

PRODUZIONE E CIRCOLAZIONE DEL VETRO NELL'ALTO MEDIOEVO:  
*UNE ENTRÉE EN MATIÈRE*

Interessarsi alla transizione tecnologica del vetro nell'alto medioevo, ovvero al passaggio tra l'utilizzo del vetro al natron al vetro a ceneri, significa interessarsi, più in generale, ai fenomeni di transizione geopolitica ed economica di cui questo fenomeno è un riflesso.

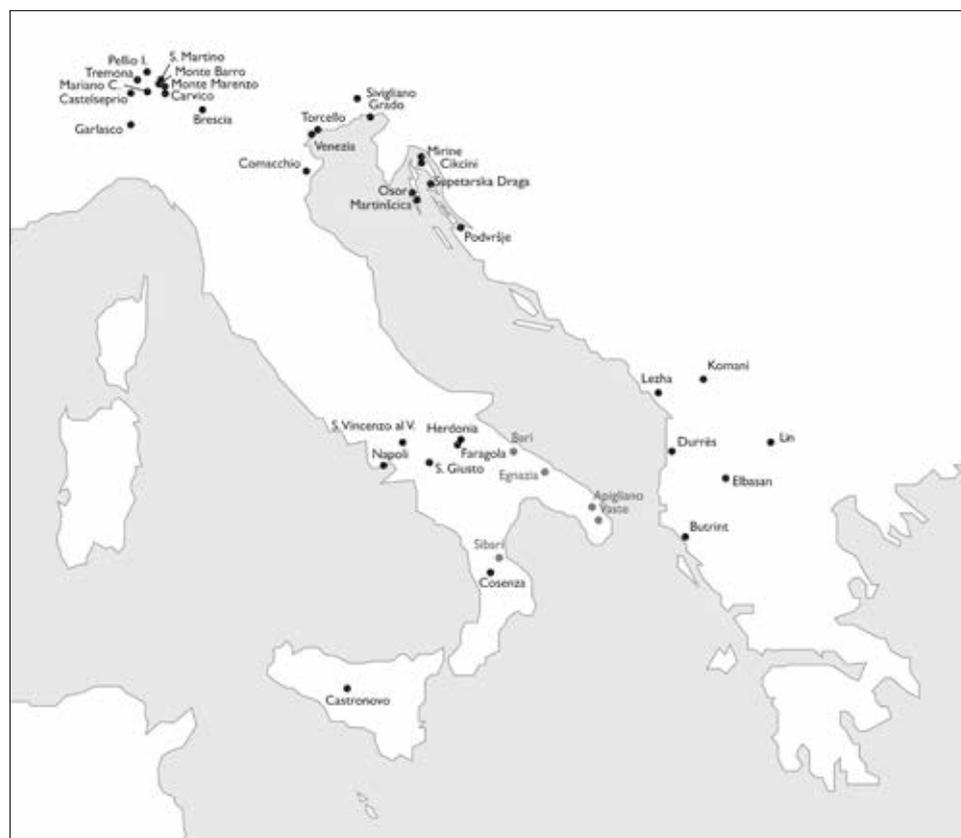
Studiare le tappe con cui la transizione tecnologica si è realizzata nell'industria del vetro, tema privilegiato in questo volume, apre quindi la possibilità di indagare i cambiamenti economici del Mediterraneo alla fine del primo millennio, che hanno, secondo la storiografia recente, costituito una premessa alla creazione di un nuovo sistema economico, differente rispetto a quello centralizzato di età antica.

Il volume raccoglie quindi i risultati di un progetto interdisciplinare sulla produzione, la circolazione e il commercio del vetro in Italia meridionale, svolto in collaborazione con l'IRAMAT-CEB, sullo sfondo di questo interrogativo, senza la pretesa di fornire una risposta per l'area geografica sondata, ma piuttosto di porre un problema, finora poco esplorato per l'Italia meridionale<sup>1</sup>.

Il volume si distingue dai precedenti sulle produzioni vitree in Italia meridionale<sup>2</sup>, che ne sono una premessa imprescindibile, per l'integrazione sistematica di un approccio archeometrico e per la considerazione delle produzioni vitree in senso globale, nella complessità della diversità dei manufatti e delle loro differenti logiche di consumo e di fruizione: vetro per la mensa e per l'illuminazione, vetro per l'architettura (finestre e tessere musive), vetro per i gioielli (perle).

In particolare il volume ingloba i nuovi risultati di più siti dell'Italia meridionale, messi a confronto con le nuove ricerche sull'Italia settentrionale, l'Illyricum e la Dalmazia (fig. 1).

L'analisi dei reperti e delle strutture di produzione con un approccio stratigrafico-contestuale, tipologico-formale e fisico-chimico guida gli studi qui raccolti con la prospettiva di fornire nuovi dati sull'industria del vetro in età alto medievale in Italia



1. - Carta di distribuzione dei siti considerati nel presente volume. In rosso i siti analizzati nell'ambito del progetto «Le tappe di una transizione tecnologica» (elaborazione E. Neri).

meridionale e ai suoi margini, stabilendo in particolare le tappe e le ragioni storiche che hanno portato allo sviluppo della tecnologia di produzione medievale e le conseguenze che questo cambiamento determina sul *network* commerciale.

Se infatti in letteratura l'implosione del sistema economico romano, fondato su un'industria vetraria centralizzata, tipologicamente standardizzata e composizionalmente uniforme (vetro al natron), è normalmente associata alla realizzazione progres-

\* Elisabetta Neri: Université de Liège, Liège/CNRS, UMR Orient & Méditerranée, Paris; eneri@uliege.be

<sup>1</sup> Bernard Gratuze e Nadine Schibille hanno svolto le analisi LA-ICP-MS e sono ringraziati per il loro contributo. Nadine Schibille, a cui era stata assegnata la sintesi dei dati, ha, con nostro rammarico, declinato l'invito.

<sup>2</sup> Sogliani, Piccioli 1999; Coscarella 2004; Coscarella 2012.

siva di un sistema di produzione più locale con varianti tipologiche regionali su un numero di forme ridotte con composizioni diversificate (vetri a ceneri sodiche e potassiche, di riciclo, vetri piombici)<sup>3</sup>, i risultati del progetto mostrano, al contrario, che l'Italia meridionale partecipa, praticamente senza soluzione di continuità, per tutto l'altomedioevo a un'economia di scambi mediterranea, com'era già stato sottolineato per Roma in età tardoantica<sup>4</sup>.

Per orientare il lettore meno esperto alla fruizione dei testi viene fornito in questa breve introduzione un rapido resoconto dello *status quaestionis* sui risultati archeometrici sulla produzione del vetro, che giustificano la nascita del progetto, e legano la ricerca archeometrica al contesto storico-economico.

### Il ciclo produttivo in età romano imperiale (I-V secolo) e nel periodo della creazione dell'impero bizantino (VI-VIII secolo)

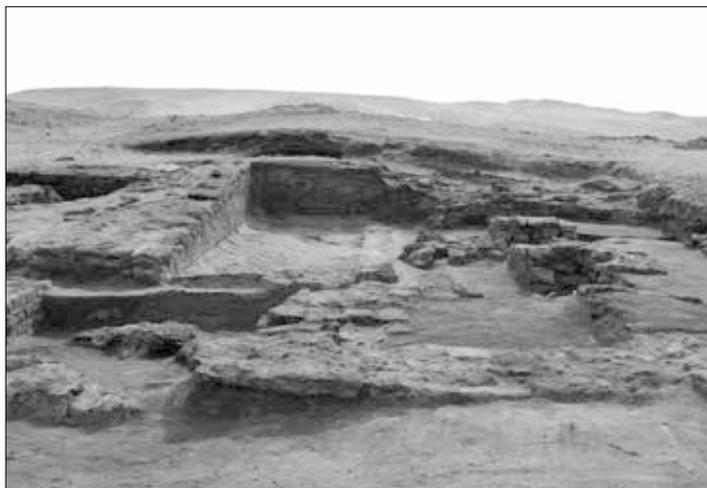
Com'è noto il ciclo produttivo del vetro si realizza in due fasi: la produzione del vetro grezzo, lavorato negli atelier primari che viene in seguito trasportato nei siti di produzione secondari.



2. - Carta di distribuzione dei forni primari (da Neri 2016).

<sup>3</sup> Wedepohl *et alii* 1997; Gratuze, Barrandon 1990; Henderson *et alii* 2004; Phelps *et alii* 2016; da ultimo De Juan Ares *et alii* 2018 (sulla Spagna, ma con un'ampia introduzione sul contesto generale). Per l'Italia: Salviulo *et alii* 2004; Silvestri, Marcante 2011; Silvestri *et alii* 2005; Uboldi, Verità 2003; Verità *et alii* 2002; Verità, Vallotto 1998; Zucchiatti *et alii* 2007; Bertini *et alii* 2020.

<sup>4</sup> Sagui 2007.



3. - a) Forno primario di Beni Salama (Egitto) (foto M.-D. Nenna); b) blocchetti di vetro grezzo dalla villa di Montmaurin (Francia) (foto E. Neri).

Le ricerche archeologiche hanno messo in evidenza diverse strutture di forni in Egitto e in Palestina, cronologicamente datati tra I e VIII secolo, collocati in prossimità dei luoghi di estrazione delle materie prime, la sabbia del fiume Belus e il fondente sodico minerale: il natron estratto dai laghi egiziani Wadi Natrun e il Mareotide (figg. 2-3). Ogni forno può produrre in una sola infornata tra 5 e 9 tonnellate di vetro<sup>5</sup>.

Le composizioni chimiche del vetro hanno confermato una produzione centralizzata. Tra I-III secolo si riscontra un vetro detto romano decolorato con antimonio<sup>6</sup>, con manganese<sup>7</sup> o con

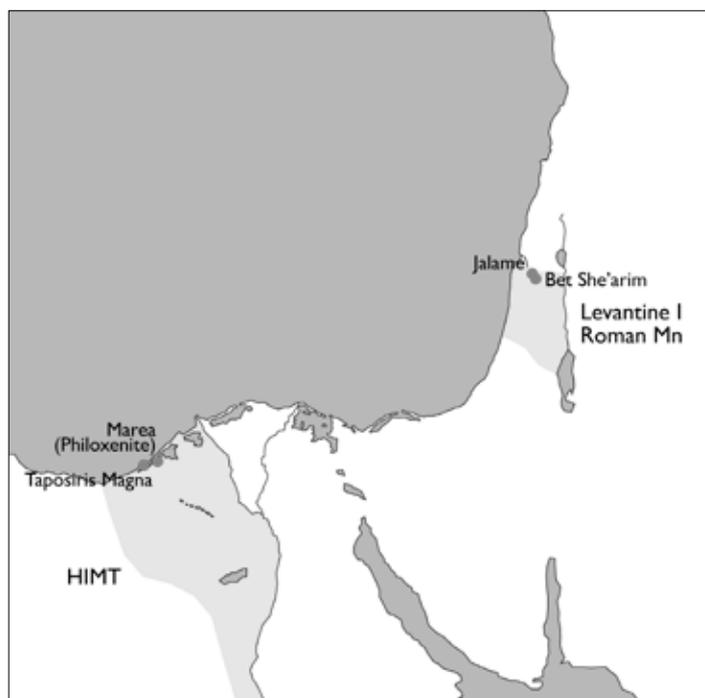
<sup>5</sup> Nenna 2007; Henderson 2013; Neri 2016, 27-32.

<sup>6</sup> Gliozzo 2017; Jackso, Paynter 2016 datano la produzione del vetro decolorato con antimonio fino alla metà del IV secolo e ritengono che il vetro sia prodotto in Egitto.

<sup>7</sup> Brill 1988; Silvestri *et alii* 2008. L'utilizzo del manganese come decolorante si trova anche nei vetri posteriori al IV secolo si vedano Sayre, Smith, 1961; Barfod *et alii* 2018.



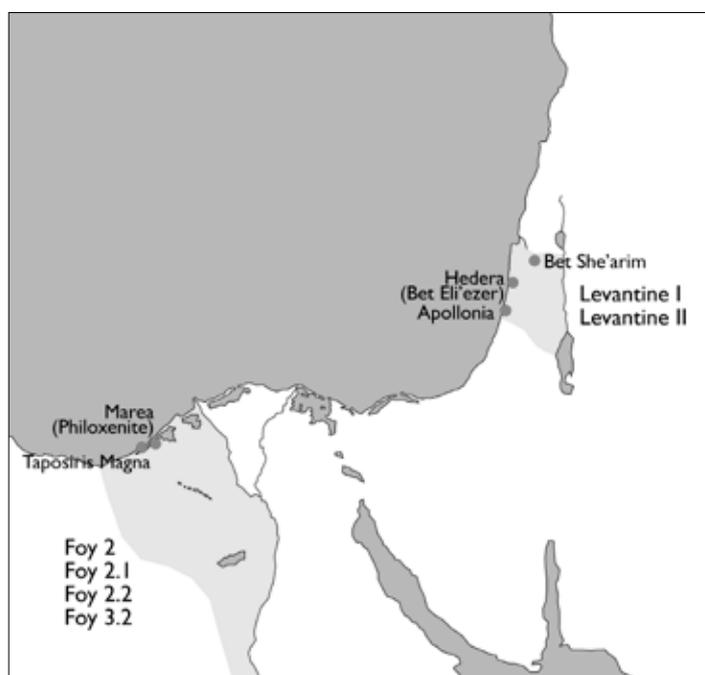
4. - Distribuzione delle aree di produzione dei gruppi di vetro grezzo al natron nel III-IV secolo (elaborazione E. Neri).



5. - Distribuzione delle aree di produzione dei gruppi di vetro grezzo al natron nel IV-V secolo (elaborazione E. Neri).

entrambi che è principalmente realizzato in Egitto e nell'area levantina seppur con minori attestazioni, dove infatti per quest'epoca non sono stati riconosciuti archeologicamente forni primari (fig. 4). Dalla fine del III-inizio IV secolo si ha una moltiplicazione dei centri di produzione primari nelle due aree di produzione (Marea e Taposiris in Egitto e Jalame in Palestina) che vengono anche indicate nell'*Edictum de pretiis* come luoghi di produzione primaria e secondaria per vetro incolore e colorato<sup>8</sup>. L'analisi composizionale mostra infatti una diversità di gruppi, talvolta associati alle fornaci scavate, che sono attestati su delle cronologie precise, stabilite pur sempre su base archeologica attraverso reperti datati, numismatici e ceramici (fig. 5). Tra IV e V secolo, in area egiziana troviamo la famiglia dell'HIMT, caratterizzata dall'alto livello di ferro, titanio e manganese, che conosce in seguito diverse suddivisioni interne (HLIMT, low HIMT)<sup>9</sup>. In area palestinese nella stessa cronologia troviamo il gruppo levantino di Jalame (Levantine I, Roman Mn), distinto dai vetri egiziani per il più alto rapporto calcio/allumina e per quello inferiore in Ti/Zr, segno di un approvvigionamento differente delle sabbie<sup>10</sup>.

Tra V-VII secolo (fig. 6) in area egiziana e forse anche nella proconsolare, troviamo una serie di gruppi composizionali simili all'HIMT, definiti Foy 2, Foy 2.1, Foy 2.2, Foy 3.2. che sono dei vetri che derivano dal riciclaggio dell'HIMT e talvolta sono



6. - Distribuzione delle aree di produzione dei gruppi di vetro grezzo al natron nel VI-VII secolo (elaborazione E. Neri).

mescolati con il vetro Romano all'antimonio<sup>11</sup>. Nello stesso arco cronologico (VI-VII secolo) in area palestinese si riconoscono i tipi Levantine I, Levantine II (rapporto Al/Ca, debole in Ti-Zr), associati all'attività delle fornaci di Apollonia e Bet Eli'ezer.

<sup>8</sup> *Edictum de pretiis*, 16,1, *De vitro*. Whitehouse 2004 per l'interpretazione della fonte.

<sup>9</sup> Nenna 2014; De Juan Ares *et alii* 2018.

<sup>10</sup> Freestone *et alii* 2000; Brems *et alii* 2018; Phelps *et alii* 2016.

<sup>11</sup> Foy *et alii* 2003.



7. - Distribuzione delle aree di produzione dei gruppi di vetro grezzo al natron nel VII-IX secolo (elaborazione E. Neri).

Forse a causa dell'esaurimento delle risorse di natron o delle difficoltà di approvvigionamento del natron egiziano il contenuto di soda è inferiore e aumenta quello di allumina<sup>12</sup>. Questo succede a partire della fine del VI secolo, quando l'impero bizantino è fortemente instabile, indebolito dalla peste, dal peso economico della riconquista dell'occidente, da una crisi demografica e da un cambiamento climatico che ha un impatto sulla produzione del natron. Palestina ed Egitto sono inoltre all'inizi del VII secolo assediati dalle invasioni dell'impero persiano (613 assedio e resa di Damasco e Emesa, 616 assedio di Alessandria): un preludio alla conquista omayyade della Siro-Palestina e dell'Egitto, avvenuta rispettivamente nel 634 e nel 641. È sullo sfondo di questi eventi che cambiarono l'assetto geopolitico e ebbero un impatto sull'economia che troviamo le ultime produzioni di vetro levantino al natron fino alla fine del VII secolo. Contemporaneamente in Egitto si riconoscono i gruppi Egypt I e Egypt II, rispettivamente nell'arco cronologico VII-VIII e VIII-IX (fig. 7). Il primo è caratterizzato da un alto contenuto di alluminio e da un basso contenuto di calcio, prodotto a partire da sabbie locali egiziane e dal natron nella zona di Wadi Natrun. Il secondo, all'inverso da un alto contenuto di calcio e da un basso contenuto di alluminio ed è stato messo in relazione agli scarti di produzione ritrovati a Tel Ashmunein, databili VIII-IX secolo<sup>13</sup>.

Si riscontra quindi in epoca omayyade e nella prima epoca abbaside una continuità delle produzioni egiziane e levantine,



8. - Distribuzione dell'area di produzione del gruppo HLiB (alto in litio e boro) che indica l'uso di un fondente sodico di area anatolica. Siti di distribuzione del gruppo in Asia Minore tra VI-XIV secolo (elaborazione E. Neri).

senza alcuna frattura e cambiamento tecnologico, come riscontrato per altre produzioni sotto il monopolio dello stato come quella dei metalli preziosi usati nella moneta<sup>14</sup>.

Quando l'impero bizantino perde le terre dell'Egitto e della Palestina, luogo di approvvigionamento delle materie prime per produrre il vetro, investe sulle risorse locali interne all'Anatolia, senza un cambiamento tecnologico.

Gli studi N. Schibille, T. Rehren, C. Swann<sup>15</sup> hanno dimostrato che la produzione del vetro con fondente minerale continua in area anatolica, servendosi di un fondente sodico minerale ricco in boro e litio, estratto da laghi boraciferi nell'entroterra di Pergamo (fig. 8). L'alto contenuto in allumina delle sabbie e la distribuzione geografica dei campioni che sono pertinenti a questo gruppo composizionale, collocati a Pergamo, in Cilicia a Hisnit al Tinat, in Caria a Afrodisia e a Labranda, in Frigia a Hierapolis, mostrano chiaramente una produzione anatolica e una rara importazione al di fuori dell'Asia minore.

Cronologicamente lo sviluppo di questa industria anatolica e bizantina sembra conoscere un netto incremento a partire dal IX secolo che potrebbe quindi relazionarsi alla contrazione dell'impero bizantino nel VIII secolo.

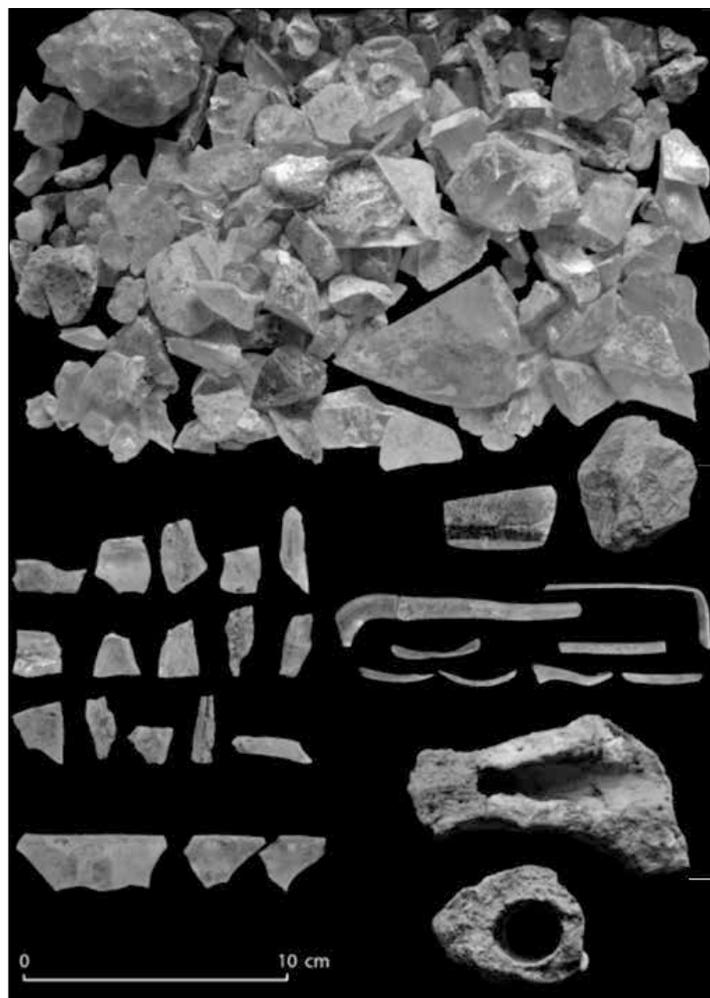
La riduzione dell'impero bizantino alla penisola anatolica può aver contribuito alla traslazione tecnologica della produzione del vetro a ceneri. Infatti in Oriente, al di fuori della penisola anatolica, dove si continua a produrre con fondente minerale, a

<sup>12</sup> Freestone *et alii* 2000.

<sup>13</sup> Gratuze, Barrandon 1990.

<sup>14</sup> Gondonneau, Guerra 2002.

<sup>15</sup> Reheren *et alii* 2015; Schibille 2011; Swan *et alii* 2018.



9. - Forni di produzione secondaria: a) Besancon, Parking de Rempart: forno quadrangolare per la fusione del vetro, II secolo (foto Ph. Haut); b) Rennes, Place St. Anne: forno circolare per la fusione del vetro (foto M.-L. Thierry); c) indicatori di produzione (da Lepri-Sagui 2017).

partire dal IX secolo si sviluppa un'industria vetraria con fondente vegetale sodico<sup>16</sup>.

Le lastre prodotte nei centri primari venivano in seguito frammentate e commerciate in tutto il mediterraneo. Il vetro primario circolava insieme ai rottami di vetro sistematicamente raccolti e destinati al riciclo<sup>17</sup>, probabilmente effettuato in atelier appositamente preposti. Nei siti di produzione secondari il vetro primario, che poteva avere diverse provenienze, veniva rilavorato e, dopo la formatura/soffiatura, sottoposto a una sistematica ricottura. La localizzazione degli atelier secondari e loro geografia di distribuzione è attualmente in corso di definizione. Se in Francia<sup>18</sup> un ventennio di studi ha permesso di moltiplicarne le evidenze, in Spagna<sup>19</sup> ed in Italia i resti archeologici rimangono di numero limitato. Il tema ha tuttavia assunto

un interesse crescente e rinnovato grazie al convegno romano sull'archeologia della produzione a Roma<sup>20</sup> e alle XIX giornate nazionali dell'AIHV<sup>21</sup>, ad esso dedicate e a ricerche svolte a diverso titolo sul campo.

B. Lepri e L. Sagui, nel censimento più recente da loro svolto, considerano per stabilire un'area di produzione diversi indicatori, dalle fornaci ai soli scarti di produzione, ai bolli e mettono in luce 11 siti tra I e IV secolo che si moltiplicano, diventando 40, in età altomedievale<sup>22</sup>. Ogni caso discusso analiticamente in base agli indicatori che permettono di definirne la funzionalità (forno da riciclo, forno di produzione e per quali prodotti, stabiliti sulla base di quali indicatori) rivela uno scenario in cui solo raramente si può riconoscere un forno destinato unicamente a riciclare rottami di vetro da un forno per la produzione di oggetti (fig. 9).

<sup>16</sup> Henderson 2013.

<sup>17</sup> Per un inventario dei relitti che trasportano rottami di vetro si veda Foy, Nenna 2001; Nenna 2007; Fontaine, Foy 2007; Radic Rossi 2012.

<sup>18</sup> Foy 2000; Foy 2010 per la Francia.

<sup>19</sup> Si veda De Juan Ares *et alii* 2018 e De Juan Ares-Schibille 2017.

<sup>20</sup> *L'archeologia della produzione a Roma* 2016.

<sup>21</sup> *Siti produttivi e indicatori di produzione* 2019.

<sup>22</sup> Lepri, Sagui 2016; Lepri, Sagui 2017.

Ancora più complessa è la definizione dei siti di produzione per il vetro colorato (piastre musive e semilavorati usati per vetrate e perle). Sebbene anche questa produzione sia citata come associata ai siti primari dall'*Edictum de Pretiis*, non vi sono resti archeologici che lo confermino e i siti inizialmente identificati come fornaci per la produzione del vetro colorato, si sono rilevati ad un esame più attento difficilmente identificabili come luoghi di produzione, ma piuttosto come forni di riciclo non in grado di produrre grandi quantità di vetro colorato come quelle necessarie a sopperire le necessità di approvvigionamento di un cantiere musivo<sup>23</sup>.

Siccome le operazioni di colorazione, opacizzazione avvenivano in dei centri secondari, lo studio archeometrico delle ricette e la loro distribuzione geografica può aiutare a definire le aree di produzione.

Per quanto riguarda le tecniche di opacizzazione si riscontra fino al IV secolo l'impiego di una sola tecnica: l'antimoniato di calcio, progressivamente sostituita da diverse tecniche: cassiterite, fosfato di calcio, quarzo macinato, bolle<sup>24</sup>. La distribuzione cronologica e geografica delle ricette aiuta a fornire degli elementi cronologici nei contesti non datati e soprattutto delle aree di produzione. Ad esempio il fosfato di calcio è diffuso a partire dal IV secolo in area siro palestinese, nei contesti di Huarte e Apamea, per poi diffondersi in Cilicia, a Cipro, in Giordania, a Damasco e Gerico<sup>25</sup>. Questo conosce delle rare attestazioni anche in Italia settentrionale, a Ravenna e Milano: cosa che ha fatto ipotizzare una circolazione di materiali con i musivari da Oriente e occidente, come comprovato anche sulla base delle osservazioni tecniche e stilistiche sui mosaici<sup>26</sup>.

Nelle ricette di colorazione è in corso di definizione la cronologia e la geografia dei cambiamenti tecnologici; recenti studi ne hanno tuttavia dimostrato la potenzialità. Ad esempio gli studi sulle fonti di cobalto di M. Pollard, B. Gratuze e N. Schibille, rimangono un modello esemplare in questo senso. Essi mostrano che il cobalto utilizzato nel vetro romano fino almeno al VI secolo è associato al ferro e al nickel, mentre quello islamico a partire dal IX-X allo zinco. Un recente studio sui pesi monetali in particolare ha poi messo in luce come a partire dal VII secolo si riscontri una più marcata correlazione cobalto-nickel, con un diverso trattamento del minerale, meno purificato che suggerisce forse anche l'approvvigionamento in una diversa area mineraria<sup>27</sup>.

Questi cambiamenti nelle ricette di colorazione e di opacizzazione sono dovuti, come quelli nel vetro primario, a un generale riassetto geopolitico che cambia la possibilità di ap-

provvigionamento delle risorse del Mediterraneo. Ne consegue una diversificazione della produzione.

L'accessibilità delle fonti di antimonio e di cobalto alla frontiera con la Persia, collocate nel Caucaso<sup>28</sup> per il primo e nel Kāshān iraniano<sup>29</sup> per il secondo, è minacciata dalle guerre bizantino-persiane che ingenerano la necessità della ricerca di nuove fonti di approvvigionamento. Lo stesso fenomeno storico aveva d'altronde comportato anche l'abbandono dello sfruttamento delle miniere auree del Caucaso e il conseguente sfruttamento di quelle dei Balcani a partire dalla riforma dei Valentiniani<sup>30</sup>.

### L'introduzione del vetro a ceneri

In questo generale e progressivo riassetto del Mediterraneo e ricerca di nuove risorse, la più grande e la più nota delle innovazioni tecnologiche che la produzione del vetro incontra alla fine del primo millennio è l'introduzione del vetro a ceneri<sup>31</sup>. Gli ultimi trent'anni di ricerche archeometriche hanno sottolineato l'uso nel cambiamento di fondente tra l'VIII e il XII secolo: il vetro al natron è progressivamente sostituito da quello a ceneri sodiche in area mediterranea e potassica in nord Europa<sup>32</sup>.

I primi esempi di vetro a ceneri potassiche in occidente sono attestati in area anglosassone a partire dal VI secolo, dove un vetro ad alcali misti – fondente sodico minerale e potassico vegetale – è interpretato da I. Freestone come un esempio di riciclo di vetro al natron in cui vengono introdotte ceneri potassiche come fondente<sup>33</sup>. Le più antiche produzioni a ceneri esclusivamente potassiche restano quelle di Paderborn<sup>34</sup>, nel pieno IX secolo (fig. 10).

In area orientale le ceneri sodiche si trovano impiegate nella produzione delle perle in area mesopotamica e indiana nel V-VI secolo<sup>35</sup>, la tecnica si affaccia nel Mediterraneo a Tiro nell'VIII-IX secolo<sup>36</sup> e in Egitto a partire dal IX<sup>37</sup>, oltre che in Al-Andalus a partire dal IX-X secolo<sup>38</sup>. Produzioni con alcali misti, minerali e vegetali, si ritrovano in vetri merovingi di VII-VIII secolo<sup>39</sup> e in alcuni esempi della penisola iberica di età visigota a partire dalla metà del VI secolo<sup>40</sup> e nel nord Italia a partire dall'età longobarda<sup>41</sup> (fig. 10).

<sup>28</sup> Dillis *et alii* 2019.

<sup>29</sup> Matin, Pollard 2017.

<sup>30</sup> Morrisson 2002. Neri 2019 con bibliografia.

<sup>31</sup> Phelps 2018; Freestone *et alii* 2016.

<sup>32</sup> Velde 2013.

<sup>33</sup> Freestone *et alii* 2008.

<sup>34</sup> Wedepohl 2000.

<sup>35</sup> Pion, Gratuze 2016.

<sup>36</sup> Aldsworth *et alii* 2002; Henderson *et alii* 2016.

<sup>37</sup> Duckworth *et alii* 2015.

<sup>38</sup> Kato *et alii* 2010; Schibille *et alii* 2019.

<sup>39</sup> Velde 2013.

<sup>40</sup> De Juan Ares *et alii* 2018.

<sup>41</sup> Uboldi, Verità 2003.

<sup>23</sup> Per un esame dettagliato dei siti di produzione del vetro colorato si veda Neri 2016.

<sup>24</sup> Tite *et alii* 2008. Una sintesi in Neri *et alii* 2017.

<sup>25</sup> Neri *et alii* 2017.

<sup>26</sup> Neri 2019 con bibliografia relativa.

<sup>27</sup> Gratuze *et alii* 2018; Matin, Pollard 2017.



10. - Distribuzione delle aree di produzione di vetro con ceneri potassiche e natron nel VI-VII secolo, e primo centro di produzione delle ceneri potassiche IX secolo.



11. Distribuzione delle aree di produzione di vetro con ceneri sodiche e natron (VI-VIII secolo) e con ceneri sodiche (VIII secolo).

Lo studio chimico delle caratteristiche delle sabbie<sup>42</sup> e quello sperimentale delle proprietà di diverse piante ricche in alcali delle regioni orientali<sup>43</sup>, comincia ad individuare diverse aree di produzione, i cui gruppi composizionali si ritrovano su manufatti importati anche in Italia. L'Italia si trova infatti tra il nord d'Europa e il Mediterraneo, dove si incontrano queste due tradizioni tecniche e dove si sviluppa, nel corso del medioevo, l'industria vetraria veneziana<sup>44</sup>.

Il processo di acquisizione della nuova tecnologia e la conseguente nuova organizzazione sembrano tuttavia essere pienamente acquisite solo nel basso medioevo.

### La transizione tecnologica nella produzione del vetro in Italia nell'altomedioevo: *lo status quaestionis*

Volendo tracciare una sintesi delle acquisizioni sulla geografia e la cronologia di diffusione della tecnologia di produzione del vetro a ceneri nella Penisola italiana, basandosi sull'edito, i diversi studi condotti da M. Uboldi, M. Verità, A. Silvestri, S. Zecchin, C. Bertini permettono di delineare delle tendenze per il nord della Penisola e la laguna veneta<sup>45</sup>. Allo stesso modo quelli di L. Saguì, E. Gliozzo, M. Turchiano affrontano la problematica per l'Italia meridionale<sup>46</sup>. Questi studi sono stati realizzati negli ultimi trent'anni con metodi analitici diversi e con un'attenzione variabile alla tipologia, alla cronologia e al contesto stratigrafico

di provenienza del campione: questo rende difficile tentare di tracciare una sintesi affidabile.

La tabella 1 riassume i risultati editi inerenti a siti localizzati sulla carta (fig. 12). I dati, che interessano principalmente la produzione di stoviglie, vengono qui presentati indicando quattro categorie composizionali, riconosciute in base alla firma chimica del vetro grezzo da cui sono realizzati i reperti:

- vetro di *natron*, prodotto secondo la tecnologia romana, riconoscibile per i tenori in potassio, e magnesio inferiori al 1.5%
- vetro di riciclo ottenuto riciclando diversi tipi di vetro al *natron* anteriori al IV secolo, con antimonio con decolorante, o posteriori a questo orizzonte cronologico. Questo sottogruppo è riconoscibile per la presenza in traccia di elementi coloranti – piombo, cobalto, rame – e opacificanti – antimonio e stagno – anche nei vetri trasparenti, e/o per il tenore di fosforo e potassio, leggermente più elevato che nei vetri al *natron* di nuova produzione, a causa dell'inquinamento da ceneri di rifusione.
- vetro di riciclo ad alcali misti, ovvero composto dalla fusione di rottami di vetro aggiungendo sabbie e ceneri a questi. Questo gruppo è riconoscibile per i tenori di potassio, fosforo e magnesio intermedi tra il vetro al *natron* e quello a ceneri.
- vetro a ceneri sodiche, riconoscibile per i tenori di potassio e magnesio e fosforo superiori a 1.5%.

Osservando i dati raccolti per la Penisola, si osserva su tutto l'intervallo cronologico analizzato l'assenza dell'introduzione di vetro a ceneri potassiche, già introdotto in Europa del nord dal IX secolo<sup>47</sup> e in area insulare britannica dal VI secolo<sup>48</sup>.

La presenza di manufatti, prodotti utilizzando vetro a ceneri, è nettamente minoritaria per tutto il periodo indagato. Le prime attestazioni compaiono intorno al VII secolo ad Herdonia in Pu-

<sup>42</sup> Schibille *et alii* 2019.

<sup>43</sup> Barkoudah, Henderson 2006.

<sup>44</sup> Verità 2013.

<sup>45</sup> Salviu *et alii* 2004; Silvestri, Marcante 2011; Silvestri *et alii* 2005; Uboldi, Verità 2003; Verità *et alii* 2002; Verità, Vallotto 1998; Zucchiatti *et alii* 2007; Bertini *et alii* 2020.

<sup>46</sup> Freestone, Dell'Acqua 2005; Mirti *et alii* 2001; Schibille, Freestone 2013; Sternini 1995; Gliozzo *et alii* 2016a; Gliozzo *et alii* 2016b.

<sup>47</sup> Wedephol *et alii* 1997.

<sup>48</sup> Freestone *et alii* 2008.

Area Geografica	Sito	Cronologia	N. campioni totali	Composizione		Riciclo		Bibliografia
				di nuova produzione	diversi gruppi di vetro natron	alcali misti	ceneri sodiche	
Nord Italia	Monte Barro	V-VI sec.	9	9	0	0	0	Verità-Uboldi 2003
	Brescia	IV-VII sec.	40	13	17	0	0	Verità-Uboldi 2003; Freestone-Dell'Acqua 2005
	Monte S. Martino	VI-VIII sec.	3	1	0	2	0	Verità-Uboldi 2003
	Carvico	VIII-X sec.	8	0	4	2	2 (X sec.)	Verità-Uboldi 2003
	Cividale	VIII sec.	5	0	5	0	0	Freestone-Dell'Acqua 2005
	Pellio I.	X sec.	6	0	6	0	0	Verità-Uboldi 2003
	Monte S. Margherita	X-XI	2	0	0	2	0	Verità-Uboldi 2003
	Mariano C	XI sec.	2	0	0	0	2 (XI sec.)	Verità-Uboldi 2003
	Ovaro	V-XII sec.	42	0	29	0	13 (XII sec.)	Zucchiatti <i>et alii</i> 2017
Nogara	X-XII sec.	72	0	64	5	2 (XII sec.)	Silvestri-Marcante 2011	
Venezia e la laguna	Venezia	IX-XII sec.	83	0	43	12	28 (X-XI sec.)	Verità 2012 con bibliografia
	Torcello	VI-XII sec.	68	0	46	8	12 (VIII-XII sec.)	Verità 2013 con bibliografia
	Grado	V-XIV sec.	37	0	37	0	9 (IX-XIV sec.)	Silvestri <i>et alii.</i> 2005
	Comacchio	VII-XI sec.	89	21	63	0	2 (XII sec.)	Bertini <i>et alii</i> 2020
Italia centro-meridionale	Roma, Cripta Balbi	VII-VIII sec.	20	9	11	0	0	Mirti <i>et alii</i> 2000
	Herdonia	II-VII sec.	46	36	8	0	2 (VII sec.?)	Glozzo <i>et alii</i> 2015
	Faragola	IV-VI sec.	32	27	5	0	0	Glozzo <i>et alii</i> 2016
	Salerno	VIII sec.	2	0	2	0	0	Freestone-Dell'Acqua 2005
	San Vincenzo al Volturno	IX sec.	136	8	128	0	0	Schibille-Freestone 2013
Sicilia	Sofiana	VI sec.	8	8				Fiorilla <i>et alii</i> 2018
	Gela	XII-XIV sec.	9			9		Fiorilla <i>et alii</i> 2018

Tab. 1. Sintesi dei risultati delle analisi chimiche edite di campioni provenienti da siti italiani datati V-XII secolo (con bibliografia da cui i dati sono ricavati).



12. - Siti tardoantichi e altomedievali italiani in cui sono state effettuate delle analisi fisico-chimiche (bibliografia nella tabella 1).

glia e nel VIII-IX secolo nella laguna, a Grado, Torcello e Venezia, dove sono nettamente maggioritarie rispetto alle altre aree geografiche. In queste aree, la presenza di prodotti realizzati con vetro a ceneri sodiche doveva essere più corrente, probabilmente a causa del più facile approvvigionamento di materie prime o di prodotti finiti dall'Oriente, attraverso la via adriatica. La composizione chimica non indica infatti di per sé una produzione locale, ma può dipendere dall'importazione o di un fondente a base vegetale sodica o di un vetro grezzo con esso prodotto, importato dalle coste siro-libanesi, oppure dall'importazione di prodotti finiti realizzati nelle aree di produzione delle ceneri. Pur non essendoci nessun elemento compositivo che permetta di differenziare le produzioni con vetro a ceneri veneziane da quelle bizantine, la storiografia lascia tuttavia aperta la possibilità della nascita di un'industria veneziana del vetro, autonoma dall'Oriente, già nell'alto medioevo<sup>49</sup>. L'ipotesi è proposta dagli studi più recenti perché le composizioni altomedievali veneziane risultano simili a quelle del pieno medioevo, quando le fonti attestano senza equivoci una produzione locale.

Nell'insieme della penisola, ad eccezione dei pochi campioni con vetro a ceneri, la maggior parte dei reperti è prodotto riciclando vetri al natron, soprattutto a partire dalla fine del VI-inizi del VII secolo fino al XII secolo.

<sup>49</sup> Verità 2013.

Se si cercano di definire le tappe cronologiche e la geografia con cui transizione tecnologica si è realizzata ci si confronta con una difficoltà intrinseca alla natura dei dati finora raccolti.

Il lasso cronologico largo a cui sono attribuiti i campioni in diversi studi, dovuta alla difficoltà di datare i contesti di provenienza, di restringere le datazioni tipologiche o alla scarsa attenzione che ne viene data in alcune pubblicazioni<sup>50</sup>, limita il raggiungimento di questa finalità.

Considerando i campioni pertinenti a reperti datati su base stratigrafica, si osserva l'uso esclusivo di vetro al natron fino all'inizio del VII secolo con un quantitativo crescente di vetro di riciclo a partire da questo orizzonte cronologico. Tra VIII e X secolo il 90% della produzione resta alimentata dal riciclo del vetro al natron, occasionalmente completato da piccole quantità di vetro con ceneri sodiche o ad alkali misti (composizione intermedia tra vetro al natron e vetro a ceneri sodiche), nei siti di Grado, Nogara, Cravico, Monte Santa Margherita, Monte San Martino, Ovaro. L'innovazione tecnologica dovuta al cambiamento di fondente sembra prevalente solamente a partire dalla fine del XI-XII secolo, dal momento che i campioni che appartengono a questo orizzonte cronologico sono esclusivamente in vetro confondente a ceneri sodiche. Solo a Venezia, a partire dal X secolo almeno il 50% dei campioni analizzati è costituito da vetro con ceneri sodiche di importazione orientale. Il dato segna quindi il legame privilegiato della città con l'area levantina attraverso l'asse Adriatico e/o lo sviluppo di una tecnologia propria utilizzando risorse locali. La laguna, in ragione del suo stretto rapporto con l'Oriente, sembra quindi aver fatto da tramite in Italia settentrionale per la diffusione del vetro prodotto con ceneri sodiche e della tecnologia che a questo si accompagna<sup>51</sup>.

I dati disponibili per l'Italia meridionale sono limitati all'intervallo cronologico IV-IX secolo e non permettono di tracciare un quadro, essendo fortemente deficitari. Giudicando il più limitato numero di analisi svolte nei siti, il vetro al natron in prevalenza riciclato sembra alimentare quasi interamente la produzione per tutto l'alto medioevo, ad eccezione dei due campioni in vetro a ceneri rinvenuti a Herdonia a attribuiti al VII secolo.

Si segnalano inoltre le analisi effettuate in Sicilia a Sofiana, dove l'interità dei campioni di VI secolo risulta prodotta con vetro al natron, mentre quelli di Gela del XII-XIV secolo risultano in vetro a ceneri sodiche con sabbie assimilabili a quelle egiziane<sup>52</sup>. Una produzione locale con vetro a ceneri sodiche è segnalata da M. Verità e S. Rapisarda per la produzione delle tessere auree di Monreale nel pieno XII secolo<sup>53</sup>. Questo dato segnerebbe la presenza di una possibile produzione locale in

Sicilia, in cui il transfert tecnologico sarebbe avvenuto grazie ai mosaicisti bizantini.

### **Il progetto “Le tappe di una transizione tecnologica” del vetro l'Italia Meridionale**

La volontà di aggiungere qualche elemento alla comprensione delle tappe tra IV e XII secolo con cui la transizione tecnologica si effettua in Italia meridionale e di ampliare il panorama degli studi, ha portato alla strutturazione del progetto intitolato “Le tappe di una transizione tecnologica. Le produzioni vitree in Italia e ai suoi margini dal tardo antico al XII secolo: aree bizantine, longobarde e arabe”, di cui si rende conto in questo volume. Grazie al partenariato di più istituzioni è stato possibile studiare e analizzare i reperti di tre siti urbani (Sibari/Thurii, Egnazia, Bari<sup>54</sup>), di un *castrum* (Apigliano<sup>55</sup>) e di un complesso liturgico con ampia necropoli (Vaste<sup>56</sup>), che coprono l'arco cronologico del IV-XII secolo. Questi siti sono stati considerati per individuare l'evoluzione delle produzioni vitree tra tarda antichità e altomedioevo, combinando un'analisi contestuale, tipologica e archeometrica,

I circa 200 reperti selezionati e sono stati sottoposti ad analisi composizionale LA-ICP-MS, effettuata presso l'IRAMAT-CEB a Orléans (fig. 13-14).

La tecnica impiegata permette con un'ablazione effettuata da un laser e non visibile ad occhio nudo di ottenere le composizioni degli elementi maggiori e delle tracce. La materia prelevata è trasportata per un flusso di argo verso l'iniettore della torcia a plasma dove è dissociata, atomizzata e ionizzata. Gli ioni sono indirizzati nello spettrometro di massa dove sono organizzati in funzione del loro rapporto massa/carica e in seguito raccolti per un moltiplicatore di elettroni, in funzione dell'intensità del segnale. Il protocollo utilizzato permette di determinare 58 elementi<sup>57</sup>.

L'analisi di questi reperti apre il confronto con alcune problematiche più larghe e metodologiche su produzioni, commerci, tecnologie, logiche di consumo e archeologia del territorio che i singoli contributi al volume hanno cercato di affrontare.

Innanzitutto, la problematica dei luoghi di produzione secondari, indispensabile a definire i flussi commerciali: come e con che risultati, l'esame congiunto dell'analisi archeologica dei resti di produzione, delle aree di distribuzione delle tipologie, delle analisi archeometriche possono aiutare a definire le aree

<sup>50</sup> Degli esempi in cui non viene precisata la cronologia e la provenienza campione per campione sono Salviulo *et alii* 2004; Silvestri *et alii* 2005; Verità 2013; Zucchiatti *et alii* 2007.

<sup>51</sup> Verità *et alii* 2002; Verità 2013.

<sup>52</sup> Fiorilla *et alii* 2018.

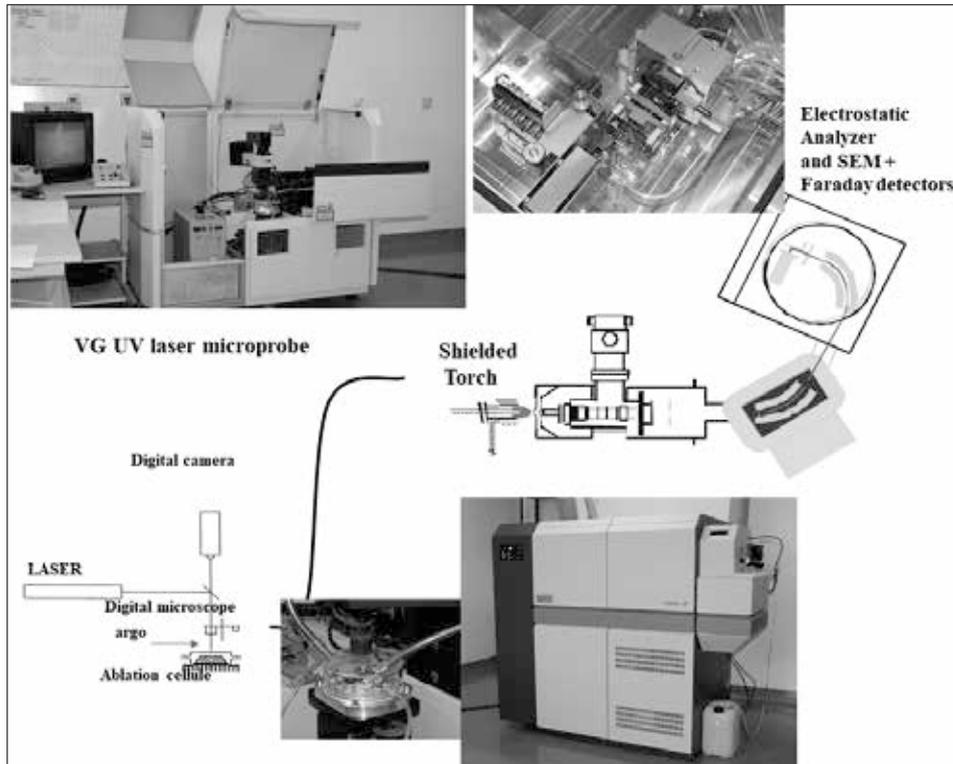
<sup>53</sup> Verità, Rapisarda 2008.

<sup>54</sup> Su Sibari/Thurii in età tardoantica e in particolare sulle trasformazioni del complesso termale da cui vengono i reperti analizzati si veda Noyé c.s.; su Egnazia Schiavariello, Zambetta 2012. Sull'area del pretorio di Bari si veda Pellegrino 2015. Sui risultati sul sito di Bari si veda la discussione in Neri *et alii* 2019a.

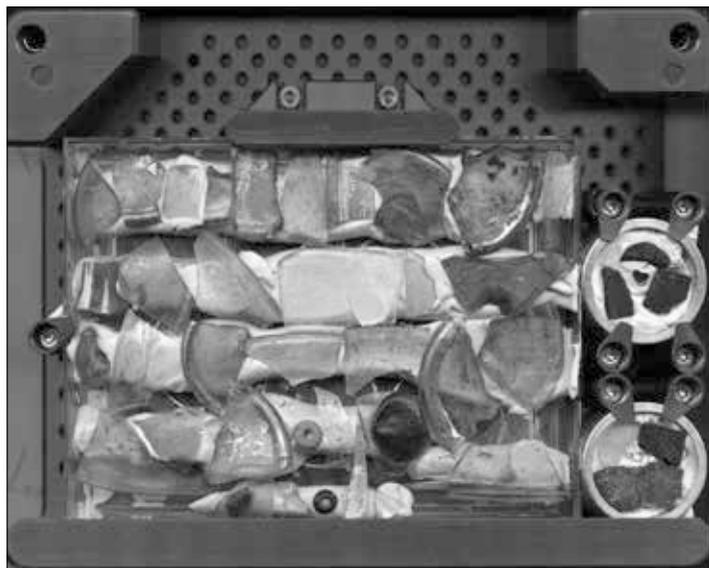
<sup>55</sup> Apigliano 2015.

<sup>56</sup> D'Andria *et alii* 2006.

<sup>57</sup> Gratuze 2013, Gratuze 2014.



13. - Descrizione del funzionamento della LA-ICP-MS, secondo uno schema elaborato da B. Gratuze (IRAMAT-CEB).



14. - Cellula di ablazione in cui sono posizionati i reperti, sulla destra posizionamento degli standard (foto B. Gratuze).

di produzione e orientare la ricerca archeologica per individuare nuovi centri di produzione?

In secondo luogo la questione del commercio: come e con quali logiche circola il vetro, materiale di lusso o di uso comune? Vetro e ceramica seguono lo stesso 'mare di commerci' o disegnano rotte indipendenti? Connesso a questo tema è la questione delle logiche di approvvigionamento dei siti consumatori. Cosa può aggiungere l'esame archeometrico allo studio

tipologico in relazione a questa problematica? Che impatto hanno il riuso e il riciclo rispetto alle nuove produzioni?

Queste prime problematiche, relative alla produzione e al commercio sfociano su questioni di tipo politico-economico perchè il vetro rimane come la ceramica un marker dei commerci a lungo raggio e il modello di una produzione esclusivamente locale nell'alto medioevo può dirsi, come dimostrano diversi studi recenti<sup>58</sup> e i risultati di questo volume, ampiamente superato. Il secondo ordine di domande concerne il rapporto tipologia-archeometria.

L'alto medioevo, essendo epoca di transizione, non dispone di repertori tipologici efficaci in materia di cronologia. Fino ad ora quali sono le forme di cui l'archeometria può precisare la cronologia di diffusione e la durata nel tempo? E di quali può precisare e confermare l'area di produzione?

Il terzo e ultimo tema a cui è intitolato il nostro seminario e che ai due primi è connesso riguarda le logiche della transizione tecnologica e la definizione della geografia e della cronologia con cui prende atto, legato al continuo mutare della geografia politica dell'Italia e del Mediterraneo e alla sua connettività.

A differenza di quanto dimostrato per lo sfruttamento delle risorse metallifere locali e per la produzione vinicola e ceramica associata a questa<sup>59</sup>, per la produzione del vetro non sembra svilupparsi in Italia meridionale un'economia che sfrutta le risorse locali e che si sgancia dalla dipendenza orientale. Al di là della sistematizzazione del riciclaggio, che si riscontra anche grazie alla documentazione archeologica di fornaci a questo preposte a Herdonia e Sibari<sup>60</sup>, si constata una continuità nell'approvvigionamento orientale ed egiziano, senza segni evidenti di localizzazione del sistema. Come constatato sulla base dei flussi ceramici, anche per il vetro si può affermare che l'approvvigionamento palestinese rimanga tuttavia sempre minoritario, anche quando con la conquista bizantina della metà del VI secolo, gli scambi con il Mediterraneo orientale, che erano già importanti dal V secolo sul versante adriatico, s'intensificano e comprendono sia anfore per l'olio e il vino, sia altri manufatti.

Dopo una crisi demografica ed economica che si sviluppa secondo modi e cronologie diverse, prima nelle aree conquistate dai longobardi (Puglia Calabria nord-occidentale e Lucania) e

<sup>58</sup> Ad esempio Phelps 2016; De Juan-Ares *et alii* 2018.

<sup>59</sup> Noyé 2014.

<sup>60</sup> Gliozzo *et alii* 2016b per Herdonia; per Sibari Noyé c.s., D'Alessio, Luppino 2012, 367.

dopo nelle aree rimaste sotto il controllo di Costantinopoli, una rinascita interessa i territori longobardi a partire dal VII/VIII secolo e quelli bizantine a partire dal IX secolo. Le incursioni musulmane e l'occupazione di ampie regioni "continentali" del Meridione ad opera di gruppi arabi provenienti dalla Sicilia e dall'Africa settentrionale, rallentano poi questa ripresa che si affermerà solamente nel X secolo, quando in un centro di potere di ambito urbano, come a Bari, e nel *castrum* bizantino di Apigliano il consolidarsi del potere bizantino fa rinascere i commerci con l'Oriente per le merci di lusso, come il vetro.

I risultati sembrano quindi confermare ulteriormente che l'Italia meridionale tardoantica e altomedievale, appartenendo alle sfere politiche "occidentale" e "orientale", risulta largamente aperta agli scambi commerciali e culturali delle due parti del bacino mediterraneo e dell'Adriatico. In particolare i reperti vitrei o le materie prime per realizzarli sembrano provenienti soprattutto dall'Asia Minore via la Grecia e la rotta Adriatica e dall'Egitto, forse via l'Africa e la Sicilia, mentre gruppi umani e altre merci provenienti dall'Italia centro-settentrionale, dalla Sicilia, dall'Illyricum, dalla Grecia e dall'Oriente costituiscono la complessa identità di questa regione.

## Bibliografia

- Aldsworth, F., Haggarty, G., Jennings, S., Whitehouse, D. 2002, *Medieval glass-making at Tyre, Lebanon*, in *Journal of Glass Studies*, 44, 49-66.
- Apigliano. *Un villaggio bizantino e medievale in Terra d'Otranto*, a cura di P. Arthur - M.L. Imperiale - M. Tinelli, Lecce 2015.
- Barkoudah, Y., Henderson, J. 2006, *Plant Ashes from Syria and the Manufacture of Ancient Glass: Ethnographic and Scientific Aspects*, in *Journal of Glass Studies*, 48, 297-321.
- Barfod, G.H., Freestone, I.C., Lichtenberger, A., Raja R., Schwarzer, H. 2018, *Geochemistry of Byzantine and early Islamic glass from Jerash, Jordan: typology, recycling, and provenance*, in *Geoarchaeology*, 33, 623-640.
- Bertini, C., Henderson, J., Cheney, S. 2020, *Seventh to eleventh century CE glass from Northern Italy: between continuity and innovation*, *Archaeological and Anthropological Sciences* volume 12, Article number: 120 (2020) <https://doi.org/10.1007/s12520-020-01048-8>.
- Brill, R.H. 1988, *Scientific investigations of the Jalame glass and related finds*, in *Excavations at Jalame: Site of a Glass Factory in Late Roman Palestine*, ed. G.D. Weinberg, Columbia, pp. 257-291.
- Coscarella, A. (ed.) 2003, *Il vetro in Calabria*, Soveria Mannelli.
- Coscarella, A. (ed.) 2012, *Il vetro in Italia: testimonianze, produzioni, commerci in età basso medievale*, Atti delle XV Giornate di Studio sul Vetro, Rossano.
- D'Alessio, A., Luppino, S. 2012, *Vetri iscritti da Copia/Thurii. Ultimi bagliori da una città dei Brutii*, in A. Coscarella (ed.), *Il vetro in Italia: testimonianze, produzioni, commerci in età basso medievale*, Atti delle XV Giornate di Studio sul Vetro, Cosenza, 353-370.
- D'Andria, F., Mastronuzzi, G., Melissano, V. 2006, *La chiesa e la necropoli paleocristiana di Vaste nel Salento*, in *Rivista di Archeologia Cristiana*, 82, 231-321.
- De Juan Ares, J., Schibille, N. 2017, *Glass import and production in Hispania during the early medieval period: The glass from Ciudad de Vascos (Toledo)*, in *PLoS One*, 12, e0182129.
- De Juan Ares, J., Fernández Calderón, N., Muñoz López, I., García Álvarez-Busto, A., Schibille, N. 2018, *Islamic soda-ash glasses in the Christian kingdoms of Asturias and León (Spain)*, in *Journal of Archaeological Science: Reports*, 22, 257-263.
- De Juan Ares, J., Vigil-Escalera Guiradob, A., Cáceres Gutiérrez, Y., Schibille, N. 2019, *Changes in the supply of eastern Mediterranean glasses to Visigothic Spain*, in *Journal of Archaeological Science*, 107, 23-31.
- Dillis, S., Van Ham-Meert, A., Leeming, P., Shortland, A., Gobejishvili, G., Abramishvili, M., Degryse, P. 2019, *Antimony as a raw material in ancient metal and glass making: provenancing Georgian LBA metallic Sb by isotope analysis*, in *STAR: Science & Technology of Archaeological Research*, 5, 98-112.
- Duckworth, C.N., Córdoba de la Llave, R., Faber, E., Govantes Edwards, D.J., Henderson, J. 2015, *Electron Microprobe Analysis of 9th-12th Century Islamic Glass from Córdoba, Spain*, in *Archaeometry*, 57, 27-50.
- Fiorilla, S., Sabatino, G., Triscari, M., Di Bella, M. 2018, *Materie prime e manufatti vitrei a Sofiana e a Gela tra Medioevo ed età moderna (primi risultati)*, in C. Ingoglia (ed.) *Risorse ambientali e impianti produttivi a Gela*, Bari, 111-122.
- Fontaine, S., Foy, D. 2008, *Le commerce maritime du verre brut et manufacturé en Méditerranée occidentale dans l'Antiquité et la cargaison de l'épave d'Embiez*, in *Revue archéologique de Narbonnaise*, 235-265.
- Foy, D. 2000, *Technologie, géographie, économie: les ateliers de verriers primaires et secondaires en Occident, esquisse d'une évolution de l'Antiquité au Moyen Âge*, in M.D. Nenna (ed.), *La Route du verre. Ateliers primaires et secondaires du second millénaire av. J.-C. au Moyen Âge* (Colloque organisé par l'Association française pour l'Archéologie du Verre, 1989), éd. Lyon, 147-170.
- Foy, D. 2010, *L'implantation des ateliers de verriers en Gaule: centres urbains, péri-urbains et ruraux*, in P. Chardron-Picault (ed.), *Aspects de l'artisanat en milieu urbain: Gaule et Occident romain (Autun, 2007)*, Dijon 345-361 (RAE, Suppl. 28).
- Foy, D., Picon, M., Vichy, M., Thirion-Merle, V. 2003, *Caractérisation des verres de la fin de l'Antiquité en Méditerranée occidentale: l'émergence de nouveaux courants commerciaux*, in D. Foy, M.D. Nenna (eds.) *Échanges et commerce du verre dans le monde antique* (Actes du colloque de l'Association française pour l'archéologie du verre, Aix-en-Provence et Marseille, 7-9 juin 2001), Montagnac, 41-85.
- Foy, D., Nenna, M.D. 2001, *Tout feu tout sable. Mille ans de verre antique dans le Midi de la France*, Aix-en-Provence.
- Freestone, I.C., Dell'Acqua, F. 2005, *Early medieval glass from Brescia, Cividale and Salerno, Italy: composition and affinities*, in D. Ferrari (ed.), *Atti delle VIII Giornate Nazionali di Studio "Il vetro nell'alto medioevo"*, Imola, 65-75.
- Freestone, I.C., Gorin-Rosen, Y., Hughes, M.J. 2000, *Primary glass from Israel and the production of glass in late antiquity and the early Islamic period*, in M.D. Nenna (ed.), *La Route du verre. Ateliers primaires et secondaires du second millénaire av. J.-C. au Moyen Âge* (Colloque organisé par l'Association française pour l'Archéologie du Verre, 1989), éd. Lyon, 65-83.
- Freestone, I.C., Hughes, M.J., Stapleton, C.P. 2008, *The composition and production of Anglo-Saxon glass*, in V.I. Evison (ed.), *Catalogue of Anglo-Saxon Glass in the British Museum*, London, 29-46.
- Gliozzo, E. 2017, *The composition of colourless glass: a review*, in *Archaeological and Anthropological Sciences*, 9, 455-483.

- Gliozzo, E., Turchiano, M., Giannetti, F., Memmi, I. 2016a, *Late antique and early medieval glass vessels from Faragola (Italy)*, in *Archaeometry*, 58, 113-147.
- Gliozzo, E., Turchiano, M., Giannetti, F., Santagostino Barbone, A. 2016b, *Late antique glass vessels and production indicators from the town of Herdonia (Foggia, Italy): New data on CaO-rich/weak HIMT glass*, in *Archaeometry*, 58, 81-112.
- Gondonneau, A., Guerra, M.F. 2002, *The circulation of precious metals in the Arab Empire: the case of the near and the Middle East*, in *Archaeometry*, 44, 573-599.
- Gratuze B. 2013. *Glass characterisation using laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry methods*, in K.H.A. Janssens (ed.), *Modern methods for analysing archaeological and historical glass*, 1, Chichester, 201-234.
- Gratuze, B. 2014. *Application de la spectrométrie de masse à plasma avec prélèvement par ablation laser (LA-ICP-MS) à l'étude des recettes de fabrication et de la circulation des verres anciens*, in P. Dillmann, L. Bellot-Gurlet (ed.), *Circulation des matériaux et des objets dans les sociétés anciennes*, (Collection Sciences Archéologiques, Éditions Archives Contemporaines), Paris, 243-272.
- Gratuze, B., Barrandon, J.N. 1990, *Islamic glass weights and stamps: analysis using nuclear techniques*, in *Archaeometry* 32, 155-162.
- Gratuze, B., Pactat, I., Schibille, N. 2018, *Changes in the signature of cobalt colorants in Late Antique and Early Islamic glass production*, in *Minerals*, 8, 225.
- Henderson, J. 2013, *Ancient glass. An interdisciplinary exploration*, Cambridge.
- Henderson, J., McLoughlin, S.D., McPhail, D.S. 2004, *Radical changes in Islamic glass technology: evidence for conservatism and experimentation with new glass recipes from early and middle Islamic Raqqa, Syria*, in *Archaeometry*, 46, 439-468.
- Henderson, J., Chenery, S., Faber, E., Kröger, J. 2016, *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*, in *Microchemical Journal*, 128, 134-152.
- Jackson, C.M., Paynter, S. 2016, *A great big melting pot: exploring patterns of glass supply, consumption and recycling in Roman Coppergate, York*, in *Archaeometry*, 58, 68-95.
- Kato, N., Nakai, I., Shindo, Y. 2010, *Transitions in Islamic plant ash glass vessels: on-site chemical analyses conducted at the Raya/Al Tur area on the Sinai Peninsula, Egypt*, in *Journal of Archaeological Science*, 37, 1381-1395.
- Lepri, B., Sagui, L. 2016, *La produzione del vetro a Roma: continuità e discontinuità fra tardoantico e altomedioevo*, in *L'archeologia della produzione a Roma (V-XV secolo)*. Atti del Convegno Internazionale di Studi (Roma 2014), Bari, 225-241.
- Lepri, B., Sagui, L. 2017, *Mapping Glass Production in Italy. Looking through the first Millennium*, Annales du XX Congrès AIHV, Fribourg-Romont 7-11 settembre, 2015, 168-174.
- Matin, M., Pollard, A.M. 2017, *From Ore to Pigment: A Description of the Minerals and an Experimental Study of Cobalt Ore Processing from the Kāshān Mine, Iran*, in *Archaeometry*, 59, 731-746.
- Mirti, P., Davit, P., Gulmini, M. 2001, *Glass fragments from the Crypta Balbi in Rome: The composition of eighth-century fragments*, in *Archaeometry*, 43, 491-502.
- L'archeologia della produzione a Roma (secoli V-XV)* (Atti del Convegno internazionale di studi, Roma, 27-29 marzo 2014), a cura di A. Molinari, R. Santangeli Valenzani, L. Spera, Bari 2016.
- Morrisson, C. 2002, *Byzantine money: its production and circulation*, in A.E. Laiou (ed.), *The economic history of Byzantium: from the seventh through the fifteenth century*, Washington, 909-966.
- Nenna, M.D. 2007, *Production et commerce du verre à l'époque impériale: nouvelles découvertes et problématiques*, in *Facta*, 1, 125-147.
- Neri, E. 2016, *Tessellata vitrea tardoantichi e altomedievali: produzione dei materiali e loro messa in opera. Considerazioni generali e studio dei casi milanesi*, Turnhout.
- Neri, E. 2019 *Il vetro dei mosaici occidentali: produzione e commercio (V-X sec.)*, in M. Beghelli et P.M. de Marchi (eds), *Le suggestioni del vetro. Materie prime, tecniche di produzione, contesti d'uso, circolazione dei manufatti*, Rome.
- Neri, E., Jackson, M., O'Hea, M., Gregory, T., Blet-Lemarquand, M., Schibille, N. 2017 *Analyses of glass tesserae from Kilise Tepe: new insights and a reassessment of an early Byzantine production technology*, in *Journal of Archaeological Science: Reports*, 11, 600-612.
- Neri, E., Schibille, N., Pellegrino, M., Nuzzo, D. 2019, *A Byzantine connection: Eastern Mediterranean glasses in medieval Bari*, in *Journal of cultural heritage*, 38, 256-260.
- Noyé, G. 2014, *L'économie de la Calabre de la fin du VIe au VIIIe siècle*, in *Cahiers de recherches médiévales et humanistes*, 28, 323-338.
- Noyé, G. in corso di stampa, *Les thermes de Copia Thurii dans l'histoire de la ville*, in "Quaderni del centro studi Magna Grecia".
- Pellegrino, M. 2015, *I manufatti vitrei*, in M.R. Depalo, G. Di-santarosa, D. Nuzzo, *Cittadella Nicolaiana - I: Archeologia urbana a Bari nell'area della Basilica di San Nicola. Saggi 1982-1984-1987*, Bari, 275-282.
- Phelps, M., Freestone, I.C., Gorin-Rosen, Y., Gratuze, B. 2016, *Natron glass production and supply in the late antique and early medieval Near East: The effect of the Byzantine-Islamic transition*, in *Journal of Archaeological Science*, 75, 57-71.
- Phelps, M. 2018, *Glass supply and trade in early Islamic Ramla: An investigation of the plant ash glass*, in D. Rosenow, M. Phelps, A. Meek, I.C. Freestone (eds.), *Things that Travelled: Mediterranean Glass in the First Millennium CE*, London, 236-282.
- Pion, C., Gratuze, B. 2016, *Indo-Pacific glass beads from the Indian subcontinent in early Merovingian graves (5th–6th century AD)* *Archaeol Res Asia*; 6, 51–64.
- Radic Rossi, I. 2012., *Glass Odyssey. Glass in the ship's equipment and cargo*, Zadar.
- Rehren, T., Connolly, P., Schibille, N., Schwarzer, H. 2015, *Changes in glass consumption in Pergamon (Turkey) from Hellenistic to late Byzantine and Islamic times*, in *Journal of Archaeological Science*, 55, 266-279.
- Sagui, L. 2007, *Glass in Late Antiquity. The continuity of technology and sources of supply*, in L. Lavan, E. Zanini, A. Sarantis (eds.), *Technology in transition ad 300–650*, Boston-Leiden, 211–231.
- Salviulo, G., Silvestri, A., Molin, G., Bertocello, R. 2004, *An archaeometric study of the bulk and surface weathering characteristics of Early Medieval (5th–7th century) glass from the Po valley, northern Italy*, in *Journal of Archaeological Science*, 31, 295-306.
- Sayre, E.V., Smith, R.W. 1961, *Compositional categories of ancient glass*, in *Science*, 133, 1824–1826.
- Schiavariello, G., Zambetta, E. 2012, *Egnazia tardoantica: produzione e commercializzazione dei manufatti vitrei*, in A.

- Coscarella (ed.), *Il vetro in Italia: testimonianze, produzioni, commerci in età basso medievale. Il vetro in Calabria: vecchie scoperte, nuove acquisizioni* (Atti delle XV Giornate Nazionali di Studio sul vetro A.I.H.V., Università della Calabria, 9-11 giugno 2011), Rossano, 671-680.
- Schibille, N., Freestone, I.C. 2013, *Composition, Production and Procurement of Glass at San Vincenzo al Volturno: An Early Medieval Monastic Complex in Southern Italy*, in *PLoS ONE*, 8(10): e76479.
- Schibille, N. 2011, *Late Byzantine mineral soda high alumina glass from Asia Minor: a new primary glass production group*, in *PLoS ONE*, 6, e18970.
- Schibille, N., Gratuze, B., Ollivier, E., Blondeau, E. 2019, *Chronology of early Islamic glass compositions from Egypt*, in *Journal of archaeological science*, 104, 10-18.
- Silvestri, A., Marcante, A. 2011, *The glass of Nogara (Verona): a "window" on production technology of mid-Medieval times in Northern Italy*, in *Journal of Archaeological Science*, 38, 2509-2522.
- Silvestri, A., Molin, G., Salviulo, G. 2005, *Roman and medieval glass from the Italian area: Bulk characterization and relationships with production technologies*, in *Archaeometry*, 47, 797-816.
- Silvestri, A., Molin, G., Salviulo, G. 2008, *The colourless glass of Iulia Felix*, in *Journal of Archaeological Science*, 35, 331-341.
- Siti produttivi e indicatori di produzione del vetro in Italia dall'antichità all'età contemporanea*, Atti delle XIX Giornate Nazionali di Studio sul Vetro (Vercelli, 20-21 maggio 2017), a cura di M. Ubaldi, S. Ciappi, F. Rebajoli, Cremona 2019.
- Sogliani, F., Piccioli, C. 1999, *Il vetro in Italia meridionale ed insulare*, Atti del II Convegno Multidisciplinare, (Napoli, 5-6-7 dicembre 2001), Napoli 2004.
- Sternini, M. 1995, *Il vetro in Italia tra V e IX secolo*, in *Le verre de l'Antiquité tardive et du haut Moyen Age: typologie, chronologie, diffusion* (Huitième rencontre de l'Association française pour l'archéologie du verre, Guiry-en-Vexin 18-19 novembre 1993), Guiry-en-Vexin, 243-289.
- Swan, C., Rehren, T., Dussubieux, L., Eger, A. 2018, *High boron and high alumina middle Byzantine (10th–12th century CE) glass bracelets: a western Anatolian glass industry*, in *Archaeometry*, 60, 207-232.
- Tite, M., Pradell, T., Shortland, A. 2008, *Discovery, production and use of tin-based opacifiers in glasses, enamels and glazes from the late iron age onwards: a reassessment*, in *Archaeometry*, 50, 67-84.
- Ubaldi, M., Verità, M. 2003, *Scientific analyses of glasses from Late Antique and Early Medieval archaeological sites in Northern Italy*, in *Journal of Glass Studies*, 45, 115-137.
- Ubaldi, M., Ciappi, S., Rebajoli, F., *Siti produttivi e indicatori di produzione del vetro in Italia dall'antichità all'età contemporanea* (Atti delle XIX Giornate di Studio sul vetro AIHV, Vercelli 2017), Comitato Nazionale Italiano Association Internationale pour l'Histoire du Verre, 2019.
- Velde, B. 2013, *Glass compositions over several millennia in the western world*, in K.H.A. Janssens (ed.), *Modern methods for analysing archaeological and historical glass*, 1, Chichester, 67-78.
- Verità, M., Vallotto, M. 1998, *Analisi chimica di reperti vitrei del IV secolo d.C. rinvenuti a Sevegliano (Udine)*, in *Quaderni Friulani di Archeologia*, 8, 7-19.
- Verità, M., Renier, A., Zecchin, S. 2002, *Chemical analyses of ancient glass findings excavated in the Venetian lagoon*, in *Journal of Cultural Heritage*, 3, 261-271.
- Wedepohl, K. 2000, *The change in composition of medieval glass type occurring in excavated fragments from Germany*, in *Annales du 14<sup>e</sup> Congrès de l'Association Internationale pour l'Histoire du Verre* (Venezia-Milano 1998), Lochem, 253-257.
- Wedepohl, K.H., Winkelmann, W., Hartmann, G. 1997, *Glasfunde aus der karolingischen Pfalz in Paderborn und die frühe Holzasche-Glasherstellung*, in *Ausgrabungen und Funde in Westfalen-Lippe*, 9, 41-53.
- Whitehouse, D. 2004, *Glass in the Price Edict of Diocletian*, in *Journal of Glass Studies*, 46, 189-191.
- Zucchiatti, A., Canonica, L., Prati, P., Cagnana, A., Roascio, S., Font, A.C. 2007, *PIXE analysis of V-XVI century glasses from the archaeological site of San Martino di Ovaro (Italy)*, in *Journal of Cultural Heritage*, 8, 307-314.

