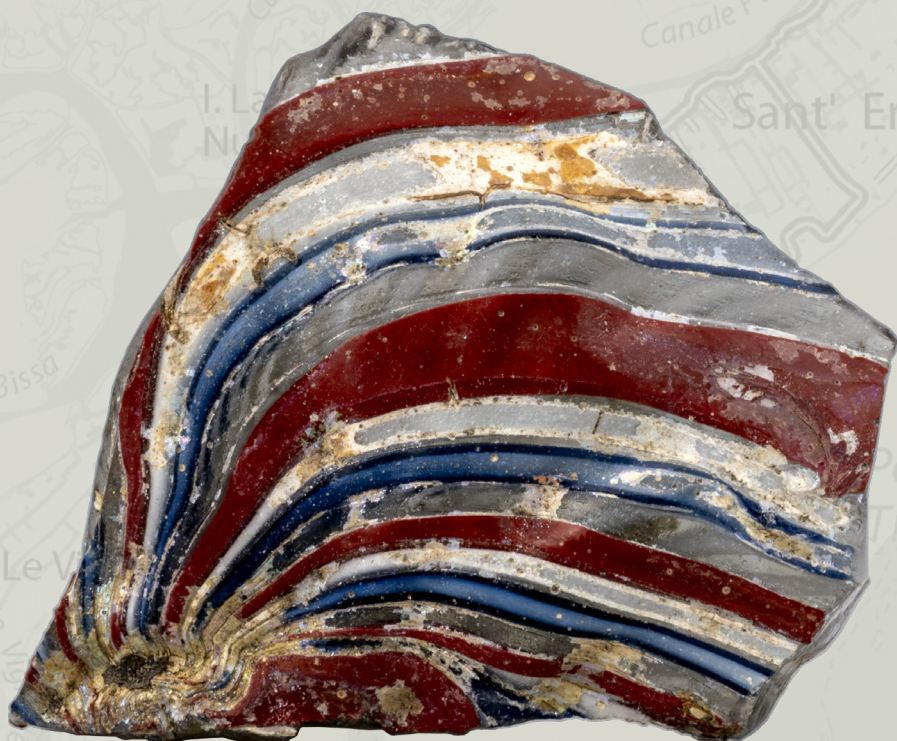


# Vetri di Laguna

I. S. Giacomo  
in Palude

*Palude di S. Giacomo*  
**Atti del Convegno di Studi**



Venezia, Museo Correr

20 ottobre 2023

AEROPORTO

S. Nicolò' G. NICELLI

Bocca di Porto  
di Hido

# Vetri di Laguna

Atti del Convegno di Studi

cura di  
Margherita Tirelli

Venezia, Museo Correr  
20 ottobre 2023



Fondazione Musei Civici di Venezia

*Consiglio di Amministrazione:*

*Presidente*

Mariacristina Gribaudo

*Vicepresidente*

Luigi Brugnaro

*Consiglieri*

Bruno Bernardi, Giulia Foscari Widmann Rezzonico, Lorenza Lain

*Segretario organizzativo*

Mattia Agnetti

*Direttrice Scientifica*

Chiara Squarcina



Comitato Vetri di Laguna

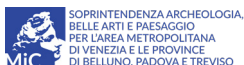
*Presidente*

Margherita Tirelli

*Membri*

Rosa Barovier Mentasti, Marta Moretti, Sandro Pezzoli, Susanna Sent, Chiara Squarcina

*In collaborazione con*



ISBN 979-12-81023-27-7

*Atti del convegno a cura di*  
Margherita Tirelli

*Con saggi di*

Alessandro Asta, Rosa Barovier Mentasti, Maddalena Bassani, Marco Bortoletto, Corisande Fenwick, Luigi Fozzati, Ian Charles Freestone, Luciana Mandruzzato, Martina Minini, Veronica Occari, Myriam Pilutti Namer, Nadine Schibille, Mauro Stocco, Margherita Tirelli, Cristina Tonini, Giulia Toppan

*Impaginazione e grafica*  
Andrés David Carrara

© 2025

Fondazione Musei Civici di Venezia  
Tutti i diritti sono riservati

### *Crediti fotografici*

#### *M. Tirelli*

Fig. 1 Foto Margherita Tirelli

Figg. 2-4 Su autorizzazione del Ministero della Cultura – Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per il Comune di Venezia e Laguna

#### *M. Stocco*

Figg. 1-3-4-5-7-9-12-15-19-20-21: Archivio Fotografico Fondazione Musei Civici di Venezia

Figg. 2-6-8-10-11-13-14-16-17-18-22: foto Matteo De Fina

#### *M. Bassani*

Figg. 1-3 ©WikiCommons

Fig. 4 Museo di Altino 2013, p. 78

Fig. 5.1 Sito web Museo Civico Archeologico di Bologna

Fig. 5.2 ZAMPIERI 1998, p. XIX

Fig. 5.3 ZAMPIERI 1998, p. X

Fig. 5.4 BONOMI 1996, p. IX

Fig. 5.5 BONOMI 1996, p. XIII

Fig. 6 Museo Naniiano 1815

Fig. 7 Elaborazione da CANAL 2013, p. 129

Fig. 8 CAVe IV, pp. 34-35

#### *Asta, Fozzati, Minini*

Tav. 1 Elaborazione a cura di Alessandro Asta e Simone Ondei su base Google Maps.

Figg. 1-8 Su autorizzazione del Ministero della Cultura – Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per il Comune di Venezia e Laguna e Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per l'Area metropolitana di Venezia e le Province di Belluno, Padova e Treviso.

#### *M. Bortoletto*

Fig. 1 Elaborazione a cura di Marco Bortoletto su base Google Maps

Figg. 2 -11 Su autorizzazione del Ministero della Cultura – Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per il Comune di Venezia e Laguna

#### *R. Barovier Mentasti – C. Tonini*

Figg. 2-6, 8-9 Su autorizzazione del Ministero della Cultura – Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per il Comune di Venezia e Laguna

Figg. 1 – 1a Archivio Fotografico Fondazione Musei Civici di Venezia

#### *M. Pilutti Namer – G. Toppan*

Figg. 1-3-5 Foto Giulia Toppan, IVBC

Figg. 2-4 Foto Joan Porcel

#### *V. Occari*

Fig. 1 Su autorizzazione del Ministero della Cultura – Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per il Comune di Venezia e Laguna

## INDICE

- 13 Margherita Tirelli  
*Il perché di questa Giornata*
- 23 Mauro Stocco  
*Il deposito ottocentesco del Museo del Vetro di Murano*
- 51 Maddalena Bassani  
*Testimonianze su ritrovamenti di vetri antichi in laguna:  
il contributo delle fonti d'archivio*
- 71 Alessandro Asta, Luigi Fozzati, Martina Minini  
*Il vetro nell'archeologia veneziana. Casi di studio, problematiche e prospettive*
- 85 Marco Bortoletto  
*Brevi note su un vecchio scavo: alcune considerazioni sulla stratigrafia e sui  
materiali rinvenuti nello scavo del depuratore di Rialto*
- 101 Rosa Barovier Mentasti, Cristina Tonini  
*Reperti vitrei rinascimentali editi ed inediti: Venezia e la laguna. Frammenti,  
vetri museali, documenti e testimonianze iconografiche*
- 119 Myriam Pilutti Namer, Giulia Toppan  
*Restauro archeologico di reperti in vetro: alcuni esempi da Venezia e laguna*
- 129 Veronica Occari, Corisande Fenwick, Ian Charles Freestone, Nadine Schibille  
*Un approccio interdisciplinare per lo studio del vetro veneziano medievale:  
fonti scritte e archeometria a confronto*
- 155 Luciana Mandruzzato  
*Una Giornata di Studio sul vetro dai contesti della laguna veneta*

# UN APPROCCIO INTERDISCIPLINARE PER LO STUDIO DEL VETRO VENEZIANO MEDIEVALE: FONTI SCRITTE E ARCHEOMETRIA A CONFRONTO

*Veronica Occari, Ian Charles Freestone, Corisande Fenwick, Nadine Schibille*

## 1. INTRODUZIONE

L'eccezionale qualità del vetro veneziano è riconosciuta in tutto il mondo. Nel suo periodo di massimo splendore, durante il Rinascimento, i vetrai veneziani conquistarono l'ammirazione dei principi delle più importanti corti europee e il vetro di lusso iniziò a essere ampiamente esportato e, successivamente, imitato<sup>1</sup>. Ancora oggi Venezia rimane un rinomato centro di produzione del vetro e le sue fornaci di Murano continuano a produrre vetro artistico.

Tra i fattori principali che hanno contribuito al successo dell'industria vetraria veneziana vi è l'utilizzo di materie prime di alta qualità, che venivano spesso importate dal Levante<sup>2</sup>. Su questo aspetto i documenti conservati presso l'Archivio di Stato di Venezia, studiati in particolar modo da Luigi Zecchin<sup>3</sup>, sono la fonte principale d'informazione. Il lavoro dello studioso ha consentito di identificare i materiali e gli strumenti utilizzati dai maestri vetrai nel corso di molti secoli. Tuttavia, per quanto estremamente informativa, la documentazione d'archivio non è esauriente e contiene numerose contraddizioni, rendendo difficile una lettura olistica della storia del vetro veneziano e dei suoi mate-

---

1 TAIT 1991, pp. 147-179.

2 ZECCHIN 1987, p.5; ZECCHIN 1997.

3 ZECCHIN 1987, 1989,1990.

riali. Ripartire dal vetro stesso e dalla sua tecnologia, dunque, costituisce un passaggio fondamentale.

Lo studio del vetro archeologico è progredito considerevolmente negli ultimi anni, grazie anche ad un uso sempre più sistematico delle analisi archeometriche, che, come è noto, consentono non solo di ricostruire la tecnologia utilizzata nella produzione dei manufatti vitrei, ma anche di fornire preziose informazioni sulla provenienza delle materie prime<sup>4</sup>. Nell'ambito degli studi del vetro veneziano, le analisi archeometriche si sono concentrate prevalentemente sul vetro Rinascimentale, e in particolare sulla produzione del vetro *cristallo*, un tipo di vetro ottenuto probabilmente tramite un processo di purificazione delle ceneri e l'utilizzo di ciottoli di quarzo<sup>5</sup>. Le ragioni che stanno alla base di questo interesse sono molteplici e non escludono il ruolo dei collezionisti, il cui interesse per il vetro cristallo è ben noto, ma anche il fatto che i rinvenimenti vitrei provenienti da scavi stratigrafici per il periodo medievale sono scarsi (per un esaustivo sommario dei rinvenimenti fare riferimento a FERRI 2022). L'assenza del ritrovamento di fornaci per la produzione del vetro grezzo a Venezia e isole limitrofe, e di conseguenza di scarti di produzione dell'intero ciclo produttivo, complica di non poco la situazione<sup>6</sup>.

Questo contributo si focalizza sulla tecnologia e le materie prime utilizzate nella manifattura del vetro veneziano medievale, e si propone di confrontare le informazioni riportate nei documenti d'archivio con i dati ottenuti dall'analisi chimica di un gruppo di 75 vetri proveniente dalla Basilica dei Santi Maria e Donato, a Murano, e datati, su base tipologica, tra il XII e il XIV secolo. Questo approccio interdisciplinare consentirà di elucidare aspetti essenziali e fino ad ora poco chiari della tecnologia utilizzata nella produzione del vetro medievale veneziano, come ad esempio il tipo di materie prime utilizzate (sabbie e ceneri) e la loro provenienza. In particolare, il fine ultimo è di definire, per la prima volta, un *fingerprint* compositivo per il vetro veneziano medievale (non del tipo *cristallo*) che lo distingua dal contemporaneo vetro "Islamico" (ovvero prodotto in territori facenti parte della *dar al-Islam*).

### 1.1 LE MATERIE PRIME PER LA PRODUZIONE DEL VETRO ATTRAVERSO LA LETTURA DELLE FONTI STORICHE

La storia del vetro veneziano e delle materie prime utilizzate nella sua produzione è documentata da diversi tipi di fonti scritte. Una delle principali, come già accennato, sono i documenti legislativi e giudiziari conservati presso gli Archivi di Venezia generati nel corso di molti secoli da diversi enti amministrativi. anche atti legislativi che a prima vista possono sembrare di poco conto, utili però anch'essi a fornire indicazioni sullo sviluppo dell'industria del vetro veneziana. Bartolomeo Cecchetti fu il primo a proporre una prima

---

<sup>4</sup> SCHIBILLE 2022; DEGRYSE, SCHNEIDER 2008; DEGRYSE, SHORTLAND 2009

<sup>5</sup> VERITÀ 1985, 2021.

<sup>6</sup> FERRI 2022.

“storia del vetro veneziano” e una “cronologia” nel 1874, in occasione della partecipazione dell’Italia all’Esposizione Universale tenutasi a Vienna nel 1873. Una rivisitazione, e approfondimento, dell’evoluzione del vetro di Murano è stata successivamente pubblicata da Luigi Zecchin nei suoi tre volumi “Storia del Vetro di Murano, I, II, III”. Altri autori hanno contribuito alla storia del vetro veneziano sulla base della ricostruzione delle fonti storiche d’archivio, tra cui citiamo Gastone Gasparetto<sup>7</sup> e David Jacoby<sup>8</sup>.

Un altro tipo di fonte scritta è rappresentata dagli statuti delle corporazioni dei vetrai, i cosiddetti *capitolari* o *mariegole*, che forniscono principalmente informazioni sull’organizzazione interna della corporazione, ma allo stesso tempo menzionano i materiali considerati obbligatori per la produzione del vetro a Murano, come imposto dalla corporazione<sup>9</sup>. Una prima edizione del Capitolare dei Vetrai venne pubblicata da Giovanni Monticolo<sup>10</sup>, seguita da una più recente - e più accessibile - revisione condotta da Luigi Zecchin, nel volume sopracitato.

Anche i libri di ricette e “collezioni di segreti” concorrono a contribuire alla conoscenza delle tecniche utilizzate nel vetro veneziano. Tra le più note si possono menzionare: i *Trattarelli*, attribuibili al XIV e al XVI secolo, conservati presso gli Archivi di Firenze e pubblicati inizialmente da Gaetano Milanese<sup>11</sup>; le ricette di Montpellier, in parte tradotte e discusse da Luigi Zecchin<sup>12</sup>; un manoscritto anonimo datato al XV secolo<sup>13</sup>; le ricette di Darduin, datate tra il XVI e il XVIII secolo<sup>14</sup>; l’*Arte Vetraria* di Antonio Neri<sup>15</sup>.

I testi sopracitati, dunque, permettono di ottenere una panoramica iniziale delle materie prime utilizzate nella produzione del vetro veneziano e la loro provenienza. Un altro elemento che emerge piuttosto chiaramente è lo stretto controllo esercitato dallo Stato e dalla corporazione dei vetrai sulla selezione e sull’approvvigionamento delle materie prime, nonché sulla loro esportazione in altri centri di produzione<sup>16</sup>. Questo rigido controllo era necessario per assicurare l’alta qualità del prodotto finale e per garantire la predominanza del vetro veneziano sul mercato nazionale e internazionale.

Uno dei primi documenti che fornisce informazioni di natura tecnica sul vetro è uno statuto marittimo del 1233, all’interno del quale “vitreum” è elencato tra i materiali importati dal Levante via mare<sup>17</sup>. Il termine “vitreum” si riferisce a vetro rotto, che, come è noto, veniva poi rifuso e trasformato in manufatti. Questo documento testimonia la presenza di una lavorazione cosiddetta *secondaria*, che prevedeva la rifusione del vetro e

---

7 GASPARETTO 1958.

8 JACOBY 1991, 1993.

9 ZECCHIN op.cit.

10 MONTICOLO 1905.

11 MILANESE 1864.

12 ZECCHIN 1987, pp. 247-276.

13 MORETTI, TONINATO, WATTS 2011.

14 ZECCHIN 1986.

15 ZECCHIN 1987, pp.153-173.

16 ZECCHIN 1997a,b; JACOBY 1993.

17 ZECCHIN 1990, p.173.

la sua lavorazione. Risale al 1255, invece, la prima testimonianza di un'attività *primaria* di produzione del vetro a Venezia, documentata nello specifico dall'importazione di ceneri vegetali dal Levante, che i veneziani usavano come fondente<sup>18</sup>. Questa cenere, chiamata *alume catino*, era del tipo sodico-calcico e veniva importata a Venezia inizialmente dall'Egitto e dalla Siria, e in epoca più tarda anche dalla Spagna e sud della Francia. La cenere prediletta dai veneziani era quella siriana ("allume di Siria"), considerata di migliore qualità<sup>19</sup>. L'uso di cenere potassica, cosiddetta "fuligine", frequentemente utilizzata in altri centri di produzione italiani ed europei, era invece vietata a Venezia. Qualche eccezione era tuttavia permessa, come testimonia un documento del 1318 in cui il Maggior Consiglio concede l'utilizzo ad un vetraio muranese di "certa quantitis aluminis gatini composti cum fuligine"<sup>20</sup>.

Oltre alla cenere vegetale, l'altro ingrediente principale nella produzione del vetro era il silicio, che a Venezia si presentava sottoforma di sabbia quarzifera o di ciottoli di quarzo<sup>21</sup>. L'utilizzo di sabbia silicea per far vetro appare per la prima volta nelle fonti scritte in un documento del 1285, in cui il Maggior Consiglio vieta l'esportazione del "sabloneum" (sabbia silicea per l'appunto) al di fuori da Venezia<sup>22</sup>. In una sentenza del 1313, invece, si obbliga un padrone di fornace a saldare i debiti per l'aquisto di "sablone roseto ad faciendum vitreum" (sabbia rossa per fare vetro)<sup>23</sup>. Altri due ordini di pagamento, datati rispettivamente al 1341 e 1347, fanno riferimento nuovamente alla sabbia per far vetro, qui chiamata "sabion", mentre un documento del 1348 riporta un credito di pagamento per "alumina catina et sablone"<sup>24</sup>. Purtroppo, l'esatta provenienza di questa sabbia non è indicata nei documenti sopracitati, ma alcuni studiosi hanno supposto un'origine locale. D'altronde, l'uso di una sabbia locale, "sabion de Margora", proveniente dalla Terraferma, è documentata nelle ricette di Montpellier (1536?)<sup>25</sup>. Alcune sabbie avevano invece provenienze più lontane. Un registro del 1293-1302 menziona l'uso di sabbia importata da Creta, mentre un documento del 1340 testimonia l'uso di sabbia proveniente dalla Sicilia ("Sablone de Sicilia ad faciendum vitrum")<sup>26</sup>. Le ricette numero 8 e 9 di Montpellier, invece, riportano sabbia proveniente da Gerusalemme ("sabion di santo abraçan de Jerusalem")<sup>27</sup>. Jacoby afferma che la sabbia veniva importata dal Levante già nel 1280<sup>28</sup>, ma non fa riferimento alla fonte primaria in questione. Nei documenti più tardi, i riferimenti all'utilizzo di sabbia silicea sono sempre meno frequenti forse perché già dal 1332, i ve-

---

18 *Ibidem*.

19 ZECCHIN 1990, p. 175.

20 ZECCHIN 1990, p. 176.

21 MORETTI, HREGlich 2013; VERITÀ 2013; ZECCHIN 1990, p. 176.

22 ZECCHIN 1987, p. 7.

23 ZECCHIN 1990, p. 176.

24 ZECCHIN 1990, p. 180.

25 ZECCHIN 1987, p. 258.

26 ZECCHIN 1987, p. 19; ZECCHIN 1997a.

27 ZECCHIN 1987, p. 254.

28 JACOBY 1993, p. 7.

neziani utilizzavano i ciottoli di quarzo, i cosiddetti “cogoli”, nel tentativo di migliorare la qualità del vetro<sup>29</sup>. I ciottoli, infatti, contenevano meno impurità della sabbia silicea, e questo permetteva di ottenere un vetro più limpido e trasparente<sup>30</sup>. Il manganese veniva infine aggiunto come decolorante<sup>31</sup>. Si pensa che i due tipi di vetrificante venissero tuttavia utilizzati per produrre prodotti diversi: i ciottoli per i prodotti più prestigiosi, mentre la sabbia per la produzione di vetri di inferiore qualità e di uso comune<sup>32</sup>. Sarà proprio grazie all'uso dei ciottoli e ad un processo di purificazione delle ceneri, che i maestri veneziani inventeranno il vetro *cristallo* nella seconda metà del XV secolo, un vetro così puro da essere paragonato al cristallo di rocca, che rivoluzionerà per sempre il panorama europeo di produzione del vetro di lusso<sup>33</sup>.

## 2.1 MATERIALI E METODI

### *LA BASILICA DEI SANTI MARIA E DONATO E IL REPERTORIO VITREO*

La Basilica dei Santi Maria e Donato si trova sull'isola di Murano, nella laguna nord di Venezia, dove, a partire dal 1291, venne concentrata la produzione del vetro veneziano<sup>34</sup>. Fondata probabilmente nel VII secolo, e restaurata nel IX, la basilica venne poi ricostruita nella prima metà del XII secolo<sup>35</sup>. Tra la fine del XVII e l'inizio del XIX, una serie di restauri e lavori arbitrari compromisero gravemente la struttura della basilica, portando alla demolizione, nel 1866, di un edificio esterno, a ridosso del fianco meridionale della basilica. Questo edificio esterno comprendeva due sagrestie, di cui una fungeva anche da battistero, in seguito alla demolizione del “vecchio” battistero nel 1719. Ed è proprio in corrispondenza dell'ambiente di questo edificio che, nel corso di lavori di consolidamento effettuati fra il 1973 e il 1976 sulle fondazioni e sul pavimento della Basilica, sono stati rinvenuti dei frammenti in vetro<sup>36</sup>. Questi ultimi sono stati rinvenuti in una piccola cella fatta con mattoni a secco, forse costruita durante i lavori di demolizione del 1866 e in cui i frammenti vennero depositi. Non si può escludere però che la cella fungesse invece da sacrario, dove solitamente venivano riposti i resti degli oggetti benedetti rotti e l'acqua delle purificazioni. I frammenti, che includono colli e fondi di bottiglia, bicchieri, lampade, vetri da finestra e ampole, erano dunque stati conservati e riposti anteriormente al XIX secolo, la cui precisa datazione resta tuttavia incerta. La somiglianza tipologica e la prossimità geografica con il deposito di San Giacomo in Paludo, di sicura datazione

---

29 ZECCHIN 1987, p. 17.

30 VERITÀ 1985; MORETTI, HREGlich 2013, VERITÀ, ZECCHIN 2009a.

31 ZECCHIN 1987, p. 7; VERITÀ 2013.

32 VERITÀ, ZECCHIN 2009a; VERITÀ 2013.

33 VERITÀ 1985; McCray 1998.

34 ZECCHIN 1987, p. 6.

35 GASPARETTO 1977.

36 Ibidem.



Fig. 1 – Esempi di colli di bottiglia rinvenuti nella Basilica dei Santi Maria e Donato

medievale<sup>37</sup>, sottolinea l'importanza del ritrovamento. Le bottiglie rinvenute sono tutte del tipo “inghistere” (fig. 1), le tipiche bottiglie veneziane medievali con collo cilindrico allungato e corpo di forma globulare, talvolta decorate con un filo blu che avvolge il collo. I frammenti di ampolle rinvenute nella Basilica sono principalmente beccucci, verosimilmente parti di ampolle liturgiche. I frammenti di bicchiere non sono numerosi e sono principalmente del tipo tronco-conico con fondo convesso a punta, i cosiddetti “moioli” nelle fonti scritte. I frammenti di vetri piani, invece, sono attribuibili al tipo “a corona”, chiamati “rui” a Venezia, pertinenti a lastre discoidali, ottenute per apertura e centrifugazione del vetro soffiato<sup>38</sup>.

I campioni analizzati e presentati in questa sede sono per lo più incolori e solo pochi frammenti, che corrispondono alle decorazioni colorate applicate sui colli di bottiglia, presentano un colore blu traslucido.

---

37 FERRI 2022, pp. 69-78.

38 Per una descrizione tipologica dettagliata dei frammenti rinvenuti si rinvia il lettore a GASPARETTO 1977.

## 2.2 LA-ICP-MS: METODOLOGIE DI ANALISI E CONDIZIONI STRUMENTALI

Settantacinque campioni sono stati analizzati mediante spettroscopia di massa a plasma accoppiato induttivamente (LA-ICP-MS), che consente la caratterizzazione degli elementi maggiori, minori e in tracce. I campioni sono stati preparati in blocchi di resina epossidica e successivamente lucidati. L'analisi è stata eseguita sui blocchi lucidati utilizzando uno spettrometro di massa Thermofisher Element XR e un microscopio laser Resonetic (ArF 193 nm) presso il laboratorio IRAMAT-CER del Centro di Ricerca Nazionale Francese (CNRS). Il laser è stato impostato su una dimensione dello spot di 100  $\mu\text{m}$ , occasionalmente ridotta a 80  $\mu\text{m}$  in presenza di saturazione del manganese. Le analisi sono state effettuate a 5 mJ con una frequenza di 10 Hz, con un tempo di pre-ablazione di 20 secondi, seguito da un tempo di analisi di 30 secondi. I bianchi analitici sono stati misurati tra ogni quattro campioni e sono stati sottratti dal conteggio dei campioni per rimuovere il rumore di fondo. Per tenere conto della possibile variabilità composizionale dei campioni, si è scelto di analizzarli in due punti diversi, calcolando in seguito la media dei risultati. La differenza relativa tra due punti dello stesso campione si è rivelata essere generalmente inferiore al 6%. Il protocollo di quantificazione analitica adottato in questa sede è quello descritto da Gratuze<sup>39</sup>. Le concentrazioni in wt. % e ppm dei 56 isotopi sono state calcolate determinando il coefficiente di risposta medio  $K_y^{40}$ , utilizzando una serie di standard di vetro, NIST SMR610, Corning B, C, D e APL1, uno standard interno per misurare il cloro, e  $^{29}\text{Si}$  come standard interno. Per determinare la precisione e l'accuratezza, gli standard di riferimento Corning A, B e D e NIST 612 sono stati analizzati a intervalli regolari. Per i Corning, i valori veri utilizzati sono stati principalmente quelli di Vicenzi *et alii*<sup>41</sup> con informazioni aggiuntive da Wagner *et alii*<sup>42</sup>.

I valori veri per il NIST 612 sono stati quelli forniti da Jochum *et alii*<sup>43</sup>. Sia la precisione che l'accuratezza sono risultate generalmente comprese tra il 5% e il 10% di errore relativo rispetto al valore di riferimento (*Tabella 1*, *Tabella 2*), mostrando un buon accordo tra i dati misurati e quelli presenti in letteratura. I limiti di rilevazione sperimentali, calcolati sulla base di un'intensità di picco pari a tre volte la deviazione standard del valore medio dell'intensità di fondo, variano tra lo 0,1 e lo 0,01% per gli elementi principali e tra 20 e 500 ppb per gli elementi in traccia. L'intervallo dei limiti di rilevazione ottenuti con questo protocollo analitico è quello pubblicato da Gratuze<sup>44</sup>.

---

39 GRATUZE 2016.

40 *Ibidem*.

41 VINCENZI *et alii* 2002.

42 WAGNER *et alii* 2012.

43 JOCHUM *et alii* 2011.

44 Op. cit. p. 184.

| Corning A                                  | Na <sub>2</sub> O | MgO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl     | K <sub>2</sub> O | CaO   | TiO <sub>2</sub> | MnO   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CoO    | NiO   | CuO   | RbO          | SrO   | ZrO <sub>2</sub> | SnO <sub>2</sub> | Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | BaO          | PbO          |
|--------------------------------------------|-------------------|-------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|--------|------------------|-------|------------------|-------|--------------------------------|--------|-------|-------|--------------|-------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------|--------------|
| Mean (n=37)                                | 13.86             | 2.52  | 0.92                           | 67.00            | 0.11                          | 0.13   | 2.86             | 5.65  | 0.77             | 1.01  | 1.10                           | 0.17   | 0.02  | 1.14  | 0.01         | 0.11  | 0.01             | 0.11             | 1.64                           | 0.46         | 0.06         |
| Vincenzi <sup>1</sup> /Wagner <sup>2</sup> | 14.30             | 2.66  | 1.00                           | 66.56            | 0.13                          | 0.10   | 2.87             | 5.03  | 0.79             | 1.00  | 1.09                           | 0.17   | 0.02  | 1.17  | 0.01         | 0.10  | 0.01             | 0.19             | 1.58                           | <b>0.46</b>  | <b>0.07</b>  |
| Absolute error                             | -0.44             | -0.14 | -0.08                          | 0.44             | -0.02                         | 0.03   | -0.01            | 0.62  | -0.02            | 0.01  | 0.01                           | 0.00   | 0.00  | -0.03 | 0.00         | 0.01  | 0.00             | -0.08            | 0.06                           | <b>0.00</b>  | <b>-0.01</b> |
| Relative Error                             | -3.08             | -5.43 | -8.16                          | 0.67             | -15.54                        | 30.34  | -0.41            | 12.32 | -3.11            | 1.12  | 1.30                           | -0.77  | 12.95 | -2.23 | -3.21        | 5.16  | 11.72            | -43.50           | 4.04                           | <b>0.48</b>  | <b>-15.9</b> |
| SD                                         | 0.18              | 0.03  | 0.02                           | 0.28             | 0.01                          | 0.01   | 0.06             | 0.18  | 0.02             | 0.02  | 0.02                           | 0.00   | 0.00  | 0.02  | 0.00         | 0.00  | 0.00             | 0.08             | 0.04                           | <b>0.02</b>  | <b>0.01</b>  |
| RSD (%)                                    | 1.29              | 1.29  | 2.52                           | 0.42             | 4.81                          | 7.08   | 2.00             | 3.12  | 2.55             | 1.54  | 1.56                           | 1.72   | 2.31  | 1.84  | 2.59         | 2.53  | 3.51             | 73.71            | 2.32                           | <b>3.39</b>  | <b>15.1</b>  |
| Corning B                                  | Na <sub>2</sub> O | MgO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl     | K <sub>2</sub> O | CaO   | TiO <sub>2</sub> | MnO   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CoO    | NiO   | CuO   | RbO          | SrO   | ZrO <sub>2</sub> | SnO <sub>2</sub> | Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | BaO          | PbO          |
| Mean (n=37)                                | 16.68             | 1.01  | 4.47                           | 62.42            | 0.82                          | 0.20   | 1.01             | 8.57  | 0.10             | 0.25  | 0.35                           | 0.04   | 0.09  | 2.67  | 0.00         | 0.02  | 0.02             | 0.02             | 0.43                           | 0.08         | 0.43         |
| Vincenzi <sup>1</sup> /Wagner <sup>2</sup> | <b>16.50</b>      | 1.03  | 4.36                           | 61.55            | 0.82                          | 0.20   | 1.00             | 8.56  | 0.09             | 0.25  | 0.34                           | 0.05   | 0.10  | 2.66  | 0.00         | 0.02  | 0.03             | 0.02             | <b>0.41</b>                    | <b>0.08</b>  | <b>0.53</b>  |
| Absolute error                             | <b>0.18</b>       | -0.02 | 0.11                           | 0.87             | 0.00                          | 0.00   | 0.01             | 0.01  | 0.01             | 0.00  | 0.01                           | 0.00   | -0.01 | 0.01  | 0.00         | 0.00  | 0.00             | 0.00             | <b>0.02</b>                    | <b>0.00</b>  | <b>-0.10</b> |
| Relative Error                             | <b>1.12</b>       | -1.74 | 2.43                           | 1.41             | 0.05                          | 1.44   | 1.20             | 0.09  | 14.45            | -1.73 | 3.08                           | -4.40  | -6.52 | 0.35  | <b>28.04</b> | -7.97 | -4.96            | 0.45             | <b>3.74</b>                    | <b>-1.17</b> | <b>-16.7</b> |
| SD                                         | <b>0.16</b>       | 0.02  | 0.08                           | 0.28             | 0.03                          | 0.01   | 0.03             | 0.14  | 0.00             | 0.00  | 0.01                           | 0.00   | 0.00  | 0.05  | 0.00         | 0.00  | 0.00             | 0.00             | <b>0.01</b>                    | <b>0.00</b>  | <b>0.02</b>  |
| RSD (%)                                    | 0.94              | 1.70  | 1.83                           | 0.45             | 3.46                          | 5.87   | 2.54             | 1.63  | 2.25             | 1.79  | 2.17                           | 1.91   | 1.74  | 1.96  | 2.19         | 2.17  | 3.35             | 3.62             | 3.03                           | 3.29         | 3.91         |
| Corning D                                  | Na <sub>2</sub> O | MgO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl     | K <sub>2</sub> O | CaO   | TiO <sub>2</sub> | MnO   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CoO    | NiO   | CuO   | RbO          | SrO   | ZrO <sub>2</sub> | SnO <sub>2</sub> | Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | BaO          | PbO          |
| Mean (n=37)                                | 1.31              | 3.98  | 5.39                           | 55.33            | 3.99                          | 0.22   | 11.28            | 14.80 | 0.38             | 0.56  | 0.52                           | 0.02   | 0.05  | 0.36  | 0.00         | 0.06  | 0.01             | 0.08             | 0.90                           | 0.29         | 0.20         |
| Vincenzi <sup>1</sup> /Wagner <sup>2</sup> | 1.20              | 3.94  | 5.30                           | 55.24            | 3.93                          | 0.40   | 11.30            | 14.80 | 0.38             | 0.55  | 0.52                           | 0.02   | 0.05  | 0.38  | 0.01         | 0.06  | 0.01             | 0.10             | 0.87                           | <b>0.29</b>  | <b>0.24</b>  |
| Absolute error                             | 0.11              | 0.04  | 0.09                           | 0.09             | 0.06                          | -0.18  | -0.02            | 0.00  | 0.00             | 0.01  | 0.00                           | 0.00   | 0.00  | -0.02 | 0.00         | 0.00  | 0.00             | -0.02            | 0.03                           | 0.00         | -0.04        |
| Relative Error                             | 9.08              | 1.01  | 1.68                           | 0.17             | 1.63                          | -46.23 | -0.22            | -0.03 | -1.19            | 1.65  | -0.53                          | -17.97 | -4.29 | -4.28 | -5.07        | -1.34 | -2.76            | -18.63           | 3.29                           | -0.92        | -7.51        |
| SD                                         | 0.03              | 0.06  | 0.11                           | 0.31             | 0.13                          | 0.02   | 0.19             | 0.23  | 0.01             | 0.01  | 0.01                           | 0.00   | 0.00  | 0.01  | 0.00         | 0.00  | 0.00             | 0.00             | 0.02                           | 0.01         | 0.02         |
| RSD (%)                                    | 2.45              | 1.61  | 2.09                           | 0.57             | 3.16                          | 10.50  | 1.69             | 1.57  | 2.16             | 1.68  | 1.92                           | 1.94   | 2.56  | 2.94  | 1.90         | 1.73  | 3.32             | 1.94             | 2.08                           | 2.80         | 7.57         |

Tabella 1: Valori ottenuti per i Corning A, B e D tramite LA-ICP-MS e precisione e accuratezza delle analisi

| NIST612             | Li   | B     | V     | Cr    | Co    | Ni    | Cu    | Zn    | Ga    | As    | Rb   | Sr    | Y     | Zr    | Nb    | Mo    | Ag    | Cd   | In    | Sn    | Sb   | Cs    |
|---------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| Average             | 40.2 | 34.0  | 37.2  | 36.2  | 35.2  | 37.4  | 37.5  | 35.7  | 36.2  | 32.2  | 31.7 | 75.5  | 37.8  | 37.8  | 35.2  | 32.7  | 25.6  | 39.9 | 37.3  | 34.5  | 35.0 | 41.0  |
| Jochum <sup>1</sup> | 40.2 | 34.3  | 38.8  | 36.4  | 35.5  | 38.8  | 37.8  | 39.1  | 36.9  | 35.7  | 31.4 | 78.4  | 38.3  | 37.9  | 38.9  | 35.8  | 22.0  | 28.1 | 38.9  | 38.6  | 34.7 | 42.7  |
| Absolute error      | 0.06 | -0.23 | -1.56 | -0.12 | -0.27 | -1.31 | -0.26 | -3.40 | -0.63 | -3.46 | 0.34 | -2.81 | -0.43 | -0.08 | -3.66 | -3.02 | 3.68  | 11.8 | -1.57 | -4.04 | 0.35 | -1.66 |
| Relative error      | 0.14 | -0.68 | -4.01 | -0.34 | -0.77 | -3.37 | -0.70 | -8.68 | -1.70 | -9.68 | 1.10 | -3.58 | -1.12 | -0.20 | -9.42 | -8.45 | 16.7  | 42.0 | -4.03 | -10.4 | 1.01 | -3.88 |
| s.d.                | 1.79 | 2.79  | 0.77  | 4.44  | 0.94  | 1.40  | 11.33 | 1.37  | 0.54  | 2.05  | 0.94 | 1.44  | 0.84  | 0.91  | 0.76  | 0.97  | 24.78 | 1.81 | 0.93  | 1.56  | 2.96 | 1.08  |
| RSD                 | 4.45 | 8.19  | 2.05  | 12.24 | 2.66  | 3.74  | 30.19 | 3.85  | 1.48  | 6.36  | 2.97 | 1.91  | 2.21  | 2.41  | 2.15  | 2.95  | 96.47 | 4.54 | 2.49  | 4.51  | 8.43 | 2.64  |

| NIST612             | Ba    | La   | Ce   | Pr    | Nd   | Sm    | Eu   | Gd    | Tb   | Dy    | Ho   | Er    | Tm    | Yb   | Lu   | Hf    | Ta    | Th   | U    | W     | Pb   | Bi   |
|---------------------|-------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|-------|------|------|
| Average             | 36.3  | 38.4 | 38.9 | 37.2  | 35.8 | 37.5  | 36.9 | 35.2  | 38.0 | 35.4  | 38.9 | 36.6  | 36.7  | 40.1 | 37.8 | 36.2  | 31.9  | 39.2 | 39.0 | 29.0  | 39.3 | 30.7 |
| Jochum <sup>1</sup> | 39.3  | 36.0 | 38.4 | 37.9  | 35.5 | 37.7  | 35.6 | 37.3  | 37.6 | 35.5  | 38.3 | 38.0  | 36.8  | 39.2 | 37.0 | 36.7  | 37.6  | 37.8 | 37.4 | 38.0  | 38.6 | 30.2 |
| Absolute error      | -2.99 | 2.45 | 0.52 | -0.70 | 0.36 | -0.11 | 1.32 | -2.09 | 0.48 | -0.06 | 0.62 | -1.32 | -0.08 | 0.97 | 0.87 | -0.48 | -5.64 | 1.44 | 1.67 | -8.92 | 0.65 | 0.52 |
| Relative error      | -7.61 | 6.81 | 1.37 | -1.84 | 1.00 | -0.29 | 3.71 | -5.60 | 1.27 | -0.18 | 1.63 | -3.48 | -0.22 | 2.48 | 2.36 | -1.30 | -15.0 | 3.80 | 4.47 | -23.4 | 1.68 | 1.72 |
| s.d.                | 1.24  | 1.60 | 1.64 | 1.12  | 1.12 | 1.14  | 1.00 | 1.04  | 1.06 | 1.06  | 1.12 | 1.16  | 1.05  | 1.20 | 1.13 | 1.33  | 0.93  | 1.76 | 1.55 | 2.65  | 25.5 | 0.87 |
| RSD                 | 3.40  | 4.17 | 4.22 | 3.02  | 3.14 | 3.03  | 2.70 | 2.95  | 2.79 | 2.98  | 2.88 | 3.17  | 2.85  | 2.99 | 2.99 | 3.68  | 2.91  | 4.47 | 3.96 | 9.13  | 64.9 | 2.83 |

Tabella 2: Valori ottenuti per NIST612 tramite LA-ICP-MS e precisione e accuratezza delle analisi

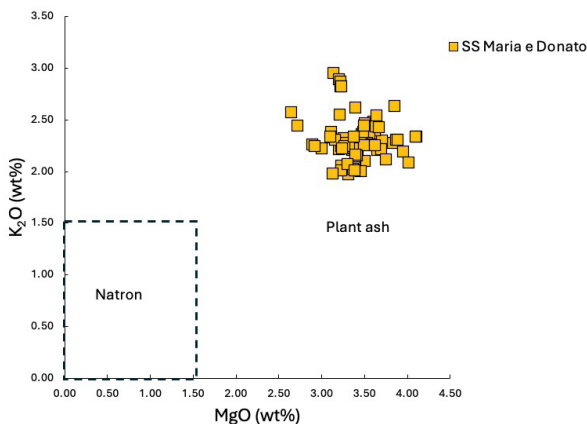


Fig. 2: Contenuti di K<sub>2</sub>O (wt%) vs MgO (wt%) dei vetri analizzati, compatibili con l'uso di ceneri vegetali come fondente

### 3. RISULTATI DELLE ANALISI

L'analisi chimica tramite l'utilizzo di LA-ICP-MS dei 75 vetri provenienti dalla Basilica dei Santi Maria e Donato ha permesso la completa caratterizzazione chimica dei frammenti. I risultati rivelano che i livelli di K<sub>2</sub>O e MgO variano tra l'1,5% e il 4,1% e sono compatibili con l'utilizzo di piante alofite ricche di soda come fondente per il vetro<sup>45</sup> (fig. 2). Questi risultati sono pienamente in linea con le attuali conoscenze sulla produzione del vetro mediterraneo nel periodo medievale<sup>46</sup>. I campioni presentano, inoltre, livelli di CaO piuttosto simili (8%-12%) (Tabella 3).

Inoltre, tutti i frammenti mostrano livelli di ossido di manganese (tra lo 0,12% e il 1,65%) (Tabella 3) superiori a quelli naturalmente presenti sia nelle ceneri vegetali (<0,06%)<sup>47</sup> sia nella sabbia silicea (circa 0,02%)<sup>48</sup>, supportando dunque l'ipotesi della sua aggiunta intenzionale come agente decolorante<sup>49</sup>. Le ceneri vegetali tendono ad essere molto variabili dal punto di vista composizionale, rendendo l'interpretazione di questo tipo di vetri più difficile rispetto a quella dei vetri prodotti con soda minerale (natron)

45 BRILL 1999, 1970; LILYQUIST, BRILL 1993; SAYRE, SMITH 1974.

46 DE JUAN ARES, SCHIBILLE 2017; HENDERSON *et alii* 2016a, b; SHORTLAND, REHREN 2020; VERITÁ 2021.

47 BARKOUDAH, HENDERSON 2006.

48 PHELPS 2018; SCHIBILLE *et alii* 2017.

49 SAYRE 1963; SCHREURS, BRILL 1984.

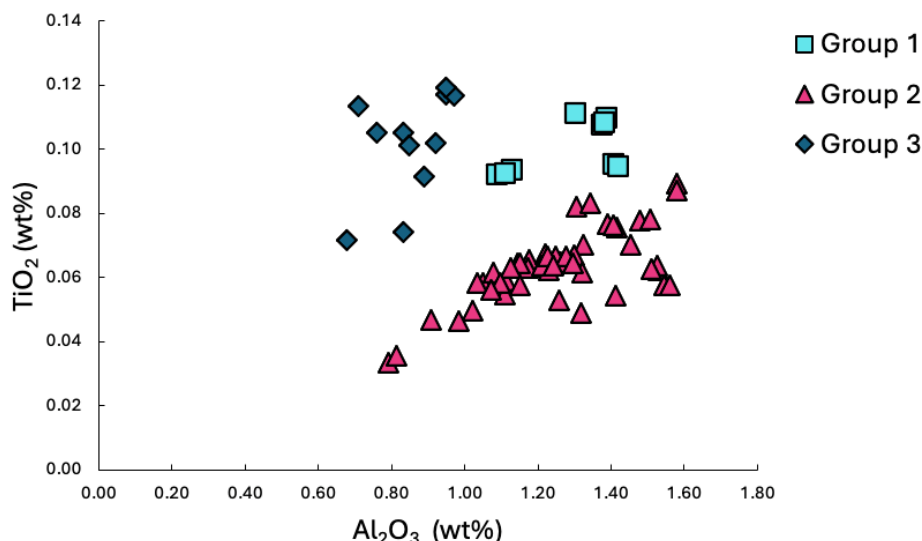


Fig. 3: I contenuti di  $\text{TiO}_2$  (wt%) vs  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (wt%) dei campioni analizzati evidenziano la presenza di tre gruppi composizionali

come fondente. Per questo motivo, i vetri sono stati raggruppati chimicamente in base alle somiglianze evidenziate nella mineralogia e nelle caratteristiche geochemiche della fonte di silice. Le differenze composizionali negli elementi minori e in tracce, in particolare i componenti refrattari e non volatili, sono state utilizzate con successo da altri ricercatori per distinguere tra diversi tipi di vetri a cenere sodica e per identificare l'uso di materie prime diverse che possono essere attribuite a regioni geologiche differenti<sup>50</sup>.

L'analisi preliminare tramite EPMA degli elementi principali costituenti i vetri della Basilica di SS. Maria e Donato, pubblicata in un recente contributo, ha suggerito la presenza di tre gruppi composizionali<sup>51</sup>. L'analisi tramite LA-ICP-MS degli stessi campioni ha confermato la presenza dei gruppi individuati nello studio citato e ha fornito ulteriori informazioni riguardo agli elementi in traccia ed elementi appartenenti alle terre rare. Infatti, i vetri analizzati possono essere suddivisi in base alle diverse quantità di ossidi di

<sup>50</sup> CEGLIA *et alii* 2019; DE JUAN ARES, SCHIBILLE 2017; HENDERSON *et alii* 2016a, b; SHORTLAND *et alii* 2007; SWAN *et alii* 2017.

<sup>51</sup> OCCARI, FREESTONE, FENWICK 2021.

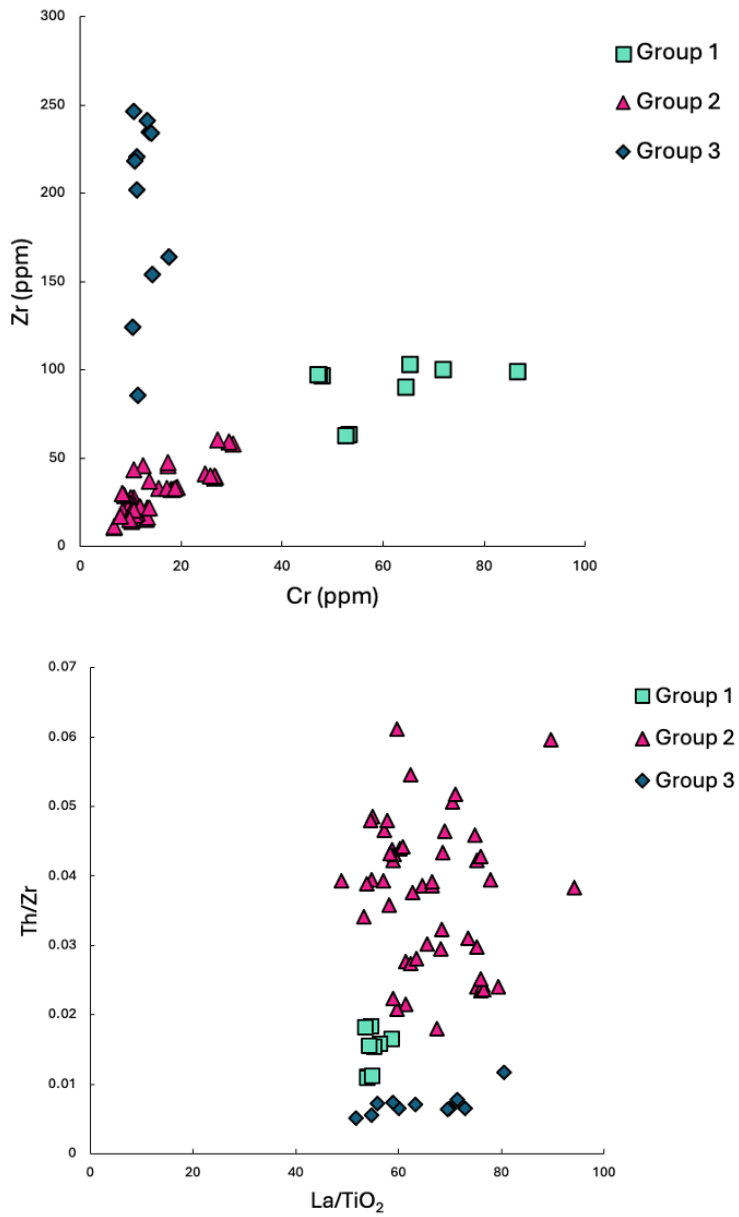


Fig. 4: I tre gruppi composizionali identificati si separano anche per diversi livelli di Zr vs Cr (sopra) e rapporti Th/Zr vs La/TiO<sub>2</sub> (sotto)

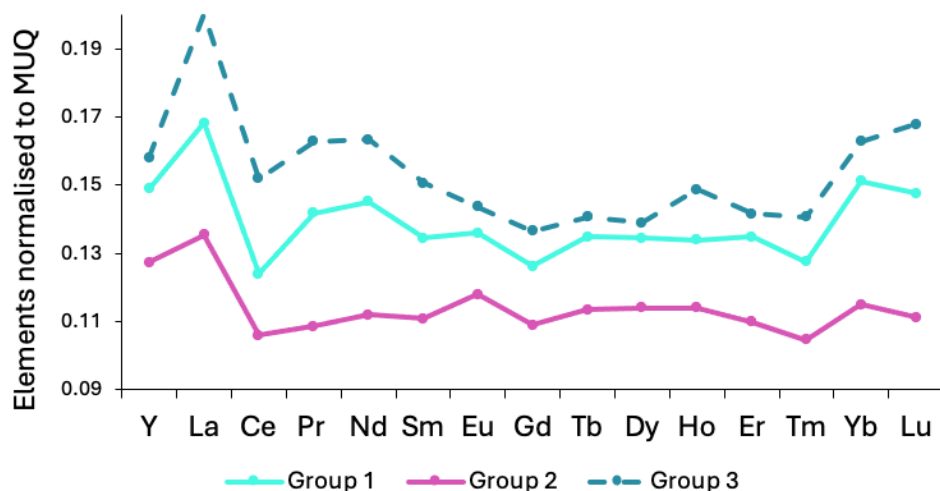


Fig. 5: Diversi profili REE (normalizzati ai valori della crosta continentale, MUQ) dei tre gruppi composizionali

alluminio e titanio (fig. 3), ma anche in base agli elementi in traccia contenuti come lo zirconio, il cromo e il lantanio (fig. 4). Questi elementi sono legati ai minerali accessori presenti nella sabbia silicea o ciottoli di quarzo, come per esempio lo zircone, la cromite e la monazite <sup>52</sup>. Inoltre, questi non sembrano essere influenzati in modo significativo dall'aggiunta di (de)colorante. Una gamma più ampia di elementi in traccia, compresi i pattern degli elementi appartenenti alle terre rare (REE), evidenzia ulteriormente la presenza dei gruppi identificati (fig. 5).

Il gruppo 1 è composto da 9 campioni ed è caratterizzato da livelli relativamente bassi di ossido di alluminio ( $m=1,33\%$ ) e moderati di ossido di titanio ( $m=0,11\%$ ) (fig. 3, Tabella 3), nonché da alte concentrazioni di cromo ( $m=65$  ppm) combinate con livelli significativi di zirconio ( $m=90$  ppm) e afnio ( $m=2$  ppm) (fig. 4, Tabella 3). I campioni del gruppo 1 presentano anche alcune delle più basse concentrazioni di REE totali (circa 29 ppm) e un profilo (normalizzato al MUQ) caratterizzato da un'anomalia negativa di Ce piuttosto pronunciata e da un'anomalia positiva di Eu (fig. 5).

Il gruppo 2 comprende il nucleo più consistente di campioni (50 campioni) ed è ca-

<sup>52</sup> BREMS, DEGRYSE 2014.

|                  | wt%               |      |                                |                  |                               |      |                  |       |                  |      |                                | ppm  |      |       |      |      |       |      |
|------------------|-------------------|------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------|------------------|-------|------------------|------|--------------------------------|------|------|-------|------|------|-------|------|
|                  | Na <sub>2</sub> O | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl   | K <sub>2</sub> O | CaO   | TiO <sub>2</sub> | MnO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Zr   | Hf   | Cr    | La   | Th   | Li    | B    |
| Gruppo 1 (media) | 11.4              | 3.21 | 1.29                           | 69.5             | 0.30                          | 0.75 | 2.39             | 9.80  | 0.10             | 0.40 | 0.63                           | 90.0 | 2.08 | 59.58 | 5.56 | 1.30 | 17.0  | 89.2 |
| sd               | 0.45              | 0.06 | 0.14                           | 0.42             | 0.05                          | 0.04 | 0.40             | 0.68  | 0.01             | 0.10 | 0.08                           | 15.7 | 0.35 | 13.53 | 0.57 | 0.24 | 2.90  | 5.40 |
| Gruppo 2 (media) | 11.9              | 3.48 | 1.25                           | 68.1             | 0.27                          | 0.76 | 2.29             | 10.52 | 0.06             | 0.56 | 0.54                           | 28.8 | 0.72 | 14.37 | 4.14 | 0.96 | 18.54 | 85.9 |
| sd               | 0.82              | 0.30 | 0.20                           | 1.28             | 0.04                          | 0.06 | 0.17             | 0.73  | 0.01             | 0.30 | 0.10                           | 12.4 | 0.29 | 6.53  | 0.70 | 0.19 | 9.14  | 7.36 |
| Gruppo 3 (media) | 11.5              | 3.39 | 0.85                           | 67.7             | 0.25                          | 0.76 | 2.20             | 11.91 | 0.10             | 0.61 | 0.47                           | 193  | 4.38 | 12.55 | 6.51 | 1.29 | 14.45 | 89.0 |
| sd               | 0.57              | 0.20 | 0.10                           | 1.01             | 0.02                          | 0.04 | 0.21             | 0.70  | 0.02             | 0.28 | 0.10                           | 53.5 | 1.21 | 2.18  | 1.25 | 0.21 | 5.95  | 5.74 |

Tabella 3: Valori medi e deviazione standard dei tre gruppi composizionali identificati (ossidi maggiori, minori e selezione di elementi in traccia). I valori medi di Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sono stati ottenuti escludendo il vetro blu analizzato

ratterizzato dall'impiego di quarzo meno contaminato da elementi secondari. Questi campioni presentano livelli relativamente bassi di ossido di alluminio (media 1,37%) e mostrano bassi livelli di ossido di titanio (m= 0,07%) (fig. 3), zirconio (m= 29 ppm) e afnio (m= 0,73 ppm) (fig. 4; Tabella 3). I campioni presentano anche concentrazioni molto basse di cromo (m=14 ppm) (fig. 4; Tabella 3) e si distinguono dagli altri gruppi anche per un più alto rapporto di Th/Zr (fig. 4). Il gruppo 2 presenta un profilo normalizzato di REE simile a quello del gruppo 1, ma con una concentrazione totale di elementi delle terre rare nettamente inferiore (fig. 5).

Il gruppo 3 include 11 campioni caratterizzati da contenuti di ossido di alluminio significativamente più bassi rispetto agli altri gruppi (per lo più inferiori all'1%) (fig. 3). Tuttavia, essi presentano tenori più elevati di ossido di titanio, con livelli che raggiungono lo 0,13%, e zirconio, con livelli superiori a 100 ppm, mentre il cromo è costantemente al di sotto di 18 ppm (fig. 4). Questo gruppo di vetri si distingue dagli altri anche per il rapporto Th/Zr, il quale è notevolmente inferiore (fig. 4).

Per quanto riguarda il colorante utilizzato nella decorazione blu analizzata (campione C016), le analisi dimostrano l'uso di cobalto, presente nella fase vetrosa in contenuti di 2960 ppm. Diversi studi hanno dimostrato come gli elementi in traccia associati al cobalto possano fornire importanti informazioni riguardo il minerale d'origine e alla sua possibile provenienza<sup>53</sup>. Nel campione analizzato, il cobalto è associato ad alte concentrazioni di zinco, intorno ai 3100 ppm, combinate con quantità molto basse di nichel, inferiori a 100 ppm, nonché a livelli elevati di indio (154 ppm), piombo (986 ppm), rame (m= 4681 ppm), stagno (369 ppm) e ossido di ferro (2,73 wt%). Queste caratteristiche chimiche sono compatibili con l'uso di un minerale di cobalto proveniente dalla Germania, e in

53 GRATUZE 2013; GRATUZE *et alii* 2018.

uso tra il XII e il XV secolo<sup>54</sup>. Questo dato è particolarmente importante, poiché serve da ulteriore indizio su un possibile inquadramento cronologico dei campioni.

#### 4. DISCUSSIONE DEI DATI: TECNOLOGIA, MATERIE PRIME E PROVENIENZA

La caratterizzazione chimica dei vetri restituiti dagli scavi della Basilica dei Santi Maria e Donato ha consentito non solo di identificare la tecnologia impiegata per la loro produzione, ma anche di proporre alcune considerazioni sulla loro provenienza. Inoltre, è stato possibile contestualizzare i dati ottenuti attraverso un confronto puntuale con la composizione chimica di altre produzioni vitree veneziane e del Mediterraneo orientale.

Tutti i campioni sembrano essere stati realizzati con ceneri vegetali originarie del Mediterraneo orientale in quanto la maggior parte dei componenti derivati dalle ceneri vegetali mostrano confronti stringenti con i vetri prodotti nel Levante (*fig. 6*). È importante sottolineare come nessun campione presenti caratteristiche chimiche compatibili con l'utilizzo di cenere "Barilla", un tipo di cenere sodica proveniente dal mediterraneo occidentale e più ricca di potassio<sup>55</sup>.

Il gruppo più numeroso di campioni (*gruppo 2*) ha una composizione chimica paragonabile, in termini di elementi maggiori e minori, a quella del gruppo di vetri veneziani "low alumina Venetian glass", datato tra l'XI e il XIV secolo e identificato per la prima volta da Verità e Zecchin<sup>56</sup> (cerchiati nella *fig 7*). Il *gruppo 2* mostra ulteriori somiglianze composizionali con il vetro veneziano del tipo "*vitrum blanchum*" del XV-XVI secolo<sup>57</sup>. Purtroppo, non sono disponibili analisi degli elementi in traccia per questi due gruppi di vetri veneziani. Tuttavia, le composizioni di elementi in traccia pubblicate per pochi campioni di datazioni successive (XVI-XVII secolo), e riguardanti il vetro di tipo cristallo e *vitrum blanchum*, dimostrano l'utilizzo di una fonte di silice povera di zirconio, simile a quella utilizzata per il *gruppo 2*<sup>58</sup>. Il confronto dei campioni analizzati in questa sede con le produzioni vitree del Mediterraneo orientale, mostra che il *gruppo 2* condivide alcune somiglianze con i vetri di tipo siriano e levantino, avendo rapporti  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  e  $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  comparabili (*fig 7*). Questa somiglianza in termini degli elementi maggiori e minori con il vetro Levantino, e in particolare siriano, dovuta certamente all'uso di tecnologie simili, è sempre stato un ostacolo per le analisi di provenienza del vetro veneziano. Tuttavia, il *gruppo 2* si differenzia chiaramente dagli esempi del Mediterraneo orientale per un rapporto Th/Zr notevolmente più alto di quello degli altri gruppi di ceneri vegetali (*fig 8*) e per un rapporto Zr/Hf inferiore (Figura 8). Tutte queste caratteristiche evidenziano l'utilizzo di una fonte di silicio differente per il *gruppo 2* rispetto ai vetri prodotti nel Mediterraneo orientale, associabile ad origini diverse.

54 GRATUZE 2013; GRATUZE *et alii* 2018.

55 CAGNO *et alii* 2008, 2010.

56 VERITÀ, ZECCHIN 2009a.

57 VERITÀ 1975; VERITÀ, ZECCHIN 2009a,b.

58 DE RAEDT *et alii* 2002; JANSSENS *et alii* 2013.

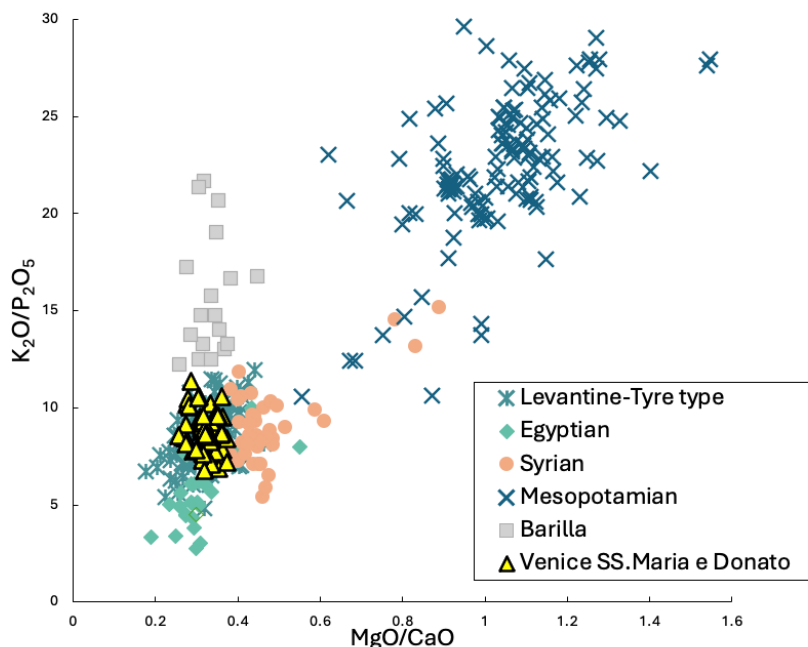


Fig. 6: Rapporti  $K_2O/P_2O_5$  vs  $MgO/CaO$  dei vetri di SS.Maria e Donato confrontati con quelli di vetri Levantini (Tyre type, dati: FREESTONE 2002; PHELPS 2018, 2016), Egiziani (dati: SCHIBILLE *et alii* 2019), Siriani (dati: al-Raqqa, Damascus, HENDERSON *et alii* 2016a, 2005a) e con i vetri del tipo Barilla (dati: CAGNO *et alii* 2010)

Date le somiglianze in termini degli ossidi maggiori e minori con i vetri veneziani medievali presenti in letteratura, le somiglianze tipologiche con i gruppi di vetri Veneziani medievali, il luogo del ritrovamento e soprattutto le caratteristiche peculiari in termini degli elementi in traccia, non riscontrata in nessun altro luogo del Mediterraneo orientale (fig 8), è altamente probabile che il *gruppo 2* rappresenti un gruppo di vetri medievali prodotto a Venezia, tramite l'utilizzo di una fonte di silice locale, o perlomeno italiana. L'uso di una fonte di silice di alta qualità, poco contaminata da elementi secondari, è confermato dai bassi tenori di ossido di alluminio, ferro e titanio. Questo dato collima con quanto riportato dalle fonti scritte, in cui si specifica che i vetrai veneziani utilizzavano silice di alta qualità sia sotto forma di sabbia che di ciottoli di quarzo <sup>59</sup>. Tuttavia, i criteri composizionali utili per distinguere tra l'uso di sabbia e di ciottoli di quarzo per la fabbricazione del vetro non sono ben definiti allo stato attuale delle conoscenze.

<sup>59</sup> MORETTI, HREGlich 2013; VERITÀ 2013; ZECCHIN 1990, p. 175.

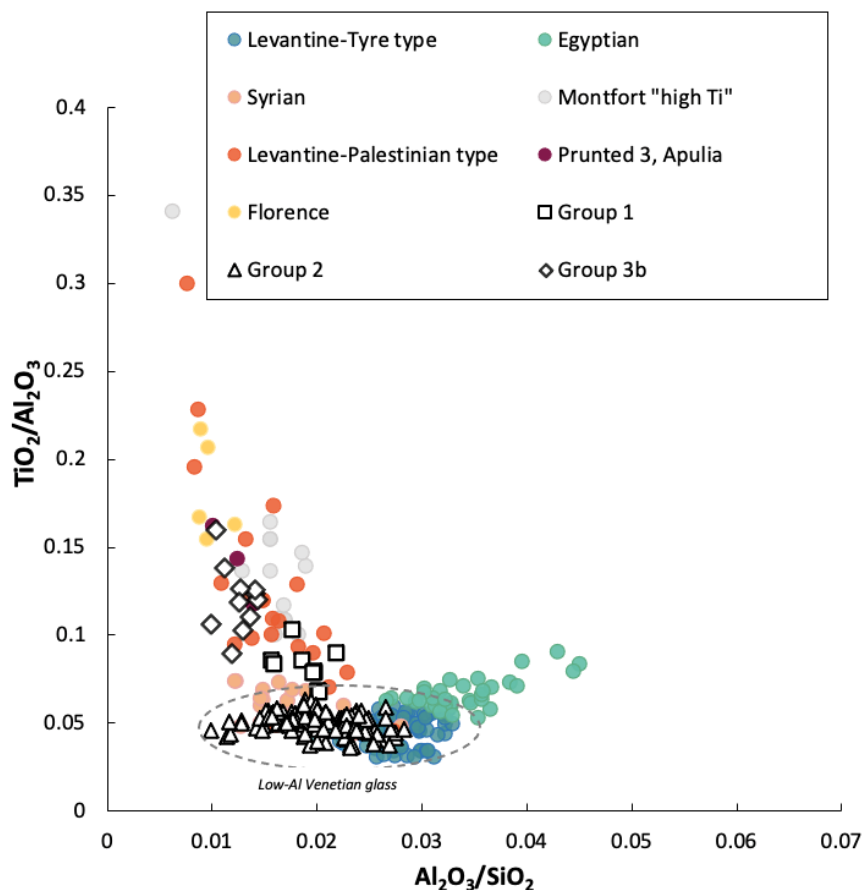


Fig. 7: Rapporti  $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  vs  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  dei gruppi analizzati confrontati con quelli di un gruppo di vetri del tipo Levantino-Tyre (dati: FREESTONE 2002; PHELPS 2018, 2016), vetri Siriani (dati: al-Raqq, Damascus, HENDERSON *et alii* 2016a, 2005a), Egiziani (dati: SCHIBILLE *et alii* 2019), Levantino-Palestinesi? (comprendente vetri da Beirut e Khirbat al Minya, dati: HENDERSON *et alii* 2016), un gruppo di vetri da finestra da Firenze (dati: VERITÁ *et alii* 2019), "High  $\text{TiO}_2$ " da Monfort (WHITEHOUSE *et alii* 2017), e del gruppo "Pruned 3" di GLIOZZO *et alii* 2021. I vetri del gruppo 2 mostrano una composizione paragonabile a quelle del gruppo Veneziano "Low-Al Venetian glass" cerchiato in figura (dati: VERITÁ, ZECCHIN 2009)

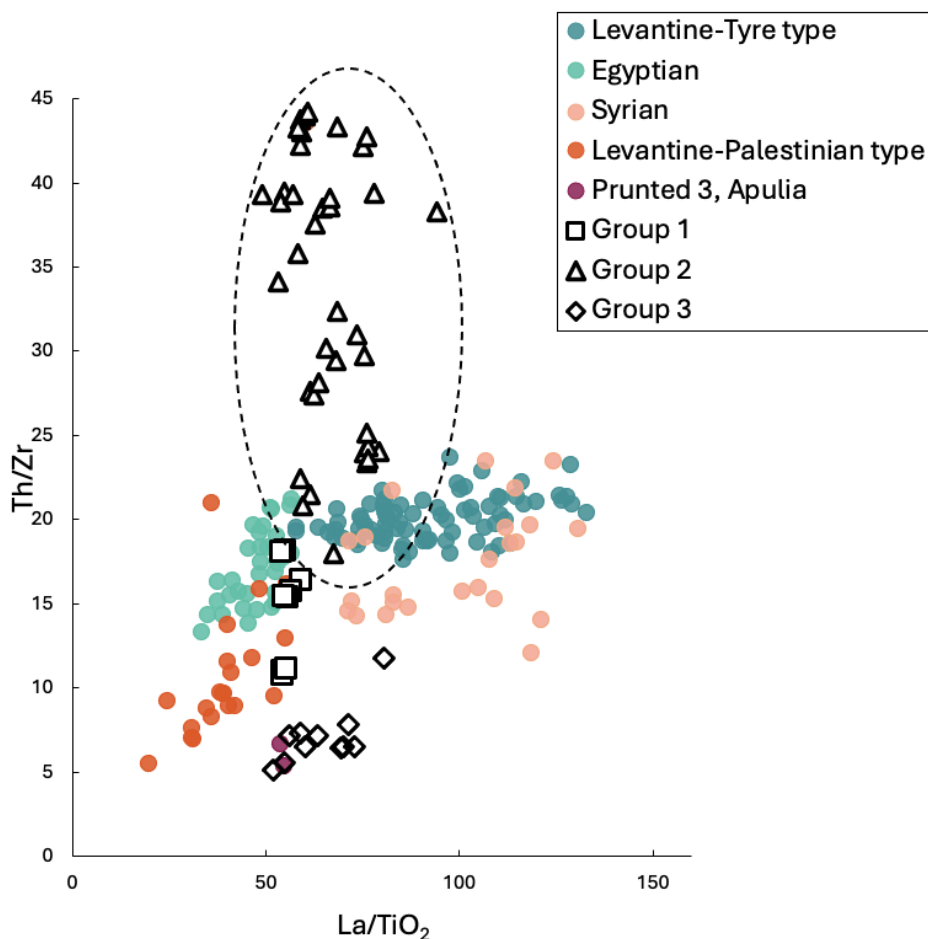


Fig. 8: Rapporti Th/Zr vs La/TiO<sub>2</sub> dei campioni analizzati confrontati con gli stessi gruppi discussi in fig. 8 (ad eccezione dei vetri da Montfort e Firenze, per cui non erano disponibili dati sugli elementi in traccia). I vetri del gruppo 2 si differenziano dai vetri “Islamici” per un più alto rapporto di Th/Zr, indicando una loro probabile origine veneziana

Contenuti di ossido di alluminio significativamente superiori all'1% potrebbero indicare l'uso di sabbia, piuttosto che di ciottoli, quale fonte di silice <sup>60</sup>. Tuttavia, l'uso di ciottoli di quarzo è stato talvolta suggerito anche per vetri con contenuti di ossido di alluminio superiori all'1% <sup>61</sup>. Come accennato in precedenza, l'uso della sabbia nella produzione del vetro veneziano compare spesso nei documenti dell'Archivio, che riportano anche che essa era reperita sia in aree vicine a Venezia sia importata da altre regioni italiane, come la Sicilia (si veda il capitolo 3). L'uso di sabbia siciliana per produrre i vetri del *gruppo 2* sembra improbabile, in quanto recenti indagini scientifiche su reperti vitrei medievali siciliani, hanno rivelato che essi contengono quantità di zirconio notevolmente superiori ai campioni del *gruppo 2* <sup>62</sup>. I documenti storici riportano l'uso di "Sablorum de Venetia" <sup>63</sup>, che potrebbe essere una possibile fonte di silice utilizzata per la produzione di questi vetri. Allo stesso tempo, però, non si può escludere l'impiego di ciottoli di quarzo. Verità e Zecchin<sup>64</sup> hanno suggerito che i vetri veneziani del gruppo "low alumina" sopra citato, e che mostrano contenuti di ossido di alluminio, ferro e titanio simili a quelli del *gruppo 2*, siano stati prodotti impiegando i *coguli de Texin* (ciottoli di quarzo del fiume Ticino). Ciò apre la possibilità che i vetri del *Gruppo 2* siano stati realizzati utilizzando i *cogoli* del fiume Ticino, piuttosto che sabbia, forse di qualità inferiore rispetto a quelli impiegati successivamente per i vetri più raffinati come il cristallo. È altrettanto possibile che con il termine *coguli*, i veneziani si riferissero anche a generici sassi di fiume o a sabbie di fiume raccolte nella stessa zona, e non solo a ciottoli di quarzo puro. Occorre sottolineare che anche i ciottoli dell'Adige venivano impiegati a Venezia, e potrebbero essere dunque una possibile fonte di silice utilizzata, ma questi erano probabilmente di qualità inferiore a quelli ticinesi: la ricetta 134 di Montpellier riporta infatti che i ciottoli di Verona "fan zalo", cioè producono un vetro giallastro<sup>65</sup>, suggerendo un più alto contenuto di ferro.

In complesso, il *gruppo 1* presenta una composizione chimica non riscontrabile tra i dati pubblicati sul vetro veneziano né tra quelli riguardanti i vetri orientali. I livelli relativamente bassi di ossido di alluminio (circa 1,3%) (*fig. 3*) e di ferro (inferiore allo 0,7%) (*Tabella 3*) indicano l'utilizzo di una fonte di silice relativamente pura. Tuttavia, questa fonte di silice presenta elevati contenuti di elementi derivati dai minerali pesanti, come zirconio, titanio e cromo (*fig. 4*). Come nel caso del *Gruppo 2*, è difficile distinguere con sicurezza tra l'uso di sabbia e ciottoli di quarzo. Nonostante alti contenuti di cromo siano solitamente associati a vetri provenienti dalla "Mesopotamia"<sup>66</sup>, non è stato possibile trovare confronti composizionali con il gruppo in questione. È inoltre improbabile che i veneziani ricorressero a materiali importati dalla Mesopotamia, quando materie prime

---

60 BRILL 1995.

61 HENDERSON *et alii* 2005b.

62 SCHIBILLE, COLANGELI 2021.

63 JACOBY 1993.

64 VERITÀ, ZECCHIN 2009a, p. 608.

65 ZECCHIN 1987, p. 239.

66 SCHIBILLE *et alii* 2018.

di qualità potevano essere facilmente importate dal Levante. L'insieme delle considerazioni qui proposte portano ad avanzare l'ipotesi che possa trattarsi di un gruppo di vetri prodotto con sabbia (o vetro grezzo) importata dal Levante, da un centro di produzione non ancora identificato.

Oltre al *gruppo 1*, anche il *gruppo 3* è stato probabilmente fabbricato utilizzando una fonte di silice (o vetro grezzo) non locale, come suggerisce la sua composizione chimica distintiva. Come si evince dai bassi contenuti di ossido alluminio e i più alti tenori di ossido di titanio e di zirconio rispetto agli altri campioni analizzati (*fig. 3, fig. 4*), i vetri di questo gruppo sono stati prodotti con una fonte di silice molto povera di feldspati ma ricca di minerali pesanti. Il confronto con altri vetri veneziani medievali presenti in letteratura indica che questa composizione non è comunemente riscontrata a Venezia (*fig. 7*), a sostegno dell'uso di materie prime importate. Tuttavia, le vetrerie a base di vetro sodico del XIV secolo provenienti dalla Basilica di Santa Croce a Firenze, attribuite alla produzione veneziana da Verità *et alii*<sup>67</sup>, presentano anch'esse livelli simili di ossido di alluminio e titanio (*fig. 7*). Purtroppo, le analisi degli elementi in traccia di queste finestre non sono disponibili per ulteriori confronti, ma è probabile che rappresentino vetri prodotti con una fonte di silice simile, se non la stessa. Inoltre, due bicchieri a bugne e un calice provenienti da San Lorenzo in Carmignano in Puglia (XII-XIV secolo) (il gruppo "Pruned 3" identificato da Gliozzo *et alii*<sup>68</sup>) mostrano una composizione confrontabile a quella del *gruppo 3* (*fig. 7, fig. 8*). I dati isotopici dello stronzio e del neodimio ottenuti per i campioni pugliesi non consentono di escludere una possibile origine levantina per il *gruppo*<sup>69</sup>. Quando confrontato con i vetri provenienti dal Mediterraneo orientale, infatti, il *gruppo 3* mostra una discreta somiglianza chimica con un gruppo di vetri rinvenuti nel Levante, probabilmente realizzati con sabbia locale (forse palestinese?), e comprendente vetri provenienti da Khirbat al Mynia (IX secolo), Beirut (XII-XIV secolo)<sup>70</sup> e il gruppo "high TiO<sub>2</sub>" di Montfort (XIII secolo)<sup>71</sup> (*fig. 7*). Sulla base di queste osservazioni, è dunque da non escludersi che sia stata impiegata una fonte di silice Levantina di possibile origine palestinese, e diversa da quella utilizzate per produrre il vetro a Tiro<sup>72</sup>, la quale è più ricca di alluminio e povera di titanio. Occorre tuttavia notare che al momento, nessun gruppo composizionale sembra corrispondere interamente al *gruppo 3*, e le somiglianze evidenziate sono parziali. Come è stato visto precedentemente, l'uso di sabbia importata dalla Palestina è supportato dalle testimonianze scritte e, in particolare, è citato nelle ricette di Montepellier. Nonostante queste ricette siano probabilmente di un secolo suc-

---

67 VERITÀ *et alii* 2019.

68 GLIOZZO *et alii* 2021.

69 *Ibidem*.

70 HENDERSON *et alii* 2016.

71 Il gruppo high TiO<sub>2</sub> è stato identificato in OCCARI, FREESTONE, FENWICK 2021 tramite analisi dei dati di WHITEHOUSE *et alii* 2017.

72 PHELPS 2018.

cessivo rispetto ai vetri analizzati<sup>73</sup>, non si può escludere che i maestri veneziani utilizzassero sabbia proveniente dalla stessa area anche in un periodo precedente.

## 5. CONCLUSIONI

L'utilizzo di una tecnica analitica all'avanguardia (LA-ICP-MS) su un gruppo di vetri realizzati in pieno stile veneziano e provenienti dalla Basilica dei Santi Maria e Donato, ha consentito di proporre nuove ipotesi sulle tecnologie impiegate per la loro produzione e sulla provenienza delle materie prime impiegate. La caratterizzazione chimica dei reperti ha permesso di identificare tre gruppi composizionali, distinti sulla base dell'uso di diverse materie prime, e in particolare di diverse fonti di silice. Tutti i vetri in esame sono stati realizzati utilizzando come fondente ceneri vegetali provenienti dal Levante, confermando, dunque, quanto testimoniato dai documenti dell'Archivio di Venezia e dal Capitolare dei vetrai, che riportano come a Venezia fosse vietato l'uso di altri tipi di ceneri. La maggior parte dei vetri analizzati è stata prodotta a Murano, tramite l'utilizzo di sabbie locali o di ciottoli di quarzo, e presenta una composizione distintiva degli elementi in traccia, che li distingue composizionalmente dai vetri coevi "islamici".

L'uso del LA-ICP-MS ha consentito di fornire per la prima volta una caratterizzazione chimica completa dei vetri veneziani medievali e di definire un *fingerprint* composizionale per il vetro veneziano prodotto con sabbie locali o ciottoli del Ticino. Le analisi hanno anche riscontrato la presenza di due gruppi (Gruppo 1 e 3) probabilmente prodotti tramite l'uso di una fonte di silicio importata dal Levante. I gruppi identificati dimostrano che i vetri sono stati molto probabilmente prodotti in officine diverse e/o in secoli diversi, ma evidenzia allo stesso tempo la complessità composizionale del vetro veneziano medievale, che riflette l'utilizzo di materie prime di origini diverse. Questa complessità è certamente anche il riflesso dell'altrettanto articolata realtà storica della Venezia medievale, caratterizzata da intensi scambi commerciali con il mediterraneo orientale. Ulteriori informazioni sulla provenienza delle materie prime, e di conseguenza sugli scambi commerciali e sul trasferimento di tecnologie tra Venezia e specifiche regioni del Mediterraneo occidentale, sono state ottenute tramite analisi isotopica, i cui risultati sono oggetto di un più ampio lavoro in via di preparazione.

---

73 ZECCHIN 1987, p. 249.

BIBLIOGRAFIA

BARKOUDAH, HENDERSON 2006 = Y. BARKOUDAH, J. HENDERSON, *Plant ashes from Syria and the manufacture of ancient glass: ethnographic and scientific aspects*, «Journal of Glass Studies», 48, 2006, pp. 297–321.

BREMS, DEGRYSE 2014 = D. BREMS, P. DEGRYSE, *Trace element analysis in provenancing Roman glassmaking*, «Archaeometry», 56 (SUPPLS1), 2021, pp. 116–136.

BRILL 1970 = R.H. BRILL, *The chemical interpretation of the texts*, in *Glass and Glassmaking in Ancient Mesopotamia*, a cura di A.L. Oppenheim, R.H. Brill, D. Barag, A. Von Saldern, Corning 1970, pp. 105–128.

BRILL 1995 = R. H. BRILL, *Chemical analysis of some glass fragments from Nishapur in the Coming Museum of Glass*, in *Nishapur-Glass of the Islamic Period*, a cura di J. Kröger, New York 1995, pp. 211–133.

BRILL 1999 = R.H. BRILL, *Chemical analyses of early glasses, Vols I and II*. New York 1999.

CAGNO *et alii* 2008 = S. CAGNO, K. JANSSENS, M. MENDERA, *Compositional analysis of Tuscan glass samples: In search of raw material fingerprints*, «Analytical and Bioanalytical Chemistry», 391(4), 2008, pp. 1389–1395.

CAGNO *et alii* 2010 = S. CAGNO, M. MENDERA, T. JEFFRIES, K. JANSSENS, *Raw materials for medieval to post-medieval Tuscan glassmaking: new insight from LA-ICP-MS analyses*, «Journal of Archaeological Science», 37(12), 2010, pp. 3030–3036.

CEGLIA *et alii* 2019 = A. CEGLIA, P. COSYNS, N. SCHIBILLE, W. MEULEBROECK, *Unraveling provenance and recycling of late antique glass from Cyprus with trace elements*, «Archaeological and Anthropological Sciences», 11(1), 2019, pp. 279–291.

DE JUAN ARES, SCHIBILLE 2017 = J. DE JUAN ARES, N. SCHIBILLE. *Glass import and production in Hispania during the early medieval period: The glass from Ciudad de Vascos (Toledo)*, «PLoS ONE» 12(7), 2017, pp. 1–19.

DE RAEDT *et alii* 2002 = I. DE RAEDT, K. JANSSENS, J. VEECKMAN, *On the distinction between 16th and 17th century Venetian and façon de Venise glass*, in *Majolica and Glass, from Italy to Antwerp and Beyond: The Transfer of Technology in the 16th-Early 17th Century*, a cura di J. Veeckman, Antwerp 2002, pp. 95–121.

FERRI 2022 = M. FERRI, *Il vetro nell'alto Adriatico fra V e XV secolo*, Sesto Fiorentino (FI) 2022.

FREESTONE 2002 = I.C. FREESTONE, *Composition and Affinities of Glass from the Furnaces on the Island Site, Tyre*, «Journal of Glass Studies» 44, 2002, pp. 67–77.

GASPARETTO 1958 = A. GASPARETTO, *Il vetro di Murano dalle origini ad oggi*, Vicenza 1958.

GASPARETTO 1977 = A. GASPARETTO, *Reperti vitrei medievali della Basilica dei SS. Maria e Donato di Murano*, «Bollettino dei Musei Civici Veneziani» 1(4), 1977.

GLIOZZO *et alii* 2021 = E. GLIOZZO, E. BRASCHI, A. LANGONE, A. IGNELZI, P. FAVIA, R. GIULIANI, *New geochemical and Sr-Nd isotopic data on medieval plant ash-based glass: The glass collection from San Lorenzo in Carmignano (12th-14th centuries AD, Italy)*, «Microchemical Journal», 168, 2021, p. 106371.

GRATUZE 2013 = B. GRATUZE, *Provenance Analysis of Glass Artefacts*, in *Modern Methods for Analysing Archaeological and Historical Glass, Volume I*, a cura di K. Janssens, Hoboken 2013, pp. 311–343.

GRATUZE 2016 = B. GRATUZE, *Glass Characterization Using Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma- Mass Spectrometry Methods*, in *Recent Advances in Laser Ablation ICP-MS for Archaeology*, a cura di L. Dussubieux, M. Golitko, B. Gratuze, Berlin, Heidelberg 2016, pp. 179-196.

GRATUZE *et alii* 2018 = B. GRATUZE, I. PACTAT, N. SCHIBILLE, *Changes in the signature of cobalt colorants in late antique and early Islamic glass production*, «Minerals», 8(6), 2018, p. 225.

HENDERSON *et alii* 2005b = J. HENDERSON, J.A. EVANS, H.J. SLOANE, M.J. LENG, C. DOHERTY. *The use of oxygen, strontium and lead isotopes to provenance ancient glasses in the Middle East*, «Journal of Archaeological Science», 32(5), 2005, pp. 665–673.

HENDERSON *et alii* 2016a = J. HENDERSON, S. CHENERY, E. FABER, J. KRÖGER, *The use of electron probe microanalysis and laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry for the investigation of 8th-14th century plant ash glasses from the Middle East*. «Microchemical Journal», 128, 2016, pp. 134–152.

HENDERSON *et alii* 2016b = J. HENDERSON, S. CHENERY, J. KRÖGER, E.W. FABER, *Glass Provenance along the Silk Road: The Use of Trace Element Analysis*, in F. Gan, Q. Li, J. Henderson, *Recent Advances in the Scientific Research on Ancient Glass and Glaze*. Hackensack and Singapore 2016, pp. 17–42.

JACOBY 1991 = D. JACOBY, *Research on the Venetian Glass Industry in the Middle Ages*, «Journal of Glass Studies», 33, 1991, pp. 119-121.

JANSSENS *et alii* 2013 = K. JANSSENS, S. CAGNO, S., I. DE RAEDT, P. DEGRYSE, *Transfer of Glass Manufacturing Technology in the Sixteenth and Seventeenth Centuries from Southern to Northern Europe*, in *Modern Methods for Analysing Archaeological and Historical Glass, Volume I*, a cura di K. Janssens, Hoboken 2021, pp. 537–562.

JOCHUM *et alii* 2011 = K.P. JOCHUM, U. WEIS, B. STOLL, D. KUZMIN, Q. YANG, I. RACZEK, D.E. JACOB, A. STRACKE, K. BIRBAUM, A.D. FRICK, D. GÜNTHER, J. ENXWEILER, *Determination of reference values for NIST SRM 610–617 glasses following ISO guidelines*, «Geostandards and Geoanalytical Research», 35(4), 2011, pp. 397-429.

LILYQUIST, BRILL 1993 = C. LILYQUIST, R.H. BRILL, *Studies in Early Egyptian Glass*, New York 1993.

MCCRAY 1998 = W. P. MCCRAY, *Glassmaking in renaissance Italy: The innovation of Venetian Cristallo*, «Jom», 50(5), 1998, pp. 14-19.

MILANESI 1864 = G. MILANESI, *Dell'Arte del vetro per mosaico: tre Trattarelli dei secoli XIV e XV*. Bologna 1864.

MONTICOLO 1905 = G. MONTICOLO, *I Capitolari delle Arti Veneziane sottoposte alla Giustizia e poi alla Giustizia Vecchia dalle origini al MCCCXXX. Volume II-Parte I*, Roma 1905.

MORETTI, HREGLICH 2013 = C. MORETTI, S. HREGLICH, *Raw Materials, Recipes and Procedures Used for Glass Making*, in *Modern Methods for Analysing Archaeological and Historical Glass, Volume I*, a cura di K. Janssens, Hoboken 2013, pp. 23–47.

MORETTI, TONINATO, WATTS 2011 = C. MORETTI, T. TONINATO, D.C. WATTS, *Glass recipes of the Renaissance: transcription of an anonymous Venetian manuscript*, Barnet 2011.

OCCARI, FREESTONE, FENWICK 2021 = V. OCCARI, I.C. FREESTONE, C. FENWICK, *Raw materials and technology of Medieval Glass from Venice: The Basilica of SS. Maria e Donato in Murano*, «Journal of Archaeological Science: Reports», 37, 2021, p.102981.

PHELPS 2018 = M. PHELPS, *Glass supply and trade in Early Islamic Ramla: an investigation of the plant ash glass*, in *Things That Travelled: Mediterranean Glass in the First Millennium CE*, a cura di D. Rosenow, M. Phelps, A. Meek, I.C. Freestone, London 2018, pp. 236–282.

SAYRE 1963 = E.V. SAYRE, *The intentional use of antimony and manganese in ancient glasses*, in *Advances in Glass Technology, Part 2*, a cura di F.R. Matson, G. Rindone, New York, pp. 263–82.

SAYRE, SMITH 1974 = E.V. SAYRE, R.W. SMITH, *Analytical studies of ancient Egyptian glass*, «Recent Advances in the Science and Technology of Materials», 3, 1974, pp. 47–70.

SCHIBILLE *et alii* 2018 = N. SCHIBILLE, A. MEEK, M.T. WYPYSKI, J. KRÖGER, M. ROSSER-OWEN, R.W. HADDON, *The glass walls of Samarra (Iraq): Ninth-century Abbasid glass production and imports*, «PLOS ONE», 13(8), 2018, pp. 5–7.

SCHIBILLE *et alii* 2019 = N. SCHIBILLE, B. GRATUZE, E. OLLIVIER, E., BLONDEAU, *Chronology of early Islamic glass compositions from Egypt*, «Journal of Archaeological Science», 104, 2019, pp. 10–18.

SCHIBILLE, COLANGELI 2021 = N. SCHIBILLE, F. COLANGELI, *Transformations of the Mediterranean glass supply in medieval Mazara del Vallo (Sicily) in Mazara/Mazar: Nelle Viscere Della Città Medievale (Secoli VII - XIV). Edizione Degli Scavi (1997) in via Tenente Gaspare Romano*, a cura di A. Molinari, A. Meo, Sesto Fiorentino 2021, pp. 487–500.

SCHREURS, BRILL 1984 = J.W.H. SCHREURS, R.H. BRILL, *Iron and sulphur related colours in ancient glasses*, «Archaeometry», 1984, 2(26), pp. 199–209.

SHORTLAND *et alii* 2007 = A. SHORTLAND, N. ROGERS, K. EREMIN, *Trace element discriminants between Egyptian and Mesopotamian Late Bronze Age glasses*, «Journal of Archaeological Science», 34(5), 2007, pp.781–789.

SHORTLAND, REHREN 2020 = A.J. SHORTLAND, T. REHREN, *Glass*, in *Archaeological Science: An Introduction*, a cura di M. Richards, K. Britton, Cambridge 2020, pp. 347–364.

SWAN *et alii* 2007 = C.M. SWAN, T. REHREN, J. LANKTON, B. GRATUZE, R.H. BRILL, *Compositional observations for Islamic Glass from Sirāf, Iran, in the Corning Museum of Glass collection*. «Journal of Archaeological Science: Reports», 16, 2007, pp. 102–116.

TAIT 1991 = H. TAIT, *5000 Years of Glass*, London 1991.

VERITÀ 1985 = M. VERITÀ, *L'invenzione del cristallo muranese: una verifica delle fonti storiche*, «Rivista della Stazione Sperimentale del Vetro», 1, 1985, pp. 17–31.

VERITÀ 2021 = M. VERITÀ, *Venetian Glass*, in *Encyclopedia of Glass Science, Technology, History, and Culture*, a cura di P. Richet, Hoboken 2021, pp. 1327–1340.

VERITÀ *et alii* 2019 = M. VERITÀ, S. BRACCI, S., PORCINAI, *Analytical investigation of 14th century stained glass windows from Santa Croce Basilica in Florence*, «International Journal of Applied Glass Science», 10(4), 2019, pp.546–557.

VERITÁ, ZECCHIN 2009a = M. VERITÁ, L. ZECCHIN, *Thousand years of Venetian glass: the evolution of chemical composition from the origins to the 18th century*, in *Annales of the 17th Congress of the International Association for the History of Glass*, 2006, Antwerp, a cura di K. Janssens, P. Degryse, P. Cosyns, J. Caen, L. Van't dack, Antwerp 2009, pp. 602–613.

VINCENZI *et alii* 2002 = E. VINCENZI, S. EGGINS, A. LOGAN, R. WYSOCZANKI. *Micro-beam characterization of corning archeological reference glasses: new additions to the smithsonian microbeam standard collection*, «Journal of Research of the National Institute of Standards and technology» 107(6), 2002, p. 719.

WAGNER *et alii* 2012 = B. WAGNER, A. NOWAK, E. BULSKA, K. HAMETNER, D. GÜNTHER, *Critical assessment of the elemental composition of Corning archeological reference glasses by LA-ICP-MS*, «Analytical and Bioanalytical Chemistry», 402(4), 2012, p. 1667.

WHITEHOUSE *et alii* 2017 = WHITEHOUSE, D., HUSBAND, T.B., PILOSI, L., SHEPARD, M.B., WYPYSKI, M.T., *Glass finds in the Metropolitan Museum of art from the 1926 expedition*, in *Monfort, History, Early Research and Recent Studies of the Principal Fortress of the Teutonic Order, Medieval Mediterranean Series*, a cura di A. Boas, R.G. Khamisy, Leiden 2017, pp. 176–194.

ZECCHIN 1986 = L. ZECCHIN, *Il Ricettario Darduin, trascritto e commentato*, Venezia 1986.

ZECCHIN 1987 = L. ZECCHIN, *Vetro e Vetrai di Murano*, I, Venezia 1987.

ZECCHIN 1989 = L. ZECCHIN, *Vetro e Vetrai di Murano*, II, Venezia 1989.

ZECCHIN 1990 = L. ZECCHIN, *Vetro e Vetrai di Murano*, III, Venezia 1990.

ZECCHIN 1997a = L. ZECCHIN, *I fondenti dei vetrai muranesi. I parte: l'alume catino*, «Rivista della Stazione Sperimentale del Vetro», 27, 1997, pp. 41–54.

ZECCHIN 1997b = L. ZECCHIN, *I fondenti dei vetrai muranesi. II parte: gli scritti dei secoli XV, XVI, XVII*, «Rivista della Stazione Sperimentale del Vetro», 27, 1997, pp. 251–265.

*ABSTRACT*

The emergence of Venice as one of the major centres of glassmaking in the Middle Ages depended on several factors, one of which was certainly the use of high-quality raw materials, including raw glass, plant ash and sand, often imported from the eastern Mediterranean. While some information on the type of raw materials used and their sources can be found in the Archives of Venice, mentions are sporadic and evidence from the glass is required to evaluate their relative importance.

This paper presents new data for a group of glasses found at the Basilica dei SS. Maria e Donato in Murano, dated between the 12th and 15th century. The results obtained through LA-ICP-MS analysis have allowed the identification of compositional markers for Venetian glass, and to delineate the use of different recipes and of raw materials of different provenance. It demonstrated that all samples appear to have been made with Levantine plant ash as flux, likely from different geological areas in the Levant. The largest group of glasses is made with a relatively pure silica source and presents a distinctive trace elemental composition, not encountered anywhere in the eastern Mediterranean, and which likely reflects the use of pebbles from the Ticino River or high-quality local sand. The data suggest that sand or -less likely- raw glass or cullet of a high-quality was also imported from different regions in the Levant.

*RIASSUNTO*

L'emergere di Venezia come uno dei maggiori centri dell'industria vetraria nel Medioevo dipendeva da diversi fattori, uno dei quali era certamente l'uso di materie prime di alta qualità, tra cui vetro grezzo, ceneri vegetali e sabbia, spesso importate dal Mediterraneo orientale. Sebbene negli Archivi di Venezia si trovino alcune informazioni sul tipo di materie prime utilizzate e sulle loro fonti, le menzioni sono sporadiche e per valutarne l'importanza relativa è necessaria la prova del vetro.

Il lavoro presenta nuovi dati relativi a un gruppo di vetri rinvenuti presso la Basilica dei SS. Maria e Donato a Murano, datati tra il XII e il XV secolo. I risultati ottenuti attraverso l'analisi LA-ICP-MS hanno permesso di identificare i marcatori compositivi del vetro veneziano e di delineare l'uso di diverse ricette e di materie prime di diversa provenienza. È stato dimostrato che tutti i campioni sembrano essere stati realizzati con ceneri vegetali levantine come fondente, probabilmente provenienti da diverse aree geologiche del Levante. Il gruppo più numeroso di vetri è stato realizzato con una fonte di silice relativamente pura e presenta una composizione di oligoelementi distintiva, non riscontrata in nessuna parte del Mediterraneo orientale, che probabilmente riflette l'uso di ciottoli del fiume Ticino o di sabbia locale di alta qualità. I dati suggeriscono che la sabbia o - meno probabilmente - il vetro grezzo o il cullet di alta qualità siano stati importati da diverse regioni del Levante.