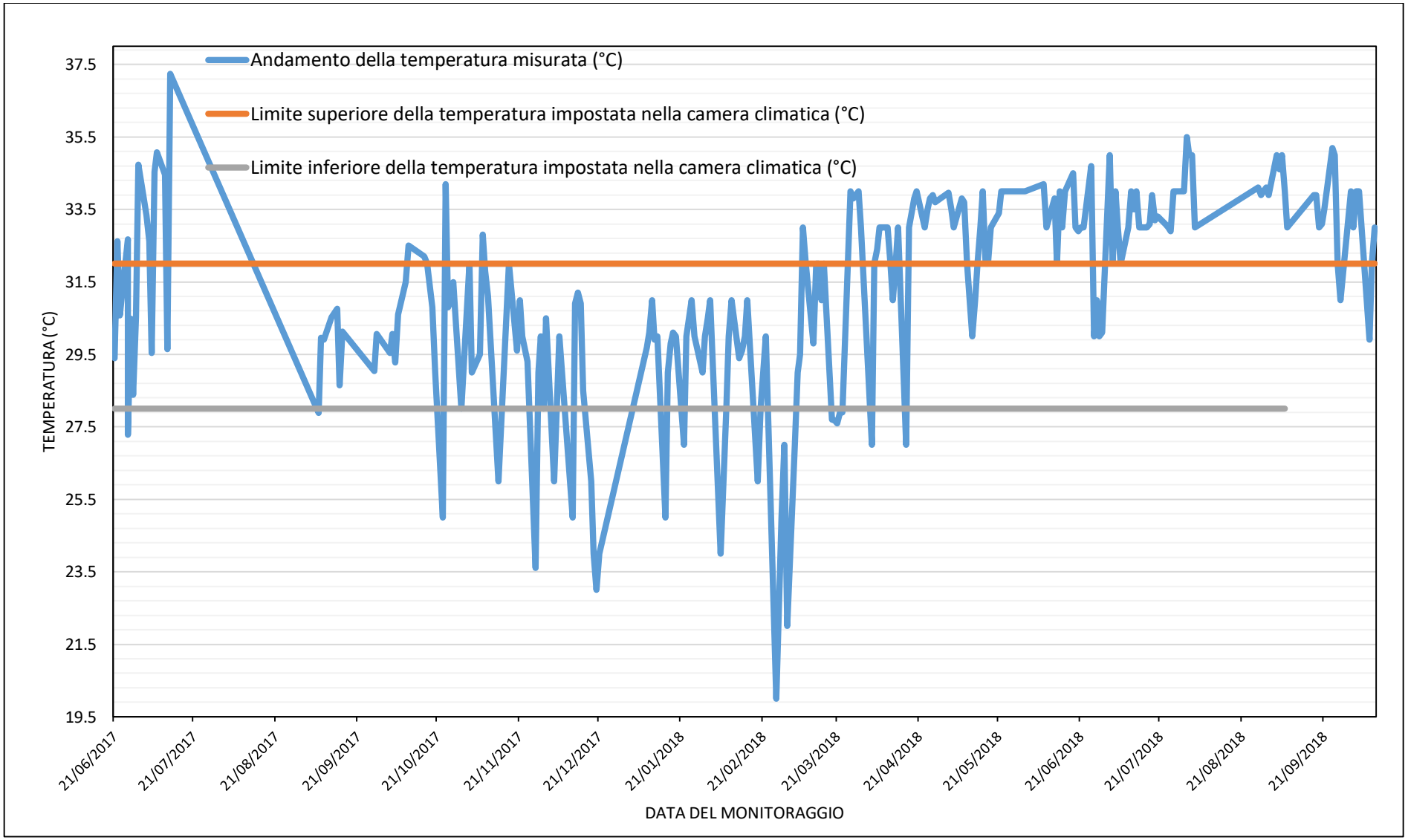



Fig. 2.2.11 – Andamento della temperatura all'interno della camera climatica nel periodo di monitoraggio; le linee orizzontali indicano i limiti di temperatura inferiore e superiore impostati nella camera.

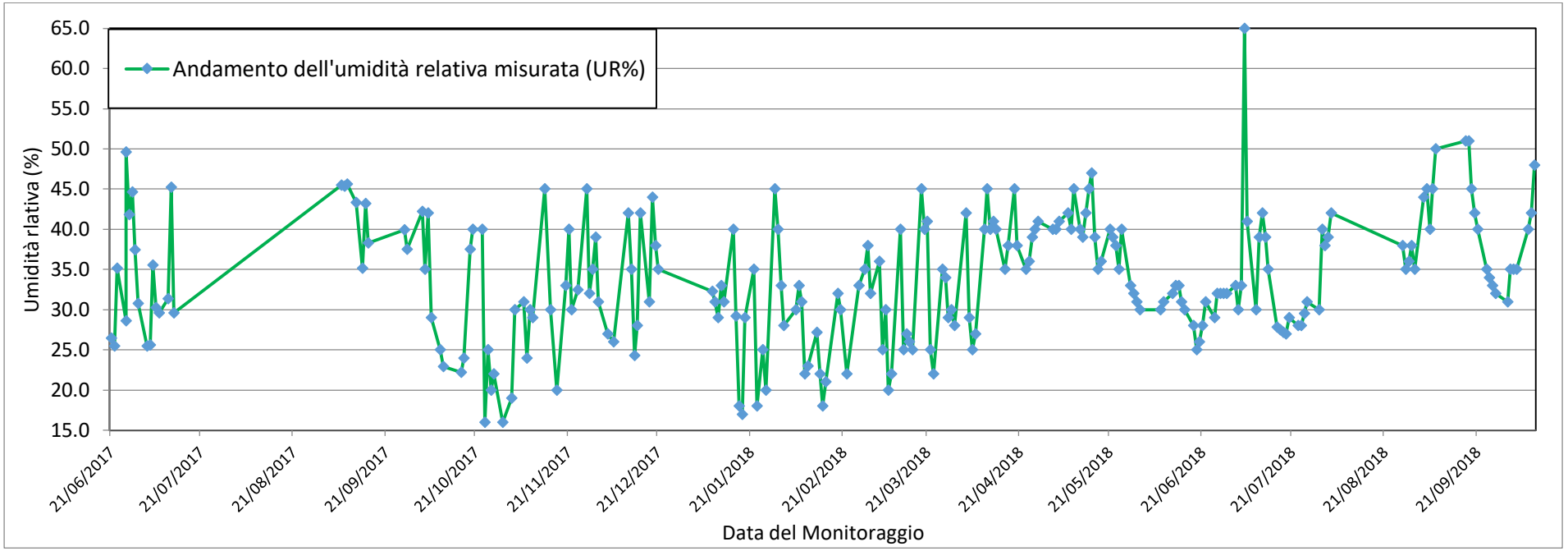



Fig. 2.2.12 – Andamento dell'umidità relativa all'interno della camera climatica nel periodo di monitoraggio.

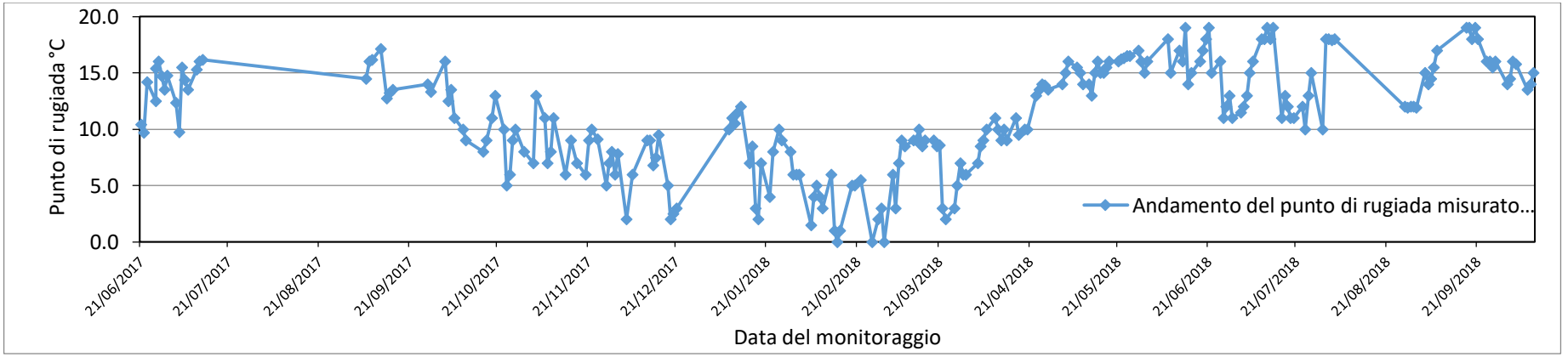



Fig. 2.2.13 – Andamento del punto di rugiada all'interno della camera climatica nel periodo di monitoraggio.

Come possiamo vedere, soprattutto nei mesi invernali, la camera climatica non rispetta né i valori di umidità né i valori di temperatura prestabiliti, tra 28 °C e 32 °C. L'umidità relativa, in funzione della temperatura, può variare notevolmente anche a seconda della quantità dei piani presenti all'interno della camera climatica e di conseguenza anche il punto di rugiada. Le temperature minime (con valori monitorati anche inferiori ai 25°C) sono state registrate sia nei mesi invernali sia nelle giornate di riaccensione della camera climatica dopo periodi di spegnimento, come ad esempio dopo le festività o i fine settimana. Per evitare problematiche future, l'azienda S2 S.p.a. ha iniziato a predisporre un impianto di asciugatura-essicazione delle lastre molto più avanzato e modernizzato. Il nuovo impianto oltre ad essere di maggiori dimensioni è costituito da doppia porta di ingresso, mentre la precedente camera era dotata un'unica porta, al fine di stabilizzare il più possibile i parametri ambientali interni. Inoltre, grazie anche a pannelli isolanti e coibentati si avrà una minore dispersione di calore, raggiungendo la completa asciugatura in tempi più rapidi.

### 2.2.3 Rifinitura manuale, verniciatura e consegna del prodotto finito

Dopo l'asciugatura, nei piani vengono effettuate operazioni di rifinitura manuale come la stuccatura, utilizzando polveri dello stesso materiale del piano lavorato, come mostrato nelle Figure 2.2.14 e 2.2.15.





Fig. 2.2.14 e Fig. 2.2.15 – A sinistra operazione di rifinitura manuale (stuccatura) utilizzando la polvere dello stesso materiale lapideo; a destra rifinitura manuale del piano utilizzando dischi abrasivi diamantati a grana di diverse dimensioni a seconda della tipologia di lavorazione da effettuare.

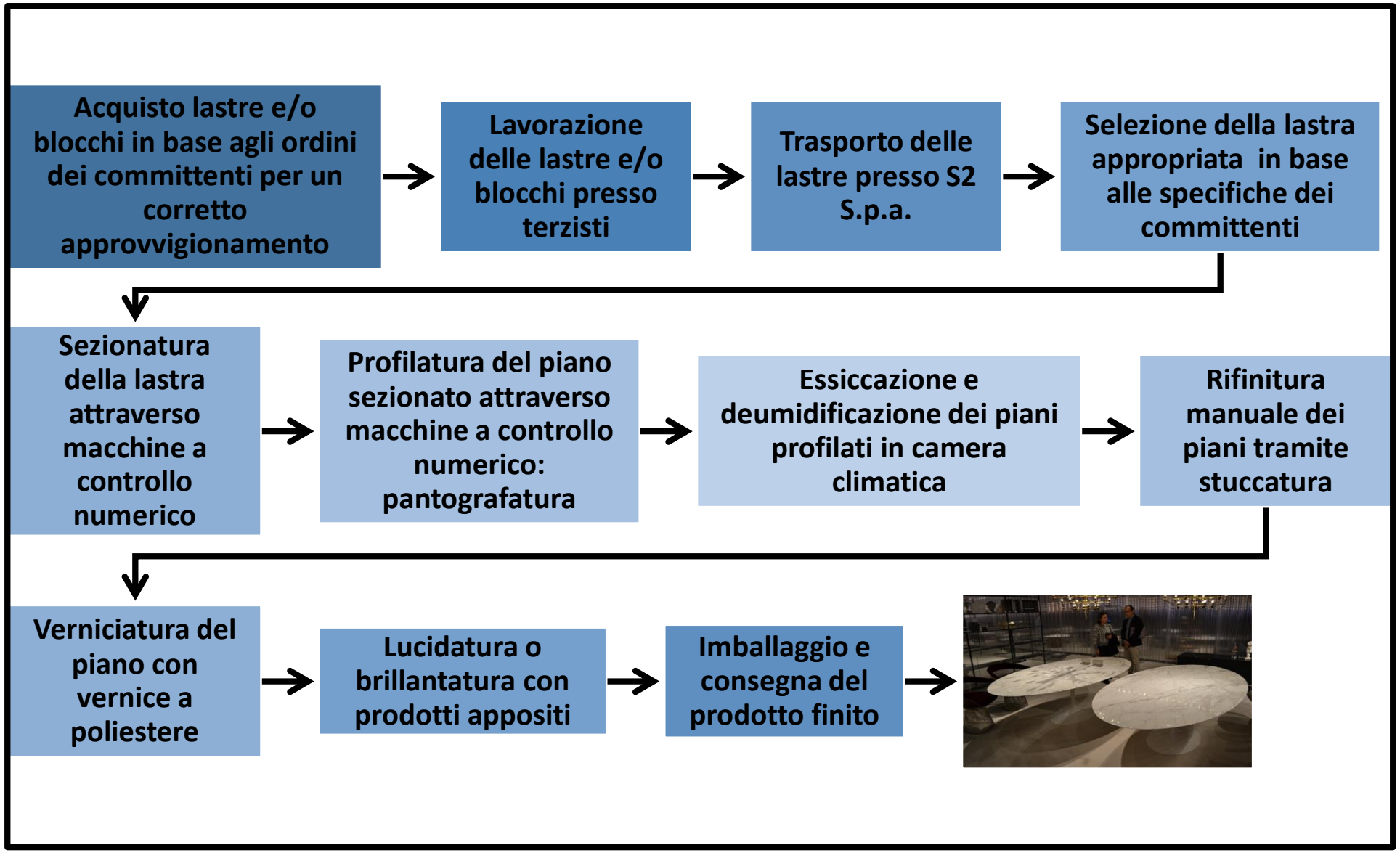
Le successive fasi di verniciatura a poliestere sono le seguenti: un primo passaggio di poliestere applicato con una velatrice e successiva levigatura; "gocciatura" solo in alcune zone in cui il poliestere è stato assorbito nelle cavità del materiale; ulteriore passaggio di poliestere a velo, seguito da levigatura con carte da grana fine a finissima, sia nei bordi che nel piano e successiva spazzolatura con abrasivi. Infine si procede ad una brillantatura con cere lucidanti e pulitura manuale dei residui della cera stessa. L'ultima fase prevede

l’imballaggio e la consegna del prodotto finito. Un’immagine del processo di verniciatura (primo passaggio di vernice a poliestere) è mostrato nella Fig. 2.2.16.



Fig. 2.2.16 – Primo passaggio di vernice a poliestere.

La seguente flow-chart descrive tutte le fasi del lavoro, dalle fasi di acquisto delle lastre (Capitolo 3) alla consegna del prodotto finito.



# 3. Linee guida per l'acquisto di blocchi e lastre in "marmo": esempi specifici di alcuni materiali lapidei

Queste linee guida sono il risultato di una richiesta specifica di S2 S.p.a. che ha espresso la necessità di standardizzare le operazioni di acquisto di blocchi e lastre sulla base di 20 collaudi che ho condotto assieme ai responsabili dell'azienda stessa. Nel corso degli anni è emerso che ogni collaudo ha dovuto affrontare e risolvere molteplici problematiche. I fattori esaminati in queste linee guida hanno tenuto conto di quelle che sono le esigenze, i requisiti e le richieste dei committenti, le dimensioni dei piani-tavoli da realizzare e i fabbisogni produttivi, valutando anche la disponibilità delle diverse tipologie di materiale presente già all'interno dei magazzini di S2 S.p.a. al momento del collaudo. In particolare sono state prese in considerazione alcune problematiche relative alle differenti tipologie di "marmo" da approvvigionare e alle diverse modalità di acquisto in relazione ai diversi fornitori. L'esperienza aziendale, nel corso degli anni, ha permesso di riconoscere quelli che sono i materiali maggiormente richiesti dai mercati internazionali diventati sempre più esigenti, oltre che individuare i fornitori che garantiscono materiali di elevata qualità con rispetto dei tempi di consegna previsti, necessari per un'efficace sinergia tra fornitori e committenti.
Nei paragrafi successivi verranno esaminati dei casi specifici in modo da evidenziare quali siano state le difficoltà, le modalità e i fattori che influiscono maggiormente durante l'acquisto delle lastre e dei blocchi.

## 3.1 Fattori principali da considerare

**a) Specifiche tecniche richieste dal committente e caratteristiche estetiche dei materiali lapidei.**

È fondamentale che il collaudatore conosca bene tutte le caratteristiche estetiche dei materiali lapidei destinati alla realizzazione di oggetti per l'arredamento (tavoli, mobili, inserti per tavoli): ogni "marmo" possiede una specifica tecnica propria, a cui il collaudatore si deve attenere durante le fasi di acquisto. Per specifica tecnica in generale si intende un documento che definisce le caratteristiche tecniche di un materiale quali:

- i livelli di qualità intesa come presenza di "difetti" e criteri di accettazione;
- le caratteristiche estetiche come "aspetto macroscopico più evidente";
- le dimensioni e lo spessore delle lastre;
- le modalità per l'identificazione del materiale;
- la tracciabilità.

Nella specifica tecnica di un materiale lapideo come il "marmo" vengono solitamente definite quali sono le caratteristiche da controllare ed i criteri di accettabilità.

Esempi di caratteristiche da controllare sono:

- il colore di fondo del materiale;

- il colore secondario o colore non predominante;
- lo spessore delle lastre;
- la disposizione delle venature ed il loro colore;
- le peculiarità tessiturali;
- le tipologie di lavorazione a cui verranno sottoposte le lastre partendo dalle lavorazioni meccaniche sino alle lavorazioni di finitura delle superfici.

Ad esempio, in alcuni tavoli prodotti da S2 S.p.a. non è tollerata la presenza in modo persistente di minerali come la pirite o altri minerali accessori, "difetti" relativi alle lavorazioni manuali come stuccature troppo evidenti, o "screpolature" dovute ad una mancata adesione della vernice poliestere.

Nella Tabella 3.1.1 sono riportati alcuni materiali lapidei classificati commercialmente come "marmi" acquistati da S2 S.p.a.

| **"MARMI" BIANCHI** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| "ARABESCATO VAGLI" | "BIANCO CARRARA" | "STATUARIETTO" | "CALACATTA VENATO" | "CALACATTA VAGLI" | "INVISIBLE GREY" | "PANDA WHITE" |
| **"MARMI" NERI** | | | | | **"MARMI" ROSSI e ROSA** | |
| "NERO MARQUINIA" | "PORTORO" | "PORTORO SILVER" | "SAHARA NOIR" | | "ROSSO RUBINO VENATO" | "FIOR DI PESCO CARNICO" |
| **"MARMI" BEIGE** | | | | | **"MARMI" VERDI** | |
| "TRAVERTINO ROMANO" | "BOTTICINO" | "CREMA MARFIL" | "CASTAGNA LIMESTONE" | | "VERDE ALPI" | "VERDE ALPI SCURO" |
| **"MARMI" GRIGI** | | | **"MARMI" MARRONI** | | | |
| "GRIGIO CARNICO" | "GRIGIO ROMA" | "GRIGIO IMPERIALE" | "DARK EMPERADOR" | "MYSTIC BROWN" | "EMPERDADOR LIGHT" | "VALENTINE GREY" |

Tabella 3.1.1 – Alcuni "marmi" utilizzati da S2 S.p.a. suddivisi per colore dominante.

La maggior parte di questi materiali lapidei viene acquistata e utilizzata da S2 S.p.a. per produrre manufatti destinati a più committenti, mentre alcuni materiali sono destinati esclusivamente per produrre tavoli e mobili per un solo committente. Quanto detto va tenuto presente durante l'acquisto delle lastre, poiché da una stessa lastra si potranno ricavare più modelli di tavoli o manufatti per una diversa destinazione d'uso e per più di un committente.

**b) Misure standard dei piani/tavoli.**

È importante che il collaudatore conosca le misure standard delle varie tipologie di tavoli prodotti per i committenti, dalle misure più grandi a quelle più piccole, in modo da poterne ricavare il più possibile da una singola lastra, soddisfacendo il fabbisogno ed ottimizzando al massimo lo scarto. Particolare attenzione va rivolta allo spessore delle lastre: per alcuni modelli di tavoli le lastre possono essere spesse anche 3 o 4 cm, ma lo spessore standard delle lastre è intorno a 2 cm (da un minimo di 1,8 cm ad un massimo di 2,4 cm). Non

è ammesso uno spessore inferiore per questi manufatti che risulterebbero più fragili e più difficili da lavorare a causa della minor resistenza al carico di rottura. Questo range di spessori, che viene concordato tra committenti e fornitori, deve essere verificato ancor prima di esaminare il colore e il "disegno del marmo", termini che riassumono le caratteristiche estetiche del materiale: dal colore di fondo al colore secondario, la disposizione, lo spessore e il colore delle venature, fino alle caratteristiche peculiari ed intrinseche del materiale stesso.

**d) Disponibilità dei materiali: quantità (espressa in $m^2$) di materiale presente in magazzino, dimensione delle lastre ed esigenze di pianificazione della produzione di S2 S.p.a. per un corretto approvvigionamento del materiale lapideo in relazione al fabbisogno necessario per soddisfare le richieste del mercato.**

I collaudi delle lastre e dei blocchi di marmo avvengono, ovviamente, in base alle esigenze legate alle previsioni di vendita annuali. In alcuni periodi dell'anno però le cave possono essere chiuse o avere un'attività ridotta e quindi il materiale può non essere disponibile o estratto in minor quantità: i collaudi perciò possono diventare più frequenti rispetto alla norma. Per non trovarsi impreparati alle richieste dei committenti, è bene conoscere la disponibilità di lastre al netto dell'impegnato, ovvero quanti $m^2$ di "marmo" sono disponibili e di che misura sono le lastre. La conoscenza del disponibile alle varie date pianificate è l'input necessario per poter procedere all'acquisto e per pianificare correttamente l'approvvigionamento. Nel magazzino deve essere presente per ciascuna tipologia di "marmo" un livello di scorta minimo al di sotto del quale non si deve scendere in quanto il fabbisogno del mercato non è livellato, ma può avere dei picchi di assorbimento al di sopra del valore medio a cui occorre far fronte.

## 3.2 Modalità di acquisto delle lastre e dei blocchi

Sulla base di quanto detto, possiamo prevedere diverse modalità di acquisto di lastre e blocchi di "marmo":

a) acquisto delle lastre per misura commerciale;
b) acquisto delle lastre a misura in base ai piani ricavabili;
c) acquisto del blocco a peso.

Le modalità di acquisto sono dettate sulla base di accordi commerciali tra fornitori, azienda e committenza. Si deve cercare sempre di avere uno scarto sui $m^2$ acquistati relativamente basso, ma ciò dipende dalla disponibilità e dalla qualità del materiale.

**a) Acquisto delle lastre per misura commerciale**

Questa tipologia di acquisto è la più utilizzata nell'ambito dei materiali lapidei impiegati nell'arredamento. Quando si acquistano lastre attraverso questa modalità, la misura è intesa come misura commerciale, o come "misura utile entro la quale si possono ricavare i piani/tavoli necessari". Va ricordato infatti che ogni materiale presenta delle specifiche tecniche a cui il collaudatore si deve sempre attenere, qualunque sia la modalità di acquisto effettuata. La lastra quindi presenterà una sua misura totale che sarà sempre maggiore o uguale alla superficie d'acquisto. Un esempio viene riportato nelle figure seguenti e più in particolare mentre in Fig.3.2.1 la superficie della lastra, non presentando "difetti", avrà una misura d'acquisto quasi

uguale alla superficie totale; in Fig. 3.2.2 invece la lastra che presenta delle imperfezioni, avrà una superficie d'acquisto che terrà conto di queste caratteristiche e sarà molto inferiore alla superficie totale.

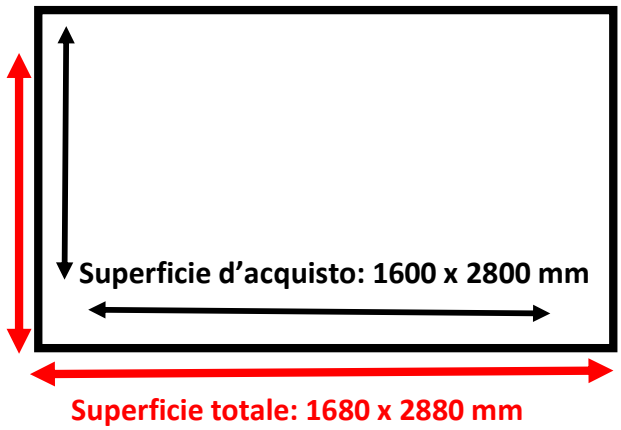



Fig. 3.2.1 - Esempio di lastra acquistata a misura commerciale: in questo caso la superficie d'acquisto risulta di poco inferiore alla superficie totale. Le due misure sono quasi coincidenti.

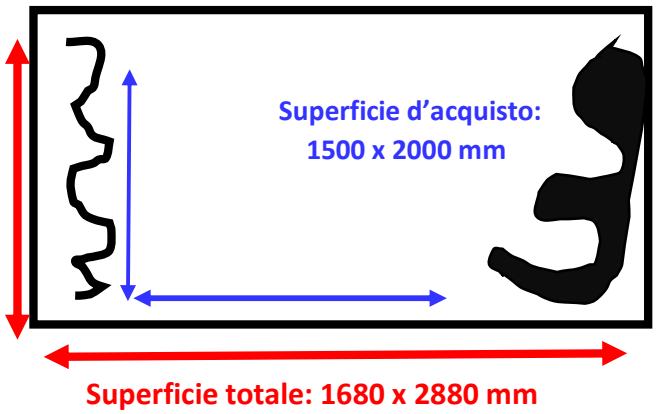



Figura 3.2.2- Esempio di lastra acquistata a misura commerciale: la superficie d'acquisto si discosta dalla superficie totale a causa dei "difetti" presenti (in nero).

In Tabella 3.2.1 viene riportato come da uno stesso blocco costituito da 40 lastre, le misure dei $m^2$ acquistati siano inferiori rispetto alle misure totali delle lastre.

| **Nr. progressivo di lastre di uno stesso blocco** | **Lunghezza acquistata (mm)** | **Larghezza acquistata (mm)** | **$m^2$ acquistati per ogni lastra** | **Lunghezza totale (mm)** | **Larghezza totale (mm)** | **$m^2$ superficie totale per ogni lastra** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Dalla 1 alla 4 | 1700 | 2100 | **3,57** | 1800 | 2200 | **3,96** |
| Dalla 5 alla 12 | 1700 | 2000 | **3,40** | 1800 | 2100 | **3,78** |
| Dalla 13 alla 18 | 1700 | 2500 | **4,25** | 1800 | 2550 | **4,59** |
| Dalla 19 alla 30 | 1400 | 2500 | **3,50** | 1480 | 2550 | **3,77** |
| Dalla 31 alla 40 | 1440 | 2470 | **3,56** | 1500 | 2540 | **3,81** |

Totale $m^2$ acquistati del blocco: **144,58 $m^2$** Totale superficie complessiva del blocco: **156,96 $m^2$**

Tabella 3.2.1 – Si noti come cambiano le superfici di acquisto rispetto alle superfici totali.

Nella Fig. 3.2.3 viene mostrato, per una lastra di "Bianco Carrara C/D", come i "difetti" (cerchiati in azzurro) che non rispondono ai criteri di accettazione riportati nelle specifiche tecniche del committente per questa tipologia di materiale lapideo, riducono la misura di acquisto commerciale rispetto alla misura totale della lastra. Solo in pochi casi la superficie di acquisto coincide con la misura totale della lastra.

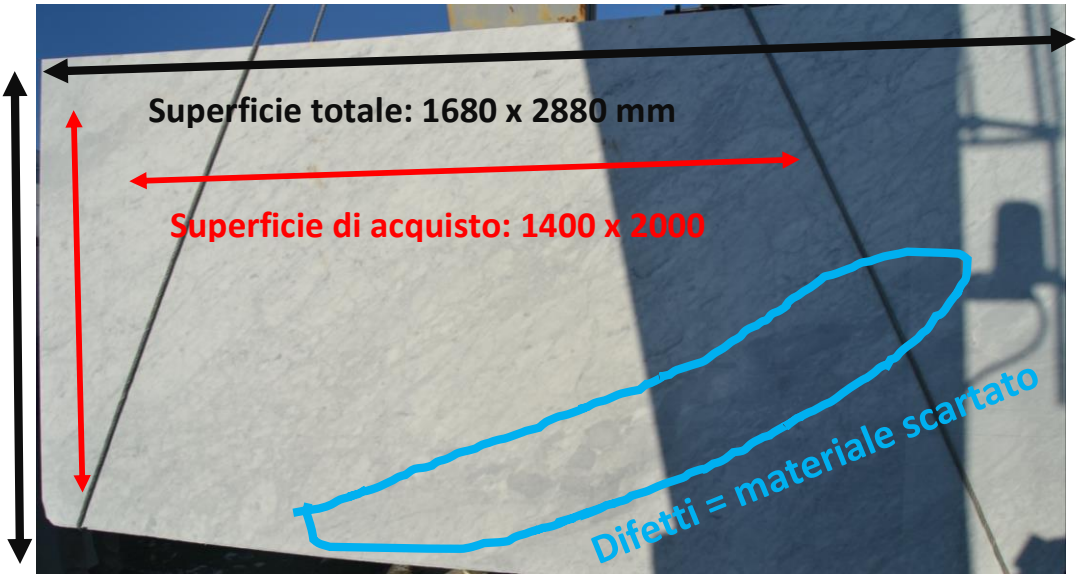



Figura 3.2.3 – Lastra di "Bianco Carrara C/D" acquistato a misura commerciale, alcuni difetti non accettati dal committente sono cerchiati in azzurro.

Alcuni esempi specifici per questa tipologia di acquisto saranno approfonditi nei paragrafi successivi.

**b) Acquisto delle lastre a misura in base ai piani ricavabili**

Quando si effettua l'acquisto secondo la modalità a misura in base ai piani ricavabili, ci si aspetta di avere uno scarto più alto rispetto agli altri sistemi di acquisto. Questa procedura infatti si applica solo in casi particolari, quando "il disegno" della lastra non soddisfa pienamente le specifiche tecniche del committente. In questo caso le lastre possono presentare dei difetti come fratture, colore di fondo variabile, venature troppo evidenti, presenza di macchie diverse dal colore di fondo.

L'acquisto avviene secondo l'aspettativa di ricavare una misura standard di piani/tavoli da una singola lastra. Ogni piano ricavabile ha una sua dimensione effettiva e una sua rispettiva area di quadratura (Tabella 3.2.2): da ogni lastra è possibile ricavare più piani/tavoli. Il costo di ogni singola area di quadratura viene maggiorato dal fornitore del 30% rispetto al suo costo standard al metro quadro, e questo per compensare il costo sostenuto dal fornitore per ottenere l'intera lastra. Nella Tabella 3.2.2 vengono riportate alcune misure di tavoli, ognuno con le corrispondenti aree effettive, aree di quadratura ed aree di quadratura maggiorate al 30%.

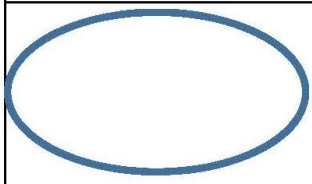
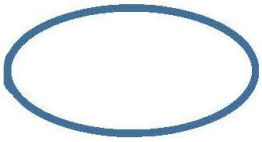
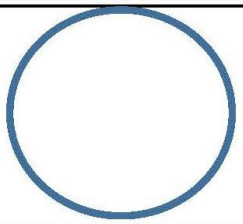
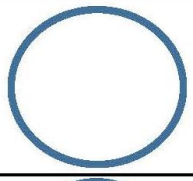
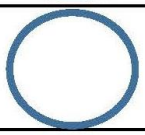
| forma del piano | dimensioni (cm) | | area effettiva ($m^2$) | area quadratura ($m^2$) | area quadratura maggiorata al 30 % ($m^2$) |
|---|---|---|---|---|---|
|  | 244 | 137 | 2,63 | 3,34 | 4,35 |
|  | 198 | 121 | 1,88 | 2,4 | 3,11 |
|  | 107 | 70 | 0,59 | 0,75 | 0,97 |
|  | 57 | 38 | 0,17 | 0,22 | 0,28 |
|  | 152 | 152 | 1,81 | 2,31 | 3 |
|  | 137 | 137 | 1,47 | 1,88 | 2,44 |
|  | 120 | 120 | 1,13 | 1,44 | 1,87 |
|  | 107 | 107 | 0,9 | 1,14 | 1,49 |
|  | 91 | 91 | 0,65 | 0,83 | 1,08 |
|  | 51 | 51 | 0,2 | 0,26 | 0,34 |

Tabella 3.2.2 - Misure dei piani con le rispettive aree di quadratura maggiorate del 30% rispetto all'area di quadratura standard.

Come si vede dalla Fig. 3.2.4, una lastra viene acquistata interamente, ma solo da una parte di essa si potranno ricavare piani per l'arredamento (cerchiata in rosso). Il resto della lastra non viene utilizzato perché il materiale non risponde alle specifiche tecniche del committente.




Figura 3.2.4 – Materiale acquistato per la misura effettiva del tavolo ricavabile cerchiato in rosso. Misura della lastra: 1500x1500 mm.

Questi piani vengono contrassegnati al momento dell'acquisto direttamente sulle lastre (Fig.3.2.5 e 3.2.6) mediante sagome in legno (dima) già predisposte per disegnare la forma del tavolo direttamente sulla porzione utile della lastra.



Figura 3.2.5 - Sistemazione della dima su una lastra per cercare di ricavare un tavolo.




Figura 3.2.6 – Lastra acquistata secondo la modalità a misura in base ai piani ricavabili. In rosso il piano ricavabile che rispecchia le specifiche del committente. Nella parte sinistra le caratteristiche estetiche del materiale non rispecchiano le specifiche tecniche e quindi il materiale non verrà utilizzato. Misura della lastra: 1700x1350 mm.

Solitamente in un blocco si possono ricavare più modelli di piani e/o tavoli: di seguito mostreremo come nelle lastre ricavate da uno stesso blocco possono cambiare "il disegno" e il colore del marmo. Le foto seguenti (dalla Fig.3.2.7 alla Fig.3.2.9) sono relative all'acquisto del marmo "Calacatta Vagli". Nelle lastre sono stati contrassegnati i tavoli ricavabili rispecchiando le specifiche del committente.



Figura 3.2.7 – Lastra di "Calacatta Vagli": in rosso sono segnati i piani ricavabili che rispecchiano le specifiche del committente. Misura della lastra: 2900x1780 mm.



Figura 3.2.8 – Lastra di “Calacatta Vagli”: in blu sono segnati i piani ricavabili che rispecchiano le specifiche del committente. Misura della lastra: 2900x1780 mm.

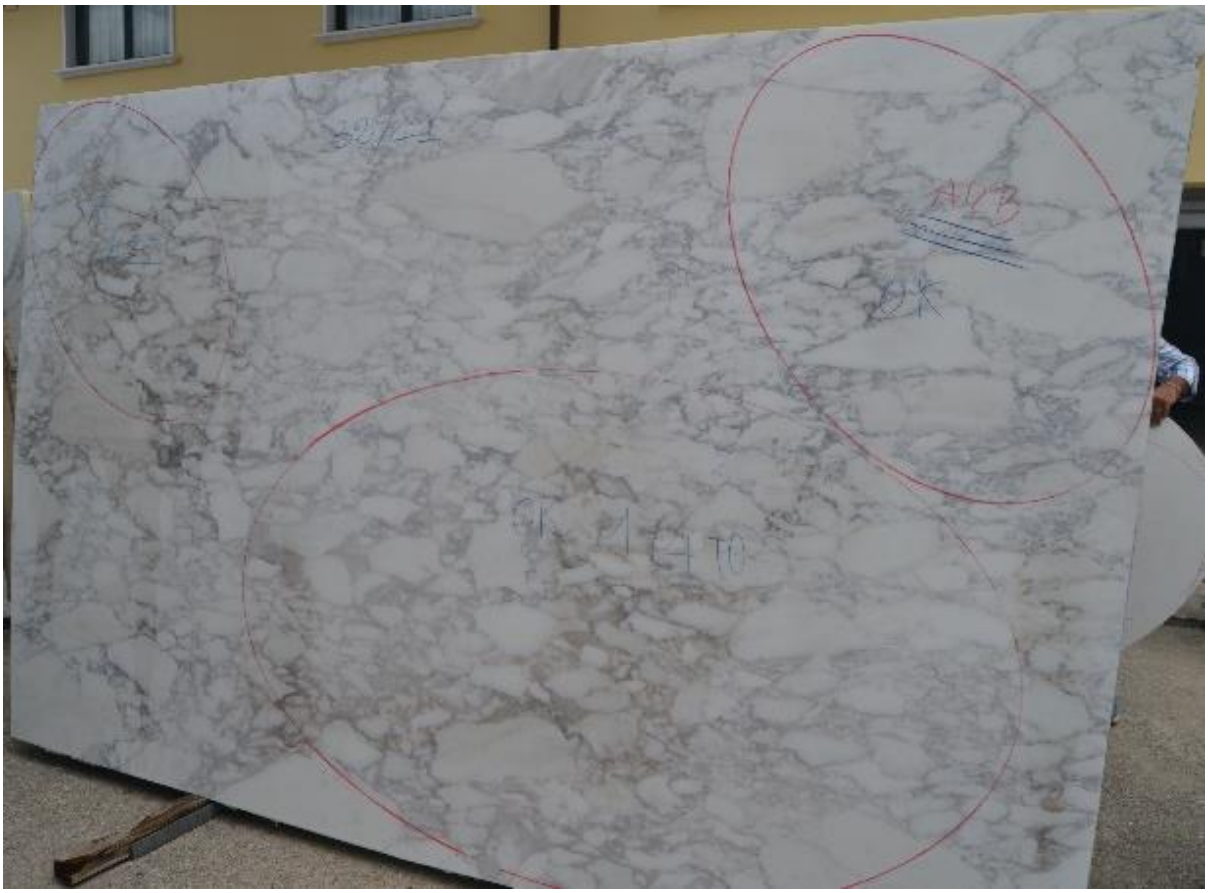


Figura 3.2.9 – Lastra di “Calacatta Vagli”: in rosso sono segnati i piani ricavabili che rispecchiano le specifiche del committente. Misura della lastra: 2900x1780 mm.

**c) Acquisto del blocco a peso**

Quando l'intero blocco presenta caratteristiche simili in tutte le lastre (il colore di fondo è uniforme, le venature mostrano lo stesso spessore e lo stesso disegno, non vi sono rotture o imperfezioni che ne possano precludere la lavorazione), e le specifiche tecniche del committente sono rispettate, se le lastre sono molto numerose e presentano grandi dimensioni, allora l'intero blocco viene acquistato per il suo peso.

In uno stesso blocco, a seconda delle dimensioni, si possono avere più pastelli, che sono costituiti dall'insieme di lastre (circa 8-10). I pastelli hanno più o meno le stesse caratteristiche estetiche, lo stesso colore e lo stesso "disegno". Questa tecnica d'acquisto risulta molto conveniente, in particolare per due tipologie di materiali lapidei che tratteremo come esempio più avanti, denominati commercialmente "Arabescato Vagli" e "Calacatta Vagli". Quando si acquista a peso, di solito si ha uno scarto di materiale relativamente basso (al di sotto del 20%). Come viene mostrato in Fig. 3.2.10, da ogni singola lastra si ricavano principalmente modelli di tavoli di grandi dimensioni, per poi ottenere modelli più piccoli in modo da avere uno scarto conveniente sui $m^2$ acquistati.

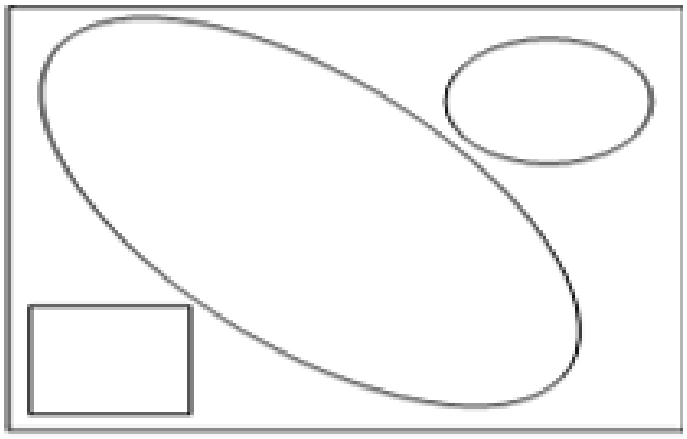


Figura 3.2.10 – Esempio di modelli di tavoli ricavabili da una lastra per ottimizzare lo scarto durante l'acquisto a peso.

Si acquista a peso quando vengono generalmente soddisfatte le seguenti condizioni:

$$A < B$$

Dove A = Peso del blocco (in tonnellate) x 12,22;

$B = \sum m^2$ delle singole lastre

Il peso del blocco espresso in tonnellate va moltiplicato per un "coefficiente di peso" (12,22) che rappresenta indicativamente "quanti metri quadri corrispondono ad una tonnellata di marmo spesso 2 cm con uno scarto di materiale del 30%". Questo coefficiente è stato calcolato in base ad accordi stipulati con tra fornitori, azienda e committenti. Conosciute le misure totali di ogni singola lastra, se il peso del blocco moltiplicato per

il coefficiente è minore della somma dei metri quadri totali delle lastre, allora risulta conveniente l'acquisto del blocco a peso. Un esempio è riportato nella Tabella 3.2.3.

| Peso del blocco (t) | Coeff. Peso ($m^2$/t) | A ($m^2$) | Numero di lastre ricavate da un blocco | Lunghezza di una lastra (mm) | Larghezza di una lastra (mm) | $m^2$ di una singola lastra | B ($m^2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22,1 | 12,22 | **270,06** | 62 | 2950 | 1600 | 4,72 | **292,64** |
| 37,5 | 12,22 | **458,25** | 78 | 3200 | 1900 | 6,08 | **474,24** |
| 18,5 | 12,22 | **226,07** | 37 | 3200 | 1950 | 6,24 | **230,88** |

Tabella 3.2.3 - Esempio di calcolo di acquisto a peso di alcuni blocchi di "marmo". Il peso del blocco espresso in tonnellate dipende dalle sue dimensioni e dalla densità del materiale.

## 3.3 Alcuni esempi di acquisto specifici per particolari materiali lapidei

Come già detto, il nome commerciale di un materiale lapideo (di solito, ma non sempre) deriva dal colore di fondo del materiale e/o dalla località estrattiva (es. "Rosso Collemandina", "Giallo Siena", "Verde Alpi"). In alcuni casi si possono trovare, in uno stesso blocco o in una stessa lastra, varietà merceologiche differenti che appartengono ad una stessa formazione geologica che è caratterizzata da una certa variabilità nello spazio, come nel caso dei marmi di Carrara. In Fig. 3.3.1 è riportato uno schema stratigrafico di come possono variare nello spazio le diverse tipologie commerciali dei marmi di Carrara. Il nome commerciale quindi può non rispecchiare il termine petrografico del materiale lapideo.

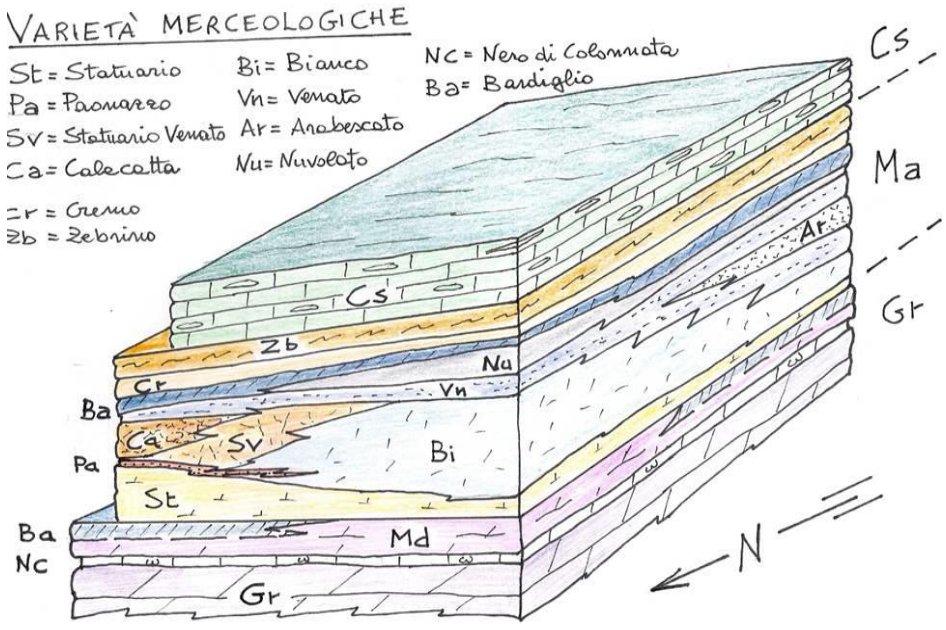



Fig. 3.3.1 - Schema stratigrafico dei marmi di Carrara (Mancini e Criscuolo - "Carrara Marmotec 2016"). Variazione nello spazio delle diverse tipologie commerciali.

## 3.3.1 “Calacatta Venato”

**Modalità d’acquisto:** essendo utilizzato da numerosi committenti, risulta conveniente cercare di acquistare sempre i blocchi a peso, privilegiando quelli di grandi dimensioni. Non sempre però, la qualità richiesta dai vari committenti viene rispettata dai fornitori: per non trovarsi in carenza di materiale, è consigliabile acquistare le lastre anche quando il materiale non è richiesto dalla produzione, in modo da sopperire a future richieste quando ad esempio le cave non sono operative (periodo invernale). Per il “Calacatta Venato” nel mondo dell’arredamento vengono utilizzate tutte le tipologie di finiture descritte precedentemente. In alcuni casi, per urgenze legate ai tempi di consegna, è preferibile far satinare o lucidare le lastre direttamente dal fornitore: da uno stesso blocco si potranno avere lastre con finiture diverse tra di loro. Per esempio su un blocco composto da 80 lastre, 10 saranno fatte lucidare a sale, 20 subiranno la finitura satinata (Fig.3.3.1.1), mentre per le restanti sarà eseguito il processo di levigatura.

**Verifica della rispondenza rispetto ai requisiti del cliente (criteri di non accettazione):**

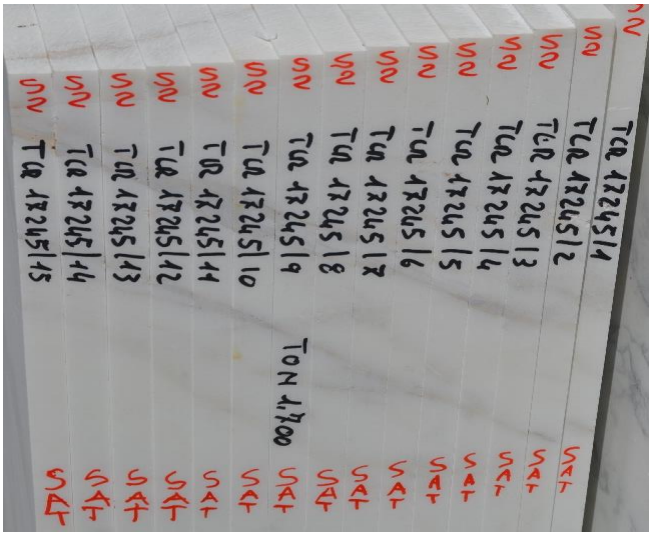



Fig. 3.3.1.1 - Lastre di “Calacatta Venato” (nr. 15) fatte satinare direttamente dal fornitore. In nero viene riportato il numero progressivo delle lastre corredato da nome e numero di riferimento del blocco (TCR 17245/1, TCR 17245/2, ecc..), il peso del blocco espresso in tonnelate (1,7 t); la scritta in rosso indica il tipo di finitura (in questo caso SAT sta per satinatura).

Di seguito (Fig. 3.3.1.2) vengono presentati differenti varietà di “disegno” che si possono rinvenire nelle lastre di “Calacatta Venato” durante i collaudi di acquisto.

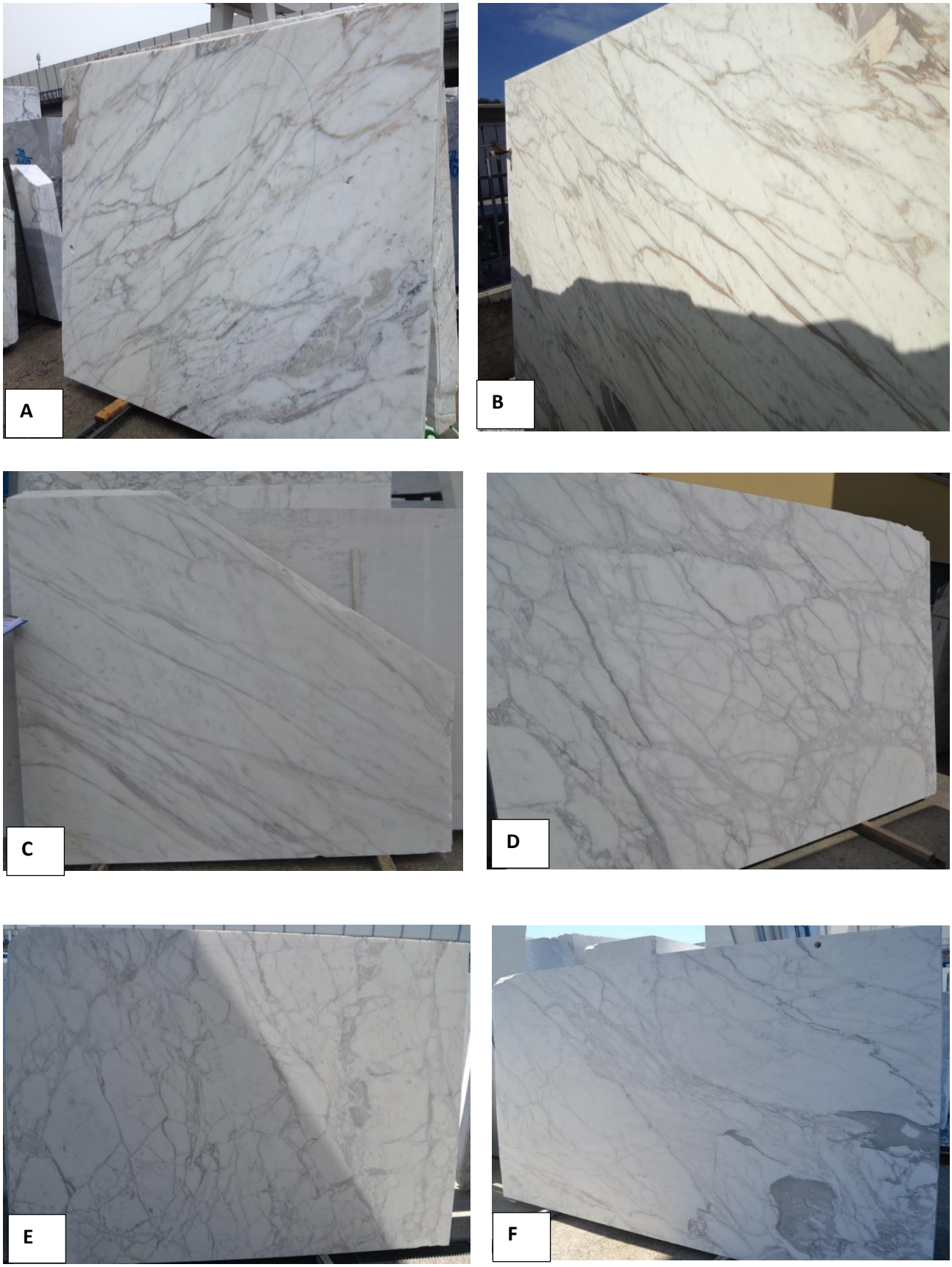



Fig. 3.3.1.2 – Aspetti macroscopici diversi con cui si può rinvenire il “Calacatta Venato”. Misure delle lastre: A)2700X1800 mm, B)2800x1800 mm, C)1200x1200 mm, D)2900x1750 mm, E)3000x1800 mm F)3100x1700 mm.

## 3.3.2 “Calacatta Vagli”

**Modalità d’acquisto:** questo materiale è rifornito esclusivamente per un unico committente. In base a quanto detto, e tenendo conto delle specifiche tecniche, questo materiale può essere acquistato sia a peso che a misura in base ai piani ricavabili. Le difficoltà incontrate sono dovute alla qualità delle lastre, intesa come “disegno” del marmo. È consigliabile quindi visionare le lastre durante le fasi di acquisto insieme al committente attraverso collaudi congiunti, onde evitare contestazioni. In molti casi infatti, vengono acquistate lastre soltanto per i piani ricavabili, e ciò comporta un costo ed uno scarto maggiore di materiale.
**Verifica della rispondenza rispetto ai requisiti del cliente (criteri di non accettazione):** nelle immagini delle Fig. 3.3.2.1 e 3.3.2.2 si possono osservare le variazioni tessiturali che può presentare il marmo “Calacatta Vagli”, con le differenti modalità di acquisto.




Fig. 3.3.2.1 - Lastra di “Calacatta Vagli” acquistata secondo la modalità a misura per piani ricavabili, in rosso il modello del piano. Misura del piano in rosso: 1980 x 1210 mm.

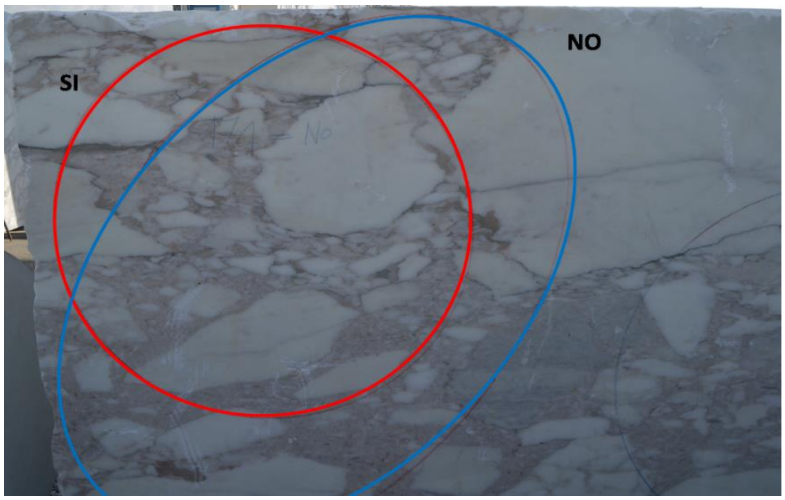



Fig. 3.3.2.2- Lastra di “Calacatta Vagli” acquistata a misura in base ai piani ricavabili. In rosso il piano che verrà sezionato (Ø = 1200 mm); in blu il disegno del tavolo (1980 x 1210 mm) che non rispecchia le specifiche del committente.

### 3.3.3 “Arabescato Vagli”

**Modalità d’acquisto:** questo materiale risulta essere esclusivo soltanto per un committente, e in questo caso è conveniente la modalità di acquisto a peso. In alcune situazioni però, le lastre non rispettano pienamente le specifiche del committente (Fig.3.3.3.1) e quindi si può procedere all’acquisto secondo la tipologia a misura in base ai piani ricavabili. Vanno preferite le lastre di grandi dimensioni (in alcuni casi sono richiesti anche manufatti fino a 3000 mm di lunghezza), e solitamente il marmo “Arabescato Vagli”, a causa dei numerosi modelli di tavoli ricavabili risulta avere uno scarto di materiale molto basso.

**Verifica della rispondenza rispetto ai requisiti del cliente (criteri di non accettazione):** nelle foto successive viene mostrata la variabilità tessiturale con cui si possono presentare le lastre di “Arabescato Vagli”.




Fig. 3.3.3.1 – Lastra di “Arabescato Vagli” acquistata a misura in base ai piani ricavabili. In nero possibili modelli di tavoli. Si noti come con questa modalità di acquisto ci sia uno scarto di materiale elevato.



Fig.3.3.3.2 – Lastra di “Arabescato Vagli” acquistata a peso. Misura della lastra 2800x1800 mm.

### 3.3.4 Particolari modalità di acquisto per variazioni tessiturali in una stessa lastra

Abbiamo già precedentemente spiegato che per la variabilità spaziale, si possono trovare, in uno stesso blocco o in una stessa lastra, varietà merceologiche differenti che però appartengono alla stessa formazione geologica (Fig. 3.3.4.1). In particolar modo questa situazione si verifica per le tre tipologie commerciali di "Calacatta Venato", "Calacatta Vagli" e "Arabescato Vagli" quando ci sono repentine variazioni tessiturali e di colore delle venature (Fig.3.3.4.1, Fig. 3.3.4.2, Fig. 3.3.4.3).

**Esempio nr. 1** – "Arabescato Vagli" e "Calacatta Venato"

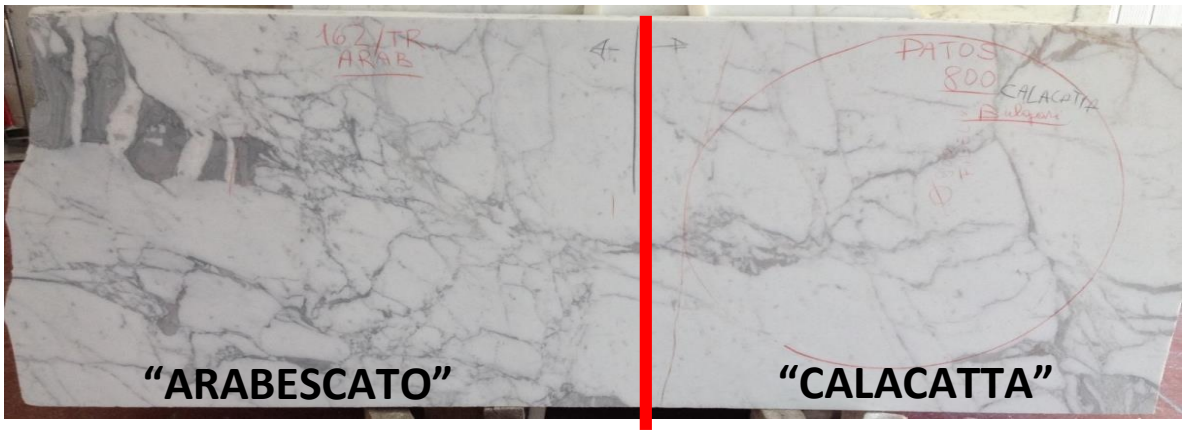



Fig. 3.3.4.1- Lastra di "Arabescato Vagli" e "Calacatta Venato"; venature centimetriche grigie (a sinistra) e venature millimetriche color oro a destra. Misura della lastra: 1850 x 950 mm.

**Esempio nr. 2** – "Calacatta Vagli" e "Arabescato Vagli"

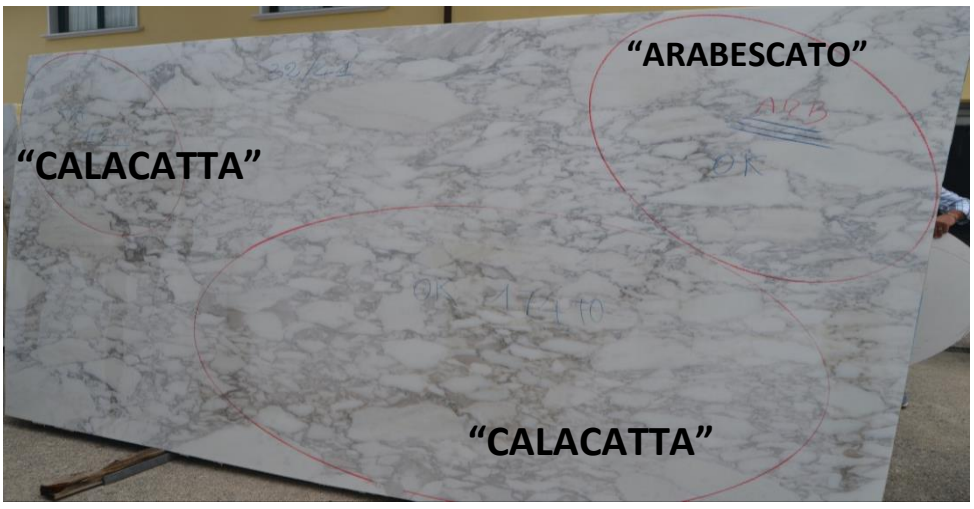



Fig. 3.3.4.2 - Lastra di "Calacatta Vagli" e "Arabescato Vagli". In alto a destra viene ricavato un modello di tavolo con le specifiche tecniche dell'"Arabescato Vagli". Il resto della lastra viene considerato commercialmente come "Calacatta Vagli". Misura della lastra: 2900x1780 mm.

**Esempio nr. 3** – “Calacatta Venato” e “Calacatta Vagli”

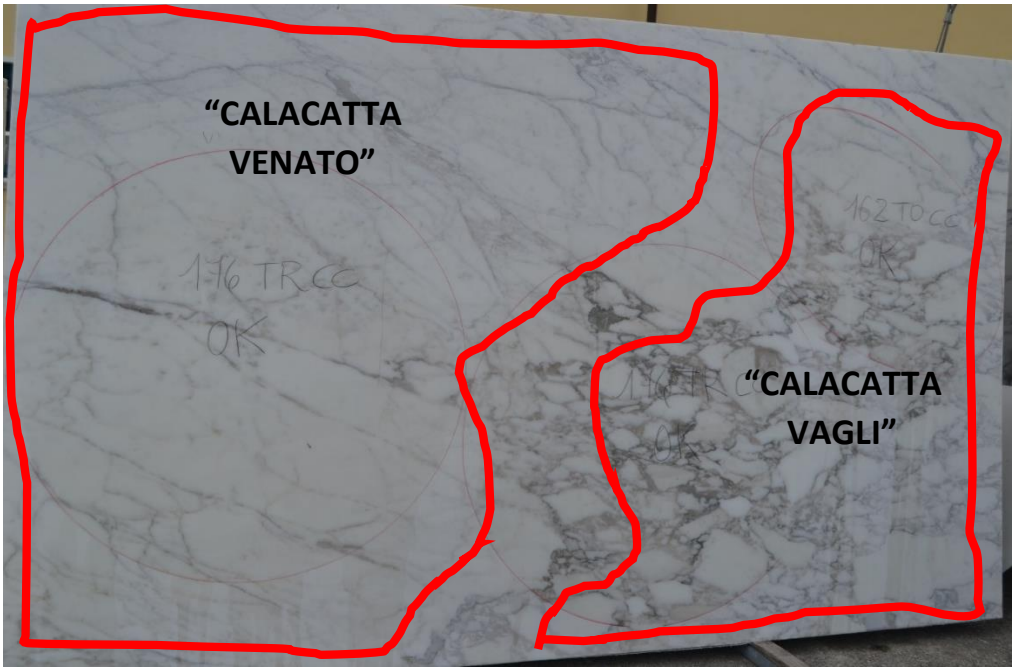



Fig. 3.3.4.3 – Lastra di “Calacatta Venato” e “Calacatta Vagli” che mostra un disegno più brecciato a destra (varietà merceologica del “Calacatta Vagli”) rispetto alla parte sinistra che presenta invece venature più sottili con colore di fondo più bianco (“Calacatta Venato”). Misura della lastra: 2900x1780 mm.

## 3.3.5 “Bianco Carrara”

**Modalità d’acquisto**: solitamente questo materiale viene acquistato con la modalità a misura commerciale. È importante conoscere preventivamente le specifiche tecniche dei vari committenti in modo da selezionare le lastre nel miglior modo possibile rispettando le caratteristiche del materiale, onde evitare contestazioni finali. Le lastre di questo materiale presentano spessori variabili da 2 a 3 fino 4 cm, sulle quali possono essere eseguiti tutti i tipi di lavorazione: dalla levigatura alla satinatura, fino alla lucidatura a sale. In casi di urgenza o di esigenze particolari, come forniture speciali o arredamenti stile contract (il contract è principalmente una fornitura di arredamento completo per alberghi che prevede complementi rispondenti a precise esigenze tecniche ed estetiche) le lastre vengono fatte satinare o lucidare a sale direttamente dai fornitori. Nella maggior parte dei casi invece è l’azienda produttrice ad applicare i trattamenti per le differenti finiture (dalla satinatura alla lucidatura a sale) una volta che verranno sezionati e lavorati i diversi piani.

**Verifica della rispondenza rispetto ai requisiti del cliente (criteri di non accettazione):** di seguito viene riportata una serie di foto (da Fig. 3.3.5.1 a Fig. 3.3.5.3) delle varietà di “Bianco Carrara” acquistato a misura commerciale dai vari fornitori.



Fig. 3.3.5.1 – Lastra di “Bianco Carrara” in cui si evidenzia in basso a sinistra il colore grigio (cerchiato in giallo) rispetto al colore di fondo bianco - azzurognolo. In questo caso le lastre verranno acquistate tenendo conto di questo “difetto” non accettato dal committente.



Fig. 3.3.5.2 – Lastre di “Bianco Carrara” acquistate interamente per la loro misura commerciale: in questo caso la superficie totale coincide con la superficie d’acquisto. Misura delle lastre: 3000x1700 mm.



Fig. 3.3.5.3 – “Bianco Carrara”: in questo caso le lastre sono acquistate a misura commerciale, tenendo conto degli aloni-macchie gialle nella parte sinistra (evidenziate con le frecce in giallo).

## 3.3.6 “Statuarietto”

**Modalità d’acquisto:** anche questo materiale viene acquistato secondo la modalità a misura commerciale. I blocchi presentano un’altezza massima di 2000 mm, e possono arrivare fino a 3200 mm di lunghezza. Le lastre di grandi dimensioni vanno acquistate e selezionate con cura, perché i piani/tavoli prodotti arrivano anche fino a 3000 mm di lunghezza, mentre alcuni hanno un diametro fino a 1800 mm. Per non trovarsi privi di materiale è consigliabile utilizzare le lastre di grandi dimensioni esclusivamente per queste tipologie di tavoli. Nei manufatti prodotti non sono ammessi “difetti” come stuccature troppo evidenti o presenza di macule giallo-arancio.

**Verifica della rispondenza rispetto ai requisiti del cliente (criteri di non accettazione):** le foto seguenti (Fig.3.3.6.1 e 3.3.6.2) mostrano come il marmo “Statuarietto” sia uno dei materiali di maggior pregio degli areali estrattivi di Carrara per il suo colore bianco latteo.



Fig.3.3.6.1 – Lastra di “Statuarietto” con il fondo color bianco latteo.

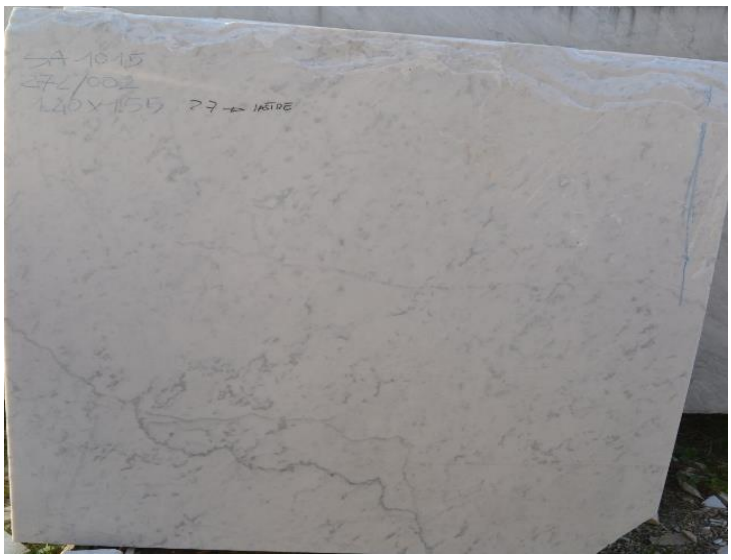
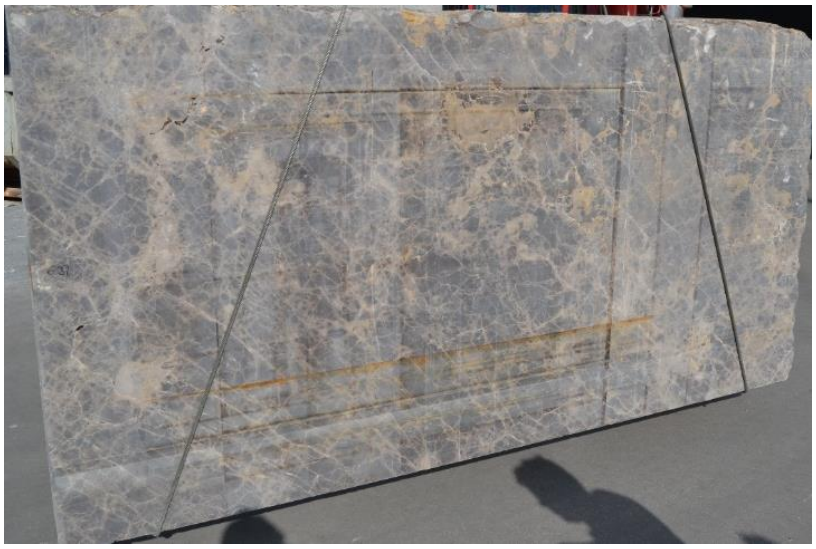


Fig.3.3.6.2– Lastre di “Statuarietto” con venature millimetriche. Misure delle lastre: 1400x1550

## 3.3.7 “Dark Emperador”

**Modalità d’acquisto:** durante l’acquisto di questo materiale, che avviene solitamente a misura commerciale, bisogna porre attenzione sia al colore di fondo, sia alla presenza di fessure-fratture e venature troppo differenti rispetto al colore di fondo.

**Verifica della rispondenza rispetto ai requisiti del cliente (criteri di non accettazione):** le lastre riportate in Fig. 3.3.7.1 e Fig. 3.3.7.2 presentano caratteristiche tecniche ed estetiche conformi alle specifiche dei vari committenti: un colore di fondo accettabile ed uniforme e venature non troppo spesse, con presenza quasi nulla di fratture-fessure.



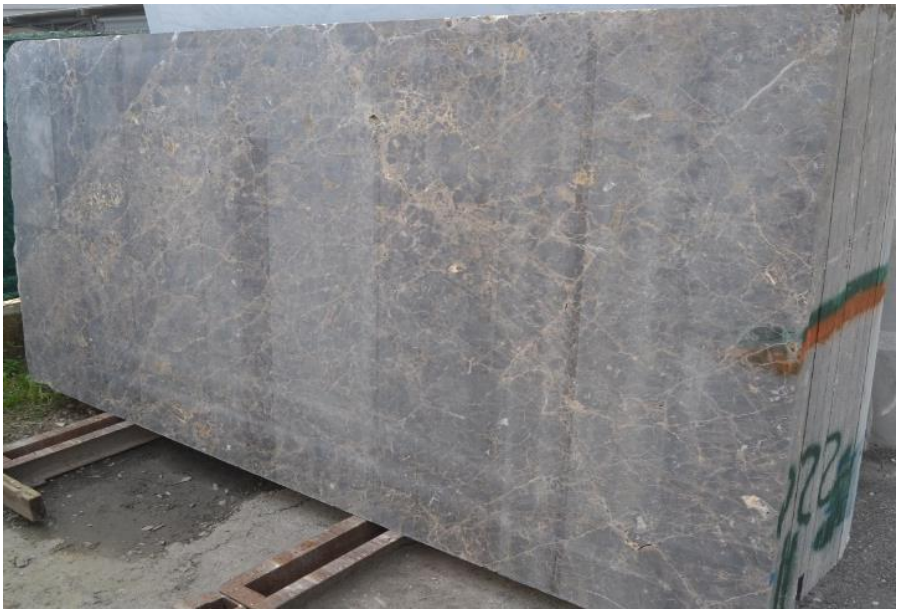


Fig. 3.3.7.1 e 3.3.7.2 – Lastre di “Dark Emperador”: colore di fondo accettabile ed uniforme e venature non troppo spesse; presenza quasi nulla di fratture-fessure. Misure delle lastre 2750x1680 mm.

Le Fig. 3.3.7.3 e 3.3.7.4 mostrano invece fessure-fratture e venature abbastanza evidenti che potrebbero creare problemi durante la lavorazione.

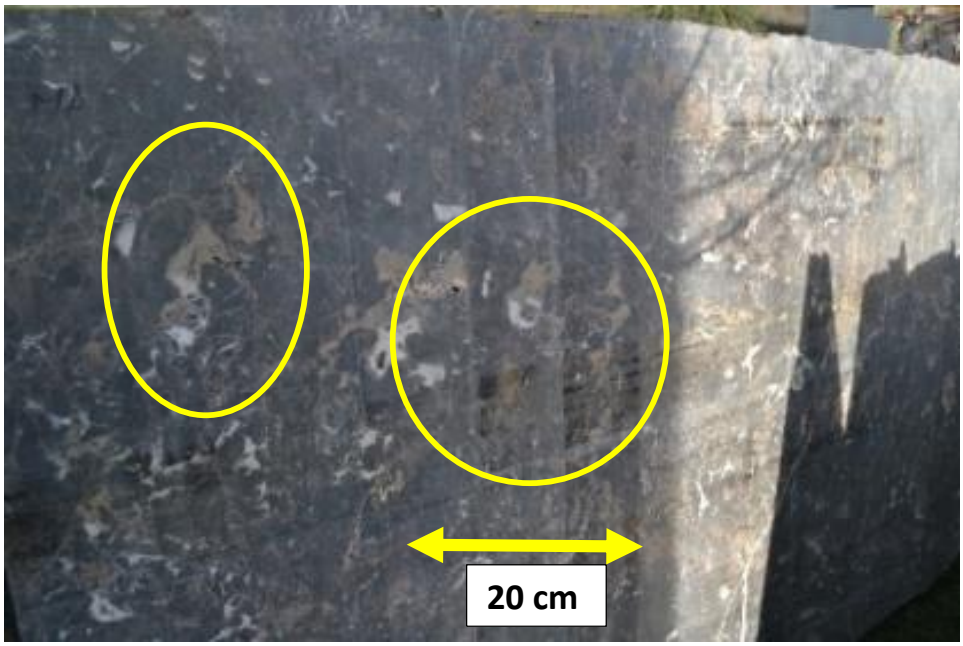



Fig. 3.3.7.3 – Lastra di "Dark Emperador": il colore di fondo è accettabile ed uniforme; in questo caso le venature e le fessure sono persistenti ed evidenti (cerchiate in giallo) e questo creerà problemi durante la lavorazione di finitura manuale (stuccatura).

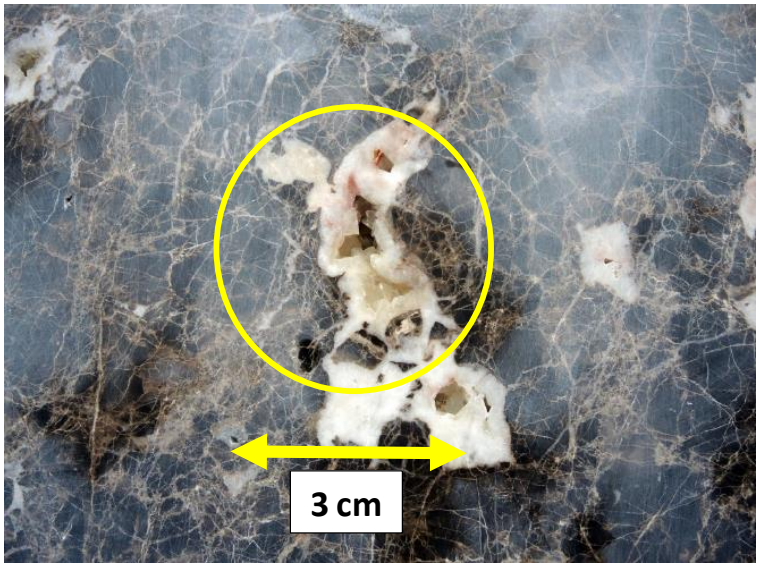



Fig. 3.3.7.4 – Particolare su una lastra di "Dark Emperador": fratture-fessure beanti costituite da cristalli di calcite e dolomite. In questo caso si procederà con l'operazione di stuccatura per risolvere il problema.

## 3.3.8 “Nero Marquinia”

**Modalità d’acquisto:** le problematiche riscontrate quando si procede all’acquisto di questo “marmo” a misura commerciale possono essere le seguenti:

- macchie o macule grigie diverse dal colore di fondo (Fig. 3.3.8.1). In alcuni casi, sia durante le fasi di acquisto che durante la fase di sezionatura delle lastre, è consigliabile bagnare le lastre con acqua per mettere in risalto queste peculiarità;
- presenza e persistenza troppo evidente di fossili o microfossili (Fig. 3.3.8.2). Nelle specifiche tecniche dei vari committenti queste caratteristiche intrinseche del materiale non devono essere presenti; i tavoli e i manufatti prodotti devono mostrare un colore di fondo nero uniforme; i microfossili non devono essere troppo visibili;
- presenza troppo evidente di fratture-fessure.

Alcuni committenti preferiscono il colore di fondo nero uniforme con presenza di venature anche fino a 1-2 cm, mentre altri prediligono il fondo nero con venature poco evidenti. Le lastre misurano fino a 3200 mm di lunghezza e 2000 mm di larghezza. Anche in questo caso è consigliabile utilizzare lastre di grandi dimensioni esclusivamente per le tipologie di tavoli più grandi. Oltre a manufatti di spessore standard, si possono acquistare anche lastre di spessore di 3 o 4 cm.

**Verifica della rispondenza rispetto ai requisiti del cliente (criteri di non accettazione):**

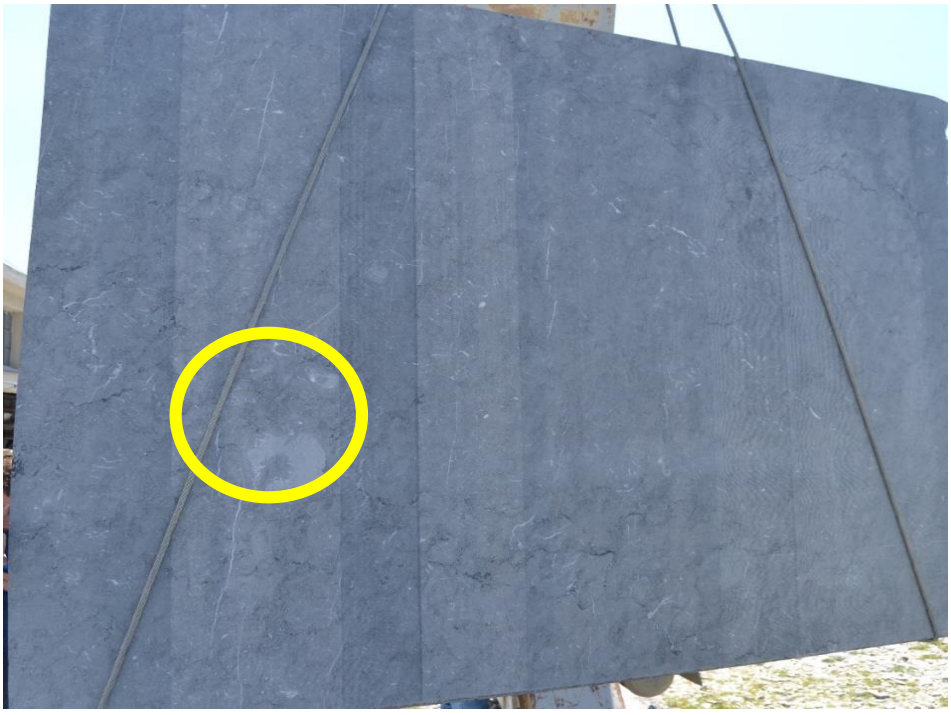


Fig. 3.3.8.1– Lastra di “Nero Marquinia” con colore di fondo nero uniforme; cerchiato in giallo macule o macchie grigie non accettate dai committenti per i manufatti prodotti. Misura della lastra: 2900x1750 mm.

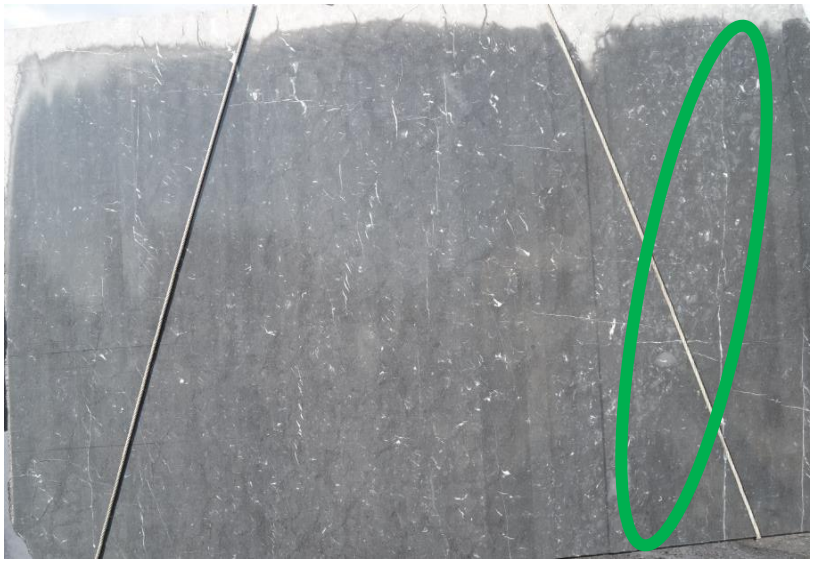


Fig. 3.3.8.2 – Lastra di “Nero Marquinia” caratterizzato da evidente persistenza di microfossili di colore bianco-grigio nella parte destra della lastra (cerchiata in verde). Misura della lastra: 2800x1700 mm.

## 3.3.9 “Rosso Rubino Venato” o “Rosso Levanto”

**Modalità d’acquisto:** questo “marmo” è esclusivo solamente per un committente, presenta caratteristiche estetiche uniche e commercialmente sono preferite le lastre con colore di fondo rosso predominante sul colore verde. La modalità a misura commerciale è quella più utilizzata e le lastre arrivano a misurare fino a 3200 mm di lunghezza per una larghezza fino a un massimo di 1800 mm. Il materiale presenta una discreta reperibilità: si consiglia di utilizzare le lastre per tipologie di tavoli congrui con le dimensioni delle lastre, in modo da ottimizzare ed avere lo scarto più basso possibile.

**Verifica della rispondenza rispetto ai requisiti del cliente (criteri di non accettazione):** di seguito si mostra l’ampia variabilità tessiturale e cromatica del “Rosso Rubino Venato” (Fig. 3.3.9.1).



Fig. 3.3.9.1– Lastre di “Rosso Rubino Venato”; a destra presenza di venature bianco traslucide evidenti, a sinistra aspetto abbastanza uniforme. Misure delle lastre: 3000x1600 mm.

## 3.3.10 “Verde Alpi”

**Modalità d’acquisto:** questo materiale è solitamente acquistato secondo la modalità a misura commerciale, con misure fino 3200 mm di lunghezza. Le problematiche riscontrate durante l’acquisto di questo materiale lapideo sono le seguenti:

- colore di fondo non uniforme (clasti di colore verde scuro troppo grandi; Fig. 3.3.10.1);
- presenza di fratture troppo evidenti (Fig. 3.3.10.2);
- venature bianche molto presenti e persistenti.

**Verifica della rispondenza rispetto ai requisiti del cliente (criteri di non accettazione):**

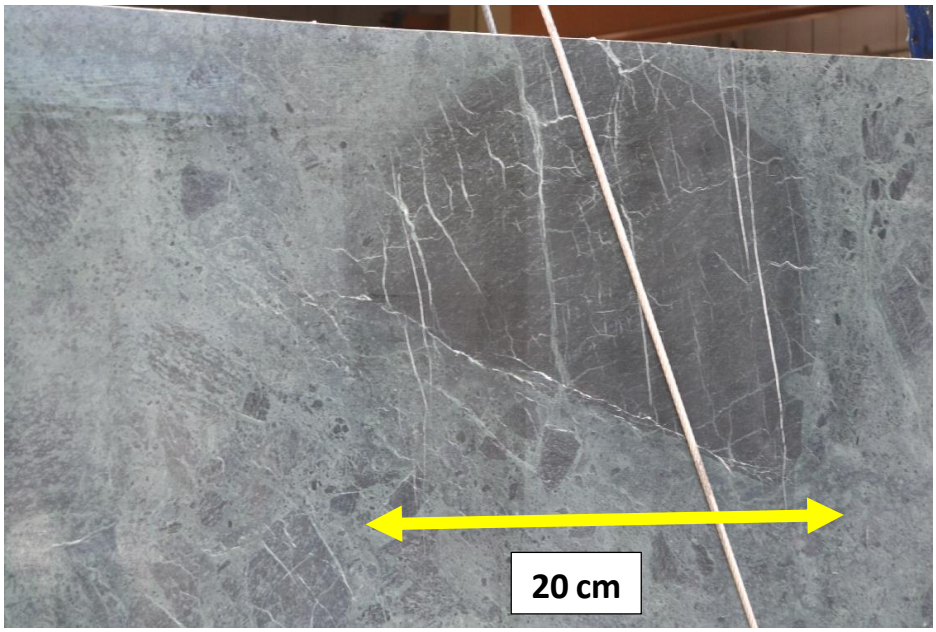



Fig. 3.3.10.1- Lastra di “Verde Alpi” con fondo verde chiaro e grossi clasti spigolosi di colore verde scuro.



Fig. 3.3.10.2– Lastra di “Verde Alpi” che presenta fratture e fessure evidenti. Misura della lastra: 2900 x 1750 mm.

## 3.3.11 “Grigio Roma”

**Modalità d’acquisto:** le specifiche più richieste per questo materiale sono colore di fondo il più grigio ed uniforme possibile, assenza di macchie e/o aloni di colore giallo-marrone, le venature devono essere poco marcate e sottili. Le dimensioni dei tavoli prodotti con questo materiale presentano sia forme rettangolari, (1700x900 mm), che rotonde con un diametro di 1300 mm. È consigliabile in questo caso bagnare le lastre durante le fasi di acquisto, per esaminare al meglio i possibili “difetti” presenti: non sono ammesse stuccature troppo evidenti, quindi bisogna evitare che il materiale sia fratturato. Solitamente le lastre possono essere rifinite (satinatura) direttamente dal fornitore.

**Verifica della rispondenza rispetto ai requisiti del cliente (criteri di non accettazione):**



Figura 3.3.11.1 – Lastra di “Grigio Roma” con colore di fondo uniforme e venature poco evidenti. Misura della lastra: 1500x2600 mm.



Figura 3.3.11.2 – Lastra di “Grigio Roma”: in questo caso la superficie è stata bagnata per evidenziare eventuali “difetti” (colore, fratture, macchie). Misura della lastra: 1500x2800 mm.

## 3.3.12 “Portoro”

**Modalità d’acquisto:** le difficoltà incontrate nell’acquisto delle lastre di questo materiale (con modalità a misura commerciale) sono rappresentate oltre che dalla scarsa reperibilità, anche da:

- aspetto e “disegno” delle lastre; generalmente sono richiesti tavoli e manufatti con venature di colore oro in prevalenza rispetto a quelle da bianco a rossastre. È evidente che se nei manufatti di piccole dimensioni questo può essere rispettato, in quelli di grandi dimensioni, che raggiungono al massimo 1400 mm di diametro, tale specifica tecnica richiesta può risultare difficile da soddisfare. È importantissimo quindi selezionare al meglio le lastre, cercando le caratteristiche estetiche richieste dai committenti;
- ridotta grandezza dei blocchi, i manufatti ricavati hanno quindi una misura che non supera i 1500 mm di diametro.

**Verifica della rispondenza rispetto ai requisiti del cliente (criteri di non accettazione):** di seguito sono riportate le immagini relative alla variabilità delle lastre di “Portoro” (Fig. 3.3.12.1 e 3.3.12.2).

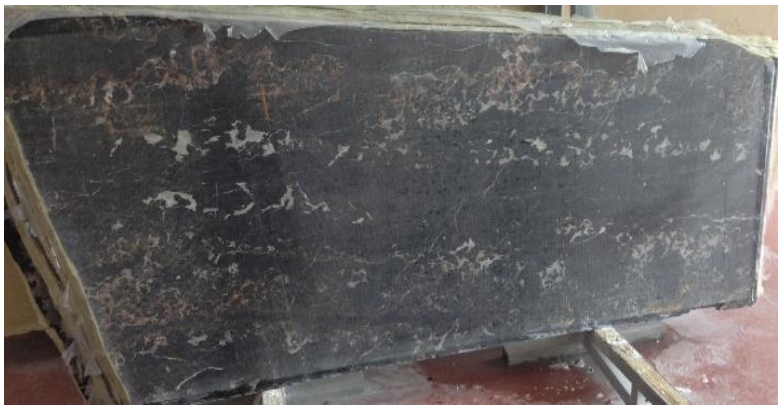


Figura 3.3.12.1 – Lastre di “Portoro” con venature bianco traslucido e venature dorate. Misura delle lastre: 1850x950 mm.



Figura 3.3.12.2 – Variabilità delle macule e venature da centimetriche a millimetriche osservabile in lastre di “Portoro”: a sinistra macule e venature da bianco-rosate fino a dorate su colore di fondo nero; al centro macule e venature da arancio fino a dorate su colore di fondo nero; a destra venature dorate millimetriche su colore di fondo nero.

### 3.3.13 “Sahara Noir”

**Modalità d’acquisto:** il “Sahara Noir” presenta numerose problematiche durante l’acquisto, che sono le seguenti:

- le dimensioni dei blocchi sono molto variabili, con valori massimi, riscontrati fino ad ora nei collaudi, di 2700x1600 mm;
- variabilità della disposizione e del “disegno” delle venature; vanno sempre prese in considerazione le diverse specifiche dei committenti. In alcuni casi sono ammesse venature spesse anche fino a qualche cm e di colore diverso, mentre in altri casi le venature non devono superare il centimetro di larghezza. Se per i piani/tavoli piccoli questa richiesta può essere rispettata, per i manufatti di grandi dimensioni risulta in alcuni casi difficoltosa;
- può verificarsi di dover selezionare dei blocchi ancor prima di essere sezionati. In questo caso vanno preferiti quelli di grandi dimensioni e con molte venature. Non sempre quest’ultima caratteristica risulta visibile sul blocco grezzo.

**Verifica della rispondenza rispetto ai requisiti del cliente (criteri di non accettazione):** di seguito sono mostrate diverse caratteristiche delle lastre (Fig. 3.3.13.1).



Figura 3.3.13.1 – Lastre di “Sahara Noir” levigate e retinate: a sinistra sono bagnate con acqua per evidenziare le caratteristiche estetiche come le venature centimetriche da bianco ad arancione; a destra lastra lucidata a sale. Misure delle lastre: 2700x1600 mm.

## 3.4 Considerazioni

In questo capitolo sono state illustrate le problematiche riscontrate durante le fasi di collaudo per acquisto di blocchi e lastre di “marmo” che possono costituire delle linee guida interne all’azienda. In sintesi, quando si acquista un materiale lapideo si devono rispettare le specifiche richieste dal committente, ricordando però che il “marmo” è un prodotto naturale e che quindi mostra una variabilità spaziale dovuta al processo genetico che lo ha formato. Per questo motivo è importante conoscere le peculiarità tessiturali del materiale,

le caratteristiche fisico-meccaniche, le caratteristiche estetiche, la disponibilità e gli areali estrattivi, la grandezza dei blocchi e delle lastre, le lavorazioni e le finiture da eseguire.

Ricordando che in ogni collaudo si verificano problematiche diverse, dovute a molteplici fattori, diventa fondamentale l'esperienza del collaudatore sia per la conoscenza delle innumerevoli varietà commerciali di "marmi", sia per una corretta destinazione d'uso nella selezione più appropriata del materiale lapideo per i diversi committenti.

Queste linee guida rappresentano pertanto un punto di partenza per eventuali aggiornamenti e revisioni che potranno essere effettuate in futuro.

# 4. Principali caratteristiche estetiche dei materiali lapidei ornamentali

In questo capitolo descriveremo le proprietà estetiche dei materiali lapidei, ovvero quelle caratteristiche che prendono in considerazione il pregio ornamentale e decorativo di una roccia come il colore, “il disegno” inteso come tessitura, struttura, dimensione e forma degli elementi costituenti, la grana.
Va inoltre ricordato un altro criterio estetico importante che è costituito dall’insieme di fattori di mercato che ne influenzano il commercio. Ovviamente questo aspetto dipende da designers e architetti che possono promuovere alcuni materiali a discapito di altri, pur presentando caratteristiche fisico-meccaniche scadenti, ma di pregevole natura estetica.

## 4.1 Il colore di fondo

Il colore rappresenta il fattore di maggior importanza nella selezione di un materiale, influenzando il gusto e le scelte dei progettisti. Suddivideremo quindi i materiali in “marmi bianchi”, “marmi verdi”, “marmi neri”, “marmi rosa e rossi”, “marmi grigi”, “marmi marroni” e “marmi beige”, facendo riferimento alla componente cromatica principale che ogni materiale lapideo possiede; caratteristica che è anche fortemente influenzata dal tipo di trattamento utilizzato per la finitura della superficie. Per esempio la lucidatura a sale offre un’ottima esaltazione dei colori nei materiali che hanno una tonalità più scura, come mostrato nelle Fig. 4.1.1. e 4.1.2.



Figura 4.1.1 - Lastra levigata di "Dark Emperador". Misura della lastra 2800x1700 mm



Figura 4.1.2 - Lastra lucidata a sale di "Dark Emperador ". Misura della lastra 2800x1700 mm

Il colore di una roccia si deve a varie cause, sia chimiche che fisiche e il colore di fondo (o dominante) è dovuto alla prevalenza di uno o più minerali, in alcuni casi anche a difetti come distorsioni reticolari (nei “marmi azzurri” i cristalli deformati di calcite conferiscono al materiale un caratteristico colore blu). In altri casi è l’organizzazione tessiturale e strutturale, oltre alla grana, a determinare l’aspetto e il colore. Nella tabella seguente viene riportato il legame tra minerali presenti in una roccia e il colore.

| MINERALI PRESENTI | COLORE DOMINANTE DELLA ROCCIA |
|---|---|
| quarzo, ortoclasio bianco (o altri feldspati), leucite bianca, calcite, dolomite | BIANCO, BIANCASTRO, GRIGIO CHIARO |
| biotite, pirosseno augite, magnetite, ossidi di Mn, grafite, ilmenite, carbonio amorfo, sostanze carboniose | NERO DI INTENSITA' VARIABILE |
| glaucofane, rutilo, sodalite, labradorite, riebeckite, pirite finemente dispersa | BLU, BLUASTRO, GRIGIO SCURO, AZZURRO |
| anfiboli, clorite, pirosseni, talco, epidoti, olivina, serpentino | VERDE DI DIFFERENTE INTENSITA' |
| ematite, ortoclasio rosso (o altri feldspati), ilmenite, ossidi di Mn, granati | ROSSO, ROSSASTRO, PORPORA, AMARANTO, VIOLA |
| sali di Mn, ortoclasio rosa (o altri feldspati), limonite rossa | ROSA, ROSACEO, PORPORA CHIARO |
| limonite (a vari gradi di idratazione dell'ossido di Fe), muscovite | GIALLO DA CHIARO A SCURO, ARANCIONE, BRUNO, MARRONE |

Tabella 4.1.1 – Relazione tra la mineralogia di un roccia e il suo colore (sono riportati solo i minerali principali; Primavori, 1997).

## 4.2 “Il disegno”

“Il disegno” è un parametro molto variabile nei materiali lapidei: viene definito come l’organizzazione spaziale dei componenti e dipende dalla tessitura, dimensioni e forme degli elementi costituenti una roccia. Un esempio è mostrato in Fig. 4.2.1 dove si può notare come in uno stesso blocco di marmo (“Arabescato Vagli”) il verso di taglio andrà a determinare due “disegni” differenti, che potranno essere impiegati dai progettisti per diverse destinazioni d’uso.



Fig. 4.2.1 - Differente “disegno” ricavabile dalla diversa direzione di taglio di un unico blocco di "Arabescato Vagli".

In generale possiamo dividere le tipologie di “disegno” in due gruppi, uno composto da rocce ornamentali omogenee, come i marmi non orientati ed alcuni calcari non stratificati (Fig. 4.2.2, “Crema Marfil”) ed un secondo gruppo composto da tutte le rocce in cui sono apprezzabili le orientazioni, le tessiture, le venature o strutture bandate in generale. “Il disegno” dipende quindi da come viene orientato il taglio del blocco e di come quest’ultimo venga estratto: in questo modo si possono avere differenti varietà commerciali anche dallo stesso materiale.



Fig. 4.2.2 - "Crema Marfil": disegno e colore di fondo omogeneo.

## 4.3 La grana

La grana è un parametro che può influenzare i parametri estetici ma soprattutto le proprietà fisico-meccaniche della roccia e la sua lavorabilità. I marmi cristallini in questo caso ne sono l’esempio migliore: a grana maggiore corrisponde un aspetto mal definito delle venature rispetto alla massa di fondo, mentre a grana minore corrisponde un aspetto più netto delle venature, ovvero una maggior profondità del colore di quest’ultime (Fig. 4.3.1 e 4.3.2). Generalmente ad una grana grossa corrisponde anche una minore resistenza meccanica e maggiore facilità di estrazione. Viceversa, ad una grana fine corrisponde una maggiore compattezza e difficoltà di estrazione e trattamento ma proprietà tecniche migliori.



Fig. 4.3.1 - Marmo a grana grossolana di provenienza greca, "Thassos".



Fig. 4.3.2 - Marmo a grana molto fine "Bianco P" di Carrara.

## 4.4 Difetti dei materiali lapidei

I difetti che possono presentare i materiali lapidei sono di varie tipologie: strutturali, tessiturali e cromatici. Se per quelli strutturali le cause sono da attribuire alla natura del giacimento, come il grado di fratturazione, le discontinuità e le fessure presenti, i difetti tessiturali e cromatici dipendono dalla grana e dalla variazione di forma, oltre che dalla disposizione e concentrazione, dei componenti. Tutte queste caratteristiche estetiche appena descritte devono essere riportate nelle specifiche tecniche dei materiali lapidei utilizzati da S2 S.p.a. In questi documenti vengono racchiuse le informazioni più importanti per i committenti: il colore di fondo del materiale, la disposizione, lo spessore e il colore delle venature, le misure dei blocchi e delle lastre. Uno stesso materiale lapideo quindi, potrà possedere più di una specifica tecnica, a seconda delle richieste dei committenti che lo utilizzano per produrre differenti tipologie di tavoli e/o complementi di arredo. Per esempio, per il materiale lapideo conosciuto con il nome commerciale “Sahara Noir” un committente non accetta che le venature siano più spesse di 3 cm o che siano presenti altre discontinuità con forme diverse troppo evidenti (Fig. 4.4.1); per un altro committente invece questi difetti estetici sono ammessi purché il tavolo sia di dimensioni superiore 800 mm di diametro.



Fig. 4.4.1 – "Sahara Noir": particolare di venature centimetriche non accettate da alcuni committenti.

# 5. Metodi e strumenti utilizzati per la caratterizzazione composizionale e delle proprietà fisico-meccaniche dei materiali lapidei impiegati da S2 S.p.a.

In generale, le rocce ornamentali devono possedere, oltre ai requisiti estetico-qualitativi sopradescritti, dei requisiti tecnici per poter soddisfare le diverse condizioni di utilizzo. Nella produzione di tavoli, come nel nostro caso, lo spessore delle lastre e le dimensioni dei piani dovranno essere progettati in base alla resistenza alla compressione ed alla flessione di ciascun materiale lapideo. Al fine di una corretta caratterizzazione petrografica dei materiali lapidei utilizzati, è stato svolto anche uno studio in sezione sottile al microscopio ottico a luce polarizzata. Per i marmi bianchi provenienti dall'areale estrattivo di Carrara si sono svolte anche analisi al microscopio elettronico a scansione (ESEM - Environmental Scanning Electron Microscope e BSE – BackScattered Electrons), mentre per altri materiali come "Sahara Noir" e "Rosso Rubino Venato" o "Rosso Levanto", sono state eseguite analisi diffrattomertiche (XRD) al fine di conoscere le fasi mineralogiche presenti in maniera più dettagliata. Dal punto di vista fisico-meccanico sono state eseguite le seguenti prove: Point Load Test o prova di punzonamento e test di resistenza alla flessione.

## 5.1 Analisi composizionali: studio in sezione sottile, analisi diffrattometriche (XRD), studio al microscopio elettronico a scansione (ESEM-BSE).

Lo studio in sezione sottile è stato condotto al microscopio ottico a luce trasmessa polarizzata Nikon Opthipot2-Pol presso l'Università degli Studi di Urbino. Sono stati presi in considerazione anche alcuni materiali lapidei che non sono più in produzione da S2 S.p.a. al fine di implementare la banca dati interna dell'azienda. In totale sono stati descritti ed analizzati 27 tipologie diverse di materiali lapidei (Fig. 5.1.1).



Fig. 5.1.1 – Campioni da cui sono state ricavate le sezioni sottili.

L'analisi al microscopio elettronico a scansione, ESEM-BSE Quanta 200 FEI (Università degli Studi di Urbino) ha riguardato i marmi bianchi provenienti dall'areale estrattivo di Carrara ed è stata eseguita su parallelepipedi di 3 x 3 x 1 cm (Fig. 5.1.2), con energia del fascio di elettroni impostata a 30 KeV. Le immagini presentate sono state acquisite in modalità elettroni retrodiffusi (BSE - BackScattered Electron) mentre gli

spettri composizionali dei minerali analizzati sono ottenuti in spettrometria a raggi X utilizzando un rilevatore a dispersione di energia (EDS - Energy Dispersive System).



Fig. 5.1.2 – Campioni utilizzati per analisi all'ESEM-BSE.

Per alcuni materiali come "Sahara Noir" e "Rosso Rubino Venato" ("Rosso Levanto") sono state eseguite anche analisi diffrattometriche ai Raggi X (XRD). Nel primo caso, sono state analizzate le polveri ricavate sia dalla massa di fondo che dalle venature: i risultati ottenuti sono stati successivamente confrontati con con i dati petrografici in sezione sottile e con i dati di letteratura disponibili. Per il "Rosso Rubino Venato" lo studio è stato condotto per verificare ulteriormente la composizione mineralogica delle venature, dopo che queste ultime hanno mostrato, in alcuni manufatti, un'insolita colorazione azzurra dopo le fasi di verniciatura e lucidatura. I dati XRD sono stati ottenuti con un diffrattometro Philips PW1830 con generatore PW3710 e catodo Cu a 30 mA e 40 kV presso l'Università degli Studi di Urbino Carlo Bo (Fig. 5.1.3). Le modalità di acquisizione sono state le seguenti: angolo di 2θ di 5-70 °, passi di 0,02 ° e un passo di scansione di 1 secondo per la composizione di massa.

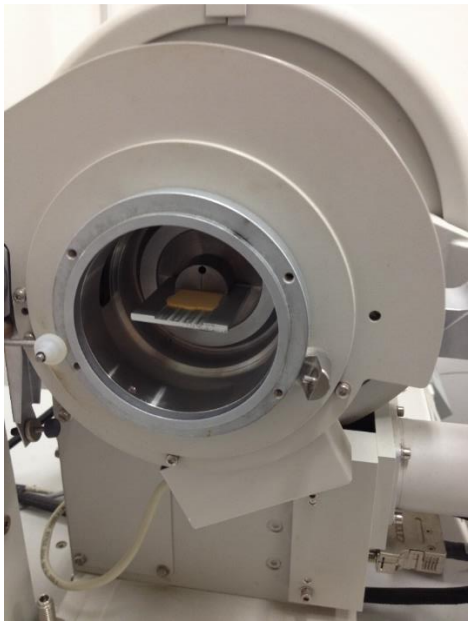


Fig. 5.1.3 – Diffrattometro Philips PW1830 utilizzato per le analisi XRD.

## 5.2 Point Load Test o prova di punzonamento

Il Point Load Test è stato eseguito su 10 provini di ciascun “marmo” utilizzato in azienda secondo le Raccomandazioni ISRM (Oggieri e Ferrero, 1994). I dati che si ottengono da questa prova meccanica possono essere indicativi per la stima di altri parametri di resistenza come la resistenza a trazione e alla compressione monoassiale. La prova fornisce, in realtà, un indice di resistenza al punzonamento Is (MPa) che viene opportunamente ricalcolato nei valori che si otterrebbero su un provino cilindrico di diametro standard D=50 mm (Is50). Questa trasformazione viene sviluppata allo scopo di ottenere valori di resistenza al punzonamento fra loro confrontabili, dal momento che i risultati derivanti dalla prova sono funzione delle dimensioni dei provini. Si è provveduto quindi a fornire una stima della resistenza a compressione monoassiale utilizzando la relazione proposta da Broch e Franklin, 1972. I provini di roccia qui analizzati, dimensionati in base al loro spessore fisso compreso tra 18.8 e 22 mm, sono stati sottoposti ad un carico (P) applicato attraverso 2 punzoni o coni d’acciaio (Fig. 5.2.1) e incrementato uniformemente fino a rottura (espressa in KN). Lo strumento utilizza sia provini con forma irregolare che regolare. Nelle prove eseguite sono stati utilizzati campioni di forma rettangolare con dimensioni medie di circa 20 mm di spessore (D) e 23 mm circa di larghezza (W), come mostrato nelle Fig. 5.2.2 e 5.2.3.



Fig. 5.2.1 - Point Load Test: il provino è posizionato tra due coni d'acciaio.

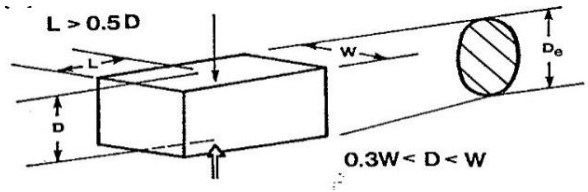



Fig. 5.2.2 - Dimensioni di riferimento per provini utilizzati per il Point Load Test.

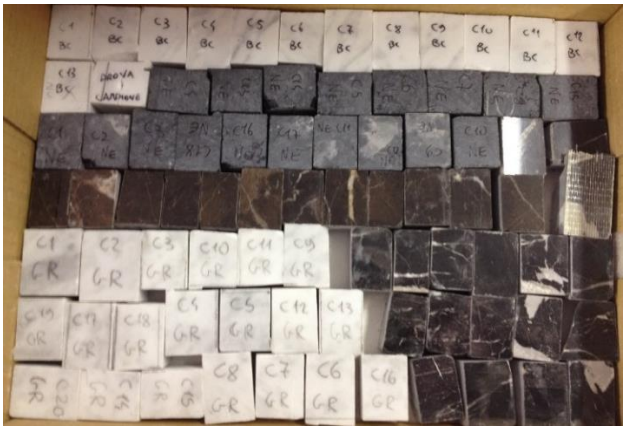


Fig. 5.2.3 – Alcuni provini utilizzati per il Point Load Test.

## 5.3 Prova di resistenza alla flessione

La resistenza alla flessione è la resistenza opposta dai materiali lapidei alle sollecitazioni tendenti ad incurvarli; è una proprietà che permette di eseguire appropriati controlli di stabilità e sicurezza statica su elementi sottoposti a sollecitazione meccanica. Secondo la normativa UNI EN 12371:2010 le dimensioni dei provini su cui eseguire le prove sono le seguenti:

- lo spessore h può essere compreso tra 25 e 100 mm;
- la lunghezza L sarà 6 volte lo spessore;
- la larghezza b tra 50 mm e 3 volte lo spessore e mai inferiore ad esso;
- la distanza l tra i coltelli 5 volte lo spessore.

Le misure dei provini utilizzati per queste analisi sono in media 150 mm (L) x 50 mm (b) x 20 mm (h).

Tuttavia, poiché le lastre utilizzate per produrre tavoli da S2 S.p.a. hanno uno spessore compreso tra 18.8 e 22 mm circa, i risultati di questa prova, per quanto indicativi della resistenza alla flessione, non possono essere accompagnati da certificazione UNI EN. La prova consiste nel porre il provino su due appoggi di forma cilindrica e di caricarlo progressivamente nel suo punto mediano applicando un carico aumentato uniformemente attraverso un cilindro o coltello superiore (Fig. 5.3.1).

La resistenza alla flessione Rf di ogni provino, espressa in MPa o in kg/cm$^2$ viene determinata dalla seguente formula:

$$Rf = \frac{3Fl}{2bh^2}$$

dove:

F = carico di rottura del provino registrato dall'apparecchio (N o Kg)

l = distanza tra gli appoggi (mm); nelle prove effettuate questa distanza è di 120 mm.

b = larghezza del provino (mm)

h = altezza del provino (mm)

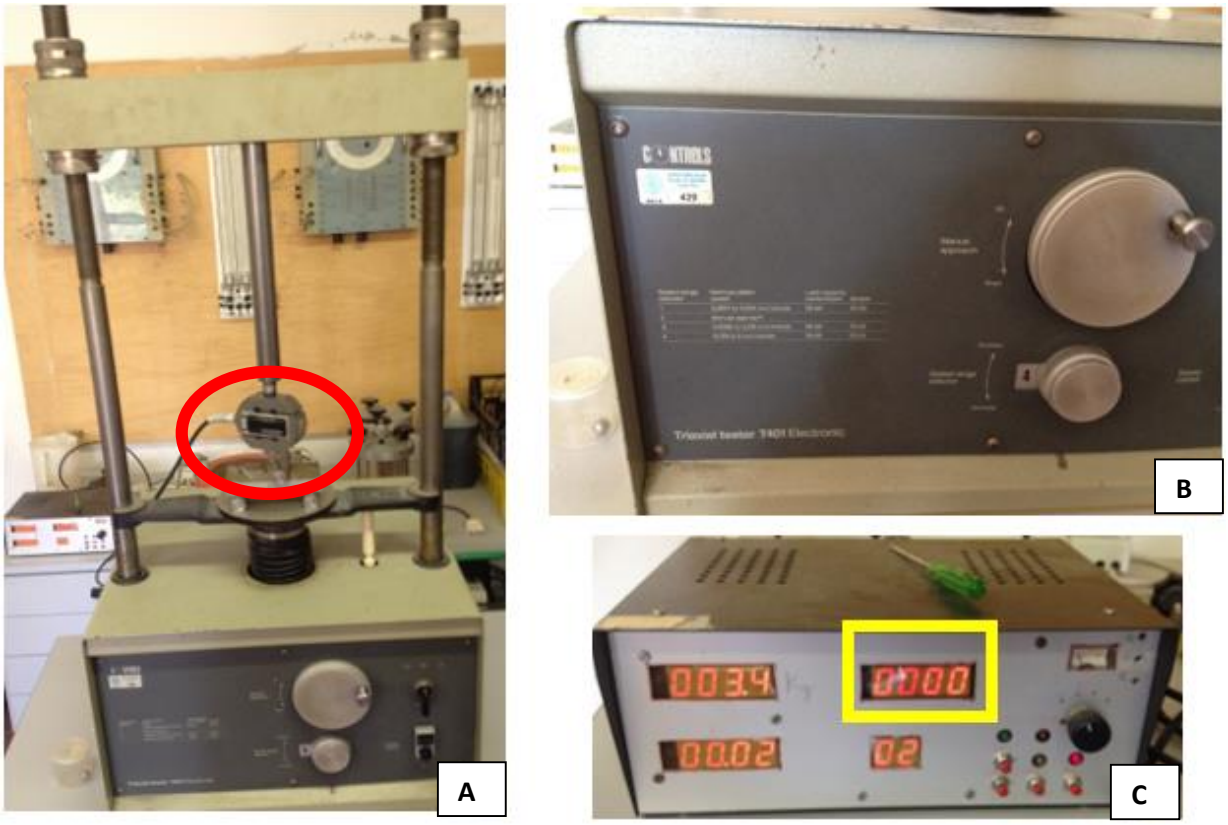



Fig. 5.3.1 – Prova di resistenza alla flessione; nel display in basso a destra (in giallo) il valore del carico di rottura registrato dalla macchina tramite la cella di carico (cerchiata in rosso).

# 6. I “marmi” in produzione presso S2 S.p.a. suddivisi per colore come richiesto in ambito commerciale

## 6.1 “Marmi Bianchi”

### 6.1.1 Breve introduzione sui marmi di Carrara

I marmi delle Alpi Apuane (Fig.6.1.1.1) rappresentano uno dei materiali lapidei più conosciuti al mondo. L’estrazione di rocce ornamentali in questa regione è caratterizzata da una storia secolare, con varietà commerciali di marmi che sono uniche ed inimitabili. I primi impieghi risalgono addirittura all’età preromana e trovano testimonianze sia storiche che petrografico-mineralogiche grazie a numerose analisi su manufatti funerari rivenuti come reperti archeologici. La colonia romana di Luni, che rappresentava un porto in posizione strategica per il trasporto e commercio dei marmi provenienti dai vari giacimenti apuani, ha dato il nome storico a questi materiali noti anche come marmi lunensi (Carmignani et al., 2007a).

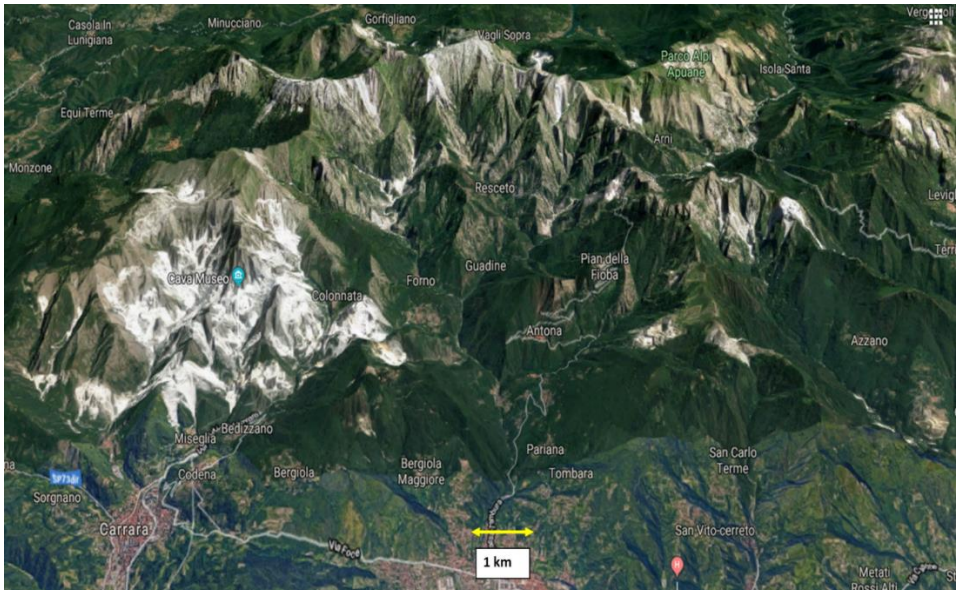



Fig. 6.1.1.1 – Le Alpi Apuane in un’immagine tratta da Google Earth.

I marmi di Carrara si sono formati per metamorfismo di calcari di ambiente di piattaforma continentale nel Giurassico inferiore (circa 197 milioni di anni fa) e trasformati in marmi in senso stretto per metamorfismo di basso grado durante l’orogenesi appenninica. Questo processo petrogenetico ha prodotto una generale ricristallizzazione degli originari calcari, con aumento delle dimensioni dei cristalli di calcite oltre alla formazione di nuovi minerali lungo superfici preferenziali. I marmi bianchi di Carrara classificati in base al loro nome commerciale e oggetto di studio di questo progetto di ricerca sono i seguenti: “Arabescato Vagli”, “Calacatta Vagli”, “Calacatta Venato”, “Bianco Carrara” e “Statuarietto”. Altri marmi analizzati sempre provenienti dalle Alpi Apuane sono il “Grigio Roma” e il “Calacatta Cielo” (entrambi appartenenti al gruppo

dei “marmi grigi”). Dal punto di vista geologico, le Alpi Apuane si sono formate in più fasi, con la sovrapposizione di diverse unità strutturali (Gattiglio et al., 1980) come mostrato in Fig. 6.1.1.2.

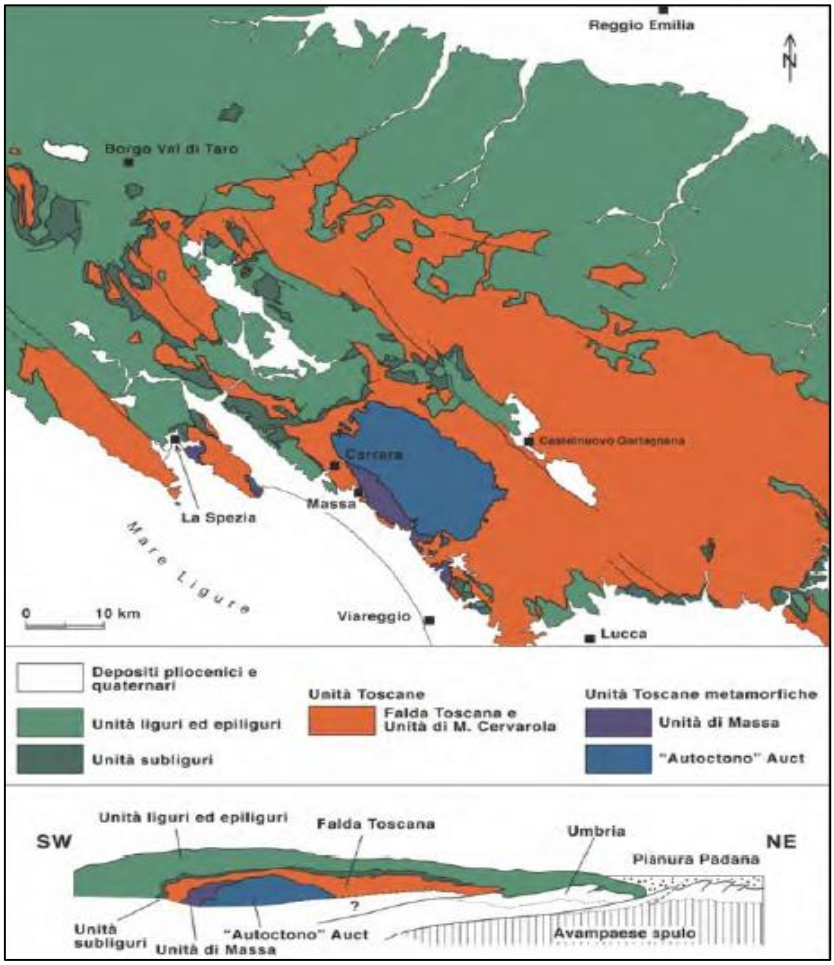



Fig. 6.1.1.2 – Schema delle unità tettoniche dell’appennino settentrionale (Carmignani et al., 2007b).

L'unità più profonda chiamata Autoctono (Paleozoico-Terziario) è costituita da calcari molto puri, che nel corso dell'orogenesi terziaria hanno subito un metamorfismo di basso grado (Gattiglio et al., 1980). Sul lato occidentale delle Alpi Apuane l'Autoctono è sormontato da una serie di scaglie tettoniche costituite da terreni prevalentemente detritici del Triassico, anch'essi metamorfosati (Scaglie di Massa). Sia l'Autoctono che le Scaglie di Massa sono a loro volta sormontati, in discordanza tettonica, dalla Falda Toscana (Trias-Terziario) costituita da terreni equivalenti a quelli dell'Autoctono, ma non metamorfosati. Al di sopra della Falda Toscana troviamo le Unità Liguri (Mesozoico), caratterizzate soprattutto da rocce pelitiche, arenacee e carbonatiche in facies di flysch e da rocce verdi di natura ofiolitica (Gattiglio et al., 1980). Più in particolare, la stratigrafia dell'Autoctono comprende i terreni più antichi che sono rappresentati da una potente serie di filladi con intercalazioni di rocce più compatte. I terreni del basamento ercinico paleozoico sono a loro volta sormontati dalla formazione dei Grezzoni (Norico-Retico), costituiti da dolomie e calcari dolomitici bianchi e grigi. Al di sopra dei Grezzoni è presente un orizzonte discontinuo di brecce costituite da elementi marmorei e dolomitici immersi in un cemento scistoso di colore rosso fegato o giallastro. Questo orizzonte brecciato,

sebbene di scarsa potenza (< 20 m), è stato intensamente coltivato per estrarre materiali ornamentali, come la “Breccia Medicea” (Gattiglio et al., 1980). Seguono poi i marmi bianchi e grigi, che rappresentano gli affioramenti più estesi di tale area (Gattiglio et al., 1980). Anche dalla formazione dei marmi bianchi e grigi vengono estratti numerose tipologie di marmi (come ad esempio i bianchi di Carrara ed il gruppo dei marmi grigi, conosciuti come “Bardigli”). Al di sopra dei marmi vi sono i calcari selciferi del Lias, le filladi calcaree e le radiolariti (Dogger-Malm), quindi i marmi cloritici ed i “cipollini”. Dove gli spessori dei banchi di “cipollino” sono elevati, queste rocce vengono estratte e commercializzate come rocce ornamentali. A chiudere la serie, vi sono gli scisti policromi (Cretaceo-Oligocene) ed il flysch terziario chiamato Pseudomacigno di età oligo-miocenica, da cui viene estratta la “Pietra del Cardoso” (Gattiglio et al., 1980). Dal punto di vista tettonico (Fig. 6.1.1.3) le Alpi Apuane sono state interessate da più fasi di deformazione compressiva e risultano strutturate in una serie di anticlinali e sinclinali più o meno complesse, con assi a prevalente direzione appenninica (NNO-SSE), interessate da faglie inverse e trascorrenti.

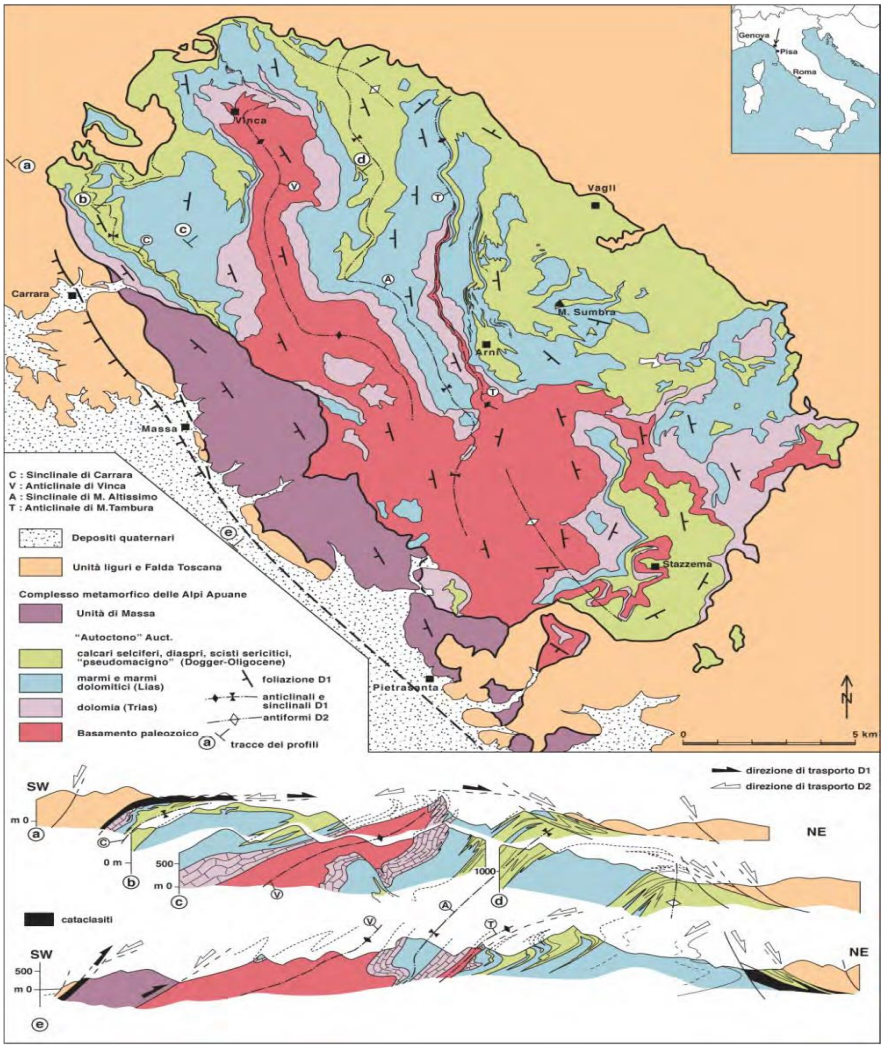



Fig. 6.1.1.3 – Schema tettonico delle Alpi Apuane (Carmigani et al., 2007b).

L'attività estrattiva è di grande impatto nel territorio apuano, attualmente interessato da più di 100 cave attive con una produzione totale attualmente maggiore di 1.000.000 ton/anno di marmo. All'interno delle sequenze metasedimentarie che caratterizzano le unità tettoniche principali (Unità di Massa e Autoctono Auct.) sono presenti, a differenti livelli stratigrafici, marmi, metabrecce e calcescisti dai quali viene estratta la vasta gamma di rocce ornamentali della regione apuana (Carmignani et al., 2007a). Nell'Autoctono Auct. litologie marmoree (marmi e metabrecce mono o poligeniche) caratterizzano sia formazioni triassiche (Formazione di Vinca, Brecce di Seravezza, Marmi a Megalodonti) che formazioni del Lias inferiore (Marmi Dolomitici, Marmi e Marmo Zerbino). Marmi impuri, metabrecce poligeniche e calcescisti si trovano in diverse formazioni del Dogger e del Cretaceo (Calcescisti, Formazione di Arnetola e Cipollini). Nell'Unità di Massa le litologie marmoree caratterizzano invece la formazione dei Marmi a Crinoidi del Trias medio. Le varietà merceologiche riconosciute nascono in risposta all'esigenza di identificare le diverse tipologie di marmo immesse sul mercato. I termini utilizzati oggi nel mondo commerciale (e.g. "Arabescato", "Calacatta" ecc.) trovano origine nella secolare storia di estrazione e commercio di questi materiali e sono stati codificati indipendentemente da una loro connotazione geologico-stratigrafica (Carmignani et al., 2007a). Le varietà merceologiche sono considerate come una "*unità litostratigrafica informale che rappresenta un corpo roccioso distinguibile e separabile da quelli adiacenti in funzione di una generale omogeneità litologica e per la presenza di altri caratteri peculiari, quali per esempio la loro utilità o interesse economico"* (Carmignani et al., 2007a). Una varietà merceologica di marmo può essere quindi completamente descritta e separata da quelle adiacenti in base a caratteri che sono, da un lato, strettamente litologici (metacalcare, metabreccia, calcescisto, ecc.), dall'altro di tipo propriamente commerciale-estetico (colore e "disegno"), a prescindere dalla sua collocazione stratigrafica. Questo ha come diretta conseguenza che la stessa tipologia di marmo può essere riconosciuta e cartografata in differenti posizioni stratigrafiche all'interno della successione metamorfica apuana. I caratteri litologici presi in considerazione per definire le varietà merceologiche sono frutto di osservazioni alla scala dell'affioramento e analisi al microscopio ottico e riguardano:

- il litotipo predominante (marmo, marmo impuro, metabreccia mono - o poligenica, calcescisto);
- la struttura della roccia (roccia omogenea o anisotropa);
- la dimensione media dei cristalli di calcite (grana fine < 150 μm, grana media 150-350 μm, grana grossa > 350 μm);
- la composizione mineralogica;
- nel caso di metabrecce, il rapporto tra clasti e matrice (tessiture clasto sostenute o matrice sostenute).

I parametri estetici presi in considerazione sono invece rappresentati dal colore e dal "disegno". Il colore risulta spesso un fattore discriminante e, nei marmi, è in genere dovuto alla presenza di microcristalli di ematite (colorazione dal rosa al rosso vivo), ossidi di manganese (dal rosso scuro al viola), idrossidi di ferro (dall'arancione al giallo), clorite (toni del verde) omogeneamente diffusi all'interno della roccia o concentrati nella matrice. In base ai criteri sopra esposti sono 14 le unità litostratigrafiche informali che rappresentano

le diverse varietà merceologiche presenti all'interno del bacino marmifero delle Alpi Apuane (Fig. 6.1.1.4). Queste varietà merceologiche sono state suddivise, in base alle loro caratteristiche generali, in 5 gruppi: Marmi bianchi, Marmi grigi e venati, Marmi brecciati, Marmi cipollini e Marmi storici (Carmignani et al., 2007a). A rendere più complicata la nomenclatura delle varietà merceologiche dei marmi apuani (e dei materiali lapidei in generale), interviene la prassi comune e sempre più frequente, di coniare termini nuovi da parte degli addetti ai lavori e degli imprenditori. Ogni impresa estrattiva cerca di commercializzare il proprio prodotto al fine di trovare la singolarità e l'esclusività utilizzando una nomeclatura originale per rendere allettante il proprio materiale (e.g. "Calacatta Cielo"). Alcuni termini fanno riferimento all'effettiva nomeclatura delle varietà mercelogiche (e.g. "Calacatta") aggiungendo il nome della località estrattiva ("Calacatta Vagli"). In altri casi il nome è di pura immaginazione per fini di marketing ("Grigio Roma"), ed in altri ancora al materiale viene attribuito un nome che non lo rappresenta in modo oggettivo come l'appellativo bianco ad un marmo venato, risultando fuorviante. Nei prossimi capitoli descriveremo le varietà merceologiche delle Alpi Apuane che vengono utilizzate da S2 S.p.a.

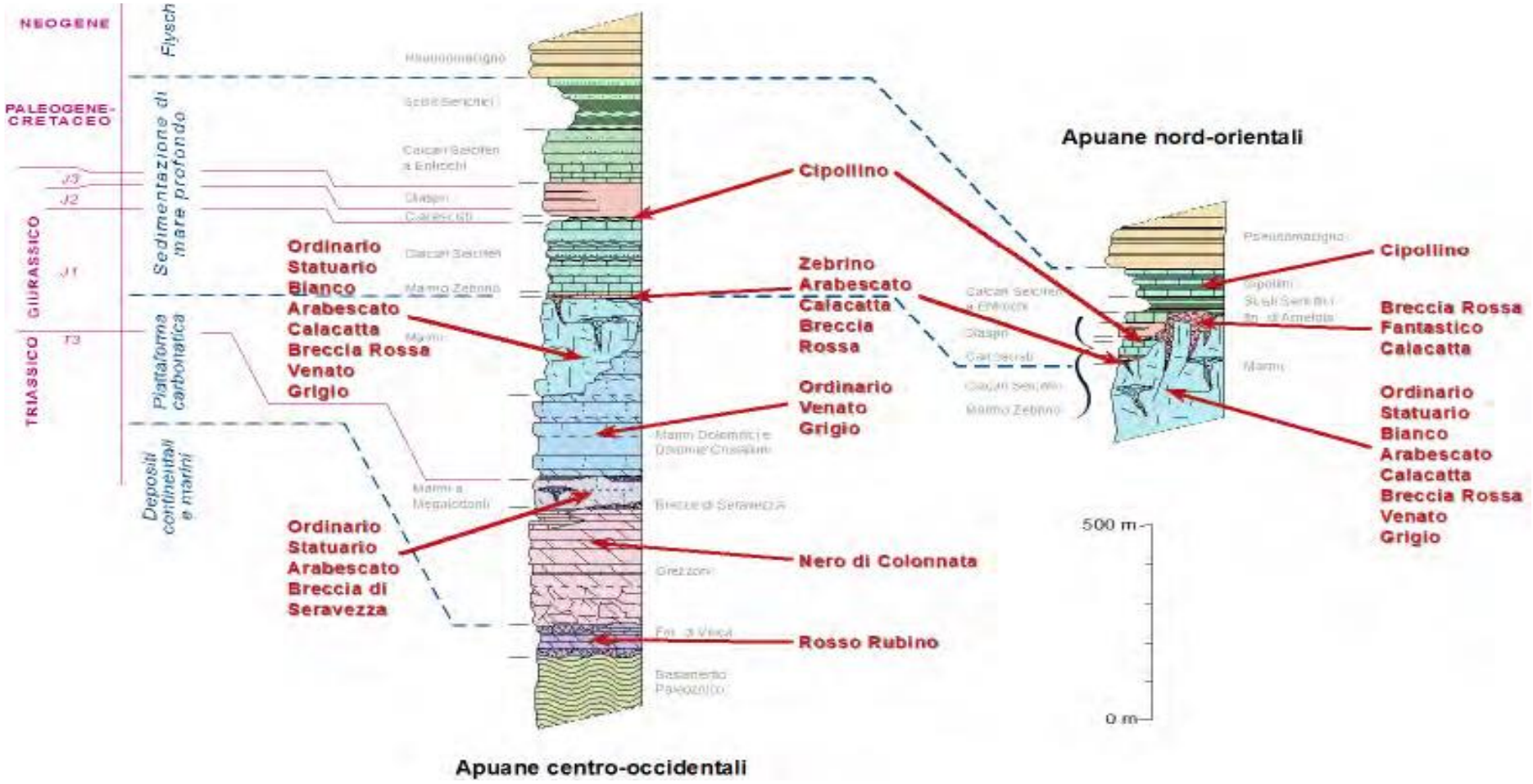



Fig. 6.1.1.4 – Le varietà merceologiche dei marmi (indicate in rosso) nella successione metamorfica delle Alpi Apuane. In grigio a fianco delle colonne stratigrafiche i nomi delle formazioni. Basamento Paleozoico: filladi, porfiroidi, scisti porfirici, dolomie, filladi grafitiche e calcescisti (Cambriano ? – Devoniano? ); Formazione di Vinca: filladi, quarziti e metaconglomerati alternati a dolomie, marmi, marmi dolomitici, e metabrecce poligeniche (Carnico - Norico); Grezzoni: dolomie, dolomie brecciate e marmi neri alternati a dolomie (Norico); Marmi a Megalodonti e Brecce di Seravezza: marmi, metabrecce poligeniche e scisti a cloritoide; Marmi Dolomitici: marmi, marmi dolomitici e dolomie (Lias Inf.); Marmi: marmi e metabrecce monogeniche (Lias Inf.); Marmo Zebrino: marmi, metabrecce e calcescisti (Lias Inf. - Medio); Formazione di Arnetola: metabrecce poligeniche (Lias inf. – Cretaceo); Calcari Selciferi: metacalcilutiti con liste e noduli di selce (Lias Medio – Sup.); Calcescisti: calcescisti e filladi carbonatiche (Lias Sup.); Diaspri: metaradiolariti e filladi quarzitiche (Malm); Calcari Selciferi a Entrochi: metacalcilutiti con liste e noduli di selce bianca (Carmignani et al., 2007a).

### 6.1.2 Alcune varietà merceologiche di marmi arabescati provenienti dalle Alpi Apuane

Il termine arabescato deriva dagli schemi geometrici tipici dell'arte islamica (Fig. 6.1.2.1) e si riferisce a varietà di marmi con una massa di fondo generalmente bianca o grigia (o di altri colori) e un motivo irregolare di venature di colore più scuro che normalmente segue una direzione preferenziale. Queste venature o arabeschi si presentano fitti e intensi con colori variabili dal grigio cenere al verdognolo, fino al violaceo.

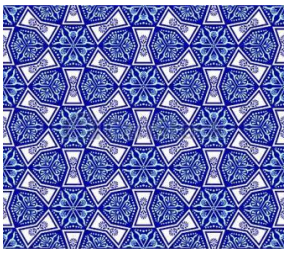


Fig. 6.1.2.1 – Arabeschi utilizzati nell'arte islamica.

Le più diffuse varietà merceologiche dei marmi arabescati provenienti dalle Alpi Apuane com "Arabescato Vagli", "Arabescato Corchia", "Arabescato Arni", "Arabescato Cervaiole" e "Arabescato Faniello" (Fig. 6.1.2.2) presentano caratteristiche estetiche differenti sia per la tipica tessitura xenoblastica-brecciata, sia a seconda del verso di taglio (al contro o al verso) del blocco (Figs. 6.1.2.3 e 6.1.2.4).

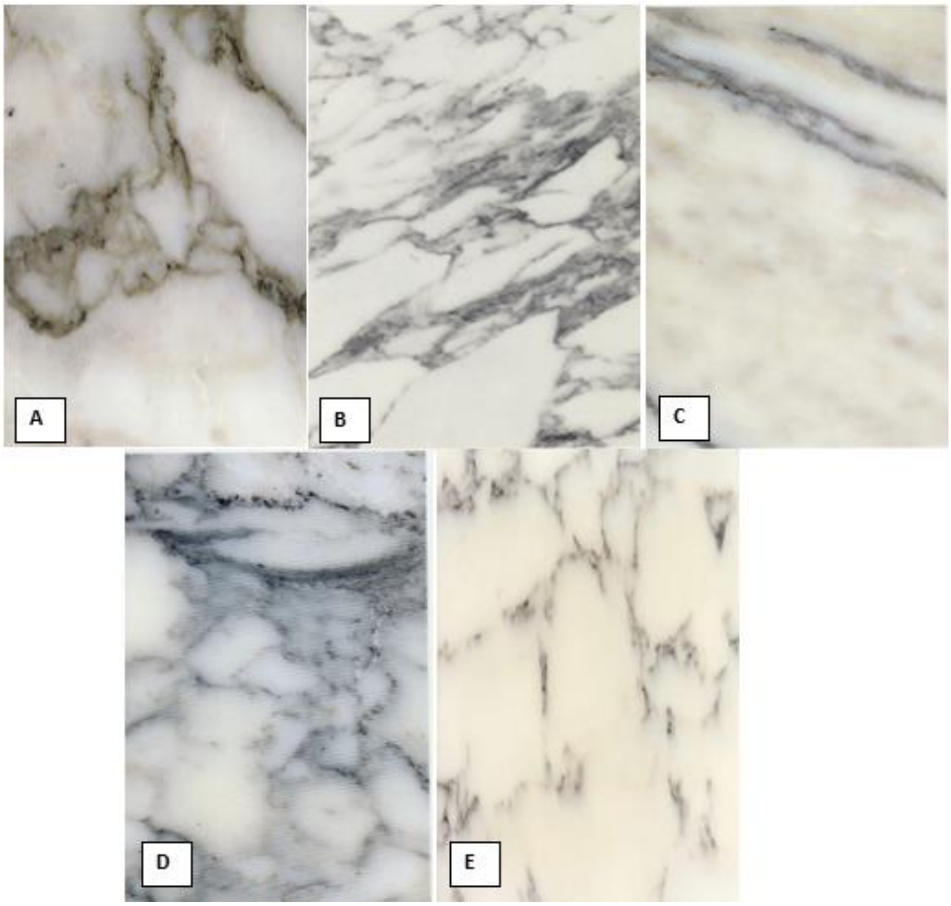



Fig. 6.1.2.2 – Alcune varietà merceologiche di arabescati delle Alpi Apuane: A) "Arabescato Vagli"; B) "Arabescato Corchia"; C) "Arabescato Arni"; D) "Arabescato Cervaiole; E) "Arabescato Faniello".

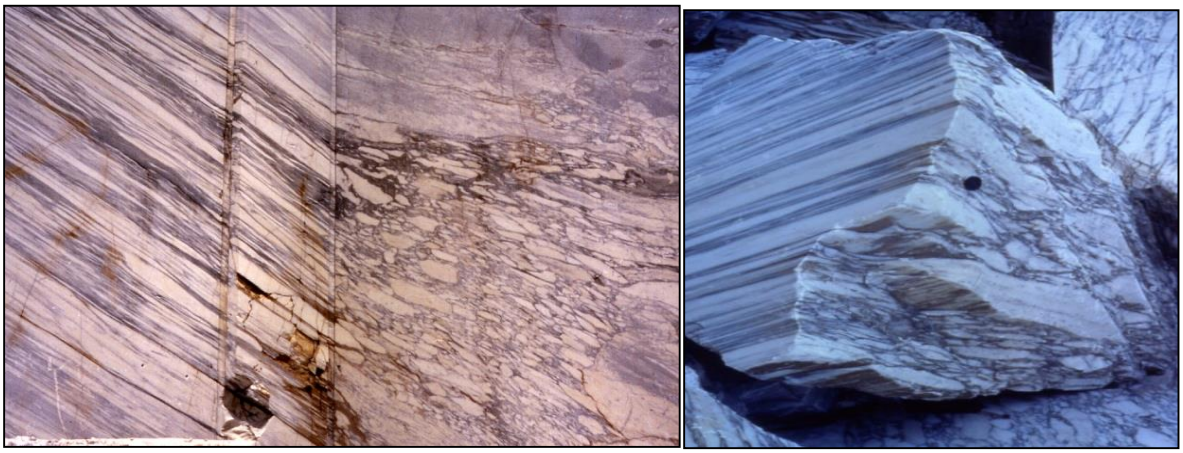


Fig. 6.1.2.3 e Fig. 6.1.2.4 – Differente "disegno" rispetto al taglio del blocco: nella foto a sinistra predominano i clasti poco deformati e scarsamente allungati contribuendo a rendere un aspetto più omogeneo e più saturo di bianco alla roccia; nella foto a destra i clasti sono più allungati.

Nella Tabella 6.1.2.1 vengono riportate le principali caratteristiche fisico-meccaniche di alcune varietà merceologiche dei marmi arabescati presenti in letteratura. Nel nostro progetto sono state eseguite prove fisico-meccaniche (Point Load Test e test di resistenza alla flessione), oltre ad analisi di sezioni sottili e analisi al microscopio elettronico ESEM, su campioni di marmo "Arabescato Vagli".

| | CERVAIOLE[1] | CORCHIA[1] | VAGLI[1] | ARNI[2] | FANIELLO[3] |
|---|---|---|---|---|---|
| **Peso per Unità di Volume ɤ (g/cm$^3$)** | 2,724 | 2,7 | 2,714 | 2,698 | 2,682 |
| **Carico di Rottura a Compressione semplice (Kg/cm$^2$)** | 1350 | 1033 | 1472 | 1550 | 1380 |
| **Carico di Rottura a trazione indiretta mediante flessione (Kg/cm$^2$)** | 212 | 135 | 121 | 198 | 221 |

Tabella 6.1.2.1 – Principali caratteristiche fisico-meccaniche delle varietà merceologiche di arabescato" ([1] Blanco, 1999; [2] Gattiglio et al., 1980; [3]I.C.E., 1982).

Il marmo "Arabescato Vagli" è uno dei materiali tipici delle Alpi Apuane e rappresenta, commercialmente, uno dei più pregiati ed esclusivi materiali lapidei italiani. Mostra una struttura brecciata, con tessitura xenoblastica con clasti appiattiti di colore bianco a struttura saccaroide (Fig. 6.1.2.5) attraversati da arabeschi o venature con andamento diffuso (Blanco, 1999). I clasti bianchi hanno dimensioni variabili tra 5 e 50 cm e la loro grana è fine (22-44 micron; Gattiglio et al., 1980). È una roccia metacarbonatica costituita per più del 98% da carbonato di calcio, di età Giurassica, che mostra una buona reperibilità. Viene estratto nella località di Vagli (Lucca) ed i blocchi raggiungono dimensioni fino a 3000 mm di lunghezza e 1800 mm di altezza. Le lastre solitamente presentano spessori da 2 fino a 3 cm, ma per usi particolari si possono avere spessori di 1,5 cm. Viene anche utilizzato per pavimenti e rivestimenti per interni ed esterni a seconda delle varietà, e per piccole opere monumentali.



Fig. 6.1.2.5 – Aspetto macroscopico del marmo “Arabescato Vagli”.

I valori riscontrati nelle prove del Point Load Test (elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin, 1972) del marmo “Arabescato Vagli” ci mostrano che il materiale presenta una buona resistenza alla compressione monoassiale, con valori medi di circa 1300 Kg/cm$^2$ (Tabella 6.1.2.2) come anche confermato dai dati di letteratura. Va sottolineato però che i provini che hanno mostrato valori più bassi sono stati quelli contenenti venature grigio-verdastre in maggior percentuale (Fig. 6.1.2.6). I tests di resistenza alla flessione mostrano valori medi poco superiori ai 100 Kg/cm$^2$ con deviazione standard molto bassa (Tabella 6.1.2.3. Il materiale mostra complessivamente buone proprietà fisico-meccaniche, in accordo con i dati di letteratura.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale, (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 19,70 | 4,90 | 1304,39 |
| C. 2 | 19,80 | 6,00 | 1710,94 |
| C. 3 | 19,90 | 4,50 | 1181,74 |
| C. 4 | 19,50 | 5,00 | 1525,81 |
| C. 5 | 19,82 | 4,90 | 1309,64 |
| C. 6 | 19,60 | 4,10 | 1160,00 |
| C. 7 | 19,50 | 5,40 | 1496,74 |
| C. 8 | 19,60 | 4,00 | 1094,42 |
| C. 9 | 19,50 | 3,90 | 1118,25 |
| C. 10 | 19,60 | 4,50 | 1314,26 |
| **Media** | **19,65** | **4,72** | **1321,62** |
| **Deviazione Standard** | **0,15** | **0,66** | **200,86** |

Tabella 6.1.2.2 – Risultati del Point Load Test sul marmo “Arabescato Vagli”.

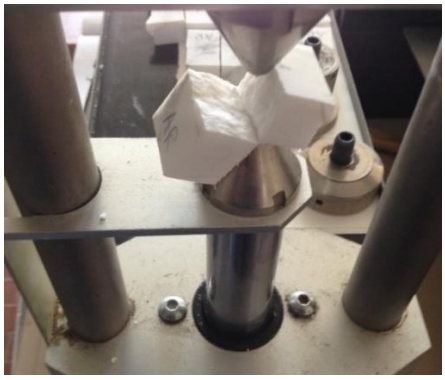




Fig. 6.1.2.6 – Point Load Test su provini di “Arabescato Vagli”.

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C1 | 51 | 19,4 | 107,88 |
| C2 | 48,5 | 19,5 | 110,33 |
| C3 | 50,3 | 19,4 | 103,68 |
| C4 | 50,5 | 19,5 | 103,15 |
| C5 | 47,9 | 19,6 | 108,62 |
| C6 | 47,5 | 19,5 | 99,69 |
| C7 | 49,2 | 19,4 | 105,99 |
| C8 | 48,4 | 19,4 | 119,61 |
| C9 | 47,5 | 19,7 | 96,70 |
| C10 | 51,5 | 19,6 | 100,11 |
| **Media** | **49,23** | **19,5** | **105,58** |
| **Deviazione Standard** | **1,49** | **0,11** | **6,56** |

Tabella 6.1.2.3 - Test di resistenza alla flessione per il marmo “Arabescato Vagli”.

Un‘analisi petrografica (Gattiglio et al., 1980) ci mostra come il minerale costituente principale sia la calcite (circa il 98%), in cristalli disequigranulari, oltre ad una piccola percentuale di dolomite (Tabella 6.1.2.4). I minerali accessori presenti sono: muscovite, albite, quarzo e pirite che contribuiscono alla colorazione prevalentemente grigia delle venature (Gattiglio et al., 1980).

| Minerale | Vol. % |
|---|---|
| Calcite - $CaCO_3$ | 98.06 |
| Dolomite – $Mg,Ca(CO_3)_2$ | 1 |
| Residuo insolubile | 0.94 |

Tabella 6.1.2.4 - Composizione modale dell' “Arabescato Vagli” (Gattiglio et al., 1980).

Le analisi in sezione sottile (Fig. 6.1.2.7 e 6.1.2.8) ci hanno portato alle seguenti considerazioni:

- la roccia mostra una microstruttura eterogenea, anisotropa, a causa della granulometria dei cristalli e per i contatti tra le varie porzioni che sono in genere bruschi e netti, spesso legati alla presenza delle venature che attraversano la roccia;
- si possono osservare porzioni di roccia costituite da frammenti di cristalli di calcite e/o di frammenti di aggregati cristallini (xenoblasti) formati da calcite e subordinatamente quarzo e feldspati;
- i cristalli di calcite di grosse dimensioni raggiungono circa 1 mm e mostrano un abito anedrale spesso con i bordi cristallini irregolari che formano anse (embayed) o che suturano gli spazi tra i minerali (suturated);
- la maggior parte della roccia è invece composta da cristalli di calcite ben formati (euedrali) con tessitura a mosaico e bordi cristallini dritti e curvi che evidenziano spesso le caratteristiche giunzioni triple;
- le dimensioni dei cristalli variano nell'intervallo compreso tra 50 e 150 µm;
- porzioni a granulometria più fine sono presenti con cristalli di calcite tra 10 e 20 µm e bordi cristallini prevalentemente curvi.

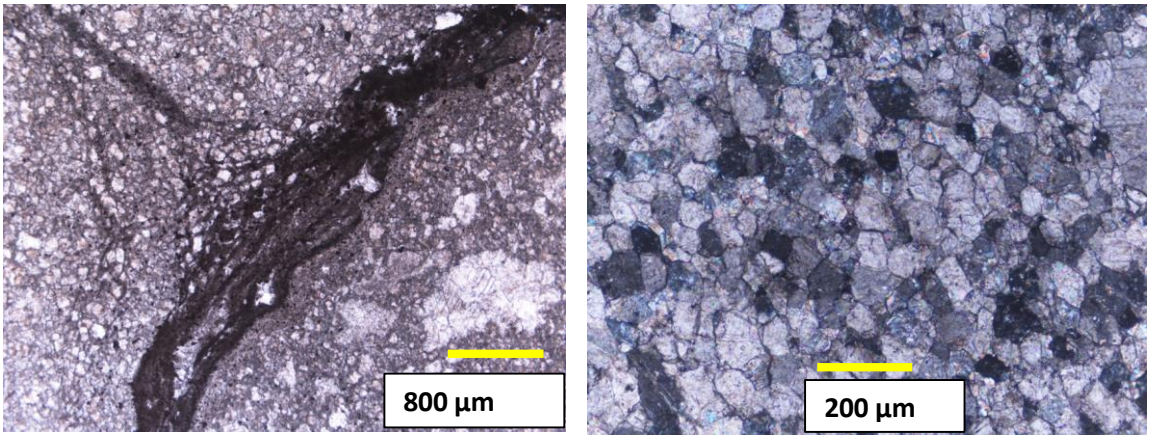



Fig. 6.1.2.7 e 6.1.2.8 - Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di "Arabescato Vagli": a sinistra particolare delle venature (Nicols paralleli); a destra cristalli di calcite con giunti tripli a 120° (Nicols incrociati).

Le osservazioni al microscopio elettronico a scansione hanno permesso di evidenziare che le porzioni di roccia formate quasi esclusivamente da calcite (Fig. 6.1.2.9 a) sono rappresentate macroscopicamente da clasti di colore bianco candido, mentre i clasti con sfumature bianco-grigiastre sono caratterizzati da una maggiore presenza di dolomite e minerali accessori (Fig. 6.1.2.9 b). Le vene che attraversano la roccia disegnando i tipici arabeschi, sono costituite da abbondante solfuro di ferro e subordinatamente solfuro di rame e zinco e cristalli di apatite (Fig. 6.1.2.9 c, d, Fig. 6.1.2.9 e); sono presenti inoltre cristalli (da pochi microns a poche decine di microns) di calcite, dolomite, feldspato e quarzo dispersi in una massa di fondo a composizione argillosa (Figs. 6.1.2.9 d e 6.1.2.9 f).

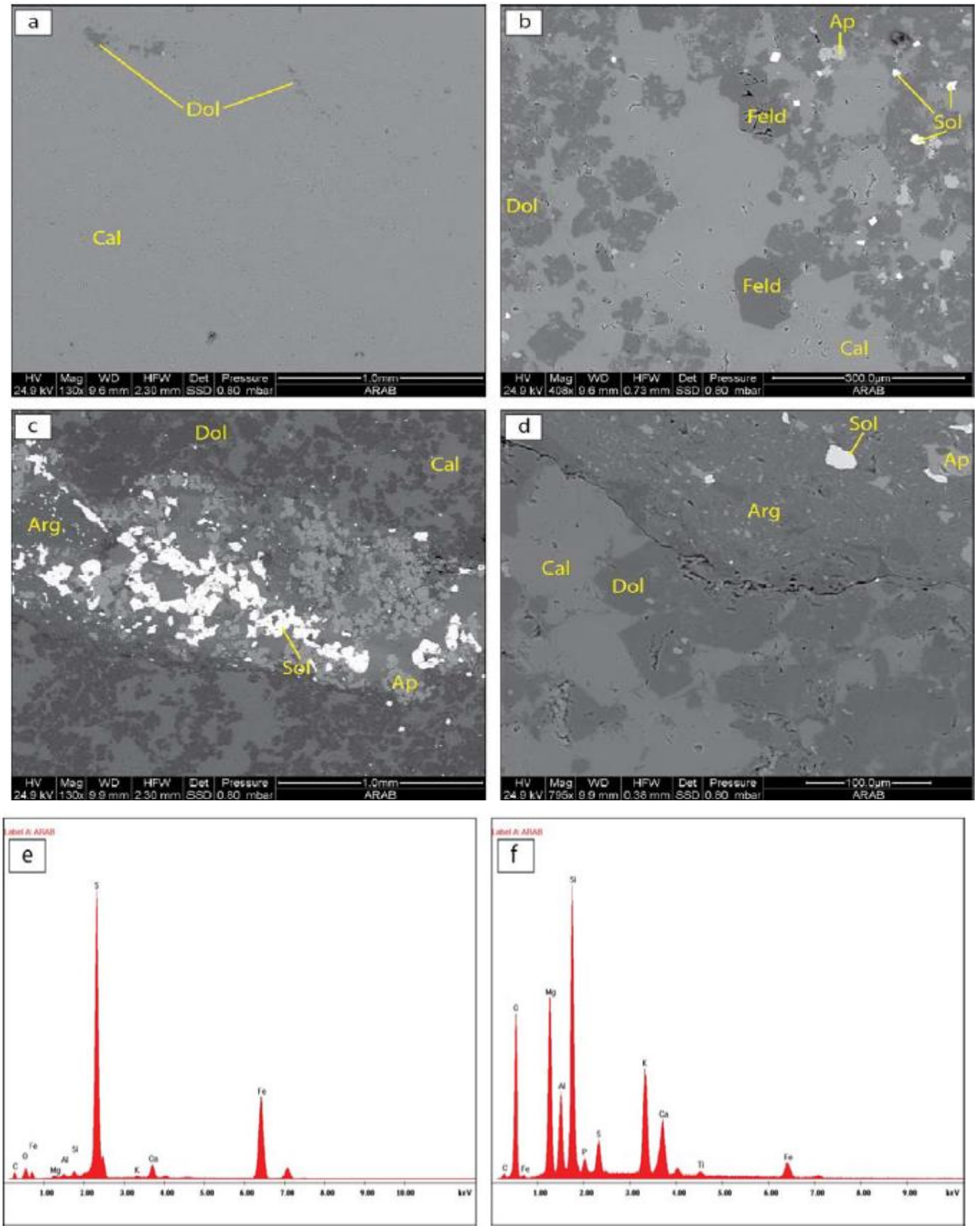



Fig. 6.1.2.9 (a, b, c, d) - Immagini al microscopio elettronico a scansione (ESEM-BSE) dei clasti bianchi (a,b) e delle vene (c,d) di “Arabescato Vagli”; (e,f) Spettri analitici EDS esemplificativi delle fasi minerali: e) solfuro di ferro, f) minerali argillosi che riempiono le vene. Sigle utilizzate: Ap = apatite, Arg = minerali argillosi, Cal = calcite, Dol = dolomite, Feld = feldspato, Sol = solfuri.

### 6.1.3 “Calacatta Vagli”

Questo materiale viene estratto nella località di Vagli (Lucca) e rappresenta una delle numerose varietà merceologiche del “Calacatta”; l’attività estrattiva inizia nei primi del 1900, ed attualmente tutte le cave sono gestite da una Cooperativa locale (Apuana Vagli s.r.l.). L’areale di Vagli infatti presenta numerose varietà merceologiche di un’elevata ricchezza cromatica, come i marmi brecciati, ma anche bianchi venati ed ordinari. Il “Calacatta Vagli” è un marmo brecciato con clasti omogenei a struttura saccaroide che presenta un colore di fondo da bianco avorio a bianco (Fig. 6.1.3.1). I clasti variano in dimensioni da pochi mm fino a qualche decimetro e sono uniformemente distribuiti. Le venature presentano una vasta gamma di colori: dal giallo/giallo oro al rosato, dal violaceo al grigio bardigliaceo, fino al verdolino (Blanco, 1999).



Fig.6.1.3.1 – Aspetto macroscopico del “Calacatta Vagli”

Questa roccia metacarbonatica presenta diverse caratteristiche estetiche a seconda del taglio di lavorazione, che ne evidenzia l’andamento dei clasti. Composto prevalentemente da calcite, viene utilizzato per pavimenti e rivestimenti interni, oltre che per piccole opere monumentali, talvolta anche in esterno (Blanco, 1999). I blocchi hanno dimensioni di circa di 3000 x 1500 x 1500 mm. Essendo un materiale che viene estratto esclusivamente nella località di Vagli, ha una moderata reperibilità. Presenta diverse varietà merceologiche a seconda del colore e della disposizione delle venature e dei clasti (Fig. 6.1.3.2).

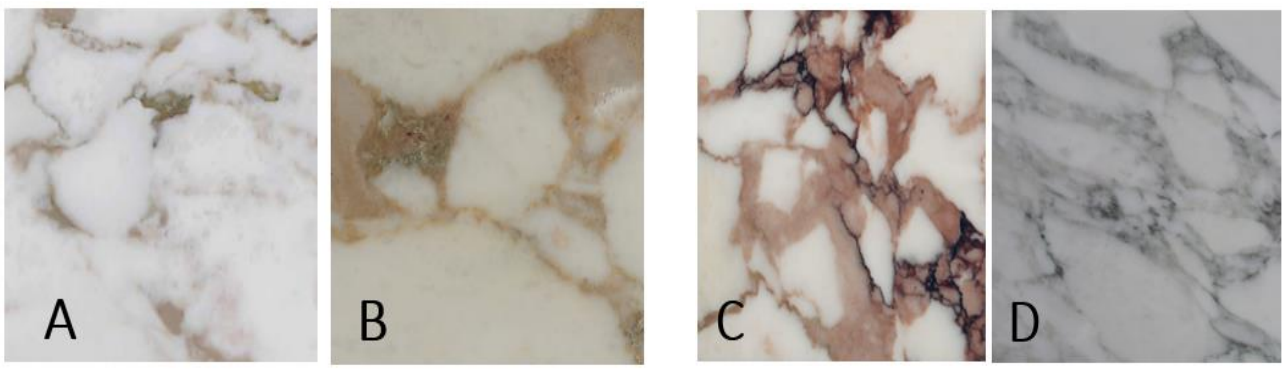



Fig. 6.1.3.2 – Varietà merceologiche del “Calacatta Vagli”: A) “Calacatta Vagli”; B) “Calacatta Extra Vagli”; C) “Calacatta Vagli Rosato”; D) “Calacatta Vagli Fiorito” (da: https://www.apuanavagli.it).

Il “Calacatta Extra Vagli” si presenta con un fondo bianco attraversato da venature di colore giallo oro intenso, presenta anche in minore misura toni verdi, rosati o violacei (Fig. 6.1.3.2B). Il “Calacatta Vagli Rosato” (Fig. 6.1.3.2C) è un marmo brecciato dal fondo bianco su cui spiccano macchie intrecciate e delicate sfumature dal verde al rosso, fino al violaceo (Pieri, 1966). Le tonalità rosa tendono a sfumare verso il bruno. Il “Calacatta Vagli Fiorito” (Fig. 6.1.3.2D) ha una venatura meno regolare e un colore verde violaceo fino a verdastro che si confonde con il fondo non candido. Nella tabella seguente (Blanco, 1999) vengono riportate alcune caratteristiche fisico-meccaniche delle varietà merceologiche di “Calacatta Vagli”.

| | **Calacatta Extra Vagli** | **Calacatta Vagli** | **Calacatta Vagli Rosato** |
|---|---|---|---|
| **Peso per Unità di Volume ɤ (g/cm$^3$)** | 2.215 | 2.674 | 2.717 |
| **Carico di Rottura a Compressione semplice (Kg/cm$^2$)** | 1277 | 1280 | 1280 |
| **Carico di Rottura a Compressione a trazione indiretta mediante flessione (Kg/cm$^2$)** | 122 | 125 | 125 |

Tabella 6.1.3.1 – Principali caratteristiche fisico-meccaniche di alcune varietà merceologiche del “Calacatta Vagli” (Blanco, 1999).

Le analisi di laboratorio eseguite comprendono Point Load Test (Fig. 6.1.3.3) e test di resistenza alla flessione, condotte rispettivamente su nr. 10 provini (Fig. 6.1.3.3), analisi in sezione sottile ed uno studio al microscopio elettronico a scansione (ESEM-BSE). I risultati del Point Load Test sono riassunti in Tabella 6.1.3.2, mentre quelli di resistenza alla flessione in Tabella 6.1.3.3.




Fig. 6.1.3.3 – Point Load Test su “Calacatta Vagli” a sinistra; provini utilizzati per i tests di resistenza alla flessione a destra.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale, (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 15,70 | 5,00 | 1496,85 |
| C. 2 | 15,80 | 4,90 | 1429,15 |
| C. 3 | 15,80 | 4,30 | 1274,15 |
| C. 4 | 15,90 | 4,00 | 1157,94 |
| C. 5 | 15,70 | 4,00 | 1273,26 |
| C. 6 | 15,60 | 3,50 | 1028,27 |
| C. 7 | 15,60 | 3,90 | 1189,32 |
| C. 8 | 15,70 | 4,00 | 1284,46 |
| C. 9 | 15,80 | 4,20 | 1264,77 |
| C. 10 | 15,70 | 3,20 | 1024,56 |
| **Media** | **15,73** | **4,10** | **1242,27** |
| **Deviazione Standard** | **0,09** | **0,55** | **151,70** |

Tabella 6.1.3.2 – Risultati del Point Load Test del marmo “Calacatta Vagli”.

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C1 | 53,2 | 20,3 | 108,42 |
| C2 | 49,9 | 20,3 | 130,47 |
| C3 | 48,5 | 20,2 | 90,08 |
| C4 | 51,2 | 20,3 | 79,37 |
| C5 | 47,9 | 20,2 | 88,44 |
| C6 | 53,1 | 20,3 | 135,77 |
| C7 | 51,4 | 20,2 | 134,79 |
| C8 | 48,1 | 20,2 | 137,62 |
| C9 | 51,1 | 20,1 | 83,73 |
| C10 | 49,9 | 20,3 | 129,60 |
| **Media** | **50,43** | **20,24** | **111,83** |
| **Deviazione Standard** | **1,91** | **0,07** | **24,28** |

Tabella 6.1.3.3 – Risultati delle prove di resistenza alla flessione.

Entrambi i tests, oltre a presentare bassi valori di deviazione standard, ci confermano i numerosi dati presenti in letteratura: il “Calacatta Vagli” mostra buone proprietà fisico-meccaniche con un valore medio della resistenza alla compressione monoassiale di 1242,27 Kg/cm$^2$. I valori più bassi riscontrati nei test di resistenza alla flessione (compresi tra 79 e 90 kg/cm$^2$) sono dovuti al fatto che alcuni provini presentavano maggiori porzioni di venature e clasti di colore diverso rispetto al colore bianco di fondo; questo aspetto può essere ricondotto alla diversa composizione mineralogica delle venature rispetto ai clasti.

Le osservazioni al microscopio ottico hanno evidenziato una tessitura anisotropa formata da bande a diversa granulometria in contatto tra loro con rapporti bruschi e repentini. Questo litotipo mostra numerose similitudini tessiturali e composizionali con il marmo “Arabescato Vagli”. Sono presenti tre principali classi granulometriche per i cristalli di calcite e dolomite che costituiscono questo marmo (Fig. 6.1.3.4 e 6.1.3.5):

- si rinvengono cristalli e/o aggregati di cristalli di calcite di grosse dimensioni, spesso associati a cristalli di quarzo e feldspato. I cristalli mostrano principalmente bordi irregolari, che formano spesso anse (embayed) o tendono a riempire gli spazi tra le fasi cristalline (suturated); le dimensioni dei cristalli sono nell'intervallo 0.5 - 1.5 mm;
- la classe granulometrica più diffusa è nell'intervallo 20-100 µm ed è rappresentata da cristalli ben formati di calcite, generalmente euedrali con bordi dritti o debolmente curvi (straight e curved) che formano una tessitura a mosaico;
- sono presenti porzioni a granulometria più fine, nell'intervallo 10-50 µm.

Le vene sono difficilmente risolvibili al microscopio ottico; il loro tipico color oro è dato dall'abbondanza di solfuri di ferro, rame, zinco ed arsenico (Barsotelli et al., 1998).

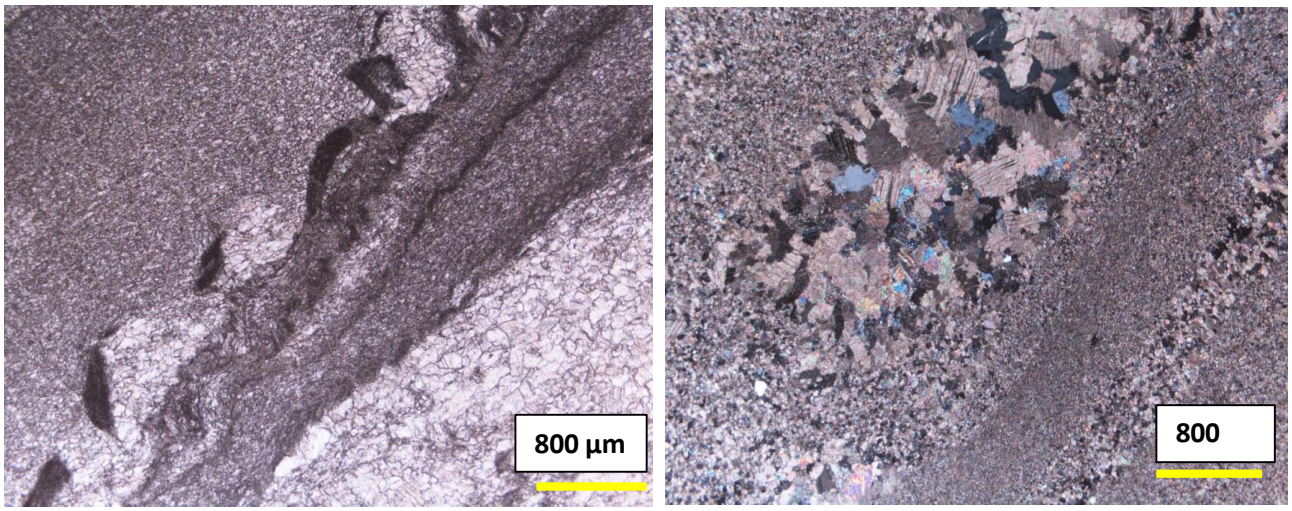



Fig. 6.1.3.4 e 6.1.3.5 – Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di "Calacatta Vagli": a sinistra classi granulometriche diverse di calcite a contatto con porzioni scure non risolvibili al microscopio e che costituiscono le vene (Nicols paralleli). A destra cristalli di calcite di diverse dimensioni (Nicols incrociati).

Le indagini all'ESEM (Fig. 6.1.3.6 a,b,c,d) hanno mostrato che le vene sono principalmente costituite da porzioni a composizione argillosa contenenti frammenti cristallini di calcite, apatite, titanite e solfuri. Si evidenzia la predominante presenza di calcite (>95%) e dolomite subordinata (circa 2%) con tracce di quarzo, feldspato, solfuri, minerali argillosi ed apatite. Il tipico color oro delle venature è dato dall'abbondanza di solfuri anche di grosse dimensioni, principalmente pirite, (Fig. 6.1.3.6 a,b) ed altri elementi come rame, zinco ed arsenico (Fig. 6.1.3.6 e,f).

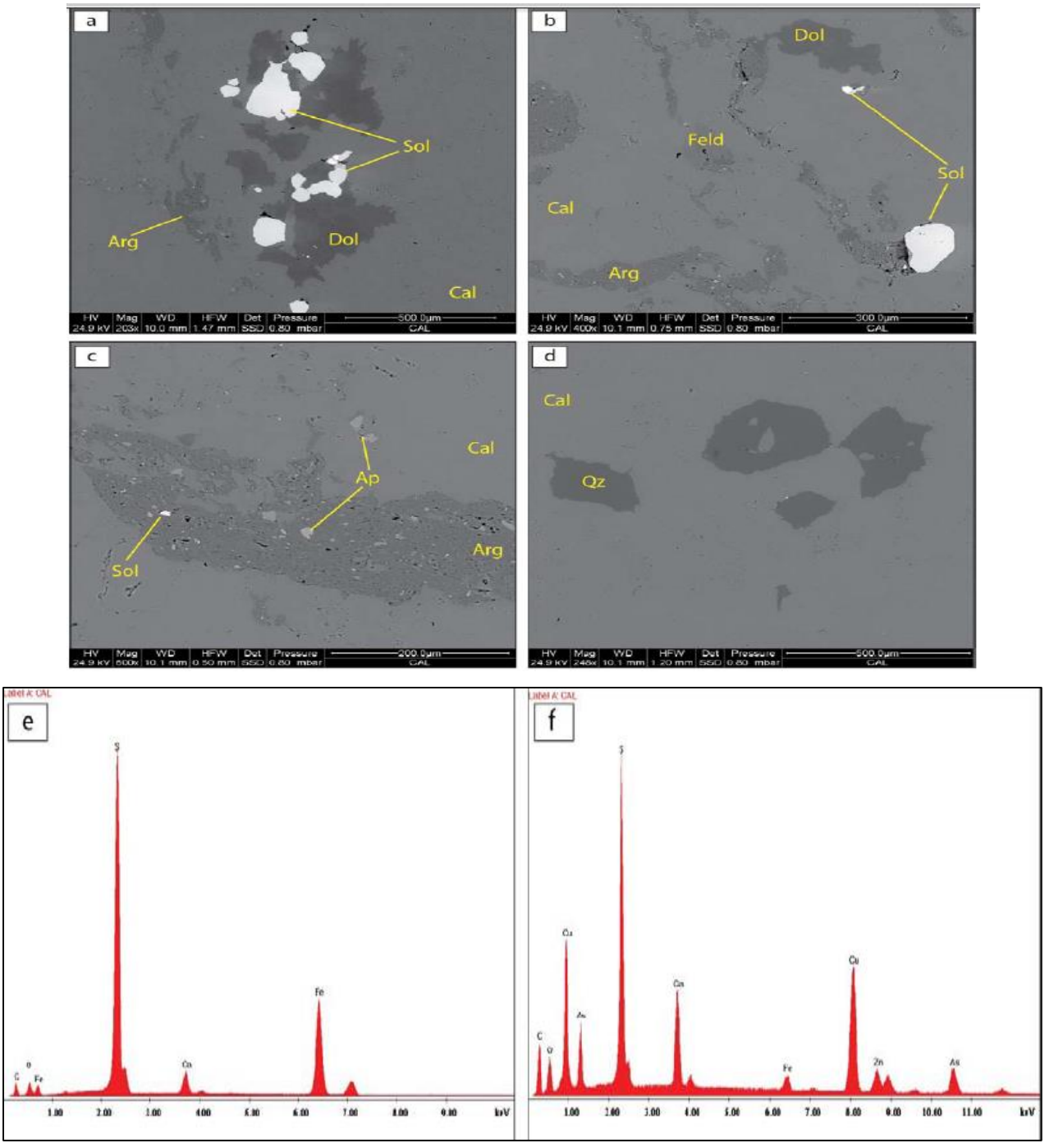



Fig. 6.1.3.6 (a,b,c,d) immagini al microscopio elettronico a scansione (ESEM-BSE) di alcune porzioni rappresentative della roccia; (e, f) spettri analitici esemplificativi EDS dei solfuri analizzati. Sigle utilizzate: Ap = apatite, Arg = minerali argillosi, Cal = calcite, Dol = dolomite, Feld = feldspato, Qz = quarzo e Sol = solfuri.

## 6.1.4 “Calacatta Venato”

Esistono numerose varietà merceologiche di questo marmo che viene estratto in diverse località del distretto marmifero apuano: Carrarese, Versilia e Garfagnana. Alcune varietà commerciali conosciute sono: “Calacatta”, “Calacatta Arni”, “Calacatta Castellina”, “Calacatta Dorato”, “Calacatta Grigio”, “Calacatta Grotte Bianche”, “Calacatta Luccicoso”, “Calacatta Macchia Oro”, “Calacatta Piastreta R”, “Calacatta R”, “Calacatta Tova”, “Calacatta Bettogli”, “Calacatta Crestola”, “Calacatta Fantasia”, “Clacatta Sponda”. Questi marmi presentano tutti clasti a struttura saccaroide di colore bianco-avorio, a volte tendente al giallo-beige molto chiaro. La presenza di tracce di muscovite microcristallina omogeneamente distribuita nella prevalente matrice carbonatica e deboli concentrazioni di pirite producono localmente macchie da grigio a beige-ocraceo che si possono organizzare in sottili vene. Il “Calacatta Venato” presenta un colore predominante bianco (Fig. 6.1.4.1) e venature tenui variamente distribuite e di varia colorazione: dal giallo/giallo oro al rosato, dal violaceo al grigio bardigliaceo, fino al verdolino (Blanco, 1999). Le venature tenui hanno dimensioni da millimetriche fino a pochi cm. È un materiale molto apprezzato dagli architetti, progettisti e designers grazie al suo aspetto raffinato ed elegante.



Fig. 6.1.4.1 - Aspetto macroscopico del “Calacatta Venato”.

Il “Calacatta Venato” gode di una buona reperibilità e i blocchi presentano dimensioni variabili, con valori massimi di lunghezza anche superiori ai 3000 mm. I tagli preferenziali sono eseguiti al verso e al contro. Le lastre hanno in genere spessore di 1,5-2 cm, ma per particolari utilizzi possono essere tagliate con uno spessore minimo di 1 cm (Gatttiglio et al., 1980). Alcune delle varietà merceologiche menzionate sono indicate in Fig. 6.1.4.2.

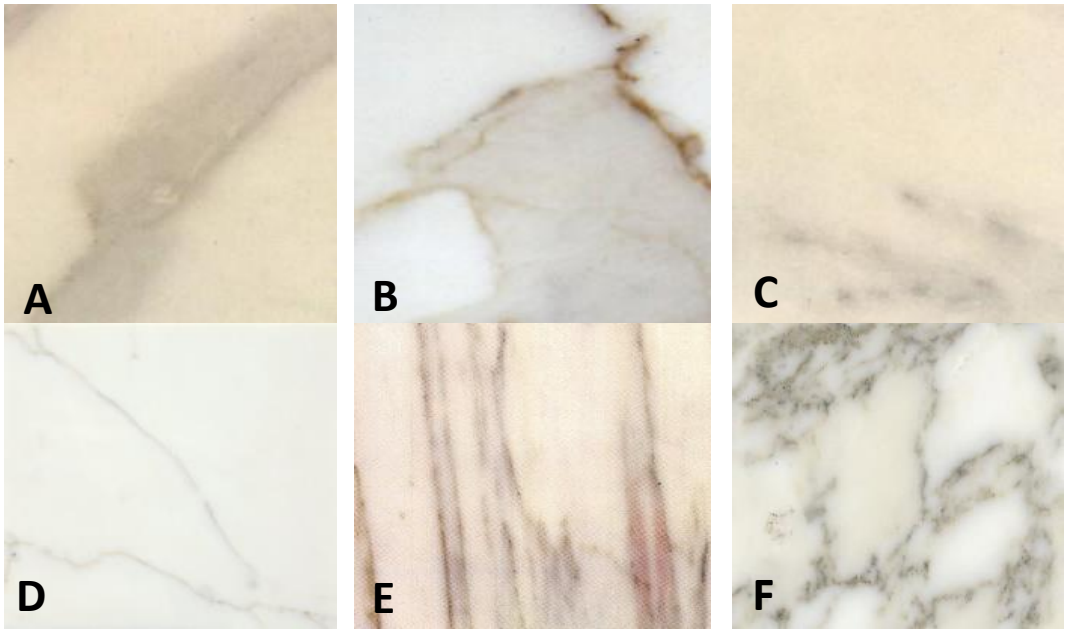



Fig. 6.1.4.2 – Alcune varietà merceologiche del marmo "Calacatta" che presentano un fondo bianco candido tendente all'avorio con venature dorate tenui. A) "Calacatta Venato"; B) "Calacatta Oro"; C) "Calacatta Rocchetta"; D) "Calacatta Crestola"; E) "Calacatta Luccicoso"; F) "Calacatta Arni" (I.C.E.,1982; AA.VV. 1996).

Alcune delle caratteristiche fisico-meccaniche di letteratura sono riportate nella tabella seguente.

| | **Resistenza a compressione semplice ($Kg/cm^2$)** | **Resistenza a flessione ($Kg/cm^2$)** |
|---|---|---|
| **Calacatta Venato[1]** | 1500 | 182 |
| **Calacatta Rocchetta[1]** | 827 | 115 |
| **Calacatta Arnetola[2]** | 1570 | 139 |
| **Calacatta Boccanaglia[2]** | 1210 | 190 |
| **Calacatta Macchia Oro[2]** | 1080 | 143 |
| **Media** | **1237** | **154** |
| **Deviazione standard** | **305** | **31** |

Tabella 6.1.4.1 – Principali caratteristiche fisico-meccaniche di alcune varietà merceologiche del marmo "Calacatta" ([1] I.C.E., 1982; [2] Gattiglio et al., 1980).

Secondo i dati di letteratura (Tabella 6.1.4.1) il "Calacatta Venato" presenta valori di resistenza alla compressione semplice tra i più elevati (insieme al "Calacatta Arnetola"), così come i valori di resistenza alla flessione (insieme al "Calacatta Boccanaglia"). Questi dati sono stati confermati ulteriormente dalle nostre analisi di laboratorio, come Point Load Test e test di resistenza alla flessione (Tabelle 6.1.4.2 e 6.1.4.3) entrambi eseguiti su nr. 10 provini ciascuno (Fig. 6.1.4.3). I nostri risultati confermano i numerosi dati presenti in letteratura. Il "Calacatta Venato" utilizzato da S2 S.p.a. mostra buone proprietà fisico-meccaniche. Anche se i valori di resistenza a compressione monoassiale (valore medio di circa 1000 $kg/cm^2$) sono più bassi rispetto a tutto il gruppo dei marmi bianchi di Carrara ("Arabescato Vagli", "Calacatta Vagli", "Bianco Carrara", "Statuarietto"; Tabella 6.8.2), i valori di resistenza alla flessione sono tra i più alti (Tabella 6.8.2) del

gruppo dei marmi bianchi di Carrara (valore medio di circa 136 kg/cm$^2$) mostrando anche bassi valori di deviazione standard.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 19,10 | 3,20 | 893,25 |
| C. 2 | 19,20 | 3,50 | 1031,98 |
| C. 3 | 19,20 | 3,20 | 952,73 |
| C. 4 | 19,50 | 3,60 | 1013,13 |
| C. 5 | 19,40 | 3,90 | 1091,88 |
| C. 6 | 19,40 | 4,10 | 1203,10 |
| C. 7 | 19,40 | 3,70 | 1068,51 |
| C. 8 | 19,40 | 3,80 | 1100,87 |
| C. 9 | 19,40 | 4,20 | 1216,75 |
| C. 10 | 19,40 | 3,90 | 1126,27 |
| **Media** | **19,34** | **3,71** | **1069,85** |
| **Deviazione Standard** | **0,13** | **0,34** | **101,94** |

Tabella 6.1.4.2 – Valori del Point Load Test elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| c1 | 50 | 19,5 | 160,06 |
| c2 | 52,9 | 19,5 | 152,18 |
| c3 | 53,1 | 19,5 | 152,49 |
| c4 | 53,2 | 19,5 | 125,50 |
| c5 | 59,5 | 19,3 | 125,93 |
| c6 | 59,2 | 19,4 | 128,50 |
| c7 | 50,1 | 19,7 | 111,13 |
| c8 | 50,3 | 19,5 | 126,15 |
| c9 | 54,2 | 19,4 | 139,47 |
| c10 | 53,2 | 19,5 | 142,42 |
| **Media** | **53,57** | **19,48** | **136,38** |
| **Deviazione Standard** | **3,39** | **0,10** | **15,45** |

Tabella 6.1.4.3 – Risultati dei tests di resistenza alla flessione.

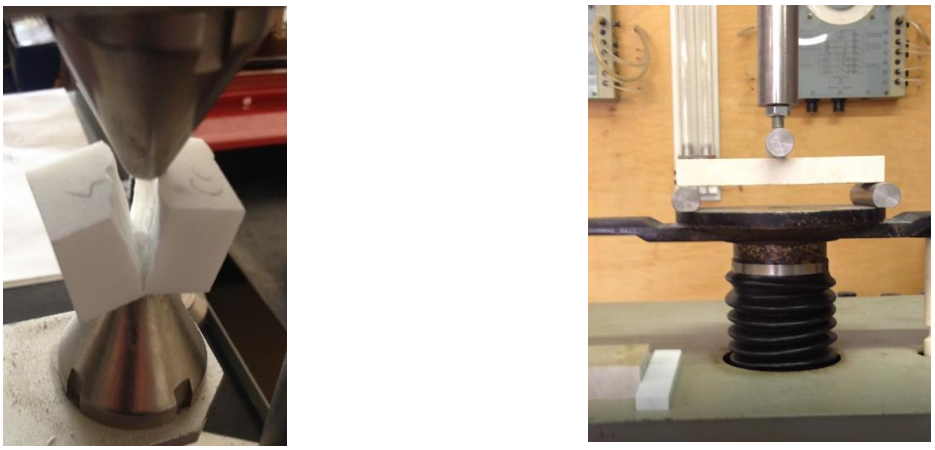


Fig. 6.1.4.3 - Point Load Test per il “Calacatta Venato” a sinistra; test di resistenza alla flessione a destra.

Le analisi in sezione sottile ci hanno permesso di definire questo marmo come un litotipo cristalloblastico ed eterogeneo, con una tipica tessitura saccaroide. I cristalli presentano una debole orientazione, sia nella massa di fondo che nelle venature. Sono individuabili due domini (Fig. 6.1.4.4, 6.1.4.5 e 6.1.4.6):

- il primo dominio corrispondente alla massa di fondo costituita da cristalloblasti di calcite di colore bianco traslucido. La microstruttura è di tipo granoblastico, con le dimensioni medie dei cristalli che variano da 1,5 a 0,01 mm (MGS=1,5mm) e un habitus da euedrale a subedrale. Sono riconoscibili giunti tripli a 120°, oltre alle geminazioni polisintetiche e sfaldature parallele alle diagonali dei cristalli, con colori di birifrangenza elevati (complessivamente rosa pallido); il secondo dominio corrispondente alle venature, è composto da cristalloblasti anedrali e subedrali con aspetto più torbido e colore bruno scuro con rilievo maggiore. I cristalli sono identificabili per la maggior parte come calcite, ma sono presenti in piccola percentuale anche altri minerali come feldspati, quarzo e minerali opachi (pirite). Altri minerali presenti nelle venature non sono risolvibili al microscopio ottico a luce polarizzata.

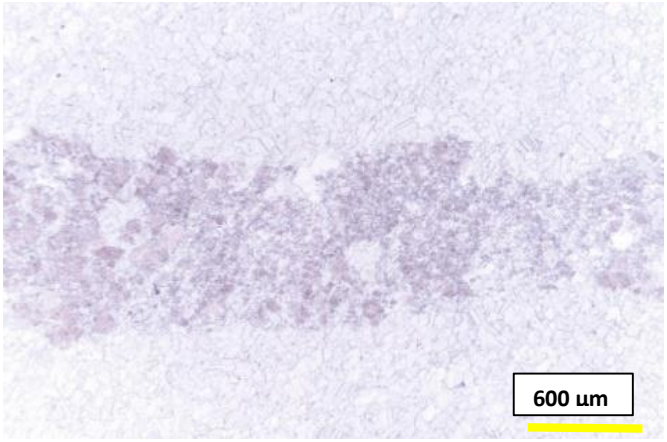
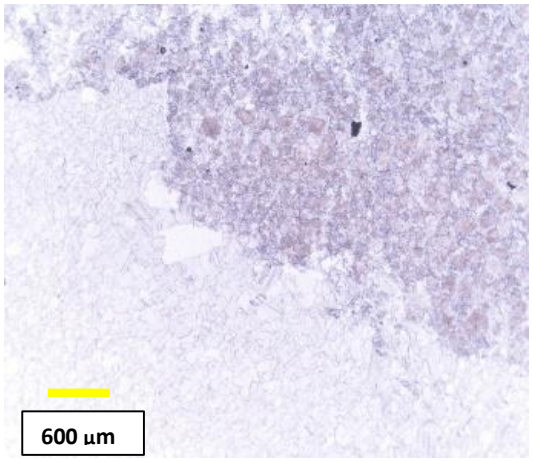



Fig. 6.1.4.4 – Immagine al microscopio ottico a luce polarizzata di “Calacatta Venato”: dettaglio della tessitura prevalenta (Nicols paralleli).



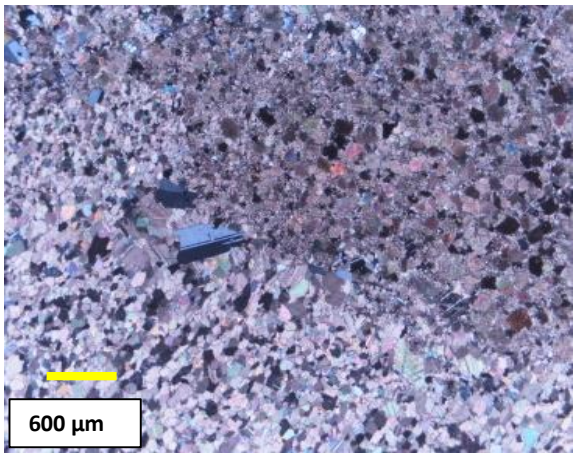




Fig. 6.1.4.5 (Nicols paralleli) e Fig. 6.1.4.6 (Nicols incrociati) - Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata del “Calacatta Venato”: tessitura a bande date dalle diverse dimensioni dei cristalli di calcite a contatto con porzioni scure non risolvibili al microscopio e che costituiscono le vene; sono riconoscibili anche alcuni cristalli di feldspato.

## 6.1.5 “Bianco Carrara”

Il “Bianco Carrara” è il marmo tipico delle Alpi Apuane, nonché uno dei marmi più conosciuti al mondo. Viene estratto in numerose località sia nella provincia di Carrara, come in località Bosaccio, Lorano, Ravaccione, Torrione, Querciola, Canalgrande, Gioia, Canalbianco, Torano, Fantiscritti, Polvaccio, Piastrne, Fossa, Ficola, Colonnata. Nelle zone di Massa viene scavato nelle località di Forno, Resceto, Rava Piastromarina, Lavagnina, Carchio, Valsora, Piastrone (Blanco, 1999). Tra le varietà commerciali esistenti, possiamo citare il “Bianco Carrara B o di prima qualità”, “Il Bianco Carrara C o di seconda qualità”, “Il Bianco Carrara D o di terza qualità”, “Bianco Carrara C/D o di qualità intermedia”, “Bianco Brouillé”, “Bianco Arni”, “Bianco Carrara Venato B” (quest’ultimo rientra anche nelle varietà commerciali “Statuarietto” di cui parleremo più avanti), “Bianco Carrara Venato C”, “Bianco Carrara Venato D”, “Il Bianco Venato Gioia”, “Uliano Venato”, “Bianco Venato Madielle”, “Bianco Lavagnina”, “Bianco Venato Fantiscritti”. Con il termine “Bianco di Carrara” (Fig. 6.1.5.1) si intendono tutti quei litotipi marmorei caratterizzati da una struttura saccaroide uniforme, grana fine e compatta, di composizione estremamente omogenea e colori molto uniformi che variano dal bianco al bianco avorio, da bianco perlaceo al grigio chiaro. Le varietà merceologiche esistenti prendono in considerazione il colore di fondo, che può variare da bianco omogeneo privo di macchie e venature, ad un fondo grigio azzurrognolo con venature allungate e sottili di qualche millimetro.



Fig. 6.1.5.1 – Aspetto macroscopico del marmo “Bianco Carrara”

La roccia è formata principalmente da calcite a grana medio grossolana (>97%) e subordinatamente da dolomite (circa 2 %), a formare una tessitura pavimentosa e saccaroide (Gattiglio et al., 1980).
I marmi bianchi di Carrara possono essere suddivisi in 3 varietà merceologiche più ampie rispetto a quanto decritto (Carmignani et al., 2007a)

- “Ordinario”: di colore da bianco perlaceo a grigio chiaro in genere piuttosto uniforme o variamente punteggiato da macchie grigie di dimensioni centimetriche dai limiti sfumati, dovute a presenza di pirite microcristallina. Raramente si osservano irregolari trame di vene di colore grigio chiaro o scuro.

- “Statuario”: di colore bianco-avorio, a volte tendente al giallo-beige molto chiaro e generalmente assai uniforme. Queste colorazioni sono date da tracce di muscovite microcristallina omogeneamente distribuita nella prevalente matrice carbonatica. Localmente sono presenti macchie grigie dovute a deboli concentrazioni di pirite e fillosilicati che si possono organizzare in sottili vene anastomizzate.
- “Bianco”: estremamente omogeneo e di colore dal bianco puro al bianco perlaceo; questa varietà risulta priva di venature e solo localmente presenta macchie scure isorientate o piccole vene di calcite.

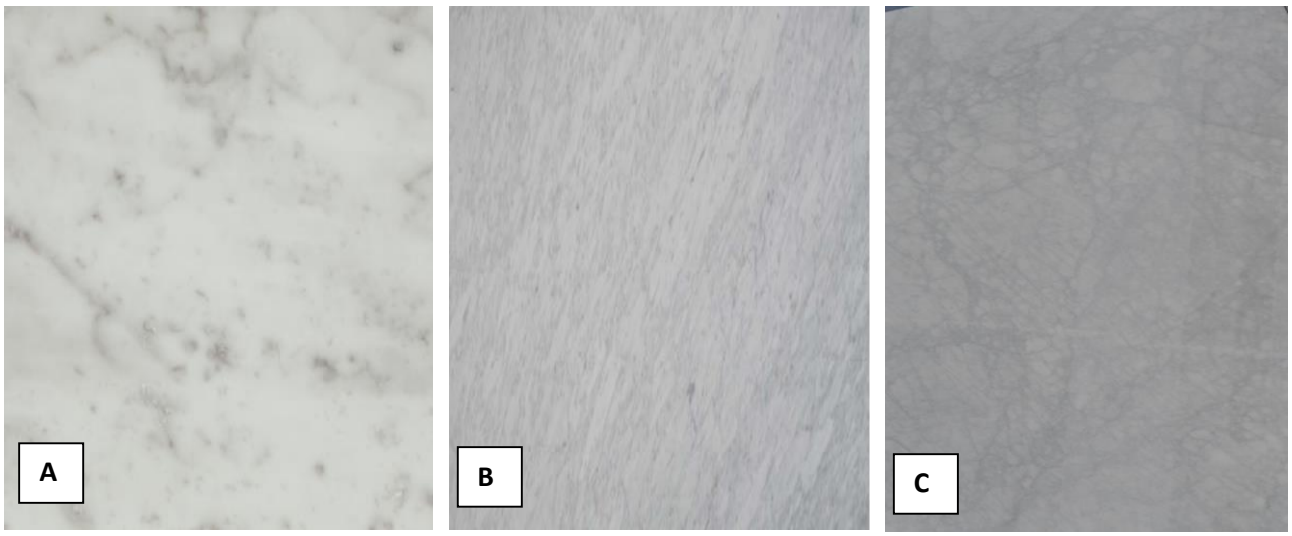



Fig. 6.1.5.2 (A, B, C) – Variazione del colore di fondo da bianco candido a grigio azzurrognolo del “Bianco Carrara”. Da sinistra verso destra si ha una diminuzione della qualità, intesa come tenore del colore bianco: più il colore di fondo è bianco ed esente da macule o venature, più la qualità è elevata (“Bianco Carrara B”, Fig.6.1.5.2A). Viceversa, più il colore di fondo è tendente al grigio-azzurrognolo più la qualità è bassa (“Bianco Carrara D”, Fig. 6.1.5.2C). Una qualità intermedia (“Bianco Carrara C o C/D”) può essere rappresentata in Fig. 6.1.5.2B

Non ci sono limitazioni alle dimensioni dei blocchi in cava, le cui dimensioni medie sono di 4000x2000x2000 mm. I tagli preferenziali sono al contro o al verso. Le lastre hanno spessori variabili tra 1 cm e 3 cm (Gattiglio et al., 1980). È un materiale molto utilizzato in arredamento, nella scultura, per parti ornamentali minute, rivestimenti e pavimenti di pregio per interno ed esterno (Blanco, 1999). Le prime informazioni relative all’estrazione del marmo di Carrara risalgono al I secolo a.C., periodo in cui la regione apuana era già sottomessa ai Romani. Il marmo veniva chiamato *marmor lunense*, nome derivante dal centro estrattivo principale della città di Luna (Luni), antica colonia romana dal cui dal porto salpavano le navi cariche di marmo per raggiungere Roma. Il *marmor lunense* venne impiegato estesamente dai Romani per edifici pubblici e privati, ma probabilmente veniva già utilizzato dalle popolazioni liguri-apuane. L’estrazione, che oggi avviene con escavatori e fili diamantati, veniva effettuata utilizzando cunei di legno o mazzuolo e scalpello. I cunei venivano bagnati ed aumentando il proprio volume provocavano la rottura della roccia. Il materiale veniva lavorato direttamente in cava ed il prodotto semifinito veniva trasportato a valle tramite la lizzatura, metodo che fu conservato fino agli anni ’60 quando i camion riuscirono a caricare i blocchi direttamente in cava

(Bradley, 1997). Nel 1895 a Carrara fu impiegato per la prima volta il filo elicoidale, che consentiva tagli di grandi dimensioni direttamente a monte: in questo modo le cave assunsero l'aspetto a bancate, che conservano ancora oggi (Fig.6.1.5.3).



Fig. 6.1.5.3 – Cava di Bettogli da cui vengono estratte alcune varietà merceologiche del "Bianco Carrara"

Attualmente il taglio al monte viene realizzato impiegando la tagliatrice a filo diamantato o la tagliatrice a catena (Bradley, 1997). Per quanto concerne le tipologie di cava, esse sono condizionate dalle caratteristiche morfologiche e geologiche dei diversi giacimenti: si hanno cave di versante (le più comuni) e culminali, cave a fossa e a pozzo e cave in sotterraneo (Jervis, 1889). Alcune caratteristiche fisico-meccaniche (tratte da Blanco, 1999) sono riportate in Tabella 6.1.5.1.

| | **Bianco Carrara C/D (Seconda o terza qualità )** | **Bianco Carrara B (Prima qualità)** |
|---|---|---|
| **Peso per Unità di Volume ɤ (g/cm$^3$)** | 2.711 | 2.720 |
| **Carico di Rottura a Compressione semplice (Kg/cm$^2$)** | 1334 | 1284 |
| **Carico di rottura a trazione indiretta mediante flessione (Kg/cm$^2$)** | 123 | 202 |

Tabella 6.1.5.1 - Principali caratteristiche fisico-meccaniche di letteratura di alcune varietà commerciali del "Bianco Carrara".

I risultati del Point Load Test, eseguito su n.10 provini (Fig. 6.1.5.4), sono riportati in Tabella 6.1.5.2, mentre i risultati delle prove di resistenza alla flessione sono visibili nella Tabella 6.1.5.3.




Fig. 6.1.5.4 - Point Load Test eseguito sul "Bianco Carrara" a sinistra e provini utilizzati per i tests di resistenza alla flessione a destra.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 19,70 | 5,10 | 1469,36 |
| C. 2 | 19,80 | 5,00 | 1421,27 |
| C. 3 | 19,00 | 4,00 | 1104,68 |
| C. 4 | 18,70 | 3,40 | 1010,24 |
| C. 5 | 19,60 | 5,30 | 1424,69 |
| C. 6 | 19,70 | 5,50 | 1584,61 |
| C. 7 | 19,70 | 6,00 | 1611,21 |
| C. 8 | 19,90 | 4,50 | 1278,21 |
| C. 9 | 19,70 | 4,00 | 1182,86 |
| C. 10 | 18,80 | 5,00 | 1421,41 |
| **Media** | **19,46** | **4,78** | **1350,85** |
| **Deviazione Standard** | **0,45** | **0,79** | **200,55** |

Tabella 6.1.5.2 – Valori del Point Load Test elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| c1 | 51,2 | 19,7 | 130,49 |
| c2 | 46,7 | 19,7 | 138,10 |
| c3 | 50 | 19,5 | 130,70 |
| c4 | 45,2 | 20,2 | 111,30 |
| c5 | 39,9 | 20,1 | 112,82 |
| c6 | 46 | 20 | 122,32 |
| c7 | 49,1 | 20 | 119,19 |
| c8 | 50 | 20 | 125,14 |
| c9 | 51,2 | 20,3 | 145,08 |
| c10 | 48 | 20 | 126,61 |
| **Media** | **47,73** | **19,95** | **126,17** |
| **Deviazione Standard** | **3,47** | **0,25** | **10,56** |

Tabella 6.1.5.3 – Risultati delle prove di resistenza alla flessione.

I risultati delle prove fisico-meccaniche ci indicano che questo materiale presenta una buona resistenza alla compressione monoassiale (valore medio di circa 1350 kg/cm$^2$) e buoni valori di resistenza alla flessione (valore medio di circa 126 kg/cm$^2$) tutti con bassa deviazione standard a conferma dell'omogeneità del materiale.

Le osservazioni al microscopio ottico sui campioni di "Bianco Carrara C" sono in accordo con la caratterizzazione di letteratura. La tessitura della roccia è isotropa con cristalli dai bordi diritti o lievemente curvi (straight e curved) in cui sono evidenti le caratteristiche giunzioni triple che formano angoli di 120° (Fig. 6.1.5.5 e 6.1.5.6). La roccia è formata principalmente da calcite (>97%) e subordinatamente da dolomite (circa 2 %), a grana medio grossolana a formare una tessitura pavimentosa (Gattiglio et al., 1980). Le dimensioni dei cristalli di calcite e dolomite sono comprese nell'intervallo 60-700 µm (MGS = 700 µm). Tra gli accessori si trovano muscovite, albite e pirite (Gattiglio et al., 1980).

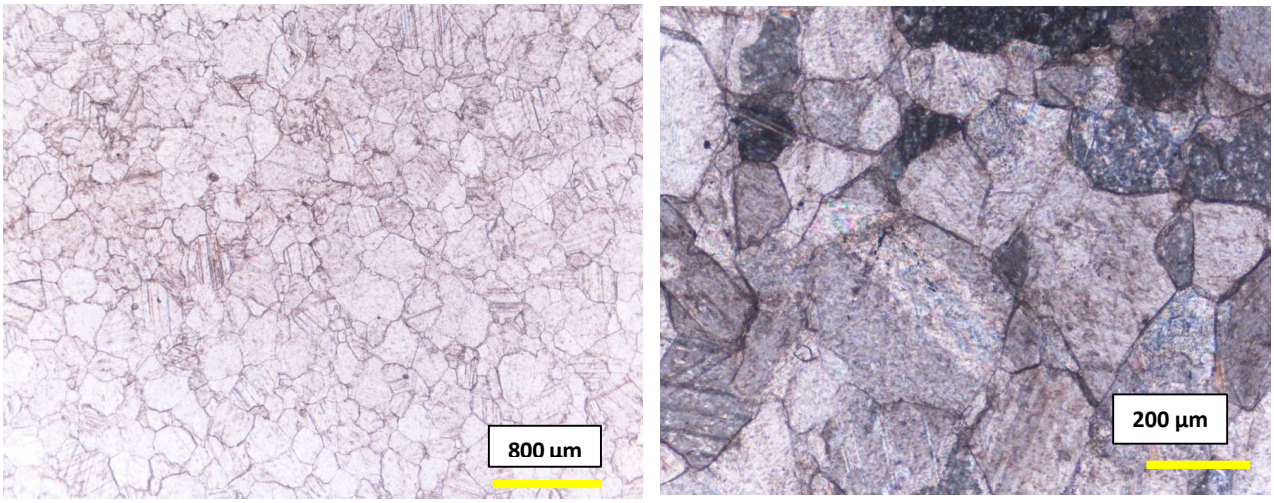



Fig. 6.1.5.5 e 6.1.5.6 – Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di "Bianco Carrara C": a sinistra cristalli di calcite di differente dimensioni da 60 a 700 µm (Nicols paralleli), a destra dettaglio dei cristalli di calcite con i giunti tripli a 120° (Nicols incrociati).

Le analisi al microscopio elettronico a scansione (Fig. 6.1.5.7) hanno permesso di evidenziare che la presenza di dolomite è responsabile del colore grigiastro delle venature (nel caso i cristalli siano disposti lungo linee) o delle puntinature (nel caso siano presenti cristalli singoli). I minerali accessori sono costituiti da apatite e solfuri di ferro ed in minor misura da ossidi di ferro e titanio le cui dimensioni variano da pochi microns a poche decine di microns che si rinvengono in genere isolati e dispersi nella roccia senza mostrare allineamenti preferenziali. È stato inoltre possibile constatare la presenza di cristalli caratterizzati da numerosi vuoti dell'ordine di pochi microns di dimensione che interessano indistintamente i cristalli di calcite e dolomite.

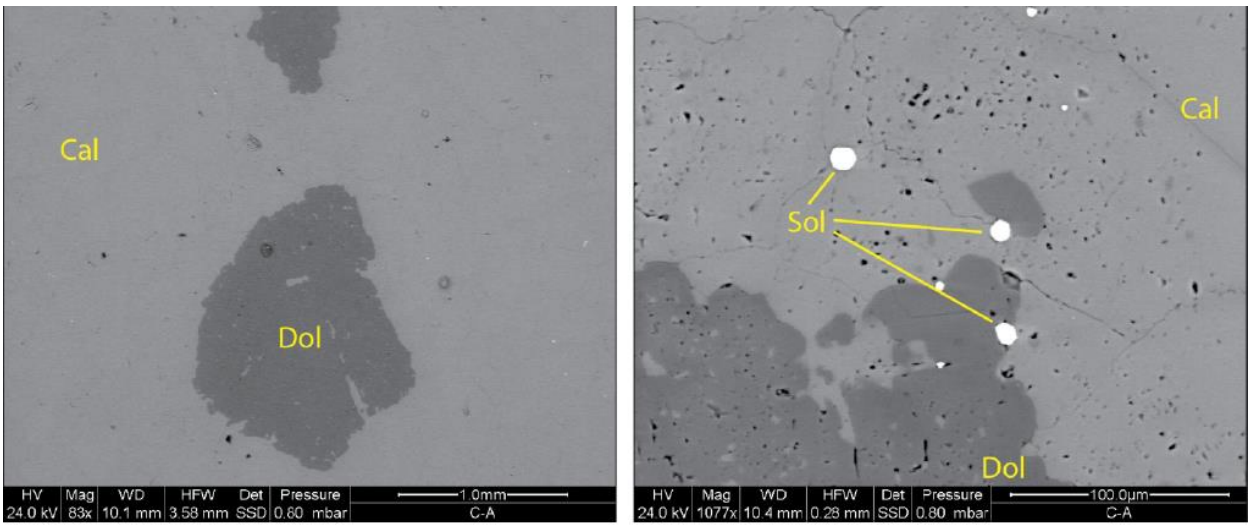



Fig. 6.1.5.7– Immagini del "Bianco Carrara" analizzato in elettroni retrodiffusi (ESEM-BSE). Cristalli di dolomite dispersi tra i cristalli di calcite a sinistra; cristalli di pirite e dettaglio dei vuoti intracristallini che interessano cristalli di calcite e dolomite a destra. Sigle utilizzate: Cal = calcite, Dol = dolomite, Sol = solfuri.

## 6.1.6. “Statuarietto”

Il marmo conosciuto con il nome commerciale di “Statuarietto” è una delle varietà più pregiate del marmo di Carrara, espressione di eleganza e bellezza. Altre denominazioni e varietà commerciali conosciute sono: “Statuario”, “Statuario Altissimo”, “Statuario Ravaccione”, “Statuario Venato”, “Statuario Michelangelo”. Presenta un colore di fondo bianco puro che può variare da bianco latteo quasi esente da macchie, venature e/o difetti, a un bianco tendente al ceruleo con venature o macule strette ed intense di colore dal nero fino al grigiastro (Blanco, 1999). Mostra una grana uniforme, saccaroide con venature tenui di pochi millimetri, di colore grigio chiaro fino a nero (Fig. 6.1.6.1). È il materiale utilizzato da Michelangelo per numerose opere, come “La Pietà” o “il Mosè”, quest’ultima realizzata con il marmo “Statuario” della cava del Polvaccio a Carrara (Jervis, 1889) che per questo gode di una fama mondiale. La qualità di questo marmo è data dal tenore del colore bianco e dalla percentuale di venature presenti: più l’aspetto è tendente ad un colore bianco uniforme e privo di venature, più la qualità risulta elevata. Fin dal tempo dei Romani viene impiegato per la scultura, grazie alla sua colorazione bianca-avorio ed alla tessitura cristallina, che si presta al lavoro di scalpello (Bradley, 1997). I blocchi di dimensioni contenute venivano fatti partire dallo scalo di Marina di Carrara, mentre quelli di grosse dimensioni venivano imbarcati nel porto di Livorno. Il punto di arrivo a Roma era sulle sponde del Tevere in località Ripa Grande. Le imbarcazioni di piccole dimensioni risalivano il Tevere trainati dagli uomini mentre quelle più grandi venivano trainate da bufali (Iseppi, 1999).



Fig. 6.1.6.1 – Aspetto macroscopico dello “Statuarietto” utilizzato da S2 S.p.a.

Attualmente viene estratto in diverse località del carrarese, dalla Versilia, a Ravaccione, presso Crestola, a Gioia. È un materiale molto utilizzato nell’arredamento, sia per tavoli e mobili, ma anche per sculture, decorazioni fini, pavimenti e rivestimenti di lusso per interni ed esterni. Trova ottime applicazioni negli ornati (Gattiglio et al., 1980). Le dimensioni medie dei blocchi sono di 3000x1800x1600 mm. Alcune varietà merceologiche sono mostrate nelle figure seguenti in cui si evidenzia che il colore di fondo può variare da un bianco latte esente da macchie-venature (Fig. 6.1.6.2 B) ad un bianco ceruleo con venature più evidenti (Fig. 6.1.6.2 A e 6.1.6.2 C).

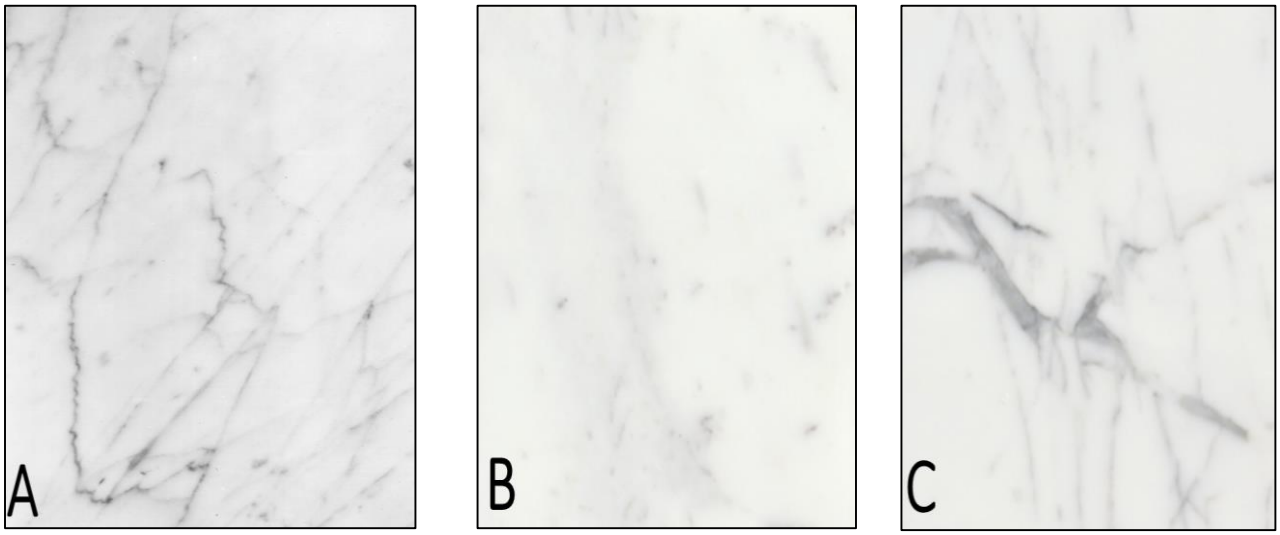



Fig. 6.1.6.2 – Alcune varietà merceologiche del marmo "Statuarietto": A) "Statuarietto; B) "Statuario"; C) "Statuario Venato".

Le proprietà fisico-meccaniche di alcune varietà commerciali sono riassunte in Tabella 6.1.6.1

| | **"Statuario Altissimo"** | **"Statuario Ravaccione"** | **"Statuario Venato"** |
|---|---|---|---|
| **Peso per Unità di Volume ɤ (g/cm$^3$)** | 2.724 | 2.703 | 2.710 |
| **Carico di Rottura a Compressione semplice (Kg/cm$^2$)** | 1080 | 1352 | 1528 |
| **Carico di Rottura a trazione indiretta mediante flessione (Kg/cm$^2$)** | 212 | 173 | 186 |

Tabella 6.1.6.1 – Principali caratteristiche fisico-meccaniche di alcune varietà merceologiche del marmo "Statuarietto" (Da Blanco, 1999).

In Tabella 6.1.6.2 sono riportati i valori del Point Load Test, mentre in Tabella 6.1.6.3 vengono riportati i valori dei tests di resistenza alla flessione (Fig.6.1.6.3) entrambi eseguiti su nr. 10 provini.

| **CAMPIONE** | **Spessore D (mm)** | **Carico P (KN)** | **Resistenza a compressione monoassiale (Kg/cm$^2$)** |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 19,90 | 4,00 | 1150,83 |
| C. 2 | 19,80 | 4,50 | 1279,15 |
| C. 3 | 19,90 | 4,00 | 1065,76 |
| C. 4 | 20,00 | 4,20 | 1184,61 |
| C. 5 | 20,00 | 5,50 | 1455,49 |
| C. 6 | 19,90 | 5,50 | 1572,25 |
| C. 7 | 20,00 | 5,90 | 1579,78 |
| C. 8 | 20,10 | 4,00 | 1127,41 |
| C. 9 | 19,90 | 5,50 | 1613,75 |
| C. 10 | 19,90 | 4,00 | 1088,10 |
| **Media** | **19,94** | **4,71** | **1311,71** |
| **Deviazione Standard** | **0,08** | **0,79** | **220,91** |

Tabella 6.1.6.2 – Valori del Point Load Test elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| c1 | 52,1 | 19,5 | 139,97 |
| c2 | 46,2 | 20,2 | 125,13 |
| c3 | 50 | 20 | 118,84 |
| c4 | 50 | 19,6 | 120,93 |
| c5 | 50 | 19,5 | 168,58 |
| c6 | 51,5 | 19,8 | 147,15 |
| c7 | 52,1 | 20,5 | 124,18 |
| c8 | 48,1 | 20 | 139,45 |
| c9 | 49,9 | 19,9 | 142,15 |
| c10 | 50,1 | 20,1 | 142,34 |
| **Media** | **50** | **19,91** | **136,87** |
| **Deviazione Standard** | **1,80** | **0,32** | **15,14** |

Tabella 6.1.6.3 – Valori dei tests di resistenza alla flessione del marmo “Statuarietto”.




Fig.6.1.6.3 – Provini utilizzati per i tests di resistenza alla flessione del marmo “Statuarietto”.

Grazie ai dati delle prove fisico-meccancihe eseguite, confrontati sia con gli altri marmi bianchi di Carrara, sia con i numerosi dati di letteratura, possiamo dire che:

- entrambi i tests mostrano risultati simili e nella media dei marmi bianchi di Carrara in generale;
- i valori di resistenza alla flessione sono i più alti riscontrati nei marmi bianchi analizzati (valore medio di 136 kg/cm$^2$,Tabella 6.8.2), confermando i dati di letteratura disponibili;
- i valori del Point Load Test sono molto simili a quelli del “Bianco Carrara” (1312 kg/cm$^2$ nello “Statuarietto” e 1359 kg/cm$^2$ nel “Bianco Carrara”, Tabella 6.8.1): i due materiali mostrano molte analogie sia a livello strutturale che composizionale, come mostrato anche dallo studio in sezione sottile.

Le osservazioni al microscopio ottico polarizzatore hanno evidenziato diverse similitudini tessiturali con il marmo “Bianco Carra C”: la tessitura è isotropa ed omogenea senza variazioni di granulometria dei cristalli di calcite e dolomite che rappresentano i costituenti principali. I cristalli hanno un habitus regolare e una tessitura pavimentosa (Fig. 6.1.6.4) con dimensioni comprese tra 50 e 800 µm (MGS = 800 µm) e mostrano bordi cristallini piuttosto rettilinei e/o curvi (straight e curved).

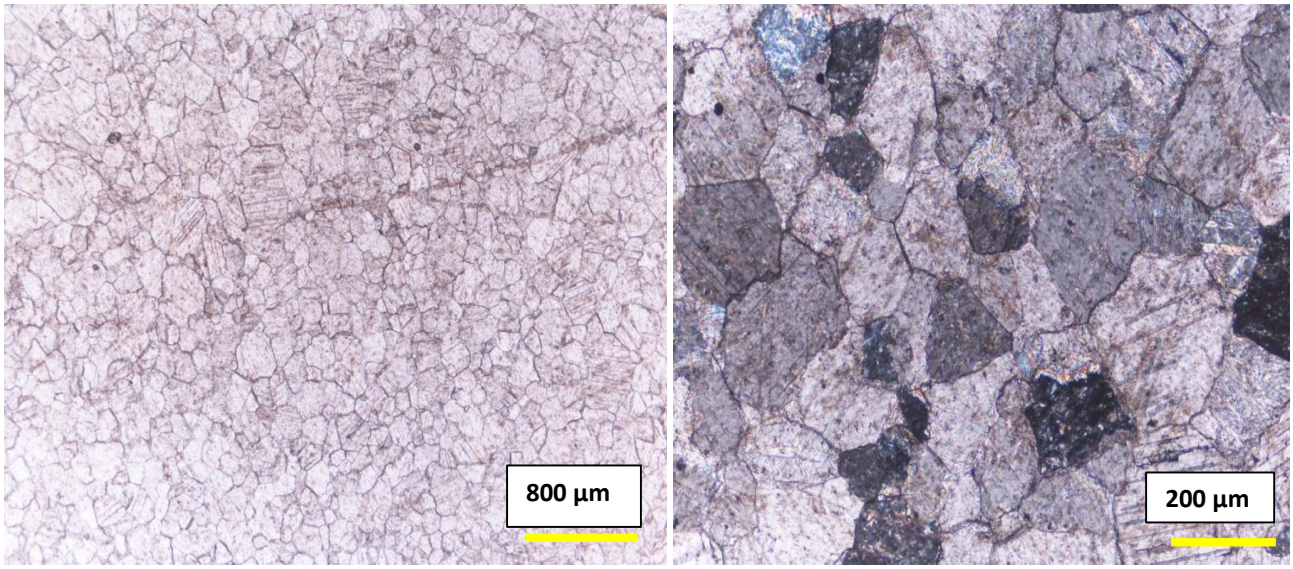



Fig. 6.1.6.4 – Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di “Statuarietto” dove si evidenzia l’omogeneità tessiturale in cui sono visibili i giunti tripli a 120° ( Nicols paralleli a sinistra; Nicols incrociati a destra).

Le osservazioni e le analisi al microscopio elettronico a scansione hanno permesso di caratterizzare meglio questo litotipo, confermando ulteriormente i dati di letteratura Il minerale principale è la calcite (> 85%), seguita da dolomite presente anche in quantità rilevante (10% circa; Fig. 6.1.6.5 a, b). Altri minerali accessori sono quarzo e feldspato (con le stesse dimensioni della calcite), apatite, ossidi di ferro e raro zircone (Gattiglio et al., 1980). I cristalli di dolomite sono spesso organizzati a formare bande o vene (Fig. 6.1.6.5 a) e sono responsabili del colore grigiastro delle venature della roccia. I minerali accessori sono presenti maggiormente proprio lungo le venature grigiastre (Fig. 6.1.6.5 a, b) e raramente nelle porzioni di roccia a maggior presenza di calcite. A differenza degli altri marmi bianchi apuani studiati, i campioni di “Statuarietto” analizzati non mostrano tracce di solfuri (molto diffusi invece negli altri litotipi), mentre si evidenzia l’abbondante presenza di ossidi di ferro (rari negli altri litotipi investigati, Fig. 6.1.6.5 c).

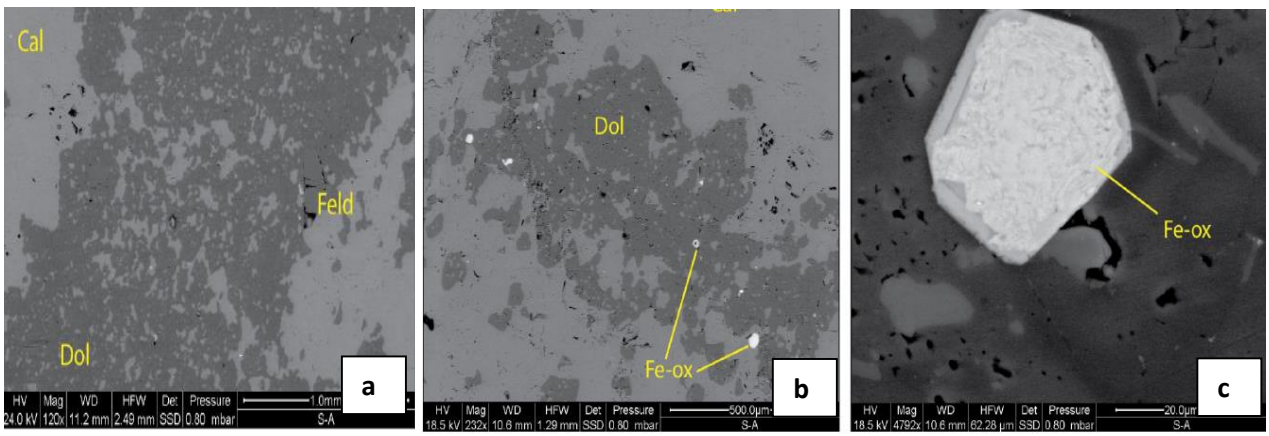



Fig. 6.1.6.5 (a, b, c) - Immagini in elettroni retrodiffusi (ESEM-BSE): (a) vena di cristalli di dolomite; (b) abbondanza di ossidi di ferro tra i cristalli di dolomite; (c) dettaglio su un ossido di ferro in parte smescolato. Sigle utilizzate: Cal = calcite, Dol = dolomite, Feld = feldspato, Fe-ox =ossido di ferro.

### 6.1.7 “Invisible Grey”

Il litotipo conosciuto con il nome commerciale di “Invisibile Grey” è un materiale che viene estratto in Turchia, e anche se non è attualmente utilizzato da S2 S.p.a., è stato comunque analizzato (Point Load Test, resistenza alla flessione e analisi petrografica) al fine di implementare la banca dati interna dell’azienda che potrebbe in futuro metterlo in produzione. È un calcare dolomitico brecciato (Fig. 6.1.7.1) con colore dominante bianco e aspetto molto fratturato. Le numerose venature e fessure presenti mostrano un colore da grigio a bluastro, con rare macule o venature di colore da grigio a giallo ocra, con dimensioni molto variabili, da pochi mm fino a qualche decimetro. È un materiale molto eterogeneo e molto variabile nel suo aspetto.

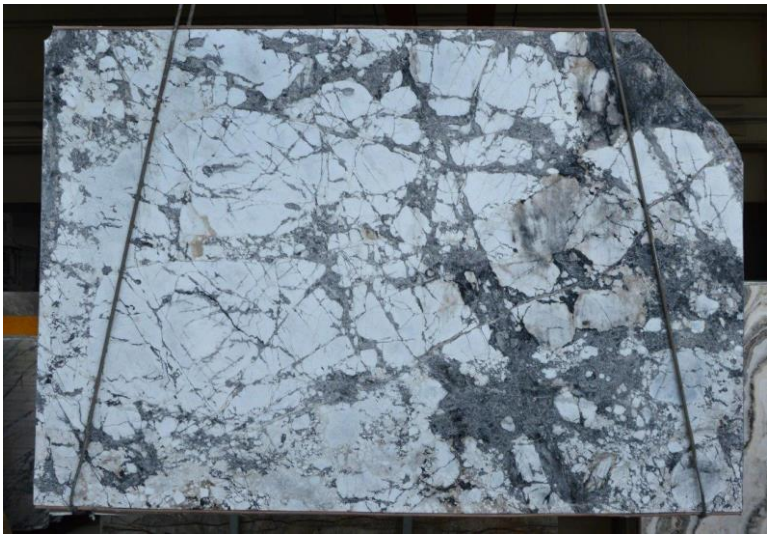


Fig. 6.1.7.1 – Aspetto macroscopico di “Invisible Grey”.

In commercio sono presenti altre varietà che possono avere un diverso colore delle venature/fratture, ma che sono comunque caratterizzate dalla stessa tessitura brecciata-fratturata, come “Invisible Grey Gold”, “Invisible Blue”, “Invisible Light”. Altri nomi con cui viene conosciuto nel mondo del commercio possono essere “Ice Blue”, “Bluette”, “Iceberg White”, “Iceberg Blue” o “Iceberg Dark”. Viene estratto in una località situata tra le città di Balikesir e Smirne (Fig. 6.1.7.2).



Fig. 6.1.7.2 – Cave di “Invisible Grey”, Turchia (da: http://tuanamaden.com).

Questo materiale viene utilizzato nell'arredamento per interni e pavimenti; la finitura consigliata è quella della lucidatura a sale. Sulla base dei dati reperiti da alcuni fornitori ed alcuni siti commerciali, possiamo dire che le dimensioni medie dei blocchi sono 2600x1400x1200 mm (da: http://www.sixaview.com). In alcuni casi le lastre possono misurare fino a 2900x1700 mm con uno spessore che varia da 2 a 3 cm.

Abbiamo eseguito il Point Load Test su nr. 15 provini (Fig. 6.1.7.3) anziché 10 come sugli altri materiali al fine di avere un dato più rappresentativo vista la disomogeneità del materiale. Nei tests di resistenza alla flessione (Fig. 6.1.7.4) abbiamo considerato una distanza tra i due cilindri di 8,5 cm rispetto agli altri materiali in cui abbiamo considerato 12 cm. I risultati delle prove fisico-meccaniche sono riassunti in Tabella 6.1.7.1 e Tabella 6.1.7.2.






Fig. 6.1.7.3 e 6.1.7.4 – Provini utilizzati per il Point Load Test a sinistra e provini utilizzati per i test di resistenza alla flessione.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 19,20 | 7,00 | 1852,87 |
| C. 2 | 18,90 | 2,40 | 774,24 |
| C. 3 | 18,90 | 4,50 | 1378,73 |
| C. 4 | 18,90 | 3,00 | 839,28 |
| C. 5 | 18,50 | 3,50 | 1032,37 |
| C. 6 | 18,80 | 6,50 | 1678,79 |
| C. 7 | 18,80 | 3,50 | 1091,31 |
| C. 8 | 19,20 | 6,00 | 1752,24 |
| C. 9 | 19,00 | 2,50 | 814,82 |
| C. 10 | 18,60 | 4,50 | 1386,72 |
| C.11 | 18,80 | 4,50 | 1290,92 |
| C. 12 | 19,00 | 5,50 | 1661,69 |
| C. 13 | 19,10 | 3,90 | 1201,21 |
| C. 14 | 18,80 | 3,80 | 1113,88 |
| C. 15 | 18,80 | 4,30 | 1248,75 |
| **Media** | **18,89** | **4,36** | **1274,52** |
| **Deviazione Standard** | **0,20** | **1,38** | **406,99** |

Tabella 6.1.7.1 – Valori del Point Load Test per "Invisible Grey" elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| c1* | 52,1 | 19,7 | 71,76 |
| c2* | 53,1 | 18,6 | 91,92 |
| c3* | 40 | 20 | 79,74 |
| c4* | 50,8 | 18,6 | 115,29 |
| c5* | 44,5 | 20,3 | 67,52 |
| c6* | 43,5 | 20,2 | 121,91 |
| c7* | 46,6 | 19,5 | 83,29 |
| c8* | 52,4 | 18,5 | 90,67 |
| c9* | 50,5 | 19,2 | 86,67 |
| **Media** | **48,17** | **19,40** | **89,86** |
| **Deviazione Standard** | **4,67** | **0,71** | **18,24** |

Tabella 6.1.7.2 – Risultati dei tests di resistenza alla flessione. In questo caso la distanza tra gli appoggi utilizzata è stata di 85 mm a causa delle dimensioni ridotte dei campioni.

Entrambe le prove ci mostrano come il materiale abbia scadenti caratteristiche fisico-meccaniche, le più basse riscontrati nel gruppo dei "Marmi Bianchi" (Tabelle 6.8.1 e 6.8.2). I dati del Point Load Test (1247 kg/cm$^2$) mostrano un elevato indice di deviazione standard (406,99 kg/cm$^2$); i valori più bassi sono stati riscontrati nei provini (C.2, C.4, C.9) con maggiore presenza delle venature grigio bluastre. Va considerato infatti che in questo materiale le fratture costituiscono zone di maggiore debolezza fisico-meccanica. Anche la resistenza alla flessione mostra valori bassi (89 kg/cm$^2$). Va in ogni caso considerata l'eterogeneità e la ristretta quantità di campioni a disposizione. In ogni caso, sulla base di queste considerazioni, possiamo dedurre che questo materiale non sia adatto per produrre tavoli di grandi dimensioni.

Le analisi al microscopio ci mostrano un materiale di natura dolomitico-calcarea e in particolare che:

- il litotipo "Invisible Grey" è una roccia composta da cristalli di calcite e dolomite da euedrali (sub-millimetrici) a subedrali;
- i cristalli di dolomite (da 100 microns fino a 0,5 mm) sono ben riconoscibili dall'abito romboedrico delineato, in alcuni casi, da zonature, dovute a differenze di chimismo;
- in questa roccia la massa di fondo è costituita da cristalli assai più fini di natura micritica che macroscopicamente hanno un colore bianco perlaceo;
- le venature macroscopicamente di colore blu-grigio con pigmentazioni giallognole, sono costituite da cristalli di dolomite e calcite;
- in alcune zone la matrice calcitica originale è stata sostituita dalla dolomite.

Quanto appena detto può essere osservato nelle immagini seguenti (Fig. 6.1.7.5, 6.1.7.6, 6.1.7.7).

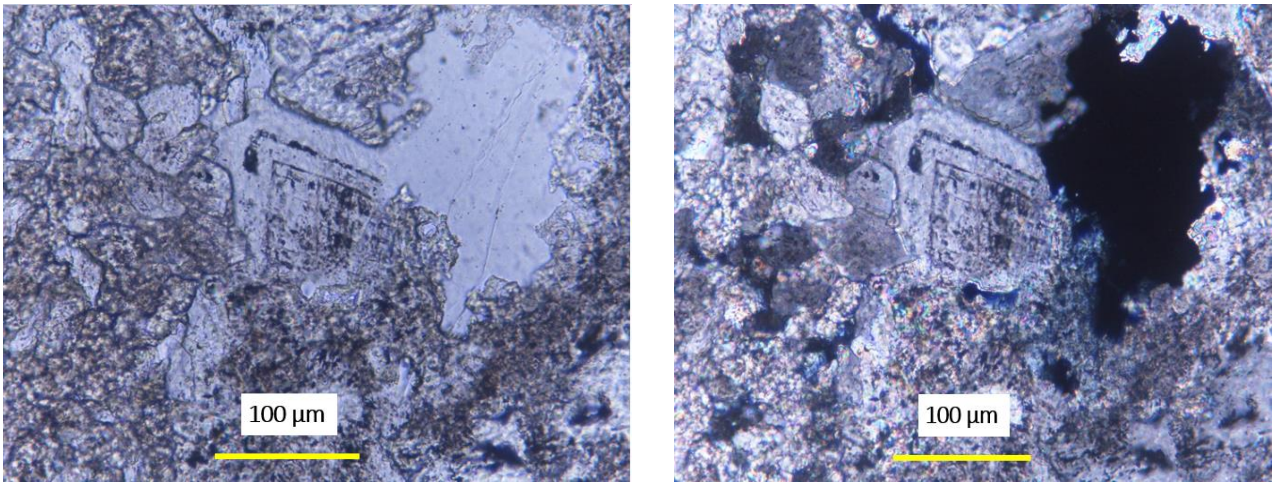



Fig. 6.1.7.5 – Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di “Invisible Grey”: dettaglio di cristalli di dolomite zonati (Nicols paralleli a sinistra e Nicols incrociati a destra).

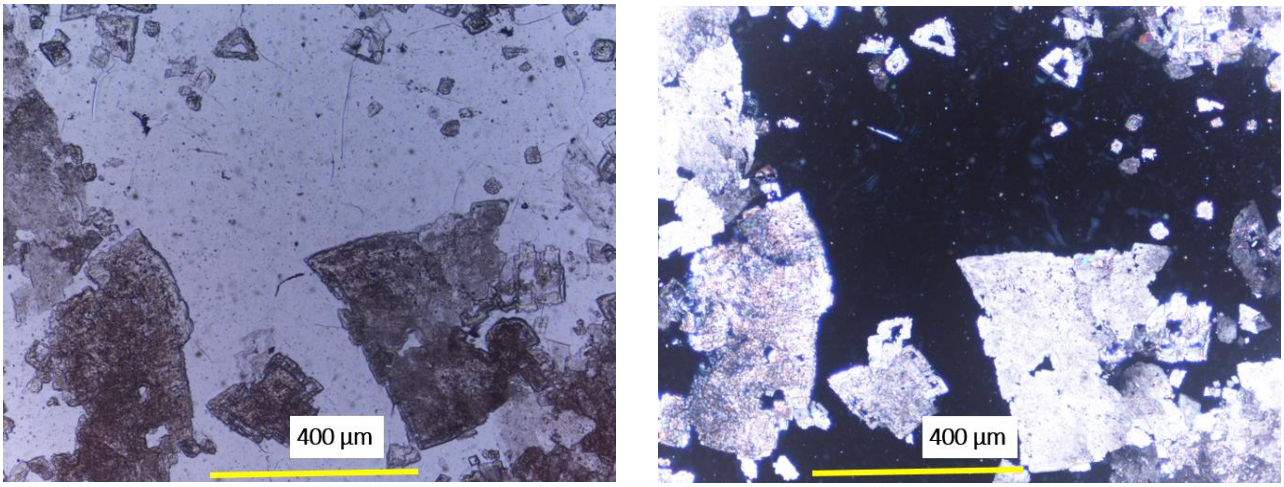



Fig. 6.1.7.6 – Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di “Invisible Grey”: cristalli di dolomite di grandi dimensioni (Nicols paralleli a sinistra e a Nicols incrociati a destra).

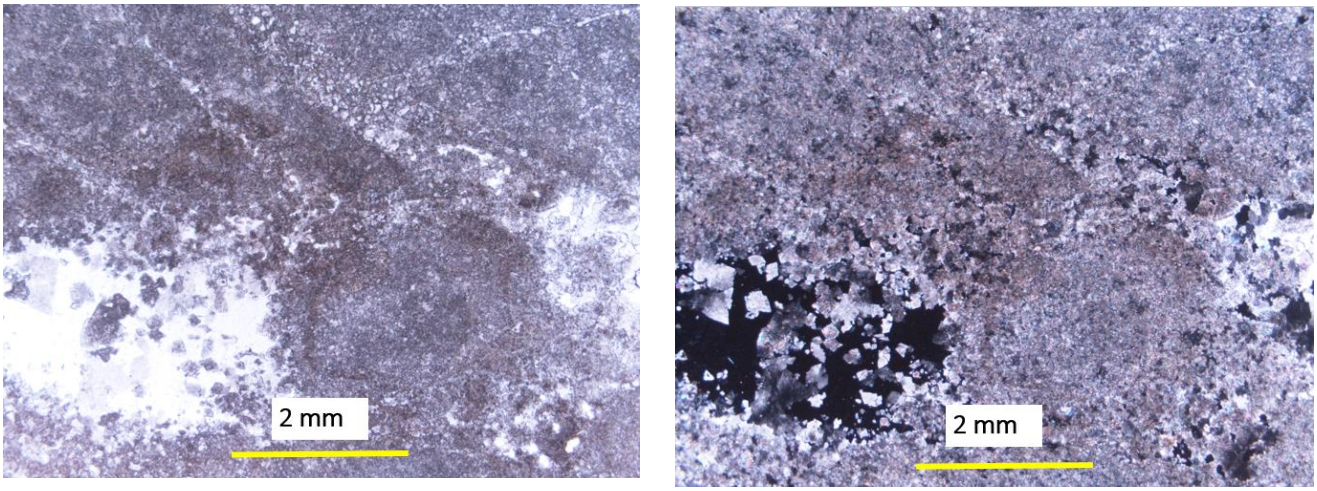



Fig. 6.1.7.7 – Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di “Invisible Grey”: massa di fondo micritica con cristalli di calcite e dolomite (Nicols paralleli a sinistra e Nicols incrociati a destra).

## 6.1.8. “Panda White”

Questo materiale è un marmo di colore bianco candido, con venature di colore molto variabile, da nero a verde scuro, da verde oliva a grigio chiaro, con spessori che vanno da pochi mm fino a qualche decimetro, che gli conferiscono un disegno ondulato ed anastomizzato. Da vari siti commerciali e sulla base di informazioni reperite da alcuni fornitori, si è dedotto che il materiale proviene dalla Cina anche se non abbiamo dati certi. L’azienda S2 S.p.a. pur non avendo in produzione questo materiale ha comunque sperimentato la realizzazione di un tavolo che è stato poi esposto al Salone del Mobile di Milano, 2018 (Fig. 6.1.8.1).



Fig.6.1.8.1 - Tavolo in “Panda White” prodotto da S2 S.p.a. ed esposto al Salone del Mobile di Milano, 2018.

È un materiale conosciuto con diversi nomi e presenta numerose varietà commerciali, come “Corciula Marble”, “Dalmata”, “Panda Chinese marble”, “China White Panda”. In questo marmo è riconoscibile ad occhio nudo una grana cristallina grossolana con struttura saccaroide. Le informazioni che siamo riusciti a reperire tramite alcuni siti web di natura commerciale, mostrano come questo materiale sia molto utilizzato in arredamento, soprattutto per pavimenti e rivestimenti di interni, a causa del suo “disegno” e del suo aspetto che lo rende unico. Alcune immagini di questo materiale sono riportate in Fig. 6.1.8.2.



Fig. 6.1.8.2 – Aspetto macroscopico del “marmo Panda White”.

I blocchi e le lastre hanno dimensioni medie di 2800x1700 mm, con spessori che misurano in genere da 2 a 3 cm. Una foto riguardante l’aspetto delle cave viene riportata nella Fig. 6.1.8.3.



Fig. 6.1.8.3 – Cava di “Panda White” (da: http://www.oda-italia.com/company.html).

I risultati del Point Load Test, eseguito su nr. 12 provini (Tabella 6.1.8.1) evidenziano che i campioni (C4, C5, C6 e C11) costituiti esclusivamente dalle porzioni di materiale di colore verde scuro, presentano i valori più elevati (tra 129 e 1980 kg/cm$^2$) rispetto ai provini costituiti da porzioni di colore biancastro (tra 856 e 1150 kg/cm$^2$, Fig. 6.1.8.4). Le venature sono probabilmente costituite da minerali più resistenti rispetto alla massa di fondo e quindi non dovrebbero costituire punti di debolezza del materiale, come viene dimostrato anche dalle prove di resistenza alla flessione condotte in totale su nr 10 provini (Tabella 6.1.8.2).

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 21,20 | 3,50 | 984,31 |
| C. 2 | 21,50 | 3,10 | 868,18 |
| C. 3 | 21,10 | 3,50 | 1011,66 |
| C. 4 | 21,50 | 4,50 | 1219,37 |
| C. 5 | 20,00 | 7,00 | 1980,61 |
| C. 6 | 20,60 | 5,50 | 1530,68 |
| C. 7 | 21,40 | 3,40 | 856,29 |
| C. 8 | 21,70 | 3,40 | 908,85 |
| C. 9 | 21,50 | 4,00 | 1101,72 |
| C. 10 | 21,60 | 4,00 | 1073,07 |
| C. 11 | 21,20 | 4,50 | 1224,82 |
| C. 12 | 21,20 | 4,20 | 1150,54 |
| **Media** | **21,21** | **4,09** | **1159,18** |
| **Deviazione Standard** | **0,48** | **1,02** | **319,51** |

Tabella 6.1.8.1 – Risultati del Point Load Test elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

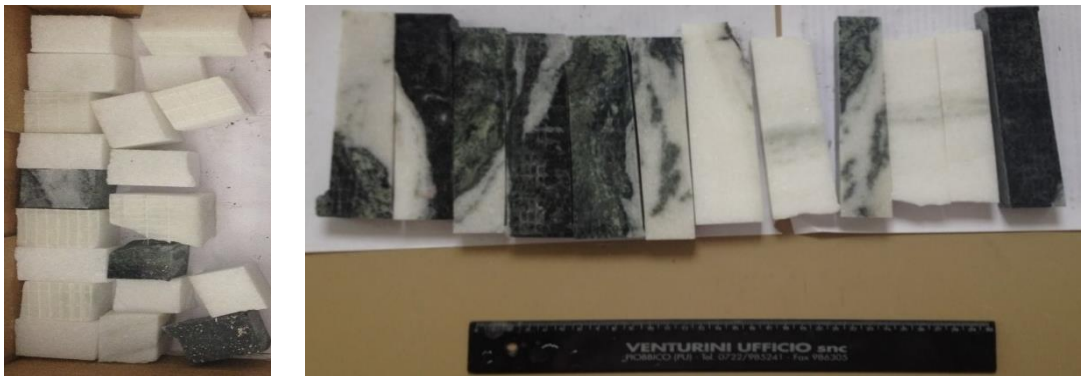



Fig. 6.1.8.4 – Alcuni dei provini utilizzati per il Point Load Test a sinistra mentre a destra provini utilizzati per i test di resistenza alla flessione.

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| c10 | 28 | 21 | 295,19 |
| c8 | 35,5 | 21,4 | 303,37 |
| c9 | 30 | 21,9 | 212,67 |
| c6 | 35 | 22 | 234,83 |
| c7 | 30,5 | 21,9 | 135,36 |
| c5 | 33,5 | 21,5 | 179,01 |
| c4 | 40 | 21,6 | 139,85 |
| c3 | 28,1 | 21,1 | 172,66 |
| c2 | 30 | 21,6 | 153,03 |
| c1 | 31,5 | 21,5 | 160,70 |
| **Media** | **32,21** | **21,55** | **198,67** |
| **Deviazione Standard** | **3,78** | **0,33** | **61,32** |

Tabella 6.1.8.2 – Risultati dei tests di resistenza alla flessione del “Panda White”.

In Tabella 6.1.8.2 i campioni c10-c9-c8-c6 sono quelli costituiti quasi interamente dalla porzione di colore verde, mentre i campioni c7 e c5 sono costituiti in parte anche dalla massa di fondo di colore bianco. I dati ci confermano quanto detto sopra per il Point Load Test, ovvero che le venature non costituiscono zone di debolezza per il materiale, presentando valori più alti (superiori ai 200 kg/cm$^2$) rispetto alla massa di fondo di colore bianco (tra 135 e 179 kg/cm$^2$). Va detto però che i provini misuravano una larghezza (b) più ridotta, mediamente di 32 mm, mentre negli altri materiali, la larghezza utilizzata è di circa 50 mm. Un approfondimento potrebbe essere quello di effettuare di nuovo i test su provini con le stesse dimensioni degli altri materiali, al fine di avere un confronto ulteriore dei risultati ottenuti.

Lo studio in sezione sottile al microscopio ottico a luce trasmessa polarizzata (Fig.6.1.8.5 e 6.1.8.6) ci ha portato alle seguenti considerazioni:

- il “Panda White” può essere classificato come marmo impuro, per la notevole presenza di altri fasi mineralogiche che costituiscono le venature;
- la tessitura è di tipo saccaroide, con cristalli di calcite caratterizzati da una microstruttura granoblastica, di dimensioni da sub-millimetriche a millimetriche, visibili anche ad occhio nudo;
- la classe granulometrica più diffusa è nell’intervallo 700-800 µm ed è rappresentata da cristalli, da subedrali ad euedrali con bordi dritti o debolmente curvi (straight e curved) che formano una tessitura a mosaico;
- tra tutti i “marmi bianchi” analizzati fino ad ora, questo materiale è quello con le dimensioni dei cristalli più grandi (MGS= a 1.8 mm);
- sono presenti giunzioni triple a 120° tipiche;
- le venature di colore bruno-verde scuro a scala microscopica hanno un rilievo maggior rispetto alla massa di fondo;
- alcuni minerali riscontrati nelle venature sono pirite (in alcuni casi visibile anche ad occhio nudo), muscovite (con elevati colori di birifrangenza), alcuni frammenti di quarzo di dimensioni sub-millimetriche, pirosseno di natura ferro-magnesiaca riconoscibili dal colore verdastro (forse diopside).

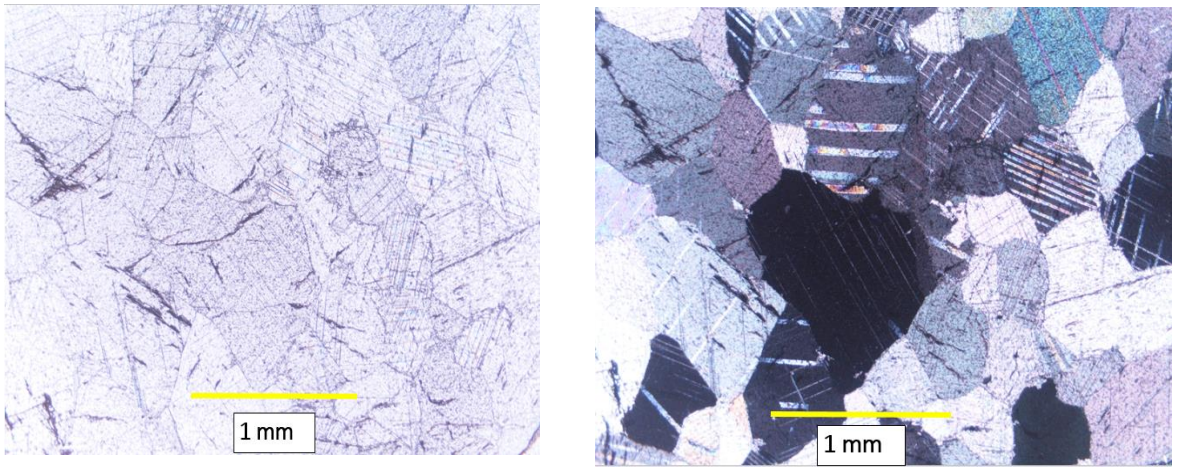



Fig. 6.1.8.5– Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di “Panda White”: cristalli di calcite in cui sono riconoscibili i giunti tripli a 120° e le lamelle di geminazione (Nicols paralleli a sinistra e a Nicols incrociati a destra).

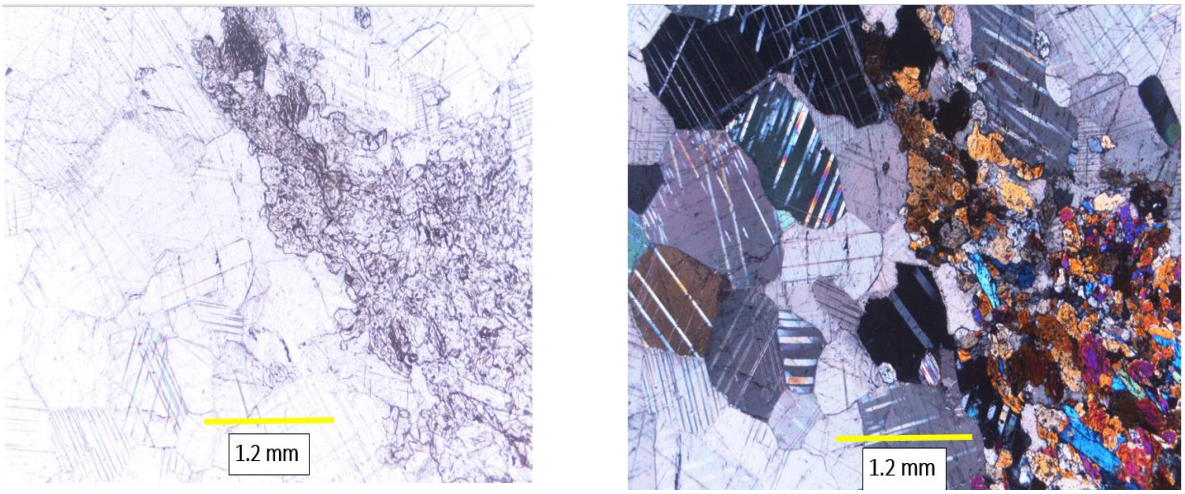



Fig. 6.1.8.6 - Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di “Panda White”: alcuni dei minerali costituenti le venature come miche e pirosseno (Nicols paralleli a sinistra e Nicols incrociati a destra).

## 6.2 “Marmi Grigi”

### 6.2.1 “Grigio Roma”

Il marmo conosciuto commercialmente come “Grigio Roma”, è di provenienza italiana, appartenente alla famiglia commerciale dei “Bardigli” delle Alpi Apuane, che comprende diverse varietà a seconda della grana da fine a media. Il colore varia da grigio a grigio-bluastro fino a grigio scuro, con venature di colore da grigio chiaro a bianco traslucido (Fig. 6.2.1.1). Il colore scuro è dato da pirite microcristallina e/o pigmento carbonioso (Crisci et al., 1975) diffusi nella massa di fondo carbonatica, a cui si aggiungono quantità maggiori di dolomite ed anche minerali come quarzo e fillosilicati; talvolta sono presenti masse e/o strati dolomitici più o meno regolari e continui e livelli ocracei contenenti pirite (Carmignani et al., 2007a).



Fig. 6.2.1.1 – Aspetto macroscopico del marmo “Grigio Roma” utilizzato da S2 S.p.a.

L’ornamentazione risulta estremamente variabile: si può infatti passare da litotipi con aspetto molto eterogeneo e variegato, dato da alternanze più o meno irregolari di livelli da grigio a grigio chiaro (“Nuvolato”), a materiali molto omogenei con colori che vanno dal grigio-bluastro al grigio scuro con sottili venature più scure (“Bardiglio”). Quando le venature, più scure o più chiare del colore dominante, diventano più abbondanti, si può avere un sottotipo chiamato “Bardiglio Venato”. Il nome “Bardiglio” deriva dallo spagnolo *pardillo*, diminutivo di *pardo*, grigio. Le varietà conosciute sono: “Bardiglietto”, “Bardiglio Cappella”, “Bardiglio Costa”, “Bardiglio di Carrara chiaro”, “Bardiglio di Carrara scuro”, “Bardiglio Fiorito”, “Bardiglio Imperiale”, “Bardiglio Tigrato” e il “Nuvolato di Carrara”. È un litotipo di età Giurassica (età 195-176 milioni di anni), che mostra una buona reperibilità. Le cave si trovano negli areali estrattivi di Massa-Carrara e di Stazzema, Garfagnana e Seravezza (tutte situate in provincia di Lucca). I blocchi raggiungono dimensioni fino a 3000 mm di lunghezza e 2000 mm di larghezza. In alcuni affioramenti in cava è possibile ottenere blocchi con faccia parallela al verso delle macchie da rendere possibile, in segheria, tagli al contro per ottenere un’ornamentazione delle lastre cosiddetta fiorita o al verso; in questo modo si ottiene un colore il più possibile omogeneo. Le lastre solitamente presentano spessori da 2 fino a 3 cm, ma per esigenze particolari si possono avere lastre da 1 cm. Viene utilizzato per pavimenti e rivestimenti per interni ed esterni a seconda delle varietà, e per piccole opere monumentali; i litotipi con una grana più grossolana se esposti agli agenti atmosferici tendono a sgretolarsi.  Alcune varietà merceologiche dei “Bardigli” sono mostrate in Fig. 6.2.1.2:

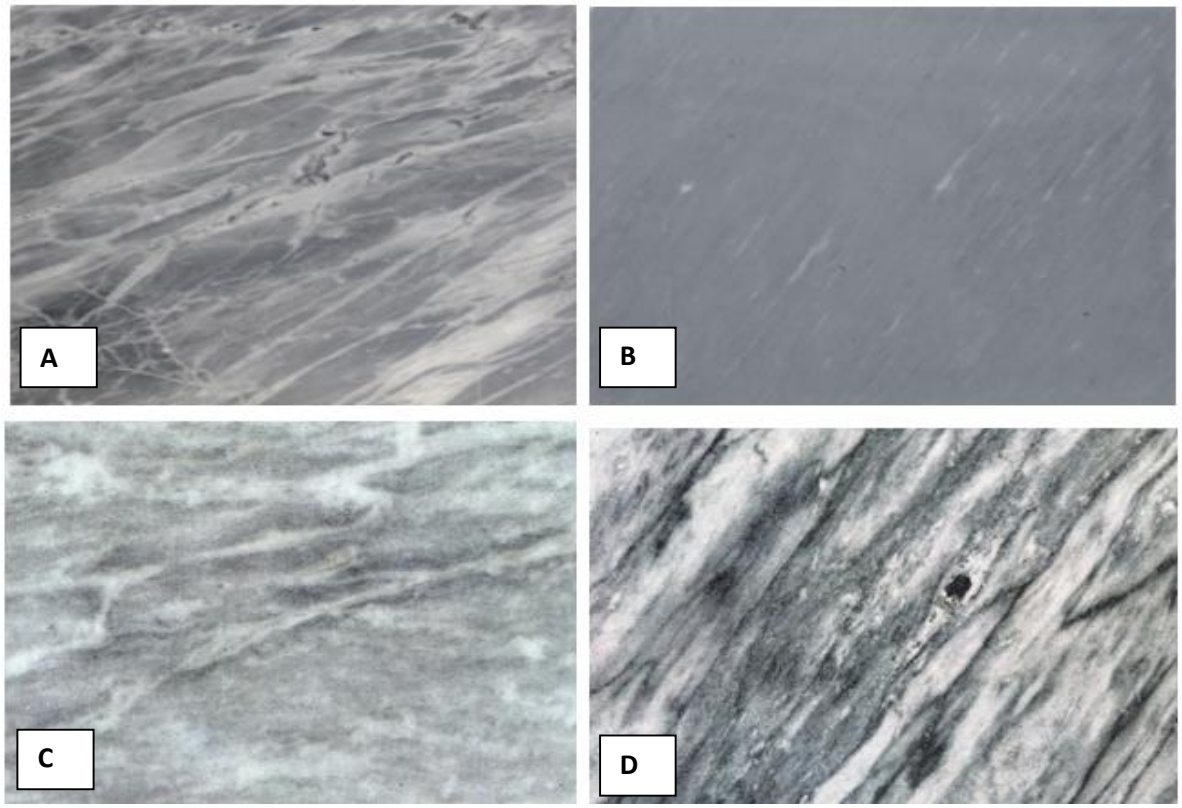



Fig. 6.2.1.2 – A) "Bardiglio Apuano", B) "Bardiglio Imperiale" (da: https://issuu.com/thetis/docs/tuscan-marble-identities), C) "Bardiglio di Carrara scuro", D) "Bardiglietto di Carrara"(I.C.E., 1982).

Alcune caratteristiche fisico-meccaniche di letteratura dei vari litotipi sono riportati in Tabella 6.2.1.1.

| | Carico di rottura alla compressione semplice (kg/cm$^2$) | Carico di rottura a trazione indiretta mediante flessione (kg/cm$^2$) |
|---|---|---|
| **Bardiglietto** | 1378 | 242 |
| **Bardiglio Cappella** | 1545 | 161 |
| **Bardiglio Costa** | 1263 | 214 |
| **Bardiglio di Carrara Chiaro** | 1283 | 130 |
| **Bardiglio di Carrara Scuro** | 1204 | 102 |
| **Bardiglio Fiorito** | 992 | 187 |
| **Bardiglio Imperiale** | 1380 | 166 |
| **Nuvolato di Carrara** | 1315 | 173 |
| **Media** | **1295** | **172** |
| **Deviazione Standard** | **159** | **44** |

Tab.6.2.1.1 – Caratteristiche fisco-meccaniche di alcuni marmi appartenenti alla famiglia commerciale dei "Bardigli" (Blanco, 1999).

I risultati del Point Load Test (nr.10 provini) sono riportati in Tabella 6.2.1.2. Il "Grigio Roma" impiegato da S2 S.p.a. presenta valori di resistenza alla compressione monoassiale leggermente più bassi (944 kg/cm$^2$ , Tabella 6.8.1) rispetto al gruppo dei "Bardigli" di Carrara (1295 kg/cm$^2$). I nostri risultati sono abbastanza coerenti con i valori citati in bibliografia per il marmo "Bardiglio Fiorito" (992 kg/cm$^2$). Durante l'esecuzione delle prove si è evidenziato come il materiale, durante l' aumento del carico (Fig. 6.2.1.3) tendeva a

sbriciolarsi e polverizzarsi: questo aspetto può essere dovuto a causa della tessitura saccaroide e della grana fine tipica di questo materiale.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 20,70 | 2,90 | 801,50 |
| C. 2 | 20,50 | 4,20 | 1001,11 |
| C. 3 | 20,30 | 4,10 | 989,90 |
| C. 4 | 20,50 | 3,00 | 857,36 |
| C. 5 | 20,50 | 3,50 | 1056,43 |
| C. 6 | 20,50 | 3,30 | 907,38 |
| C. 7 | 20,50 | 3,70 | 992,55 |
| C. 8 | 20,50 | 3,30 | 913,12 |
| C. 9 | 20,70 | 2,90 | 830,80 |
| C. 10 | 20,50 | 3,90 | 1089,50 |
| **Media** | **20,52** | **3,48** | **943,96** |
| **Deviazione Standard** | **0,11** | **0,48** | **96,87** |

Tabella 6.2.1.2 – Valori del Point Load Test del marmo "Grigio Roma" elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

Per quanto riguarda i tests di resistenza alla flessione, i risultati sono riassunti in Tabella 6.2.1.3.

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| C1 | 40 | 19,9 | 104,43 |
| C2 | 40 | 20 | 140,30 |
| C3 | 42,2 | 20,4 | 145,73 |
| C4 | 40,1 | 19,9 | 143,86 |
| C5 | 40 | 20 | 139,17 |
| C6 | 42 | 19,9 | 141,14 |
| C7 | 40,9 | 20 | 114,46 |
| C8 | 41 | 20,1 | 133,47 |
| C9 | 40,5 | 20 | 153,62 |
| C10 | 40 | 20,1 | 146,24 |
| **Media** | **40,67** | **20,03** | **136,24** |
| **Deviazione Standard** | **0,84** | **0,15** | **15,25** |

Tabella 6.2.1.3 – Risultati dei test di resistenza alla flessione.

I risultati ci mostrano che il "Grigio Roma" presenta buoni valori di resistenza alla flessione (136 $kg/cm^2$, Tabella 6.8.2), con deviazione standard relativamente bassa (15 $kg/cm^2$). I campioni analizzati (Fig. 6.2.1.4) sono abbastanza omogenei, ovvero sono tutti costituiti da un colore di fondo grigio, ad eccezione dei campioni C4 e C5 che presentano venature di colore bianco traslucido, ma che hanno mostrato comunque risultati intorno al valore medio.



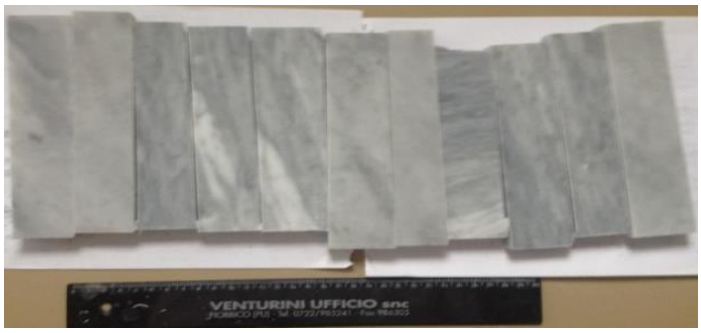



Fig. 6.2.1.3 e 6.2.1.4 – Provino di marmo “Grigio Roma” utilizzato per il Point Load Test tra i due coni di acciaio. A destra provini utilizzati per i tests di resistenza alla flessione.

Lo studio al microscopio ottico a luce polarizzata ha evidenziato una tipica tessitura saccaroide, di natura xenoblastica (Fig. 6.2.1.5). I cristalloblasti di calcite presentano abitus da euedrali a subedrali con bordi suturati o rettilinei, di dimensioni che variano da 600 a 50 microns. Sono presenti le tipiche giunzioni triple tra i cristalli di calcite a 120°, oltre ad altri minerali in piccolissima percentuale di dimensioni sub-millimetriche come plagioclasi, muscovite (Fig. 6.1.2.6), minerali opachi, quarzo e tracce di pirite (Pieri, 1964). I grani di calcite mostrano geminazioni polisintetiche e sfaldature parallele all’abito romboedrico, ed hanno colori di interferenza rosa pallido, talvolta scambiato con un bianco di primo ordine. In alcuni casi, può presentare tracce di titanite ed epidoto (Gattiglio et al., 1980).

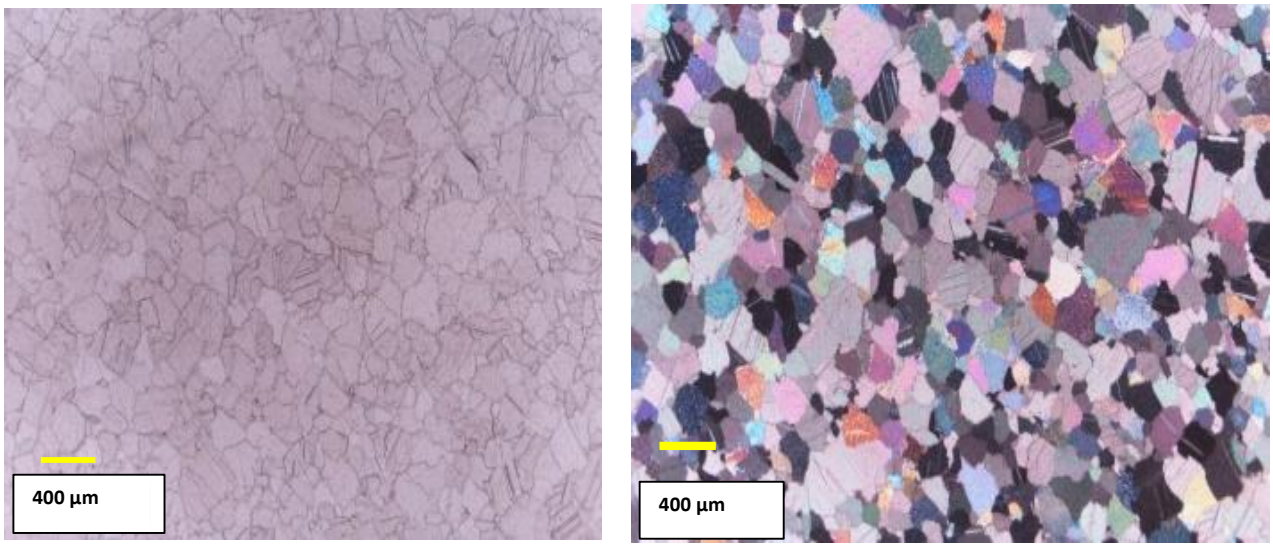



Fig. 6.2.1.5 – Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata del “Grigio Roma”: cristalli di calcite con evidenti giunti tripli a 120° (Nicols paralleli a sinistra e  Nicols incrociati a destra).

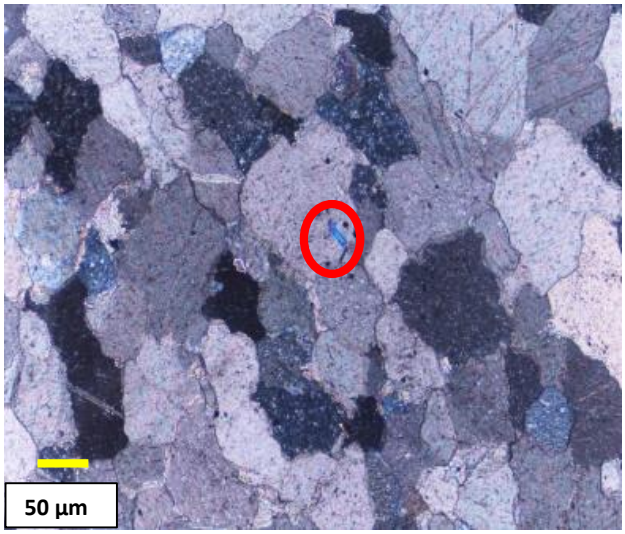



Fig. 6.2.1.6 – Immagine al microscopio ottico a luce polarizzata del “Grigio Roma”: cerchiato in rosso un cristallo di muscovite (Nicols paralleli).

## 6.2.2 “Calacatta Cielo”

Il marmo conosciuto con il nome commerciale di “Calacatta Cielo” è un marmo estratto nella provincia di Massa-Carrara, nel bacino di Pescina – Boccanaglia e più precisamente nella “Cava Piastriccioni C” (conosciuta dagli addetti ai lavori come “Cava La Balena”). Merceologicamente può rientrare nella famiglia dei “Bardigli Nuvolati”. Il nome commerciale gli è stato conferito dalla nuova proprietaria della cava e deriva dal fatto che il materiale si trova in una zona chiamata Canalone di Calacatta, mentre l'aggiunta Cielo è dovuta allle sfumature che ricordano le nuvole (Fig. 6.2.2.1.) Secondo i cavatori, il materiale risulta molto più duro e più difficile sia da estrarre che da tagliare con il filo diamantato rispetto agli altri marmi.



Fig. 6.2.2.1 – Aspetto macroscopico del “Calacatta Cielo”

Questo litotipo si presenta nel suo insieme con un colore dominante da grigio scuro a grigio chiaro, fino all’azzurrognolo. L’aspetto nuvolato è dovuto alla presenza di numerose ed abbondanti plaghe e venature o

fiammature più chiare. Le venature hanno dimensioni da pochi millimetri fino a qualche centimetro con un andamento parallelo, localmente ravvicinate e anastomizzate a formare fasce sub-centimetriche di tonalità da grigio scuro a grigio chiaro, fino a rari casi giallo ocra-marrone. Sono inoltre presenti rare plaghe sub-arrotondate pluri-millimetriche di colore da grigio chiaro a grigio scuro. Il materiale presenta una discreta reperibilità. I blocchi presentano dimensioni medie di 2700x1700 mm. Può essere impiegato per rivestimenti, pavimenti ed arredamento di interni. È caratterizzato da una grana fine a tessitura saccaroide. I risultati del Point Load Test per il "Calacatta Cielo" sono riportati in Tabella 6.2.2.1. Il materiale è dotato di una buona resistenza alla compressione monoassiale. I valori riscontrati (1410 kg/cm$^2$) sono molto uniformi (simili a quelli dei marmi di Carrara; Tabella 6.8.1) e presentano una deviazione standard relativamente bassa 71,98 kg/cm$^2$. I provini su cui sono state eseguite le prove presentano un colore grigio uniforme (Fig. 6.2.2.2).



Fig. 6.2.2.2 – Alcuni provini del marmo "Calacatta Cielo" utilizzati per il Point Load Test a sinistra; a destra un campione tra i due coni di acciaio durante l'esecuzione della prova.

| CAMPIONI | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 19,40 | 5,50 | 1503,41 |
| C. 2 | 19,50 | 5,00 | 1415,85 |
| C. 3 | 19,50 | 5,00 | 1300,40 |
| C. 4 | 19,50 | 5,00 | 1373,46 |
| C. 5 | 19,50 | 5,00 | 1369,38 |
| C. 6 | 19,50 | 5,00 | 1365,33 |
| C. 7 | 19,50 | 5,50 | 1493,03 |
| C. 8 | 19,50 | 5,50 | 1480,02 |
| C. 9 | 19,50 | 5,50 | 1467,26 |
| C. 10 | 19,50 | 5,00 | 1333,87 |
| **Media** | **19,49** | **5,20** | **1410,20** |
| **Deviazione Standard** | **0,03** | **0,26** | **71,98** |

Tabella 6.2.2.1 – Valori del Point Load Test per il marmo "Calacatta Cielo" elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

Il "Calacatta Cielo" mostra anche buoni valori di resistenza alla flessione (Tabella 6.2.2.2) con un valore medio di 104,85 Kg/cm$^2$, molto simile a quelli dei marmi bianchi di Carrara (104 kg/cm$^2$; Tabella 6.8.2) con una deviazione standard molto bassa ( 11 kg/cm$^2$). I provini utilizzati per questa prova sono visibili in Fig. 6.2.2.3.

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| c1 | 46,1 | 19,3 | 99,00 |
| c2 | 50 | 19,4 | 108,13 |
| c3 | 49,5 | 19,4 | 95,69 |
| c4 | 49 | 19,6 | 95,66 |
| c5 | 50,2 | 19,5 | 99,99 |
| c6 | 50,1 | 19,5 | 108,70 |
| c7 | 49,9 | 19,4 | 94,92 |
| c8 | 46,6 | 19,5 | 113,81 |
| c9 | 48,9 | 19,5 | 130,73 |
| c10 | 48,8 | 19,5 | 101,89 |
| **Media** | **48,91** | **19,4** | **104,85** |
| **Deviazione Standard** | **1,45** | **0,07** | **11,10** |

Tabella 6.2.2.2 – Valori di resistenza alla flessione riscontrati nel marmo “Calacatta Cielo”.

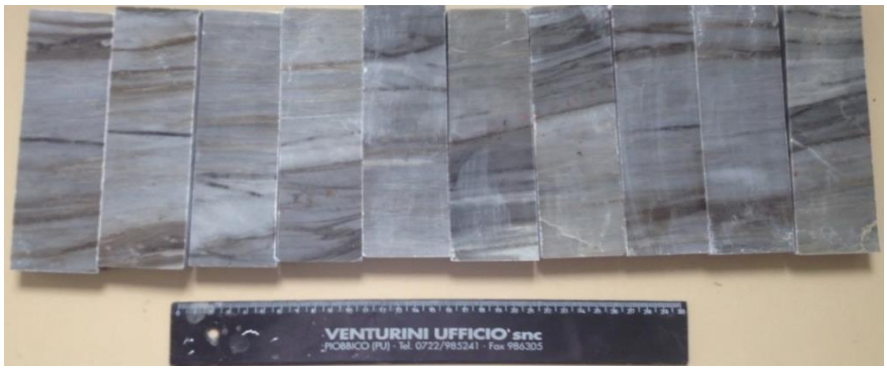
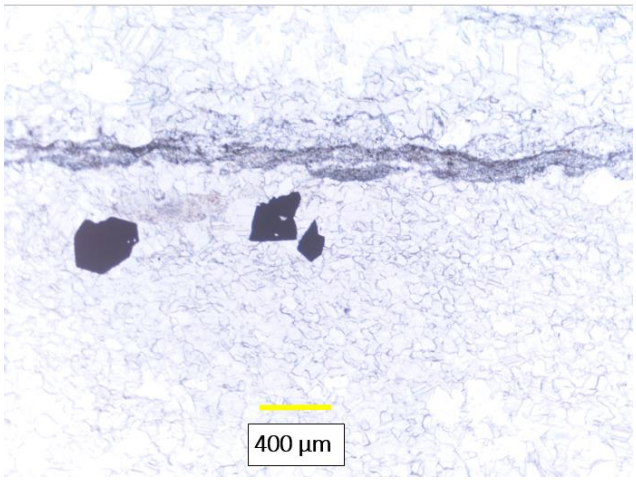



Fig. 6.2.2.3 – Provini di “Calacatta Cielo” utilizzati per i tests di resistenza alla flessione.

Questo marmo è costituito da venature e bande che sono composte da diverse fasi mineralogiche (Fig. 6.2.2.4 e 6.2.2.5).

L’analisi al microscopio polarizzatore mostra che la calcite è il minerale più abbondante, con una struttura saccaroide e habitus da anedrale a subedrale, di dimensioni da 50 a 400 microns circa, con bordi prevalentemente rettilinei o arrotondati/suturati. Il secondo minerale più abbondante è il quarzo in cristalli anedrali, di dimensioni massime di qualche decina di microns. Altri minerali presenti sono pirite (riconoscibile anche macroscopicamente), minerali opachi che compongono le venature di colore più scuro e qualche mica con habitus aciculare ed isorientata.



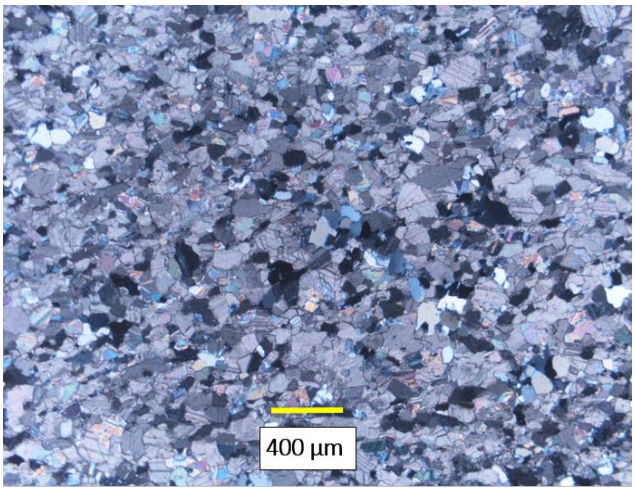




Fig. 6.2.2.4 e 6.2.2.5 – Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di "Calacatta Cielo": sinistra cristalli di pirite (opachi) in una massa di fondo costituita da cristalli di calcite. Le venature/bande di colore bruno non sono risolvibili al microscopio ottico (Nicols paralleli). A destra, massa di fondo costituita da cristalli di calcite. Sono visibili anche cristalli di quarzo, che presentano bassi colori di birifrangenza (Nicols incrociati).

L'abbondante presenza di quarzo in questo materiale ha comportato un piccolo cambiamento tecnico per la sagomatura dei piani (ugelli diamantati nei pantografi). Le foto seguenti mostrano alcuni manufatti prodotti da S2 S.p.a. con il marmo "Calacatta Cielo".





Fig. 6.2.2.6 6 – Tavolini in marmo "Calacatta Cielo" prodotti da S2 S.p.a.

## 6.2.3 "Grigio Carnico"

Il "Grigio Carnico" (Fig.6.2.3.1) è un calcare micritico debolmente metamorfosato appartenente al gruppo dei "marmi" di Timau che insieme ad altri "marmi" della provincia di Udine costituiscono la Successione Carnica Devoniana (Desio, 1973). Questo materiale presenta un colore grigio-bruno tendente al nero, con venature bianche di varia forma e dimensione da pochi mm fino a qualche cm, che possono formare

chiazze variamente sfumate. Le venature mostrano colori da bianco a grigio chiaro e sono traslucide (Blanco, 1999).



Fig. 6.2.3.1 – Aspetto macroscopico del "Grigio Carnico".

Macroscopicamente risulta compatto e ben cristallizzato, con colore dominante da grigio chiaro a scuro, intersecato da un fittissimo reticolo di vene più scure tendenti al nero. Le linee di sutura sono obliterate e subparallele (Altobelli et al., 1966). In molti casi risulta evidente una fitta rete di fratture cementate da calcite spatica anedrale e da frequenti superfici stilolitiche e ramificazioni a pigmentazione carboniosa nerastra. Alcune varietà hanno un reticolo più o meno bianco e più o meno accentuato e ramificato. Solitamente le lastre ricavate hanno uno spessore che varia da 2 a 3 cm. I blocchi presentano buone dimensioni (Fig. 6.2.3.2) e possono raggiungere i 3000 mm di lunghezza e 1800 mm di larghezza.



Fig. 6.2.3.2 – Blocco di "Grigio Carnico" (Cava Pramosio, UD).

Le cave da cui si estrae questo materiale sono: Cava Stavoli Roner, Cava Malga Pramosio, Passo di M.te Croce Carnico, Cava Bosco Val Collina, Cava Naguscel, Cava Cercen, Cava Bordaglia, Paularo, Cava Pè di Plans, Cava di Forni Avoltri. La disponibilità del "Grigio Carnico" è buona, ma ci possono essere limitazioni di approvvigionamento nei periodi invernali a causa delle basse temperature e nevicate presenti in queste cave

alpine di alta quota. Generalmente viene utilizzato per arredamenti di interni ed esterni, rivestimenti e pavimenti. Alcune caratteristiche fisico-meccaniche presenti in letteratura sono riassunte in Tabella 6.2.3.1.

| Carico di rottura a compressione semplice ($kg/cm^2$) | Carico di rottura a trazione indiretta mediante flessione ($kg/cm^2$) | Peso per unità di volume ($g/cm^3$) |
|---|---|---|
| 1475 | 145 | 2.687 |

Tabella 6.2.3.1 – Caratteristiche fisico-meccaniche del "Grigio Carnico" (Blanco, 1999).

I risultati relativi al Point Load Test (Fig.6.2.3.3 e 6.2.3.4) sono riportati in Tabella 6.2.3.2.

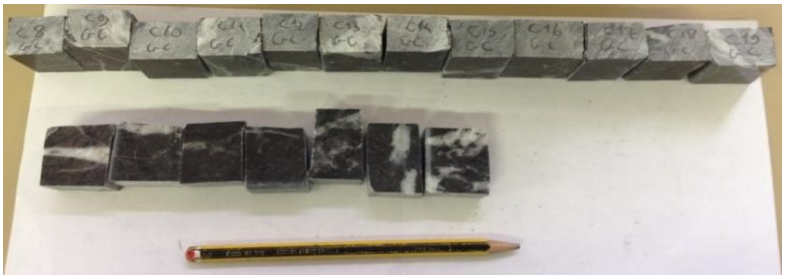
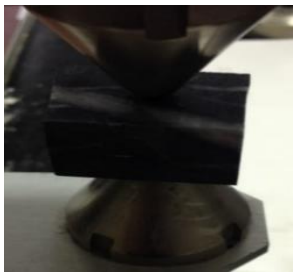



Fig. 6.2.3.3 e 6.2.3.4 – Alcuni provini di "Grigio Carnico" utilizzati per il Point Load Test a sinitra ed esecuzione della prova a destra.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 18,30 | 3,00 | 900,76 |
| C. 2 | 18,10 | 5,50 | 1554,47 |
| C. 3 | 18,10 | 3,80 | 1147,12 |
| C. 4 | 18,00 | 3,00 | 898,31 |
| C. 5 | 18,00 | 5,00 | 1554,88 |
| C. 6 | 18,20 | 3,20 | 967,94 |
| C. 7 | 18,00 | 3,00 | 942,07 |
| C. 8 | 18,00 | 3,80 | 1193,29 |
| C. 9 | 18,30 | 4,00 | 1248,27 |
| C. 10 | 18,00 | 3,00 | 929,93 |
| **Media** | **18,10** | **3,73** | **1133,70** |
| **Deviazione Standard** | **0,12** | **0,90** | **255,32** |

Tabella 6.2.3.2 – Risultati del Point Load Test per il "Grigio Carnico", elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

I risultati relativi al Point Load Test mostrano buoni valori di resistenza alla compressione monoassiale (1133,70 kg $cm^2$) con deviazione standard pari a 255 $kg/cm^2$. I campioni con i valori più bassi (compresi tra 898 e 967 $kg/cm^2$) sono quelli contenenti venature bianco traslucido o piccole ramificazioni stilolitiche, mentre i valori più alti (tra 1147 e 1554 $kg/cm^2$) sono stati riscontrati nei campioni che presentavano un colore nero uniforme della massa di fondo. Anche per i tests di resistenza alla flessione (Fig.6.2.3.5) si sono riscontrati dei buoni risultati, come si può vedere in Tabella 6.2.3.3.




Fig. 6.2.3.5 – Provini di "Grigio Carnico" utilizzati per i tests di resistenza alla flessione.

Durante i tests di resistenza alla flessione, le rotture, quasi impercettibili, sono avvenute principalmente lungo l'andamento delle venature presenti, seppur in diversa percentuale, su tutti i campioni. Abbiamo inoltre riscontrato bassi valori di deviazione standard, con valori minimi di resistenza alla flessione non inferiori ai 100 kg/cm$^2$.

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| c10 | 47 | 18,8 | 117,1 |
| c8 | 46,5 | 18,6 | 132,1 |
| c9 | 46,6 | 18,8 | 100,6 |
| c6 | 45,2 | 18,7 | 149,2 |
| c7 | 45,6 | 17,9 | 159,0 |
| c5 | 43,4 | 18,6 | 107,9 |
| c4 | 45,1 | 18,7 | 171,3 |
| c3 | 52,9 | 18,6 | 145,6 |
| c2 | 58,5 | 18,9 | 142,2 |
| c1 | 48,1 | 18,7 | 139,2 |
| **Media** | 47,9 | 18,6 | **136,4** |
| **Deviazione Standard** | 4,5 | 0,3 | **22,4** |

Tabella 6.2.3.3 – Valori di resistenza alla flessione del "Grigio Carnico".

L'analisi minero-petrografica in sezione sottile ci ha permesso di classificare il materiale, anche in accordo con i dati di letteratura (Carulli e Onofri, 1966) come un calcare micritico (fossilifero in alcune facies) cristallino, debolmente metamorfosato e compatto. Il minerale predominante (Fig. 6.2.3.6) è la calcite riconoscibile anche nelle venature. La matrice micritica è costituita da micro-cristalli di dimensioni da 40 a 200 microns. Le venature sono riempite da cristalli di calcite di dimensioni fino a 3-4 mm. Sono presenti giunti di natura stilolitica di colore da bruno chiaro a bruno scuro, formati probabilmente da dissoluzione per pressione. I componenti di queste venature sono di natura argillosa (forse qualche mica) ed hanno dimensioni da 10 a 400 microns. La matrice di colore grigio molto scuro, quasi nero, è inoltre attraversata da fitti stiloliti ben marcati costituiti da pelite a pigmentazione carboniosa e da rare plaghe o vene calcitiche. La roccia mostra di aver subito intense fratturazioni e processi di ricementazione. Oltre alla calcite si possono trovare

dolomite ed altri minerali come quarzo (scarso) e pirite (rara). Le venature di natura argillosa possono contenere feldspati alterati, quarzo, ossidi di ferro e scarsissima tormalina (Carulli e Onofri, 1966; Fig. 6.2.3.6, 6.2.3.7).

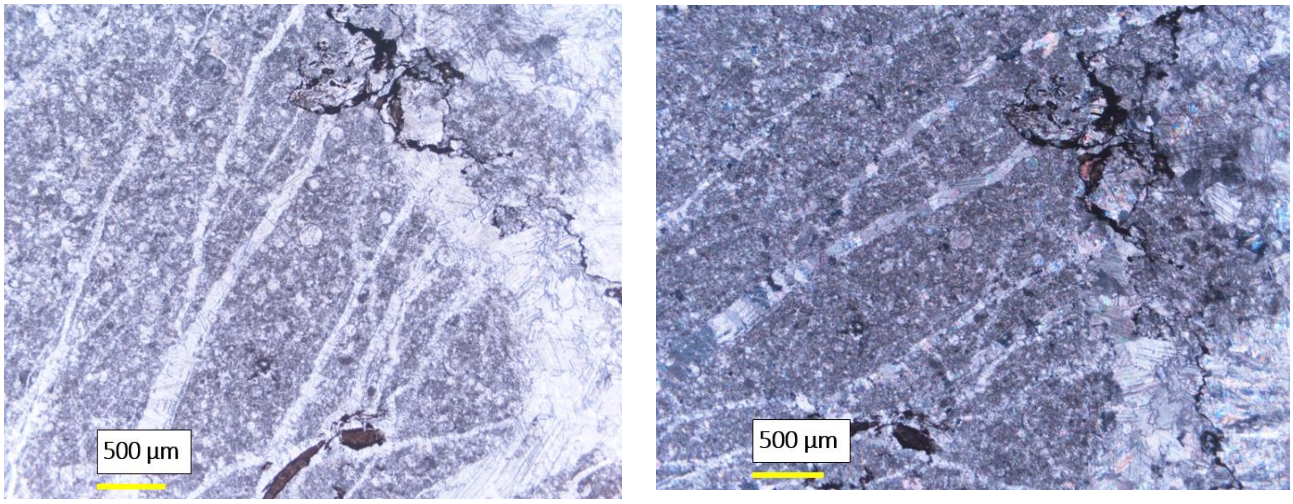



Fig. 6.2.3.6 – Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di "Grigio Carnico": massa di fondo e venature riempite da calcite (Nicols paralleli a sinistra e Nicols incrociati a destra).

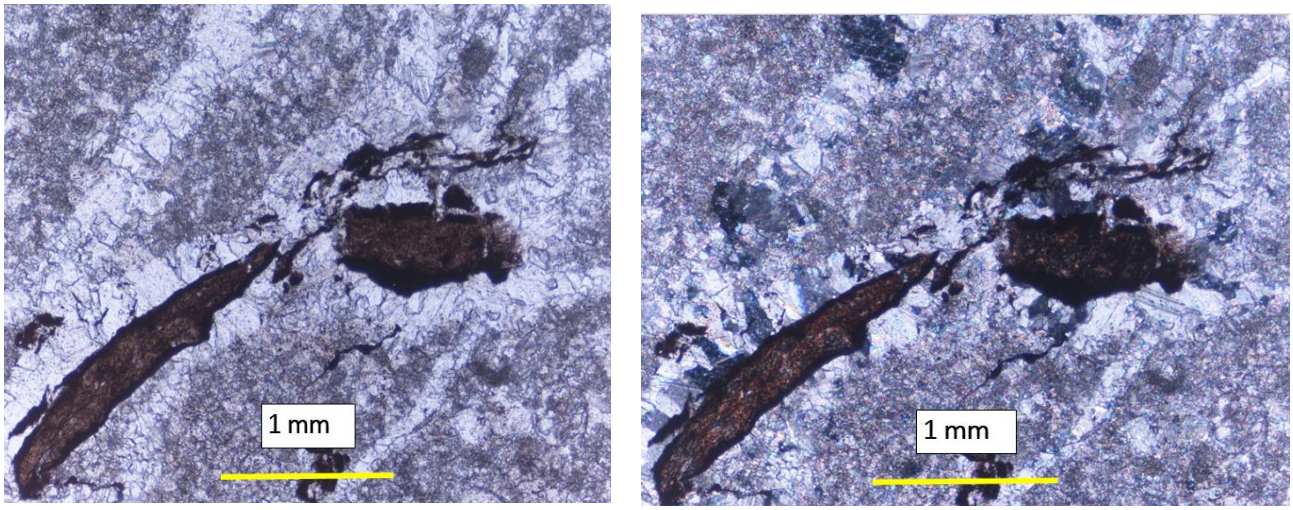



Fig. 6.2.3.7 - Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di "Grigio Carnico": dettaglio dei giunti stilolitici di colore bruno scuro e cristalli di calcite (Nicols paralleli a sinistra e Nicols incrociati a destra).

## 6.2.4 "Grigio Imperiale"

Il "Grigio Imperiale" è un materiale estratto nelle zone di Villa Collemandina (Lucca) conosciuto anche come "Grigio Collemandina". Questo litotipo calcareo con aspetto brecciato (Fig. 6.2.4.1), si presenta con un colore di fondo grigio-bruno chiaro con rare e piccole macule di colore rosso-grigio, da venature bianche traslucide da millimetriche a centimetriche e giunti stilolitici di colore giallo ocra-bianco avorio, che hanno dimensioni più ridotte. Questo materiale appartiene alla stessa formazione del "Rosso Collemandina", ben più noto e



Fig. 6.2.4.1 – Aspetto macroscopico del “Grigio Imperiale”.

conosciuto, utilizzato fin dall’epoca Romana, che però presenta una limitata reperibilità. Le cave di questo materiale sono a cielo aperto (Fig. 6.2.4.2). Secondo le stime di alcuni fornitori e sulla base di informazioni da siti di carattere commerciale, il “Grigio Imperiale” presenta complessivamente una buona reperibilità ed i blocchi possono raggiungere fino ai 3000 mm di lunghezza e 1700 mm di larghezza (Fig. 6.2.4.3). È un materiale adatto per rivestimenti di interni, pavimenti e tavoli.





Fig. 6.2.4.2 e 6.2.4.3 – Cava di “Grigio Imperiale” situata nel comune di Villa Collemandina a sinistra. A destra blocchi di “Grigio Imperiale” di dimensioni superiori ai 3000 mm di lunghezza.

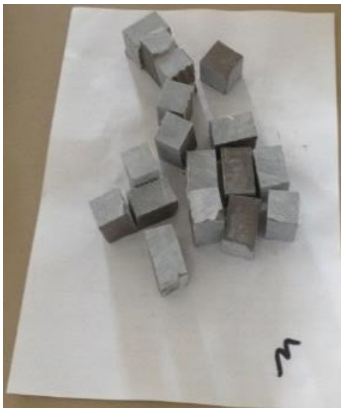




Fig. 6.2.4.4 e 6.2.4.5 - Provini di “Grigio Imperiale” utilizzati per il Point Load Test a sinistra; a destra il campione rotto durante la prova.

I risultati del Point Load Test (Fig. 6.2.4.4 e 6.2.4.5) sono riassunti in Tabella 6.2.4.1.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| C1 | 22,00 | 6,00 | 1708,53 |
| C2 | 21,00 | 5,80 | 1712,21 |
| C3 | 21,00 | 6,50 | 1918,86 |
| C4 | 21,00 | 4,90 | 1446,52 |
| C5 | 21,00 | 6,50 | 1918,86 |
| C6 | 21,00 | 6,00 | 1771,25 |
| C7 | 20,00 | 5,00 | 1532,93 |
| C8 | 21,00 | 6,80 | 2007,42 |
| C9 | 21,00 | 4,90 | 1446,52 |
| C10 | 21,00 | 7,10 | 2095,98 |
| **Media** | **21,00** | **5,95** | **1755,91** |
| **Dev. Standard** | **0,47** | **0,80** | **230,35** |

Tabella 6.2.4.1 – Dati del Point Load Test per il “Grigio Imperiale”, elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

Il “Grigio Imperiale” possiede una buona resistenza al punzonamento, come mostrato in Tabella 6.2.4.1. Pur avendo una deviazione standard abbastanza elevata (230,35 $kg/cm^2$), possiamo considerare il valore medio di circa 1700 $kg/cm^2$ abbastanza attendibile. Soltanto tre provini (c4,c7,c9) infatti mostrano dati inferiori alla media di 1755 $kg/cm^2$. Il valore minimo riscontrato è pari a 1446,52 $Kg/cm^2$. Anche per le prove di resistenza alla flessione abbiamo avuto buoni risultati (Tabella 6.2.4.2), ed abbiamo riscontrato una deviazione standard molto più bassa (9,34 $kg/cm^2$) rispetto a quella del Point Load Test. Il valore medio è di circa 160 $kg/cm^2$.

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| c1 | 50 | 20 | 162,06 |
| c2 | 50 | 19,5 | 178,05 |
| c3 | 50 | 20 | 148,55 |
| c4 | 50 | 20 | 153,95 |
| c5 | 50 | 20 | 157,55 |
| c6 | 50 | 20 | 153,05 |
| c7 | 50 | 20 | 152,15 |
| c8 | 50 | 20 | 157,55 |
| c9 | 50 | 20 | 166,56 |
| c10 | 50 | 20 | 171,06 |
| **Media** | **50,00** | **19,95** | **160,05** |
| **Dev. Standard** | **0,00** | **0,16** | **9,34** |

Tabella 6.2.4.2 – Risultati delle prove di resistenza alla flessione sul "Grigio Imperiale".

Alcune immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di questo litotipo sono riportate nelle figure seguenti (Fig. 6.2.4.6 e 6.2.4.7).

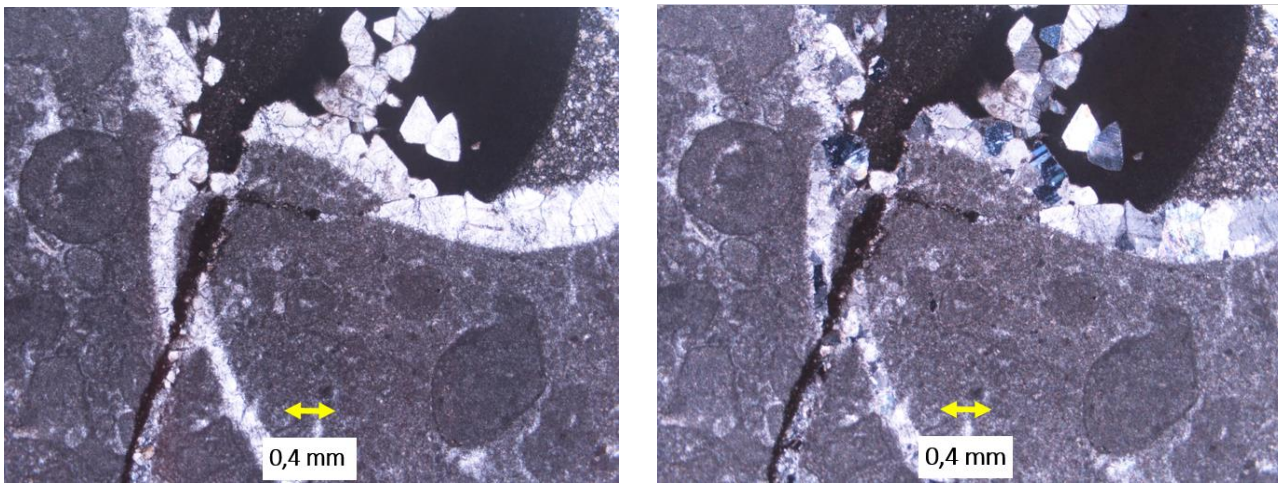



Fig. 6.2.4.6 – Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di "Grigio Imperiale": venature di colore più chiaro, con cristalli di calcite bianco traslucido e forse di dolomite; sono visibili bioclasti immersi nella massa di fondo (Nicols paralleli a sinistra e Nicols incrociati a destra).

Il litotipo risulta essere di natura sedimentaria, brecciato, costituito da venature formate da cristalli di calcite e probabilmente dolomite, oltre a giunti stilolitici di color bruno scuro. I cristalli di natura carbonatica, riconducibili probabilmente alla dolomite, presentano cristalli romboedrici da euedrali a sub-euedrali con colori rosa chiaro che variano da 10 a 200 microns circa. I cristalli di calcite, da anedrali a subedrali, presentano dimensioni massime di 400 microns e sono riconoscibili a Nicols incrociati dalle classiche geminazioni parallele. La massa di fondo è costituita da micrite e bioclasti ricristallizzati, tra cui frammenti di crinoidi, foraminiferi e bivalvi, oltre a granuli micritici (peloidi). Sono presenti chiazze con microgranulazioni di natura ematitica.

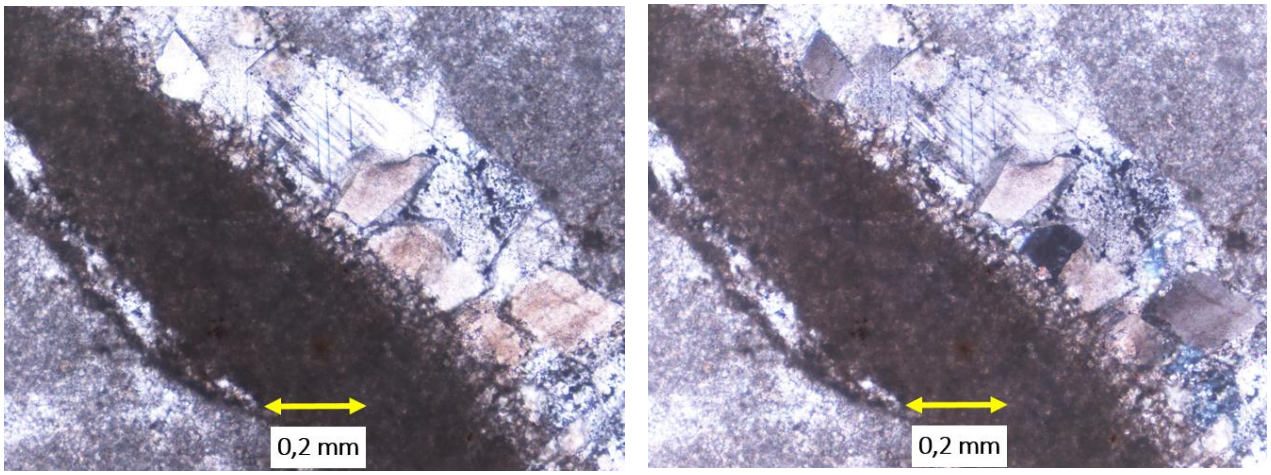



Fig. 6.2.4.7– Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di “Grigio Imperiale”: dettaglio dei giunti stilolitici di colore bruno scuro, i cristalli di colore rosa chiaro sono probabilmente riconducibili a dolomite (Nicols paralleli a sinistra e Nicols incrociati a destra).

## 6.3 “Marmi Rosa e Rossi”

### 6.3.1 “Fior di Pesco Carnico”

Il materiale lapideo conosciuto con il nome commerciale di “Fior di Pesco Carnico” è un marmo che viene estratto in Friuli Venezia Giulia, appartenente (insieme al “Grigio Carnico”) al gruppo dei marmi di Timau, ovvero calcari di scogliera di età Devoniana (395-345 milioni di anni fa) debolmente metamorfosati. È un marmo brecciato a struttura saccaroide, a grana grossolana, con pigmentazione ematitico-magnesifera, che presenta un’estesa variabilità di colori: dal bianco-grigio al cinereo, che tende talora all'azzurrognolo (Carulli e Onofri, 1966) con macchie di dimensione variabili di colore rosa-violaceo (Blanco, 1999), ravvivato da altre macchie di color roseo-pesca talvolta violacee. Il materiale si presenta intensamente attraversato da venature di colore grigio più o meno scuro da sub-millimetriche a millimetriche, sempre ben serrate e da venature micrometriche ad andamento localmente stilolitico di colore giallo tenue e da sottili ed esili venature bianche. Queste venature tendono a presentare un andamento solitamente isorientato. Sono presenti delle fratture che interessano localmente la roccia. Commercialmente le varietà principali vengono distinte a seconda delle sfumature prevalenti sul fondo bardigliaceo e dello sviluppo e colore delle macchie (Fig. 6.3.1.1A, B, C e Fig. 6.3.1.2 A, B) come “Fior di Pesco Scuro” dal fondo biancastro e da macchie rosate, “Fior di Pesco Medio” o "Fior di Pesco Carnico Rosato" a pigmentazione carboniosa più intensa e dalle tenui nuvole rosa-violacee (Pieri, 1966), “Fior di Pesco Medio scelta extra”, con tonalità di fondo chiarissima, talora avorio, con macchie violacee e giallognole (Carulli e Onofri, 1966). Altre varietà commerciali vengono estratte in altre località, come ad esempio il “Fior di Pesco Antico” (Grecia), il “Fior di Pesco Apuano” (Massa), il “Fior di Pesco Brecciato” (Versilia, in provincia di Lucca) o il “Fiorito Pavonazzo” (presso Vagli, in provincia di Lucca).

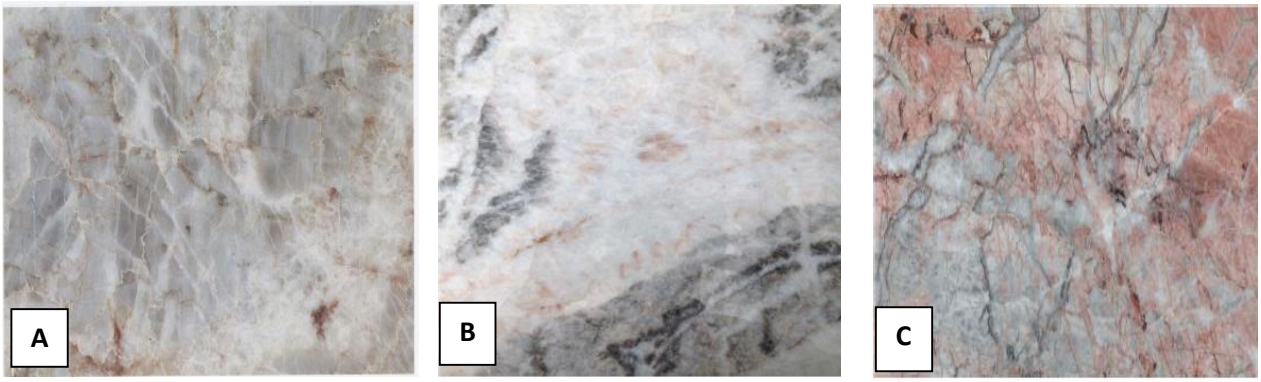



Fig. 6.3.1.1 – Aspetto macroscopico del "Fior di Pesco Carnico", di colore grigio bardigliaceo (A), con fondo rosato e grigio bardigliaceo (B), con fondo biancastro e pigmentazione carboniosa (C).

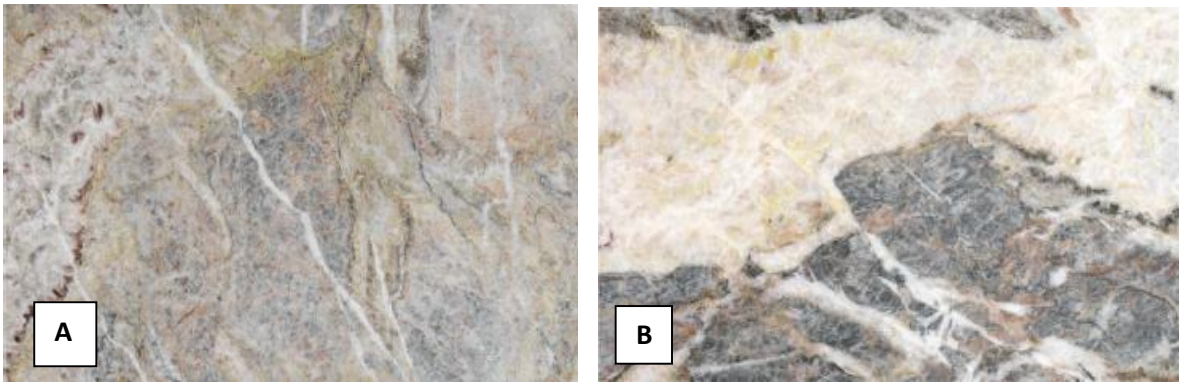



Fig. 6.3.1.2 – Aspetto macroscopico del "Fior di Pesco Carnico" a pigmentazione carboniosa con venature bianco traslucido e macule giallognole-violacee (A); con fondo grigio bardigliaceo e venature bianco traslucido, con macule giallognole-violacee (B).

Le cave, che si trovano in provincia di Udine, presso le località Forni Avoltri (Fig. 6.3.1.3) e Monte Avanza, sono a cielo aperto e conosciute con i nomi di Cava Avanza, Cava Bordaglia, Cava Zoccas.



Fig. 6.3.1.3– Cava presso Forni Avoltri da cui viene estratto il "Fior di Pesco Carnico" (da: http://www.architetturadipietra.it).

Le lastre hanno dimensioni medie di 2600x1600 mm, con spessori che variano da 2 a 3 cm. La produzione di questo marmo nel 1968 si aggirava intorno ai 600 $m^3$ all'anno (Pieri, 1968). Anche per il "Fior di Pesco

Carnico" il ciclo di lavorazione è stagionale a causa delle basse temperature invernali e delle nevicate che non ne permettono l'approvvigionamento in queste cave alpine. Presenta una discreta reperibilità (Blanco, 1999). Viene utilizzato nell'arredamento per interni di lusso ed esterni in ambiente molto favorevole, rivestimenti e pavimenti, oltre a piccoli elementi architettonici. Mostra una buona attitudine alla lucidatura, ma se viene sottoposto a lungo all'azione degli agenti atmosferici, tende a perdere la sua lucentezza. Secondo Pieri (1964) mostra invece una certa resistenza dei colori, dovuta soprattutto alla presenza del manganese, alla quantità minima di ferro ed infine all'assenza di pirite. In Tabella 6.3.1.1 vengono riportate alcune caratteristiche fisico-meccaniche principali del litotipo.

| | **I.C.E., 1982** |
|---|---|
| **Peso per Unità di Volume ɤ (g/cm$^3$)** | 2,696 |
| **Carico di Rottura a Compressione semplice (Kg/cm$^2$)** | 980 |
| **Carico di Rottura a trazione indiretta mediante flessione (Kg/cm$^2$)** | 134 |

Tabella 6.3.1.1 – Principali caratteristiche fisico-meccaniche del marmo "Fior di Pesco Carnico" (I.C.E., 1982).

I risultati delle prove di Point Load Test e delle prove di resistenza alla flessione, eseguite rispettivamente su nr. 10 provini sono riportati in Tabella 6.3.1.2 e Tabella 6.3.1.3.

| **CAMPIONE** | **Spessore D (mm)** | **Carico P (KN)** | **Resistenza a compressione monoassiale (Kg/cm$^2$)** |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 19,00 | 2,90 | 992,23 |
| C. 2 | 19,00 | 3,40 | 1167,81 |
| C. 3 | 19,10 | 4,90 | 1450,64 |
| C. 4 | 19,00 | 4,00 | 1280,59 |
| C. 5 | 19,00 | 4,00 | 1254,04 |
| C. 6 | 19,00 | 3,20 | 939,16 |
| C. 7 | 19,00 | 3,50 | 1153,30 |
| C. 8 | 19,00 | 2,40 | 796,69 |
| C. 9 | 19,00 | 2,50 | 783,77 |
| C. 10 | 19,00 | 4,00 | 1254,04 |
| **Media** | **19,01** | **3,48** | **1107,23** |
| **Dev. Standard** | **0,03** | **0,77** | **220,96** |

Tabella 6.3.1.2 – Valori del Point Load Test per il "Fior di Pesco Carnico", elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| c1 | 49,5 | 19,2 | 103,61 |
| c2 | 50,9 | 19,2 | 95,00 |
| c3 | 45,8 | 19,2 | 101,32 |
| c4 | 55,5 | 19,2 | 96,81 |
| c5 | 46,8 | 19,2 | 91,85 |
| c6 | 43,5 | 19,2 | 95,44 |
| c7 | 55,1 | 19,2 | 138,29 |
| c8 | 49,2 | 19,7 | 75,44 |
| c9 | 49,9 | 18,7 | 81,52 |
| c10 | 48,5 | 19,2 | 90,64 |
| **Media** | **49,47** | **19,20** | **96,99** |
| **Dev. Standard** | **3,76** | **0,24** | **16,82** |

Tabella 6.3.1.3 – Risultati dei tests di resistenza alla flessione del "Fior di Pesco Carnico".

I risultati dei tests confermano in parte i dati di letteratura disponibili. Si tratta di un materiale eterogeneo: nei campioni su cui è stato eseguito il Point Load Test costituiti dalle porzioni di venature bianco traslucido abbiamo riscontrato valori inferiori a 1000 kg/cm$^2$, indicando come queste costituiscono zone di debolezza del litotipo. Il materiale mostra una discreta resistenza alla compressione monoassiale (1107 kg/cm$^2$), anche se i valori di deviazione standard sono elevati (220,96 kg/cm$^2$). I dati della resistenza alla flessione sono inferiori rispetto al "Grigio Carnico" mostrando però bassi valori di deviazione standard (Tabella 6.8.2). Anche in questo caso, i valori più bassi sono stati riscontrati nei campioni costituiti da porzioni con venature di colore bianco traslucido. Nelle Fig. 6.3.1.4 e Fig. 6.3.1.5 sono mostrati i provini durante l'esecuzione delle prove-fisico meccaniche, prima della rottura.



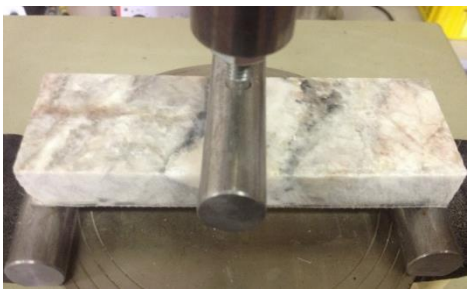


Fig.6.3.1.4 e 6.3.1.5 – Provino di "Fior di Pesco Carnico" durante il Point Load Test a sinistra e provino durante i test di resistenza alla flessione a destra, entrambi prima della rottura.

Le analisi al microscopio ottico a luce polarizzata (Fig. 6.3.1.6 e Fig. 6.1.3.7) ci hanno permesso di esaminare in maniera più approfondita il litotipo, osservando che:

- il "Fior di Pesco Carnico" è un litotipo cristallino i cui costituenti fondamentali sono dati da calcite e in netta minoranza da minerali opachi;
- la struttura è eterogenea e si riconoscono aree macrocristalline con individui di dimensioni anche centimetriche contrapposte ad aree microcristalline;

- i cristalli di calcite hanno forme differenti;
- nelle venature i cristalli di calcite sono equigranulari o inequigranulari, con forma subedrale o euedrale, ma con bordi piani e con giunti tripli, con dimensioni superiori a 900 microns;
- i cristalli di calcite di maggior dimensione presentano abbondanti tracce di sfaldature con colore madreperlaceo ed hanno abiti euedrali, lasciando supporre che siano presenti anche rare tracce di dolomite;
- alcune zone sono costituite da micro-cristalli di calcite localmente alternati a cristalli con dimensioni massime pari a 1 mm generalmente allungati e isoorientati;
- i minerali opachi presenti costituiscono probabilmente i giunti stilolitici che a scala macroscopica hanno un colore giallo limone;
- tra i minerali accessori (Carulli e Onofri, 1966) possiamo trovare inoltre quarzo, calcedonio e feldspati alterati.
-

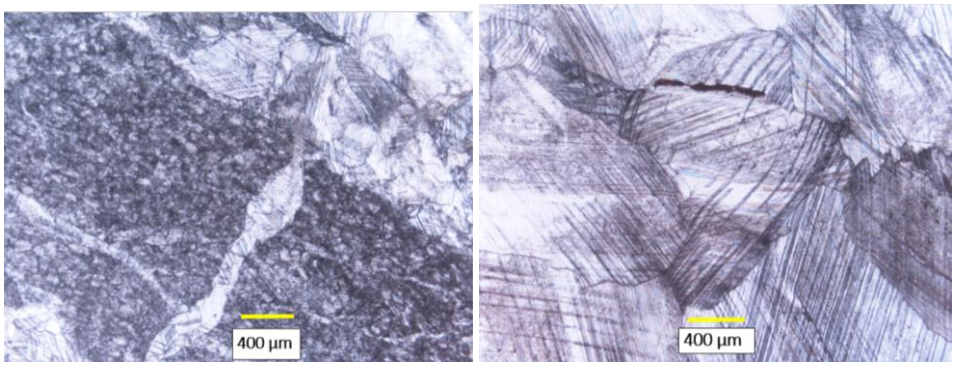



Fig. 6.3.1.6 e 6.3.1.7– Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di "Fior di Pesco Carnico": a sinistra tessitura disomogenea caratterizzata da micro-cristalli di calcite e da venature costituite da cristalli di calcite (Nicols paralleli). A destra venature con cristalli di calcite sub-centimetrici con bordi piani e con giunti tripli (Nicols incrociati).

## 6.3.2 "Rosso Levanto" o "Rosso Rubino Venato"

Il "Rosso Levanto" (chiamato anche "Rosso Rubino Venato") è un materiale che viene estratto in Liguria e rappresenta uno dei materiali di maggior pregio utilizzati nel mondo dell'arredamento, grazie al suo colore rosso e al "disegno" brecciato, che lo rendono unico ed inimitabile. Pur essendo considerato un "marmo" nel mondo commerciale, petrograficamente rientra nel gruppo delle oficalciti-serpentiniti. Presenta un colore dominante rosso intenso, con venature da verdi a bianche da pochi mm fino a qualche centimetro. Sono presenti inoltre frammenti spigolosi di diverse dimensioni di colore verde scuro (Fig. 6.3.2.1, Fig. 6.3.2.2 e Fig. 6.3.2.3). Altre varietà commerciali con cui è conosciuto sono "Rosso Antico d'Italia", "Breccia di Framura", "Breccia di Iscioli", "Verde Levanto" (se il verde è il colore predominante), "Breccia di Levanto".



Fig. 6.3.2.1 – Aspetto macroscopico del “Rosso Levanto” o “Rosso Rubino Venato”.

Le lunghe e rade venature bianche e verdastre, sono riempite da calcite spatica e da noduli di talco, oppure da frammenti di serpentinite (verde scuro) che hanno dimensioni da centimetrica a decimetrica. Inoltre, le venature possono essere riempite anche da carbonati micritici e, più raramente, da frammenti di gabbro e basalto (Cortesogno et al., 1987). Questa oficalcite appartiene alla Formazione Ligure delle Brecce di Levanto, che insieme alle Brecce di Framura costituiscono il passaggio tra il basamento ofiolitico e la successione sedimentaria giurassica soprastante (Cortesogno et al., 1981). Il “Rosso di Levanto” o “Rosso Rubino Venato” viene estratto in diversi areali della Liguria, come Levanto (da cui prende il nome), Bonassola e Deiva. Le cave, situate in provincia di Genova e La Spezia, sono tutte a cielo aperto (Fig. 6.3.2.4).





Fig. 6.3.2.2 e 6.3.2.3 - Lastre di “Rosso Levanto” o “Rosso Rubino Venato”: a sinistra frammenti angolosi di colore verde scuro evidenti, mentre a destra colore di fondo rosso e venature bianco traslucido con spessore da pochi mm fino a qualche cm.

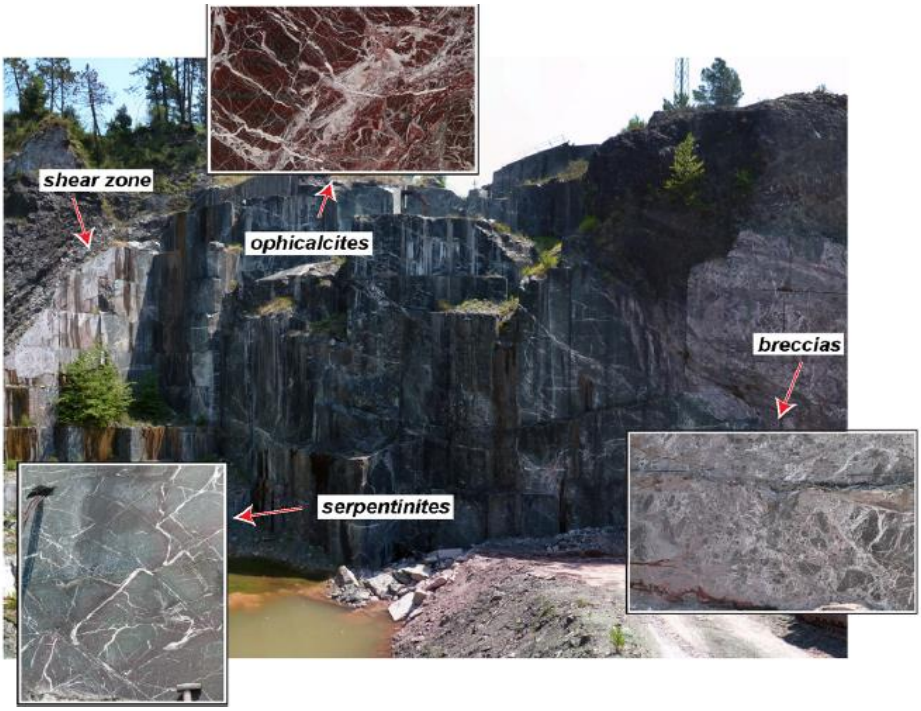



Figura 6.3.2.4 – Cava di “Rosso Levanto” o “Rosso Rubino Venato” a Levanto (Treves e Harper, 1994).

Questo materiale è molto richiesto per pavimenti, rivestimenti di interni ma anche tavoli. L’uso per esterni è sconsigliato a causa della possibile decolorazione della superficie (Pieri, 1966). I blocchi possono arrivare fino a 3200 mm di lunghezza, con lastre di spessore variabile da 2 a 3 cm.!!!! La produzione attuale è in media di 150 tonnellate mensili (Criscuolo e Mancini, 2016). Nella Tabella seguente sono riportate alcune caratteristiche fisico-meccaniche di letteratura.

| | |
|---|---|
| **Peso per Unità di Volume ɤ (g/cm$^3$)** | 2.735 |
| **Carico di Rottura a Compressione semplice (Kg/cm$^2$)** | 954 |
| **Carico di resistenza trazione indiretta mediante flessione (Kg/cm$^2$)** | 90 |

Tabella 6.3.2.1 – Alcune caratteristiche fisico-meccaniche del “Rosso Levanto” (Blanco, 1999).

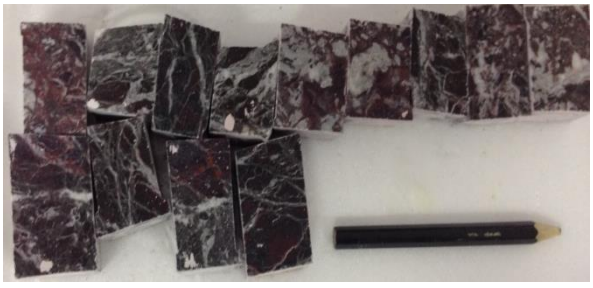
In Tabella 6.3.2.2 vengono riportati i risultati del Point Load Test sul “Rosso Levanto” o “Rosso Rubino Venato”, mentre nella Tabella 6.3.2.3 sono riportati i risultati dei test sdi resistenza alla flessione. I provini su cui sono stati eseguiti entrambi i tests sono visibili nelle Fig. 6.3.2.5 e 6.3.2.6.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 21,00 | 4,80 | 1241,23 |
| C. 2 | 20,90 | 5,10 | 1390,21 |
| C. 3 | 20,80 | 5,00 | 1372,37 |
| C. 4 | 20,50 | 4,10 | 1233,17 |
| C. 5 | 20,50 | 5,00 | 1424,23 |
| C. 6 | 20,50 | 3,00 | 942,41 |
| C. 7 | 20,40 | 3,20 | 924,09 |
| C. 8 | 20,50 | 3,50 | 900,80 |
| C. 9 | 21,00 | 3,70 | 924,02 |
| C. 10 | 20,50 | 5,80 | 1334,00 |
| **Media** | **20,66** | **4,32** | **1168,65** |
| **Dev. Standard** | **0,24** | **0,95** | **219,92** |

Tabella 6.3.2.2 – Risultati del Point Load Test elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| c1 | 47,6 | 20 | 113,45 |
| c2 | 48,2 | 21,6 | 128,07 |
| c3 | 47,3 | 19,9 | 86,49 |
| c4 | 50,2 | 19,8 | 149,08 |
| c5 | 50,4 | 20,6 | 126,24 |
| c6 | 50,1 | 20,1 | 137,84 |
| c7 | 48,5 | 19,9 | 137,77 |
| c8 | 47,9 | 20 | 136,22 |
| c9 | 50 | 20 | 157,50 |
| c10 | 48,9 | 20,2 | 130,81 |
| **Media** | **48,91** | **20,21** | **130,35** |
| **Dev. Standard** | **1,18** | **0,54** | **19,62** |

Tabella 6.3.2.3 – Risultati dei test di resistenza alla flessione



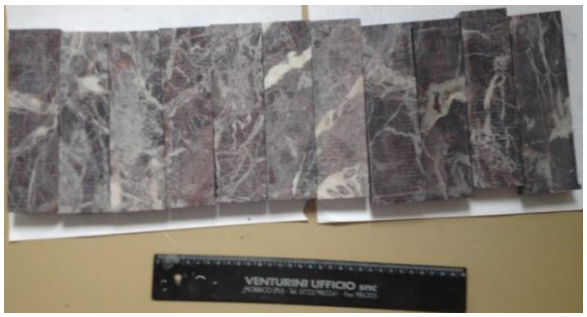



Fig. 6.3.2.5 e 6.3.2.6 – Alcuni provini utilizzati per il Point Load Test a sinistra, mentre a destra provini utilizzati per i tests di resistenza alla flessione.

Vista l'elevata eterogeneità del materiale, per le prove fisico-meccaniche, sono stati utilizzati campioni che comprendessero il più possibile le varie componenti (bianco, rosso, verde). Nel Point Load Test abbiamo riscontrato i valori più alti (tra 1200 e 1400 kg/cm$^2$) per i provini con porzioni di colore più verdastro, mentre quelli con valori più bassi (inferiori ai 1000 kg/cm$^2$), con valori simili a quelli di letteratura, contenevano porzioni di venature bianco traslucido e presentavano un colore rosso di fondo. Nei tests di resistenza alla flessione, solo un campione mostra valori al di sotto di 100 kg/cm$^2$ (c3), mentre gli altri provini hanno dato risultati superiori, con valori massimi di circa 150 kg/cm$^2$. Il valore medio calcolato è di circa 130 kg/cm$^2$. Anche a scala macroscopica, la presenza di grosse vene bianche può rendere la roccia più o meno fragile (Cortesogno et al., 1978). Riguardo all'utilizzo da parte di S2 S.p.a. di questo materiale, si è presentata l'esigenza di approfondire la composizione mineralogica delle venature, dopo che in alcuni manufatti, queste hanno iniziato a mostrare un'insolita colorazione azzurra (Fig. 6.3.2.7) dopo cicli di verniciatura e lucidatura. Per questo motivo sono state eseguite delle analisi diffrattometriche ai raggi X (XRD) presso l'Università di Urbino.

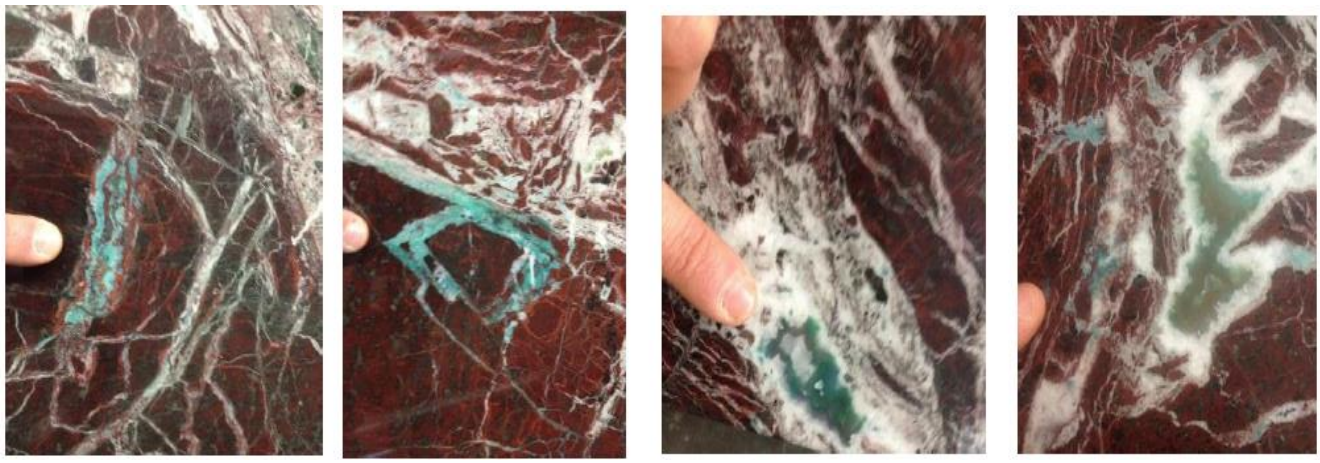


Fig. 6.3.2.7 – Aspetto macroscopico di alcune venature di colore azzurro chiaro-verde presenti in alcuni piani prodotti da S2 S.p.a. dopo cicli di verniciatura e lucidatura.

Per le analisi diffrattometriche, sono stati estratti, da un tavolo campione verniciato (Fig. 6.3.2.8), sia frammenti di venature di colore azzurro (Fig. 6.3.2.9) sia di colore bianco opaco-traslucido.





Fig. 6.3.2.8 e 6.3.2.9 – A sinistra piano campione di “Rosso Levanto” o “Rosso Rubino Venato”: in rosso è cerchiata la zona da cui sono stati prelevati i cristalli per le analisi diffrattometriche. A destra frammenti campionati nelle venature di “Rosso Levanto” che hanno assunto la colorazione verde.

Solitamente le venature del “Rosso Levanto” o “Rosso Rubino Venato” mostrano un colore da bianco traslucido-perlaceo fino a verde chiaro-grigiastro ed hanno dimensioni da millimetriche a decimetriche.

Le analisi diffrattometriche ci hanno mostrato che:

- il campione nr.1 (frammenti di colore azzurro) è costituito da talco (cica 80%), seguito in minor percentuale (circa 20%) da calcite (Fig. 6.3.2.10).

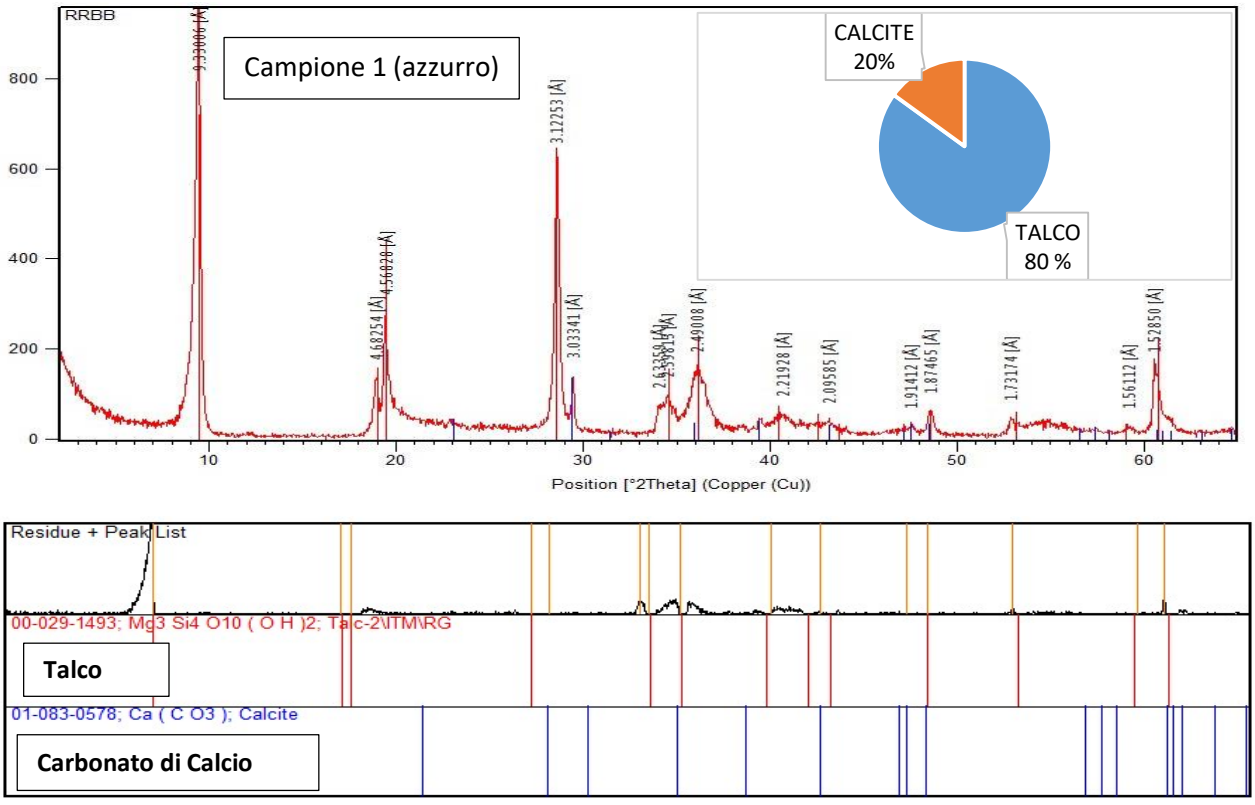



Fig. 6.3.2.10 – Spettro diffrattometrico (XRD) delle fasi di colore azzurro che riempiono le venature.

Anche nel campione nr.2, in cui i cristalli sono di colore da biancastro a bianco, il minerale principale presente è il talco (circa 85%) e sempre in minor percentuale la calcite (circa 15%), come mostrato in Fig. 6.3.2.11.

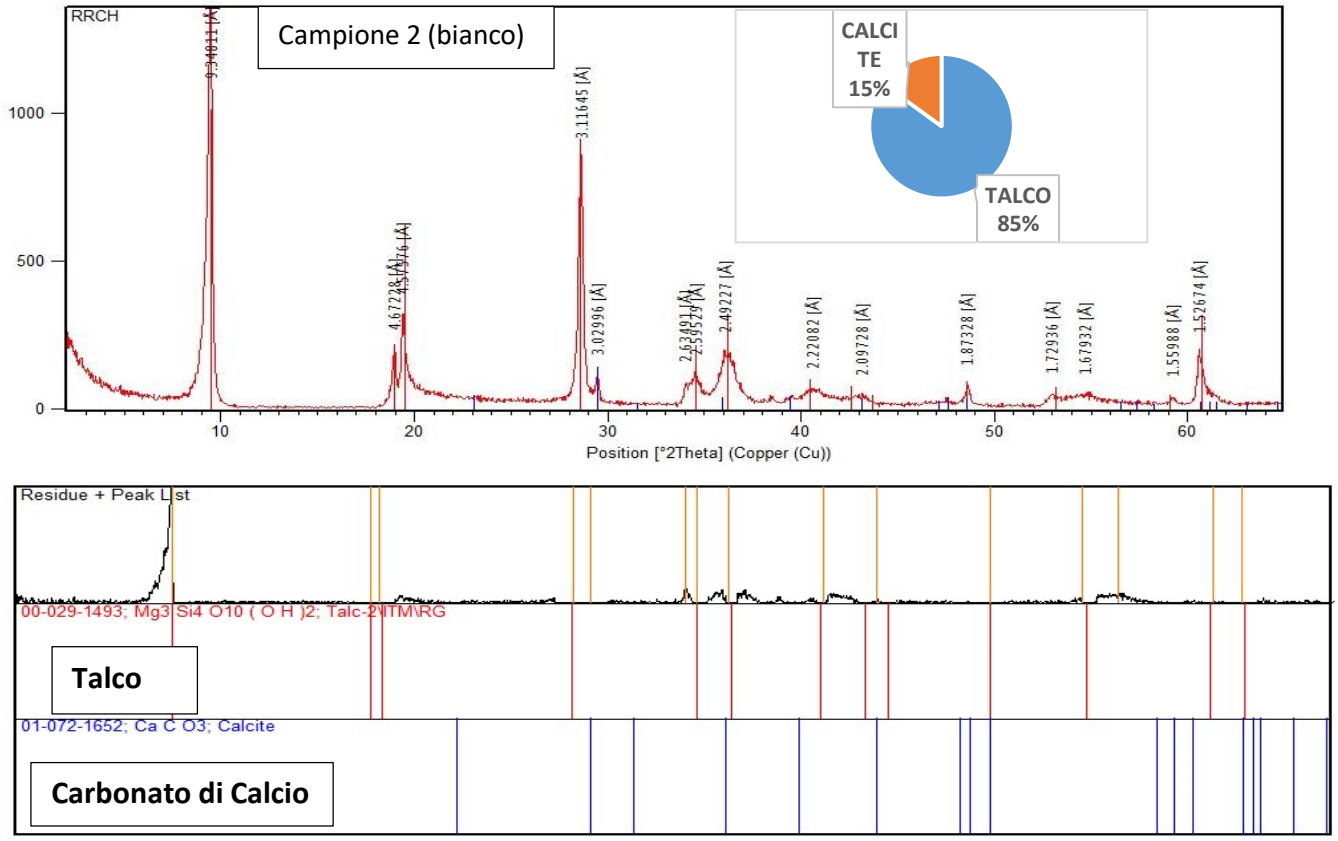



Fig. 6.3.2.11– Spettro diffrattometrico (XRD) delle fasi di colore bianco che riempiono le venature.

Il talco è un fillosilicato [$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$] che può essere da trasparente ad opaco, con lucentezza da madreperlacea a grassa. I colori solitamente possono essere da bianco a verdastro, da giallastro a rossastro, fino all'incolore. Nelle venature del "Rosso Levanto" o "Rosso Rubino Venato" presenta solitamente colori che vanno da bianco a biancastro, da incolore fino a grigio chiaro perlaceo, come mostrato nelle Fig. 6.3.2.1, 6.3.2.2 e 6.3.2.3. Il colore della calcite nelle venature presenta colori da bianco a biancastro, fino all'incolore. Le analisi XRD hanno avvalorato che i minerali che compongono le venature di colore azzurro e bianco-grigio chiaro sono essenzialmente due, ovvero talco e calcite. Questa accesa colorazione, insolita per gli standard dell'azienda, che alcuni piani hanno presentato può essere quindi imputata alle fasi di lucidatura e verniciatura che enfatizzano una pigmentazione naturale comunque presente. Pertanto, in base a quanto detto, in alcuni casi è possibile che le venature di questo materiale lapideo mostrino un colore tendente all'azzurro dopo le fasi di verniciatura e lucidatura, che risulta difficile da osservare nelle lastre grezze.

Le analisi in sezione sottile ci hanno portato alle seguenti considerazioni (Fig. 6.3.2.12 e 6.3.2.13 A, B, C, D):

- è un litotipo eterogeneo e molto fratturato, costituito da diverse fasi mineralogiche;

- questa oficalcite-serpentinite è costituita da granuli e venature opache di tonalità brunastra, probabilmente composte da ossidi di ferro di natura ematitica, che sono responsabili del colore rosso della roccia;
- i cristalli di calcite presenti nelle venature, si presentano con habitus da anedrale a subedrale, ed hanno dimensioni fino a 400 microns;
- la massa di fondo è composta da aggregati lamellari-fibrosi di natura serpentinitica debolmente scistosi con colori di birifrangenza molto bassi;
- le vene discontinue ed i vuoti aperti, oltre che da calcite, sono a volte riempiti da altri minerali come talco (che si origina per trasformazione locale del serpentino), mentre le fratture occluse da frammenti clastici presentano aggregati di calcite, talco, ematite, tremolite ed andradite (Cortesogno et al., 1987).

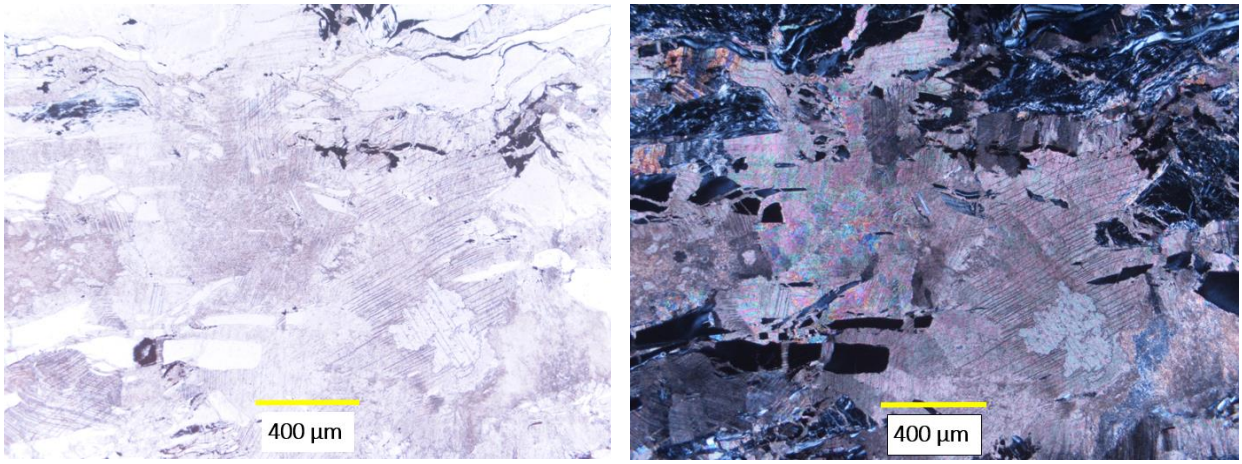



Fig. 6.3.2.12– Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di “Rosso Levanto” o “Rosso Rubino Venato”: cristalli di calcite con lamelle di geminazioni parallele di dimensioni di circa 400 microns (Nicols paralleli a sinistra e Nicols incrociati a destra).

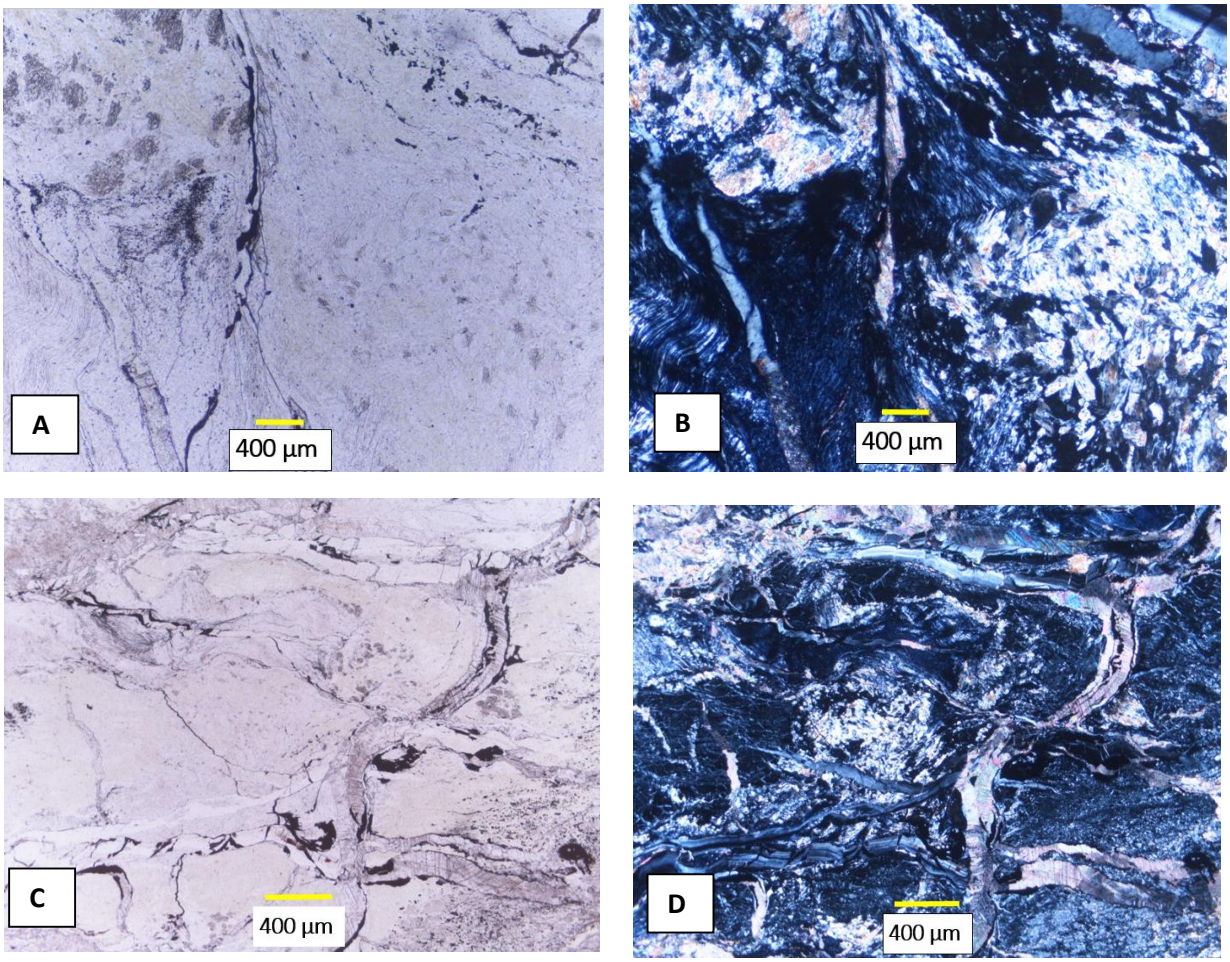



Fig. 6.3.2.13 (A, B, C, D) – Immagini a microscopio ottico a luce polarizzata di "Rosso Levanto" o "Rosso Rubino Venato": massa di fondo composta da aggregati lamellari-fibrosi di natura serpentinitica debolmente scistosi con colori di birifrangenza bassi; venature riempite da talco e calcite (Nicols paralleli A e C e Nicols incrociati B e D).

## 6.4 "Marmi Verdi"

Convenzionalmente, le oficalciti e le serpentiniti appartengono, secondo la normativa UNI 8458, alla classe commerciale dei "marmi", vista la loro facile lucidabilità. Presentano un colore variabile da verde chiaro fino a verde scuro. Questi materiali sono rocce metamorfiche ultrabasiche derivanti da un protolite igneo ultramafico ricco in olivina (peridotite) che ha subito un metamorfismo di basso grado. Se queste rocce subiscono processi di fratturazione con successiva unione dei frammenti ad opera della calcite, allora vengono chiamate oficalciti che commercialmente costituiscono la gran parte dei cosidetti "marmi verdi". Rispetto alle serpentiniti, queste litologie sono di durezza inferiore e di più facile lavorabilità, con valori di resistenza alla compressione simile a quelle dei graniti (Blanco, 1999). Questi materiali lapidei, lucidabili e ben lavorabili, sono molto utilizzati nel mondo dell'arredamento ed apprezzati da designers ed architetti. In Italia vengono estratte numerose varietà commerciali soprattutto in Valle d'Aosta. Il materiale

commercializzato come “Verde Alpi”, utilizzato sin dall’antichità dai Romani, grazie alle diverse varietà cromatiche e tessiturali, rimane ancora oggi tra i verdi più apprezzati e ricercati a livello internazionale. Una delle caratteristiche dei “marmi verdi” è la varietà tessiturale e cromatica, che si può osservare nelle diverse cave o anche in una stessa cava. In più siti estrattivi il “disegno” del materiale è tale da consentire la coltivazione di due o più varietà commerciali, che differiscono tra loro per colorazione e dimensione dei frammenti, delle venature e della matrice. Oltre ai verdi della Valle d’Aosta, esistono su scala mondiale anche quelli provenienti dalla Grecia (“Verde Tinos”), dall’India (“Rain Forest Green”, “Verde Guatemala”; Fiora et al., 1999). I “marmi verdi” trattati da S2 S.p.a. provengono dalla Valle d’Aosta e sono caratterizzati da domini a prevalente serpentino di colore verde e da porzioni bianche ricche in carbonati. Macroscopicamente le tessiture sono di tipo brecciato con frammenti di forma spigolosa o arrotondata, con dimensioni da millimetriche fino a metriche, immersi in una matrice formata da carbonati e subordinate fasi silicatiche (Fiora et al., 1999). Alcune varietà merceologiche di questo gruppo di “marmi verdi” della Valle d’Aosta sono mostrate in Fig. 6.4.1, 6.4.2, 6.4.3 e 6.4.4 (Blanco, 1999).

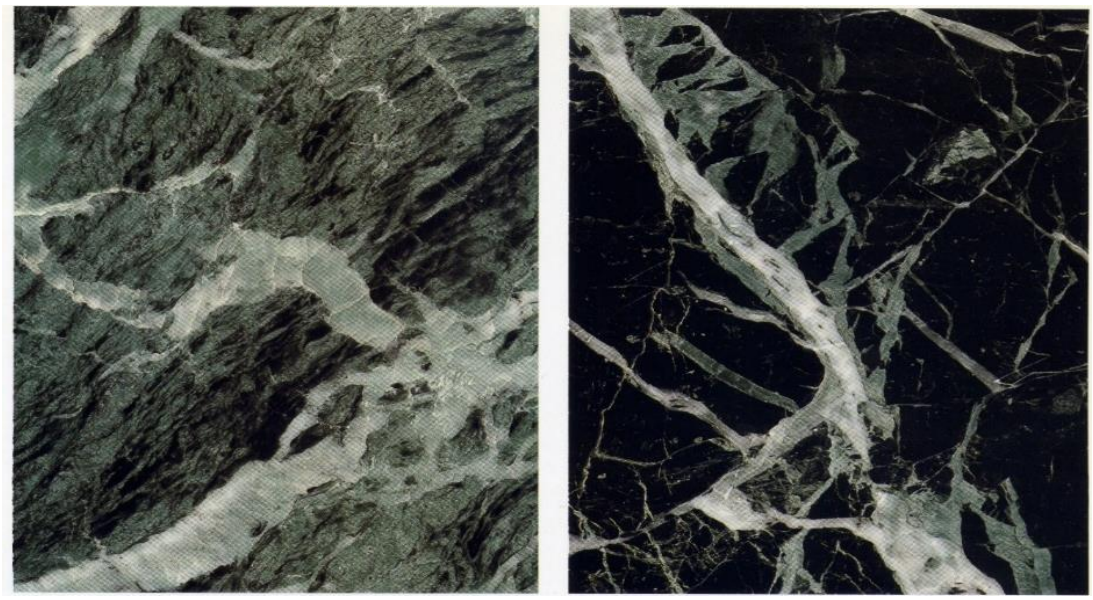


Fig. 6.4.1 – Aspetto macroscopico di alcuni “marmi verdi” provenienti dalla Valle d’Aosta: a sinistra “Verde Saint-Denis”, a destra “Verde Acceglio”.

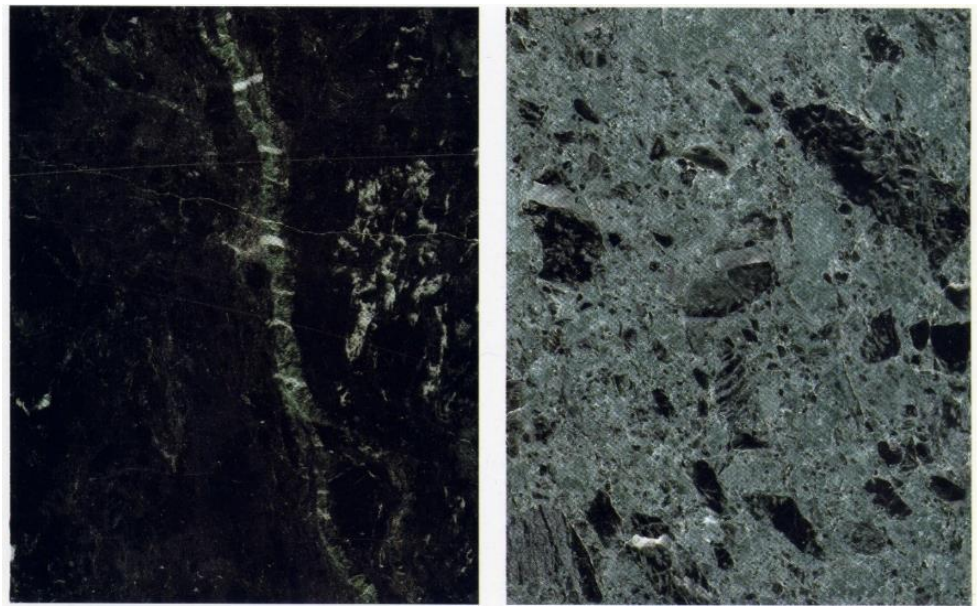


Fig. 6.4.2 – Aspetto macroscopico di alcuni “marmi verdi” provenienti dalla Valle d’Aosta: a sinistra “Verde Alpi”, a destra “Verde Aver”.

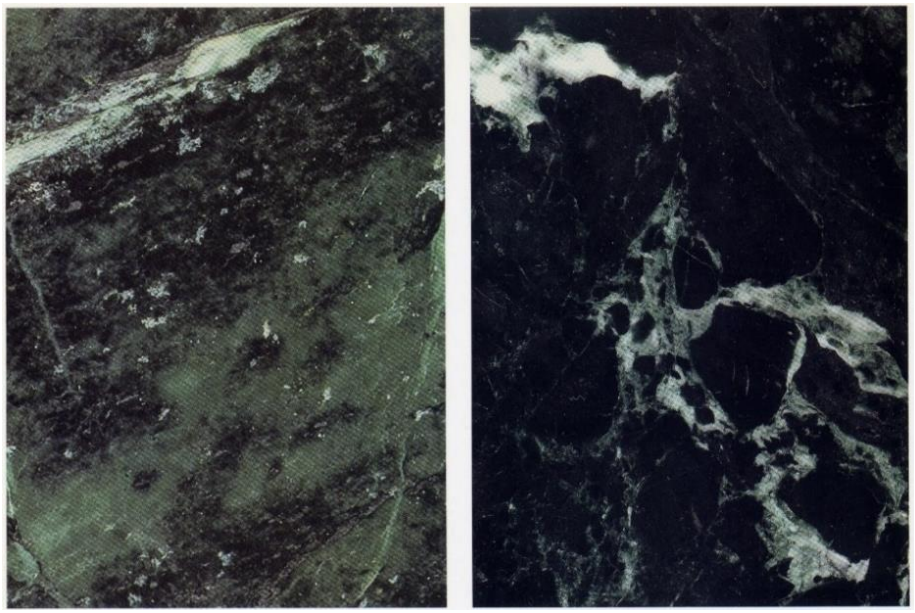


Fig. 6.4.3 – Aspetto macroscopico di alcuni “marmi verdi” provenienti dalla Valle d’Aosta: a sinistra “Verde Giada”, a destra “Verde Gressnooey”.

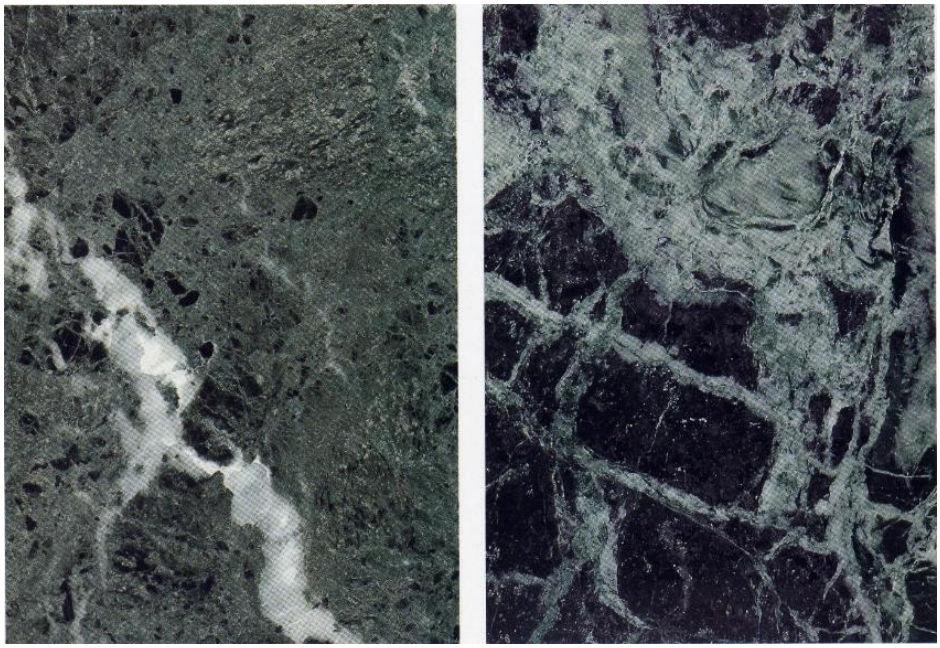


Fig. 6.4.4 – Aspetto macroscopico di alcuni “marmi verdi” provenienti dalla Valle d’Aosta: a sinistra “Verde Issorie”, a destra “Verde Patrizia”.

### 6.4.1 “Verde Alpi Chiaro”

Il materiale conosciuto con il nome commerciale di“Verde Alpi Chiaro” o “Verde Aver”, utilizzato da S2 S.p.a. è un’oficalcite-serpentinite che si presenta con un colore dominante verde più o meno intenso con piccole zone a tonalità più scura e venature ad andamento irregolare con colore variabile da bianco traslucido fino a verde chiaro (Fig. 6.4.1.1 e 6.4.1.2). Di aspetto leggermente brecciato, presenta frammenti di colore verde scuro dai contorni sfumati, circondati da una matrice di colore verde più pallido e biancastro. È un materiale che trova notevole impiego per pavimenti e rivestimenti sia da interno che da esterno (Blanco, 1999). I blocchi di questo materiale possono raggiungere notevoli dimensioni, fino a 3000 mm di larghezza e 1800 mm di larghezza, ed hanno una buona reperibilità. In Valle d’Aosta le cave sono sia in sotterraneo che a cielo aperto.

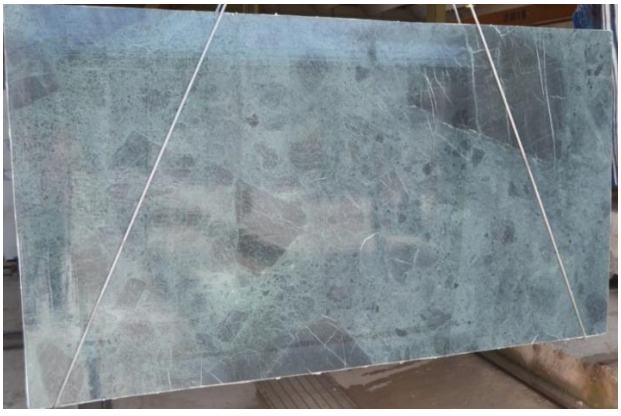


Fig. 6.4.1.1 – Aspetto macroscopico di una lastra di “Verde Alpi Chiaro”o “Verde Aver”.



Fig. 6.4.1.2 – Blocco di “Verde Alpi Chiaro”o “Verde Aver”.

Di tutti i materiali analizzati in questo progetto, i “marmi verdi” sono quelli che presentano caratteristiche fisico-meccaniche migliori (Tabella 6.4.1.1.).

| Proprietà fisico-meccaniche | Blanco, 1999 | I.C.E., 1982 |
|---|---|---|
| Peso per Unità di Volume ɤ (g/cm$^3$) | 2,682 | 2,682 |
| Carico di Rottura a Compressione semplice (Kg/cm$^2$) | 2040 | 2000 |
| Carico di Rottura a trazione indiretta mediante flessione (Kg/cm$^2$) | 217 | 213 |

Tabella 6.4.1.1 – Alcuni valori fisico-meccanici presenti in letteratura del “Verde Alpi Chiaro”o “Verde Aver” (Blanco, 1999; I.C.E, 1982).

Il “Verde Alpi Chiaro”o “Verde Aver”presenta valori molto elevati nel Point Load Test (Tabella 6.4.1.2) con valori di resistenza a compressione monoassiale tipica delle serpentiniti, che in alcuni casi possono essere simili addirittura a quelli dei graniti. Anche se i valori di deviazione standard sono elevati (740 kg/cm$^2$) il valore minimo riscontrato è di circa 2800 kg/cm$^2$, mentre il valore massimo registrato è di poco superiore a 5000 kg/cm$^2$. Nelle prove di resistenza alla flessione si sono registrati valori molto elevati (Tabella 6.4.1.3) con resistenza anche superiori a 300 kg/cm$^2$. I campioni contenenti frammenti spigolosi di tonalità verde scuro sono quelli che hanno presentato valori maggiori in entrambe le prove.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 19,50 | 12,50 | 4022,07 |
| C. 2 | 19,20 | 15,80 | 4830,44 |
| C. 3 | 19,40 | 16,90 | 4819,62 |
| C. 4 | 19,20 | 12,00 | 3504,47 |
| C. 5 | 19,40 | 16,00 | 4803,96 |
| C. 6 | 19,30 | 13,00 | 3733,90 |
| C. 7 | 19,60 | 9,50 | 2811,09 |
| C. 8 | 19,20 | 17,00 | 5111,40 |
| C. 9 | 19,20 | 15,50 | 4512,28 |
| C. 10 | 19,10 | 17,00 | 4731,28 |
| **Media** | **19,31** | **14,52** | **4288,05** |
| **Dev. Standard** | **0,16** | **2,60** | **740,93** |

Tabella 6.4.1.2 – Valori del Point Load Test elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| c1 | 49,2 | 20 | 320,23 |
| c2 | 50,1 | 20,1 | 279,33 |
| c3 | 50 | 20,1 | 285,24 |
| c4 | 48,9 | 20 | 295,50 |
| c5 | 49,8 | 20,1 | 298,02 |
| c6 | 50,1 | 20,1 | 274,89 |
| c7 | 49,9 | 19,9 | 308,90 |
| c8 | 50 | 20,1 | 278,11 |
| c9 | 50 | 19,9 | 281,91 |
| c10 | 49,9 | 20 | 302,21 |
| **Media** | **49,79** | **20,03** | **292,43** |
| **Dev. Standard** | **0,41** | **0,08** | **15,01** |

Tabella 6.4.1.3 – Risultati delle prove di resistenza alla flessione.

Le analisi in sezione sottile al microscopio polarizzatore (Fig. 6.4.1.3, 6.4.1.4) ci mostrano la natura serpentinitica di questa roccia brecciata, costituita da una massa di fondo con tonalità bruno scuro con venature grigiastre. Sono presenti minerali come il serpentino, che mostra una discreta alterazione, sia nella massa di fondo sia nelle venature dove, talvolta risulta inglobare altre fasi mineralogiche, probabilmente costituite da calcite e talco. Sono inoltre presenti solfuri, visibili anche macroscopicamente di colore giallo-oro, probabilmente pirite. Alcune delle fasi mineralogiche non sono risolvibili al microscopio ottico a luce polarizzata. I frammenti scuri di serpentinite (ad antigorite, magnetite e tremolite), mostrano talvolta dei

contorni sfumati e sono circondati da una matrice di colore leggermente più chiaro costituita dalle stesse fasi presenti nei domini serpentinitici con la sola aggiunta di calcite (Fiora e Ferrarese, 1998).

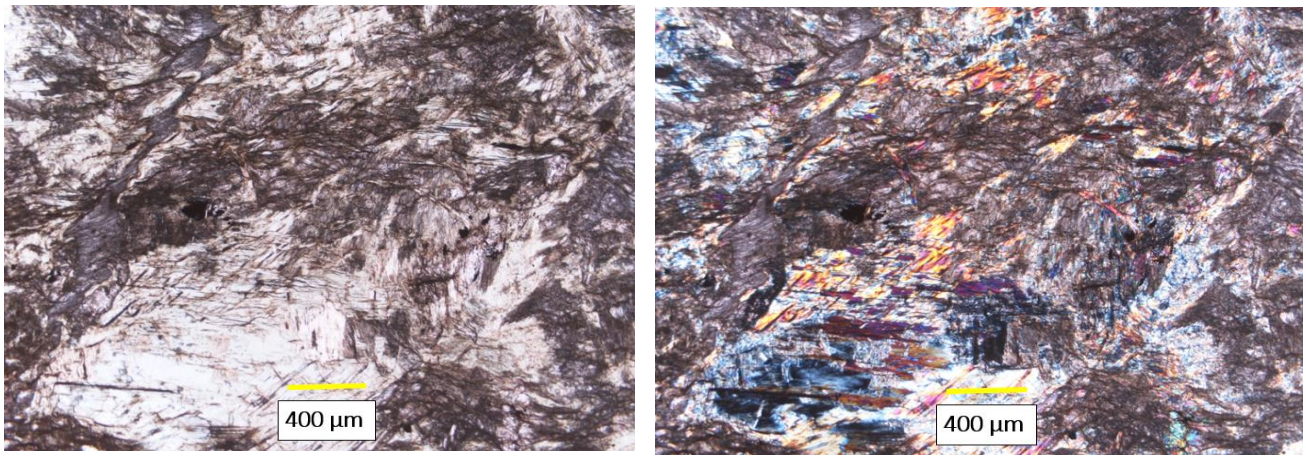



Fig. 6.4.1.3 – Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di "Verde Alpi Chiaro" o "Verde Aver": aree più scure tendenti al grigio costituite da serpentino; le aree con alti colori di birifrangenza sono probabilmente costituite da talco (Nicols paralleli a sinistra e Nicols incrociati a destra).

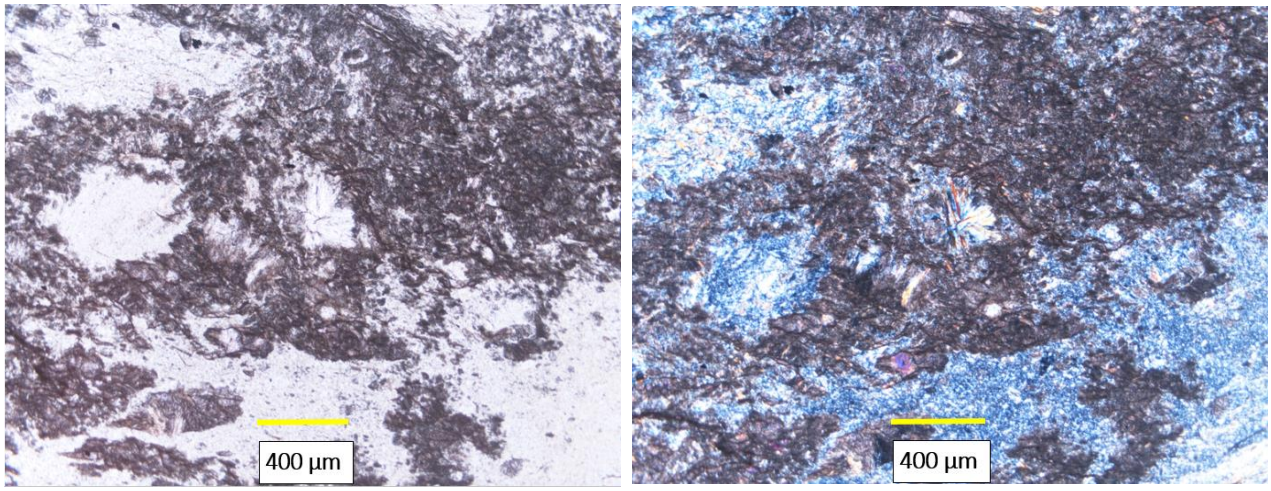



Fig. 6.4.1.4 - Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di "Verde Alpi Chiaro" o "Verde Aver": aree costituite da serpentino e talco (Nicols paralleli a sinistra e Nicols incrociati a destra).

## 6.4.2 "Verde Alpi Scuro"

Il "Verde Alpi Scuro" presenta un colore dominante verde scuro, con venature di tonalità da verde più chiaro a grigio, fino a bianco traslucido. Le venature hanno dimensioni da millimetrica a pochi cm e presentano un andamento irregolare (Fig. 6.4.2.1 e 6.4.2.2). È un materiale di pregevole aspetto che trova impiego soprattutto per interni, come tavoli, rivestimenti e pavimenti, ma anche per piccole opere monumentali come colonne o basamenti. Dotato di buone caratteristiche fisico-meccaniche, le cave di questo materiale sono a cielo aperto e le lastre hanno dimensioni medie di circa 2800 x 1600 mm.




Fig. 6.4.2.1 e 6.4.2.2 – A sinistra aspetto macroscopico di dettaglio delle venature e del colore dominante del “Verde Alpi Scuro”. A destra lastre di “Verde Alpi Scuro” con colore dominante verde scuro e venature più chiare ad andamento irregolare.

Le analisi fisico-meccaniche eseguite su nr.10 provini rispettivamente, ci mostrano che il “Verde Alpi Scuro” presenta ottimi valori sia di resistenza alla flessione che per il Point Load Test, i più alti riscontrati insieme al “Verde Alpi Chiaro” (Tabelle 6.8.1 e 6.8.2). I valori del Point Load Test (Fig. 6.4.2.3) hanno raggiunto carichi in media di 12,3 KN e, ad eccezione di un campione, non sono mai scesi sotto valori di 10 KN. I valori di resistenza alla compressione monoassiale elaborati mostrano valori superiori in certi casi anche a 4000 kg/cm$^2$, con valori minimi riscontrati (solamente in due campioni) di circa 2500-2800 kg/cm$^2$ (Tabella 6.4.2.1). I valori di resistenza alla flessione (Fig. 6.4.2.4 ) presentano anche bassi dati di deviazione standard, con valori massimi registrati di 318 Kg/cm$^2$ (Tabella 6.4.2.2). I risultati delle prove ci confermano ulteriormente che le oficalciti-serpentiniti utilizzate da S2 S.p.a. presentano ottime caratteristiche fisico-meccaniche.




Fig. 6.4.2.3 – Provino di “Verde Alpi Scuro” con il valore di rottura indicato dalla lancetta rossa.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 19,90 | 11,90 | 3189,31 |
| C. 2 | 19,90 | 11,00 | 3134,47 |
| C. 3 | 20,00 | 12,00 | 3461,49 |
| C. 4 | 20,00 | 10,50 | 2811,48 |
| C. 5 | 19,85 | 8,50 | 2515,52 |
| C. 6 | 20,00 | 16,00 | 4296,87 |
| C. 7 | 20,00 | 14,20 | 3847,79 |
| C. 8 | 20,00 | 11,00 | 3420,74 |
| C. 9 | 20,00 | 14,90 | 4584,28 |
| C. 10 | 20,00 | 13,00 | 3985,61 |
| **Media** | **19,97** | **12,30** | **3524,75** |
| **Dev. Standard** | **0,06** | **2,26** | **653,41** |

Tabella 6.4.2.1 – Risultati del Point Load Test elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

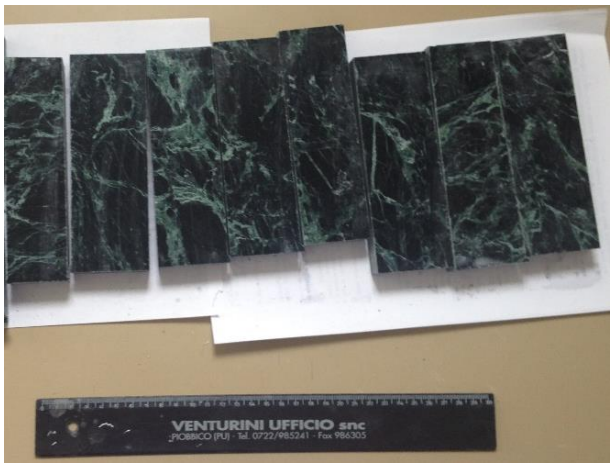



Fig. 6.4.2.4 – Alcuni dei provini utilizzati per i tests di resistenza alla flessione.

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| c1 | 50,1 | 20 | 106,02 |
| c2 | 45,5 | 20 | 246,35 |
| c3 | 50,1 | 20 | 318,07 |
| c4 | 52,4 | 19,9 | 289,82 |
| c5 | 45,5 | 19,9 | 114,92 |
| c6 | 46,1 | 20 | 183,58 |
| c7 | 46,5 | 20 | 232,34 |
| c8 | 52,5 | 20 | 240,94 |
| c9 | 47,9 | 20 | 220,85 |
| c10 | 47,5 | 20 | 217,97 |
| **Media** | **48,41** | **19,98** | **217,09** |
| **Dev. Standard** | **2,70** | **0,04** | **67,54** |

Tabella 6.4.2.2 – Risultati dei tests di resistenza alla flessione.

Le analisi al microscopio in sezione sottile (Fig. 6.4.2.5 e 6.4.2.6) ci hanno mostrato che:

- il “Verde Alpi Scuro” è una roccia di natura serpentinitica brecciata, abbastanza uniforme;
- il principale minerale è il serpentino, che risulta essere alterato in minerali come l’antigorite presente nella massa di fondo, con cristalli lamelliformi e masse criptocristalline, di dimensioni fino a 100 microns;
- le venature di colore da grigio a bruno scuro, oltre al serpentino, risultano contenere anche altre fasi mineralogiche, probabilmente talco (che si forma per alterazione locale del serpentino) e/o calcite, che rendono questo materiale lucidabile e ben lavorabile;
- sono presenti tracce di minerali opachi come ossidi (probabilmente magnetite) e solfuri, quest’ultimi visibili anche macroscopicamente;
- i minerali con alti colori di birifrangenza sono riconducibili probabilmente a cristalli di pirosseno relitto come diopside.

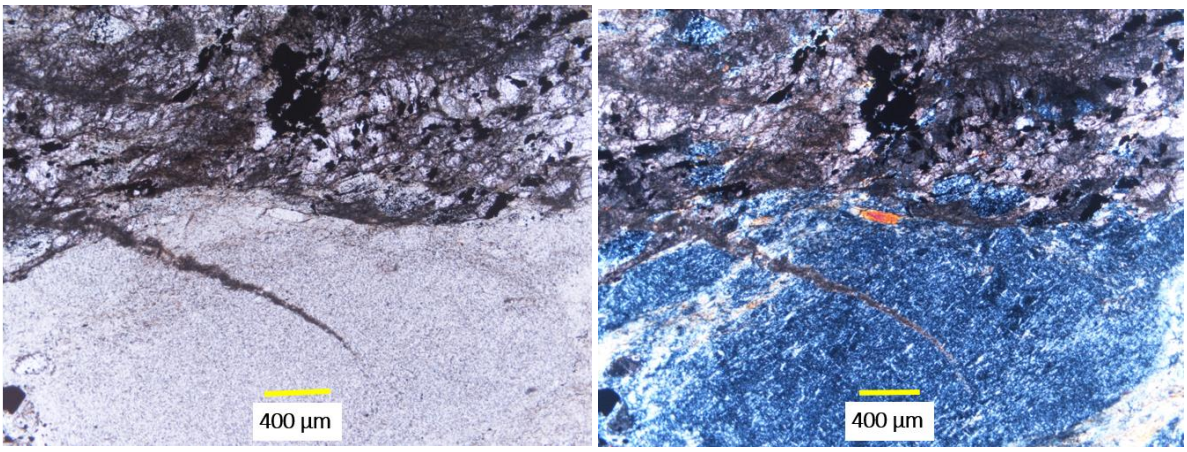



Fig. 6.4.2.5 – Immagini al microscopio ottico a luce trasmessa polarizzata di “Verde Alpi Scuro”: in basso la massa di fondo costituita da fasi di alterazione del serpentino (come l’antigorite), mentre in alto alcuni minerali opachi (probabilmente ossidi o solfuri); si riscontrano inoltre minerali con alti colori di birifrangenza riconducibili probabilmente a pirosseno (Nicols paralleli a sinistra e Nicols incrociati a destra).

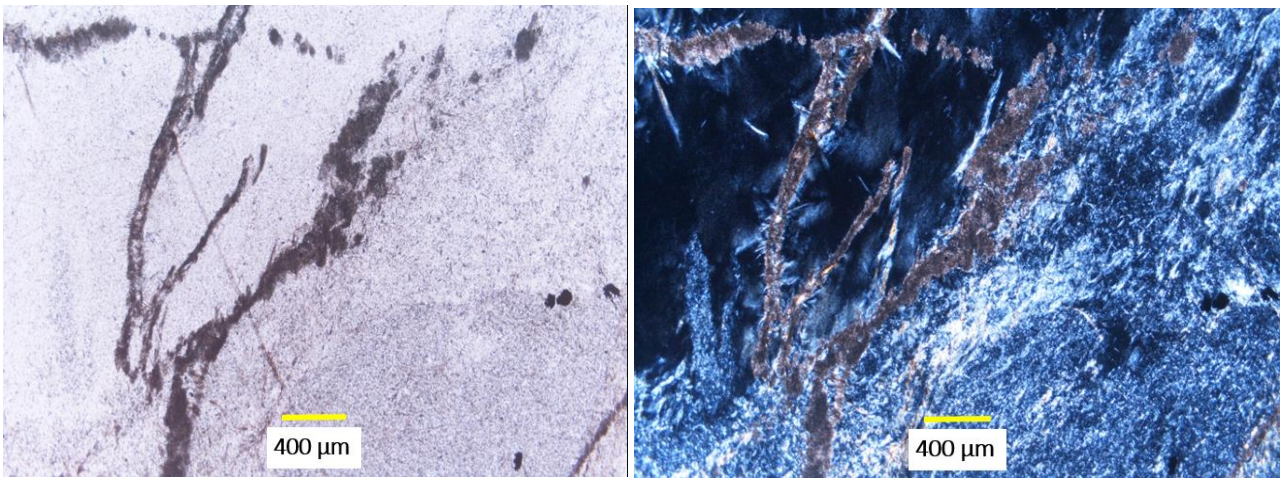



Fig. 6.4.2.6 – Immagini al microscopio ottico a luce trasmessa polarizzata di “Verde Alpi Scuro”: si riconoscono la massa di fondo alterata di serpentino costituita da cristalli lamelliformi con bassi colori di birifrangenza; aree di colore bruno scuro-grigio costituenti le venature e minerali opachi (Nicols paralleli a sinistra e Nicols incrociati a destra).

## 6.5 “Marmi Marroni”

### 6.5.1 “Dark Emperador”

Il “marmo” conosciuto con il nome commerciale di “Dark Emperador” è un materiale proveniente dalla Spagna sud orientale, principalmente dalla regione di Murcia nelle province di Alicante e di Albacete (Fig. 6.5.1.1 a, b). Altre denominazioni conosciute sono: “Emperador Marron”, “Emperador Scuro”, “Emperador Dark Spain”, “Marron Emperador”, “Dark Imperador”, “Imperator Dark”, “Marron Imperial”, “Castanho Imperador Escuro”. Questo materiale, a seconda delle diverse varietà merceologiche, presenta un colore dominante da marrone scuro uniforme a marrone chiaro, con venature da millimetriche a centimetriche di colore da bianco traslucido a giallo ocra-arancione (Fig. 6.5.1.2). Si tratta di un calcare dolomitico brecciato fortemente fessurato, in cui i clasti frammentati e spigolosi possono variare da pochi mm a qualche cm (Fig. 6.5.1.3). Questa roccia è formata per circa il 70% da dolomite e 30% da calcite mentre le fratture presenti sono prevalentemente riempite da calcite (circa 90%; Martínez-Martínez et al., 2007) e dolomite; evidenze di dissoluzione caratterizzano spesso le fratture (Cueto et al., 2007).

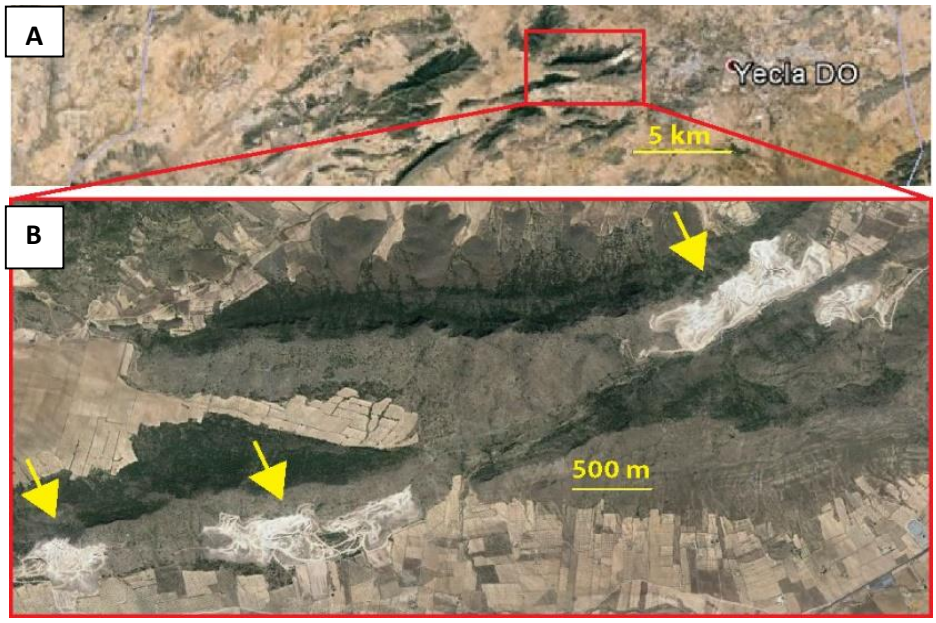



Fig. 6.5.1.1 - Immagini satellitari (Google Earth) dei dintorni della città di Yecla (A) nella regione di Murcia (Spagna); (B) un dettaglio dell'area dove vengono evidenziate le cave di “Dark Emperador”.

Nonostante non sia possibile riconoscere un orientamento preferenziale delle fratture, si possono distinguere tre tipologie: inter-clasto, trans-clasto e intra-clasto. Le fratture mostrano un'apertura variabile maggiormente frequente nell'intervallo tra 0.1 e 1.2 mm (Cueto et al., 2006). Questo materiale ha una buona reperibilità e viene usato principalmente per arredamento di interni come tavoli, rivestimenti e anche pavimentazioni. Le cave sono tutte a cielo aperto ed i blocchi presentano dimensioni medie di 2800x1600 mm.

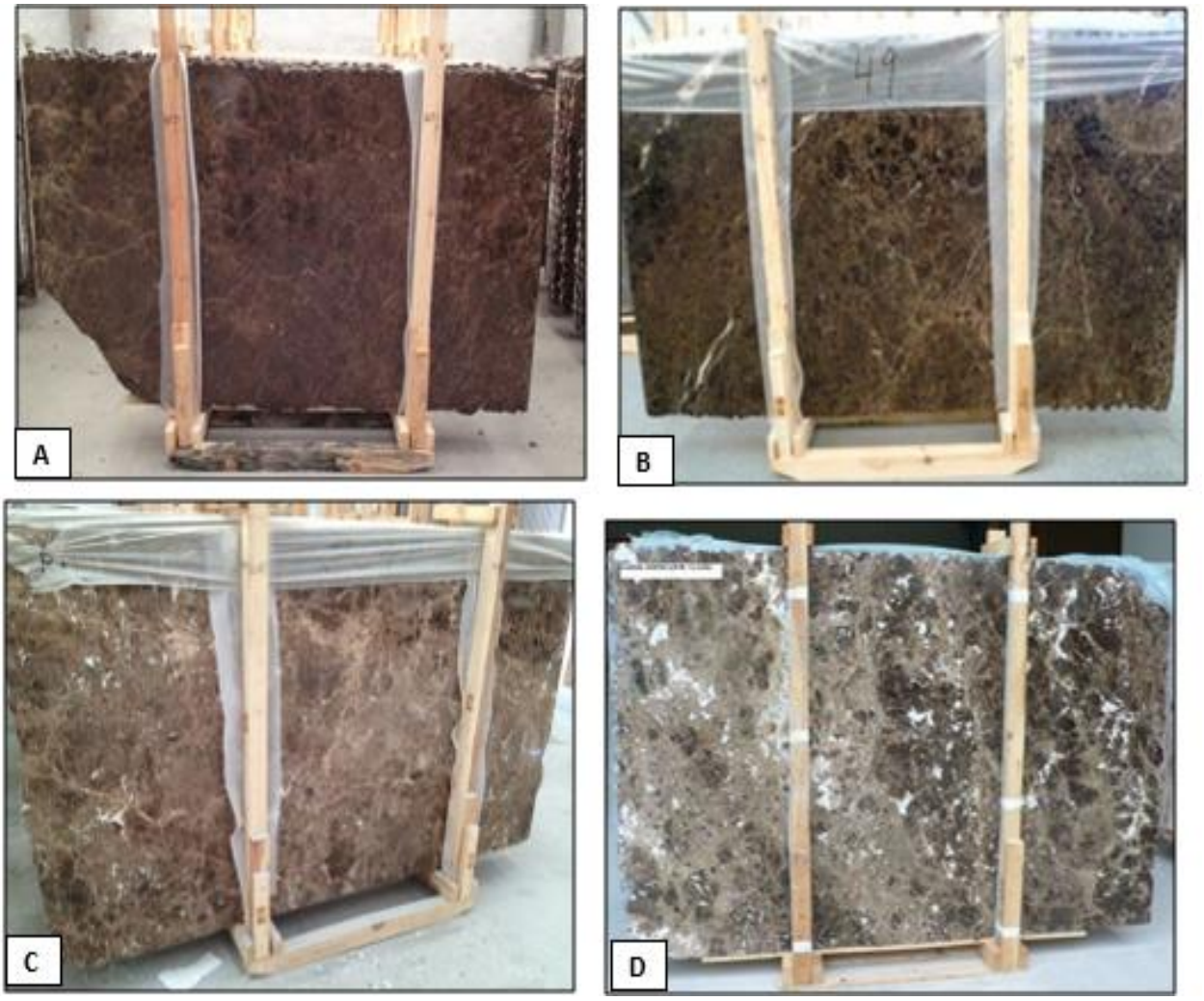



Fig. 6.5.1.2 (A, B, C, D) - Aspetto macroscopico di alcune varietà merceologiche del “Dark Emperador”: da tonalità marrone scuro uniforme ed esente da venature bianco traslucide (A), a varietà con colore dominante da marrone chiaro alternato a marrone scuro, con sporadiche venature bianco traslucido (B); la più utilizzata ed apprezzata. Le varietà C e D risultano di colore marrone più chiaro e meno uniforme, con la presenza di fessure bianco traslucido di dimensioni centimetriche.

La lavorazione di questa roccia risulta difficoltosa a causa della necessità di effettuare la stuccatura delle frequenti fessure-fratture (Fig. 6.5.1.3). Queste ultime sono più o meno persistenti a seconda degli areali estrattivi.



Fig. 6.5.1.3 – Fessure caratteristiche del “Dark Emperador” di colore da bianco traslucido a giallo-ocra su massa di fondo di colore marrone scuro.

Nella Tabella seguente vengono riportati alcuni dati di letteratura relativi a prove fisico-meccaniche di due varietà merceologiche del "*Dark Emperador".

| Proprietà fisico-meccaniche | "Marron Imperial" | "Marron Emperador" |
|---|---|---|
| Resistenza alla compressione semplice ($Kg/cm^2$) | 1125 ± 11 | 840 ± 169 |
| Resistenza alla flessione ($Kg/cm^2$) | 106 ± 47 | 94 ± 17 |

Tabella 6.5.1.1 – Dati relativi ad alcuni parametri fisico-meccanici di due varietà merceologiche del "Dark Emperador" (Garcia del Cura et al., 1999).

I provini utilizzati per le prove fisico-meccaniche eseguite (Point Load Test e tests di resistenza alla flessione) sono visibili rispettivamente nelle Fig. 6.5.1.4 e 6.5.1.5 mentre i risultati sono riportati nelle Tabelle 6.5.1.2 e 6.5.1.3.



Fig. 6.5.1.4 – Provini utilizzati per il Point Load Test a destra; a sinistra esecuzione della prova.

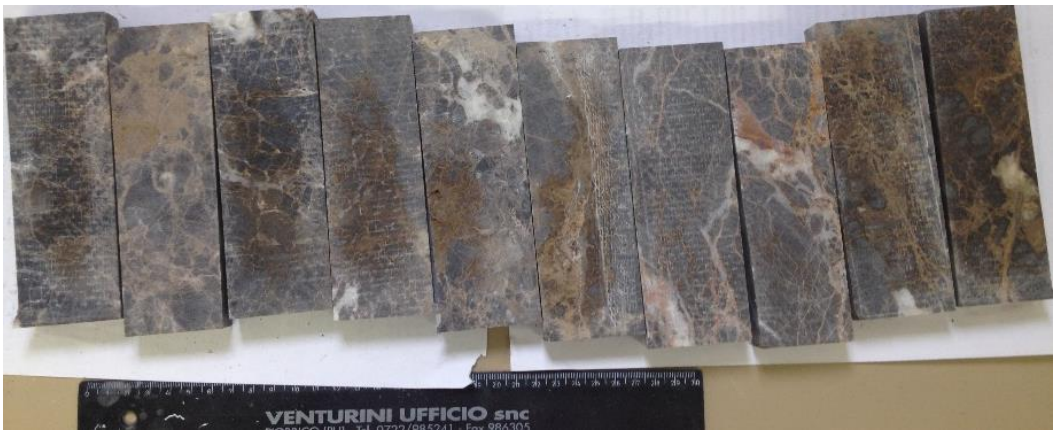



Fig. 6.5.1.5 – Provini utilizzati per i tests di resistenza alla flessione.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 21,10 | 7,80 | 2064,99 |
| C. 2 | 20,40 | 4,90 | 1374,05 |
| C. 3 | 20,60 | 6,10 | 1765,92 |
| C. 4 | 20,50 | 5,60 | 1479,79 |
| C. 5 | 20,80 | 6,50 | 1688,33 |
| C. 6 | 20,81 | 8,80 | 2354,85 |
| C. 7 | 20,50 | 5,90 | 1648,21 |
| C. 8 | 20,50 | 9,00 | 2451,64 |
| C. 9 | 20,50 | 7,90 | 2228,37 |
| C. 10 | 20,70 | 6,90 | 2059,78 |
| **Media** | **20,64** | **6,94** | **1911,59** |
| **Deviazione Standard** | **0,21** | **1,39** | **372,65** |

Tabella 6.5.1.2 – Risultati del Point Load Test elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin, (1972).

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C1 | 47,4 | 20,3 | 105,05 |
| C2 | 52,1 | 20,2 | 103,30 |
| C3 | 50,6 | 20,2 | 110,72 |
| C4 | 50,1 | 19,2 | 122,80 |
| C5 | 47,5 | 19,3 | 109,87 |
| C6 | 49,7 | 19,5 | 91,44 |
| C7 | 48 | 19,6 | 97,62 |
| C8 | 50,1 | 19,7 | 93,50 |
| C9 | 51,5 | 19,8 | 97,18 |
| C10 | 49,9 | 20,1 | 102,68 |
| **Media** | **49,69** | **19,79** | **103,42** |
| **Deviazione Standard** | **1,61** | **0,40** | **9,36** |

Tabella 6.5.1.3 – Risultati dei tests di resistenza alla flessione.

I risultati ottenuti sono confermati in parte, anche dai dati di letteratura. Il "Dark Emperador" presenta buone caratteristiche per quanto riguarda la resistenza a compressione monoassiale( con un valore medio di 1911 kg/cm$^2$) che risulta superiore ai dati presentati in Tabella 6.5.1.1. Va considerato però che i provini utilizzati sono costituiti principalmente dalla massa di fondo di colore bruno scuro del materiale, con le venature, quando presenti, di dimensioni millimetriche. Questo aspetto viene confermato dai tests di resistenza alla flessione che, pur essendo in linea con i dati di letteratura, ci hanno mostrato che le venature di questo materiale (sia bianco traslucido che giallo ocra) rappresentano zone di debolezza e pertanto mostrano valori bassi ( inferiori ai 100 kg/cm$^2$).

Le analisi in sezione sottile al microscopio ci hanno ulteriormente confermato quanto osservato a scala macroscopica: il "Dark Emperador" è un calcare dolomitico brecciato, in cui i cristalli di calcite e dolomite hanno dimensioni comprese tra 200 µm e 300 µm. Sono tuttavia presenti anche porzioni micro-cristalline di dimensioni di 40-80 µm e cristalli zonati che sono spesso caratterizzati da impurità; quest'ultime costituite da ossidi di ferro e responsabili del colore scuro della roccia (García del Cura et al., 1999). Le fratture sono riempite per la maggior parte da calcite e dolomite, anche se sono presenti in minor percentuale elementi come Fe e Vn (Garcìa del Cura et al., 1999). Sono presenti giunti stilolitici (Fig. 6.5.1.6) ed evidenze di dissoluzione che caratterizzano spesso le fratture di dimensione di qualche decina di microns e caratterizzate da un colore bruno scuro. In alcune facies si possono trovare tracce di fossili come gasteropodi e ostracodi (Garcìa del Cura et al., 1999).

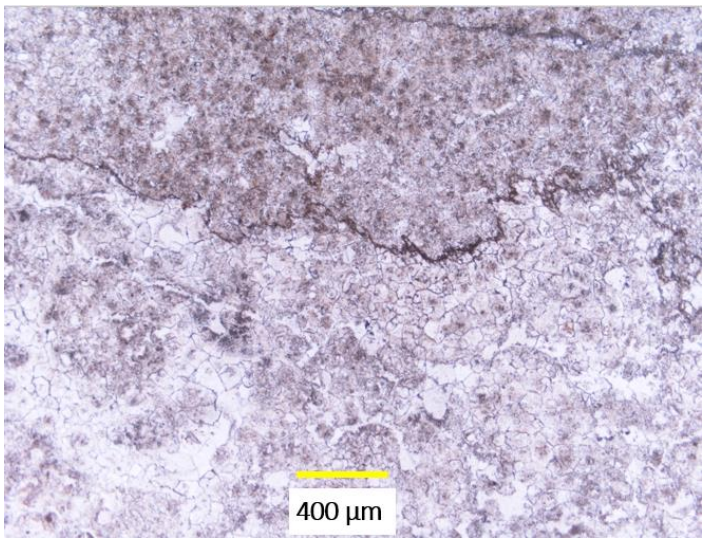



Fig. 6.5.1.6 – Immagine al microscopio ottico a luce polarizzata di "Dark Emperador": sono distinguibili due domini separati da giunti stilolitici di colore bruno scuro; i cristalli nelle aree più chiare presentano dimensioni da 200 a 300 µm circa, mentre nelle porzioni più scure le dimensioni diminuiscono per arrivare a un intervallo compreso tra 40 e 80 µm circa (Nicols paralleli).

## 6.5.2 "Light Emperador"

Il "marmo" conosciuto con il nome commerciale di "Light Emperador" è un materiale proveniente dalla Turchia che viene estratto nella regione di Bursa. L'azienda S2 S.p.a. non ha ancora in produzione questo materiale che è stato comunque messo in prova per alcuni piani.



Fig. 6.5.2.1 – Aspetto macroscopico del “Light Emperador”.

Il “Light Emperador” si presenta con un colore dominante marrone chiaro tendente al beige, con venature ad andamento casuale da millimetriche a centimetriche, di colore da bianco traslucido a marrone più chiaro, che conferiscono al materiale un aspetto brecciato. È un materiale che trova impiego per arredamento di interni, tavoli, inserti, pavimenti e rivestimenti. Le cave sono a cielo aperto e i blocchi e le lastre hanno rispettivamente dimensioni medie di 2600 x 1600 mm, con spessori di 2 cm. È un materiale che mostra una buona reperibilità. Le caratteristiche fisico-meccaniche (marcatura CE) attualmente disponibili sono state reperite da siti di carattere commerciale e sono riportate in Tabella 6.5.2.1.

| **PROPRIETA’ FISICO-MECCANICHE** | **VALORI** |
|---|---|
| Densità apparente (EN 1936) | 2,721 +/- 24 g/cm$^3$ |
| Resistenza a flessione (EN 12372) | 129,3 +/- 1,2 kg/cm$^2$ |

Tabella 6.5.2.1 – Alcuni parametri fisico-meccanici del “Light Emperador” (da: https://www.banmarble.com).

I risultati (Tabelle 6.5.2.2 e 6.5.2.3) del Point Load Test e delle prove di resistenza alla flessione (Fig. 6.5.2.2) (eseguiti su nr. 10 provini) sono di seguito riportati.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 22,50 | 6,00 | 1530,16 |
| C. 2 | 22,50 | 8,50 | 2298,08 |
| C. 3 | 22,50 | 9,00 | 2441,49 |
| C. 4 | 22,50 | 10,00 | 2436,80 |
| C. 5 | 22,50 | 9,10 | 2365,21 |
| C. 6 | 22,40 | 6,60 | 1668,18 |
| C. 7 | 22,00 | 9,20 | 2548,22 |
| C. 8 | 22,40 | 7,50 | 2191,45 |
| C. 9 | 23,30 | 8,70 | 2207,91 |
| C. 10 | 22,40 | 8,00 | 2022,04 |
| **Media** | **22,50** | **8,26** | **2170,96** |
| **Deviazione Standard** | **0,32** | **1,24** | **337,88** |

Tabella 6.5.2.2 – Risultati del Point Load Test elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| c1 | 48,2 | 21,5 | 121,18 |
| c2 | 47,1 | 21,5 | 74,41 |
| c3 | 46,2 | 21,5 | 103,67 |
| c4 | 49,9 | 21,5 | 128,76 |
| c5 | 42,5 | 21,5 | 87,96 |
| c6 | 47,8 | 21,5 | 91,24 |
| c7 | 52,5 | 21,5 | 91,97 |
| c8 | 55,4 | 21,5 | 144,09 |
| c9 | 53,1 | 21,5 | 84,33 |
| c10 | 50,2 | 21,5 | 101,62 |
| **Media** | **49,29** | **21,5** | **102,92** |
| **Deviazione Standard** | **3,75** | **0** | **21,95** |

Tabella 6.5.2.3 – Risultati dei tests di resistenza alla flessione

I valori della resistenza alla compressione monoassiale del "Light Emperador" sono risultati tra i più alti riscontrati nei materiali analizzati (Tabella 6.8.1), mostrando valori inferiori solamente alle oficalciti-serpentiniti del gruppo dei "marmi verdi". Complessivamente, ed eccezione di 2 campioni, che presentano valori tra 1500 e 1600 kg/cm$^2$ circa, i valori sono superiori a 2000 kg/cm$^2$. Il litotipo presenta valori di resistenza alla flessione in media poco superiori a 100 kg/cm$^2$, da un minimo di 74 kg/cm$^2$ ad un massimo di 144 kg/cm$^2$.

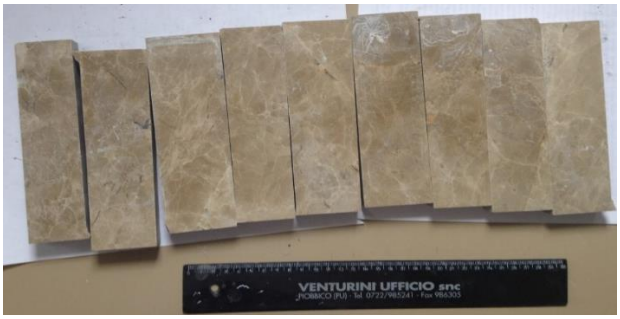



Fig. 6.5.2.2 – Provini utilizzati per i tests di resistenza alla flessione.

Le analisi in sezione sottile al microscopio ci hanno mostrato che:

- il "Light Emperador" è un litotipo di natura sedimentaria, che presenta una microstruttura da mesocristallina a microcristallina, con cristalli da euedrali a subedrali di dimensioni da 10 fino a 100 microns (Fig. 6.5.2.3);
- la massa di fondo è costituita da cristalli di dolomite e calcite;
- i cristalli di dolomite sono riconoscibili dall'abito romboedrico, presentano zonature e sono caratterizzati da impurità non risolvibili in sezione sottile;
- le venature-fratture sono riempite da minerali come dolomite, calcite ed altre fasi mineralogiche non distinguibili al microscopio;
- si tratta sostanzialmente di una dolomia calcarea /calcare dolomitico fessurata e brecciata, costituita da frammenti angolari da pochi mm fino a qualche centimetro;
- non sono stati rinvenuti bioclasti o frammenti di fossili, ma non è da escludere che in alcune litofacies possano essere presenti.

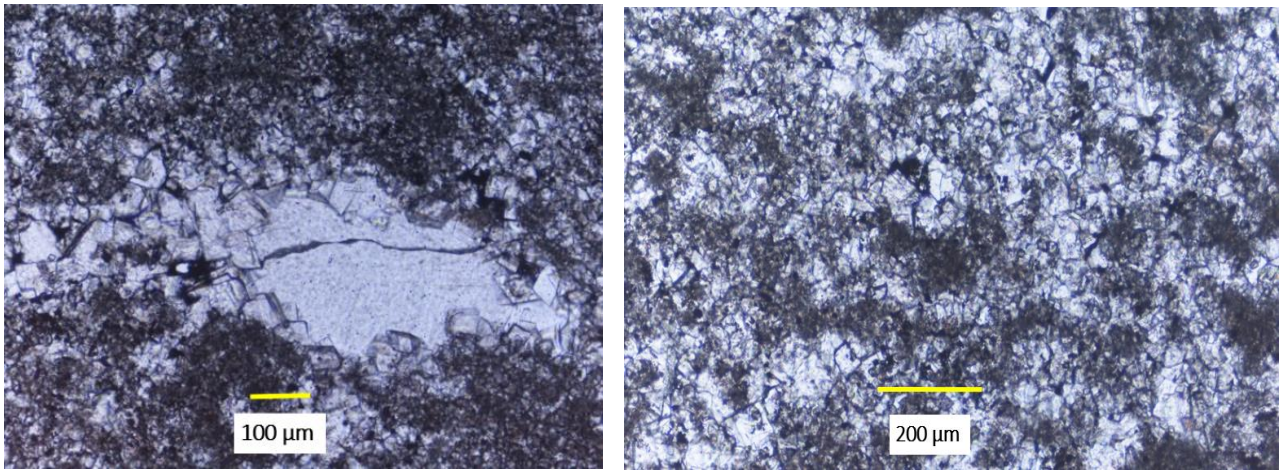



Fig. 6.5.2.3 – Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di "Light Emperador": sono visibili cristalli di dolomite riconoscibili dal caratteristico abito romboedrico: la massa di fondo (di colore più scuro) è costituita da cristalli di calcite-dolomite (Nicols paralleli).

## 6.5.3 “Mystic Brown”

Il “marmo” conosciuto con il nome “Mystic Brown” è un materiale che presenta un colore dominante marrone-bruno scuro, con chiazze-macule di colore marrone più chiaro che hanno dimensioni da pochi mm fino a qualche decina di cm, disposte casualmente. Sono presenti venature bianco traslucido di dimensioni da pochi mm fino a qualche cm, oltre a giunti stilolitici di colore variabile da marrone chiaro a giallo ocra, fino al beige, con dimensioni millimetriche (Fig. 6.5.3.1). In alcune lastre è stato possibile riconoscere la presenza di bioclasti. Questo “marmo” che è stato utilizzato da S2 S.p.a. solamente per un breve periodo, è stato comunque caratterizzato, anche se non si conosce la provenienza e la reperibilità. Secondo alcune fonti da siti di carattere commerciale, questo materiale è di provenienza turca, mentre altri siti danno una provenienza cinese.



Fig. 6.5.3.1 – Aspetto macroscopico del “Mystic Brown”.

Le informazioni reperite dai siti commerciali riportano una limitata reperibilità. Le lastre hanno dimensioni medie di circa 2800x1700 mm. In questo progetto, abbiamo eseguito prove di punzonamento (Fig. 6.5.3.2), tests di resistenza alla flessione rispettivamente su nr. 10 provini (Fig. 6.5.3.3) e l’analisi in sezione sottile. I risultati del Point Load Test sono visibili in Tabella 6.5.3.1, mentre quelli dei tests di resistenza alla flessione in Tabella 6.5.3.2.

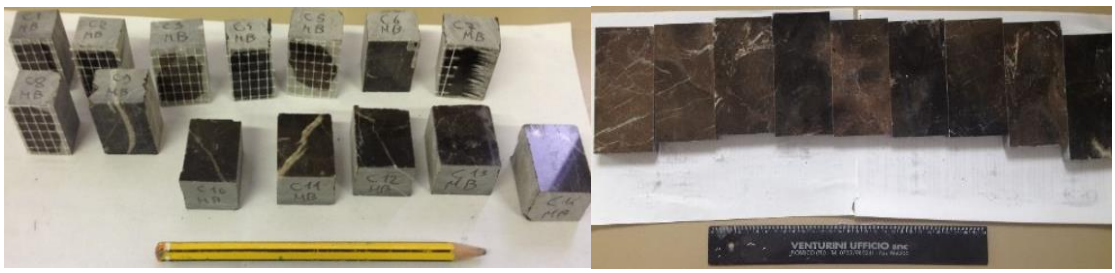


Fig. 6.5.3.2 e 6.5.3.3 – A sinistra alcuni dei provini di “Mystic Brown” utilizzati per il Point Load Test. A destra provini utilizzati per i tests di resistenza alla flessione.

I risultati del Point Load Test ci hanno mostrato valori medi di resistenza alla compressione monoassiale di circa 1200 kg/cm$^2$, con deviazione standard abbastanza elevata (216,92 kg/cm$^2$). Il materiale presenta valori di resistenza a compressione monoassiale tra i più bassi rispetto al gruppo dei "marmi marroni" (Tabella 6.8.1). La resistenza alla flessione presenta valori poco inferiori a 100 kg/cm$^2$, anche se la distanza tra gli appoggi utilizzata è stata di 100 mm, a causa delle ridotte dimensioni dei campioni. Il campione C8 caratterizzato da fessure, ha mostrato una resistenza alla flessione molto più bassa 67 kg/cm$^2$ rispetto alla media. In base alle prove eseguite, possiamo considerare comunque questo materiale poco resistente sia alla flessione che al punzonamento.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 18,80 | 5,00 | 1559,02 |
| C. 2 | 18,50 | 3,50 | 1190,52 |
| C. 3 | 18,30 | 4,00 | 1260,76 |
| C. 4 | 18,20 | 3,90 | 1246,99 |
| C. 5 | 18,70 | 4,20 | 1310,57 |
| C. 6 | 18,30 | 3,40 | 1057,55 |
| C. 7 | 18,30 | 4,00 | 1269,25 |
| C. 8 | 18,80 | 5,50 | 1732,54 |
| C. 9 | 18,50 | 3,40 | 1080,76 |
| C. 10 | 18,50 | 3,40 | 1077,08 |
| **Media** | **18,49** | **4,03** | **1278,50** |
| **Deviazione Standard** | **0,22** | **0,72** | **216,92** |

Tabella 6.5.3.1 – Risultati del Point Load Test elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1* | 65,1 | 19,6 | 98,97 |
| C. 2* | 64,9 | 19,5 | 91,17 |
| C. 3* | 63,3 | 19,8 | 113,64 |
| C. 4* | 62,5 | 19,9 | 96,97 |
| C. 5* | 63,4 | 18,9 | 111,93 |
| C. 6* | 64,1 | 19 | 93,99 |
| C. 7* | 63 | 19 | 104,21 |
| C. 8* | 62,1 | 18,5 | 67,05 |
| C. 9* | 62,3 | 17,5 | 114,78 |
| C. 10* | 63,5 | 19,9 | 98,42 |
| **Media** | **63,42** | **19,16** | **99,11** |
| **Deviazione Standard** | **1,03** | **0,75** | **14,02** |

Tabella 6.5.3.2 – Risultati dei tests di resistenza alla flessione. *In questo caso la distanza tra gli appoggi per i campioni è stata di 100 mm.

Le analisi al microscopio in sezione sottile hanno mostrato la natura sedimentaria di questo litotipo (Fig. 6.5.3.4). Il "Mystic Brown" è costituito da bioclasti di diverse dimensioni (fino ad un massimo di 2 mm) immersi in una matrice micritica. Questo calcare organogeno è costituito inoltre da venature formate da

cristalli di calcite che hanno dimensioni da 400 microns fino a 2 mm. I bioclasti presenti, che in alcune zone sono frammentati e ricristallizzati, sono rappresentati da bivalvi, ostracodi e foraminiferi. Sono presenti giunti stilolitici di dimensioni fino ai 200 microns costituiti probabilmente da minerali argillosi.

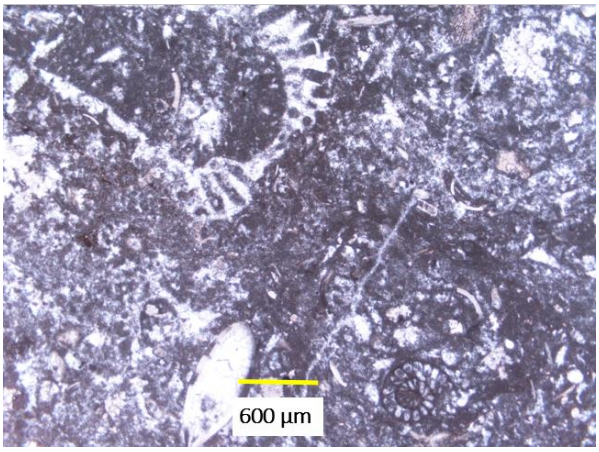



Fig. 6.5.3.4 – Immagine al microscopio ottico a luce polarizzata di “Mystic Brown” (Nicols paralleli).

## 6.5.4 “Valentine Grey”

Il “marmo” denominato “Valentine Grey” o “Gris Cehegin” (Fig. 6.5.4.1 A) è un materiale proveniente dalla Spagna. Questa roccia appartiene alla stessa formazione/litofacies del più conosciuto “Rojo Cehegin” (Fig. 6.5.4.1 B) litotipo dal colore di fondo rosso fegato commercialmente conosciuto come “Valentine Red”, che però non viene utilizzato da S2 S.p.a.

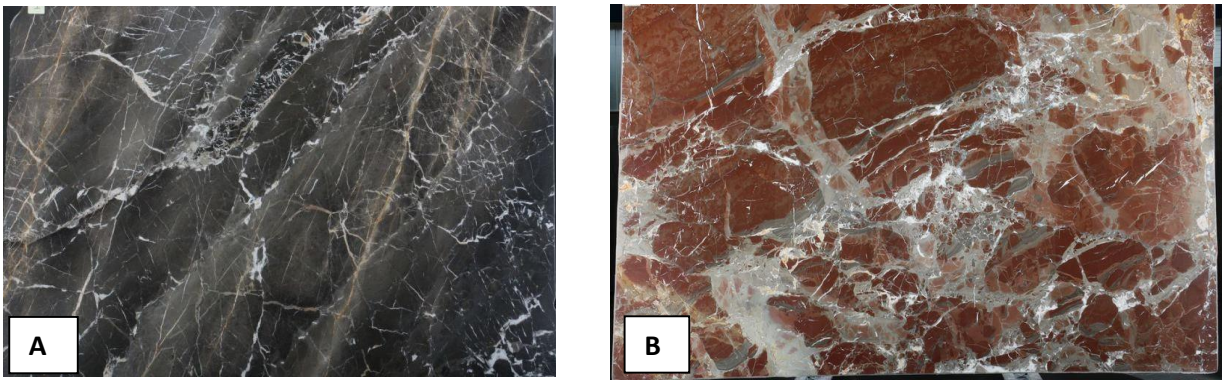



Fig. 6.5.4.1 – Aspetto macroscopico del “Valentine Grey” o “Gris Cehegin” (A) e del “Valentine Red” o “Rojo Cehegin” (B).

Il “Valentine Grey” si presenta con un colore dominante da marrone scuro a marrone chiaro tendente al grigio, talvolta con aspetto uniforme e bandato. Questo litotipo sedimentario brecciato e fratturato, è attraversato da una serie di venature bianco traslucido di dimensioni da millimetriche a centimetriche che hanno un andamento casuale. Sono inoltre presenti giunti stilolitici di dimensioni da pochi mm fino a qualche centimetro che hanno colore da giallo ocra fino a marone chiaro (Fig. 6.5.4.2).



Fig. 6.5.4.2 – Aspetto macroscopico del “Valentine Grey” con la presenza di venature bianco traslucido e giunti stilolitici giallo ocra.

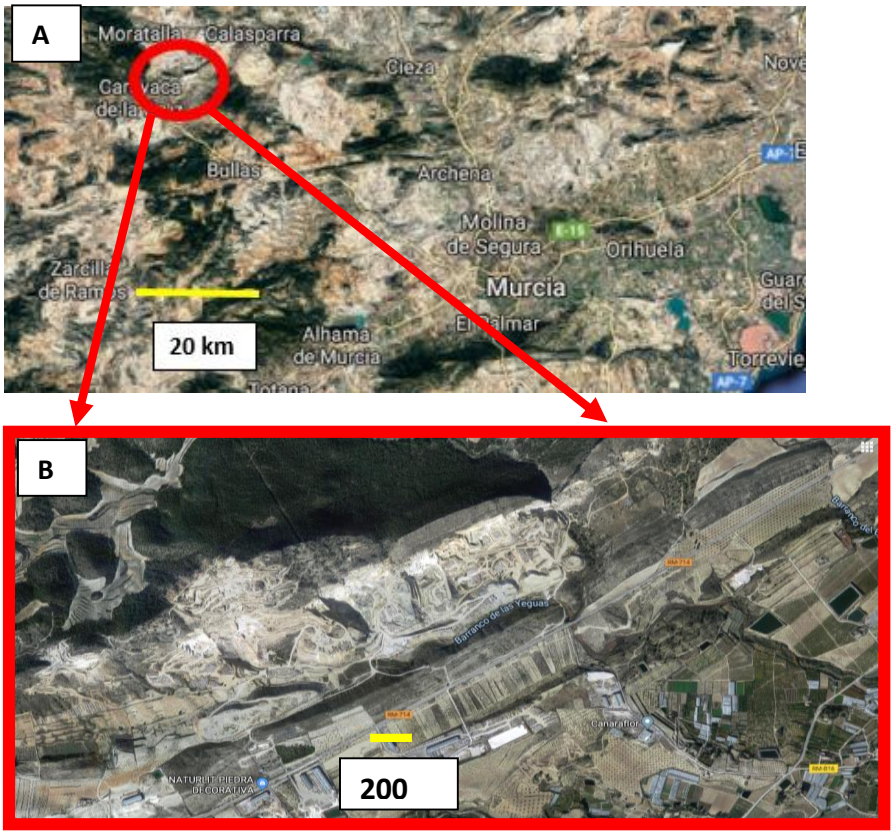



Fig. 6.5.4.3 A, B – Immagini satellitari (Google Earth) dei dintorni della regione di Murcia (Spagna sud orientale A), con l’ubicazione delle cave in dettaglio (B).

Il materiale mostra una buona reperibilità e le dimensioni medie dei blocchi sono di circa 2900 x 1600 mm. Le cave sono a cielo aperto (Fig. 6.5.4.3 A, B). È un materiale che trova impiego soprattutto per arredamento di interni, tavoli, inserti e pavimenti. Generalmente le lastre presentano spessori di 2 cm, ma per questo materiale S2 S.p.a. ha utilizzato lastre di spessore più elevato 6 cm, per manufatti speciali come quelli esposti al Salone del Mobile di Milano, 2019 (Fig. 6.5.4.4).



Fig. 6.5.4.4 – Tavolo in “Valentine Grey” esposto al Salone del Mobile di Milano 2019.

In letteratura non sono presenti dati scientifici riguardo le caratteristiche fisico-meccaniche, ma solamente dati reperiti da siti commerciali (Tabella 6.5.4.1) che riteniamo opportuno inserire per avere valori confrontabili.

| **PROPRIETA’ FISICO-MECCANICHE** | **VALORI (Kg/cm$^2$)** |
|---|---|
| Resistenza alla compressione (UNE 22185) | 1339 Kg/cm$^2$ |
| Resistenza alla flessione (UNE 22186) | 85 Kg/cm$^2$ |

Tabella 6.5.4.1 - Alcune proprietà fisico meccaniche del “Valentine Grey” (da: https://www.cmpsolmar.it).

I risultati dei tests di resistenza alla flessione e Point Load Test rispettivamente su nr. 10 provini (Fig. 6.5.4.5) sono riportati nelle Tabelle 6.5.4.2 e 6.5.4.3.



Fig. 6.5.4.5 – Alcuni provini utilizzati per il Point Load Test.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 19,50 | 6,00 | 1591,51 |
| C. 2 | 19,40 | 5,90 | 1682,59 |
| C. 3 | 19,40 | 4,70 | 1237,58 |
| C. 4 | 19,00 | 5,00 | 1241,47 |
| C. 5 | 19,40 | 4,00 | 1205,00 |
| C. 6 | 19,40 | 5,00 | 1412,75 |
| C. 7 | 19,50 | 5,00 | 1505,29 |
| C. 8 | 19,40 | 5,90 | 1549,21 |
| C. 9 | 19,50 | 6,00 | 1753,63 |
| C. 10 | 19,40 | 5,10 | 1521,15 |
| **Media** | **19,39** | **5,26** | **1470,02** |
| **Deviazione Standard** | **0,14** | **0,67** | **191,57** |

Tabella 6.5.4.2 – Risultati del Point Load Test elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| C1 | 50,5 | 19,5 | 131,23 |
| C2 | 47,9 | 19,5 | 141,32 |
| C3 | 44,4 | 19,5 | 150,33 |
| C4 | 43,5 | 19,5 | 108,82 |
| C5 | 43,5 | 19,5 | 141,47 |
| C6 | 43,5 | 19,5 | 109,91 |
| C7 | 45,2 | 19,5 | 112,06 |
| C8 | 45,6 | 19,5 | 109,00 |
| C9 | 45,7 | 19,5 | 116,01 |
| C10 | 45,5 | 19,5 | 106,12 |
| **Media** | **45,53** | **19,50** | **122,63** |
| **Deviazione Standard** | **2,21** | **0,00** | **16,71** |

Tabella 6.5.4.3 – Risultati dei tests di resistenza alla flessione.

Le analisi fisico-meccaniche mostrano che il "Valentine Grey" ha una buona resistenza alla compressione monoassiale con valori massimi riscontrati di circa 1700 $kg/cm^2$. Le rotture dei provini sono avvenute come nella maggior parte dei litotipi sedimentari brecciati, ovvero tendendo a frantumarsi e spezzettarsi. I tests di resistenza alla flessione ci hanno mostrato che i valori più alti (superiori a 130 $kg/cm^2$) sono stati riscontrati in provini di colore marrone scuro uniforme, costituiti da poche venature o aree più chiare rispetto alla massa di fondo. Le venature e i giunti stilolitici costituiscono infatti zone di debolezza del materiale, e questo è stato appurato anche nei cicli produttivi durante la lavorazione dei piani. In alcuni casi, per poter risolvere queste piccole defezioni, sono stati utilizzati mastici bicomponenti che, penetrando nelle fratture, conferiscono al materiale una maggior resistenza alle sollecitazioni.

Al fine di caratterizzare ulteriormente il litotipo, è stata eseguita un'analisi al microscopio in sezione sottile (Fig. 6.5.4.6) che ci ha portato alle seguenti considerazioni:

- il "Valentine Grey" è un litotipo sedimentario eterogeneo, brecciato e fratturato;
- la massa di fondo presenta colori variabili da marrone più chiaro a marrone scuro;
- in alcuni casi sono riconoscibili bioclasti, probabilmente riconducibili a molluschi, che sono inglobati nella massa di fondo, con dimensioni dai 10 a 100 microns;
- le venature bianco traslucido a scala macroscopica, sono costituite da cristalli di calcite, che presentano abiti da subedrali ad anedrali, ed hanno dimensione da qualche decina di microns fino a 1,5-2 millimetri;
- sono presenti giunti stilolitici di spessore massimo fino al millimetro, di colore bruno scuro, costituiti da minerali argillosi, ossidi, rara mica, feldspati, frammenti di calcite (forse anche dolomite) e forse quarzo;
- alcune fasi mineralogiche non sono risolvibili completamente al microscopio ottico a luce polarizzata.

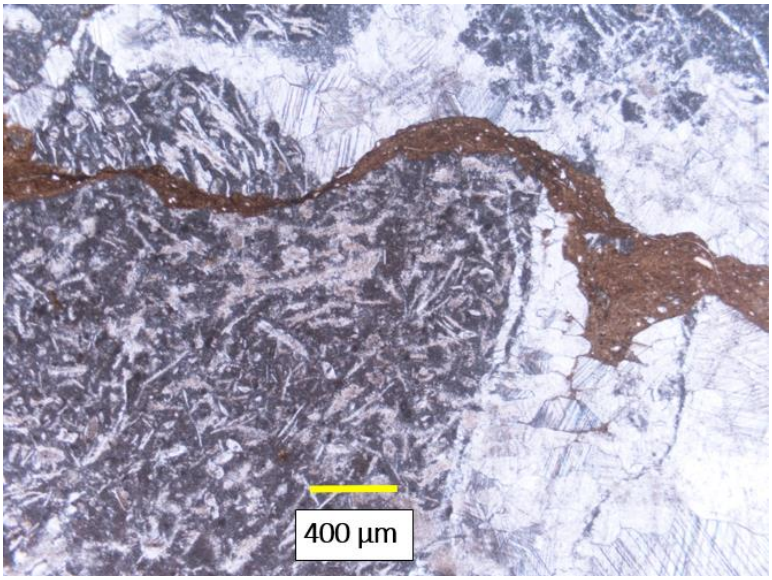



Fig. 6.5.4.6 – Immagine al microscopio ottico a lue polarizzata di "Valentine Grey": il colore bruno scuro corrisponde ai giunti stilolitici, mentre le zone in chiaro sono le venature bianco traslucido costituite da cristalli di calcite (Nicols paralleli).

## 6.6 "Marmi Neri"

### 6.6.1 "Nero Marquinia"

Il "Nero Marquinia" è un calcare organogeno di età Cretacica caratterizzato da un colore dominante nero, interrotto da vene irregolari di colore bianco con dimensioni da pochi mm fino a qualche cm. Sono presenti anche giunti stilolitici millimetrici di colore bruno scuro. Il materiale, composto per la maggior parte da carbonato di calcio presenta una grana fine. Sono visibili a scala macroscopica tracce di bioclasti di diverse dimensioni sostituiti e riempiti da calcite cristallina di colore bianco traslucido. In alcuni casi, le lastre possono mostrare macule di colore grigio chiaro che hanno dimensioni da pochi cm fino a qualche decina di cm. Le varietà commercializzate si differenziano in base alla variazione della tonalità della matrice (colore nero più

o meno intenso), al contenuto ed alla disposizione dei bioclasti ed alla presenza, disposizione e dimensioni delle venature (Damas Molla et al., 2013). L'aspetto macroscopico di questo materiale viene mostrato in Fig. 6.6.1.1 e 6.6.1.2.



Fig. 6.6.1.1 – Aspetto macroscopico del "Nero Marquinia", con colore dominante nero e venature bianco traslucido da pochi mm fino a qualche cm.

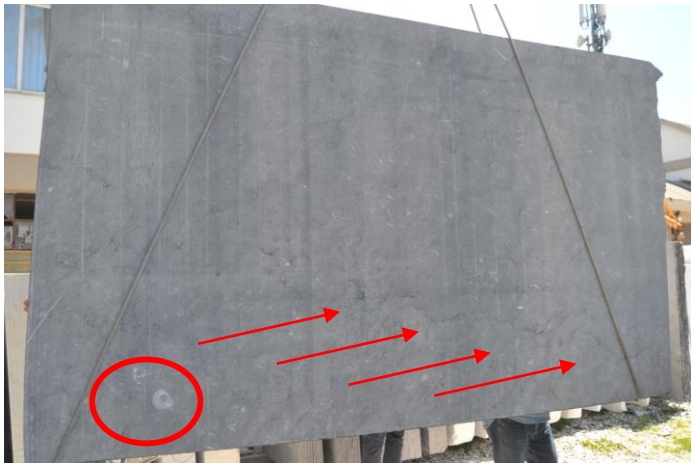


Fig. 6.6.1.2 – Aspetto macroscopico del "Nero Marquinia", con colore di fondo nero e tracce di fossili biancastri disposti casualmente. Cerchiate in rosso le macule di colore grigio; sono inoltre visibili i giunti stilolitici millimetrici , indicati dalle frecce in rosso.

Viene estratto in Spagna, presso le cittadine di Marquinia e Aulestia in cave a cielo aperto (Fig. 6.6.1.3 A, B, C). È un materiale molto utilizzato per uso di interni, tavoli, rivestimenti e pavimenti, oltre a piccole opere monumentali. Mostra un'elevata reperibilità ed i blocchi possono raggiungere anche i 3000 mm di lunghezza.

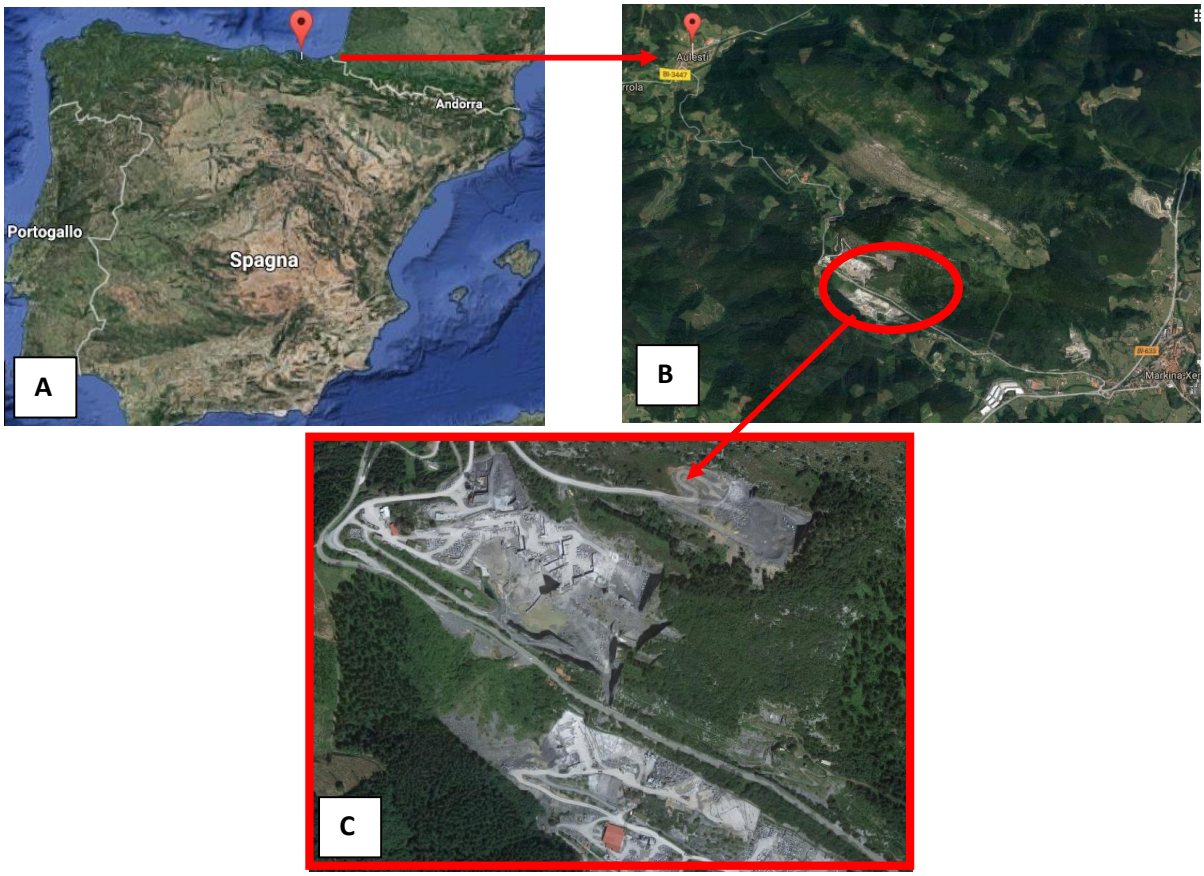



Fig. 6.6.1.3 (A, B, C) – Ubicazione delle cave di “Nero Marquinia”ad Aulestia, Spagna (A e B); aspetto delle cave (C).

I risultati delle analisi fisico-meccaniche (Point Load Test e tests di resistenza alla flessione) su nr. 10 provini per ciascuna prova (Fig. 6.6.1.4 e 6.6.1.5) sono riportati rispettivamente in Tabella 6.6.1.1 e Tabella 6.6.1.2.




Fig. 6.6.1.4 e 6.6.1.5 – Alcuni provini di “Nero Marquinia” utilizzati per il Point Load Test a sinistra., a destra provini utilizzati per i tests di resistenza alla flessione.

I risultati di entrambe le prove mostrano che il “Nero Marquinia” possiede buone caratteristiche fisico-meccaniche, sia per quanto riguarda la resistenza al punzonamento (Tabella 6.8.1), sia per la resistenza alla flessione (Tabella 6.8.2). I provini utilizzati per il Point Load Test sono caratterizzati da un colore dominante nero contenente bioclasti, mentre i provini di resistenza alla flessione presentano un colore dominante nero con venature bianco traslucide. Il valore medio della resistenza a compressione monoassiale è di circa 1500

kg/cm$^2$, con un range compreso tra 1400 e 1700 kg/cm$^2$. In questi ultimi, solamente due presentano valori di resistenza alla flessione inferiori ai 100 kg/cm$^2$, con valore medio di 125 kg/cm$^2$. Entrambi i tests mostrano bassi valori di deviazione standard.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 20,20 | 6,00 | 1723,06 |
| C. 2 | 20,20 | 5,00 | 1440,60 |
| C. 3 | 20,20 | 5,00 | 1440,60 |
| C. 4 | 20,10 | 5,80 | 1677,53 |
| C. 5 | 20,30 | 5,00 | 1435,09 |
| C. 6 | 20,30 | 5,90 | 1687,87 |
| C. 7 | 20,50 | 5,30 | 1509,69 |
| C. 8 | 20,50 | 5,00 | 1424,23 |
| C. 9 | 20,00 | 5,00 | 1451,75 |
| C. 10 | 20,10 | 5,00 | 1446,15 |
| **Media** | **20,24** | **5,30** | **1523,66** |
| **Deviazione Standard** | **0,16** | **0,43** | **121,70** |

Tabella 6.6.1.1 – Risultati del Point Load Test elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C1 | 50 | 19,9 | 96,36 |
| C2 | 47,6 | 19,9 | 147,06 |
| C3 | 50,5 | 21,1 | 143,31 |
| C4 | 48,4 | 21,4 | 129,12 |
| C5 | 52 | 20,6 | 89,73 |
| C6 | 50,5 | 19,4 | 140,16 |
| C7 | 49 | 19,9 | 115,02 |
| C8 | 47 | 20,5 | 133,96 |
| C9 | 49,9 | 20,5 | 124,46 |
| C10 | 49,5 | 20,3 | 132,36 |
| **Media** | **49,44** | **20,35** | **125,15** |
| **Deviazione Standard** | **1,49** | **0,60** | **19,34** |

Tabella 6.6.1.2 – Risultati dei tests di resistenza alla flessione

Lo studio al microcopio ottico in sezione sottile ci ha portato alle seguenti considerazioni:

- il “Nero Marquinia” è un calcare organogeno classificabile come biomicrite (Folk, 1962) o packstone-wackestone (Dunham, 1962; Embry e Klovan, 1971);
- sono stati riscontrati bioclasti (da qualche decina di microns fino ad un massimo di 4 mm) riconducibili probabilmente a foraminiferi, briozoi, brachiopodi e bivalvi generalmente riempiti da cristalli di calcite che hanno abito da anedrale a subedrale (Fig. 6.6.1.6 e 6.6.1.7);
- sono presenti giunti stilolitici di colore bruno con spessore massimo riscontrato di 100 microns;

- sono presenti alcune aree di colore marrone-bruno che indicano probabilmente la presenza di altre fasi mineralogiche, non risolvibili al microscopio ottico.

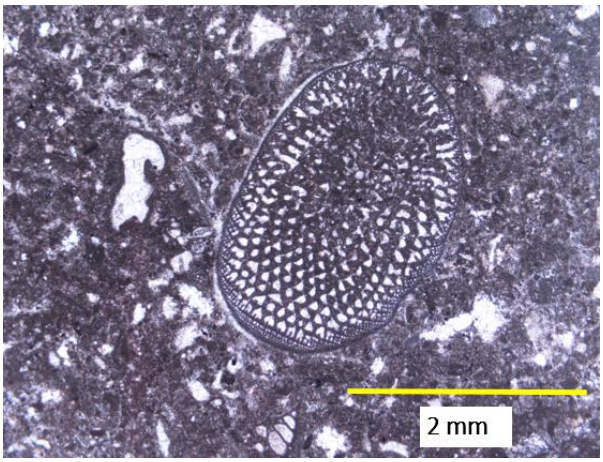



Fig. 6.6.1.6 – Immagine al microscopio ottico a luce trasmessa di “Nero Marquinia”: dettaglio di bioclasti superiori al mm (Nicols paralleli).

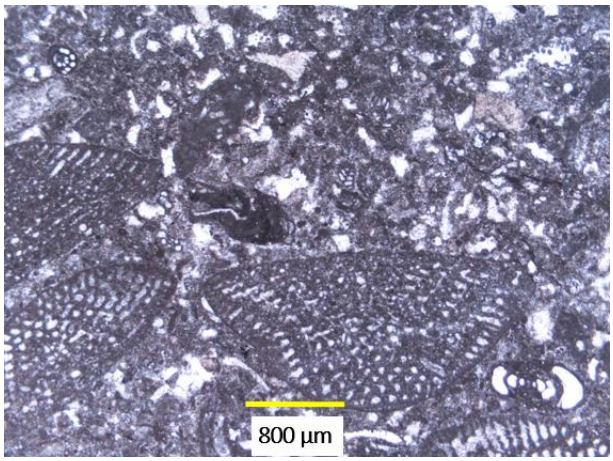



Fig. 6.6.1.7 - Immagine microscopio ottico a luce trasmessa di “Nero Marquinia”: bioclasti di diverse dimensioni immersi in matrice micritica (Nicols paralleli).

## 6.6.2 “Sahara Noir”

Il “Sahara Noir”, conosciuto anche come “Nero Dorato”, “Aziza Black”, “Thala Noir” è un calcare di provenienza tunisina, che si presenta con colore dominante nero con abbondanti venature con andamento casuale, che hanno un colore da bianco a rossastro, di dimensioni da millimetriche a centimetriche (Fig. 6.6.2.1). È un materiale molto utilizzato per tavoli, pavimenti e rivestimenti. Mostra una buona reperibilità e le dimensioni dei blocchi sono molto variabili a seconda dell’areale estrattivo. Negli areali tunisini infatti non viene utilizzato il filo diamantato per il taglio dei blocchi, ma questi vengono estratti attraverso escavatori meccanici. Le lastre hanno misure medie di 2800x1600 mm.



Fig. 6.6.2.1 – Aspetto macroscopico del “Sahara Noir”.

Per questo materiale non sono disponibili informazioni chiare che identifichino gli attuali siti di sfruttamento. Le ricerche ci hanno però permesso di confrontare le informazioni derivanti sia da pubblicazioni scientifiche (studi di carattere archeometrico), sia da informazioni ottenute da siti web di carattere commerciale. A causa del notevole impiego da parte di S2 S.p.a. per la produzione di tavoli, per fornire una completa caratterizzazione del materiale sono state condotte analisi di tipo composizionale (calcimetrie ed analisi XRD), fisico-meccaniche (test di resistenza a flessione e Point Load Test) ed uno studio al microscopio ottico. Le informazioni reperite in letteratura, sui diversi litotipi di provenienza tunisina caratterizzati da un colore dominante nero sono riassunte di seguito (Borghini, 1998, Agus et al., 2006, Lazzarini et al., 2006, Brilli et al., 2010):

1) litotipo proviene dal sito estrattivo di Thala ed è costituito principalmente da calcare (calcite prevalente con tracce di dolomite; carbonati tra 82% e 96%) con una piccola percentuale di quarzo, feldspati ed ossidi; il materiale è caratterizzato da una rete di fratture ortogonali tra loro riempite da calcite di neoformazione da molto sottili a larghe, abbondante materiale carbonioso si rinviene disperso nella matrice o concentrato in piccole vene o masse;
2) litotipo proviene dal sito estrattivo di Djebel Aziza costituito da calcari (a calcite prevalente con una debole e localizzata componente dolomitica; carbonati tra 96% e 100%). La porzione silicoclastica, compresi gli ossidi, è inferiore al 3%, ed è caratterizzato da sottili vene (3-6 mm di larghezza) riempite da calcite spatica, così come dalla presenza di materiale carbonioso disperso nella matrice o concentrato lungo piccole venature;
3) litotipo proviene dal sito estrattivo di Djebel Oust, varia dal nero al grigio scuro ed è composto da carbonato di calcio (tra 98% e 100%) con una componente silicoclastica quasi assente (1-2% di quarzo) e rare vene chiare (1-3 mm di spessore);
4) litotipo proviene dal sito estrattivo di Ain El Ksir, costituito prevalentemente da carbonato di calcio mentre la dolomite è presente solo in tracce (carbonati tra 80% e 98 %); la componente silicoclastica,

formata principalmente da quarzo e subordinatamente da feldspati, è presente in percentuali variabili da 1% a 10%, sono presenti ossidi in tracce e materiale carbonioso diffuso.

Da altri studi recenti svolti sulle attività estrattive della Tunisia (Younés et al., 2014) e da UNIDO (https://unido.org/fileadmin/import/71247;_Marble_and_Stone_in_Tunisia.pdf) vengono identificati i litotipi neri in funzione dell'età delle rocce estratte, localizzando a scala regionale i giacimenti come riportato anche in Fig. 6.6.2.2:

- i litotipi di età giurassica conosicuti con il nome commerciale di "Aziza Noir", sono classificati come dolomiti o calcari dolomitici con venature di calcite chiara, sono estratti nelle porzioni più antiche della catena montuosa allineata da sud-ovest a nord-est nella regione nord tunisina, i giacimenti si trovano nelle località di Djebel Aziza, Djebel Raouas e Djebel Oust;
- i litotipi di età cretacica, conosciuti con il nome di "Boulahneche" sono principalmente costituiti da calcari fratturati con occasionali vene rossastre, i giacimenti sono costituiti da banconi di 3-5 metri di spessore intercalati a marne nere spesse 30-40 metri; le cave si trovano nella regione di Boulahneche, presso la località Thala;
- i litotipi di età eocenica , denominati "Kesra" vengono estratti presso Jendouba (sito di Ain el Ksir).

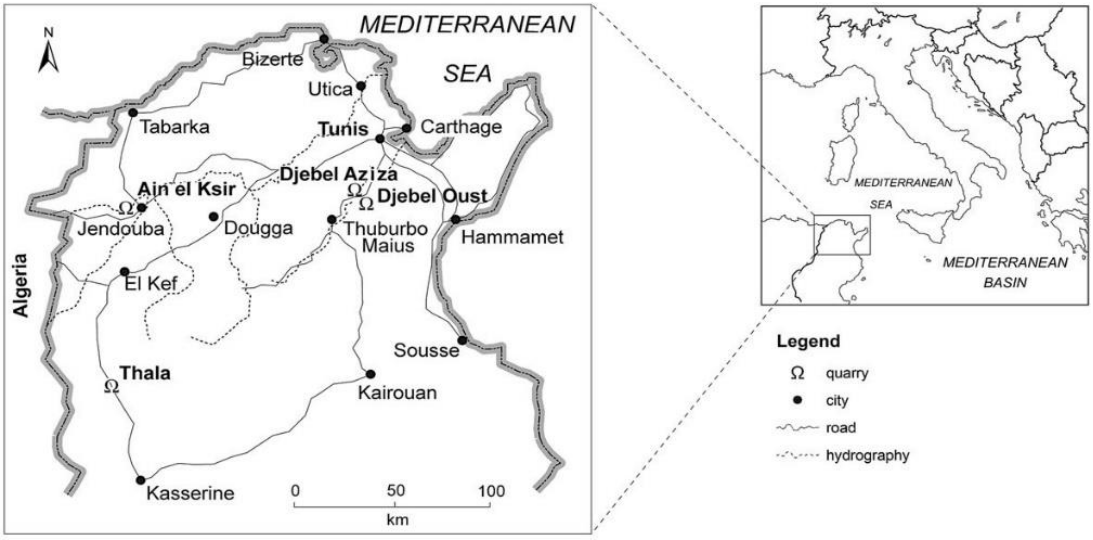



Fig.6.6.2.2 - Carta della regione nord-tunisina in cui sono riportati i principali siti estrattivi (Ω) di epoca storica e moderna (Brilli et al., 2010, modificata).

Al fine di definire la composizione mineralogica del materiale, oltre ad uno studio al microscopio ottico in sezione sottile, sono state svolte analisi al diffrattometro a raggi X (XRD) di 2 campioni rappresentativi della porzione di colore nero omogeneo e senza venature e del materiale di riempimento di una vena di colore rossastro. Sulla componente nera della roccia sono state svolte inoltre n.3 calcimetrie utilizzando un calcimetro di tipo Dietrich-Fruhling, i cui risultati sono riportati in Tabella 6.6.2.1.

| Campione | Peso di campione analizzato (g) | Temperatura (°C) | Pressione (mbar) | $CO_2$ liberata (moli) | Contenuto di $CaCO_3$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.4488 | 16.8 | 982 | 103.5 | **90** |
| 2 | 0.6082 | 16.8 | 982 | 135 | **87** |
| 3 | 0.5724 | 16.9 | 982 | 126 | **86** |

Tabella 6.6.2.1 - Risultati delle calcimetrie di 3 campioni di “Sahara Noir”.

I risultati evidenziano che i campioni analizzati presentano un contenuto circa omogeneo di carbonato di calcio compreso tra 86% e 90%. Le analisi diffrattometriche svolte su 2 campioni rappresentativi rispettivamente della roccia integra e delle fasi cristalline che formano il riempimento delle vene rossastre sono riportate in Fig. 6.6.2.3 e 6.6.2.4.

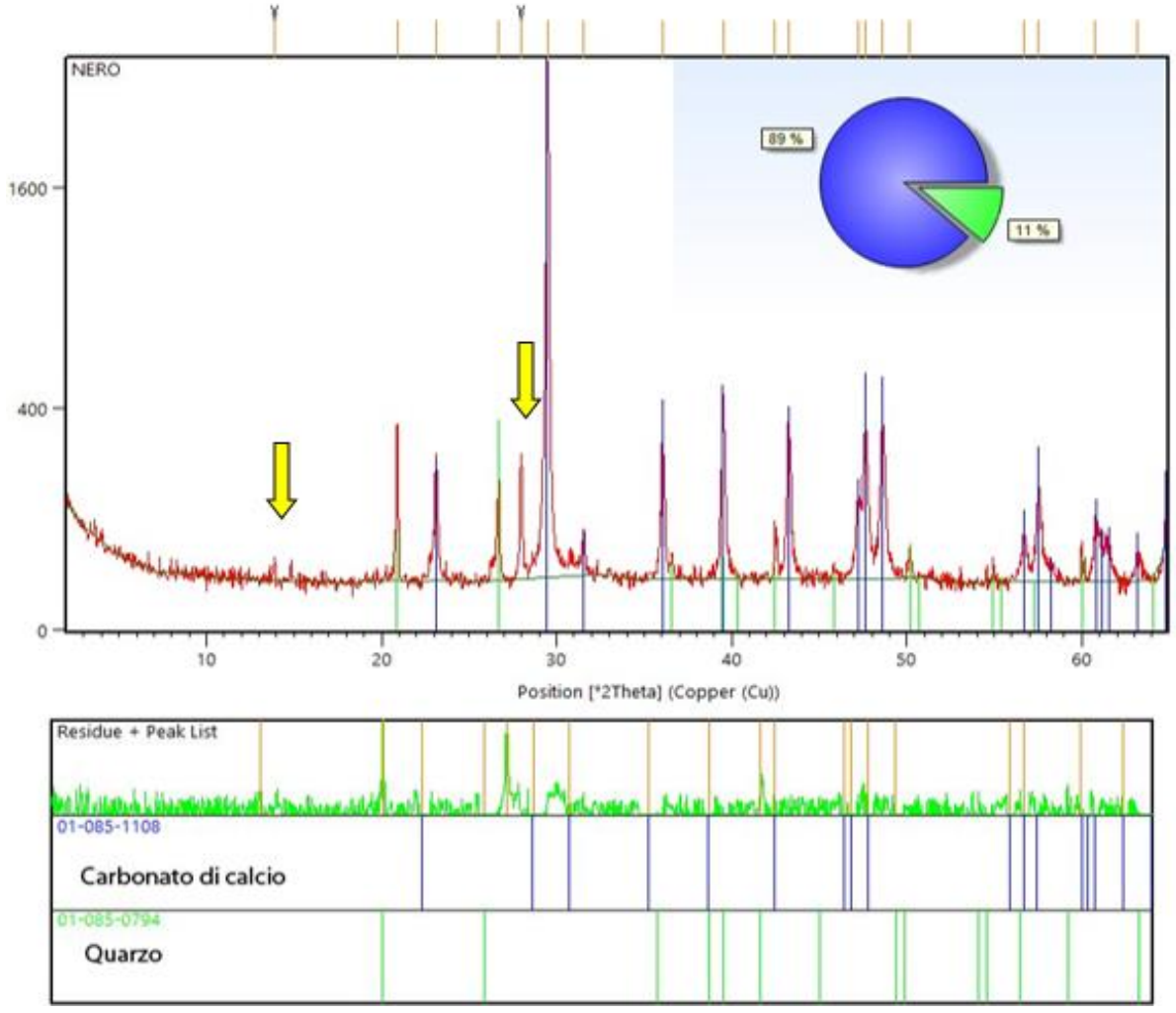



Fig. 6.6.2.3 – Spettro diffrattometrico a raggi X (sopra) ed interpretazione dei picchi (sotto) della porzione di colore nero priva di venature; i picchi evidenziati dalle frecce gialle corrispondono a fasi cristalline ipotizzate (vedi testo) ma non identificate con certezza.

Dalle analisi sulla matrice nera del litotipo si evidenzia che la roccia è quasi completamente composta da carbonato di calcio e quarzo. Dei due picchi non identificati (segnalati con le frecce in giallo), il primo potrebbe essere indicativo di tracce di ossidi o solfuri (posizione 2-teta circa 14°), mentre il secondo di minerali feldspatici (posizione 2-teta circa 28°) o calcite (posizione 2-teta circa 29.5°). Non è stata riscontrata la presenza di dolomite o di minerali argillosi. La stima percentuale riportata in Fig. 6.6.2.3 è indicativa solamente di calcite e quarzo, quindi la presenza di altri minerali in piccola percentuale porta alla conseguente diminuzione di alcuni punti percentuale delle stime eseguite. Alla luce di quanto esposto una stima più reale della composizione mineralogica della roccia potrebbe essere di circa 85% di carbonato di calcio e 15% di frazione silicatica ed ossidi. Le analisi svolte sul materiale di colore rossastro (Fig. 6.6.2.4), che forma il riempimento delle maggiori vene presenti nel "Sahara Noir" mostrano una composizione mineralogica rappresentata da calcite per circa il 95% e quarzo per circa il 5%; sulla base del colore rossastro dei minerali che riempiono le vene è presumibile la presenza di solfuri od ossidi di ferro in percentuali limitate, al di sotto del limite di rilevabilità dello strumento che è del 5% circa.

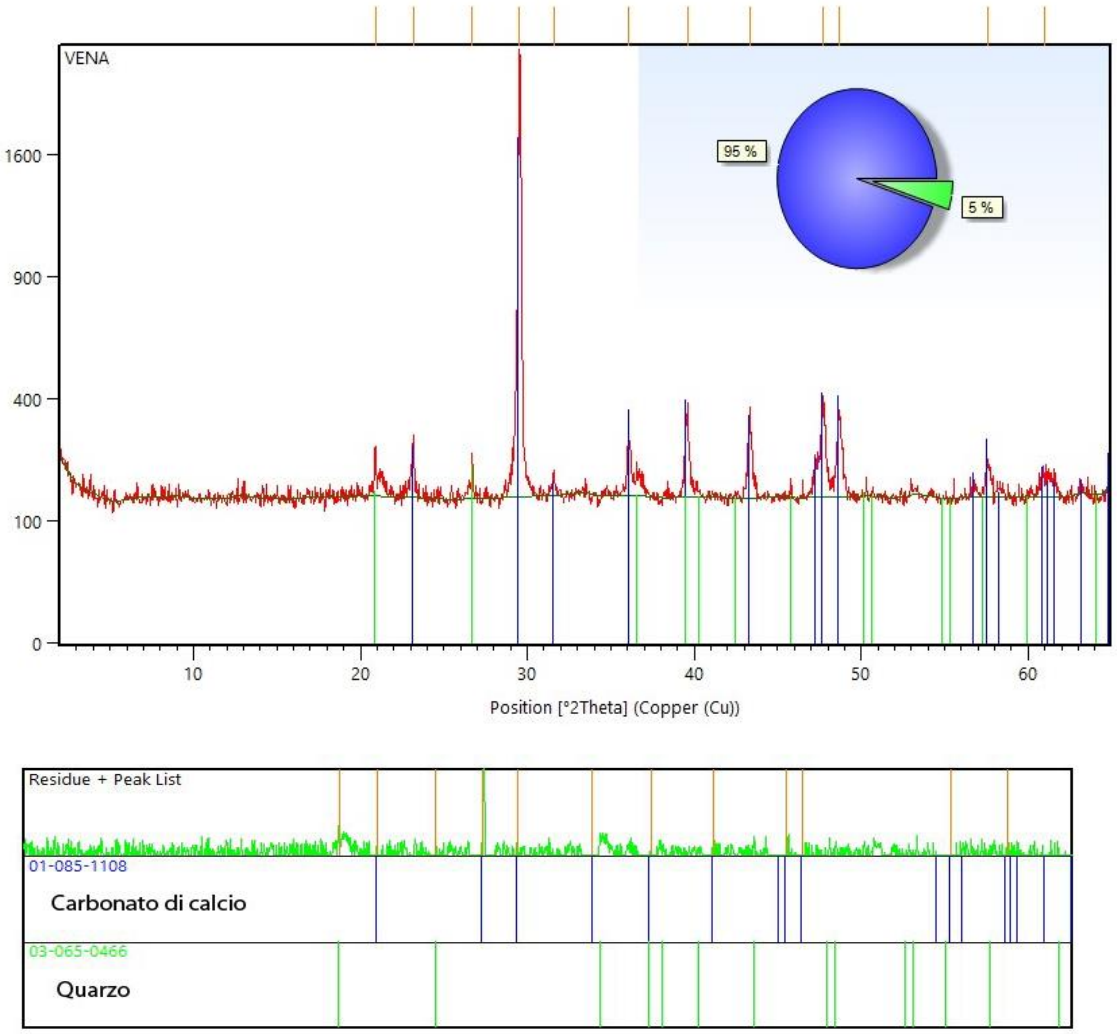
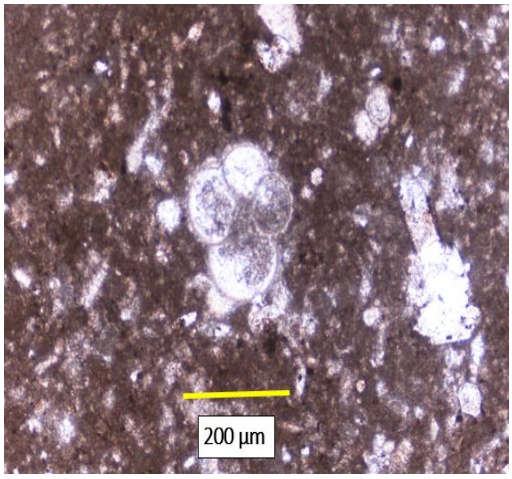



Fig. 6.6.2.4 - Spettro diffrattometrico a raggi X (sopra) ed interpretazione dei picchi (sotto) delle fasi di colore rossastro che riempiono le maggiori vene della roccia.

I contenuti in carbonato di calcio del materiale analizzato (circa 85%) e l'assenza di dolomite tendono ad escludere l'appartenenza del litotipo utilizzato da S2 S.p.a. sia alle formazioni di età giurassica, estratte nei siti di Djebel Aziza e Djebel Oust (Fig.6.6.2.2) molto più ricche in carbonati (> 95%; Brilli et al., 2010) sia alle formazioni di età eocenica caratterizzate da rare e sottilissime venature (Agus et al., 2006; Lazzarini et al., 2006). Si ritiene pertanto che il materiale analizzato ($CaCO_3$ = 86-90%) possa essere ricondotto ai litotipi neri estratti dalle formazioni di età cretacica caratterizzati da contenuti in carbonati compresi tra 82% e 96% (Brilli et al., 2010), ricchi di fratture sia sottili che ampie riempite di calcite di neoformazione (Agus et al., 2006; Lazzarini et al., 2006) riconducibili come i litotipi neri provenienti dall'areale di Boulahneche (Fig.6.6.2.2).
Lo studio in sezione sottile ci ha permesso ulteriormente di constatare che questo calcare venato è costituito da una grana fine, in cui la massa di fondo micritica contiene gusci di foraminiferi (Fig. 6.6.2.5), tracce di minerali opachi nelle venature rosso-bruno scuro (riconducibili in base alle analisi diffrattometriche a solfuri e ossidi), oltre a minerali argillosi, frammenti di miche, tracce di quarzo e feldspati. La calcite lungo le venature si presenta da subedrale ad anedrale, con dimensioni massime di circa 400 microns (Fig. 6.6.2.6).



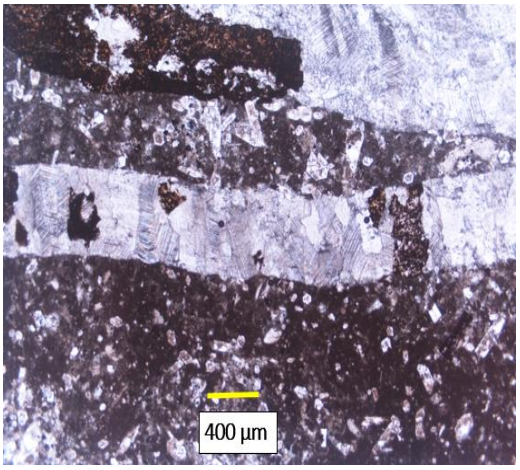




Fig. 6.6.2.5 e 6.6.2.6 – Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata del "Sahara Noir": a sinistra massa di fondo micritica contenente foraminiferi, a destra venature con cristalli di calcite di dimensioni di circa 400 microns (Nicols incrociati).

Le prove fisico-meccaniche eseguite sono riassunti in Tabella 6.6.2.2, Tabella 6.6.2.3 (A, B, C) e Tabella 6.6.2.4. I risultati del Point Load Test mostrano che i provini privi di vene, costituiti da matrice di colore nero omogeneo, hanno mostrato sempre una maggiore resistenza al punzonamento, con valori superiori ai 2000 kg/cm$^2$. I provini contenenti sia vene di calcite (bianche e rossastre) sia la parte nera, hanno mostrato invece valori compresi in un range tra 1000-2000 kg/cm$^2$, mentre quelli ricavati da vene bianche e rossastre (privi di matrice nera omogenea) presentano valori di resistenza al punzonamento compresi tra 900-1000 kg/cm$^2$. La prova è stata eseguita su nr. 19 provini (Fig. 6.6.2.7 e Fig. 6.6.2.8). Le prove di resistenza a flessione sono state eseguite sia presso un laboratorio privato (Laboratorio Geomeccanico Orazi s.a.s.; Tabella 6.6.2.3 A e Fig. 6.6.2.9) sia presso l'Università di Urbino, al fine di confrontare i dati ottenuti. Le prove da noi condotte sono state svolte su provini di "Sahara Noir" tal quali (Tabella 6.6.2.3 B) e provini imbevuti con una resina di

natura epossidica in grado di conferire una miglior resistenza al materiale (Tabella 6.6.2.3 C). Questa procedura avviene durante le operazioni di messa sottovuoto del blocco, prima del taglio delle lastre.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C1 | 18,80 | 3,50 | 1109,06 |
| C2 | 19,30 | 6,00 | 1862,96 |
| C3 | 19,25 | 4,50 | 1400,04 |
| C4 | 19,25 | 3,00 | 933,36 |
| C5 | 19,25 | 7,30 | 2271,17 |
| C6 | 19,25 | 7,10 | 2208,94 |
| C7 | 19,25 | 6,00 | 1866,71 |
| C8 | 19,25 | 3,65 | 1135,58 |
| C9 | 19,30 | 3,35 | 1040,16 |
| C10 | 19,60 | 3,35 | 1027,80 |
| C11 | 19,20 | 5,10 | 1589,91 |
| C12 | 19,25 | 8,40 | 2613,40 |
| C13 | 19,20 | 6,50 | 2026,35 |
| C14 | 19,30 | 7,50 | 2328,71 |
| C15 | 19,20 | 3,70 | 1153,46 |
| C16 | 19,25 | 8,60 | 2675,62 |
| C17 | 19,30 | 6,90 | 2142,41 |
| C18 | 20,00 | 7,00 | 2114,27 |
| C19 | 20,00 | 3,40 | 1026,93 |
| **Media** | **19** | **6** | **1712** |
| **Deviazione Standard** | **0,27** | **1,90** | **591,08** |

Tabella 6.6.2.2 – Risultati del Point Load Test elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

Le prove di resistenza alla flessione condotte presso il Laboratorio Geomeccanico Orazi sono state eseguite su un totale di 15 provini di cui 10 di roccia tal quale (Tabella 6.6.2.3.A) e 5 campioni già spezzati e ricomposti con l'aggiunta di colla poliestere presso gli stabilimenti di S2 S.p.a. (Tabella 6.6.2.4), lasciando trascorrere il tempo necessario per la completa presa del legante.

| Tabella 6.6.2.3 A | | |
|---|---|---|
| Laboratorio Geomeccanico Orazi | | |
| Nr. | Dimensioni provini (mm) | Res. a flessione Rf (Kg/cm$^2$) |
| c1 | 109 x 52 x 19 | 83,31 |
| c2 | 109 x 52 x 19 | 127,77 |
| c3 | 109 x 52 x 19 | 53,74 |
| c4 | 109 x 52 x 19 | 49,05 |
| c5 | 109 x 52 x 19 | 55,57 |
| c6 | 109 x 52 x 19 | 62,92 |
| c7 | 109 x 52 x 19 | 86,98 |
| c8 | 109 x 52 x 19 | 94,43 |
| c9 | 109 x 52 x 19 | 92,59 |
| c10 | 109 x 52 x 19 | 90,75 |
| Media | | 79,711 |
| Deviazione Standard | | 24,40 |

| Tabella 6.6.2.3 B | | |
|---|---|---|
| Laboratorio Università di Urbino | | |
| Nr. | Dimensioni provini (mm) | Res. a flessione Rf (Kg/cm$^2$) |
| c1 | 150x50x20 | 92,05 |
| c2 | 150x50x20 | 97,12 |
| c3 | 150x50x20 | 79,46 |
| c4 | 150x50x20 | 108,11 |
| c5 | 150x50x20 | 123,61 |
| c6 | 150x50x20 | 103,01 |
| c7 | 150x50x20 | 83,96 |
| c8 | 150x50x20 | 84,89 |
| c9 | 150x50x20 | 87,46 |
| c10 | 150x50x20 | 64,21 |
| Media | | 92,39 |
| Deviazione Standard | | 16,56 |

| Tabella 6.6.2.3 C | | |
|---|---|---|
| Laboratorio Università di Urbino, provini imbevuti di resina. | | |
| Nr. | Dimensioni provini (mm) | Res. a flessione Rf (Kg/cm$^2$) |
| c1 | 150x50x20 | 158,92 |
| c2 | 150x50x20 | 163,34 |
| c3 | 150x50x20 | 167,75 |
| c4 | 150x50x20 | 108,60 |
| c5 | 150x50x20 | 165,10 |
| c6 | 150x50x20 | 150,98 |
| c7 | 150x50x20 | 105,95 |
| c8 | 150x50x20 | 114,78 |
| c9 | 150x50x20 | 124,49 |
| c10 | 150x50x20 | 105,95 |
| Media | | 136,58 |
| Deviazione Standard | | 26,85 |

Tabella 6.6.2.3 (A, B, C) – Risultati delle prove di resistenza alla flessione del “Sahara Noir”.



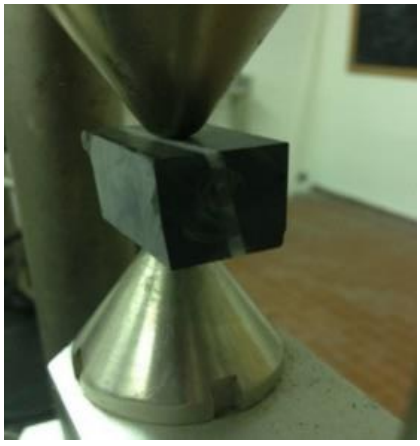


Fig. 6.6.2.7 e Fig. 6.6.2.6.8 – Provini durante l’esecuzione del Point Load Test; a sinistra porzione di vena rossa e bianca, a destra porzione nera omogena con vena bianca.

| Provino | Dimensioni (mm) | Resistenza a flessione (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|
| 1* | 109 x 52 x 17 | 72,40 |
| 2 | 109 x 52 x 17 | 52,31 |
| 3 | 109 x 52 x 17 | 58,33 |
| 4 | 109 x 52 x 17 | 52,31 |
| 5 | 109 x 52 x 17 | 56,29 |
| **Media** | | **58,33** |
| **Deviazione Standard** | | **8,29** |

Tabella 6.6.2.4 - Prova di resistenza alla flessione eseguita presso il Laboratorio Geomeccanico Orazi s.a.s. su 5 provini di "Sahara Noir" precedentemente rotti e successivamente incollati con colla poliestere; l'asterisco identifica l'unico campione rotto in corrispondenza della zona incollata.

Le prove di resistenza alla flessione hanno evidenziato che il litotipo indagato tende a rompersi principalmente lungo le vene (Fig. 6.6.2.8) che costituiscono delle zone di debolezza del materiale. Un aspetto importante sono le prove su campioni imbevuti di resina (Tabella 6.6.2.3 C) che mostrano come le operazioni di sottovuoto del blocco sono un processo efficace e migliorativo. Complessivamente infatti, la resistenza alla flessione nei campioni tal quale è piuttosto scarsa con un valore medio di 80 kg/cm$^2$ (media dei 10 provini del Laboratorio Orazi, Tabella 6.6.2.3 A) o 90 kg/cm$^2$ (media dei 10 provini analizzati nel laboratorio dell'Università di Urbino, Tabella 6.6.2.3 B). Un'ulteriore conferma della fragilità del materiale sono state le indagini sul materiale rotto e successivamente incollato (Tabella 6.6.2.4) che hanno mostrato come la resistenza della colla poliestere è in genere maggiore di quella del materiale stesso: dei 5 provini testati, solo uno si è rotto in corrispondenza della frattura incollata mostrando valori di resistenza di poco superiori a 70 Kg/cm$^2$, mentre gli altri 4 provini si sono rotti lungo altre venature e per carichi inferiori.

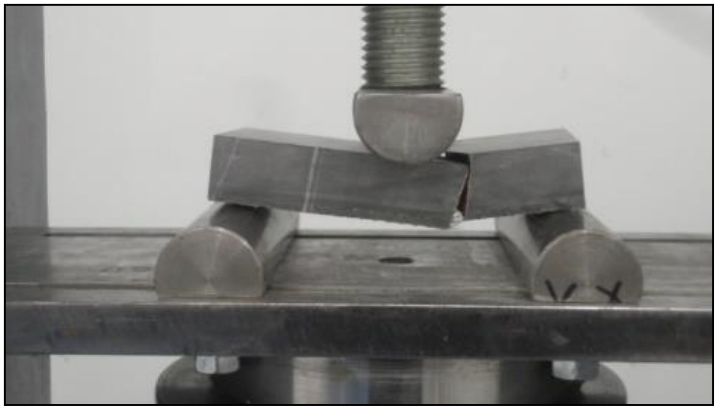


Fig. 6.6.2.9 – Esecuzione delle prove di flessione presso il Laboratorio Geomeccanico Orazi.

## 6.6.3. Ardesia

L'ardesia è una roccia metamorfica formata da un protolite argilloso e costituisce una particolare varietà di argilloscisto, con struttura scistosa facile da dividersi in lastre sottili. Si presenta generalmente con un colore

variabile da plumbeo-nerastro a grigio cenere scuro per la presenza di sostanze carboniose e fillosilicati (Fig. 6.6.3.1), con una grana fine (Blanco, 1999). Il materiale si presenta omogeneo, compatto, privo di fratture o di venature. Viene estratta in diverse località soprattutto in Italia (Genova, Ardesio, Bergamo, Chiavari, Lavagna). Le ardesie migliori sono quelle provenienti dalla Liguria per qualità, colore, resistenza agli agenti atmosferici e durezza (Pieri, 1966). È un materiale che presenta una buona reperibilità, con lastre e blocchi con misure medie di 2500x1500 mm. Viene utilizzata sia per rivestimenti di interni come pavimenti e tavoli, ma anche per esterni. Una grande quantità di ardesia viene utilizzata per la realizzazione di tavoli da biliardo. Estratta sin dall'antichità, le lastre vengono tagliate e lavorate secondo una tecnica chiamata spacco naturale: la condizione costante che permette la buona riuscita dell'operazione di sfaldatura è quella di garantire il mantenimento dell'umidità all'interno dei pezzi di ardesia appena staccati. Una volta ottenuto il blocco di ardesia da sfaldare, lo spacchino lo suddivide di metà in metà, fino ad ottenere lastre dello spessore desiderato.



Fig. 6.6.3.1 – Aspetto macroscopico di lastre di ardesia.

È un materiale compatto e molto resistente con buoni valori riportati in letteratura (Tabella 6.6.3.1).

| Proprietà fisico-meccaniche | Blanco 1999 | Ardesia Mangini |
|---|---|---|
| Resistenza alla compressione (Kg/cm$^2$) | 1460 | 1470 |
| Resistenza alla flessione con carico concentrato allo stato naturale (Kg/cm$^2$) | 584 | 688 |

Tabella 6.6.3.1 – Alcuni parametri fisico-meccanici di letteratura dell'ardesia (da: www.ardesiamangini.it e Blanco, 1999).

I risultati del Point Load Test (Tabella 6.6.3.2) mostrano che il materiale presenta una discreta resistenza al punzonamento con valori massimi registrati di circa 2000-2200 kg/cm$^2$, e mai inferiori a 1500 kg/cm$^2$. I provini (Fig. 6.6.3.2) si sono rotti tendendo a frantumarsi e spezzettarsi. Nelle prove di resistenza alla flessione invece (Fig. 6.6.3.3) i provini non si sono mai rotti, ed i test si sono dovuti interrompere a valori registrati dalla cella di carico di circa 300 kg/cm$^2$: questa decisione è stata presa per evitare deformazioni della cella di carico

stessa, il cui carico limite è di 500 kg/cm$^2$ e che solitamente è utilizzata per prove su terre e non per rocce. I risultati delle prove di resistenza alla flessione sono riportati in Tabella 6.6.3.3.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 20,20 | 8,50 | 2093,16 |
| C. 2 | 20,00 | 6,50 | 1804,84 |
| C. 3 | 20,00 | 8,50 | 2255,96 |
| C. 4 | 19,70 | 6,50 | 1915,80 |
| C. 5 | 19,70 | 6,50 | 1663,36 |
| C. 6 | 20,10 | 6,50 | 1708,51 |
| C. 7 | 20,20 | 7,00 | 1766,57 |
| C. 8 | 20,10 | 6,70 | 1853,20 |
| C. 9 | 20,10 | 7,00 | 1966,73 |
| C. 10 | 20,00 | 7,10 | 1857,29 |
| **Media** | **20,01** | **7,08** | **1888,54** |
| **Deviazione Standard** | **0,18** | **0,78** | **179,80** |

Tabella 6.6.3.2 – Risultati del Point Load Test elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).






Fig. 6.6.3.2 e 6.6.3.3 – Provino di ardesia durante l'esecuzione del Point Load Test a sinistra. A destra provini di ardesia utilizzati per i test di resistenza alla flessione.

| CAMPIONE | l (mm) | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|---|
| c1 | 120 | 50,5 | 20,2 | 305,74 |
| c2 | 120 | 50,1 | 20,1 | 316,59 |
| c3 | 120 | 48,3 | 20,3 | 334,61 |
| c4 | 120 | 48,2 | 20 | 332,37 |
| c5 | 120 | 49,5 | 20,2 | 303,00 |
| c6 | 120 | 49,6 | 20,3 | 312,63 |
| c7 | 120 | 48,2 | 20,2 | 321,24 |
| c8 | 120 | 48,6 | 20,2 | 328,58 |
| c9 | 120 | 49,9 | 20,2 | 299,69 |
| c10 | 120 | 49 | 20,1 | 312,78 |
| **Media** | **120,00** | **49,19** | **20,18** | **316,72** |
| **Deviazione Standard** | **0,00** | **0,85** | **0,09** | **12,28** |

Tabella 6.6.3.3 – Risultati dei tests di resistenza alla flessione. La rottura dei provini non è mai avvenuta.

## 6.6.4 “Portoro”

Il “marmo” conosciuto commercialmente come “Portoro” (Fig. 6.6.4.1) è considerato uno dei materiali lapidei italiani di maggior pregio. Utilizzato sin dai tempi dei Romani, gli affioramenti principali si trovano in Liguria, precisamente nel golfo di La Spezia, nelle isole di Tinetto, Tino, Palmaria e nel promontorio di Portovenere. In questa zona, l’attività estrattiva di questo materiale nelle sue differenti varietà (“Portoro Macchia Larga”, “Portoro Macchia Fine”, “Portorino”, “Giallo e Nero d Portovenere”) è stata rilevante soprattutto in passato. Ora la reperibilità è abbastanza limitata. Viene utilizzato soprattutto per rivestimenti interni, tavoli, pavimenti e anche piccole opere monumentali.



Fig. 6.6.4.1 – Aspetto macroscopico del “Portoro” utilizzato da S2 S.p.a.

Il “Portoro” presenta un colore dominante nero, con venature o macule da bianco a giallo ocra, fino a rossicce, che hanno dimensioni ed andamento differente a seconda delle varietà. La massa di fondo è formata da una micrite finissima e regolare intensamente pigmentata, mentre le venature gialle sono costituite da limonite e solfuri (Pieri, 1964). È inoltre possibile riscontrare giunti stilolitici di colore rosso per la presenza di ossidi di ferro; le macule bianche sono formate da dolomia, mentre quelle rosate da dolomia a grana più fine (Ciarrapica, 1985). Dal punto di vista commerciale si distinguono principalmente due tipi di “Portoro”, a “Macchia larga” (Fig. 6.6.4.2) e a “Macchia Fine” (Fig. 6.6.4.3), suddivise a loro volta in quattro varietà per un totale di otto tipologie, in funzione dell’intensità di colore sia delle macchie sia della matrice di fondo (Cimmino et al., 2003). Non tutte queste varietà sono disponibili sul mercato. Le dimensioni medie dei blocchi sono di 1800x1000x800 mm circa (Blanco, 1999). Stratigraficamente nel “Portoro” si distinguono cinque differenti tipologie che, procedendo dal tetto al letto, sono così riconosciute (Ciarrapica, 1985; Pandolfi, 1971; Chelli et al., 2005): 1) “Scalino marmorizzato” o “Tarso”, 2) “Scalino”, 3) “Banco”, 4) “Zoccolo” o “Sottobanco”, 5) “Sottozoccolo” o “Nero e Bianco della Spezia”. La sequenza descritta è quella tipica della varietà “Portoro a Macchia larga”, più famosa e pregiata rispetto alla varietà “Portoro a Macchia Fine” che è costituita da sottilissime vene rettilinee o irregolari.

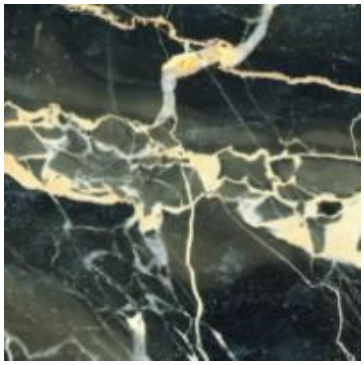


Figura 6.6.4.2- Aspetto macroscopico del "Portoro a Macchia Larga"

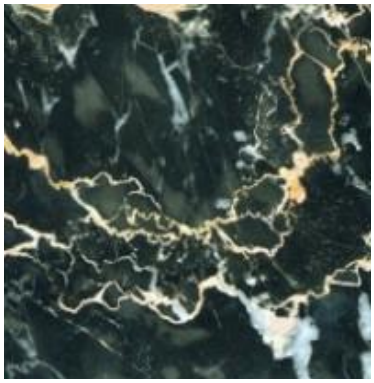


Figura 6.6.4.3 - Aspetto macroscopico del "Portoro a Macchia fine".

Le proprietà fisico-meccaniche principali, presenti in letteratura, delle due varietà sono riassunte in Tabella 6.6.4.1.

| | **"Macchia Larga"** | **"Macchia Fine"** |
|---|---|---|
| **Peso per Unità di Volume ɤ (g/cm$^3$)** | 2.712 | 2.714 |
| **Carico di Rottura a Compressione semplice (Kg/cm$^2$)** | 1862 | 2155 |
| **Carico di Rottura a trazione indiretta mediante flessione (Kg/cm$^2$)** | 104 | 145 |

Tabella 6.6.4.1 – Alcuni parametri fisico-meccanici delle varietà di "Portoro" ("Macchia Larga", "Macchia Fine"; Blanco ,1999).

I risultati delle prove fisico-meccaniche eseguite ci hanno mostrato valori di resistenza alla compressione semplice (Tabella 6.6.4.2) con range compreso tra 1000-1500 kg/cm$^2$, leggermente inferiore ai dati di letteratura. I valori di deviazione standard sono relativamente bassi (181,9 kg/cm$^2$). I provini su cui sono state eseguite le prove (Fig. 6.6.4.4) sono costituiti quasi completamente dalla porzione di matrice nera. I valori della resistenza alla flessione (Tabella 6.6.4.3) variano da 100 fino a 160 kg/cm$^2$ circa, e presentano anch'essi bassi valori di deviazione standard (16,8 kg/cm$^2$).

| **CAMPIONE** | **Spessore D (mm)** | **Carico P (KN)** | **Resistenza a compressione monoassiale (Kg/cm$^2$)** |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 19,60 | 4,00 | 1250,10 |
| C. 2 | 19,40 | 3,90 | 1126,27 |
| C. 3 | 19,30 | 5,00 | 1522,48 |
| C. 5 | 19,20 | 3,50 | 1107,54 |
| C. 6 | 19,00 | 4,80 | 1504,85 |
| C. 7 | 19,50 | 3,50 | 1016,39 |
| C. 8 | 19,50 | 4,50 | 1416,96 |
| C. 9 | 19,50 | 4,20 | 1327,22 |
| C. 10 | 19,30 | 4,50 | 1393,77 |
| **Media** | **19,37** | **4,21** | **1296,18** |
| **Deviazione Standard** | **0,19** | **0,53** | **181,90** |

Tabella 6.6.4.2 – Valori del Point Load Test elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

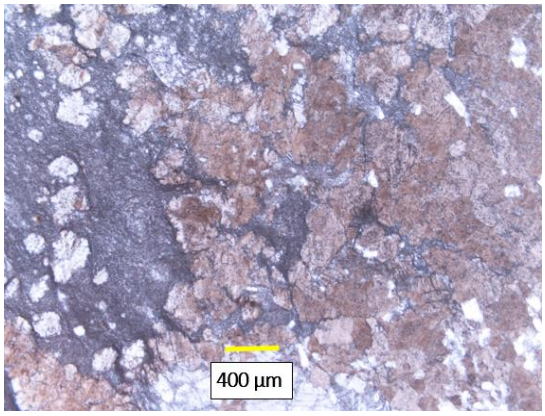


Fig. 6.6.4.4 – Provini di “Portoro”.

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C1 | 42 | 19,2 | 117,42 |
| C2 | 43 | 19 | 139,15 |
| C3 | 45 | 19,1 | 130,48 |
| C4 | 43 | 18,9 | 162,00 |
| C5 | 43 | 18,9 | 123,05 |
| C6 | 42 | 18 | 144,18 |
| C7 | 45 | 19,5 | 103,09 |
| C8 | 47 | 19,5 | 125,90 |
| C9 | 48 | 19 | 125,69 |
| C10 | 47 | 19,4 | 112,95 |
| **Media** | **44,50** | **18,95** | **128,39** |
| **Deviazione Standard** | **2,22** | **0,57** | **16,80** |

Tabella 6.6.4.3 – Valori di resistenza alla flessione.

Lo studio al microscopio in sezione sottile (Fig. 6.6.4.5 e 6.6.4.6) ci hanno confermato i dati della letteratura. Il “Portoro” è una roccia di natura carbonatica a grana fine dolomitizzata. La massa di fondo è costituita da una matrice a pigmentazione carboniosa a grana finissima. Le aree corrispondenti alle vene o macule macroscopiche, sono costituite da cristalli di calcite e/o dolomite debolmente orientati, che presentano un colore da bruno chiaro a bruno scuro, fino a bianco traslucido. Sono presenti numerosi giunti stilolitici di dimensioni millimetriche, che presentano un colore bruno più scuro evidente. La dolomite si presenta con habitus da subedrale ad euedrale, con dimensioni fino a 400 microns, mentre la calcite si presenta da anedrale a subedrale, ed ha più o meno la stessa dimensione dei cristalli di dolomite. Sono riconoscibili minerali opachi in via di alterazione (forse solfuri o ossidi), feldspati (plagioclasi) e quarzo.



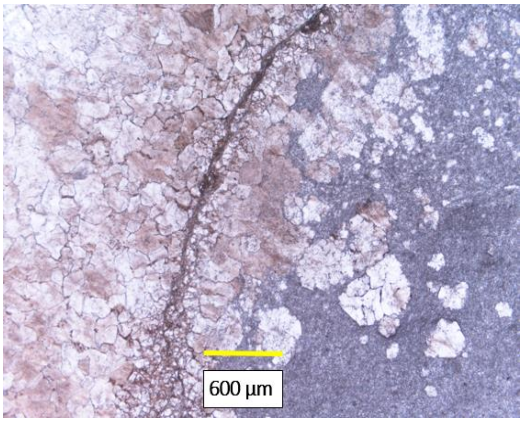




Fig. 6.6.4.5 e Fig. 6.6.4.6 – Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di "Portoro": le aree scure costituiscono la massa di fondo micritica, mentre le aree più chiare sono costituite da calcite e dolomite; nella foto di destra sono presenti giunti stilolitici di colore bruno scuro (Nicols paralleli).

## 6.6.5 "Portoro Silver"

Conosciuto anche come "Arabescato Portovenere", "Portoargento", "Nero Bianco di Portovenere", il "Portoro Silver" è una varietà merceologica del più conosciuto "Portoro" e viene estratto nelle stesse località della provincia di La Spezia. I blocchi e le lastre presentano però a differenza del "Portoro" classico notevoli dimensioni, fino a 3000 mm di lunghezza e 1800 mm di larghezza. L'aspetto macroscopico di questo materiale viene mostrato in Fig. 6.6.5.1.



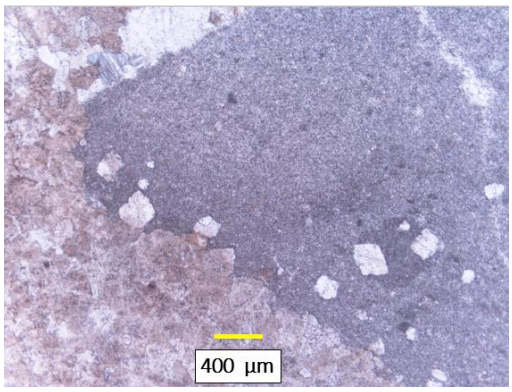


Fig. 6.6.5.1 – Aspetto macroscopico del "Portoro Silver".

Il "Portoro Silver" presenta un colore dominante nero intenso, conferito probabilmente dalla sostanza organica diffusa tra calcite e dolomite. È costituito da grana fine ed omogenea, con venature o macule che hanno dimensioni da pochi mm fino a qualche cm, ed un caratteristico colore variabile da bianco a grigio con tonalità argentata. Sono rare le venature di colore giallo fino a rosso-rosa di dimensione millimetrica.

Lo studio al microscopio in sezione sottile ci ha confermato che, dal punto di vista petrografico, il materiale presenta caratteristiche molto simili al "Portoro", descritto nel capitolo precedente. Il "Portoro Silver" è un litotipo sedimentario parzialmente dolomitizzato. È costituito da una matrice micritica a pigmentazione carboniosa da 10 a 20 microns. Le macule-venature bianche a scala microscopica sono costituite da cristalli di calcite-dolomite da subedrali ad euedrali che hanno dimensioni massime di 800 microns, con colore

variabile da bianco traslucido a bruno scuro. Sono inoltre presenti minerali opachi probabilmente riconducibili a solfuri (Fig. 6.6.5.2 e 6.6.5.3).



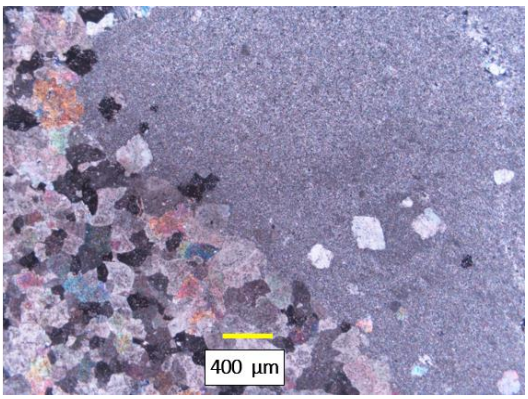




Fig. 6.6.5.2 e 6.6.5.3 – Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di "Portoro Silver": matrice a grana fine (aree scure) e macule venature costituite da cristalli di calcite e dolomite (Nicols paralleli a sinistra e Nicols incrociati a destra).

Le prove fisico-meccaniche ci hanno fornito risultati leggermente migliori rispetto al "Portoro" classico, soprattutto per il Point Load Test, mentre nelle prove di resistenza alla flessione abbiamo riscontrato valori simili. La resistenza media a compressione del "Portoro Silver", calcolata su nr. 10 provini (Fig. 6.6.5.4), è di circa 1400 kg/m$^2$, con range tra 1100-1800 kg/cm$^2$; i valori più bassi sono stati riscontrati nei provini con porzione di macule-venature bianco-grigie maggiori (Tabella 6.6.5.1). Le prove di resistenza alla flessione (Fig. 6.6.5.5), con valori medi di circa 129 kg/cm$^2$, presentano bassa deviazione standard (12,06 kg/cm$^2$) Anche in questa prova, i valori minori sono stati riscontrati nei provini contenenti venature e macule bianco traslucide (Tabella 6.6.5.2).



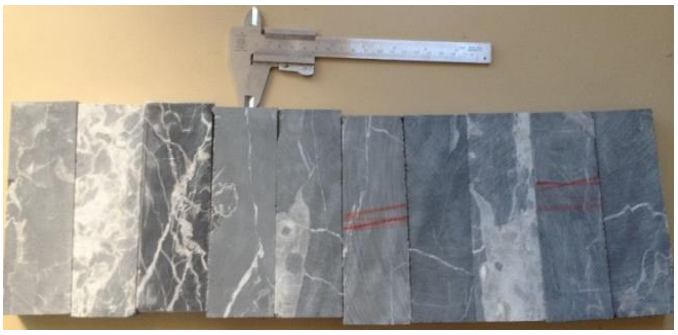



Fig. 6.6.5.4 e 6.6.5.5 – Provini utilizzati per il Point Load Test a sinistra; a destra i provini utilizzati per i tests di resistenza alla flessione.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 22,30 | 5,50 | 1477,44 |
| C. 2 | 22,30 | 7,10 | 1834,74 |
| C. 3 | 22,30 | 7,00 | 1748,60 |
| C. 4 | 22,30 | 4,50 | 1130,93 |
| C. 5 | 22,40 | 4,50 | 1200,66 |
| C. 6 | 22,20 | 5,00 | 1347,82 |
| C. 7 | 22,40 | 5,50 | 1439,08 |
| C. 8 | 22,30 | 4,90 | 1371,08 |
| C. 9 | 22,30 | 5,10 | 1343,37 |
| C. 10 | 22,30 | 5,40 | 1422,40 |
| **Media** | **22,31** | **5,45** | **1431,61** |
| **Deviazione Standard** | **0,06** | **0,92** | **217,93** |

Tabella 6.6.5.1 – Valori del Point Load Test elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| c1 | 45 | 22,4 | 123,57 |
| c2 | 46 | 22,4 | 141,25 |
| c3 | 45 | 22,4 | 142,70 |
| c4 | 44,9 | 22,4 | 126,24 |
| c5 | 45 | 22,4 | 133,60 |
| c6 | 48 | 22,4 | 113,39 |
| c7 | 47 | 22,4 | 113,73 |
| c8 | 48 | 22,4 | 118,83 |
| c9 | 45 | 22,4 | 137,18 |
| c10 | 46 | 22,4 | 145,39 |
| **Media** | **45,99** | **22,40** | **129,59** |
| **Deviazione Standard** | **1,26** | **0,00** | **12,06** |

Tabella 6.6.5.2 – Risultati delle prove di resistenza alla flessione.

## 6.7 “Marmi Beige”

I “marmi beige” sono materiali lapidei poco utilizzati da S2 S.p.a. per produrre tavoli ed altri complementi di arredo. Il “Travertino Romano e il “Crema Marfil” sono tuttora impiegati anche se in piccola percentuale, mentre “Botticino” e “Castagna Limestone” non sono più in produzione.

### 6.7.1 “Travertino Romano”

Dato il processo di formazione del travertino, questo litotipo è caratterizzato da stratificazioni parallele a bande e zonature a volte anche molto marcate, determinate da variazione di colore, porosità e dal contenuto della frazione terrigena (Ciriaco e Aldega, 2013). Le caratteristiche vacuolarità sono spesso presenti in modo più o meno evidente come i diversi cromatismi che sono funzione delle impurità contenute. In generale i colori variano da bianco crema a biancastro fino a grigio paglierino. Questo materiale può essere

commercializzato come travertino o, se lucidabile, come “marmo”. Nei litotipi maggiormente vacuolari viene effettuata la stuccatura. In Italia esistono numerosissime varietà di travertino, il cui nome cambia a seconda della località estrattiva (“Travertino Romano”, “Travertino Ascolano”, “Travertino Campano”, ecc.). In linea generale questo materiale presenta due “disegni” completamente differenti a seconda del taglio del blocco. Parleremo quindi di Travertino contro falda quando si possono ottenere lastre dove le concrezioni formano delle lineazioni, stratificazioni o bande, anche nette (Fig. 6.7.1.1 A). Nel caso che le lastre invece abbiano un aspetto concrezionato e nuvolato (Fig. 6.7.1.1 B) allora parleremo di Travertino in falda.

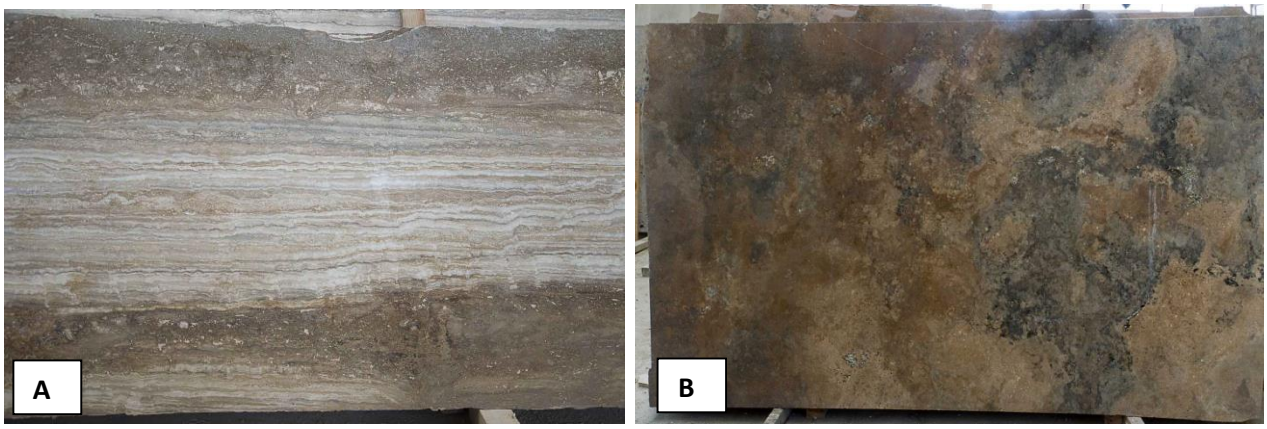



Fig. 6.1.7.1 – Aspetto macroscopico del Travertino contro falda (A) e Travertino in falda (B).

La varietà “Travertino Romano” utilizzata da S2 S.p.a. viene tagliata nelle due modalità, a seconda delle differenti destinazioni d’uso. Viene estratto presso Tivoli (Roma). Mostra un colore giallo paglierino fino a beige-crema, con le venature-concrezioni di colore da bianco a beige più chiaro, che hanno dimensioni da pochi mm fino a qualche cm. Il suo caratteristico aspetto concrezionato con struttura vacuolare è costituito da pori che vanno da pochi mm fino a pochissimi cm (Fig. 6.7.1.2).



Fig. 6.7.1.2 – Aspetto macroscopico del “Travertino Romano” tagliato in falda.

È un materiale che presenta una grande reperibilità, le dimensioni delle lastre misurano in media 2800x1700 mm, con spessori variabili da 2 a 3 fino a 4 cm. Questo materiale gode di fama mondiale grazie al suo impiego sin dall'epoca Romana, soprattutto per monumenti ed opere architettoniche come il Colosseo. Viene utilizzato per rivestimenti interni ed esterni, pavimenti, elementi architettonici. Sono state eseguite analisi fisico-meccaniche ed al microscopio in sezione sottile su provini tagliati in falda. Il Point Load Test e i tests di resistenza alla flessione sono stati eseguiti rispettivamente su nr. 10 provini (Fig. 6.7.1.3). I risultati di entrambe le prove sono visibili in Tabella 6.7.1.1 e Tabella 6.7.1.2.




Fig. 6.7.1.3 – Provini di "Travertino Romano" in falda utilizzati per il Point Load Test

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 19,60 | 3,00 | 867,75 |
| C. 2 | 19,70 | 5,00 | 1276,00 |
| C. 3 | 19,60 | 5,00 | 1313,54 |
| C. 4 | 19,50 | 4,30 | 1221,42 |
| C. 5 | 19,60 | 3,00 | 835,80 |
| C. 6 | 19,50 | 4,00 | 1196,21 |
| C. 7 | 19,50 | 5,00 | 1337,71 |
| C. 8 | 19,60 | 4,00 | 1128,20 |
| C. 9 | 19,60 | 3,90 | 1177,39 |
| C. 10 | 19,70 | 4,00 | 1018,01 |
| **Media** | **19,59** | **4,12** | **1137,20** |
| **Deviazione Standard** | **0,07** | **0,74** | **176,54** |

Tabella 6.7.1.1 – Risultati del Point Load Test elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| c1 | 53,3 | 19,6 | 94,94 |
| c2 | 46,3 | 19,4 | 117,76 |
| c3 | 51,2 | 19,4 | 94,35 |
| c4 | 52,9 | 19,5 | 99,33 |
| c5 | 46,5 | 19,5 | 123,21 |
| c6 | 52,9 | 19,5 | 129,49 |
| c7 | 50,1 | 19,5 | 102,99 |
| c8 | 51,2 | 19,5 | 101,70 |
| c9 | 48,5 | 19,6 | 111,10 |
| c10 | 47,5 | 19,4 | 99,68 |
| **Media** | **47,04** | **19,49** | **107,45** |
| **Deviazione Standard** | **2,69** | **0,07** | **12,30** |

Tabella 6.7.1.2 – Risultati dei tests di resistenza alla flessione eseguiti sul "Travertino Romano" in falda.

Le prove eseguite evidenziano che il "Travertino Romano" presenta buone caratteristiche fisico-meccaniche. Soltanto in due provini la resistenza al punzonamento mostra risultati inferiori a 1000 kg/cm$^2$. In letteratura, i valori di resistenza alla compressione di questo litotipo sono compresi tra 900 a 1100 kg/cm$^2$ (Blanco, 1999). La resistenza alla flessione mostra bassi valori di deviazione standard, ed il valore medio è di circa 107 kg/cm$^2$, con valori minimi poco inferiori a 100 kg/cm$^2$.

L'analisi al microscopio ottico in sezione sottile ha evidenziato la tipica struttura vacuolare microcristallina e la tessitura fibroso concrezionata, con sottili bande differenziate per il diverso contenuto di impurità. Il minerale costituente principale è la calcite, che si presenta con habitus da euedrale a subedrale, con dimensioni massime di 100 microns circa (Fig. 6.1.7.4).

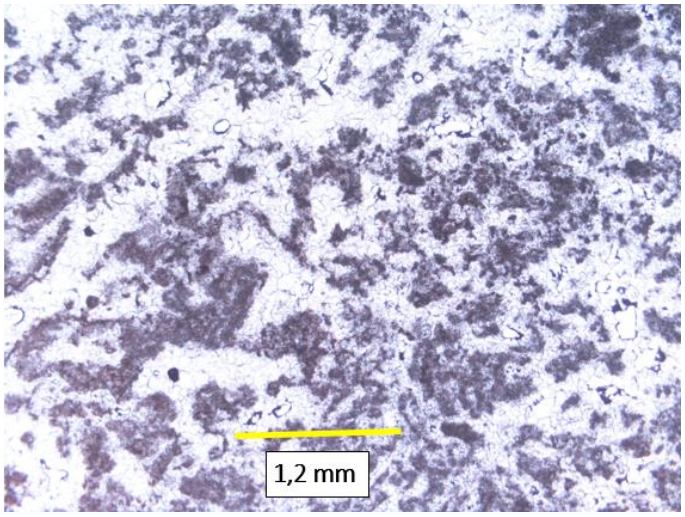



Fig. 6.1.7.4 – Immagine al microscopio ottico a luce polarizzata di "Travertino Romano": caratteristica struttura vacuolare con tessitura fibroso concrezionata (Nicols paralleli).

## 6.7.2 “Crema Marfil”

Il materiale lapideo conosciuto con il nome commerciale “Crema Marfil” è un calcare proveniente dalla Spagna. Altre varietà merceologiche con cui è conosciuto sono “Emperador Beige”, “Crema Beige”, “Crema Marfil Claro”, “Crema Marfil Fantasia”. Si presenta (Fig. 6.7.2.1) con un colore dominante beige abbastanza uniforme, con venature di colore bianco traslucido disposte casualmente che hanno dimensioni da pochi mm fino a qualche cm. Sono inoltre presenti giunti stilolitici di colore da bruno scuro ad arancio. In alcuni casi è possibile riconoscere bioclasti, che presentano dimensioni da millimetriche a sub-millimetriche.



Fig. 6.7.2.1 – Aspetto macroscopico del “Crema Marfil”.

È un materiale che mostra una buona reperibilità e viene utilizzato soprattutto per rivestimenti interni, pavimenti, oltre a tavoli e piccoli complementi d’arredo. Le lastre presentano dimensioni medie di circa 2700x1600 mm, con spessori maggiormente utilizzati da 2 a 3 cm. Le cave sono a cielo aperto (Fig. 6.7.2.2).



Fig. 6.7.2.2 – Areale estrattivo del “Crema Marfil” (Google Earth).

Alcuni parametri fisico-meccanici presenti in siti commerciali, sono riassunti in Tabella 6.7.2.1.

| | Payanini | Savema Marmi | Cmpm Marmi | Bruno Zanet |
|---|---|---|---|---|
| **Peso per Unità di Volume ɤ (g/cm$^3$)** | 2.669 | 2.72 | 2.7 | 2.669 |
| **Resistenza alla compressione (Kg/cm$^2$)** | 2060 | 1228 | 1624 | 2060 |
| **Resistenza alla flessione Kg/cm$^2$)** | 155 | 194 | 102 | 155 |

Tabella 6.7.2.1 – Alcuni parametri fisico-meccanici tratti dai principali siti commerciali.

Per il "Crema Marfil" sono state eseguite prove di Point Load Test e di resistenza alla flessione rispettivamente su nr. 10 provini, e analisi al microscopio in sezione sottile. I risultati delle prove eseguite sono riportati in Tabella 6.7.2.2 e Tabella 6.7.2.3. I provini utilizzati per la resistenza alla flessione sono mostrati in Fig. 6.7.2.3.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 19,50 | 6,5 | 1931,02 |
| C. 2 | 19,40 | 7,0 | 2122,95 |
| C. 3 | 19,50 | 6,5 | 1812,57 |
| C. 4 | 19,40 | 6,5 | 1814,29 |
| C. 5 | 19,50 | 6,4 | 1858,55 |
| C. 6 | 19,50 | 5,9 | 1864,43 |
| C. 7 | 20,00 | 5,9 | 1808,85 |
| C. 8 | 19,60 | 5,0 | 1585,11 |
| C. 9 | 19,60 | 4,5 | 1335,98 |
| C. 10 | 19,50 | 6,2 | 1744,84 |
| **Media** | **19,55** | **6,00** | **1787,86** |
| **Deviazione Standard** | **0,17** | **0,76** | **208,84** |

Tabella 6.7.2.2 – Risultati del Point Load Test elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

| CAMPIONE | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C1 | 50,1 | 19,6 | 156,18 |
| C2 | 51,1 | 19,4 | 94,53 |
| C3 | 50,2 | 19,3 | 149,21 |
| C4 | 48,9 | 19,4 | 142,80 |
| C5 | 51 | 19,5 | 135,51 |
| C6 | 48,5 | 19,5 | 136,64 |
| C7 | 48,5 | 19,4 | 147,92 |
| C8 | 47,5 | 19,5 | 138,52 |
| C9 | 49,8 | 19,5 | 126,42 |
| c10 | 48,2 | 19,6 | 96,24 |
| **Media** | **49,38** | **19,47** | **132,40** |
| **Deviazione Standard** | **1,23** | **0,09** | **21,19** |

Tabella 6.7.2.3 – Risultati delle prove di resistenza alla flessione del "Crema Marfil".




Fig. 6.7.2.3 – Provini utilizzati per i tests di resistenza alla flessione.

I risultati delle prove fisico-meccaniche ci hanno fornito buoni risultati. Il "Crema Marfil" mostra valori tra i più alti riscontrati nel gruppo dei "marmi beige" (Tabella 6.8.1) per quanto riguarda le prove del Point Load Test, il valore medio riscontrato è pari a 1787 kg/cm$^2$, con un range compreso tra 1300 e 2000 kg/cm$^2$. I provini, come quasi in tutti i calcari con valori di resistenza al punzonamento elevati, tendono a frantumarsi e non a sbriciolarsi come per esempio avviene nei marmi di Carrara. Nelle prove di resistenza alla flessione abbiamo notato che le rotture sono avvenute principalmente lungo le direzioni delle venature o dei giunti stilolitici. Soltanto in due campioni la resistenza è inferiore a 100 kg/cm$^2$, mentre i valori massimi sono intorno ai 140-150 kg/cm$^2$.

Le analisi al microscopio in sezione sottile hanno evidenziato che questo calcare organogeno è caratterizzato da una tessitura biocostruita. Sono presenti numerosi foraminiferi anche superiori al millimetro (Fig. 6.7.2.4). Le venature sono riempite da cristalli di calcite (in cui forse è presente anche la dolomite), che presenta habitus da anedrale a subedrale, con dimensioni fino a 100 microns. Petrograficamente può essere definito come una biosparite (Folk,1959) con predominanza di foraminiferi. In alcune facies, è possibile riscontare anche abbondanti resti di echinodermi e alghe e, in misura minore, resti di briozoi (Lopez, 1996).

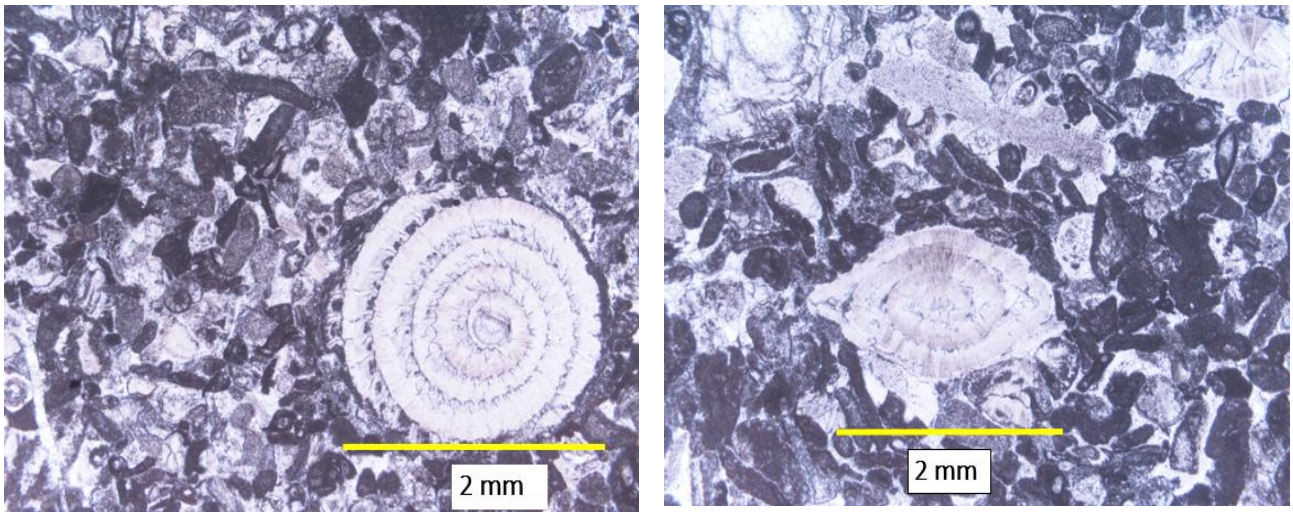



Fig. 6.7.2.4 - Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di "Crema Marfil": presenza di foraminiferi anche di dimensioni superiori al millimetro (Nicols paralleli).

## 6.7.3 “Castagna Limestone”

Il “Castagna Limestone” è un travertino di cui non sappiamo con certezza la provenienza, se non attraverso informazioni reperite da alcuni fornitori e siti di carattere commerciale, che indicano una provenienza cinese. Altre denominazioni con cui è conosciuto sono “Athens Silver Cream”, “Athens Grey”, “Castagna Silver Marble”. L’aspetto macroscopico di questo materiale è caratterizzato da un colore di fondo beige-crema chiaro, con sottili venature di dimensioni millimetriche che gli conferiscono un aspetto bandato con colori variabili da beige chiaro a scuro, e rari livelli di un colore grigio scuro (Fig.6.7.3.1). I materiali lapidei più famosi di provenienza italiana che presentano un aspetto simile al “Castagna Limestone” provengono dalla Puglia (Calcari di Apricena e di Trani). Di questo litotipo non si sono trovate informazioni relative a pubblicazioni scientifiche. Le dimensioni delle lastre utilizzate fino ad ora da S2 S.p.a. sono in media di 2400x1500 mm.



Fig. 6.7.3.1 – Aspetto macroscopico del “Castagna Limestone”.

Sono state eseguite le prove fisico-meccaniche previste, oltre ad uno studio in sezione sottile. I risultati del Point Load Test (Tabella 6.7.3.1) mostrano in media una discreta resistenza al punzonamento, anche se il range dei valori è compreso da 975 a 2100 kg/cm$^2$. Le prove eseguite su nr. 12 provini (Fig. 6.7.3.2) ci hanno mostrato quindi risultati molto discrepanti tra di loro. Anche nei tests di resistenza alla flessione (Fig. 6.7.3.3) abbiamo range compresi tra circa 100-200 kg/cm$^2$, come mostrato in Tabella 6.7.3.2. Entrambi questi due aspetti sono da considerare al fine di voler utilizzare il materiale per tavoli di grandi dimensioni. I tavoli che fino adesso venivano prodotti con questo materiale sono di dimensioni di 1000x800 mm.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 19,70 | 6,50 | 1740,39 |
| C. 2 | 19,70 | 7,70 | 2176,74 |
| C. 3 | 19,80 | 4,00 | 1057,58 |
| C. 4 | 19,60 | 4,00 | 1191,48 |
| C. 5 | 19,60 | 4,00 | 1146,00 |
| C. 6 | 19,90 | 5,90 | 1572,00 |
| C. 7 | 19,99 | 5,00 | 1466,78 |
| C. 8 | 19,80 | 3,30 | 975,27 |
| C. 9 | 19,90 | 3,50 | 1077,22 |
| C. 10 | 19,60 | 4,80 | 1544,01 |
| C. 11 | 19,70 | 4,30 | 1419,63 |
| C. 12 | 19,80 | 3,00 | 1060,17 |
| **Media** | **19,76** | **4,67** | **1368,94** |
| **Deviazione Standard** | **0,13** | **1,40** | **355,23** |

Tabella 6.7.3.1 – Risultati del Point Load Test elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972



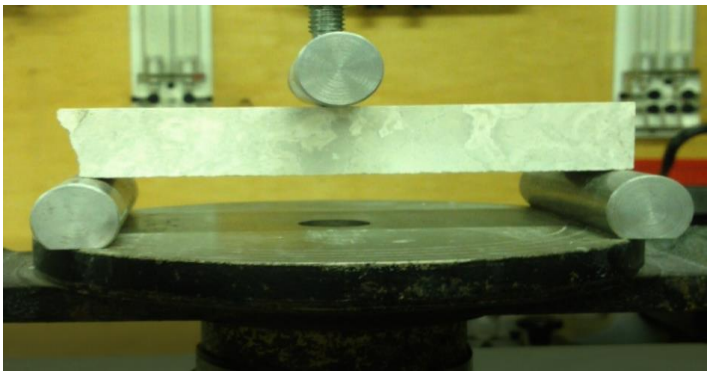


Fig. 6.7.3.2 e 6.7.3.3 – Provini utilizzati per il Point Load Test a sinistra; a destra esecuzione delle prove di resistenza alla flessione.

| CAMPIONE | l (mm) | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|---|
| c1 | 120 | 42,2 | 20 | 166,35 |
| c2 | 105 | 44 | 20 | 175,40 |
| c3 | 120 | 42 | 20 | 204,64 |
| c4 | 120 | 51,9 | 20 | 128,32 |
| c5 | 120 | 49,9 | 19,9 | 166,69 |
| c6 | 120 | 46,5 | 20 | 151,94 |
| c7 | 120 | 48 | 20 | 106,88 |
| c8 | 120 | 49,5 | 19,9 | 171,71 |
| c9 | 120 | 47 | 20 | 158,94 |
| c10 | 120 | 46,9 | 20 | 163,11 |
| **Media** | **118,5** | **46,79** | **19,98** | **159,40** |
| **Deviazione Standard** | **4,74** | **3,27** | **0,04** | **26,56** |

Tabella 6.7.3.2 – Risultati delle prove di resistenza alla flessione.

L'analisi al microscopio in sezione sottile (Fig. 6.7.3.4) ci ha portato alle seguenti considerazioni:

- il litotipo è di natura sedimentaria, con una struttura bandata e laminata, che rispecchia l'aspetto macroscopico del materiale;
- è costituito da matrice micritica microcristallina, con struttura vagamente grumosa (Adams et al., 1992);
- sono presenti fessure riempite da calcite di dimensioni da 50 fino a 800 microns;
- le laminazioni degli strati micritici si alternano ad aree costituite da micrite/sparite;
- le aree micritiche irregolari sono attraversate da filamenti/venature e chiazze riempite da calcite con cristalli da subedrali ad euedrali di dimensioni da 100 fino a 500 microns;
- sono presenti aree opache non risolvibili al microscopio ottico a luce polarizzata.

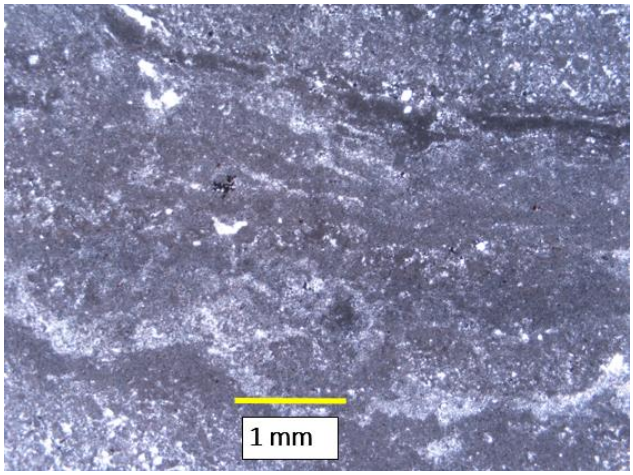



Fig. 6.7.3.4 – Immagine al microscopio ottico a luce polarizzata di "Castagna Limestone": aree micritiche irregolari con un aspetto bandato con colore scuro e chiaro (Nicols paralleli).

## 6.7.4 "Botticino"

Il "Botticino" è un materiale che viene estratto nella provincia di Brescia. Il materiale in oggetto non viene più utilizzato da S2 S.p.a. per complementi d'arredo, ed anche per questo la caratterizzazione di questo materiale lapideo sarà ridotta per la mancanza di materiale su cui eseguire le prove. Sono state eseguite analisi di Point Load Test ed uno studio al microscopio in sezione sottile. Il "Botticino" è una roccia carbonatica compatta semicristallina a grana fine e serrata, con caratteristici giunti stilolitici e leggermente metamorfosata (Blanco, 1999). Presenta un colore dominante crema scuro con macchie più chiare distribuite in modo uniforme ad un colore giallo crema con venature rare di colore roseo-rossiccio (Fig. 6.7.4.1). Le principali varietà prodotte sono "Botticino Classico", "Botticino Fiorito", "Botticino Perla" e "Botticino Semiclassico".



Fig. 6.7.4.1 – Aspetto macroscopico del “Botticino”.

È un materiale che mostra una buona reperibilità, con lastre che possono raggiungere anche i 3000 mm di lunghezza. Viene utilizzato soprattutto per pavimenti e rivestimenti per interno ed esterno, opere monumentali ed elementi architettonici. Le principali caratteristiche fisico-meccaniche presenti in letteratura sono riassunte in Tabella 6.7.4.1.

| | **“Botticino Classico”** |
|---|---|
| **Peso per Unità di Volume ɤ (g/cm$^3$)** | 2,682 |
| **Carico di Rottura a Compressione semplice (Kg/cm$^2$)** | 2120-2161 |
| **Carico di Rottura a trazione indiretta mediante flessione (Kg/cm$^2$)** | 60 |

Tabella 6.7.4.1 – Principali caratteristiche fisico-meccaniche del “Botticino” (Blanco, 1999).

I risultati del Point Load Test (Tabella 6.7.4.2) mostrano che questo materiale ha un’elevata resistenza alla compressione monoassiale, con valori alti riscontrati per il gruppo dei “marmi beige” (Tabella 6.8.1), in un range compreso tra 1700 e 2200 kg/cm$^2$. Alcuni di questi risultati confermano i dati presenti in letteratura (Tabella 6.7.4.1). I campioni, a causa dell’elevata resistenza, tendono tutti a frantumarsi. Non sono state eseguite prove di resistenza alla flessione per mancanza di materiale.

| CAMPIONE | Spessore D (mm) | Carico P (KN) | Resistenza a compressione monoassiale ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| C. 1 | 20,00 | 8,00 | 2045,90 |
| C. 2 | 20,10 | 6,50 | 1886,19 |
| C. 3 | 20,20 | 7,50 | 2265,78 |
| C. 4 | 20,00 | 6,00 | 1759,46 |
| C. 5 | 20,40 | 6,00 | 1738,45 |
| C. 6 | 20,50 | 5,90 | 1749,96 |
| C. 7 | 20,50 | 6,90 | 2167,54 |
| C. 8 | 20,30 | 6,00 | 1906,30 |
| C. 9 | 20,30 | 7,00 | 2224,02 |
| C. 10 | 20,40 | 5,50 | 1740,80 |
| **Media** | **20,27** | **6,53** | **1948,44** |
| **Deviazione Standard** | **0,19** | **0,80** | **211,38** |

Tabella 6.7.4.2 – Risultati del Point Load Test elaborati secondo la relazione empirica di Broch e Franklin (1972).

L'analisi al microscopio in sezione sottile ha evidenziato una grana fine del materiale; tra i minerali, la calcite si presenta con struttura microcristallina, talvolta in vene sottili, frequentemente in associazioni policristalline legate a frammenti bioclastici (Deriu e Vinci, 1964). La dolomite è riconoscibile con cristalli da subedrali ad euedrali e habitus romboedrici. Sono presenti foraminiferi e bioclasti frammentati e ricristallizzati con dimensioni intorno ai 100 microns. Il materiale è attraversato da giunti stilolitici di colore da bruno scuro a giallo ocraceo, costituiti da minerali opachi ed argillosi, che hanno dimensioni fino ai 200 microns (Fig. 6.7.4.2).

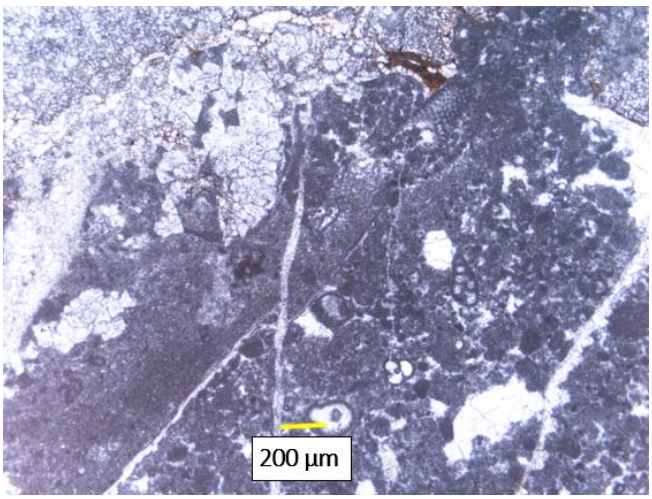



Fig. 6.7.4.2 – Immagine al microscopio ottico a luce polarizzata di "Botticino": le aree di colore bruno scuro rappresentano i giunti stilolitici. Presenti foraminiferi (Nicols paralleli).

## 6.8 Considerazioni sulle prove fisico-meccaniche eseguite sui materiali lapidei impiegati da S2 S.p.a.

In Tabella 6.8.1 vengono riportati i risultati, espressi in termini di valori medi (in azzurro) e deviazione standard (in arancio), relativi alle prove di resistenza a compressione monoassiale ricavati dal Point Load Test. Tali risultati sono stati raccolti lungo una direzione di sforzo-compressione ortogonale rispetto all'orientazione della tessitura dei materiali.

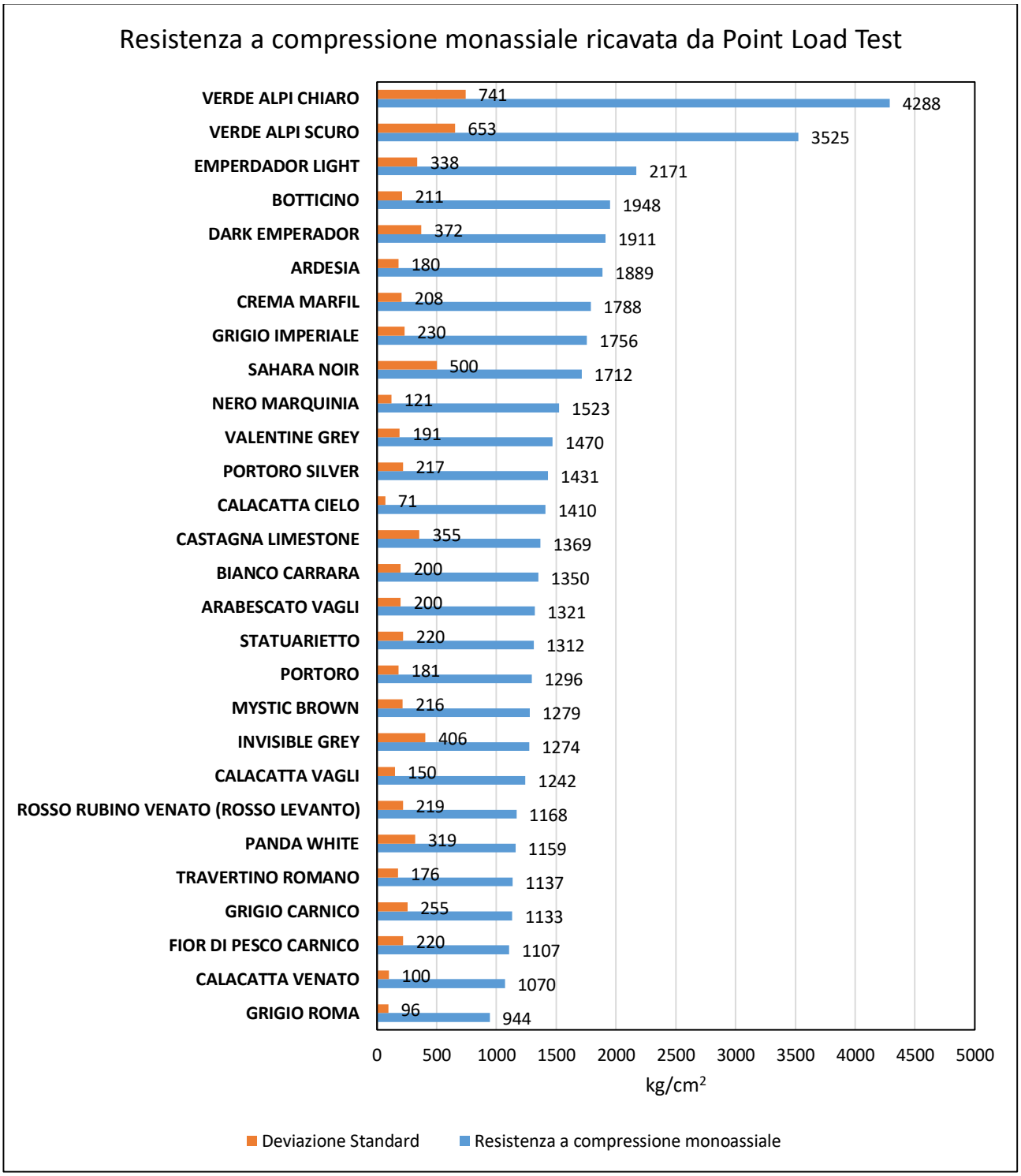



Tabella 6.8.1 – Risultati delle prove di resistenza a compressione monoassiale o Point Load Test.

Durante lo svolgimento delle prove si è notato che, soprattutto in tutti i marmi provenienti dall'areale estrattivo di Carrara ("Arabescato Vagli", "Calacatta Vagli", "Calacatta Venato", "Bianco Carrara", "Statuarietto", "Grigio Roma", "Calacatta Cielo") le rotture dei provini si sono verificate in seguito allo sbriciolamento del materiale; tale comportamento potrebbe derivare dal fatto che questi marmi presentano una grana fine ed una tessitura saccaroide. Nei materiali come i calcari e i calcari brecciati dolomitici ("Botticino", "Dark Emperador", "Grigio Imperiale", "Valentine Grey") le rotture dei provini sono avvenute in seguito alla frantumazione del materiale, facendo registrare valori più elevati rispetto ai marmi di Carrara. Questa modalità di rottura può essere ricondotta in parte alle diverse tessiture presenti nella roccia, alle differenti fasi mineralogiche ed al grado di litificazione.

Dai risultati ottenuti possiamo considerare anche che:

- i valori di resistenza a compressione monoassiale più elevati sono stati riscontrati nel gruppo dei "marmi verdi" con valori tra 3525 - 4288 kg/cm$^2$ simili a quelli dei graniti (2000-3000 kg/cm$^2$ ; Blanco, 1999);
- materiali come il "Fior di Pesco Carnico" e il "Grigio Carnico" presentano tra i più bassi valori di resistenza a compressione monoassiale (1107 – 1133 kg/cm$^2$ rispettivamente), con deviazione standard compresa tra 220 e 255 kg/cm$^2$ circa. Questi valori potrebbero derivare dal fatto che si tratta di materiali brecciati a grana grossolana, fratturati e in parte ricementati, eterogenei e caratterizzati da numerose discontinuità;
- per quanto riguarda materiali come "Sahara Noir" e "Invisible Grey" i provini con valori più bassi di resistenza a compressione (rispettivamente tra 933 e 1153 kg/cm$^2$ e tra 774 e 1032 kg/cm$^2$) sono quelli ricavati totalmente o parzialmente dalle venature che costituiscono zone di debolezza del materiale; entrambi sono infatti caratterizzati da alti valori di deviazione standard (500 kg/cm$^2$ per "Sahara Noir" e 406 kg/cm$^2$ per "Invisible Grey");
- altri materiali con valori di compressione monoassiale relativamente bassi sono il "Rosso Levanto" o "Rosso Rubino Venato" (1168 kg/cm$^2$) e il "Travertino Romano" (1137 kg/cm$^2$): questo probabilmente è dovuto a causa delle diverse tessiture presenti, rispettivamente brecciata e frammentata (tipica delle oficalciti) e vacuolare-concrezionata (caratteristica dei travertini);
- materiali come "Portoro Silver" e "Portoro", presentano valori leggermente differenti tra di loro (1431 e 1296 kg/cm$^2$) pur appartenendo alla stessa formazione e provenendo dallo stesso areale estrattivo: questo aspetto potrebbe essere riconducibile sia al diverso grado di litificazione, sia al diverso grado di dolomitizzazione, maggiormente sviluppato nel "Portoro Silver" (le numerose macule bianche e le venature sono costituite da cristalli di dolomia saccaroide, mentre nel "Portoro" prevalgono le venature giallo-ocra costituite da solfuri e limonite).

In Tabella 6.8.2 vengono riportati i risultati, espressi in termini di valori medi (in azzurro) e deviazione standard (in arancione), relativi alle prove di resistenza alla flessione raccolti con la direzione di sforzo-compressione ortogonale rispetto alla principale orientazione della tessitura dei materiali.

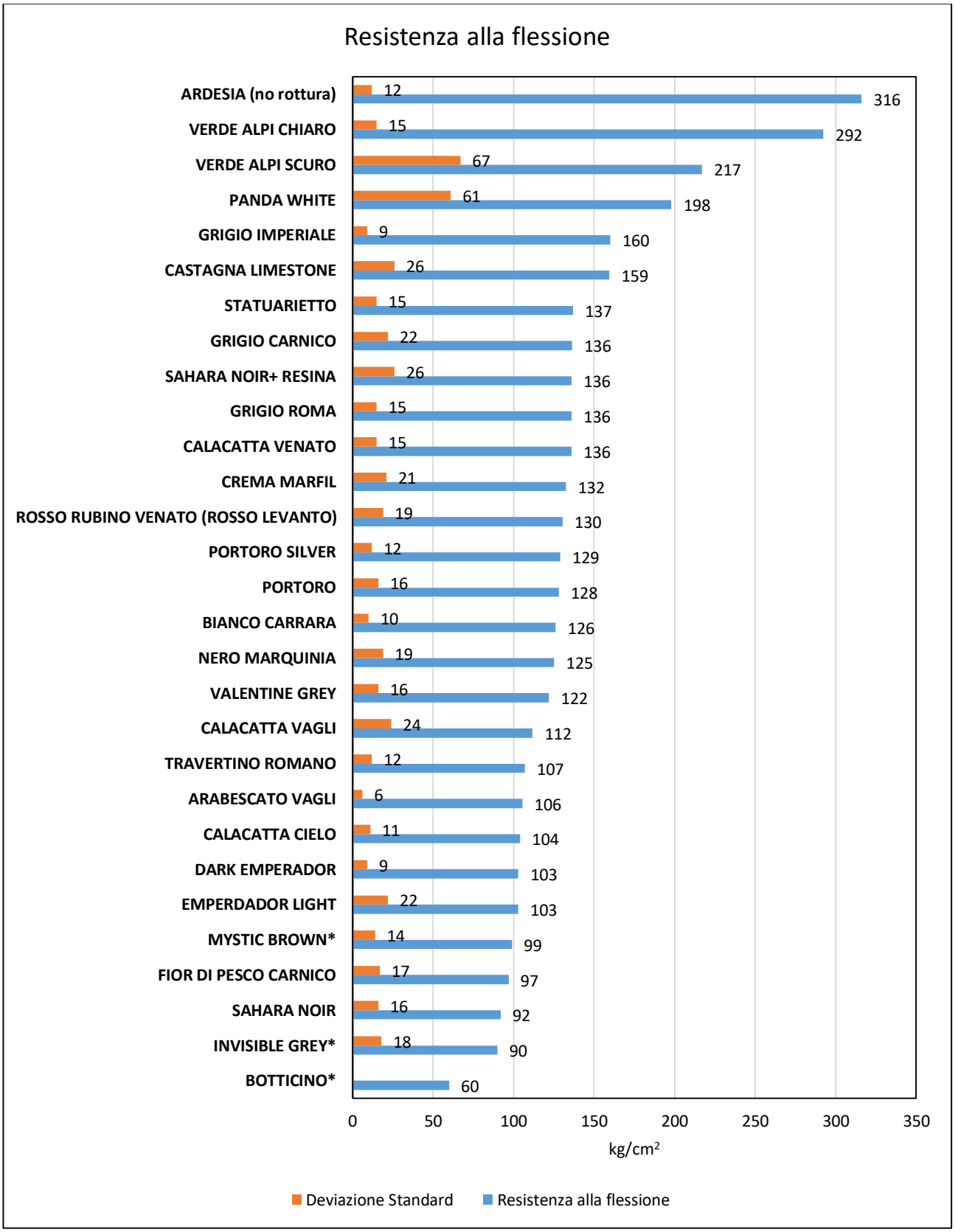



Tabella 6.8.2 – Risultati delle prove di resistenza alla flessione

Premesso che:

- l'Ardesia è stato l'unico materiale in cui non è avvenuta la rottura dei provini. La prova è stata interrotta quando i valori registrati superavano i 300 kg. Questa decisione è stata presa per evitare ulteriori sollecitazioni e deformazioni della cella di carico, il cui valore limite è di 500 kg essendo dimensionata per prove su terre e non su rocce;
- nei materiali contrassegnati con l'asterisco ("Invisble Grey", "Mystic Brown" che sono caratterizzati da bassi valori di resistenza alla flessione, rispettivamente 90 e 99 kg/cm$^2$), le dimensioni dei provini utilizzati non sono le stesse rispetto a tutti gli altri campioni per insufficienza del materiale a disposizione; per lo stesso motivo non è stato possibile eseguire prove di resistenza alla flessione sul "Botticino", il cui valore (60 kg/cm$^2$) è stato reperito da Blanco, 1999.

Dai risultati ottenuti per le prove di flessione, possiamo osservare che:

- i valori più alti sono stati riscontrati nel gruppo dei "marmi verdi" (217 – 292 kg/cm$^2$) che mostrano buone caratteristiche fisico-meccaniche;
- i marmi provenienti dall'areale estrattivo di Carrara presentano valori compresi tra 104 e 137 kg/cm$^2$, con deviazioni standard comprese tra 6 e 24 kg/cm$^2$;
- il materiale "Panda White" presenta un valore medio di resistenza alla flessione di 198 kg/cm$^2$, ed un valore di deviazione standard tra i più elevati (61 kg/cm$^2$); questo aspetto è dovuto alle differenze tessiturali e composizionali dei provini analizzati (Fig. 6.1.8.4) i provini contenenti fasi mineralogiche di colore verde risultano avere valori di resistenza a flessione più alti (tra 212 e 303 kg/cm$^2$) rispetto a quelli di colore bianco (con valori compresi tra 135 e 160 kg/cm$^2$);
- in alcuni calcari come "Sahara Noir" e "Valentine Grey", le rotture sono avvenute principalmente lungo le venature del materiale; questo comportamento sta ad indicare che queste rappresentano zone di debolezza;
- i valori di deviazione standard più bassi (<10 kg/cm$^2$) sono stati rilevati nel "Grigio Imperiale", nell' "Arabescato Vagli" e nel "Dark Emperador": questo aspetto può essere dovuto dal fatto che i provini analizzati erano pressochè omogenei tessitura ed aspetto, e che, soprattutto in materiali come il "Dark Emperador", non vi erano presenti venature e fratture rilevanti;
- alcuni materiali provenienti dallo stesso areale estrattivo come il "Portoro" e il "Portoro Silver" presentano valori di resistenza alla flessione simili, compresi tra 128 e 129 kg/cm$^2$;
- altri invece, come il "Fior di Pesco Carnico" e il "Grigio Carnico" presentano valori diversi, rispettivamente di 97 e 136 kg/cm$^2$; questo comportamento può essere dovuto a numerosi fattori, come la presenza di venature con fasi mineralogiche differenti rispetto alla massa di fondo, stiloliti costiuiti da pelite, feldspati alterati, quarzo e ossidi, diverso grado di litificazione, presenza di discontinuità come fratture che interessano localmente entrambi i materiali;

- per quanto concerne alcuni provini imbevuti in resina epossidica come nel “Sahara Noir”, questi hanno mostrato valori di resistenza alla flessione migliori (136 kg/cm$^2$) rispetto ai valori di provini lasciati al naturale (92 kg/cm$^2$): l’operazione di messa in sottovuoto tramite resinatura del materiale risulta quindi essere un processo migliorativo.

## 6.9 Correlazioni tra i caratteri tessiturali e i dati fisico-meccanici dei materiali lapidei impiegati da S2 S.p.a.

Nella Tabella 6.9.1 vengono riportati i materiali lapidei impiegati da S2 S.p.a. con la rispettiva definizione petrografica, i principali caratteri tessiturali ed il colore dominante.

| Nome commerciale | Definizione petrografica e principali caratteri tessiturali | Provenienza | Colore dominante |
|---|---|---|---|
| Calacatta Vagli | Marmo brecciato con clasti a struttura saccaroide | Italia | Bianco |
| Calacatta Venato | Marmo venato a struttura saccaroide | Italia | Bianco |
| Arabescato Vagli | Marmo brecciato con clasti a struttura saccaroide | Italia | Bianco |
| Bianco Carrara | Marmo a struttura saccaroide, isotropo a grana fine | Italia | Bianco |
| Statuarietto | Marmo a struttura saccaroide, isotropo a grana molto fine | Italia | Bianco |
| Invisible Grey | Calcare dolomitico brecciato fortemente fratturato | Turchia | Bianco |
| Panda White | Marmo impuro a struttura saccaroide con ampie venature scure | Cina? | Bianco |
| Grigio Roma | Marmo a struttura saccaroide con venature chiare | Italia | Grigio |
| Calacatta Cielo | Marmo con aspetto bandato a struttura saccaroide | Italia | Grigio |
| Grigio Carnico | Calcare micritico brecciato debolmente metamorfosato | Italia | Grigio |
| Grigio Imperiale | Calcare micritico brecciato con venature chiare | Italia | Grigio |
| Fior di Pesco Carnico | Marmo brecciato eterogeneo con clasti a struttura saccaroide | Italia | Rosa |
| Rosso Levanto o Rosso Rubino Venato | Oficalcite/serpentinite brecciata, eterogenea e fratturata | Italia | Rosso |
| Verde Alpi Chiaro | Oficalcite/serpentinite brecciata con venature bianche | Italia | Verde |
| Verde Alpi Scuro | Oficalcite/serpentinite brecciata con venature bianche sottili | Italia | Verde |
| Dark Emperador | Calcare dolomitico brecciato fortemente fessurato e fratturato | Spagna | Marrone |
| Light Emperador | Calcare dolomitico brecciato fortemente fratturato e fessurato | Turchia | Marrone |
| Mystic Brown | Calcare organogeno venato con bioclasti immersi in una matrice micritica | Cina o Turchia | Marrone |
| Valentine Grey | Calcare brecciato eterogeneo, fratturato con presenza di bioclasti | Spagna | Marrone |
| Nero Marquinia | Calcare organogeno micritico con venature bianche | Spagna | Nero |
| Sahara Noir | Calcare micritico con venature ortogonali bianche e arancio | Tunisia | Nero |
| Ardesia | Argilloscisto | Italia | Nero |
| Portoro | Calcare a grana fine dolomitizzato con venature giallo-arancio | Italia | Nero |
| Portoro Silver | Calcare a grana fine dolomitizzato con venature chiare | Italia | Nero |
| Travertino Romano | Travertino con tipica struttura vacuolare, microcristallina | Italia | Beige |
| Crema Marfil | Calcare organogeno biocostruito | Spagna | Beige |
| Castagna Limestone | Travertino con tipica struttura vacuolare, microcristallina | Cina? | Beige |
| Botticino | Calcare compatto debolmente metamorfosato | Italia | Beige |

Tabella 6.9.1 – Materiali lapidei impiegati da S2 S.p.a. con rispettiva definizione petrografica, principali caratteri tessiturali e colore dominante.

Al fine di una corretta e appropriata selezione del materiale, tenendo conto dei caratteri composizionali e tessiturali descritti attraverso lo studio al microscopio in sezione sottile e dei risultati ottenuti dalle prove fisico-meccaniche, possiamo dire che:

- i materiali lapidei caratterizzati da una tessitura saccaroide come i marmi di Carrara (marmi s.s., ovvero rocce metamorfiche) sono quelli che, nell'intero ciclo produttivo, garantiscono una migliore resistenza alle sollecitazioni e ciò viene anche confermato dai dati fisico-meccanici (compresi tra 104 e 137 kg/cm$^2$ per la resistenza alla flessione e 1242 e 1350 kg/cm$^2$ per la resistenza a compressione monoassiale); costituiti da una grana fine, questi materiali sono anche ben lavorabili grazie anche alle loro caratterisiche composizionali (calcite >90%, dolomite, ossidi di ferro, quarzo e pirite) e tessiturali;
- le oficalciti (come il "Rosso Levanto" ed il gruppo dei "marmi verdi") che presentano le tipiche strutture brecciate e frammentate, sono caratterizzate dalla presenza di venature e fratture riempite da carbonati o altri minerali come talco: queste fasi mineralogiche possono condizionare la realizzazione dei piani durante il ciclo produttivo;
- in alcuni calcari, il differente comportamento alle sollecitazioni ed i valori fisico-meccanici sono condizonati dalla presenza di venature/fratture e/o giunti stilolitici. Per esempio il "Crema Marfil" che è un calcare organogeno compatto caratterizzato da una tessitura biocostruita, quasi esente da venature, presenta buoni valori fisico-meccanici (132 kg/cm$^2$ per la resistenza alla flessione e 1788 kg/cm$^2$ per la resistenza a compressione monoassiale). In altri materiali come il "Sahara Noir" (calcare micritico a grana fine), il "Valentine Grey" (calcare brecciato e fratturato) o il "Dark Emperador" (breccia dolomitico-calcarea fortemente fessurata) le venature/fratture rappresentano zone di debolezza, anche a causa della diversa composizione mineralogica rispetto alla massa di fondo. Nel "Sahara Noir" le venature sono costituite da quarzo, tracce di ossidi, solfuri e minerali argillosi, oltre che da calcite di neoformazione. Nel "Dark Emperador" le fessure, caratterizzate spesso da evidenze di dissoluzione, sono riempite principalmente da calcite e dolomite, che fungono da cemento. Nel "Valentine Grey" la massa di fondo presenta una grana fine di tonalità variabile da marrone scuro a chiaro, ricca in bioclasti, mentre le venature sono costiuite da calcite a grana più grossolana ed i giunti stilolitici da minerali argillosi, ossidi, quarzo e frammenti di calcite e dolomite;
- il "Grigio Carnico" ed il "Fior di Pesco Carnico" presentano tessiture differenti pur provenendo dallo stesso areale estrattivo: rispettivamente sono riconducibili ad un calcare micritico debolmente metamorfosato ed un marmo cristallino a tessitura saccaroide, brecciato ed eterogeneo. Entrambi sono caratterizzati dalla presenza di fessure sia a scala microscopica che a scala macroscopica; i provini utilizzati per le prove fisico-meccaniche sono stati ricavati cercando di comprendere tutte le tipologie di tessiture presenti comportando quindi valori di deviazione standard data l'eterogenetà dei provini;
- il "Portoro" ed il "Portoro Silver" presentano indicativamente la stessa tessitura: si tratta di calcari parzialmente dolomitizzati, costituiti da una massa di fondo micritica e da macule bianco traslucide costituite da cristalli di calcite e dolomite, mentre le venature gialle sono costituite da solfuri e

limonite: queste fasi mineralogiche differenti rispetto alla massa di fondo rappresentano zone di debolezza del materiale, come confermato anche dai risultati delle prove fisico-meccaniche (Tabelle 6.8.2 e 6.8.1);

- per alcuni materiali lapidei caratterizzati da tessiture brecciate ed eterogenee e costituiti da numerose fessure, considerando anche i risultati ottenuti dalle prove fisico-meccaniche, è opportuno utilizzare alcuni accorgimenti al fine di poter garantire la realizzazione dei piani. Infatti durante alcune fasi di lavoro come la rifinitura manuale (paragrafo 2.2.3) si possono utilizzare mastici di natura epossidica bicomponenti, che sono in grado di rinforzare il materiale e garantire una miglior resistenza alle sollecitazioni durante l'intero ciclo produttivo. Questa operazione viene applicata per esempio in materiali come il "Rosso Rubino Venato" ("Rosso Levanto") e il "Portoro Silver" su tavoli che presentano grandi dimensioni (fino a 3000 mm di lunghezza).

Un'ulteriore considerazione è che, in relazione alla natura geologica e petrografica dei materiali lapidei (giacitura dell'affioramento, tipologia e spessori della formazione, caratteri tessiturali, natura del materiale, posizione della cava, modalità estrattive) è possibile ottenere blocchi, lastre e di conseguenza manufatti di differente dimensione e destinazione d'uso:

- blocchi di grandi dimensioni si ricavano in genere da rocce sedimentarie in stratificazione massiccia come " Botticino" e "Grigio Imperiale" o da rocce metamorfiche prive di scistosità e venature, quasi tutti i marmi in s.s., in particolare "Bianco Carrara" e "Statuarietto";
- blocchi di medie/piccole dimensioni si ricavano in genere da rocce sedimentarie in stratificazione media (calcari, dolomie) come "Sahara Noir", "Dark Emperador", "Light Emperador";
- blocchi di medie/piccole dimensioni adatti ad elementi decorativi ricchi di ornamentazione si ottengono da rocce sedimentarie tenere come il "Travettino Romano";
- lastre di grande estensione resistenti all'usura e alla flessione si ricavano da rocce metamorfiche come serpentiniti/oficalciti, "Verde Alpi chiaro" e "Verde Alpi Scuro".

Tuttavia va ricordato che nel mondo dell'arredamento, per architetti e designers, i parametri che influenzano la scelta di un materiale lapideo sono principalmente l'aspetto estetico ed il colore. Successivamente, a questa prima analisi deve essere però aggiunta una corretta caratterizzazione petrografica e fisico-meccanica del materiale, al fine di individuare i caratteri tessiturali e i parametri fisico-meccanici principali (minerali presenti, resistenza alla flessione, resistenza alla compressione), in modo da poterne permettere una più appropriata selezione che sia in grado di soddisfare tutte le esigenze richieste (disegno, lavorabilità).

# 7. Breve resoconto dello stage svolto all'estero: i marmi ornamentali portoghesi della regione dell'Alentejo

## 7.1 Introduzione

I marmi ornamentali portoghesi sono conosciuti ed apprezzati in tutto il mondo per le loro peculiarità e caratteristiche estetiche. Se ne trova testimonianza sin dal periodo dell'antica Roma, dove venivano utilizzati insieme ad altri materiali come i marmi di Carrara, i marmi della Grecia, quelli della penisola Iberica, dell'Asia Minore e molti altri ancora, per sculture, opere architettoniche e manufatti. Alcune di queste opere, sono diventate patrimonio mondiale dell'UNESCO (Fig. 7.1.1).



Fig. 7.1.1 – Tempio Romano di Diana (epoca augustea) con i capitelli in marmo (Evora).

In questo capitolo descriveremo alcune delle principali varietà commerciali dei marmi portoghesi della regione dell'Alentejo che si trova nella zona nord orientale del Portogallo caratterizzata da un'intensa attività industriale marmifera al punto da essere considerato il più importante distretto marmifero di tutto il Portogallo. Questo areale estrattivo è conosciuto come Triangolo di marmo di Vila Viçosa-Borba-Estremoz, o come l'areale estrattivo dell'Anticlinale di Estremoz (Ossa-Morena Zone, Fig. 7.1.2).

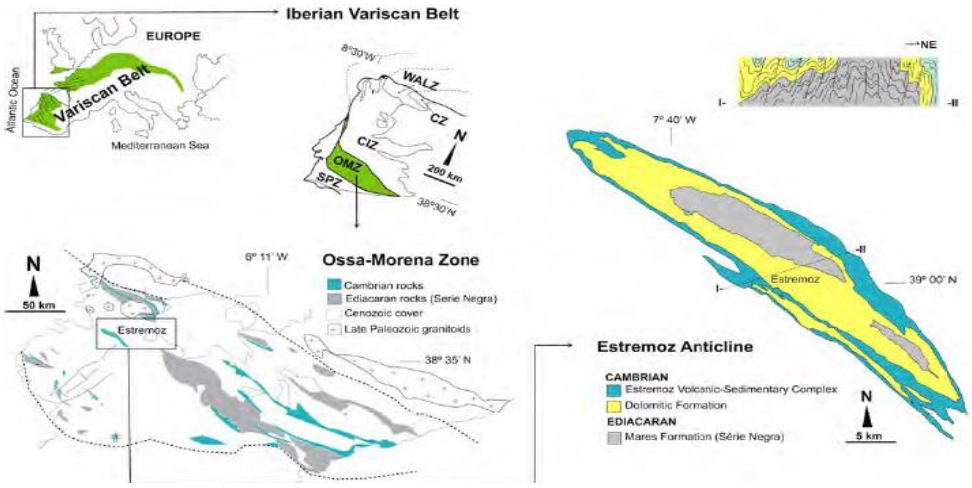



Fig. 7.1.2 – Inquadramento dell'areale estrattivo dell'Anticlinale di Estremoz (Ossa-Morena Zone; Lopes e Martins, 2015).

## 7.2 Genesi e stratigrafia

La genesi dei marmi portoghesi è complessa ed articolata. Queste antiche rocce metamorfiche (Precambriano sup. – Cambriano inf.) affiorano in una molteplice piega anticlinale plurichilometrica con asse NW-SE, conosciuta come Anticlinale di Estremoz. Durante il Paleozoico Superiore, i movimenti relativi all'orogenesi Varisica o Ercinica hanno generato una catena montuosa ora smantellata (Moreira et al., 2014). L'evoluzione di questa catena montuosa, a partire dal periodo Devoniano e Permiano, è legata all'apertura dell'oceano Reico e culmina con la collisione dei due margini continentali principali (Gondwana e Laurentia) e successivamente di altri margini continentali minori. Sebbene siano presenti variazioni locali, generalmente la sequenza litostratigrafica è composta da marmi, scisti marmorei e intercalazioni di rocce vulcaniche felsiche e basiche. Questi marmi presentano uno spessore medio di circa 150-200 metri: l'accumulo di questo volume di materiale carbonatico, nonché la sua geometria, ci suggeriscono che i calcari marini originari formarono una barriera di proto-coralli in un ambiente di piattaforma poco profonda, successivamente ricristallizzata durante i movimenti tettonici. I primi a descrivere la sequenza litostratigrafica dell'Anticlinale di Estremoz furono Silva e Camarinhas (1957). Questa sequenza racchiude le seguenti unità/formazioni geologiche osservabili in Fig. 7.2.1 (Gonçalves, 1972; Gonçalves e Coelho, 1974; Gonçalves e Oliveira, 1986; Oliveira et al., 1991; Lopes, 2003, 2007; Pereira et al., 2012):

1. Ediacarano-Precambriano: grovacche, scisti e selci nere (Formazione di Mares, Successione di Série Negra);
2. arenarie Cambriane alla base (che si sovrappongono alle rocce Série Negra) e calcari dolomitici (400 m di spessore) verso l'alto (Formazione Dolomitica);
3. uno strato ricco in silice da 5 a 50 m, al tetto dei calcari dolomitici (ricchi in pirite con quarzo e ferro in profondità, che poi si trasforma in cristalli di ossido di ferro pseudomorfo in superficie);

4. calcari probabilmente del periodo Cambriano-Ordoviciano molto spessi (originariamente 70-100 m) con basalti interposti, rioliti e scisti: questa successione è conosciuta come il Complesso Vulcano-Sedimentario di Estremoz, che comprende i marmi di Estremoz di interesse ornamentale.

Gli scisti, le selci nere e le rocce più giovani di età siluriana-devoniana (Piçarra, 2000, Lopes, 2003, 2007) circondano l'Anticlinale di Estremoz. In questa zona, i fenomeni geologici sopradescritti hanno dato vita a diverse tipologie commerciali di marmo, caratterizzati da grana fine e aspetto lucido. La grana presenta dimensioni variabili (da fine a media) con valori medi tra 0,2 e 4 mm (Lapuente e Turi, 1995). Bianchi alla base, questi marmi si colorano progressivamente di rosa man mano che ci si avvicina agli scisti di copertura (Fig. 7.2.2).

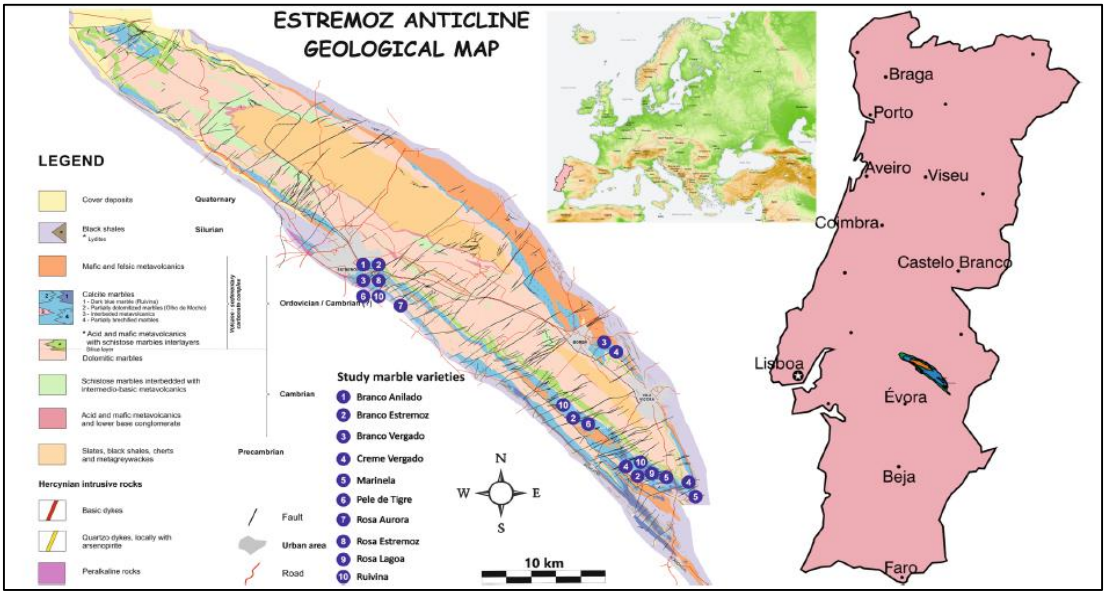



Fig. 7.2.1 – Mappa geologica dell'anticlinale di Estremoz (Moreira e Vintém, 1997).

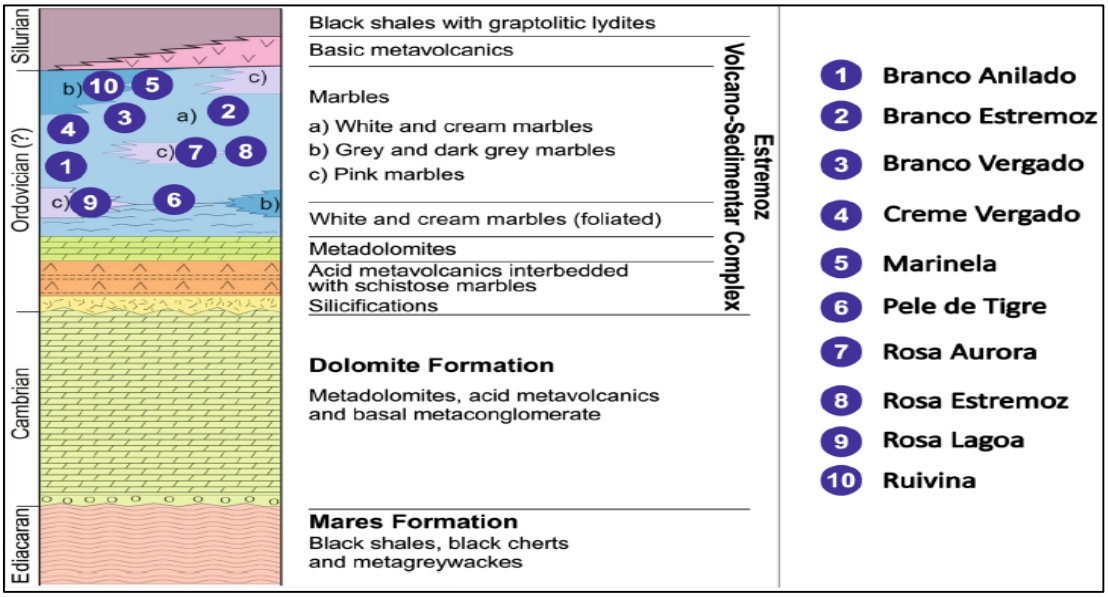



Fig. 7.2.2 - Successione tettonico-stratigrafica dell'Anticlinale di Estremoz (modificata da Menningen et al., 2018, dopo Carvalho, 2008)

## 7.3 Caratteristiche petrografiche, chimiche, mineralogiche e fisico-meccaniche delle principali varietà di marmi commerciali portoghesi

Costituiti per la maggior parte da calcite (in alcuni casi fino al 99%), questi marmi sono molto apprezzati grazie alla loro variabilità cromatica, tessitura e lavorabilità, nonché per le caratteristiche fisico-meccaniche. I minerali accessori sono rari e generalmente sono inferiori al 5%. La loro composizione mineralogica può essere riassunta in Tabella 7.3.1.

| Mineral | % | Observations (36 samples) |
|---|---|---|
| Calcite | 90–100 | 27 samples >99% |
| Dolomite | 0–10 | Detect in 6 samples |
| Quartz | 0–2 | Detect in 34 samples |
| Muscovite/ Sericite | <1 | Detect in 14 samples |
| Biotite | Vest. | Detect in 2 samples |
| Felspars | Vest. | Detect in 2 samples |
| Turmaline | Vest. | Detect in 1 samples |
| Opaque minerals | <1 | Detect in 3 samples |

Tabella 7.3.1 – Composizione mineralogica generale dei marmi di Estremoz (adattata da Casal Moura et al., 2007). Vest. = diminutivo di *vestigios*, corrisponde alla presenza in tracce del minerale.

Il colore è dovuto principalmente ad alcuni elementi che si trovano nella quarta riga della tavola periodica (sottogruppo B) che vengono denominati cromofori. Il primo studioso a mettere in relazione il colore di questi marmi con la percentuale di cromofori presenti è stato Gomes da Silva nel 1989. In Tabella 7.3.2 vengono riportate alcune varietà commerciali di marmi dell'areale di Estremoz con la percentuale di elementi cromofori presenti.

| Element | Atomic number (Z) | COMMERCIAL MARBLE NAME | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Branco Vigária (White) ppm | Rosa Carrascal (Pink) ppm | Creme Vigária (Cream) ppm | Ruivina Escuro (Dark blue) ppm | Ruivina Raiado (Light blue) ppm |
| Ti | 22 | 117 | 393 | 127 | 197 | 255 |
| V | 23 | 6.0 | 7.9 | 6.6 | 7.8 | 12.5 |
| Cr | 24 | 4.5 | 14.0 | 11.0 | 8.0 | 22.3 |
| Mn | 25 | 68 | 88 | 61 | 81 | 17 |
| Fe | 26 | 350 | 1330 | 350 | 420 | 840 |
| Co | 27 | – | – | – | – | – |
| Ni | 28 | 3.6 | 7.2 | 2.6 | 3.9 | 5.7 |
| Cu | 29 | 6.6 | 5.1 | 7.2 | 8.0 | 8.01 |
| Zn | 30 | 21.4 | 23.2 | 19.6 | 23.3 | 22.5 |

Tabella 7.3.2 – Elementi cromofori (in ppm) presenti in alcuni marmi di Estremoz (Gomes da Silva, 1989).

Come si evince dalla tabella, ad eccezione dei marmi rosa, non si hanno differenze significative. Nei giacimenti, più ci si addentra in profondità e più il colore tende a cambiare da rosa a bianco crema. I colori

grigi e bluastri sono invece riconducibili alla presenza di materia organica. Le variazioni cromatiche sono quindi il risultato delle impurità presenti, nonostante che il minerale principale sia la calcite. A titolo di esempio, possiamo distinguere quattro gruppi o varietà cromatiche:

A. marmi bianchi - bianco crema generalmente con elevata purezza mineralogica e composizionale, in molti casi possono contenere più del 99% di calcite;
B. marmi situati al tetto della successione, con sfumature più scure (colori variabili dal nero al grigio, fino al bluastro) presentano generalmente un contenuto non trascurabile di materia organica in strati che occasionalmente sono di spessore centimetrico costituiti esclusivamente da minerali come la grafite (giacimenti di Salgadas, Monte da Lagoa e Fonte da Moura);
C. marmi rosa che hanno generalmente un contenuto considerevole in Ti, Mn e Fe (Tabella 7.3.2; Lopes e Martins, 2015);
D. marmi che solitamente presentano bande o venature con tonalità e composizione differente e fondo uniforme che formano pattern o "disegni" variabili e caratteristici. Le sottili venature derivano da livelli con maggior presenza di impurità mineralogiche. Il colore varia da diverse tonalità di verde (livelli ricchi in clorite, fuchsite, muscovite) ad un colore bianco-crema (livelli ricchi in sericite/muscovite e quarzo) fino a nero (livelli ricchi di materia organica).

La Fig. 7.3.1 mostra alcune varietà principali dei quattro gruppi sopradescritti.

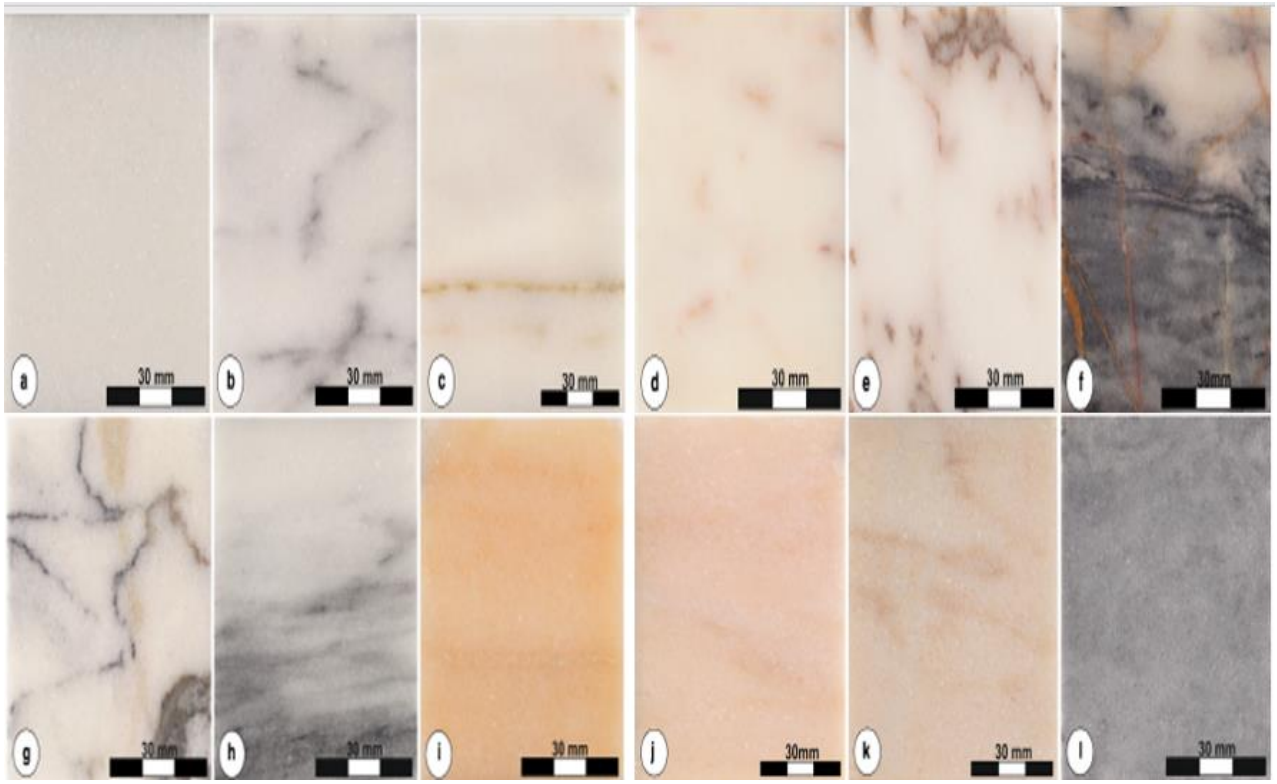



Fig. 7.3.1 – Aspetto macroscopico di alcune varietà merceologiche dei marmi di Estremoz: a) "Branco", b) "Branco Vergado", c) "Branco Estremoz", d) "Branco Anilado", e) "Creme Vergado", f) "Marinela", g) "Pele de Tigre", h) "Pele de Tigre", i) "Rosa Aurora", j) "Rosa Lagoa", k) "Rosa Estremoz", l) "Ruivina" (Menningen et al., 2018).

Nonostante la tipica tessitura saccaroide, la presenza occasionale/puntuale di minerali come biotite, muscovite, sericite e clorite conferisce a questi marmi una tessitura in parte foliata. Oltre ai minerali menzionati, altri minerali accessori possono essere quarzo (può superare il 2 %), feldspati e tormalina (presente in tracce). Raramente possiamo riscontrare la presenza di dolomite (Casamoura et al., 2007) che di consueto deriva dalla trasformazione di calcite primaria con assimilazione di magnesio nella struttura cristallina. Alcuni marmi presentano una grana da media a fine, con valori tra 0,5 e 1 mm, mentre in altri la dimensione della grana può variare da un minimo di 0,2 mm fino ad un massimo di 4 mm (Lapuente e Turi, 1995). Generalmente i marmi dell'areale estrattivo di Estremoz mostrano una struttura granoblastica, cioè composta da cristalli di calcite equidimensionali senza orientazione preferenziale; tuttavia, in alcuni casi questa orientazione preferenziale può essere presente (già nei blocchi si possono riscontrare quelle che dagli addetti ai lavori sono conosciute come vene del marmo o vene di corrosione; Fig. 7.3.2).



Fig. 7.3.2 – Blocchi presenti nella cava di Pardais, Vila Viçosa. In rosso le venature-fratture denominate vene del marmo o vene di corrosione.

L'orientazione di queste venature viene sfruttata al fine di ricavare blocchi e lastre per avere uno scarto più basso possibile. Il taglio nei blocchi può essere al contro o al verso, rispettivamente perpendicolare o parallelo all'orientazione delle venature. La resistenza al taglio nelle due direzioni è differente, e la loro conoscenza è fondamentale al fine di ottenere blocchi commercialmente più pregiati. Per quanto concerne le caratteristiche fisico-meccaniche dei marmi portoghesi (Tabella 7.3.3), analizzando i valori e mettendoli in relazione con altri marmi di provenienza internazionale (Italia, Turchia, Cina, Brasile), notiamo che ad esempio, i dati relativi al carico di rottura a compressione dopo cicli di gelività sono abbastanza simili, ad eccezione con alcuni marmi come il "Bianco Carrara", "Imperial Pink "(Brasile) o "Salomè" (Turchia), che presentano invece valori più elevati rispetto ai marmi portoghesi. Per quanto riguarda invece i valori di resistenza alla flessione, nei marmi portoghesi sono stati riscontrati valori compresi tra 179 e 256 kg/cm$^2$.

| MARMI PORTOGHESI | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tipo | Località | Carico di rottura a compressione kg/cm$^2$ | Carico di rottura a compressione dopo cicli di gelività kg/cm$^2$ | Resistenza alla flessione kg/cm$^2$ | Peso di unità di volume kg/m$^3$ | MARMI DI ESTREMOZ |
| | | UNI EN 1926 | UNI EN 12371 | UNI EN 12372 | UNI EN 1936 | |
| Branco Estatuaria | Vila Viçosa, Pardais,Lagoa | 788 | 895 | 208 | 2709 | |
| Branco | Vila Viçosa, Bencatel,Vigaria | 967 | 933 | 208 | 2713 | |
| Branco Rosado | Estremoz, Sta. Maria, Cerca de Sto Antonio | 970 | 950 | 243 | 2718 | |
| Creme Venado | Borba, S. Tiago de Rio de Moinhos, | 990 | 863 | 238 | 2713 | |
| Rosa Aurora | Herdade do Mouro Vila Viçosa, Bencatel,Santos | 872 | 950 | 179 | 2717 | |
| Ruivina Escuro | Borba, S. Tiago de Rio de Moinhos, Ruivina | 930 | 952 | 270 | 2715 | |
| Ruivina da Fonte da Moura | Vila Viçosa, Pardais, Fonte da Moura | 863 | 977 | 256 | 2703 | |
| **MARMI DI PROVENIENZA INTERNAZIONALE** | | | | | | |
| Afyon Pelle di Tigre | Turchia | 648 | 447 | 65 | 2710 | |
| Bianco Afyon | Turchia | 701 | 590 | 151 | 2730 | |
| Bianco Carrara C | Italia | 1209 | 1181 | 174 | 2688 | |
| Calacatta Bianco | Italia | 844 | 959 | | 2674 | |
| Cipollino greco | Grecia | 965 | | 155 | 2705 | |
| Rosa imperiale | Brasile | 1199 | 1182 | 184 | 2732 | |
| Mystique Dark | Cina | 833 | | 838 | 2693 | |
| Salome | Turchia | 1019 | 1019 | 174 | 2730 | |
| Thassos Saliara Snow White | Grecia | 971 | | 185 | 2880 | |
| Villa Grey | Cina | 898 | | 756 | 2820 | |

Tabella 7.3.3 – Tabella di confronto dei parametri fisico-meccanici dei marmi portoghesi con marmi di provenienza internazionale (Lopes e Martins, 2015)

## 7.4 Attività estrattiva, reperibilità e disponibilità dei giacimenti

I marmi di Estremoz sono stati utilizzati sin dai tempi dell'antica Roma, e ciò è testimoniato dalla presenza di numerose opere architettoniche rimaste intatte sino ai giorni nostri. Secondo alcuni autori (Fusco e Manas, 2006), l'utilizzo del marmo nell'impero romano esplose con l'imperatore Augusto (dal 27 a.C. al 14 d.C.), e nel caso dei marmi di Estremoz, nella prima metà del I secolo d.C., poco dopo l'istituzione della provincia di Lusitania, a causa della necessità di materiali per la costruzione di *Augusta Emerita*, l'attuale Merida (Fig. 7.4.1) e di altre città della Lusitania.



Fig. 7.4.1 – L'antica *Augusta Emerita*, attuale Merida, con le colonne in marmo "Ruivina" proveniente dall'areale di Estremoz.

L'anticlinale di Estremoz divenne quindi la principale area di provenienza della provincia grazie alle numerose varietà di marmo presenti: dai marmi bianchi ai rosa, fino alle varietà "Vergados" e "Ruivina". L'attività estrattiva oltre a rappresentare un'importante risorsa, fece crescere la popolazione circostante ed incrementò notevolmente lo sviluppo sociale ed economico. Nell'antica Roma, la conoscenza delle caratteristiche intrinseche del marmo era probabilmente una parte fondamentale per lo sfruttamento di questo materiale. L'intero areale estrattivo infatti è costituito da diverse famiglie di fratture (Lopes e Gonçalves, 1997) che, oltre a funzionare come anisotropie, ne facilitano l'estrazione dei blocchi e sono in grado di potenziare anche la circolazione dell'acqua all'interno del substrato roccioso. In questo modo, i marmi, a contatto con l'acqua piovana (acque acide a causa della presenza di acido carbonico in soluzione) vengono attaccati per dissoluzione. L'azione prolungata di questo processo crea una serie di morfologie che aumentano la spaziatura tra le pareti delle fratture, generando una serie di depressioni con diverse forme, che possono raggiungere alcuni metri di profondità. Anche altri piani di anisotropie come i piani di foliazione menzionati precedentemente, costituiscono canali preferenziali di circolazione di fluidi, facilitando ulteriormente la dissoluzione. Questo processo dà quindi origine ad ambienti carsici, tipici delle regioni calcaree. La dissoluzione, intesa come processo, produce un concentrato di argilla rossastra composto da sostanze insolubili conosciuto nella regione dell'Alentejo come *terra rossa*: questo materiale, oltre a riempire

lo spazio delle depressioni carsiche è diventato oggi anche un sottoprodotto dell'industria del marmo, utilizzato sin dai romani nella produzione di ceramica. Quanto detto fino adesso può essere riassunto in Fig. 7.4.2.

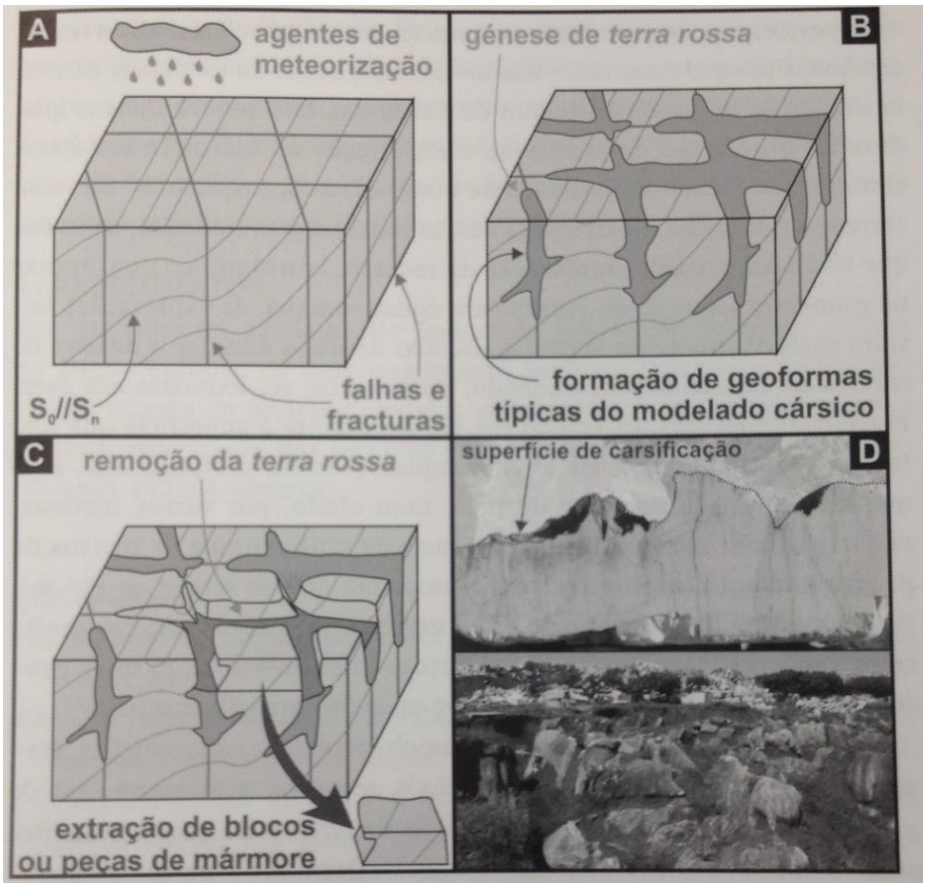



Fig. 7.4.2 – Rappresentazione schematica del processo carsico che ha favorito lo sfruttamento dei marmi in epoca romana (A, B, C, D).

Durante i periodi di esplorazione dei marmi, oltre alla ricercata qualità del materiale, gli antichi cavatori avrebbero anche tenuto conto dell'esistenza di queste anisotropie naturali, che probabilmente facilitarono l'estrazione dei blocchi che era per lo più superficiale, non oltre una decina di metri di profondità. In altre parole, le risorse in quel periodo erano così abbondanti che non era necessario sfruttare gli affioramenti fino ad arrivare in profondità, a differenza di quanto accade oggi. Le cave ora raggiungono oltre centro metri di profondità (fino a 150 metri). Tuttavia, la risorsa è ben lontana dall'essere esaurita: secondo alcune stime molto prudenti, considerando esplorazioni inferiori ai 100 metri di profondità, il materiale potrà essere estratto continuamente per i prossimi 500 anni (Lopes e Martins, 2015). Nelle figure seguenti (Fig. 7.4.3, 7.4.4, 7.4.5, 7.4.6, 7.4.7, 7.4.8 a,b,c,d) viene mostrato, tramite una sezione geologica ed alcune fotografie, l'areale estrattivo della località Pardais, vicino a Vila Viçosa.

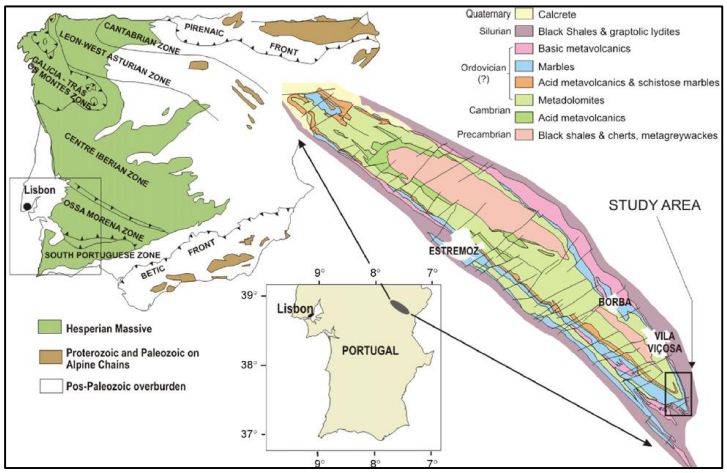



Fig. 7.4.3 – Anticlinale di Estremoz, in basso a destra nel riquadro in nero le cave visitate ed oggetto di studio (Carvalho et al., 2008).

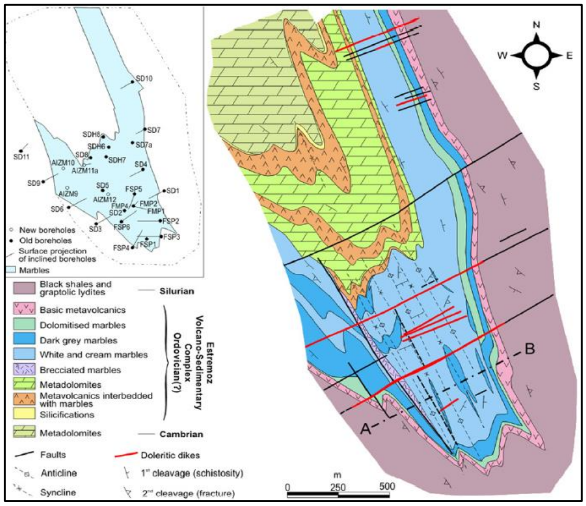



Fig. 7.4.4 – Mappa geologica di Pardais (Henrique et al., 2006).

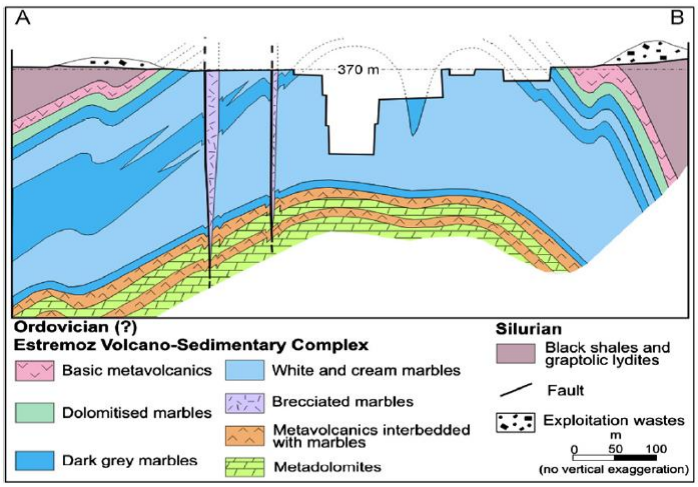



Fig. 7.4.5 – Profilo geologico di Pardais tra i punti A e B della Fig. 7.10.




Fig. 7.4.6 – Areale estrattivo di Vila Viçosa (Google Maps). Cerchiato in rosso l'areale estrattivo di Pardais.




Fig. 7.4.7 – Cave di Pardais (Google Maps). Le frecce in rosso indicano le cave, mentre in blu il percorso effettuato durante un sopralluogo dell'areale.

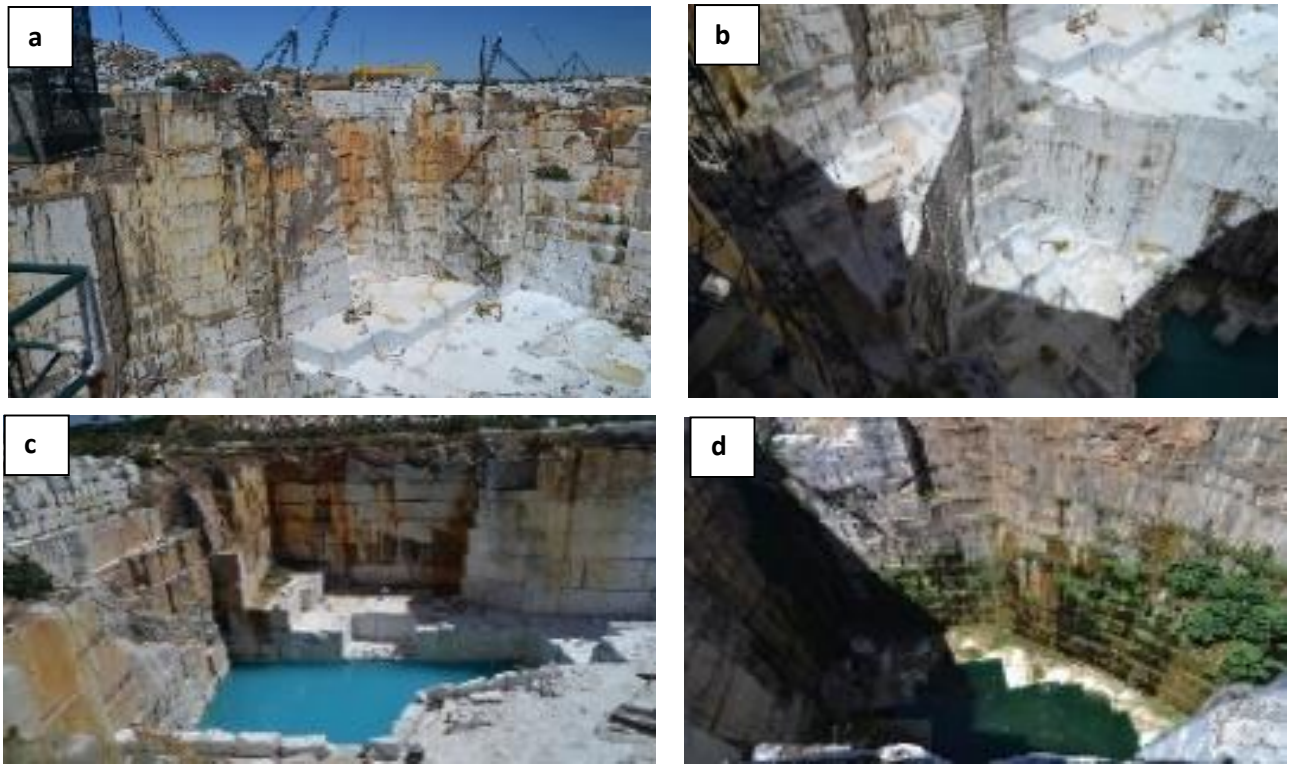



Fig. 7.4.8 a,b,c,d– Cave di Pardais presso Vila Viçosa

Attualmente le prime fasi per l'estrazione dei blocchi prevedono:

- una fase iniziale di rimozione della terra rossa che si trova al di sopra del substrato roccioso, in modo da lasciare le forme di superficie irregolari;
- una fase di estrazione inziale in cui gli operatori identificano i piani di eterogeneità della massa rocciosa, procedendo alla loro estrazione;
- una fase di estrazione della risorsa marmifera, con trasformazione dai blocchi in lastre eseguita *in situ*.

La topografia pianeggiante ha portato allo sviluppo delle cave in fossa. I primi venti metri sono costituita da rocce superficiali alterate che devono essere rimosse prima di raggiungere i livelli produttivi sottostanti. Lo studio della geometria dei banchi ed un attento adeguamento dei metodi e dei mezzi di lavorazione permettono di seguire le varie falde di diverso colore ed ottenere così dei blocchi di marmo di colore omogeneo. La rigorosa gestione della materia prima consente, inoltre, di assicurare la disponibilità e la continuità del marmo necessario, anche nei progetti architettonici più impegnativi che notoriamente richiedono grandi quantità con costanza di colore.

## 7.5 Considerazioni

I marmi estratti nell'areale di Estremoz possono essere utilizzati per la realizzazione di pavimenti, rivestimenti, complementi di arredo come tavoli, mobili e manufatti. Sono marmi costituiti da una grana da fine a media, facilmente lavorabili, dotati di buone proprietà fisico-meccaniche, ma che allo stesso tempo, presentano una serie di fratture dovute alla loro genesi. Grazie ai numerosi studi degli ultimi decenni, si è scoperto che i giacimenti hanno una buona disponibilità, che le numerose industrie marmifere stanno cercando di sfruttare nel migliore dei modi, per avere un minor scarto possibile ed una resa dei blocchi migliore. L'idea di approfondire e studiare questi materiali lapidei nasce dal fatto che l'azienda S2 S.p.a. fino ad oggi non ha mai messo in produzione marmi portoghesi. Analizzando le proprietà estetiche e tecniche, oltre alle caratteristiche petrografiche e cercando di individuare i migliori fornitori ed i marmi che hanno maggior reperibilità, l'azienda in un prossimo futuro potrebbe decidere di utilizzare i marmi portoghesi per produrre tavoli ed altri complementi di arredo.

# 8. Studio per l'ottimizzazione degli scarti di lavorazione

In questo capitolo viene descritto uno studio riguardante l'ottimizzazione degli scarti di lavorazione dei "marmi" impiegati da S2 S.p.a. ed il loro possibile utilizzo. Lo studio è stato svolto su richiesta specifica dell'azienda. Grazie al software GEST_MARMI, utilizzato per l'identificazione delle lastre, è possibile monitorare e quantificare anche lo scarto di ogni singola lastra e quindi di ogni blocco, come mostrato in Fig. 8.1. Le lastre sono contrassegnate ognuna da un proprio numero identificativo progressivo e da un proprio codice a barre (Fig. 8.2).

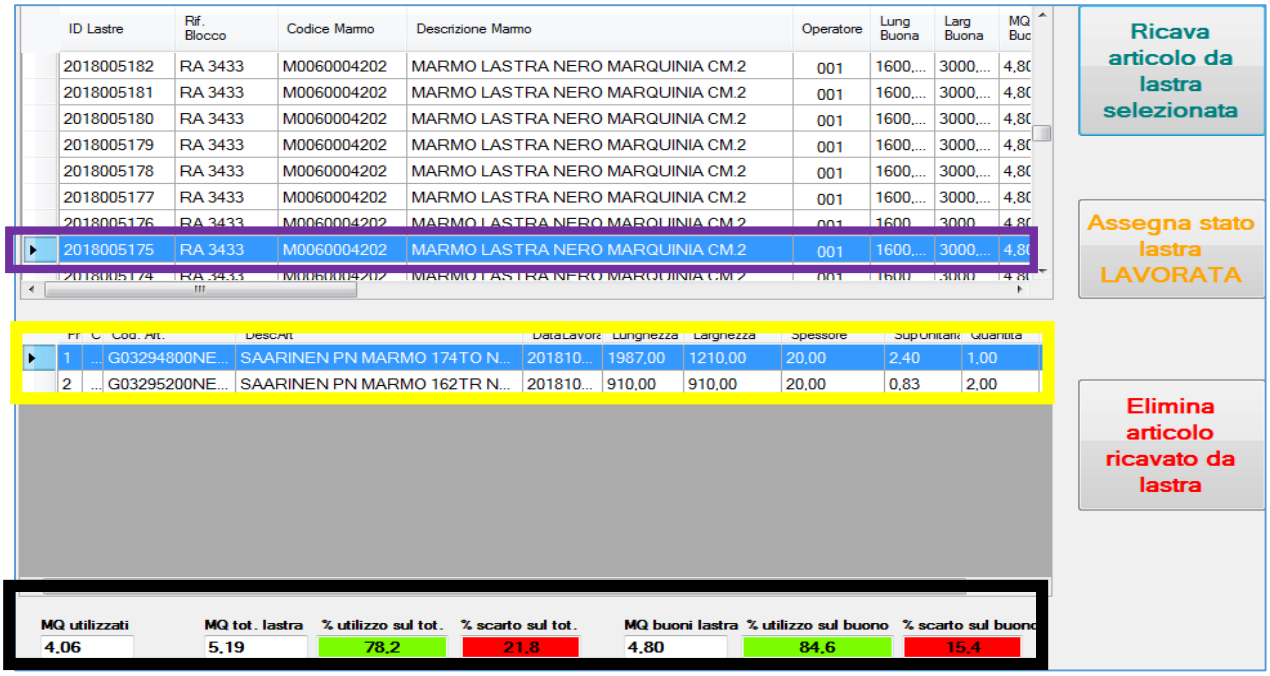



Fig. 8.1 – Utilizzo del software GEST_MARMI per monitorare lo scarto delle lastre. Riquadro in viola: lastra sezionata con numero identificativo progressivo ID, nome/numero del blocco, codice del materiale lapideo e misure di acquisto; riquadro in giallo: modelli e quantità dei tavoli ricavati; riquadro in nero: utilizzo della superficie della lastra e scarto espressi in percentuale, sia sui $m^2$ totali sia sulla superficie di acquisto.




Fig. 8.2 – Alcune lastre pronte per essere sezionate con i rispettivi numeri identificativi progressivi.

L'inserimento nel software GEST_MARMI dei piani ricavati da ogni lastra, al fine di quantificare lo scarto, avviene durante la fase di sezionatura. L'utilizzo di ogni lastra viene ottimizzato al fine di avere uno scarto più basso possibile, come mostrato per esempio in Fig. 8.3.



Fig. 8.3 - Esempio di ottimizzazione di una lastra di "Arabescato Vagli"; in nero i piani ricavabili. Misura della lastra 1700x2400 mm.

Lo scarto inteso sia sulla superficie totale che sulla superficie acquistata, viene quantificato secondo la seguente equazione:

$$Scarto = \frac{Area\ totale - \ Area\ sezionata}{Area\ sezionata}$$

Il risultato ottenuto viene poi moltiplicato per 100 al fine di esprimere il valore in percentuale.

La percentuale di scarto dipende da numerosi fattori:

- dalle sessioni di collaudo, ovvero da come viene acquistato un materiale. Le diverse tipologie di acquisto descritte nel Capitolo 3 determinano uno scarto differente, sia sulla superficie totale che sui $m^2$ acquistati;
- dai modelli e dimensioni dei tavoli, che ovviamente non sono identici per tutti i materiali. Per esempio, un marmo come il "Calacatta Venato" viene utilizzato per differenti tipologie di tavoli (con misure da un minimo di 300 mm ad un massimo di 1900 mm di diametro e fino a 3000 mm di lunghezza), mentre per il "Travertino contro falda" vengono prodotti soltanto tavoli compresi tra 352 mm di diametro e 902x902 mm. La scelta del materiale durante le fasi di collaudo (in base agli ordini dei committenti per un corretto approvvigionamento) dovrà considerare anche questo aspetto;
- dalla scelta più appropriata delle lastre durante la produzione, ovvero saper selezionare ed utilizzare una certa tipologia di lastre al posto di altre che, oltre a rispecchiare i criteri estetici previsti, deve fornire uno scarto il più basso possibile.

In base a queste considerazioni le dimensioni degli scarti saranno quindi molto variabili.

Ora descriveremo qualche esempio di calcolo dello scarto per alcuni blocchi acquistati da S2 S.p.a.

**Esempio nr.1 – Blocco di "Arabescato Vagli"**

Questo blocco è costituito da 36 lastre di dimensioni 1030x1600 mm, il cui aspetto macroscopico è visibile in Fig. 8.4. La superficie di acquisto delle lastre coincide con la superficie totale ed è pari a 1,65 $m^2$ (Tabella 8.1). Da ogni lastra sono stati ricavati due modelli di piani di forma rotonda, le cui dimensioni ed aree di quadratura sono visibili in Tabella 8.2. In questo caso, in ogni lastra lo scarto medio è stato del 22,2%, utilizzando una superficie di 1,35 $m^2$ su 1,65 $m^2$.

| Nr. Lastre sezionate | Superficie media delle lastre ($m^2$) | Superficie media utilizzata delle lastre ($m^2$) | Scarto medio |
|---|---|---|---|
| Dalla 1 alla 36 | 1,65 | 1,35 | 22,2% |

Tabella 8.1 – Superficie delle lastre (espresse in $m^2$) e scarto (espresso in %) del blocco di "Arabescato Vagli" costituito da 36 lastre.

| Diametro dei piani ∅ (mm) | Area di quadratura ($m^2$) |
|---|---|
| 910 | 0,83 |
| 510 | 0,26 |

Tabella 8.2 – Misure dei piani di forma rotonda ricavati da ogni lastra del blocco di "Arabescato Vagli" descritti nell'esempio nr. 1.



Fig. 8.4 – Aspetto macroscopico del blocco di "Arabescato Vagli" costituito da 36 lastre su cui è stato calcolato lo scarto; in questo blocco tutte le lastre mostravano più o meno lo stesso "disegno". Misura della lastra: 100X1400 mm.

Lo scarto di questo blocco è da considerare relativamente basso, anche perché non è stato possibile ricavare altri modelli di tavoli.

**Esempio nr.2 - Blocco di "Dark Emperador"**

Questo blocco è costituito da 41 lastre. I dati delle misure totali e di acquisto, insieme al valore dello scarto, sono mostrati in Tabella 8.3. Di questo blocco sono state sezionate tutte le lastre. I piani ricavati con le rispettive misure sono riportati in Tabella 8.4. In Fig. 8.5 si riporta la procedura di ottimizzazione della lastra durante la fase di sezionatura.

| Nr. lastre utilizzate | Media superficie totale delle lastre ($m^2$) | Media superficie acquistata delle lastre ($m^2$) | Superficie media utilizzata delle lastre ($m^2$) | Scarto medio sulla superficie d'acquisto | Scarto medio sulla superficie totale |
|---|---|---|---|---|---|
| Dalla 1 alla 41 | 4,8 | 4,4 | 3,85 | 15% | 25% |

Tabella 8.3 – Media delle misure di acquisto e totali con rispettive percentuali di scarto del blocco di "Dark Emperador".

| **Dimensioni (mm)** | 600 (Ø) | 1000 (Ø) | 900 (Ø) | 450 (Ø) | 510 (Ø) | 410 (Ø) | 1100 X 420 | 2400 X 520 | 1200 X 1200 | 2000 X 1200 | 2500 X 1400 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Nr. piani** | 20 | 3 | 21 | 14 | 31 | 10 | 16 | 5 | 5 | 5 | 25 |

Tabella 8.4 – Piani ricavati da un blocco di "Dark Emperador" costituito da 41 lastre.



Fig. 8.5 – Ottimizzazione di una lastra di "Dark Emperador" durante la fase di sezionatura. Misura della lastra: 2600x1600 mm.

In questo caso lo scarto risulta essere buono se si considera la superficie di acquisto. Se si dovesse esaminare lo scarto per la superficie totale, siamo comunque al di sotto di un valore del 30%, che è il valore limite considerato accettabile da parte dell'azienda S2 S.p.a.

**Esempio nr.3 - Blocco di "Rosso Rubino Venato" o "Rosso Levanto"**

Questo blocco è costituito da 27 lastre, le cui misure di acquisto sono leggermente inferiori alle misure totali. Entrambe sono indicate in Tabella 8.5 insieme alle percentuali dello scarto mentre in Tabella 8.6 sono indicate le dimensioni e le quantità dei piani ricavati.

| Nr. lastre utilizzate | Media superficie totale delle lastre ($m^2$) | Media superficie acquistata delle lastre ($m^2$) | Superficie media utilizzata delle lastre ($m^2$) | Scarto medio sulla superficie d'acquisto | Scarto medio sulla superficie totale |
|---|---|---|---|---|---|
| Dalla 1 alla 27 | 4,9 | 4,6 | 3,9 | 17% | 25% |

Tabella 8.5 – Media delle misure di acquisto e totali con rispettive percentuali di scarto del blocco di "Rosso Rubino Venato" o "Rosso Levanto".

| **Dimensioni (mm)** | 600 (Ø) | 1370 (Ø) | 830 (Ø) | 1200 (Ø) | 510 (Ø) | 410 (Ø) | 910 (Ø) | 2400 X 900 | 1070 (Ø) | 1070 X 700 | 570 X 380 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Nr. piani** | 5 | 5 | 5 | 15 | 10 | 10 | 7 | 14 | 5 | 6 | 16 |

Tabella 8.6 – Piani ricavati da un blocco di "Rosso Rubino Venato" o "Rosso Levanto".

Anche in questo caso il valore di scarto ottenuto è da considerarsi abbastanza soddisfacente sia in termini di superficie di acquisto che di superficie totale (rispettivamente 17 e 25%).

Questi esempi riguardanti il calcolo della percentuale di scarto per diverse tipologie di "marmi" messi in produzione da S2 S.p.a., illustrano quelli che possono essere i fattori che influenzano maggiormente i residui (o "sfridi") di materiale lapideo, che non possono essere riutilizzati per la produzione di tavoli a causa delle ridotte dimensioni. Gli scarti di lavorazione rappresentano da sempre un problema per numerose aziende operanti in questo settore. Nel corso degli ultimi anni però, alcune hanno iniziato a creare prodotti proprio a partire da questi residui, limitando in questo modo i costi di smaltimento. Start-up innovative che utilizzano scarti come la polvere di marmo, prodotta durante le lavorazioni per creare mattoni per l'edilizia, o altre ancora che producono tavoli direttamente assemblando gli scarti di lavorazione (Fig. 8.6 a). In Figura 8.6 a,b,c,d,e,f,g,h,i,l,m,n,o,p,q,r sono riportati alcuni possibili impieghi degli scarti di lavorazione dei "marmi" generati da S2 S.p.a. Oltre a tavoli creati riassemblando gli scarti, possono essere prodotti occhiali, oggettistica varia come caricatori wi-fi, posaceneri, cover per cellulari, penne, anelli, fino ad intarsi per mosaici od altri piccoli complementi di arredo, ecc. Questo studio può essere considerato quindi come un punto di partenza da parte dell'azienda per future valutazioni e possibili scenari di re-impiego degli scarti di produzione.

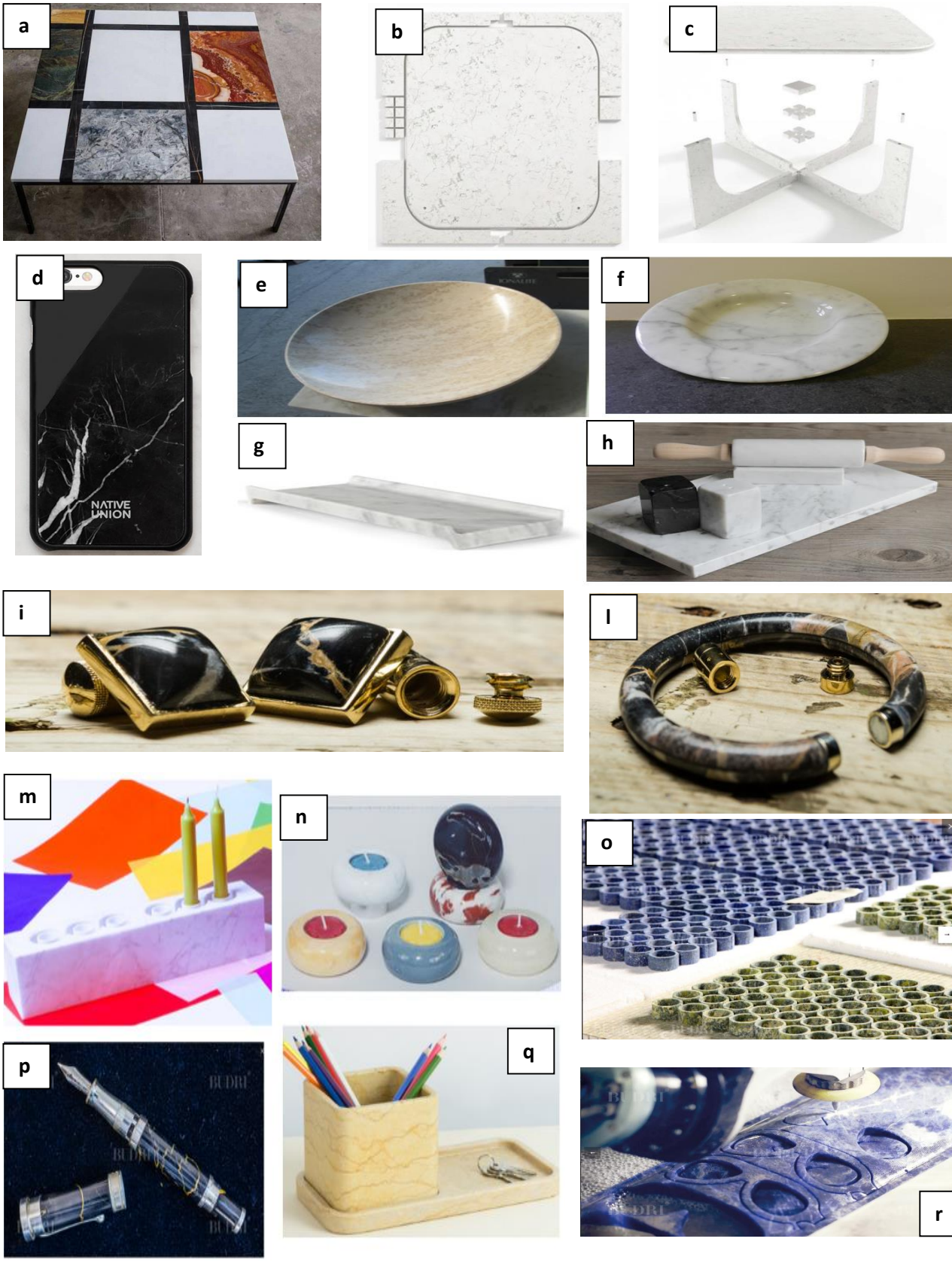



Fig. 8.6 Possibile utilizzo di scarti di lavorazione: (a,b,c) tavoli prodotti e derivanti da scarti di lavorazione; (d) cover per telefoni; (e,f) piatti; (g,h) taglieri; (i) orecchini; (l) bracciali; (m,n) portacandele; (o) anelli; (p) penne; (q) contenitori per matite; (r) occhiali.

# 9. Materiali artificiali impiegati come supporto ai piani di “marmo” o come materiale innovativo ultra alleggerito

L’azienda S2 S.p.a., per un proficuo utilizzo dei “marmi”, impiega alcuni materiali artificiali come supporto ai piani lavorati come ad esempio supporti in gres porcellanato (Laminam) e supporti in carta laminata High Pressure Laminate (HPL). In via sperimentale sono stati analizzati anche materiali innovativi ultra alleggeriti costituiti da supporti in poliestere e fibre di vetro unite ad un sottile strato di pietra naturale (Flex Stone).
Il Laminam è un materiale composto da gres porcellanato fornito in lastre, che oltre ad essere caratterizzate da uno spessore ridotto, sono utilizzate per rivestimenti e pavimentazioni esterne grazie alle buone proprietà fisico-meccaniche. Questo materiale è resistente alle sollecitazioni più estreme, inattaccabile dagli agenti atmosferici, inalterabile ai raggi UV e mostra elevate prestazioni anti-macchia e anti-graffio, oltre ad essere molto sottile e leggero. Su provini costituiti da Laminam e strato di “marmo” incollato, sono state eseguite prove fisico-meccaniche (test di resistenza alla flessione).
L’HPL è invece un materiale formato da strati di carta Kraft impregnata con resine termoindurenti e da uno o più strati superficiali di carta decorativa impregnata con resine aminoplastiche, successivamente pressati. Sono state eseguite prove di resistenza alla flessione su provini di materiali lapidei con incollati supporti in HPL. L’obiettivo delle analisi fisico-meccaniche è stato appunto quello di valutare se e in quale modo l’applicazione di ognuno di questi supporti potesse migliorare le prestazioni di resistenza alla flessione dei materiali. I risultati delle prove ed alcune considerazioni sono illustrati nei paragrafi successivi.
Per le Flex Stone, oltre a reperire informazioni su siti di carattere commerciale, è stato eseguito uno studio al microscopio binoculare ed al microscopio ottico a luce polarizzata, al fine di riconoscere le fasi mineralogiche che costituiscono il supporto roccioso.

## 9.1 Laminam

Le dimensioni standard delle lastre di Laminam disponibili in commercio sono 1x3 metri con 3 mm circa di spessore. Esistono qualità di Laminam differenti a seconda della diversa composizione del gres porcellanato. Sono state eseguite prove di resistenza alla flessione su provini di 3 materiali lapidei con spessore di circa 20 mm (“Calacatta Venato”, “Nero Marquinia”, “Sahara Noir”) su cui sono state incollate lastre di Laminam di 3 mm di spessore. L’incollaggio del “marmo” ai supporti in Laminam avviene tramite i seguenti procedimenti:

- selezione della lastra di Laminam appropriata e sezionatura con misure che devono essere uguali o leggermente maggiori di quelle della lastra di “marmo”;
- sistemazione in un carrello ribaltabile della lastra di Laminam, su cui viene spalmata una miscela costituita da colla e catalizzatore, necessaria per l’incollaggio con la lastra di “marmo”;
- tramite il carrello ribaltabile, la lastra di “marmo” viene posizionata e fatta aderire sopra la lastra di Laminam;

- la lastra di “marmo” e il supporto di Laminam vengono posizionati per la pressatura per un minimo di 2-3 ore, dopodiché è necessario aspettare circa 12 ore affinché la lastra sia pronta per l’utilizzo.

I campioni utilizzati per le prove di resistenza alla flessione costituiti da “marmo” e supporto in Laminam sono stati:

- Nr. 3 provini di “Calacatta Venato”
- Nr. 5 provini di “Sahara Noir”
- Nr. 3 provini di “Nero Marquinia”.

In tutte le prove si è notato un miglioramento dei risultati di resistenza alla flessione (Tabella 9.1), fino a 3 volte superiore rispetto ai risultati delle prove eseguite su provini di “marmo” tal quale. Il “Calacatta Venato” con Laminam (Fig. 9.1.1) presenta valori compresi tra 252 e 357 kg/cm$^2$, mentre per il “Nero Marquinia” con Laminam sono stati riscontrati valori compresi tra 338 e 380 kg/cm$^2$. I valori di resistenza alla flessione riscontrati su provini senza Laminam per questi “marmi” sono stati rispettivamente di circa 136 e 125 kg/cm$^2$. Anche le prove eseguite su provini di “Sahara Noir” con Laminam presentano buoni risultati, con valori compresi tra 236 e 384 kg/cm$^2$ contro i valori di resistenza alla flessione su provini senza Laminam compresi tra 92 a 136 kg/cm$^2$ circa. In particolare il valore più elevato è stato registrato su provini imbevuti di resina epossidica durante le operazioni di sottovuoto del blocco. Sulla base dei risultati, possiamo dedurre che il supporto in Laminam contribuisce positivamente nel migliorare la resistenza alla flessione dei piani.

| CAMPIONE | MATERIALE | l (mm) | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|---|---|
| C1 | "Calacatta Venato" | 142 | 38 | 24 | 252,04 |
| C2 | | 135 | 37 | 24 | 356,31 |
| C3 | | 135 | 37 | 24 | 357,26 |
| **Media** | **"Calacatta Venato"** | 137,33 | 37,33 | 24 | **321,87** |
| Deviazione Standard | | 4,04 | 0,58 | 0 | 60,48 |
| C1 | "Sahara Noir" | 140 | 74 | 24 | 334,04 |
| C2 | | 140 | 62 | 23 | 384,17 |
| C3 | | 140 | 71 | 23 | 307,52 |
| C4 | | 140 | 70 | 23 | 266,54 |
| C5 | | 140 | 74 | 24 | 236,49 |
| **Media** | **"Sahara Noir"** | 140 | 70,20 | 23,40 | **305,75** |
| Deviazione Standard | | 0 | 4,40 | 0,49 | 51,55 |
| C1 | "Nero Marquinia" | 140 | 55 | 22 | 382,61 |
| C2 | | 140 | 55 | 22 | 338,43 |
| C3 | | 140 | 55 | 22 | 370,77 |
| **Media** | **"Nero Marquinia"** | 140 | 55,00 | 22,00 | **363,94** |
| Deviazione Standard | | 0 | 0 | 0 | 22,87 |

Tabella 9.1.1 – Risultati delle prove di resistenza alla flessione su campioni costituiti da “marmo” con supporto in Laminam.

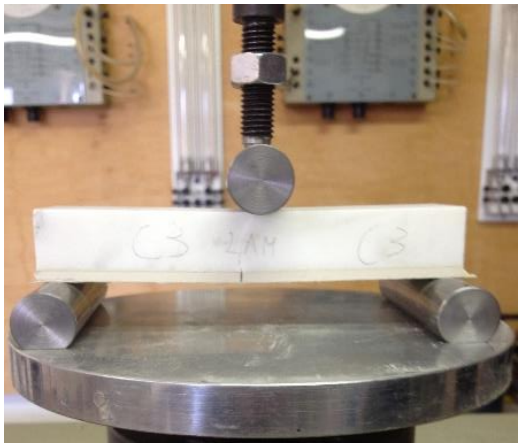


Fig. 9.1.1 – Provino di “Calacatta Venato” con supporto in Laminam durante l’esecuzione delle prove di resistenza alla flessione.

## 9.2 High Pressure Laminate (HPL)

L’HPL è un materiale costituito da strati di carta Kraft impregnata con resine termoindurenti e da uno o più strati superficiali di carta decorativa impregnata con resine aminoplastiche e successivamente pressati. Questo materiale è stato utilizzato come sottopiano per alcuni “marmi” caratterizzati da proprietà fisico-meccaniche scadenti come il “Sahara Noir”. Il sottopiano in HPL viene incollato durante le lavorazioni di rifinitura manuale tramite una colla poliuretanica con tempo di fissaggio rapido di 6 minuti. I due modelli dei piani in “marmo” utilizzati hanno dimensioni di 2440x1370 mm e di 1980x1210 mm e su di essi sono stati incollati sottopiani di HPL rispettivamente di dimensioni di 2320x1240 mm e di 1860x1090 mm. Gli spessori dei piani in marmo sono di circa 20 mm, mentre l’HPL presenta uno spessore di 14 mm. La forma dei piani in “marmo” e del sottopiano è ellittica, mentre il basamento è a calice (Fig. 9.2.1).



Fig. 9.2.1 – Tavolo di forma ellittica con basamento a calice.

Dopo l’incollaggio del sottopiano, durante le successive fasi di lavorazione, si sono verificate numerose rotture sui piani principalmente lungo la direzione parallela all’asse minore dell’ellisse (Fig. 9.2.2)

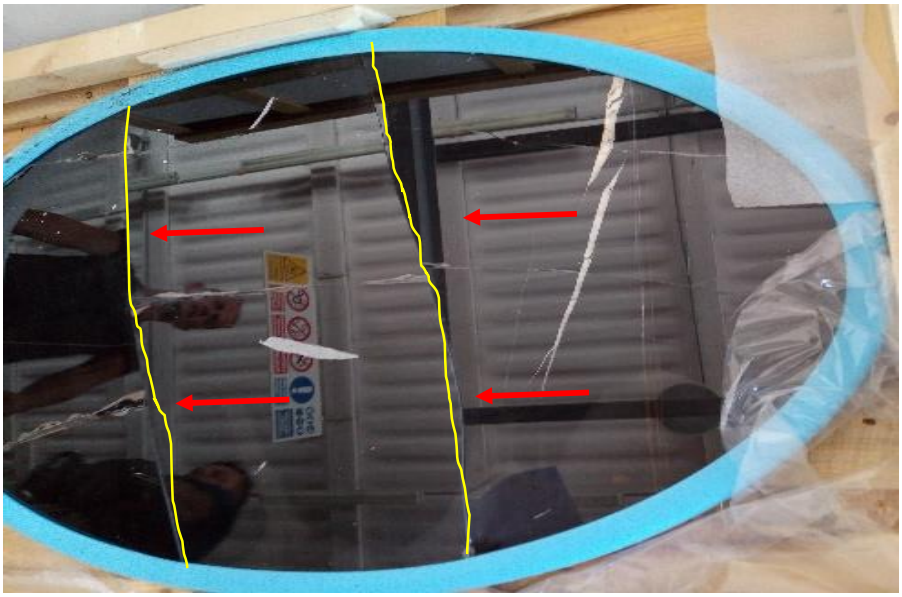


Fig. 9.2.2 – Rotture avvenute nei tavoli di forma ellittica dopo l'incollaggio del sottopiano in HPL.

Al fine di verificare le caratteristiche fisico-meccaniche, sono state eseguite prove di resistenza alla flessione su nr. 5 provini di HPL e su nr. 5 provini costituiti da "Sahara Noir" e HPL incollato (Fig. 9.2.3). I risultati sono visibili nelle Tabella 9.2.1 e Tabella 9.2.2.

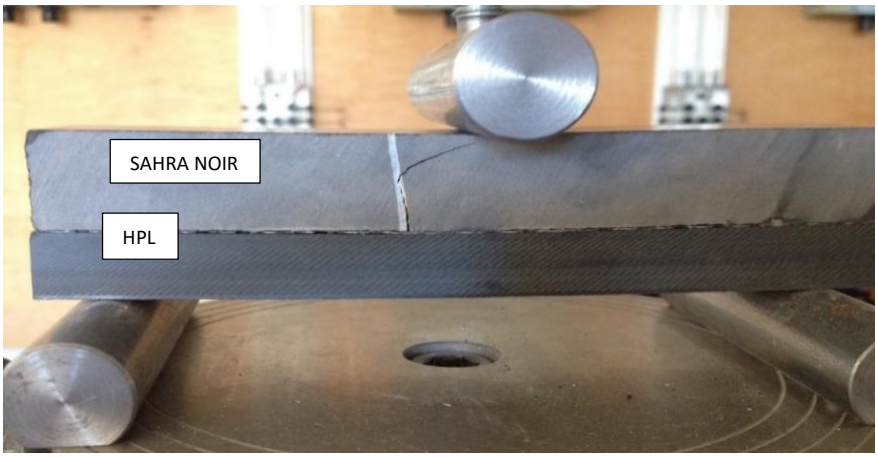



Fig. 9.2.3 – Esempio di rottura dei provini di "Sahara Noir"+ HPL durante le prove di resistenza alla flessione.

| CAMPIONE | MATERIALE | l (mm) | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|---|---|
| c1 | HPL | 120 | 23 | 14 | 951,84 |
| c2 | | 120 | 23 | 14 | 1179,03 |
| c3 | | 120 | 23 | 14 | 1057,60 |
| c4 | | 120 | 23 | 14 | 1096,77 |
| c5 | | 120 | 23 | 14 | 1077,19 |
| **Media** | | | | | **1072,48** |
| Deviazione Standard | | | | | 81,76 |

Tabella 9.2.1 – Risultati delle prove di flessione su provini di HPL.

| CAMPIONE | MATERIALE | l (mm) | b (mm) | h (mm) | $R_f$ (Kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|---|---|
| **c1** | "Sahara Noir" + HPL | 120 | 31 | 33 | 60,68 |
| **c2** | | 120 | 30 | 33 | 50,27 |
| **c3** | | 120 | 31 | 33 | 54,40 |
| **c4** | | 120 | 30 | 33 | 59,45 |
| **c5** | | 120 | 30 | 33 | 62,16 |
| **Media** | | 120 | 30,40 | 33 | **57,39** |
| Deviazione Standard | | 0 | 0,55 | 0 | 4,94 |

Tabella 9.2.2 – Risultati delle prove di flessione su provini costituiti da "Sahara Noir" con incollato HPL. I numeri i in rosso indicano i valori di rottura solamente del "Sahara Noir" dato che in questi casi il supporto in HPL non si è rotto.

Sulla base dei risultati delle prove possiamo concludere che:

- il composto HPL presenta un'ottima resistenza alla flessione, con valori compresi tra 951 e 1179 Kg/cm$^2$; i valori di resistenza alla flessione presenti nelle schede tecniche di questo prodotto sono quindi confermati dai nostri tests;
- i provini di "Sahara Noir" con incollato l'HPL come sottopiano non hanno fornito valori di resistenza alla flessione migliori rispetto ai provini senza sottopiano, con un range compreso tra 50 e 62 kg/cm$^2$; questo aspetto può essere dovuto al fatto che il composto laminato non aderisce perfettamente al materiale lapideo (viene incollato durante le operazioni di rifinitura manuale utilizzando una colla a presa rapida);
- il sottopiano presenta un comportamento elastico completamente differente rispetto al materiale lapideo molto più rigido;
- lo strato in HPL tende ad appesantire il piano in "marmo" senza contribuire ad un incremento della resistenza alla flessione.

## 9.3 Flex Stone

Con il termine Flex Stone si indica una tecnologia tedesca brevettata che abbina un sottile strato di roccia ad un supporto in poliestere e fibre di vetro. Il materiale di supporto, così come lo spessore dello strato di roccia naturale, può variare a seconda dell'utilizzo finale del prodotto. In questo paragrafo si riportano i risultati delle ricerche svolte su siti di carattere commerciale, al fine di comprendere le modalità di realizzazione di questi fogli o lamine sottili, oltre ai risultati delle analisi al microscopio ottico a luce polarizzata e al microscopio binoculare. Sono stati esaminati 3 campioni forniti direttamente da S2 S.p.a. (Fig. 9.3.1) allo scopo di verificare l'eventuale presenza di minerali o altri costituenti di origine naturale. I campioni sono caratterizzati ciascuno da uno spessore totale di circa 1,4 mm, presentano un diverso colore di fondo e sono

così denominati: “Eta Gold Marble” (Fig. 9.3.1 a), “Rainbow Sandstone” (Fig. 9.3.1 b), “Moonson Black” (Fig. 9.3.1 c).

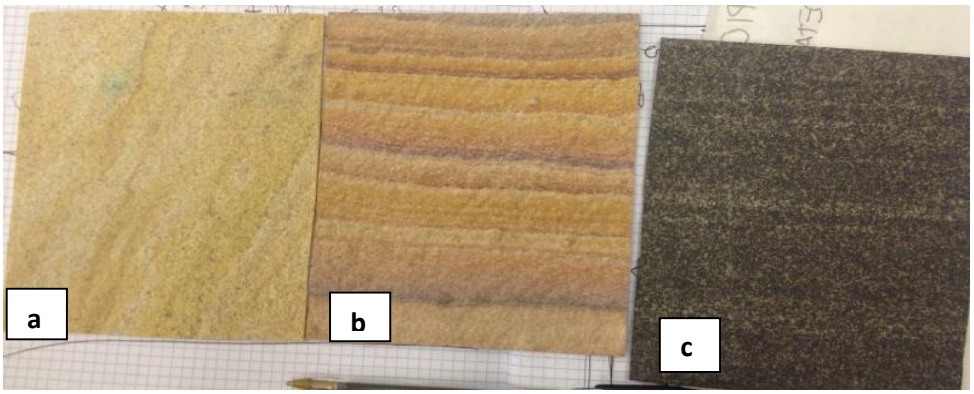



Fig. 9.3.1 (a, b, c) – Campioni di Flex Stone forniti da S2 S.p.a. su cui sono state eseguite analisi al microscopio ottico a luce polarizzata ed al microscopio binoculare; (a) “Eta Gold Marble”, (b) “Rainbow Sandstone”, (c) “Moonson Black”.

Le informazioni reperite dai siti di carattere commerciale relativi a questi materiali consentono di esprimere le seguenti considerazioni:

- i materiali denominati Flex Stone sono fogli composti da uno strato di pietra naturale di spessore variabile da 0,2 a circa 2 mm ed un supporto in fibra di vetro o poliestere di spessore di circa 0,8 – 1 mm. Il prodotto è molto più leggero rispetto a qualsiasi altro materiale lapideo e può essere utilizzato anche in settori quali la nautica e il rivestimento interno di automobili. Lo spessore totale dei fogli che costituiscono questi materiali varia da 1,20 a 3 mm;
- la pietra naturale che costituisce questi fogli sottili è formata da strati da sabbia quarzosa in conformità alle norme europee UNI EN 12904:2005 (normativa europea che descrive le caratteristiche di sabbia e ghiaia e ne specifica requisiti e metodi di prova) e tedesche (come la DIN 4924:2014-07), considerata in questo caso come materia prima naturale (http://www.dlayer.it/pietra-flex).

Sono state quindi svolte analisi al microscopio binoculare ed al microscopio ottico a luce polarizzata, al fine di confermare i dati reperiti dai siti commerciali. Sulla base di queste analisi possiamo affermare che:

- i campioni presentano un sottilissimo strato di minerali incollati su un supporto sintetico: la roccia originaria probabilmente è stata frantumata fino a ridurre i granuli da dimensioni millimetriche a sub-millimetriche (granulometria delle sabbie); i granuli sono stati poi distribuiti fino ad essere in parte inglobati nel materiale di supporto artificiale (Fig.9.3.2, 9.3.3 e 9.3.4);
- i costituenti più rappresentativi di questi campioni sono minerali come quarzo e mica e anche ooidi, come evidenziato dalle analisi in sezione sottile (Fig. 9.3.5 a, b; 9.3.6 a, b; 9.3.7 a, b e 9.3.8);
- sul campione “Eta Gold Marble” sono state versate inoltre gocce di acido cloridrico che hanno prodotto effervescenza, confermando la natura carbonatica degli ooidi (Fig. 9.3.9). Gli ooidi sono infatti granuli rivestiti che si sviluppano per precipitazione di carbonati attorno ad un nucleo che può essere un

bioclasto o un granulo di quarzo, feldspato o altro; da alcune ricerche effettuate su siti di carattere commerciale, le rocce utilizzate per questi campioni sono probabilmente di provenienza indiana ed utilizzate nel mondo dell'arredamento in alcuni paesi come la Cina e l'India (Fig. 9.3.10, 9.3.11 e 9.3.12).

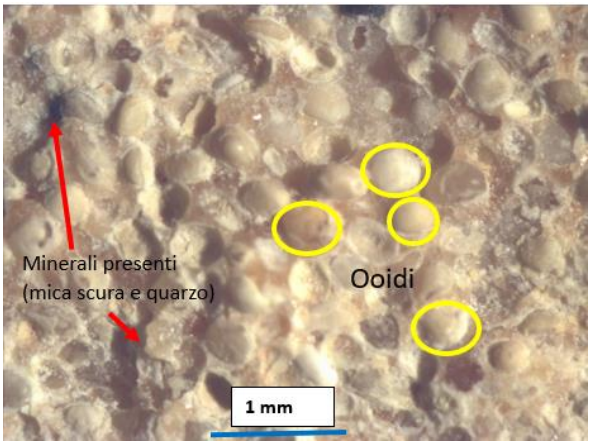



Fig. 9.3.2 – Immagine al microscopio binoculare del campione "Eta Gold Marble"; in giallo i granuli di ooidi sub-millimetrici; le frecce rosse indicano la presenza di minerali come mica scura e quarzo.

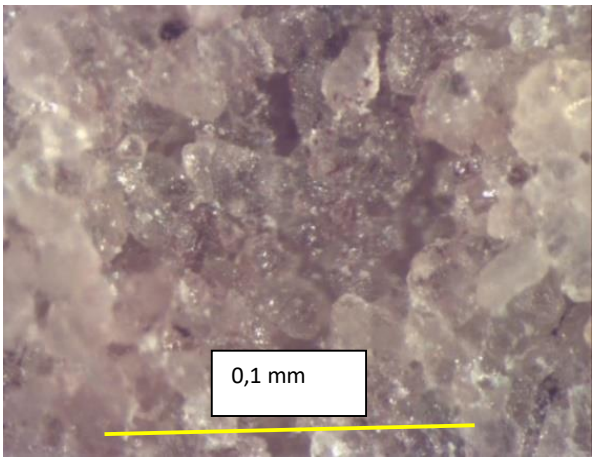



Fig. 9.3.3 - Immagine al microscopio binoculare del campione "Rainbow Sandstone": cristalli di quarzo di colore rosa-violaceo, con lucentezza da sericea fino a vitrea.

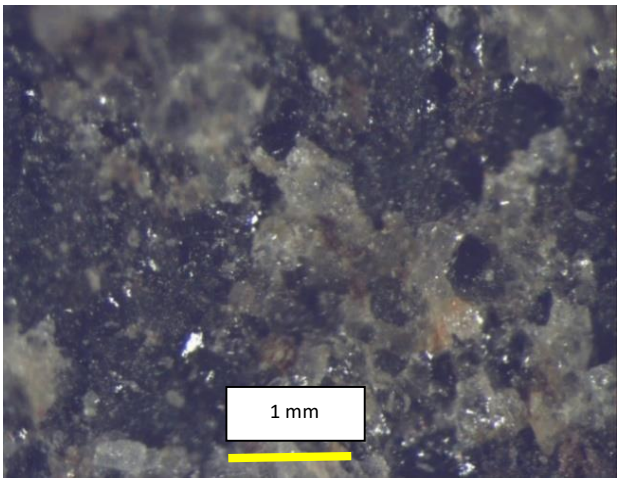



Fig. 9.3.4 - Immagine al microscopio binoculare del campione "Monsoon Black": cristalli di quarzo traslucido con lucentezza vitrea insieme a cristalli di mica scura con lucentezza metallica.

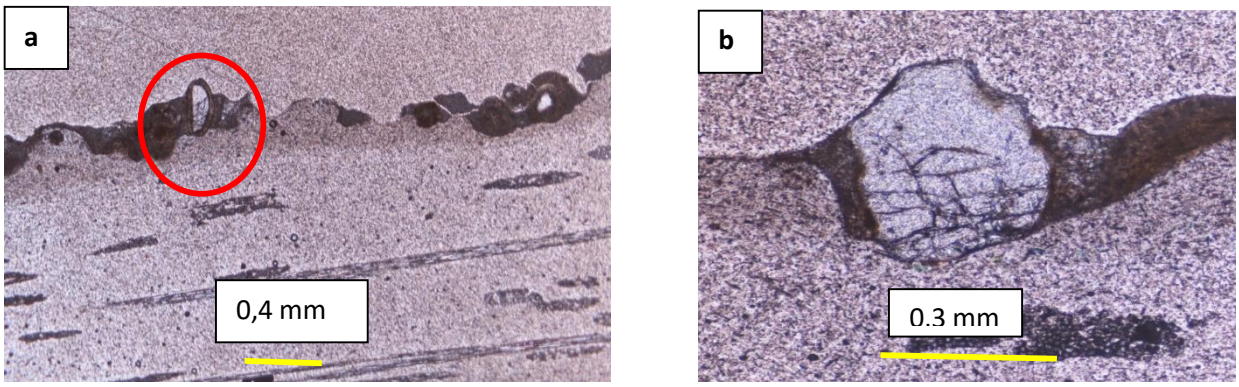



Fig. 9.3.5 (a, b) – Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di “Eta Gold Marble” in sezione trasversale: in rosso gli ooidi di natura carbonatica (a), cristallo di quarzo (b), entrambi cosparsi sulla superficie artificiale (Nicols paralleli).

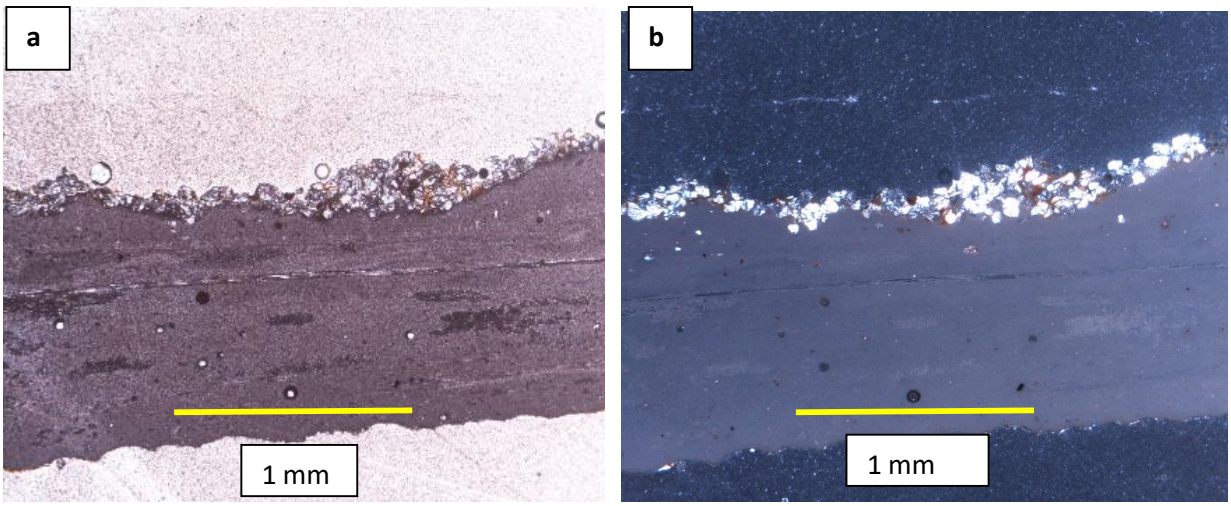



Fig. 9.3.6 (a, b) – Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata del campione “Rainbow Sandstone”: cristalli di quarzo ed altri minerali cosparsi ed incollati sulla superficie (Nicols paralleli a sinistra e Nicols incrociati a destra).

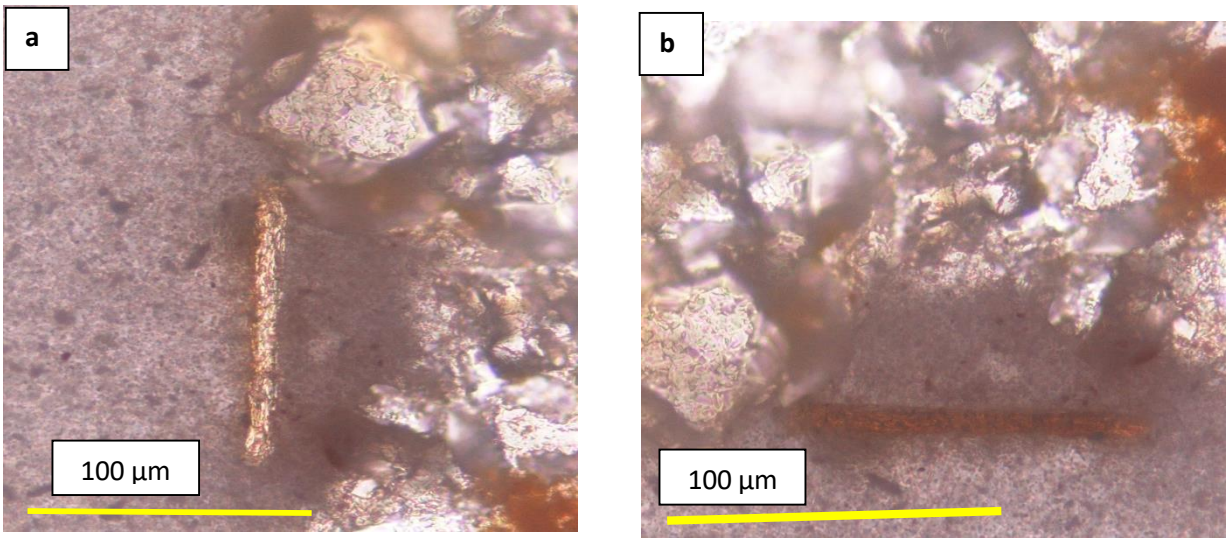



Fig. 9.3.7 (a, b) – Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata del campione “Rainbow Sandstone”: cristallo di biotite con caratteristico pleocroismo inglobato nella matrice artificiale (a,b; Nicols paralleli). Nella Fig. 9.3.7 b il cristallo di biotite risulta ruotato di 90° rispetto alla Fig. 9.3.7 a.

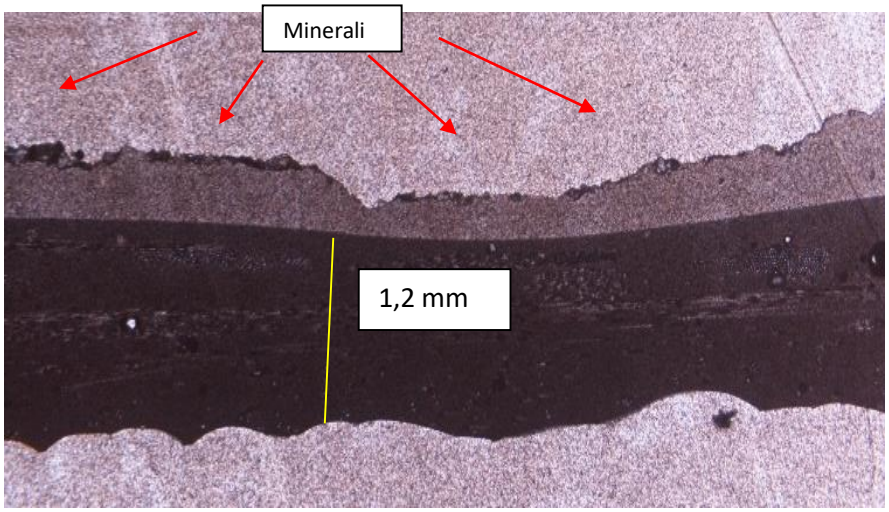



Fig. 9.3.8 – Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata di “Moonson Black”: minerali cosparsi ed incollati sulla superficie (Nicols paralleli).



Fig. 9.3.9 – Campione di “Eta Gold Marble” su cui è stato versato acido cloridrico (HCl): il materiale carbonatico contenuto negli ooidi reagisce con l’HCl producendo effervescenza.



Fig. 9.3.10 – Aspetto macroscopico della roccia originaria da cui si ricava la Flex Stone “Eta Gold Marble”. Roccia colore di fondo da giallo a giallo ocra di provenienza indiana, utilizzato in arredamento in alcuni paesi asiatici come l’India o la Cina (http://www.rkmarblesindia.com).



Fig. 9.3.11 – Aspetto macroscopico della roccia originaria da cui si ricava la Flex Stone “Rainbow Sandstone”. Roccia di provenienza indiana, con colori variabili dall’arancione al giallo, fino al rosa tendente al viola (http://yashodastones.com).

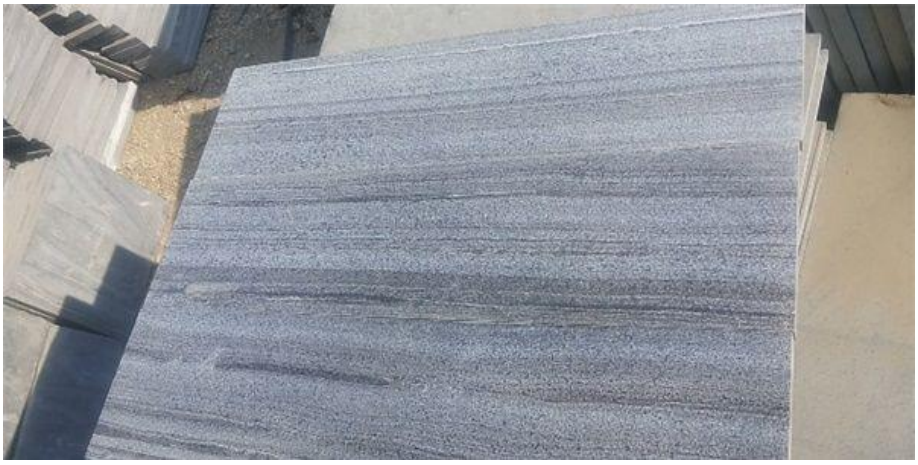


Fig. 9.3.12 – Aspetto macroscopico della roccia originaria da cui si ricava la Flex Stone “Moonson Black”. Colore di fondo grigio cenere (https://www.stonecontact.com)-

## 10. Considerazioni finali

Negli ultimi anni il “marmo”, insieme alle altre categorie commerciali dei “graniti” e delle “pietre”, ha iniziato ad affermarsi sempre di più nel settore dell’arredamento. Pertanto, il materiale lapideo in genere, e il “marmo” in particolare, non viene più solo considerato per rivestimenti o pavimentazioni, ma ha acquistato una sua esclusività per il completamento dell’arredo, diventando spesso il soggetto principale per ottenere prodotti idonei allo stile ricercato dal designer del brand di riferimento. Grazie all’evoluzione della tecnologia è oggi possibile trasformare il “marmo” in una vasta gamma di forme, spessori e superfici. La tendenza del mercato attuale cerca di ottimizzare l’utilizzo di differenti litotipi in abbinamento ad altri materiali nobili come legni massello e metalli lavorati, per ottenere prodotti finiti esclusivi e flessibili alle esigenze del mercato luxury dell’arredamento di interni. Nascono così sempre più frequentemente anche esigenze di studiare e progettare metodi di abbinamento tra materiali lapidei diversi, al fine di ottenere prodotti adatti allo stile ricercato dai vari designers ed architetti.

La conoscenza del materiale lapideo inteso come materia prima è però una tappa fondamentale per un corretto utilizzo del materiale.

L’obiettivo finale di questo progetto di dottorato Eureka, è stato quello di fornire all’azienda S2 S.p.a., che ha co-finanziato la borsa di studio insieme con Regione Marche e Università degli Studi di Urbino, un database il più possibile completo riguardante le principali caratteristiche dei litotipi di “marmo” utilizzati per produrre tavoli ed altri complementi di arredo. Partendo da un punto di vista prettamente commerciale che prende in considerazione l’aspetto estetico (colore e “disegno”) sono state definite, per ogni materiale lapideo di interesse aziendale, le caratteristiche mineralogico-petrografiche e fisico-meccaniche. Nelle schede relative a ciascun “marmo” sono state altresì inserite informazioni come reperibilità e principali areali estrattivi (attuali o potenziali) che sono di fondamentale importanza per dare continuità al processo produttivo aziendale e per il marketing.

Lo studio petrografico dei materiali in sezione sottile al microscopio ottico a luce polarizzata, unitamente alle analisi composizionali al diffrattometro a raggi X (XRD) ed al microscopio elettronico a scansione (SEM-BSE) hanno permesso di definire le tessiture delle rocce e la loro composizione mineralogica. I risultati delle prove fisico-meccaniche hanno infine evidenziato quali sono i “marmi” che presentano una maggior resistenza alla flessione ed al punzonamento, allo scopo di definire, per ogni litotipo, i limiti di realizzabilità dei piani per i tavoli per quanto riguarda dimensione e spessore. Qualora le richieste del mercato dovessero eccedere tali limiti dimensionali e di spessore dei “marmi”, dovranno essere adottate soluzioni tecnologiche in grado di evitare o ammortizzare gli stress fisico-meccanici che potrebbero portare alla rottura (anche se parziale) del prodotto finito.

I dati raccolti nel presente lavoro di tesi dottorale per l’intero spettro dei “marmi” costituiranno pertanto per l’azienda, un utile strumento tecnico-scientifico per stabilire la qualità del materiale, da affiancare alle caratteristiche estetiche, privilegiate da designers e progettisti. In altre parole, la selezione e la scelta estetica

del “marmo” da commercializzare non può prescindere dalla sua caratterizzazione mineralogico-petrografica e fisico-meccanica. La conoscenza, da parte dell’azienda, dei principali requisiti tecnico-scientifici ed estetici maggiormente richiesti nell’ambito dell’arredamento, sarà di fondamentale importanza al fine di comprendere le caratteristiche di un materiale per una sua corretta destinazione d’uso.

Nel progetto di dottorato è stata inoltre rivolta una attenzione particolare alle problematiche di scelta e contrattazione delle lastre di “marmo” durante le sessioni di collaudo, che risultano per l‘azienda una delle fasi critiche per un corretto approvvigionamento del materiale e per il mantenimento degli standard di produzione e vendita. Nel processo produttivo di S2 S.p.a. si passa in pochi mesi dalle fasi di estrazione di un blocco, alle successive lavorazioni, fino alla consegna del prodotto finito, con una forte interrelazione tra problematiche di sfruttamento della materia prima, certezza dell’approvvigionamento e garanzia di qualità del prodotto finito in “marmo”.

La selezione delle lastre nelle fasi di acquisto (descritta nelle differenti modalità e basata sull’esperienza dei collaudi effettuati con l’azienda nel periodo del presente progetto di dottorato), determina già di per sé una bassa percentuale di scarto. Il software utilizzato (GEST_MARMI) per l’inserimento delle lastre in un database, può essere anche utile per avere una tracciabilità del prodotto, permettendo di osservare il percorso del piano di “marmo” dalle fasi di acquisto fino alle fasi di consegna (dalla materia prima fino al cliente finale). Lo stesso software è in grado di monitorare e quantificare gli scarti di produzione, allo scopo di minimizzarli, ottimizzando ogni singola lastra. L’utilizzo degli scarti può essere visto come un punto di partenza da parte dell’azienda per future valutazioni e possibili attività di reimpiego, oltre che come un’opportunità di riduzione dei costi di smaltimento. Va ricordato infatti che i materiali lapidei sono risorse non rinnovabili e che pertanto questi scarti sono da considerare una materia prima secondaria intesa come sfridi di lavorazione delle materie prime, rifiuti e scarti industriali (sottoprodotti) di vario genere. L’utilizzo di residui derivanti da processi industriali, o da materiali di consumo a fine vita, aventi caratteristiche idonee per una loro valorizzazione e reimpiego nella realizzazione di nuovi materiali e manufatti dovrebbe diventare una prassi in risposta alla necessità e allo stimolo di realizzare un modello di sviluppo sostenibile di economia circolare fondato sulla riduzione del consumo di risorse naturali e sulla minimizzazione della produzione di rifiuti. In quest’ottica molti residui considerati materiali da smaltire (ad es. in discarica), attraverso percorsi virtuosi di valorizzazione, possono trasformarsi da problema a risorsa. La Commissione Europea è impegnata nell’attuazione di una politica delle materie prime che assicuri a livello comunitario la certezza degli approvvigionamenti di materiali per lo sviluppo dei diversi settori produttivi vincolati all’utilizzo di risorse naturali minerarie. In quest’ottica anche i “marmi” utilizzati da S2 S.p.a. dovrebbero essere riferiti all’obiettivo prioritario della Commissione Europea per la valorizzazione, razionalizzazione ed uso efficiente delle materie prime, basata su (i) ricerca e conoscenza delle risorse disponibili; (ii) sicurezza degli approvvigionamenti in relazione ai procedimenti autorizzativi e all’utilizzo concorrente dei siti estrattivi; (iii) recupero e risparmio delle materie prime (sfridi e fanghi carbonatici nel caso di S2 S.p.a.).

Il trasferimento tecnologico e della conoscenza dall'Università all'impresa si è realizzato in maniera efficace e soddisfacente durante i tre anni di progetto di dottorato Eureka, con ricadute positive per S2 S.p.a. in termini di una migliore caratterizzazione dei prodotti commercializzati che porterà benefici al marketing (realizzazione di schede tecnico-scientifiche dei diversi "marmi" in produzione) e alla formulazione di politiche aziendali di sostenibilità ambientale e di economia circolare. D'altra parte questo progetto è stato reso possibile grazie ad una partnership aziendale sempre attenta ad interagire in maniera proficua con il dottorando, a partire dalla disponibilità mostrata dalla proprietà e soprattutto dal responsabile del settore "marmi", prodigo di consigli pratici in termini di processo e di prodotto dell'impresa.

S2 S.p.a. ha potuto verificare, durante il progetto triennale di dottorato, le reali necessità aziendali, in termini di azioni per l'innovazione e la ricerca industriale, giungendo così ad avere una visione a più ampio spettro sulla possibile implementazione, in termini di occupabilità, nel settore Ricerca e Sviluppo. Contestualmente, l'Università degli Studi di Urbino ha potuto verificare come gli elevati standard di controllo della qualità nella produzione degli elementi finiti in "marmo", già presenti in azienda, possano essere integrati attraverso la collaborazione con un organismo di ricerca come l'Università.

Inoltre, questa collaborazione con l'Università di Urbino, ha fornito a S2 S.p.a. uno stimolo verso (i) un approvvigionamento di "marmi" da nuovi areali estrattivi (nazionali e sovranazionali) che possono fornire litotipi confrontabili, per qualità estetiche e fisico-meccaniche, con quelli già utilizzati dall'azienda e (ii) un utilizzo di altre categorie commerciali di materiali lapidei quali i "graniti" come nel recente impiego del "Fusion Red Fire" (micascisto a quarzo e granati proveniente dal Brasile). L'azienda infatti, dopo la crescita esponenziale degli ultimi anni nel settore dei materiali lapidei ornamentali *lato sensu*, relativamente al mercato luxury living, sta dimostrando una propensione ad investire ulteriormente. La competitività dell'azienda nel settore del "marmo" utilizzato come prodotto di arredo ha senza dubbio tratto un vantaggio durante il triennio di dottorato Eureka, anche in termini di utilizzo di figure professionali come il geologo che può garantire all'azienda una competenza ad ampio spettro partendo dalle sessioni di collaudo in cava, alla caratterizzazione mineralogico-petrografica e fisico-meccanica fino alla produzione e il controllo di qualità del prodotto finito.

# Bibliografia


AA.VV. (1996). "*Marmora - Italian Dimensional Stone".* Italian Trade Commission, Los Angeles, pp. 103. Barsotelli M., Fratini F., Giorgetti G., Manganelli Del Fà C., Molli G. (1998). *"Microfabric and alteration in Carrara marble: a preliminary study".* Science and Technology for Cultural Heritage 7, 115-126.

Adams A.E., Mackenzie W.S., Guilford C. (1992). *"Atlante delle rocce sedimentarie al microscopio"*. Zanichelli editore, 53-72.

Agus M., Cara S., Lazzarini L., Mola M. (2006). *"A laboratory characterization of black limestones (Neri Antichi) from Zeugitania (Tunisia)".* Marmora, 2, 71-82.

Altobelli V., Carulli G.B., Dal Cer C., Onofri R. (1966). *"I marmi del Friuli".* Quaderni della fiera campionaria di Pordenone 1966, pp. 62.

Blanco G. (1999). *"Dizionario dell'architettura di Pietra*". Carocci Editore, pp. 274.

Borghini G. (1998). *"Marmi Antichi - Materiali della cultura artistica".* De Luca Editore, pp.342.

Bradley F. (1997). *"Guida alle cave di marmo di Carrara".* Internazionale Marmi e Macchine Carrara, II edizione, pp. 95.

Brilli M., Antonelli F., Giustini F., Lazzarini L., Pensabene P. (2010). *"Black limestones used in antiquity: the petrographic, isotopic and EPR database for provenance determination".* Journal of Archaeological Science, 37, 994 - 1005.

Broch E. e Franklin J.A. (1972). *"The point load strength test"*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science – n°9, 669 – 697.

Carmignani L., Conti P., Meccherri M., Vaselli L., Mancini S., Massa G., Simoncini D. (2007a). *"Carta Giacimentologica dei marmi delle Alpi Apuane a scala 1:10.000 e sua informatizzazione*". Centro di Geotecnologie e Dipartimento di Scienze della Terra Università di Siena.

Carmignani L., Conti P., Fantozzi P. L., Mancini S., Massa G., Molli G., Vaselli L. (2007b). *"I marmi delle Alpi Apuane (Toscana settentrionale)".* Geoitalia, n°21, pp.19-30

Carulli G.B. e Onofri R. (1966). *"Il Friuli. I marmi."* Camera di Commercio, Industria Artigianato ed Agricoltura, Udine, pp. 118.

Carvalho J.F. (2008). "*Cartografia Tematica do Anticlinal"*, Zona dos Marmores, pp. 36.

Carvalho J. F., Henriques P., Fale P., Luıs G. (2008). "*Decision criteria for the exploration of ornamental-stone deposits: Application to the marbles of the Portuguese Estremoz Anticline".* International Journal of Rock Mechanics e Mining Sciences, 45, 1306–1319.

Casal Moura A., Carvalho J., Almeida I., Saúde J. G., Farinha Ramos J., Augusto J., Rodrigues J. D., Carvalho J., Martins L., Matos, M. J., Machado M., Sobreiro M. J., Peres M., Martins N., Bonito, N., Henriques P. e Sobreiro S. (2007). *"Marmores e Calcarios Ornamentais de Portugal".* INETI (National Institute of Engineering, Technology and Innovation), Lisbon, pp. 383.

Chelli A., Mandrone G., Odino S. (2005). *"Valorizzazione di itinerari geologici nel promontorio occidentale del golfo di La Spezia: le cave di marmo Portoro".* In: Proceedings of the Conference "Le pietre del Territorio. Cultura, Tradizione, Sviluppo Sostenibile". Isola Palmaria, Italia, 17-18, Ottobre, 38-40.

Ciarrapica G. (1985). "*Il Trias dell'Unità di Portovenere e confronti con le coeve successioni apuane e toscane: revisione degli "Strati a Rhaetavicula Contorta".* Autoctono dell'Appennino Settentrionale. Memorie Società Geologica Italiana, 30, 135-151.

Cimmino F., Faccini F., Robbiano A. (2003). "*Stones and coulored marbles of Liguria in historical monments"*. Per. Mineral., 73, Special Issue 3: A showcase of the Italian research in applied petrology, 71-84.

Ciriaco G. e Aldega L. (2013). *"Il Travertino: la pietra di Roma".* Rend. Online Soc. Geol. It., 27, 98-109.

Cortesogno L., Galbiati B., Principi G., Venturelli G. (1978). "*Le Brecce ofiolitiche della Liguria orientale: nuovi dati e discussioni sui modelli paleogeografici".* Ofioliti, 3 (2-3), 99-160.

Cortesogno L., Galbiati B., Principi G., Venturelli G. (1981). "*Descrizione dettagliata di alcuni caratteristici affioramenti di brecce serpentinitiche della Liguria orientale ed interpretazione in chiave geodinamica"*. Ofioliti, 6 (1), 47-76.

Cortesogno L., Galbiati B., Principi G. (1987). "*Note della Carta Geologica delle ofioliti del Bracco e ricostruzione della paleogeografia Giurassico-Cretacica"*. Ofioliti, 12, (2), 261-342.

Crisci G.M., Leoni L., Sbrana A. (1975). "*La formazione dei marmi delle Apuane (Toscana)".* Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A, 82, 199-236.

Criscuolo A. e Mancini S. (2016) - *"Classificazione e caratteristiche decorative e tecniche dei principali materiali lapidei colorati italiani"*. Carrara Marmotec.

Cueto N., Benavente D., Garcìa del Cura M.A. (2006). *"Influencia de la anisotropía en las propiedades hídricas de rocas. Estudio de rocas dolomíticas brechoides de la Cordillera Bética (España)*". Geogaceta 40, 315-318.

Cueto N., Benavente D., Garcìa del Cura M.A. (2007). *"Estimation of water permeability of building brecciaed dolostones"*. 7° International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Orleans, France.

Damas Mollá L., Arantza A., Patxi García G., Hector F. (2013). *"Rocce ornamentali dei Paesi Baschi e della Navarra"*. Terra e Tecnologia n. 42.

Deriu M. e Vinci A. (1964). *"Sottili intercalazioni argillose nella serie calcareo-dolomitica di Botticino"*. L'Ateneo Parmense, 35, suppl.1, Parma.

Desio A. (1973). *"Geologia dell'Italia".* Unione Tipografica. Editrice Torinese, pp. 108.

Dunham R. J. (1962). *"Classification of carbonate rocks according to depositional texture"*. In: W. E. Ham (ed.) Classification of Carbonate Rocks. A Symposium. American Association of Petroleum Geologists. Memoir 1, 108-121.

Embry A.F. e Klovan E.J. (1971). *"A late Devonian Reef Tract on Northeastern Banks Island, Northwest Territories".* Canadian Petroleum Geology Bulletin, 19, 730-781.

Fiora L. e Ferrarese P. (1998). *"I marmi verdi della Valle d'Aosta".* L'Informatore del Marmista, aprile 1998, n. 436, 6-14.

Fiora L., Ferrarese P., Fornaro M., Primavori P. (1999). *"Green marbles of the Aosta Valley: History, Extraction and Technical-commercial Features".* Marmo Macchine International, 24, 102-129.

Folk R. L. (1959). *"Practical petrographic classification of limestones".* Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol. 43, 1-38.

Folk R.L. (1962). *"Spectral subdivision of limestone types".* In: W.E. Ham (ed.) Classification of Carbonate Rocks - A Symposium. American Association of Petroleum Geologists. Memoir 1, 62-84.

Fusco A. e Manas I. (2006). "*Marmoles de Lusitania. Catalogo de exposicion"*. Merida: Museo Nacional de Arte Romano, pp. 500.

Garcìa del Cura M. A., Rodriguez M.A., Pina J.A., Canaveras J.C., Baltuille J.M., Salvador O. (1999). *"Los màrmoles comerciales 'Marron Imperial' y 'Marròn Emperador' (S.E. ESPAÑA). Caraterizaciòn petròlogica y criterios de exploraciòn".* Bolletìn Geològico y Minero 110, 67-76.

Gattiglio S., Giannini A., Giglia G., Giuntini L., Rossi I. (1980). Regione Toscana, ERTAG, Firenze, pp. 120.

Gomes da Silva C. M. (1989). "*Marmores da regiao de Estremoz-Borba-Vila Vicosa: caracterizacao mineropetrografica, geoquımica e geomecanica. Contribuicao para o conhecimento da sua alterabilidade e Blocometria".* Tese de Doutoramento, Universidade Tecnica de Lisboa (Instituto Superior Tecnico), pp. 136.

Gonçalves F. (1972). "*Observacoes sobre o anticlinorio de Estremoz. Alguns aspectos geologico-economicos dos ma´rmores*". Estudos, Noticias e Trabalhos dos Servicos de Fomento Mineiro. Porto, 22, 121–131.

Gonçalves F. e Coelho A. P. (1974). "*Carta Geologica de Portugal (escala 1:50 000)".* Notıcia explicativa da folha 36-B, Estremoz. Servicos Geologicos de Portugal, Lisbon.

Gonçalves F. e Oliveira V. (1986). *"Alguns aspectos do Precambrico da Zona de Ossa Morena em Portugal. O Proterozoico superior de Estremoz"*. Memorias da Academiac das Ciencias de Lisboa, Classe de Ciencias. Lisbon, Tomo, XXVII, 111–117.

I.C.E. (1982). "*Marmi italiani"*. Vallardi Editore, pp. 226.

Iseppi L. (1999).*"I marmi per la scultura nella Roma ottocentesca*". L'Informatore del Marmista, ottobre 1999, Nr.454, 38-42.

Jervis G. (1889). *"I tesori sotterranei dell'Italia: descrizione topografica e geologica".* Ermanno Editore. Loescher, Firenze-Torino-Roma, pp. 519.

Lapuente Pilar M. e Turi B. (1995). *"Marbles from Portugal: petrographic and isotopic characterization".* Science and Tecnology for Cultural Heritage 4, 33-42.

Lazzarini L., Agus M., Cara S. (2006). *"The ancient quarries of the Neri Antichi (Black limestones) from Zeugitania (Tunisia)".* Marmora, 2, 59-70.

Lopes L. e Gonçalves F. (1997). *"Potencial economico das jazidas de rochas ornamentais na Zona de Ossa Morena". In Estudos sobre a geologia da Zona de Ossa-Morena".* Livro de Homenagem ao Professor Francisco Gonclaves, ed. por Alexandre Araujo e Manuel Francisco Pereira, 263- 282. Evora: Departamento de Geocencias da Universidade de Evora.

Lopes L. (2003). *"Contribuicao para o conhecimento Tectono – Estratigrafico do Nordeste Alentejano, transversal Terena – Elvas. Implicacoes economicas no aproveitamento de rochas ornamentais existentes na regiao (Marmores e Granitos)".* Unpublished PhD Thesis, Universidade de Evora, pp. 568.

Lopes L. (2007). *"O triangulo do Marmore – Estudo Geologico"*. Revista Monumentos, 27, 158–167. Lisboa, IPPAR/IRHU. ISSN: 0872-8747.

Lopes L. e Martins R., (2015). *"Global heritage stone: Estremoz marbles, Portugal".* From Pereira D., Marker B. R., Kramar S., Cooper B. J. & Schouenborg, B. E. Global Heritage Stone: Towards International Recognition of Building and Ornamental Stones. Geological Society, London, Special Publications, 407, http://dx.doi.org/10.1144/SP407.10

Lopez C. J. (1996). *"Manual De Rocas Ornamentales. Prospeccion, Explotacion, Elaboracion Y Colocacion".* Entorno Grafico Editorial, pp. 255.

Martìnez-Martìnez J., Benavente D., Garcìa del Cura M.A. (2007). *"Petrographic quantification of brecciated rocks by image analysis. Application to the interpretation of elastic wave velocities".* Engineering Geology 90, 41-54.

Menningen J., Siegesmund S., Lopes L., Ruben Martins, Luís Sousa (2018). *''The Estremoz marbles: an updated summary on the geological, mineralogical and rock physical characteristics''*. Environmental Earth Sciences, 77, pp. 191.

Moreira J. e Vintem C. (1997). "*Carta Geologica do Anticlinal de Estremoz, escala 1:25.000".* Dept. Prospeccao de Rochas e Minerais Nao Metalicos, Instituto Geologico e Mineiro, Lisboa.

Moreira N., Araùjo A., Pedro J., Dias R. (2014). *"Do rifting continental à abertura do Ocean Rheic; evidencias de cariz multidisciplinar na Zona de Ossa-Morena"*. In Livro de Actas IV Congresso Jovens Investigadores em Geoscencias, pp 21-24. Estremoz: LEG.

Oggieri C. e Ferrero A. (1994). *"Raccomandazioni ISRM per la misura della resistenza al punzonamento"*. Rivista Italiana di Geotecnica 1/94.

Oliveira J.T., Oliveira V. e Piçarra J. M. (1991). *"Tracos gerais da evolucao Tectono-estratigrafica da Zona de Ossa-Morena, em Portugal: sıntese crıtica do estado actual dos conhecimentos".* Comunicacoes dos Servicos Geologicos de Portugal, 77, 3–26.

Pandolfi D. (1971). "*Il marmo Portoro".* Industria Mineraria, 22 (5) settembre, 491-501.

Pereira M. F., Sola A. R., Chichorro M., Lopes L., Gerdes A, Silva J. B. (2012). *"North-Gondwana assembly, break-up and paleogeography: U–Pb isotope evidence from detrital and igneous zircons of Ediacaran and Cambrian rocks of SW Iberia".* Gondwana Research, 22, 866–881.

Piçarra J. M. (2000). *"Estudo Estratigrafico do Sector de Estremoz – Barrancos Zona de Ossa – Morena, Portugal, Vol. I – Litoestratigrafia do intervalo Cambrico medio – Devonico inferior e Vol. II – Bioestratigrafia do intervalo Ordovıcico – Devonico inferior".* Tese de Doutoramento; Universidade de Evora.

Pieri M.(1964). *"I Marmi d'Italia".* Hoepli Editore, Milano, pp. 480.

Pieri M. (1966). "*Marmologia. Dizionario di marmi e graniti italiani."* Ed. Hoepli, Milano, pp. 693.

Pieri M. (1968). *"Il Fior di Pesco Carnico".* Marmi Graniti Pietre, 9 (45).

Primavori P. (1997). *"I materiali lapidei ornamentali, marmi, graniti, pietre"*. Zusi Editore, pp.224.

Silva J. M. e Camarinhas M. V. F. (1957). *"Calcarios cristalinos de Vila Vicosa – Souzel".* Estudos, Notas e Trabalhos do Servico de Fomento Mineiro, 12, 66–139.

Treves E.B. e Harper D.G. (1994). "*Exposure of serpentinites on the oceanfloor: sequence of faulting and hydrofracturing in the northern Apennine ophicalcites"*. Ofioliti, 19b, 435-466.

UNIDO. "Marble in Tunisia". https://unido.org/fileadmin/import/71247_Marble_and_Stone_in_Tunisia.pdf

Younès A., Gaied M.E., Gallala W. (2014). "*Quarries in Tunisia".* Encyclopaedia of the History of Science, Technology and Medicine in Non-Western Cultures, DOI: 10.1007/978-94-007-3934-5_10016-1.

## Normativa Citata

UNI 8458:1983. Edilizia e prodotti lapidei: terminologia e classificazione. Stabilisce e definisce i termini tecnici e classifica i prodotti lapidei impiegati nell'edilizia. Campo di applicazione, termini e classificazione commerciale e petrografica; termini e classificazione in base alle forme, alle dimensioni e alle tecniche di lavorazione; termini relativi alla conformazione geometrica e alle dimensioni dei prodotti; termini relativi ai piani di divisibilità; termini relativi allo stato di lavorazione superficiale; termini dimensionali relativi al commercio dei prodotti.

UNE 22185:1985. Normativa spagnola, relativa alla resistenza alla compressione sui materiali lapidei ornamentali classificati commercialmente come marmi.

UNE 22186:1985. Normativa spagnola, relativa alla resistenza alla flessione sui materiali lapidei ornamentali classificati commercialmente come marmi.

UNI EN 12670:2003. La presente norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 12670 (edizione dicembre 2001). La norma definisce la terminologia raccomandata che copre termini scientifici, tecnici, relativi ai metodi di prova, ai prodotti e alla classificazione delle pietre naturali.

UNI EN 12904:2005. La norma descrive le caratteristiche di sabbia e ghiaia di quarzo utilizzate per il trattamento delle acque destinate al consumo umano e specifica i requisiti ed i relativi metodi di analisi.

UNI EN 1926:2007. Determinazione della resistenza a compressione uniassiale. La presente norma è la versione ufficiale in lingua inglese della norma europea EN 1926 (edizione dicembre 2006). La norma stabilisce un metodo per determinare la resistenza a compressione uniassiale delle pietre naturali.

UNI EN 1936:2007. La norma stabilisce un metodo per determinare la massa volumica reale e la massa volumica apparente, e la porosità totale e aperta delle pietre naturali.

UNI EN 12372:2007. La norma specifica un metodo di prova per la determinazione della resistenza a flessione sotto carico concentrato per le pietre naturali. Sono inclusi i procedimenti sia per la prova di identificazione che per la prova tecnologica.

UNI EN 12371:2010. Determinazione della resistenza al gelo. La presente norma è la versione ufficiale in lingua inglese della norma europea EN 12371 (edizione marzo 2010). La norma specifica un metodo per valutare l'effetto dei cicli di gelo/ disgelo sulle pietre naturali e contiene le indicazioni sia per una prova tecnologica breve (Prova A) per valutare l'effetto dei cicli di gelo/ disgelo sulle caratteristiche prestazionali pertinenti ed una prova identificativa (Prova B).

DIN 4924:2014-07. Normativa tedesca. Sono stabiliti requisiti e prove per sabbia e ghiaia per la costruzione di pozzi. Le sabbie e le ghiaie vengono introdotte come strati di filtro durante la costruzione di pozzi di perforazione.

## Sitografia

https://googlemaps.com

https://googlearth.com

http://www.oda-italia.com/company.html

https://issuu.com/thetis/docs/tuscan-marble-identities

https://tuanamaden.com

https://www.apuanavagli.it

https://www.architetturadipietra.it

https://www.ardesiamangini.it

https://www.assomarmistilombardia.it

https://www.banmarble.com/emperador-light.html

https://www.cmpsolmar.it.

https://www.dlayer.it/pietra-flex

https://www.rkmarblesindia.com

https://www.sixaview.com

https://www.stonecontact.com

https://yashodastones.com