

# Il problema della determinazione di provenienza dei marmi bianchi antichi: il caso del pluteo bizantino con *chrismone* croce rinvenuto presso la Cappella di S. Maria Maddalena a Cogoleto

Serra M.<sup>1</sup>, Borghi A.<sup>1</sup>, Cabella R.<sup>2</sup>, Vaggelli G.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Dipartimento di Scienze Mineralogiche e Petrologiche, Università degli Studi di Torino;*

<sup>2</sup> *Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse, Università degli Studi di Genova;*

<sup>3</sup> *Consiglio Nazionale Ricerche, Istituto di Geoscienze e Georisorse, Sezione di Torino*

## INTRODUZIONE

Nell'ambito delle Scienze della Terra, la descrizione e la classificazione delle rocce da sempre costituiscono uno dei presupposti fondamentali per la comprensione dei processi genetici ed evolutivi della crosta terrestre. Più recente è invece il riconoscimento del contributo che le scienze petrografiche possono fornire allo studio storico dei materiali lapidei antichi. Negli ultimi decenni, lo sviluppo dell'archeometria, che si occupa dell'applicazione di metodologie scientifiche rivolte all'analisi di beni di interesse culturale, ha consentito di evidenziare come lo studio della natura e della provenienza delle pietre ornamentali siano problematiche eminentemente geologiche, che non possono essere risolte senza un approccio di tipo petrografico.

E' stato proprio uno dei padri fondatori della ricerca archeometrica in Italia, il professor Tiziano Mannoni, a porre l'accento sull'importanza dell'approccio scientifico-geologico come supporto alla ricerca storica ed archeologica. Attraverso un certosino lavoro di raccolta, classificazione e catalogazione di pietre ornamentali provenienti da siti di cava di tutto il bacino del Mediterraneo, ha messo insieme una collezione di immenso valore storico e scientifico ed ha posto le basi per la creazione di un database rappresentativo dei principali marmi bianchi impiegati per la produzione scultorea ed architettonica nel bacino del Mediterraneo almeno a partire dall'epoca Imperiale romana.

Le sue collezioni, oggi conservate presso il Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse dell'Università di Genova, rappresentano un unicum per ampiezza e varietà delle pietre ornamentali che vi sono rappresentate. Come si può osservare in Fig. 1, la sezione marmi bianchi comprende campioni provenienti dall'Italia (Lasa, Crevola, Carrara, Saravezza, Campiglia), dalla penisola greca (Hymettos, Pentelikon), dalle isole egee (Naxos, Paros, Thasos, Tinos), dalla Turchia (Afyon, Aphrodisias, Ephesos, Proconnesos) e dalla Spagna (Macael).



Figura 1: Distribuzione geografica dei marmi bianchi della Collezione Mannoni conservata presso il Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse dell'Università di Genova (Google Earth)

Con l'intento di proseguire, completare e valorizzare le indagini iniziate dal prof. Mannoni, nel 2009 è nato un progetto di collaborazione tra le Università degli studi di Genova e di Torino finalizzato alla creazione di una banca dati di marmi bianchi di provenienza nota da utilizzare come riferimento per l'identificazione e l'eventuale attribuzione ad uno specifico sito di cava di reperti lapidei antichi.

La presente comunicazione ha l'obiettivo di chiarire l'approccio scientifico ed il percorso analitico che ha consentito di definire la provenienza del marmo impiegato per la realizzazione del pluteo bizantino con *chrismon* e croce conservato nella Sala di Rappresentanza del palazzo comunale di Cogoleto (Russo, 1914). La ricerca è volta a dare un supporto alle indagini storiche ed archeologiche per contribuire a far luce sulle controversie in merito all'origine del reperto e delle maestranze che lo scolpirono.

## IL MARMO BIANCO

Indispensabile premessa per la comprensione dello studio scientifico è la definizione del termine marmo nelle sue accezioni etimologiche, commerciali e petrografiche.

Il vocabolo marmo deriva dal greco antico *μάρμαρον* o *μάρμαρος* con il significato di "pietra splendente", a sua volta derivato dal verbo *μαρμαίρω* che significa "splendere, brillare".

Le caratteristiche di facile lavorabilità e lucidabilità del marmo tornano anche nella definizione commerciale riportata nelle norme UNI8458 / UNI EN 12670. Il marmo viene caratterizzato come una roccia cristallina, compatta, lucidabile, da decorazione e da costruzione, prevalentemente costituita da minerali di durezza dell'ordine di 3 - 4 (quali calcite, dolomite, serpentino) su una scala da 0 a 10 (scala di Mohs). Tale definizione pone quindi l'accento sulle caratteristiche fisico-meccaniche della roccia, trascurando completamente l'aspetto macroscopico, il colore e la composizione geochimica. Essa include pertanto litotipi che non rientrano nella classificazione strettamente scientifica dei marmi, come i calcari, le dolomie e le brecce calcaree lucidabili, gli alabastri calcarei, le serpentiniti e le oficalciti.

La definizione petrografica in senso stretto è certamente più precisa e circoscrive l'uso del termine a rocce olocristalline derivanti dal metamorfismo di rocce carbonatiche, cioè costituite prevalentemente da calcite e dolomite. Trascurando il significato dei termini tecnici, osserviamo che questi ultimi sono due minerali caratterizzati rispettivamente da una durezza di 3 e 3.5-4. Questi valori fanno riferimento alla scala di Mohs, che assegna ad ogni minerale un valore empirico progressivo da 0 a 10, in modo che ciascuno sia in grado di scalfire quello che lo precede e sia scalfito da quello che lo segue. La calcite (carbonato di calcio di formula chimica  $\text{CaCO}_3$ ) e la dolomite (carbonato misto di calcio e magnesio,  $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ ) hanno durezza superiore al talco ed al gesso e si rigano con una punta di acciaio.

Si comprende quindi come il diffuso impiego del marmo bianco nella produzione artistica trovi ragione non soltanto nelle sue caratteristiche estetiche, ma anche e soprattutto nelle sue proprietà fisiche e petrografiche.

Se da un lato la relativa semplicità composizionale e tessiturale del marmo ne ha determinato l'incredibile fortuna commerciale attraverso i secoli, dall'altro lato queste stesse caratteristiche rendono estremamente complessa una distinzione tra varietà provenienti da diversi distretti estrattivi. Marmi bianchi estratti a migliaia di chilometri l'uno dall'altro sono molto spesso indistinguibili sia all'osservazione macroscopica che a quella più dettagliata al microscopio ottico.

Uno dei problemi più difficili che la ricerca archeometrica ha dovuto affrontare negli ultimi decenni è certamente l'identificazione dei marmi bianchi impiegati nell'antichità. Si tratta infatti di un tema la cui complessità scientifica si intreccia indissolubilmente con quella storica, in un continuo rimando tra discipline apparentemente lontane che si trovano a dover necessariamente dialogare per consentire il raggiungimento di risultati attendibili.

Da un punto di vista storico-artistico, l'impiego del marmo ha rivestito un ruolo di primo piano non soltanto per la produzione scultorea, ma anche per la realizzazione di grandi opere architettoniche. Gli esempi che si potrebbero citare a questo proposito sono pressoché infiniti e attraversano trasversalmente tutte le civiltà che si sono sviluppate nel Mediterraneo dal Neolitico ai giorni nostri. Come non pensare, ad esempio, alla produzione artistica cicladica in tutte le sue declinazioni stilistiche sin dall'età del Bronzo? Come dimenticare la candida imponenza del Partenone ad imperitura memoria dell'età aurea della Grecia classica o la perfezione stilistica e formale della scultura romana di epoca imperiale? Ed ancora, in ambito nazionale, la sorprendente bellezza delle opere della rinascita classica con Michelangelo, fino ad arrivare al neoclassicismo di Canova, al rigore ed all'austerità dell'arte di epoca fascista fino alla sintesi formale della scultura contemporanea.

La diffusione e l'importanza del marmo culminarono in epoca romana, quando alla progressiva estensione geografica dell'Impero corrispose l'apertura di nuove cave di proprietà imperiale in tutto il bacino del Mediterraneo e lo sviluppo di una complessa organizzazione per il loro sfruttamento e la loro commercializzazione. Il marmo divenne progressivamente un segno tangibile di prestigio sociale e politico, assumendo un preciso significato ideologico e simbolico. Alla ricerca di nuove fonti di approvvigionamento, i romani si spinsero fino ai confini più remoti dell'Impero, diffondendo marmi di origine diversa in tutti i principali centri del potere imperiale.

E' pertanto già a partire dal I secolo d.C. che si andò progressivamente perdendo il legame tra il contesto geografico e culturale sotteso alla realizzazione di un oggetto d'arte e la provenienza della materia prima impiegata per realizzarlo.

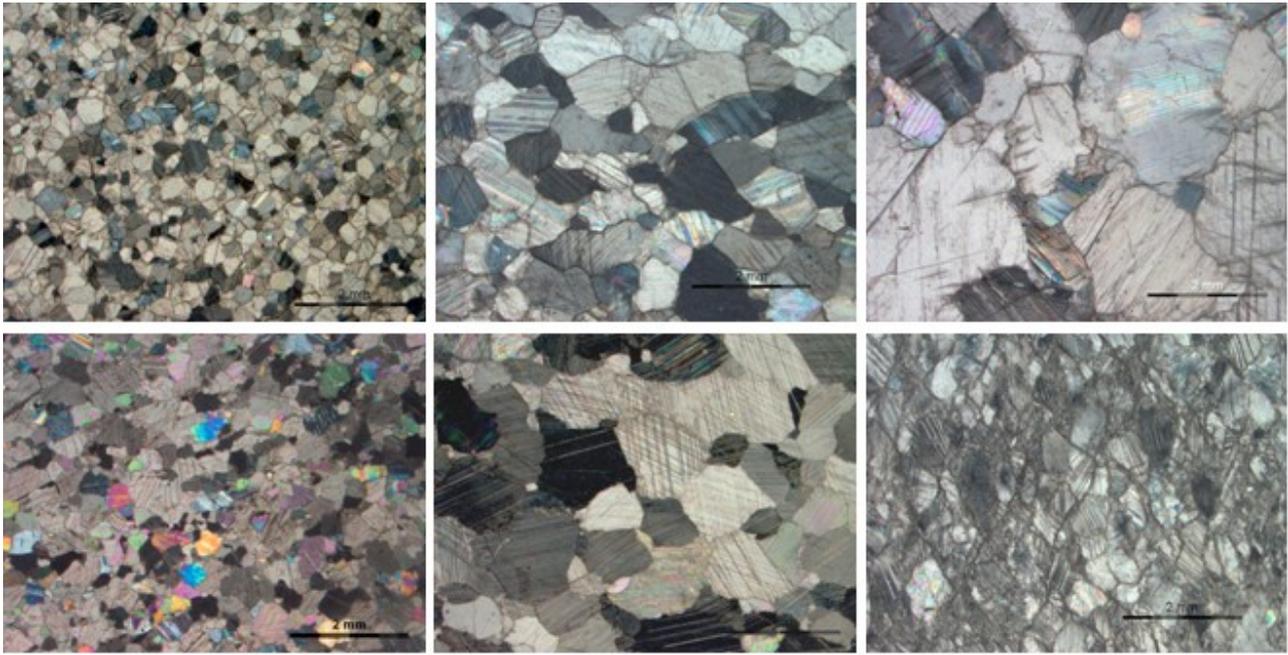
Il problema si complica ulteriormente se si pensa al restauro, al reimpiego di materiali di epoche precedenti e alla realizzazione di falsi. Non è infatti infrequente trovare nella stessa opera marmi di origine diversa, riconducibili a diversi interventi di restauro o scoprire che una scultura attribuita erroneamente ad un periodo storico è stata realizzata con un marmo la cui cava è stata aperta secoli dopo la presunta epoca di realizzazione dell'opera.

La ricerca archeologica ha quindi molto spesso bisogno di essere supportata da un contributo di tipo geo-chimico e minero-petrografico che consenta di validare o smentire le ipotesi formulate su base storica e stilistica.

Ricordando la definizione di marmo bianco, ritorniamo quindi alla complessità scientifica del problema e concentriamo l'attenzione sull'approccio analitico che viene adottato per risolverlo.

#### L'APPROCCIO MICRO-ANALITICO

A partire dai primi tentativi di Richard Lepsius alla fine del XIX secolo, il problema dell'identificazione dei marmi bianchi è stato al centro dell'attenzione dei ricercatori in campo archeometrico, nel tentativo di individuare una tecnica analitica che da sola consentisse di caratterizzare in maniera univoca le diverse varietà. I primi risultati si sono ottenuti per mezzo di un semplice microscopio da petrografia. Attraverso il microscopio ottico polarizzatore è possibile rilevare le manifestazioni dell'interazione tra un fascio di luce polarizzata e la struttura cristallina del campione lapideo in analisi. Lo studio al microscopio implica il prelievo di un piccolo frammento dal reperto ed la realizzazione di sezioni dello spessore di 0.03 millimetri, abbastanza sottili da consentire l'osservazione in luce trasmessa. L'importanza di questa tecnica nell'ambito della caratterizzazione minero-petrografica risiede nella possibilità di individuare le fasi cristalline ed i relativi rapporti quantitativi e spaziali (tessitura, grana, orientazione e forma, Fig. 2). In particolare, nel caso dei marmi, i parametri maggiormente discriminanti risultano essere la dimensione media dei cristalli (average grain size, AGS), le dimensioni del cristallo più grande (maximum grain size, MGS) e la forma dei bordi di grano che separano i diversi cristalli (Grain boundary shape, GBS). Inoltre si determina l'eventuale presenza di un'orientazione preferenziale delle fasi cristalline nella sezione e l'eterogeneità della grana (variazioni dimensionali dei cristalli all'interno di una stessa sezione).



*Figura 2: Immagini al microscopio ottico di alcuni dei marmi inclusi nel database. Dall'alto e da sinistra: Fantiscritti (Carrara), Tinos, Thassos, Pentelico, Macael e Kavalà. Impiegando lo stesso ingrandimento (1.25x), si evidenziano le differenze e le analogie tra le diverse varietà nella dimensione dei cristalli, nella loro forma ed orientazione.*

Una combinazione di tutti questi parametri consente, nei casi più fortunati, di ottenere una buona distinzione tra marmi di provenienza diversa. Nella maggioranza dei casi, però, l'osservazione al microscopio non è sufficiente dal momento che, come già accennato, il marmo ha una composizione relativamente semplice (prevalentemente calcite e dolomite), le varietà maggiormente ricercate non presentano orientazione preferenziale ed hanno una grana media estremamente fine (MGS < 1mm).

E' quindi presto emersa la necessità di integrare questo tipo d'indagine con un'osservazione più dettagliata, che consentisse di avere una stima quantitativa dei rapporti spaziali tra le diverse fasi cristalline (rapporto tra calcite e dolomite, presenza di minerali accessori). Il microscopio elettronico a scansione (scanning electron microscope, SEM), se integrato con microsonda EDS, permette di associare all'osservazione morfologica un'analisi composizionale di tipo quantitativo (Fig. 3). Lo strumento si basa sulla rilevazione dei diversi tipi di segnale generati dall'interazione di un fascio elettronico opportunamente accelerato e collimato con la superficie di un campione reso conduttivo mediante metallizzazione (il campione viene ricoperto con un sottilissimo strato generalmente di oro o grafite). Il microscopio elettronico permette innanzitutto di effettuare osservazioni di tipo morfologico ad elevata tridimensionalità con ingrandimenti fino a circa 20.000X. L'analisi quantitativa viene effettuata rilevando le energie e la distribuzione delle intensità dei raggi X prodotti dall'interazione elettroni/materia attraverso fenomeni di fluorescenza.

I dati ottenuti dal SEM-EDS integrano quelli ottenuti al microscopio ottico, consentendo una migliore distinzione tra le varietà (e.g. Capedri et al., 2004). Tuttavia, date le caratteristiche intrinseche del marmo bianco (secondo la definizione petrografica), anche questo tipo di analisi può non essere sufficiente ad

ottenere una classificazione soddisfacente. Un forte limite nello studio di provenienza dei marmi mediante SEM-EDS, ad esempio, è rappresentato dall'impossibilità di quantificare gli elementi che costituiscono le diverse fasi cristalline quando sono presenti in concentrazioni inferiori allo 0.1%.

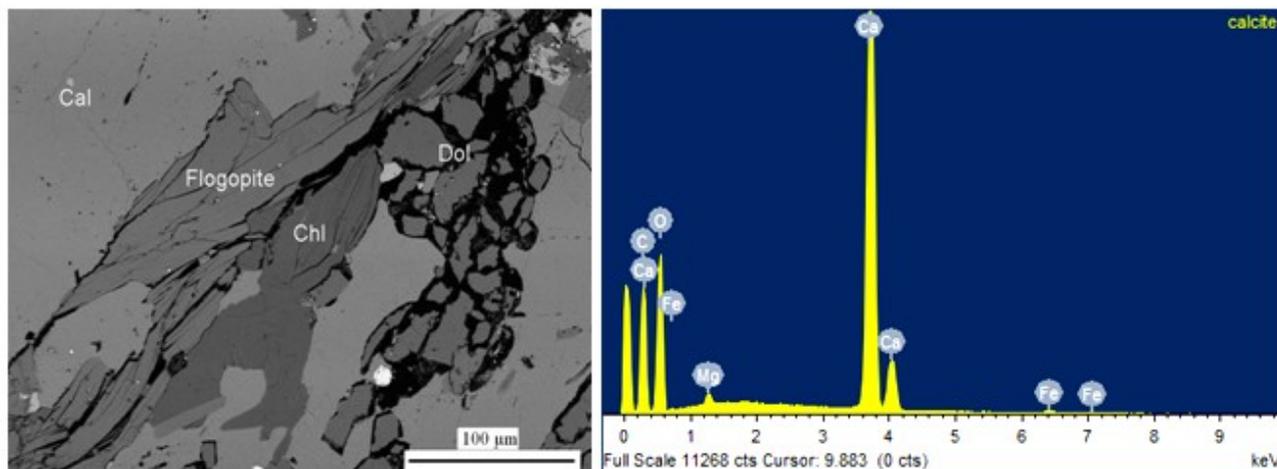


Figura 3: Nel marmo di Villeneuve (AO), oltre alla calcite, si osserva la presenza di altre fasi cristalline, quali la dolomite, la clorite e la flogopite, che consentono una migliore caratterizzazione di questa varietà. L'immagine è stata realizzata al microscopio elettronico a scansione. A destra si osserva invece uno spettro composizionale della calcite. Il rapporto tra magnesio e calcio potrà essere impiegato come parametro discriminante per identificare uno specifico marmo.

Fin dalle prime applicazioni del metodo all'inizio degli anni '70 (Craig & Craig, 1972), lo studio della composizione isotopica delle fasi carbonatiche ha fornito i risultati più promettenti, diventando ben presto la tecnica di elezione in questo tipo di studi. Essa si basa, per mezzo di uno spettrometro di massa, sulla quantificazione del rapporto tra gli isotopi stabili del carbonio ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) e dell'ossigeno ( $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ ), ossia sulla quantificazione del rapporto tra atomi di stessi elementi chimici aventi massa atomica differente. Come si può osservare dai grafici in figura 4, ad un progressivo incremento del database nel tempo (Hermann et al., 2002, Attanasio et al., 2006) è corrisposta una sovrapposizione dei campi caratteristici individuati per le diverse varietà.

La maggior parte degli studiosi oggi concorda quindi sull'impossibilità di giungere a risultati soddisfacenti per mezzo di un'unica tecnica e sulla necessità di combinare i risultati di diversi strumenti analitici (e.g. Ebert et al., 2010, Polikreti, 2007, Matthews, 1997 e relativi riferimenti bibliografici).

Ed è proprio in quest'ottica che l'Università di Torino, in collaborazione con quella di Genova, sta mettendo a punto un nuovo approccio per lo studio di provenienza dei marmi bianchi (Borghi et al., 2010). L'idea di base è quella di integrare le indagini petrografiche al microscopio ottico polarizzatore con un'indagine geochemica di dettaglio sulle fasi carbonatiche per mezzo della microfluorescenza a raggi X ( $\mu$ -XRF).

L'XRF, così come la sonda EDS, consente di individuare e quantificare gli elementi costitutivi di un campione grazie all'analisi della fluorescenza X caratteristica prodotta in seguito ad eccitazione atomica. In

questo caso, tuttavia, la radiazione primaria è costituita non da un fascio elettronico accelerato, ma da fotoni X, con un'energia di qualche decina di keV. I fotoni vengono collimati per mezzo di un complesso sistema di lenti capillari ed impattano su un'area estremamente ridotta (0.03 mm di diametro) della superficie del campione da analizzare.

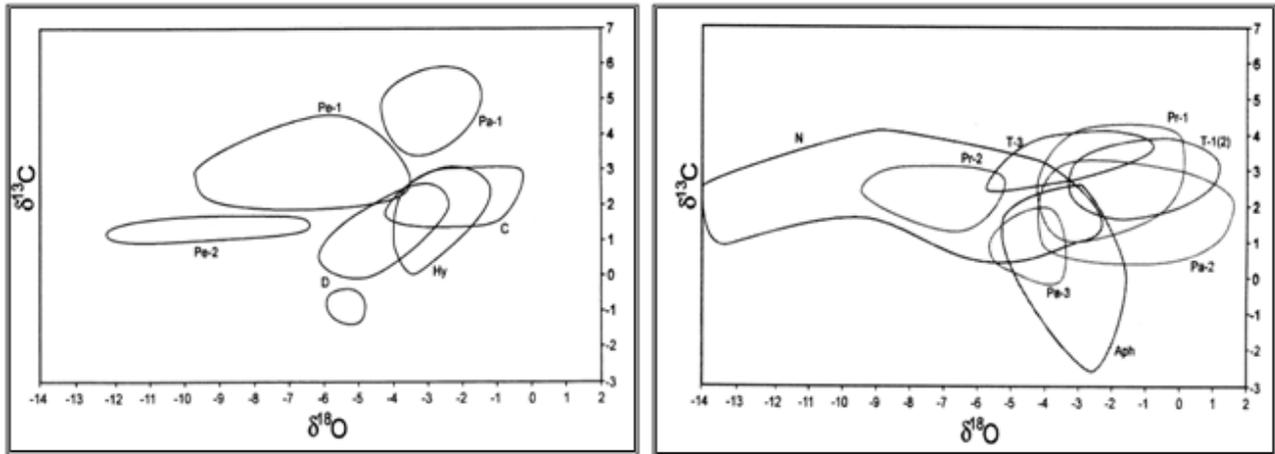


Figura 4: Suddivisione dei principali marmi bianchi impiegati in area mediterranea sulla base della loro composizione isotopica (Gorgoni et al. in: Hermann et al., 2002). Sulla sinistra si osservano i marmi con MGS < 2 mm (Pe: Pentelico, Pa: Paros, C: Carrara, Hy: Imetto, D: D), a destra sono invece riportati le varietà con MGS > 2 mm (N: Naxos, Pr: Proconneso, T: Thassos, N: Naxos, Pa: Paros, Aph: Afrodisia). Come si può ben vedere, i campi caratteristici individuati per ciascun marmo presentano significative sovrapposizioni che possono compromettere la corretta classificazione di un campione incognito.

Uno dei principali vantaggi dell'impiego di questa tecnica è la possibilità di quantificare livelli estremamente bassi di concentrazione di un elemento chimico dell'ordine di un milligrammo per ogni chilogrammo, convenzionalmente definiti elementi in traccia e calcolati come parti per milione (ppm).

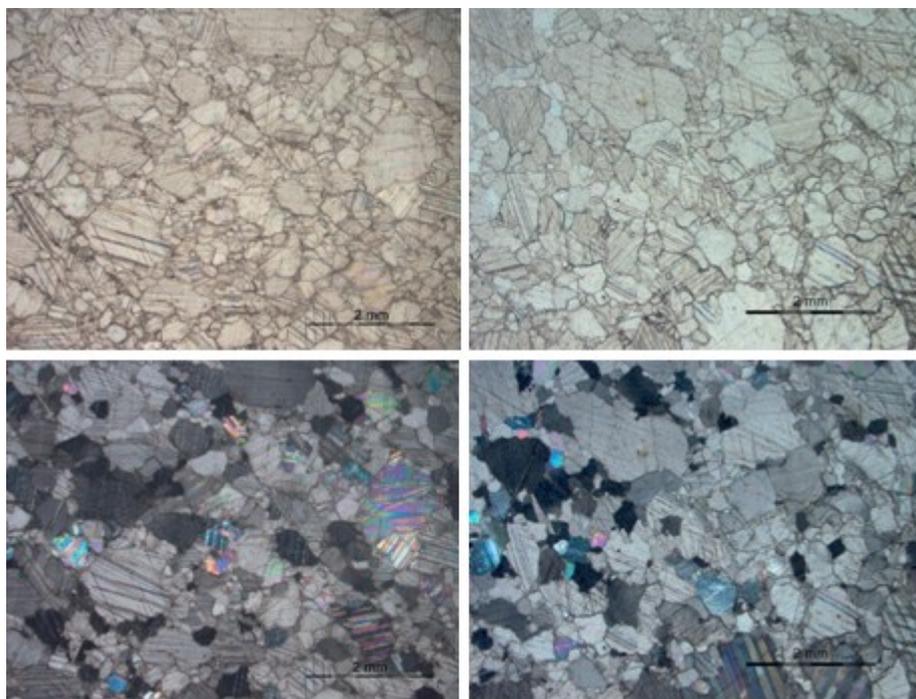
Inoltre, questa tecnica permette di effettuare un'analisi estremamente precisa senza necessariamente ricorrere al campionamento dell'opera oggetto di studio. Nei casi in cui il reperto lapideo abbia dimensioni tali da poter essere contenuto all'interno della camera porta-campioni dello strumento (Ø 330 mm x 350 mm), è infatti possibile effettuare le misure in maniera completamente non invasiva. È facile comprendere l'importanza di questo punto in campo archeometrico, dal momento che molto spesso il valore storico-artistico delle opere da analizzare è tale da non consentire di comprometterne in alcun modo l'integrità.

I dati acquisiti per mezzo dell'osservazione al microscopio ottico vengono quindi integrati con quelli ottenuti dall'analisi degli elementi in traccia nelle fasi carbonatiche e confluiscono in un database che comprende alcune delle principali caratteristiche minero-petrografiche e geochimiche delle diverse varietà di marmo bianco.

Una volta creata una banca dati di campioni di cui sia nota con certezza la provenienza, è possibile procedere all'analisi di reperti incogniti confrontando i dati acquisiti con quelli di riferimento e definendo l'area geografica dalla quale è stato cavato il litotipo impiegato per la sua realizzazione.

#### LA PROVENIENZA DEL PLUTEO BIZANTINO DI COGOLETO

Un decennale dibattito in merito allo stile ed alle tecniche di realizzazione del pluteo bizantino ha determinato la richiesta, da parte di storici ed archeologi, di procedere all'identificazione di provenienza del materiale di cui è costituito.



*Figura 5: A sinistra due immagini al microscopio ottico del marmo del pluteo bizantino. A destra due immagini di un campione di riferimento proveniente dall'antico sito di cava di Saraylar nell'attuale isola di Marmara, in Turchia. Sono evidenti le analogie tessiturali tra i due marmi.*

Lo studio prosegue e conclude le analisi iniziate dal prof. Mannoni, che ha provveduto al prelievo di un piccolo campione per lo studio petrografico in sezione sottile.

L'indagine al microscopio ottico (Fig. 5) ha innanzitutto rivelato come il marmo presenti una struttura isotropa dei cristalli che lo costituiscono, cioè caratterizzata da una disposizione casuale e quindi statisticamente identica in tutte le direzioni spaziali. Il marmo è inoltre caratterizzato da una marcata variabilità dimensionale dei cristalli di calcite; si dice quindi che è eteroblastico.

Tali cristalli hanno bordi (GBS) curvi a contatto gli uni con gli altri, mentre la loro dimensione media (AGS) è di 0.3 mm. Il cristallo di dimensioni maggiori (MGS) nella sezione analizzata ha un diametro di 2.3 mm. Tali caratteristiche accomunano il marmo del pluteo con quello cavato nell'isola turca di Marmara, noto come Proconneso (Attanasio et al., 2008).

I dati composizionali rafforzano le analogie rilevate su base petrografica, evidenziando in particolare un tenore relativamente elevato di stronzio (in media 213 ppm), associato ad una concentrazione sempre superiore allo 0.5% di magnesio nella struttura cristallina della calcite (che ricordiamo avere formula  $\text{CaCO}_3$ ).

Tutti i dati acquisiti (Tabella 1) sono confluiti in un programma di calcolo che ha consentito di valutare l'attribuzione statisticamente più probabile del campione incognito ad un gruppo di riferimento. I risultati sono riportati in figura 6.

Sample	Mg [ppm]	Ba [ppm]	Ti [ppm]	Mn [ppm]	Fe [ppm]	Zn [ppm]	Sr [ppm]	AGS [mm]	MGS [mm]	Homeo/ Heterb	Iso/ Aniso	GBS
Pluteo Cogoleto	5089.8	Bdl	1.4	3.2	25.1	3.7	208.4	0.31	2.28	He	I	Cr
Pluteo Cogoleto	5005.1	Bdl	1.7	2.9	35.3	2.3	172.6	0.32	2.31	He	I	Cr
Pluteo Cogoleto	4965.2	Bdl	2	3.1	27.4	2.7	168.2	0.33	2.30	He	I	Cr
Pluteo Cogoleto	7067.5	3.8	1	4	37	3	235.4	0.36	2.28	He	I	Cr
Pluteo Cogoleto	6339.4	Bdl	1.5	3.3	33	1.7	232.5	0.32	2.29	He	I	Cr
Pluteo Cogoleto	4991.9	Bdl	1.2	2.5	34.1	5.9	213.3	0.34	2.34	He	I	Cr
Pluteo Cogoleto	5085.2	Bdl	3	6.4	45.4	8.5	238.6	0.35	2.31	He	I	Cr
Pluteo Cogoleto	5041.6	Bdl	3	3	27.8	3.2	240.2	0.39	2.33	He	I	Cr
Pluteo Cogoleto	5299.4	Bdl	1.5	3.1	28.4	1.9	201.4	0.29	2.31	He	I	Cr
Pluteo Cogoleto	4861.1	Bdl	1.4	3.1	34	2.8	215.1	0.32	2.32	He	I	Cr
Saraylar	3635.5	bdl	3.7	3.9	47.8	8.4	208	0.36	2.24	He	I	Cr
Saraylar	3813.6	bdl	3.2	3.5	39.4	8.7	240.8	0.37	2.26	He	I	Cr
Saraylar	3045.4	8.1	3.6	3.4	61	4.1	144.7	0.39	2.25	He	I	Cr
Saraylar	3948.7	bdl	4.2	3.3	63	4.9	168.2	0.40	2.24	He	I	Cr
Saraylar	3239.2	bdl	3.3	2.7	59.9	5.2	179.4	0.36	2.27	He	I	Cr
Saraylar	3722.7	bdl	1.5	4	54.2	1.9	194.8	0.35	2.27	He	I	Cr
Saraylar	2558.7	bdl	2.9	4.5	60	1.8	194.9	0.34	2.27	He	I	Cr
Saraylar	2063.4	bdl	3.7	4.5	46.4	9.1	224.1	0.38	2.29	He	I	Cr
Saraylar	2640.1	bdl	6.4	4.5	44.9	9.2	205.8	0.36	2.26	He	I	Cr

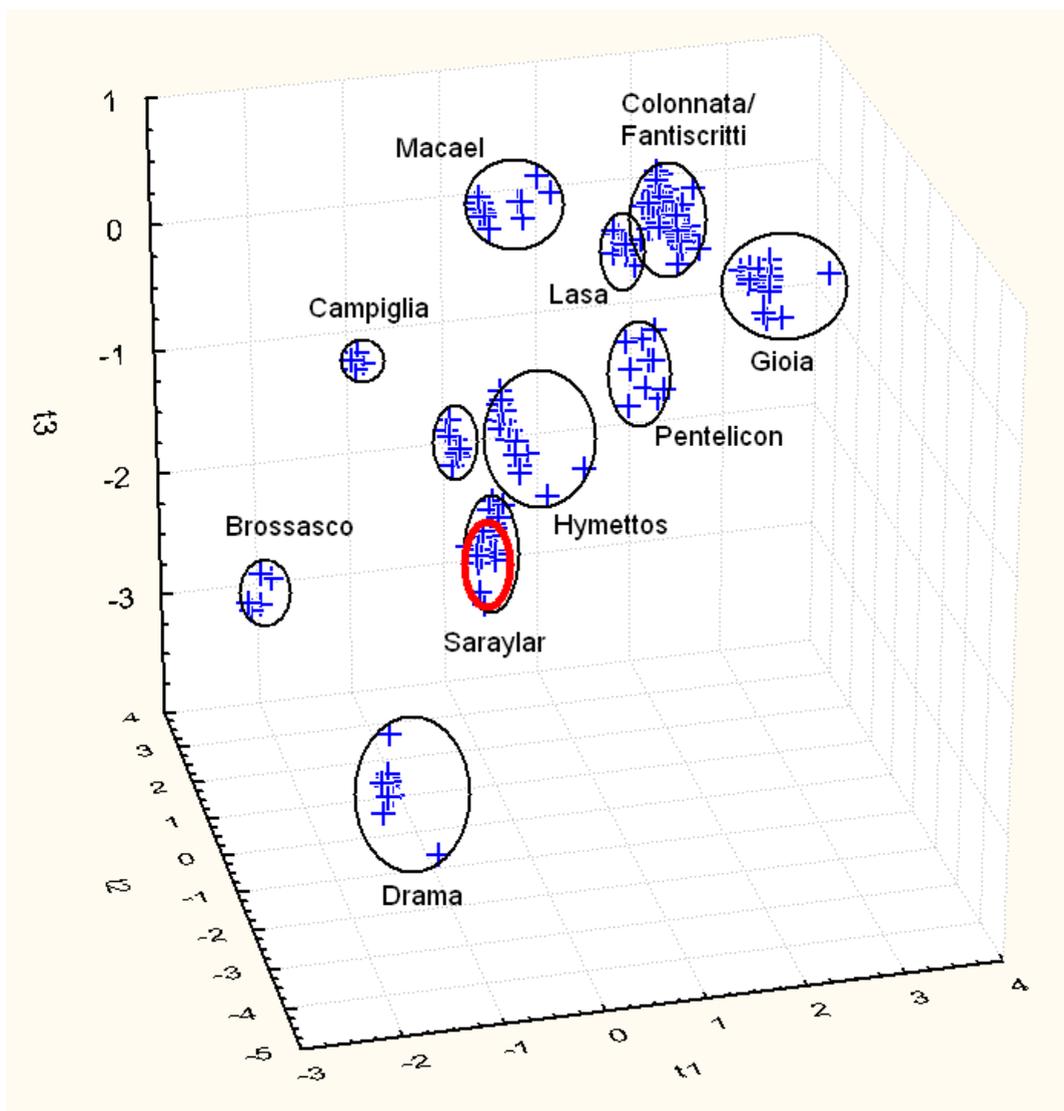
*Tabella 1: Tabella riassuntiva delle variabili geo-chimiche e minero-petrografiche impiegate per la classificazione del pluteo. Per confronto, sono riportate anche alcune analisi rappresentative del marmo di Saraylar*

## CONCLUSIONI

Tutte le indagini condotte attraverso il microscopio ottico polarizzatore e l'analisi geochimica per mezzo della microfluorescenza a raggi X ( $\mu$ -XRF) permettono di asserire come il pluteo bizantino di Cogoleto

provenza con assoluta probabilità dal villaggio di Saraylar, situato sul litorale nordico dell'isola di Marmara e facilmente raggiungibile dalle spedizioni navali dirette a Costantinopoli.

Le prime esportazioni del marmo dalle cave dell'isola, utilizzate localmente già in epoca greca risalgono alla seconda metà del I secolo d.C. Nel corso del II e III secolo l'esportazione si diffuse nelle regioni orientali dell'impero, a Roma e lungo il corso del Danubio. Nel IV secolo fu uno dei marmi meno costosi, come si può evincere dall'elenco nell'Editto dei prezzi di Diocleziano, e uno di quelli più largamente diffusi, a motivo principalmente del vantaggio assicurato dalla maggiore facilità di trasporto essendo le cave sul mare. Esso fu inoltre il principale marmo impiegato agli inizi del IV secolo nella costruzione di Costantinopoli.



*Figura 6: Sintesi dei risultati dell'analisi statistica multivariata (Analisi dei componenti principali, PCA). Tutti i campioni di riferimento sono stati confrontati con il marmo costituente il pluteo. I risultati ottenuti indicano una compatibilità statisticamente significativa tra il marmo Proconneso (sito di Saraylar) e quello incognito.*

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI CITATI NEL TESTO

- Attanasio, D., Brilli, M., and Bruno, M., 2008, The properties and identification of marble from Proconnesos (Marmara Island, Turkey): a new database including isotopic, EPR and petrographic data, *Archaeometry*, 50, 747–74.
- Attanasio, D., Brilli, M., and Ogle, N., 2006, *The isotopic signature of classical marbles*, 'L'Erma' di Bretschneider, Rome.
- Borghi A., Cossio R., Serra M., Vaggelli G., 2010, Un approccio microanalitico alla determinazione di provenienza dei marmi bianchi impiegati nell'antichità: applicazioni ai marmi alpini e apuani, *AIAR VI Programma e abstract*, 44.
- Capedri S., Venturelli G. and Photiades A., 2004, Accessory minerals and  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  of marbles from the Mediterranean area, *Journal of Cultural Heritage*, 5(1), 27-47
- Craig, H., and Craig, V., 1972, Greek marbles: determination of provenance by isotopic analysis, *Science*, 176 (2), 401–3.
- Ebert A., Gnos E., Ramseyer K., Spandler C., Fleitmann D., Bitzios D., Decrouez D., 2010, Provenance of marbles from Naxos based on microstructural and geochemical characterization, *Archaeometry* 52 (2) 209–228.
- Hermann J.J., Herz N. and Newman R. (a cura di), 2002, *Interdisciplinary Studies on Ancient Stones*, *ASMOSIA V*, Boston, 1998, Archetype Publ., London, 420 pp
- Matthews, K. J., 1997, The establishment of a data base of neutron activation analyses of white marble, *Archaeometry*, 39(2), 321–32.
- Polikreti, K. 2007. Detection of ancient marble forgery: techniques and limitations. – *Archaeometry*, 49(4) 603-619.
- Russo, N., 1914, Una memoria dell'epoca bizantina in Cogoleto, *Rivista Ligure di Scienze Lettere ed Arti*, Genova