

Maria Antonia Barucco  
Eli Cattaruzza  
Paola Careno  
Stefano Centenaro  
Filippo De Benedetti

# MURANO PIXEL

Economia Circolare per gli scarti del vetro artistico



Maria Antonia Barucco  
Eli Cattaruzza  
Paola Careno  
Stefano Centenaro  
Filippo De Benedetti

# MURANO PIXEL

Economia Circolare per gli scarti del vetro artistico



**Murano Pixel**

**Economia Circolare per gli scarti del vetro artistico**

Maria Antonia Barucco, Elti Cattaruzza,  
Paola Careno, Stefano Centenaro, Filippo De Benedetti

I edizione 2022

**ISBN 979-12-5953-015-8**

**Progetto grafico e impaginazione**

Margherita Ferrari  
Sofia Portinari

**Editore**

Anteferma Edizioni S.r.l.  
via Asolo 12, Conegliano, TV  
edizioni@anteferma.it

**Copyright**

Questo lavoro è distribuito sotto Licenza Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Condividi allo stesso modo 4.0 Internazionale



I  
- - -  
U  
- - -  
A  
- - -  
V

Università Iuav  
di Venezia



Università  
Ca' Foscari  
Venezia



Progetto **Il progetto circolare del vetro artistico di Murano: come gli scarti divengono risorse per l'industria artigiana 4.0.**

CODICE PROGETTO 2122-0001-1463-2019. Programma Operativo Regionale Fondo Sociale Europeo 2014-2020 – Obiettivo generale “Investimenti in favore della crescita e l’Occupazione - Reg. 1304/2013 – Asse I Occupabilità – “Le Strategie regionali per il sistema universitario - Innovazione e ricerca per un Veneto più competitivo” - Delibera della Giunta Regionale n. 1463 dell’8 ottobre 2019.

Progetto inter-ateneo interdisciplinare

**Università Iuav di Venezia**  
**Università Ca' Foscari Venezia**

Responsabile scientifico Università Iuav di Venezia

**Maria Antonia Barucco**

Referente Università Ca' Foscari Venezia

**Elti Cattaruzza**

Assegnisti di ricerca

**Paola Careno, Stefano Centenaro, Filippo De Benedetti**

Partner di progetto

**Vetrare Artistiche Murano di Stefano Bullo**  
**Costantini Glassbeads di Alessandro Moretti**  
**Nicola Moretti Snc di Alberto & Nicola Moretti**

Partner di rete

**Anteferma Edizioni**  
**WASP**

Collaboratori

**Emilio Antoniol, Margherita Ferrari, Sofia Portinari, Matteo Silverio**



## INDICE

PREFAZIONE	<b>Vetro futuro</b>	8
	. Elti Cattaruzza	
	<b>Vetro antico</b>	12
	. Ligia Maria Moretto	
	<b>Tante sfide, una ricerca</b>	16
	. Maria Antonia Barucco	
	<b>INTERVISTA</b> Lino Tagliapietra	20
LA RICERCA	<b>Murano: produzione e scarti</b>	26
	. Filippo De Benedetti	
	<b>L'Età del vetro</b>	38
	. Stefano Centenaro	
	<b>L'Economia Circolare del vetro artistico</b>	52
	. Paola Careno	
	<b>INTERVISTA</b> Giovanna Palandri	64
	<b>INTERVISTA</b> Chiara Squarcina	67
LE VETRERIE PARTNER DI PROGETTO	<b>Nicola Moretti Snc</b>	72
	. Filippo De Benedetti	
	<b>Vetrare Artistiche Murano</b>	80
	. Stefano Centenaro	
	<b>Costantini Glassbeads</b>	88
	. Paola Careno	
	<b>INTERVISTA</b> Cristiano Ferro	96
	<b>INTERVISTA</b> Luciano Gambaro	100
LA PROTOTIPAZIONE	<b>Economia circolare in Murano</b>	106
	. Paola Careno, Stefano Centenaro, Filippo De Benedetti	
	<b>INTERVISTA</b> Massimo Moretti	134
	<b>INTERVISTA</b> Matteo Silverio	138
BIBLIOGRAFIA		144



# PREFAZIONE

# Vetro futuro

Scelgo di introdurre questa avventura come se fosse l'inizio di un film, che parte privo di parole, avvolto soltanto da qualche rumore in sottofondo che serve a introdurre il contesto: una risacca marina, un vento leggero tra la vegetazione, il brusio lontano delle attività umane... Un film fatto di immagini e di concetti, di azioni e di sguardi in avanti.

*zoom*

Isola di Murano. Tre giovani ricercatori. Cumuli di vetro di scarto, coloratissimo.

*carrellata indietro*

Artigiani del vetro. Università Veneziane. Architetti e scienziati. Professionisti.

*campo lungo*

Dicembre 2020: l'Unesco inserisce nella lista del "Patrimonio Culturale Immateriale dell'Umanità" l'arte delle perle di vetro di Murano.

Maggio 2021: l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite nomina il 2022 "Anno Internazionale del Vetro".

Questa è la storia di un'isola. Anzi, di tante isole.

Isole fragili, ma anche uniche. Isole reali e simboliche. Isole che sono lembi di terra, sfridi di vetro, ma anche persone. Isole antiche, ma con lo sguardo e la prospettiva rivolti oltre l'orizzonte della laguna, oltre la soglia dell'immediato. Isole che si uniscono in un arcipelago di relazioni e possibilità.

Ma questa è anche una storia di incontri. Incontri veri, non a distanza o "da remoto". Incontri semplici e sofisticati. Incontri in cui si condividono odori e colori, ma anche idee e prospettive. In cui si respira la stessa aria e si mangia un boccone in compagnia, dimentichi del luogo di provenienza ma uniti dalla destinazione del viaggio. Un'ltaca da raggiungere tutti assieme, augurandosi che il cammino sia fecondo di conoscenza e condivisione.

È una storia solida e colorata come il vetro dell'isola di Murano, in cui emerge l'entusiasmo e la forza che tre giovani ricercatori hanno saputo e sanno mettere nell'affrontare nuove sfide che sono al contempo scientifiche, estetiche, imprenditoriali, sostenibili. Ma anche il racconto di un vissuto che evidenzia l'importanza della collaborazione, della condivisione delle competenze, dello scambio e della contaminazione dei punti di vista.

Questa avventura scientifica con la realtà del vetro di Murano vede i suoi prodromi più di un lustro fa, quando tramite alcune associazioni muranesi è iniziata una collaborazione tra il Dipartimento di Scienze Molecolari e Nanosistemi dell'Università Ca' Foscari Venezia e alcuni mastri vetrai e le loro fornaci, allo scopo principale di proporre e validare delle strategie che permettessero la sostituzione del cadmio – il cui uso è stato progressivamente vietato – con altri elementi (il cadmio è sempre risultato fondamentale per la produzione di vetri dai tipici colori compresi tra il giallo e il rosso). L'interazione si è ulteriormente sviluppata mediante la realizzazione di tesi di laurea riguardanti sia l'analisi sistemica della sostenibilità dei comparti di produzione del vetro di Murano sia l'analisi chimico-fisica di ottantatré vetri colorati diversi, di cui è stato realizzato anche un dendrogramma statistico. Nel contempo, varie attività di divulgazione dei risultati di questa interazione hanno avuto luogo, dalla pubblicazione dei risultati su riviste scientifiche internazionali alla realizzazione di incontri e documentari dedicati a tali problematiche, sino alla conferenza internazionale della *Glass Art Society* in Murano – che nella sua 47<sup>a</sup> edizione annuale, tenutasi nel 2018 in Murano, ha riunito nell'isola oltre tremila partecipanti. A fronte di tematiche così determinanti per il comparto muranese, le decisioni politiche non hanno però sufficientemente supportato e alimentato queste interazioni tra mondo produttivo e accademia, e il tutto si è arrestato.

Allora si è ripartiti. Nuovamente dal basso, dagli incontri, dagli scambi di idee tra attori diversi, dalla ricerca di un nuovo paradigma che potesse fare breccia anche verticalmente nella società civile e politica. Si è ripartiti dalla passione per il vetro, per i colori, ma con una nuova stella polare: l'Economia Circolare, che prova a dare una risposta alle problematiche di riutilizzo delle grandi quantità di vetro di scarto nell'isola. Gli sfridi di lavorazione, quei frammenti che contengono la sapienza artigianale di secoli di manualità, di ricette e di segreti tramandati per generazioni; frammenti contenenti fisica e chimica di atomi che si legano insieme e danzano, donandoci la sensazione del colore. Nuovi attori, nuovi approcci, nuove idee per le stesse sfide: valorizzare la ricerca sviluppata e approfondita negli Atenei applicandola a casi reali in cui l'intervento di tali conoscenze può cambiare il destino di persone e cose. Dare nuova vita agli scarti di vetro delle fornaci muranesi: tradurre in risorsa ciò che è rifiuto e spesa, senza compromettere la peculiarità del vetro di Murano. Artigiani e fornaci che

si relazionano ad architettura e scienza, a professionisti e inventori: il tutto trainato dall'energia cosciente e illuminata di tre giovani studiosi, appartenenti alle due Università della città di Venezia, l'Università Luav di Venezia e l'Università Ca' Foscari Venezia. Ecco dunque la sintesi che prova ad aprire nuove prospettive: sapienze e conoscenze differenti che si uniscono, con rispetto reciproco e traendo forza dalla ricchezza dei diversi punti di vista. Isole possibilmente mai più separate, che tessono relazioni e costruiscono ponti che le rendono un arcipelago di unicità.

Nella speranza che tutto ciò non risulti ancora una volta trasparente agli occhi di coloro che possono decidere.

# Vetro antico

Ligia Maria Moretto

Murano è da più di sette secoli l'isola del vetro, un mondo di sapienza ed esperienza, di luce magica, incantevoli forme e colori, di artigianato che si fa arte ineguagliabile. La storia del vetro veneziano è un lungo tratto di un itinerario iniziato quattro millenni fa in Mesopotamia o in Egitto e diretta eredità dell'arte vetraria evolutasi nell'Impero romano dopo che l'invenzione, nel I secolo a.C., della soffiatura del vetro, libera e a stampo, rivoluzionò l'industria vetraria permettendo una vasta diffusione dei manufatti in vetro, divenuti molto più economici e di una grande varietà di forme e colori.

Il vetro muranese affonda quindi le sue radici nell'antica Roma, e questa a sua volta nel vicino Medio Oriente (costa siro-palestinese, probabile culla della scoperta del vetro), da dove provenivano i *glassmakers* che introdussero l'arte vetraria nel mondo romano e da dove provenivano i blocchi di vetro grezzo da cui le fabbriche dette secondarie realizzavano poi i manufatti finali.

Inizialmente gli oggetti di vetro erano piccole perle, mentre dall'età del bronzo all'inizio dell'Impero romano l'arte del vetro si esprimeva in piccoli e costosissimi contenitori policromi e opachi (unguentari, balsamari, ecc.). Nell'Età del ferro, quando l'arte vetraria mediorientale s'inserisce nella *koiné* della cultura greca, prima classica e poi ellenistica, avviene il cambio del fondente: si impiega un additivo a base di carbonati alcalini per abbassare la temperatura di fusione della sabbia (1550 - 1700 °C) a temperature accessibili alle fornaci del tempo (800 - 1100 °C) e per rendere il vetro lavorabile a temperature relativamente basse. Il fondente vegetale (ceneri di piante) fu sostituito per quasi due millenni dal natron, minerale evaporitico di carbonati di sodio proveniente dall'Egitto (zona di Wadi El Natrum). Quando per motivi geopolitici le fonti di natron divennero poco accessibili, si ritornò gradualmente alle ceneri (dal IX al XII secolo d.C.), usate dalle fabbriche muranesi (cenere sodiche) e di tutta Europa (ceneri per lo più potassiche) fino al secolo XIX, quando l'uso dei processi *Leblanc* e poi *Solvay* resero disponibili carbonati di sodio industriale a basso costo e sempre più puri.

L'aspetto più sorprendente che emerge dallo studio dei vetri antichi è che dall'epoca romana al secolo XVIII, e per molti versi fino ad'oggi, emerge una sostanziale continuità nelle tecniche di fabbricazione e di colorazione dei vetri, pur se importanti novità sono state introdotte lungo il tempo soprattutto dagli artigiani muranesi, che realizzarono manufatti di incredibile bellezza e raffinatezza. Gli oggetti romani color ambra erano realizzati con particolari processi non dissimili da quelli usati per le odierne bottiglie di birra marrone (in realtà ambra scuro). Le empiriche nanotecnologie *ante litteram*, a base di rame e oro, usate anticamente per ottenere i vetri rossi sono le stesse degli odierni vetri muranesi, anche se con diversi elementi.

Da più di un decennio un gruppo di ricerca del DSMN dell'Università Ca' Foscari di Venezia studia i vetri antichi che hanno preceduto il vetro veneziano, che ad essi si lega praticamente senza soluzione di continuità. Il gruppo, prima coordinato dal Prof. Emilio Francesco Orsega e poi dalla Prof.ssa Ligia Maria Moretto, ha condotto molte tesi di laurea e di dottorato, pubblicando molti articoli a diffusione internazionale e instaurando proficue collaborazioni con altre istituzioni, in particolare con il National Institute of Chemistry di Lubiana, la Stazione Sperimentale del Vetro di Murano, il Museo archeologico nazionale di Aquileia, il Museo archeologico nazionale di Adria, il Museo archeologico di Agrigento, l'University of the Witwatersrand di Johannesburg, la California State University, la Oxford University, e la Ghent University. La collaborazione con l'Istituto Nazionale di chimica di Lubiana si è rivelata fondamentale per la messa a disposizione dell'ICP/MS con Laser *ablation*, tecnica di elezione per l'analisi elementare dei vetri. A Lubiana viene applicato un particolare metodo di calibrazione ed analisi capace di rivelare con notevoli accuratezza e precisione 54 elementi in contemporanea per ogni misura. L'analisi elementare è fondamentale per la determinazione della composizione del vetro e quindi della sua provenienza e dei minerali usati per i coloranti e gli opacizzanti (identificati anche con la spettroscopia di assorbanza nel visibile e nel vicino IR) e spesso per stabilire i periodi di datazione del vetro. Con tale tecnica sono state condotte le analisi su vetri pre-romani dell'età del ferro (VI, II e I secolo a.C., dal Museo di Adria), su un vasto numero di vetri di epoca romana (I-VIII secolo d.C.), medievale e rinascimentale (XIV-XVI secolo) dal museo di Agrigento, su un grande numero di campioni di epoca romana (I-III secolo d.C.) da Aquileia, Altino e Adria e da un nuovo sito dell'area di Aquileia, oltre a un lungo e complesso lavoro sulle perle di vetro tra Africa orientale e Oceano Indiano nel primo millennio d.C.

Ma un ulteriore utilizzo innovativo di questa tecnica è stato il *mapping* bi e tri-dimensionale, dove la scansione di una piccola superficie del vetro ha permesso di visualizzare mediante dei codici colore le concentrazioni punto per punto di ogni elemento. Il confronto delle mappe permette di

comprendere quali elementi sono associati, per determinare la composizione e la provenienza di materie prime e minerali correlati ai coloranti.

Inoltre è stata applicata per la prima volta sui vetri la tecnica del *drilling*, per studiare la composizione del vetro vergine sotto lo strato di degrado e realizzare mappe in 3D per studiare la variazione di alcuni elementi chiave lungo lo strato di corrosione.

È da sottolineare che lo studio delle condizioni e dei meccanismi di degrado dei vetri è stato un ulteriore argomento di ricerca lungo gli anni da parte del gruppo.

L'analisi della composizione, delle proprietà e del degrado dei vetri antichi può costituire un bagaglio di conoscenze utili allo studio degli odierni vetri muranesi e alla soluzione di alcuni problemi ancora irrisolti.

# Tante sfide, una ricerca

Maria Antonia Barucco

Murano e i suoi vetri, tra arte, artigianato e industria, sono parte dell'ecosistema lagunare: peso economico, valore storico, eccellenza a livello internazionale, tratto culturale di un territorio e non solo. Ma la crisi, prima, e l'emergenza sanitaria, poi, hanno incrinato il funzionamento di tale sistema che è parso essere a volte sospeso, a volte infranto e a volte reinventato.

La ricerca qui descritta è caratterizzata dall'amore per la storia e la tradizione di un luogo magico e dalla sfida di reinventare parti di un funzionamento sistemico che, attraverso il lavoro in isola, è stato via via identificato come un ecosistema. Arti, tradizioni, maestri, materiali, strumenti, idee e committenti sono tra loro legati da una rete di connessioni che possono a volte anche nascere dall'altra parte del mondo ma che si sviluppano sempre sull'acqua della laguna e tra le calli ampie che affermano la scarsa urbanità e la vocazione fortemente industriale di Murano.

E quindi, se nelle fasi di definizione del progetto di ricerca e del piano di lavoro si era data priorità ai processi e agli strumenti, ai prodotti e ai chili di scarti, durante l'anno trascorso a Murano è emerso forte il peso e il valore dello scambio di conoscenze, competenze, storie e tradizioni. E in relazione a questo la ricerca si è sviluppata e si è mostrata in una serie di occasioni di confronto e di appuntamenti: la partecipazione ai festeggiamenti per i 1600 anni di Venezia, la cartolina a supporto del progetto di Venezia capofila di *New European Bauhaus*, il convegno *Isole di Vetro* del 14 maggio, l'appuntamento con l'associazione culturale Mestre Mia del 9 giugno, le riprese di Rai 1 (e la messa in onda per *Linea Verde Life* il 3 luglio). Ultimi nello sviluppo dell'anno ma non ultimi per importanza, i *Living Labs*: appuntamenti dedicati a descrivere l'intero percorso di lavoro in occasione della Glass Week a Ca' Dolfin (sede Ca' Foscari Venezia) e poi anche con una lezione e una mostra nell'atrio del Cottonificio di S. Marta in Luav.

Un anno di ricerca non è molto perché lo studio e la sperimentazione richiedono tempi lunghi e lenti, dettati dalla riflessione e dall'iterazione delle prove, ma anche perché è doveroso curare la disseminazione della ricerca.

E questo tempo appare ancor più breve se viene messo al confronto con la millenaria e grandiosa storia con la quale gli assegnisti hanno cercato una relazione. È stato un anno folle, caratterizzato dalla pandemia COVID-19, dai *lockdown*, dalla paura, dalla crisi, dalla fiducia e dalla volontà di affermare con forza il valore dello scambio, della comunicazione interpersonale e della condivisione.

Si è cercato di leggere, comprendere e valorizzare le reti di persone e la dimensione ecosistemica del lavoro in Murano e in Università. Il vetro soffiato, la lavorazione a lume e le vetrate a piombo sono lavorazioni antiche e così è anche il linguaggio che ne descrive le prassi, gli intenti e gli esiti; un linguaggio distantissimo da quello della ricerca scientifica che sviluppa e sperimenta ogni passaggio utile a trasformare un'economia lineare in una circolare; un linguaggio distantissimo anche dalle comunicazioni e dagli slogan che consentono al mondo di comprendere e apprezzare gli sforzi per l'innalzamento della qualità sostenibile dei prodotti. Il lavoro di confronto e la ricerca di convergenza si fondano dunque su una paziente opera di traduzione di linguaggi specialistici e di traduzione dei risultati in comunicazioni dedicate ad un pubblico ampio. La ricerca ha identificato analogie tra la tradizione antica e il progetto di una possibile Economia Circolare degli scarti di vetro lavorando più in vetreria che in biblioteca; per fare questo è stata posta in luce l'invisibile rete sottesa ai processi produttivi, che anima le regie, i protagonisti e le trasformazioni del vetro.

Non ha solo lo scopo di comunicare e tradurre, la ricerca è anche indagine e indirizzo. Perciò sono state misurate variabili quantitative, qualitative e descrittive per valutare gli scarti del vetro artistico e evidenziare alcuni aspetti per sviluppare strategie coerenti con il panorama internazionale e, al tempo stesso, in grado di offrire un contributo di novità alle sapienti mani dei maestri vetrai. Per poter realizzare tutto ciò è stato importantissimo il lavoro di tre giovani dottori, ricercatori per un anno di assegno: Paola Careno e Filippo De Benedetti, laureati in architettura all'Università Luav di Venezia, e Stefano Centenaro, laureato in ingegneria dei materiali presso l'Università degli studi di Padova. Da loro è firmato il presente volume e a loro va la gran parte del merito ogni volta che la ricerca trova un giusto spazio e propone spunti di riflessione interessanti. Il lavoro dei tre ricercatori è stato supportato dai partner aziendali Vetrate Artistiche Murano, Costantini Glassbeads e Nicola Moretti Snc; altrettanto importanti i partner di rete Wasp e Anteferma Edizioni. Va sottolineato anche lo sforzo compiuto dagli uffici dell'Università Luav di Venezia e dell'Università Ca' Foscari Venezia che hanno ascoltato, aiutato e guidato le richieste dei ricercatori e dei responsabili scientifici in un anno in cui i vincoli burocratici e le relazioni sono stati a volte doppiamente complessi, perché gravati dal COVID-19.

La rete di relazioni e di collaborazioni sottesa e precedente a questo progetto di ricerca si è rafforzata e è cresciuta negli obiettivi e nel numero

dei soggetti coinvolti. In primo luogo il progetto non sarebbe nato senza il supporto di Studio Silverio il cui titolare, Matteo, si è dimostrato ispiratore di proposte, sprone nelle occasioni di stanchezza, catalizzatore di interessi e fonte inesauribile di novità. Vi sono poi le voci di Murano e della ricerca accademica: artisti, docenti, maestri, studiosi e imprenditori che hanno arricchito il lavoro dei ricercatori e lo sviluppo del presente testo.

Virtuosissimo e ispiratissimo il protocollo d'intesa firmato tra la Fondazione Musei Civici di Venezia, l'Università Luav di Venezia e l'Università Ca'Foscari Venezia: per questo devono essere ringraziati Chiara Squarcina e Pierluigi Genovesi.

Vi sono infine tutte, molte, le persone (docenti, studiosi, curiosi, ecc.) che hanno contattato in questi mesi Elti Cattaruzza, Ligia Moretto e la sottoscritta: a noi tre spetta l'onore e l'onore di essere stati i custodi di questa rete di persone, saperi ed interessi per la durata del progetto di ricerca, periodo decisamente interessante e che continua a stupirci per il numero e il valore dei possibili sviluppi futuri che propone.

Gli scarti del vetro di Murano sono fortemente caratteristici, racchiudono in piccola parte una grande storia. Solo un bivio nella vita del vetro lavorato in Murano distingue ciò che tutto il mondo ammira da ciò che è considerato un rifiuto. E questi scarti, in un'epoca destinata a costruire un futuro in virtù dell'Economia Circolare, meritano di prendere parte a una nuova narrazione fatta di prototipi e, magari in un futuro prossimo, anche di nuovi prodotti dalla qualità riconosciuta e ricercata.

La sfida più grande è nelle conclusioni di questo racconto: far sì che quanto sviluppato, immaginato e progettato non sia finito ma divenga un punto d'avvio per altro, per nuove ricerche, reti di portatori d'interesse, collaborazioni, idee e progetti. Tutti coloro che hanno lavorato in questo anno sono cercatori di possibilità, di studio e di sperimentazioni perché a valle di una buona ricerca devono esserci più domande che risposte, perché la ricerca deve essere sfidante e il lavoro non è certamente ancora finito.

Il mio augurio personale è che i migliori frutti di questo lavoro possano essere colti dalle voci più fresche, ardite e (non solo anagraficamente) giovani, perché si possa affermare sempre e con forza la vitalità di Murano.

# LINO TAGLIAPIETRA

Artista del vetro e Maestro vetraio

**Nella Murano degli anni '50 e '60, qual era il destino degli scarti di vetro, come veniva smaltiti, riutilizzati?**

Quando ero ragazzo veniva buttato via veramente poco, sia in termini di imballaggio che di vetro. Ricordo che gli scarti venivano messi in una parte della fabbrica dove una persona vagliava il vetro in funzione del suo riciclo, e questo veniva quindi ricotto. La produzione degli scarti è legata anche alla tipologia degli strumenti che si utilizzavano: ad esempio, le canne con il puntale in ferro usate per la lavorazione, lasciavano tracce del metallo all'interno del vetro, il quale perdeva la trasparenza e tendeva a diventare verde proprio a causa dei rilasci di ossido di ferro e quindi non poteva più venire usato nella produzione di vetri trasparenti. Questa tipologia di scarto oggi è molto più diffusa rispetto una volta: ricordo che ai miei tempi il vetro con il ferro veniva riciclato per un vetro colorato, come il verde o il nero. Quindi c'era una grande attenzione per il riciclo, e riciclare voleva dire anche ridurre il tempo di cottura. Credo che oggi tale pratica sia an-

cora importante, per tradizione e tecnica, e che si possa utilizzare il 20-30% di vetro di riciclo: in alcuni casi si può anche lavorare con solo vetro riciclato. Per esempio, il vetro americano è ottenuto dalla fusione di vetro prodotto in altri Paesi, come Germania o Australia, questo viene riutilizzato integrandolo con vetro cotisso (blocchi di vetro usati per la ri-fusione). La pratica del riciclo è una tecnica nota e conosciuta, tuttavia non viene sempre sfruttata.

Vedo enormi barche trasportare grandi quantità di scarti di vetro che potrebbero essere riciclate. Con una tecnica più attenta, una conoscenza chimica più mirata, lo studio e una maggiore preparazione sul riciclo produttivo, si potrebbe contribuire a ridurre le quantità di scarti di vetro artistico, anche perché sono altamente inquinanti.

La fusione del vetro di riciclo con il cotisso è una tecnica conosciuta ma spesso utilizzata in maniera sbagliata. Il cotisso viene fuso a temperature più basse rispetto il vetro, il quale fonde a 1240°C. Per il corretto utilizzo del cotisso bisogna riempire il crogiolo gradualmente, partendo da

una temperatura di utilizzo più bassa, intorno ai 1000 c°, si aggiunge poi poco per volta il cotisso alzando man mano la temperatura. Ovviamente occorre un po' di più tempo ma così si salvaguarda l'integrità del crogiolo e si ottiene un vetro di migliore qualità. Tutto dipende da come vogliamo lavorare il vetro e affrontare questa nuova sfida del riciclo.

Gli scarti del vetro artistico, a seconda della loro composizione chimica (zolfo, selenio ecc.), potrebbero essere riutilizzati per la produzione di vetro colorato: occorre sperimentare un po'. Queste sperimentazioni richiedono spazi per lo stoccaggio, strumenti per la raccolta e la catalogazione oltre che per ordinare e valorizzare gli scarti.

Ad esempio: il vetro cobalto è facile da cucinare, altri colori non lo sono. Dove c'è del solfuro, se si vuole ottenere un tono di colore ambra o un topazio, occorre cucinare il vetro molto altrimenti non viene pulito. Alcuni colori hanno bisogno di tempi e temperature diverse, e anche di differenti miscele d'aria. Una volta questo era possibile perché avevamo dei fonditori davvero capaci, la nostra struttura di fabbrica

permetteva di cuocere in una notte anche dodici colori in un forno... all'epoca facevamo dei colori bellissimi. Ricordo ancora quando i forni andavano a legna, era molto importante controllare il vapore acqueo. Sulla griglia all'interno del forno, c'era una specie di occhio (una botola), aperto sulla "castra" (la pira di legname da ardere) la cui umidità produceva vapore acqueo il quale, passando per l'occhio sul pavimento, contribuiva ad aumentare la temperatura all'interno dei forni. Era interessante osservare questi fenomeni e queste relazioni: le persone che lavoravano in fabbrica, chi tagliava la legna, chi fondeva il vetro. Ora tutte queste figure non ci sono più, anche le tecniche produttive sono cambiate, ma sarebbe davvero interessante recuperare alcuni processi e adattarli ai moderni sistemi produttivi. Sono stato in Finlandia e in Svezia e là si usa ancora il vapore acqueo per la produzione del vetro, anche in Ungheria l'ho visto fare: sfruttano il vapore prodotto dall'umidità del legno, soffiano il vetro e creano delle cose stupende, senza l'utilizzo di altre fonti di calore. In questi Paesi anche il recupero e

il riciclo del vetro è molto avanzato. Alle Maldive mi hanno sorpreso, sono riusciti a calibrare il coefficiente di dilatazione delle bottiglie di vetro in modo che fosse pari a quello delle murrine che avevamo portato da Seattle. Non veniva buttato via niente, anche quello che avanzava veniva messo da parte.

**Nel caso degli Stati Uniti, ritiene che ci sia altrettanta attenzione all'impatto ambientale del ciclo produttivo del vetro?**

Conosco l'esperienza del vetro americano attraverso cari amici che hanno realizzato delle opere negli Stati Uniti, realtà molto competenti ma forse ancora poco sensibili alle questioni legate all'inquinamento. Le fabbriche sono molto distanti dalle città e di conseguenza non hanno tutte quelle restrizioni che un centro abitato richiederebbe.

Ora però anche in America è vietato l'utilizzo di piombo, cadmio e selenio, considerati pericolosi per la salute dell'uomo. Questo limite riduce anche la produzione di alcuni colori, come ad esempio il rosso.

# LINO TAGLIAPIETRA

Nel tempo ho sempre fatto ricerche ed esperimenti chimici per studiare il colore: una volta ad esempio si usava il rame per ottenere un rosso rubino molto bello (ho trovato degli specchi fatti in lastra float con questo rosso stupendo) e in base a quanto si riscaldava il vetro, il rosso diventava più o meno opaco: era la stessa tecnica che usavamo anche noi all'Effetre International negli anni Ottanta. Facevamo dei vasi color "terra di Siena", lo chiamavamo "rosso coppo": si usava il carbone, che in veneziano era "marogna", perché contiene una specie di ferro: la marogna veniva tritata e riutilizzata per fare il vetro, questo processo produttivo ha origini molto indietro nella storia di Murano ed è lo stesso utilizzato anche per la realizzazione del colore rosso coppo in certe murine antiche.

Bisogna continuare a fare queste ricerche, continuare a guardare alle lavorazioni antiche e sperimentare sulle materie e sui colori, con particolare attenzione ai valori di inquinamento; ma ormai all'interno delle fabbriche non ci sono quasi più figure dedicate a queste ricerche e alle prove sui materiali. La Stazione Sperimentale del

Vetro di Murano porta avanti queste ricerche, ma resta comunque slegata dalla realtà produttiva di Murano. Nelle fabbriche c'è bisogno di cultura, di scienza, di esperienza. Ma purtroppo a Murano c'è anche sempre meno gente che lavora.

Credo che comunque, in caso di necessità, le soluzioni si possano trovare. Penso ad esempio a un amico che lavorava in West Virginia, che ha trovato un'alternativa al piombo e all'arsenico per produrre il bianco da utilizzare nella filigrana. Questo vuol dire che in caso di necessità, l'alternativa può essere trovata, ma solo attraverso lo studio, la sperimentazione e la condivisione delle esperienze. A Murano si è drasticamente ridotto il numero dei lavoratori e contemporaneamente si è anche perso l'interesse a sperimentare e a condurre ricerche: sono due fenomeni tra loro collegati.

È difficile dire quale tra i due sia la causa e quale la conseguenza. A Murano, fino agli anni Cinquanta e Sessanta c'erano 6.000 lavoratori. Calo dovuto anche a tutte le questioni legate all'inquinamento, specialmente negli anni Ottanta e Novanta. Le sostanze utilizzate nelle vetrerie si riversavano

in acqua, con relative conseguenze anche sulla salute della laguna. Oggi la situazione è cambiata, e penso anche migliorata. Ma questo non è dovuto solamente al fatto che si lavora diversamente, è anche perché si lavora molto meno: il numero di fabbriche attive è irrisorio paragonato a quello di cinquanta-sessanta anni fa.

Il tema dell'inquinamento è molto importante, e la salute della laguna va controllata, ma questa considerazione va estesa a tutto quello che è in quest'area, quindi non solo Murano, ma anche il polo industriale di Marghera o le imbarcazioni, solo per fare alcune esempi.

**Murano è sempre stata maestra indiscussa in ambito internazionale, adesso cosa può o dovrebbe imparare a sua volta?**

Ci ho pensato molto ed ero convinto, e lo sono ancora per certi versi, che fosse necessario collegare la formazione con il lavoro. Credo sia molto importante investire nei giovani: il mio sogno sarebbe quello di avere un grande museo e collegarlo a una struttura scolastica educati-

va. Un centro culturale importante legato al museo e alla storia di Murano in modo da poter formare dei maestri, competenti nella tecnica ed esperti conoscitori della storia. Poi però penso a quale sbocco lavorativo potrebbero avere questi giovani maestri: quale tipo di vita offriamo loro se non riusciamo a creare a livello sociale una Murano diversa da quella di oggi, in cui sembra prioritario l'incremento numerico della vendita per andare incontro al crescente turismo? È questo che vogliamo lasciare ai giovani? Questo è un mio grande dubbio: bisogna creare un'immagine di Murano diversa per poter invogliare i ragazzi a costruirsi un futuro con questo mestiere e in questi luoghi. Una volta c'era una grande disparità tra gli stessi abitanti di Murano e, forse, molta più povertà. Ma chi aveva capacità e un po' di fortuna poteva crescere. Non parlo solo dei grandi maestri, anche gli assistenti più qualificati potevano raggiungere una grande notorietà e agiatezza. Adesso non è più così. Io mi ritengo fortunato: la scuola l'ho vista con il binocolo, ed è una cosa che mi è tremendamente mancata. Ho iniziato a lavorare molto

giovane, nove ore al giorno, a volte anche quattordici o quindici. Una volta si vedeva il proprio maestro lavorare con figure importanti da tutto il mondo, realizzare pezzi straordinari, e guadagnare molto bene. Oggi invece c'è una clientela diversa, un turismo mordi e fuggi che non so quanto spenda nei prodotti di Murano. Per questo credo non sia sufficiente insegnare, avere una scuola: occorre creare un ambiente sociale e culturale importante.

### **Ciò che lei auspica per Murano, lo ritrova nel panorama statunitense?**

Mi sono posto il problema anche per i giovani negli Stati Uniti. Ci sono quelli che sono arrivati, che hanno fatto fortuna, guadagnano bene: si sono fatti lo studio, hanno la macchina, la barca. Credo che sia stupendo. Quelli che non sono arrivati hanno una vita abbastanza dignitosa perché il salario è molto più alto ma il costo della vita anche. Però vivendo qui e là, in America e a Venezia, vedo che negli Stati Uniti ci sono ancora margini all'interno dei quali crescere. La visione del lavoro artistico è

diversa da quella italiana, ed ha un valore importante.

### **Come tenere insieme tradizione e innovazione nell'esperienza di Murano?**

È la domanda delle domande. I consigli possono essere molti, ma la pratica è poi ben distante.

Personalmente credo che senza avere la cultura del passato che scorre nelle vene, non si possa andare nel futuro. E l'altra cosa fondamentale è la sperimentazione.

Un altro aspetto molto importante è la relazione con la comunità, sia internazionale che locale. Una volta l'isola di Murano era più viva, c'era la scuola, il teatro, i concerti, la chiesa, le occasioni di incontro e di discussione erano molte. Cosa c'entra con il vetro? C'entra perché se tu fai parte di una comunità, la comunità ti aiuta in qualche modo a crescere. Ti accoglie, ti dà la possibilità di imparare, di sbagliare.

Possiamo crescere e cambiare sicuramente attraverso la cultura, con l'obiettivo di elevare la qualità del lavoro.



LA RICERCA

# Murano: produzione e scarti

Filippo De Benedetti

Ogni anno a Murano vengono prodotte dalle 700 alle 1.000 tonnellate di sfridi di vetro e 200 tonnellate circa di rifiuti derivati dalla lavorazione a freddo del vetro (principalmente fanghi di moleria), per un volume equivalente di 392 metri cubi di scarti in varie forme: morsi di bacchette, perle rotte, gocce di vetro, porzioni di lastre, vetro rullato, rulli, polvere e generici sfridi di lavorazione di vetro soffiato. Un modo per comprendere quanto vetro diviene scarto è tradurre questo volume totale in un prodotto tipico di Murano: 392 metri cubi di vetro possono consentire la realizzazione di 31.250.000 calici di vetro. Altrettanto efficace è figurare il lavoro necessario per il trasporto di questo rifiuto: per spostare 392 metri cubi di vetro da Murano alla discarica sono necessarie 91 imbarcazioni da 11 tonnellate, a pieno carico (img. 01).

Il vetro è un materiale che può essere riciclato all'infinito, in termini tecnici viene definito "permanente" perché può essere riciclato senza produrre alterazioni alle sue caratteristiche e proprietà intrinseche. Nel rapporto *il riciclo del vetro e i suoi nuovi obiettivi europei per la circular economy* realizzato dalla Fondazione per lo sviluppo sostenibile si legge che "1 kg di rottame di vetro permette di produrre 1 kg di vetro" (Fondazione per lo sviluppo sostenibile, 2016, p.20), ma il riciclo del vetro di Murano non è semplice e tale complessità emerge osservando lavorazioni, chimica e possibili scenari per trasformare un rifiuto speciale in una risorsa.

Il coinvolgimento di tre vetrerie muranesi rappresenta una grande risorsa per la ricerca, così come la multidisciplinarietà del team di docenti<sup>[1]</sup> responsabili del lavoro. Alessandro Moretti di Costantini Glassbeads, Nicola Moretti di Nicola & Alberto Moretti Murano Snc e Stefano Bullo di Vetrate artistiche Murano si occupano di lavorazioni molto diverse tra di loro e l'insieme delle produzioni è rappresentativo di buona parte delle lavorazioni del vetro realizzate in isola. Costantini Glassbeads è specializzata nella lavorazione di perle a lume<sup>[2]</sup> e nel 2001 ha acquisito dalla famiglia 950 quintali di perline di conteria<sup>[3]</sup> che sono stati prodotti dal 1930 sino al 2001, quando la lavorazione è stata vietata per la cancerosità di un particolare tipo di rifiuto. Nicola Moretti è specializzato in vetro soffiato,

[1] Maria Antonia Barucco (Icar 12, Tecnologia dell'architettura) per Università Iuav di Venezia, Elti Cattaruzza (Fis 01, Fisica sperimentale) e Ligia Moretto (Chim 01, Chimica analitica) per Università Ca' Foscari Venezia.

[2] La lavorazione a lume è un'antica tecnica di seconda lavorazione, applicata già nel Rinascimento a Venezia e poi sviluppata al meglio dal XVIII secolo. Una canna vitrea piena viene utilizzata dal maestro di lume come semilavorato. Egli rammollisce la canna al calore di una fiamma orizzontale alimentata da gas metano e aria o da gas metano e ossigeno e lo modella con l'ausilio di piccoli strumenti. Il vetro viene avvolto intorno a una sottile canna di rame e decorato in vario modo. La canna metallica viene poi eliminata con un bagno in acido.

[3] Con questo termine si indicano le perle di vetro di dimensioni molto piccole, realizzate sezionando per taglio una canna forata e arrotondando a caldo i cilindretti ottenuti.

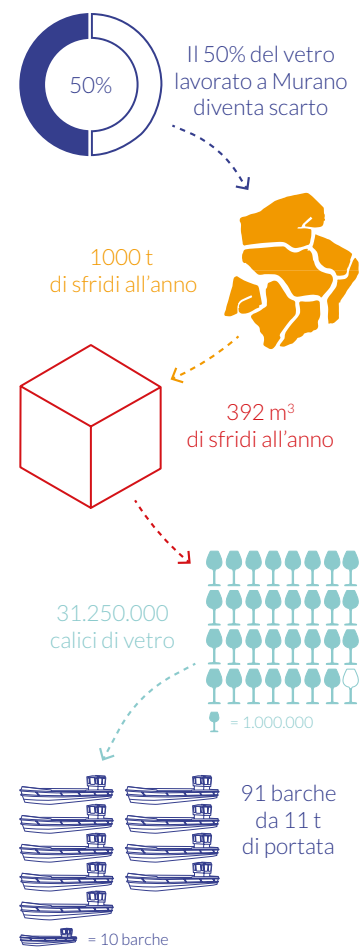
vetrofusione e molerial<sup>[4]</sup>, alcune delle lavorazioni tra le più rappresentative e iconiche del vetro di Murano nel mondo. Vetrate Artistiche Murano, unica bottega nel suo genere a Murano, è specializzata nella realizzazione e restauro di vetrate artistiche<sup>[5]</sup>, decorazione su vetro a smalti e serigrafia.

La lavorazione del vetro è articolata e viene svolta principalmente da imprese di piccole dimensioni: il 41% si dedica esclusivamente alla prima lavorazione del vetro, mentre le seconde lavorazioni come la molatura, l'incisione, la vetrofusione e la decorazione, sono praticate dal 34% delle imprese; più di due vetrerie su dieci si dedicano alla pratica del vetro a lume (in via esclusiva o assieme ad altre forme di lavorazione); esiste infine una piccola quota di imprese che si dedica a lavorazioni quali l'assemblaggio di componenti nel campo dell'illuminazione e il restauro di manufatti.

Osservando ciò che viene realizzato si nota che nel 40% delle vetrerie (che praticano la prima lavorazione) le produzioni più richieste e praticate sono la scultura e i manufatti per l'illuminazione, seguite da oggettistica e articoli per la tavola. Per quanto riguarda lo stile di lavorazione, metà delle imprese adotta per i propri prodotti sia quello classico che quello moderno, meno frequenti sono le vetrerie che hanno abbandonato il classico per dedicarsi in esclusiva a manufatti in stile moderno o contemporaneo. L'analisi delle tipologie di seconde lavorazioni eseguite dalle imprese muranesi mostra una certa eterogeneità: prevalgono la vetrofusione e la molatura, che vengono praticate ognuna da poco più di un quarto delle aziende, seguite dall'incisione, dalla fabbricazione di specchi e dalla decorazione. Circa il 17% delle vetrerie si dedica a ulteriori e variegata tipologie di lavorazione non attribuibili ad una categoria univoca come la lavorazione a millefiori o le decorazioni a smalto (img. 02).

A partire dall'analisi dell'operato dei partner aziendali, a confronto con i dati appena citati, la ricerca indaga la complessità delle lavorazioni del vetro presenti nell'isola di Murano, caratteristiche che rendono unico il distretto muranese. Non è possibile trovare altrove una concentrazione di tante tipologie di lavorazione del vetro in una superficie territoriale così piccola e con una tradizione millenaria alle spalle. Al contrario di quello di Murano, gli altri distretti del vetro sono quasi sempre specializzati in un tipo di lavorazione, come ad esempio il comparto di Boemia, specializzato nel vetro al piombo, e quello della Repubblica Ceca in cui si realizzano perle (anche le perle di conteria, lavorazione vietata in Murano).

Il campo d'indagine è quindi costituito da un numero di lavoratori e una gamma di lavorazioni molto varia che produce una altrettanto ampia gamma di scarti. Per affrontare il tema del riciclo del vetro di Murano, la ricerca accetta la sfida della complessità e la declina in una logica sistemica perseguendo l'obiettivo di ampliare la squadra degli attori coinvolti nel numero, nella varietà e nell'articolazione disciplinare, per indagare i temi dell'economia



01. Quantitativi di sfridi prodotti ogni anno dalle lavorazioni del vetro artistico di Murano.

[4] Lavorazione a freddo su manufatti finiti per levigare, appiattare, incidere e lucidare il vetro. La molatura è sempre realizzata con l'acqua per evitare di surriscaldare il vetro per attrito.

[5] Per vetrata artistica si intende un insieme di pezzi di vetri di vari colori, assemblati e tenuti insieme da listelli di piombo e che, nel loro insieme, rappresentano figure o soggetti storici. Tale sorta di mosaico è poi incorniciato da un telaio e da rinforzi metallici fissati a loro volta agli stipiti delle finestre.

circolare da molteplici punti di vista. Il *team* di ricerca è stato strutturato nel 2020: assegnisti, docenti, vetrerie, una casa editrice esperta nella comunicazione entro e fuori l'ambito accademico e Wasp, azienda *leader* mondiale nelle tecnologie additive. Il numero di persone coinvolte nella ricerca in data settembre 2021 è ben più ampio: per lo sviluppo della ricerca sono stati importantissimi la collaborazione con Studio Silverio, la partecipazione alla *Glass Week*, le relazioni con i comitati e le associazioni presenti sul territorio (*Mestre Mia, Comitato Venezia 1600*).

Infine la ricerca ha consentito la firma di un Protocollo d'intenti tra Università Ca' Foscari Venezia, Università Iuav di Venezia e Fondazione Musei Civici di Venezia per sviluppare ricerche e attività di divulgazione e didattica in merito al vetro, non solo quello realizzato in Murano: mantenendo un forte legame con il tema dell'ecologia e dell'economia circolare, gli scienziati di Ca' Foscari, i designer e gli architetti di Iuav con MUVE stanno progettando un grande evento per commemorare il 2022, anno internazionale del vetro.

## Un approccio Life Cycle

Per rispondere alla grande eterogeneità di saperi e capacità produttive, lo studio degli scarti di lavorazione del vetro di Murano è stato avviato a partire dall'osservazione e dall'analisi delle attività produttive di cui gli scarti sono uno degli output. La ricerca ha usato un approccio *Life Cycle* per quantificare gli sfridi in relazione alla quantità di vetro immesso nella filiera di lavorazione e in relazione alla quantità di vetro artistico prodotto. L'analisi *Life Cycle Assessment* (LCA), l'analisi *Life Cycle Costing* (LCC) e il *Social LCA* sono gli strumenti principali per l'applicazione dell'approccio *Life Cycle Thinking* che nasce attorno al 1960 come indagine scientifica volta a migliorare le prestazioni energetiche e ambientali di un sistema industriale: per il suo carattere olistico e trasversale si distingue dagli altri metodi<sup>[6]</sup> adottati dagli studiosi dediti alla valutazione degli impatti ambientali delle azioni umane. Si tratta di una metodologia di valutazione degli impatti ambientali di un prodotto o di un processo lungo il suo intero ciclo di vita, ovvero dall'approvvigionamento delle materie prime fino alla realizzazione del prodotto o fino al riciclo del prodotto stesso: filiere rispettivamente identificate come *from cradle to grave*<sup>[7]</sup> e *from cradle to cradle*<sup>[8]</sup>.

Elaborare un'analisi LCA vuol dire prendere in considerazione tutte le fasi che compongono un sistema, considerare l'energia, i materiali e le emissioni legate alla produzione, all'uso o allo smaltimento di un prodotto, valutare le correlazioni tra le fasi e sviluppare una visione d'insieme evitando di ragionare per compartimenti stagni. L'analisi LCA si adatta a molteplici ambiti

[6] Uno dei metodi precedenti al LCA è il REPA (Resource and Environmental Profile Analysis), impiegato per confrontare diversi materiali per la medesima funzione nell'intero ciclo di vita e nelle valutazioni energetiche. Un'altra pietra miliare nell'evoluzione del LCA è il manuale Boustead e Hancock, che offre per la prima volta una descrizione di carattere operativo nel procedimento analitico, considerato parte fondamentale del LCA attuale.

[7] *From cradle to grave*: dalla culla alla tomba, un'espressione utilizzata nell'analisi del ciclo di vita per descrivere l'intera vita di un materiale o prodotto fino al punto di smaltimento

[8] *From cradle to cradle* (C2C): dalla culla alla culla, un approccio innovativo e sostenibile volto alla realizzazione di prodotti. I modelli C2C hanno l'obiettivo di creare un sistema sostenibile che sia rispettoso della vita e delle generazioni future – come si può evincere dal nome, dalla nascita, o "culla" di una generazione a quella successiva.

di applicazione: la ricerca, il *green marketing* per l'ottenimento di marchi ecologici, i sistemi di gestione ambientale per il miglioramento di una filiera, l'ecodesign. L'analisi LCA è riconosciuta e regolamentata a livello internazionale dagli standard ISO 14040 e 14044 (*Gestione ambientale, Valutazione del ciclo di vita, Requisiti e linee guida*) che ne definiscono la struttura e le linee guida per una corretta applicazione. La struttura proposta dalla norma ISO 14040 è sintetizzabile in quattro momenti principali (img. 03):

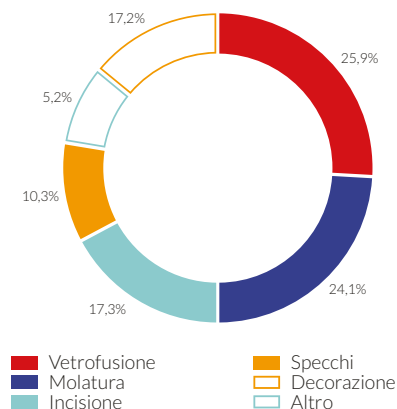
- Definizione degli scopi e degli obiettivi;
- Analisi di inventario;
- Analisi degli impatti;
- Interpretazione e miglioramento continuo.

La quarta fase è la parte conclusiva di un LCA utile a proporre i cambiamenti necessari a ridurre gli impatti ambientali dei processi o delle attività analizzate. In questa fase si realizza una correlazione tra i risultati dell'analisi di inventario e di quella degli impatti, per proporre raccomandazioni utili in conformità con gli scopi e gli obiettivi che lo studio si era preposto.

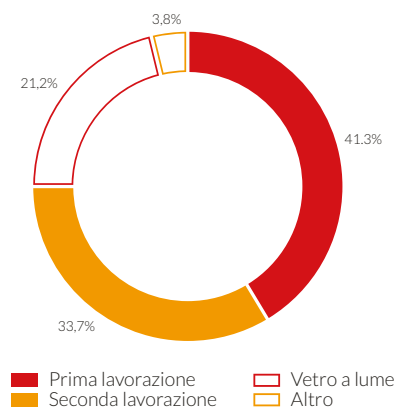
Un'altra caratteristica dell'analisi LCA è la possibilità di adattare, riassumere, enfatizzare o tralasciare parti dell'analisi senza danneggiare l'impostazione metodologica complessiva: questo consente di sfruttare l'approccio LCA in relazione allo scopo o all'ambito di indagine con il quale ci si confronta. Mantenendo il riferimento allo standard ISO è possibile sviluppare lievi o significative variazioni in base al contesto in cui l'analisi viene applicata. Inoltre, tanto quanto le dichiarazioni ambientali di prodotto, l'LCA è uno strumento fondamentale per creare le basi del *sustainability storytelling* i valori che si costruiscono attorno ad un prodotto, un'azienda o una ricerca necessitano di essere comunicati per sensibilizzare e coinvolgere il pubblico attraverso narrazioni e storie che, lungi dall'essere favole, devono basarsi su solidi principi.

L'iter metodologico e i suoi contenuti sono stati interpretati al fine di perseguire gli obiettivi della ricerca: essi non riguardano l'efficientamento energetico e ambientale dell'industria muranese del vetro, o il raggiungimento di etichettature ecologiche, quanto piuttosto l'individuazione delle fasi della filiera in cui vi è produzione e accumulo di scarto di vetro. Ciò al fine di offrire una quantificazione volumetrica e una catalogazione degli scarti in vista di possibili miglioramenti di processo e scenari di riciclo aperto. L'analisi dell'inventario<sup>[9]</sup> è stata sviluppata attraverso l'osservazione e la documentazione fotografica e video di tre differenti lavorazioni del vetro artistico: la lavorazione delle perle a lume, la realizzazione di un oggetto complesso in vetro e la produzione di una vetrata. Poiché esterni al campo d'indagine, sono stati esclusi i dati relativi alle immissioni ed emissioni energetiche, le dinamiche di trasporto e l'impatto del *packaging*. L'analisi degli impatti è stata interpretata come l'analisi del problema degli scarti del vetro nel contesto muranese in relazione alle stime di produzione del vetro stesso.

TIPOLOGIE DI SECONDE LAVORAZIONI



ATTIVITÀ DELLE AZIENDE



02. Tipologie di lavorazione del vetro nell'area di Murano.

[9] L'analisi dell'inventario è il momento principe di una LCA, costruisce un modello analogico della realtà in grado di rappresentare gli scambi tra le singole operazioni appartenenti alla catena produttiva effettiva.

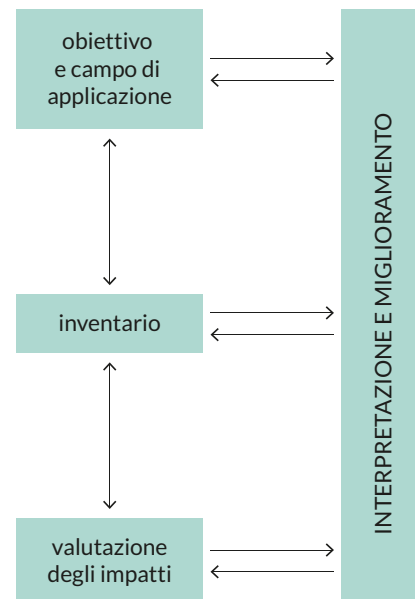
Seguendo questo metodo di lavoro sono emersi dati che manifestano quanto quello degli scarti del vetro di Murano sia un problema sottovalutato e sottostimato.

È stata osservata ed analizzata la realizzazione di:

- 12 perle a lume per opera di Alessandro Moretti;
- un pesce di vetro, oggetto iconico di Nicola Moretti;
- una vetrata di 25x25 cm realizzata da Stefano Bullo.

Le lavorazioni sono differenti per quantitativi di materia prima impiegata e per processi produttivi, caratterizzano l'arte dei maestri vetrai coinvolti nella ricerca e al contempo sono adatte per sviluppare quella generalizzazione dei dati che consente di effettuare stime a livello di distretto. Alessandro Moretti ha realizzato una serie di perle a lume surriscaldando con il cannello di alcune bacchette di vetro, modellando il vetro fuso su un bacchetto di rame, impiegando apposite pinze e alternando l'uso di vetri colorati per realizzare una decorazione a *pois* sulla superficie della perla. Il pesce di Nicola Moretti è stato realizzato con la tecnica del vetro soffiato: anche in questo caso la produzione prevede l'impiego di semilavorati (bacchette di vetro) che vengono fusi nella fornace per essere modellati e soffiati fino a ottenere la forma desiderata, una sfera molto schiacciata che costituisce il corpo del pesce. La lavorazione si arresta e il vetraio attende che il vetro soffiato si raffreddi per poi passare alla macchina per moleria, con la quale viene realizzata la base e la bocca del pesce. Lavorazione completamente differente e che non prevede la lavorazione a caldo del vetro è quella delle vetrata a rulli di Stefano Bullo, realizzata partendo dal taglio delle lastre e dei rulli nelle dimensioni necessarie a realizzare la vetrata progettata. I diversi pezzi, una volta ritagliati, vengono rilegati con dei profili in piombo che vengono saldati impiegando dello stagno successivamente brunito con un apposito acido per assumere quindi lo stesso colore del piombo.

Il confronto tra le lavorazioni mostra notevoli differenze nelle tipologie di scarto prodotto e nelle sue quantità, che sono state misurate in percentuale di kg di scarto sul totale del vetro impiegato per la lavorazione. La realizzazione del pesce richiede numerosi passaggi e, considerando scarto anche il vetro attaccato al fondo della canna, si è rilevato che il 45% del vetro utilizzato diviene materiale di scarto. Per le altre due lavorazioni, le perle a lume e la vetrata, è stata stimata invece una percentuale di scarto minore: rispettivamente il 25% e il 35%. Tali differenze sono essenzialmente dovute alla diversa natura delle lavorazioni artigianali: incidono sulla quantità di scarti soprattutto il numero e la serie di lavorazioni necessarie a realizzare l'oggetto finito, vanno considerati quindi i tempi di lavorazione e le diverse dimensioni degli artefatti. Di conseguenza gli sfridi di vetro sono differenti tra loro per quantità, per dimensioni fisiche e per contaminazioni chimiche e cromatiche presenti in essi.



03. Struttura dell'analisi Life Cycle Assessment (LCA) proposta dalla norma ISO 14040.

Uno studio realizzato dalla Stazione Sperimentale del Vetro (2011) stima che il 50% del vetro lavorato a Murano sia conferito in discarica. Il confronto tra tale dato e quelli ottenuti dall'analisi delle tre lavorazioni precedentemente descritte evidenzia una differenza: può essere in parte dovuto al fatto che le analisi effettuate non forniscono una esaustiva descrizione delle tecniche muranesi che includono anche altre produzioni, come ad esempio gli specchi. Inoltre, trattandosi di lavorazioni artigianali e non industriali o seriali, la quantità di sfridi prodotta è variabile. Si consideri infine anche che il vetro è un materiale "vivo", ciò vuol dire che un prodotto completamente finito può subire improvvise rotture dovute a tensioni interne al materiale che sono difficilmente prevedibili e controllabili ma che incidono sul totale di vetro di scarto. Per lo sviluppo di queste analisi è fondamentale l'impiego di uno strumento come LCA, poiché permette di valutare l'intera filiera produttiva e individuare i punti in cui intervenire sullo scarto, convertendolo in una nuova materia prima. Essendo LCA per sua natura uno strumento iterativo, le scelte e le modalità di intervento possono sempre essere valutate nel rispetto e al confronto con ogni filiera produttiva, prendendo in considerazione gli scarti e misurando gli impatti ambientali che potranno consentire di prevedere vantaggi, attivare strategie adeguate e, auspicabilmente, misurare in futuro i miglioramenti rispetto all'attuale stato di fatto.

Osservando i dati della Stazione Sperimentale del Vetro e le percentuali di scarto di ogni lavorazione analizzata, è possibile cedere ad una visione pessimistica e considerare gli scarti come dei problemi (e grandi percentuali di scarti equivalgono a grandi problemi). Il gruppo di ricerca ha scelto invece di leggere queste percentuali di vetro di scarto come la quantificazione di un'opportunità per innovare, per abbandonare il modello economico basato su un'economia lineare "prendi - produci (produci scarti) - usa - getta", e passare ad un'economia circolare. L'obiettivo della ricerca è infatti dimostrare la plausibilità di un'innovazione e l'auspicio è di intravedere un'innovazione della produzione in un'ottica più sostenibile, che prolunga il ciclo di vita dei prodotti, riduce l'impiego delle materie prime e la produzione dei rifiuti. In particolare, lavorando all'innalzamento della qualità della produzione, il riciclo e il riutilizzo permettono di trasformare i rifiuti sviluppati in vetreria in nuove materie prime, vere e proprie "materie prime seconde" che possono essere introdotte nuovamente nella produzione ridefinendo il ciclo di vita dei materiali e contribuendo a ridurre al minimo i rifiuti.

Il miglioramento dell'ecosistema delle attività produttive in Murano può sviluppare vantaggi economici diretti per le vetrerie che sceglieranno di non spendere per smaltire materiale ma che investiranno in innovazione della produzione. Le materie prime seconde<sup>[10]</sup> riutilizzate all'interno di un ciclo produttivo, uguale o completamente diverso da quello che le ha

O4. Tipologia di scarto ottenuto dai processi di lavorazione del vetro in Murano, sfridi della lavorazione a lume.

[10] Sfridi di lavorazione di materie prime o, più in generale, materie prodotte tramite riciclo e impiegate per nuove produzioni.



generate, sviluppano un valore aggiunto sia in funzione del risparmio delle materie prime vergini che in virtù del vantaggio ambientale connesso alla riduzione dell'impatto ambientale.

## Artigianato e industria 4.0

Molti fattori che minacciano la tenuta del comparto del vetro di Murano colpiscono da tempo anche l'intero settore dell'artigianato artistico italiano, che rappresenta un importante patrimonio culturale di tradizioni e tecniche di lavorazione che si tramandano da secoli e che nel corso del tempo hanno definito l'immagine dell'Italia nel mondo. Il settore dell'artigianato artistico è un settore fragile per sua natura, lo è per le dimensioni aziendali, per i mercati di riferimento, per le caratteristiche intrinseche del processo produttivo che non può prescindere da tecniche di lavorazione che richiedono tempi lunghi e che si fondano su saperi non scritti ma tramandati. Vanno poi considerati anche i costi gravosi che riguardano tanto le materie prime quanto la gestione dei rifiuti e la diminuzione o la scomparsa di una nuova generazione di artigiani capace di portare avanti antiche lavorazioni. Questo settore ha un peso significativo sull'economia del Paese non solo in termini economici ma anche e soprattutto perché è un fattore costitutivo dell'identità, delle tradizioni e della cultura dei luoghi e spesso una componente fondamentale della loro offerta turistica.

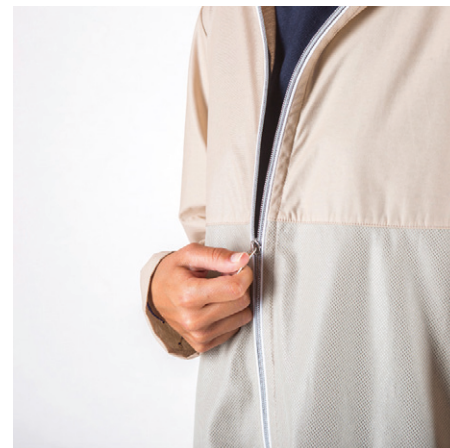
Il *Manifesto degli artigiani per una cultura digitale 4.0* al punto 6 afferma che “il futuro dell'economia italiana è nel valore artigiano [che] è la chiave della distinzione e l'assicurazione sulla vita del nostro sistema produttivo nella nascente economia del su misura. [...] Grazie alle tecnologie digitali, le straordinarie competenze, la flessibilità e creatività degli artigiani possono creare nuovi prodotti, conquistare nuovi mercati, raggiungere, grazie alle reti, obiettivi prima preclusi alle realtà di piccole dimensioni. Tutto senza perdere la tensione a produrre bellezza” (Confartigianato, 2017, p. 2). Rivalutare il lavoro manuale sembra essere la chiave di volta al rischio di estinzione di molti lavori artigianali e ad una situazione di estrema fragilità aggravata dal recente COVID-19: “La crisi, il calo dei consumi, le tasse, la mancanza di credito e l'impennata degli affitti - afferma il coordinatore dell'Ufficio studi Paolo Zabeo - sono le cause che hanno costretto molti artigiani a cessare l'attività” (Redazione Today economia, 2019).

Il punto 3 del *Manifesto* succitato spiega come “l'industria 4.0 deve essere una rivoluzione culturale”. Industria 4.0 è una formula sintetica per identificare la quarta rivoluzione industriale, una rivoluzione che non si esaurisce entro i confini della digitalizzazione in senso stretto: ha l'obiettivo di trasformare la catena produttiva rendendola intelligente ma deve anche

stimolare la creazione di nuovi materiali e l'ottimizzazione dell'impiego delle risorse attraverso la riduzione degli scarti e delle emissioni, considerando l'intero ciclo di vita del prodotto dalla fase di progettazione e sviluppo fino ad arrivare a quella di eliminazione e riciclo. L'incontro tra il saper fare artigianale e ricerca tecnologica può produrre soluzioni innovative ma è necessario capire in che modo questo incontro possa non essere occasionale: la ricerca applicata e la sperimentazione a favore delle piccole imprese e degli artigiani devono essere favorite e moltiplicate al fine di diventare trama di un nuovo tessuto produttivo fatto di innovazione ed eccellenza. La figura del designer, inteso come progettista in chiave *global thinker*, gioca un ruolo importante nel trovare nuovi e rispettosi modi di produrre e progettare che ottimizzino le fasi produttive esistenti per realizzare materiali. Queste scelte progettuali possono inoltre sviluppare racconti inediti che superano l'idea che associa l'artigianato al vecchio e il design al nuovo, portano l'attenzione dei consumatori non solo sulle qualità dell'artefatto ma anche sul processo progettuale e produttivo: una descrizione che a volte ha il fascino di una storia e che, se fondata su solide basi tecnologiche, diviene essa stessa una leva per il successo del prodotto (Barucco, 2014).

Numerosi sono i casi di Economia Circolare che non necessariamente abbattano (in termini assoluti) livelli di inquinamento o quantitativi di scarto massicci: la polvere del marmo delle cave di Carrara è oggetto di sperimentazioni nell'industria tessile (Fili Pari) (img. 05, 06), parte del latte in esubero prodotto in Italia diventa tessuto (Duedilatte), la pula del riso della pianura novarese e vercellese viene impiegata in edilizia con grande successo (RiceHouse). Spesso il riciclo di materiale di scarto non è percepito come un'urgenza perché output di lavorazioni antiche e artigianali di conclamata eccellenza mondiale o perché semplicemente non sono scarti inquinanti o tossici (come la pula del riso). La ricerca intende portare l'attenzione della comunità scientifica sull'importanza di investire in Economia Circolare anche in contesti estranei alle dinamiche dei grandi numeri.

Per intraprendere un percorso del genere, dove è necessario studiare e capire le lavorazioni artigianali, il materiale, il contesto geografico e quello sociale, è fondamentale osservare il processo di produzione di beni e di scarti da diversi punti di vista, raccogliendo informazioni attraverso il dialogo con artigiani, artisti, studiosi e tutti coloro che sono custodi di competenze, esperienze e saperi diversi: conoscenze che, unite insieme, permettono di convertire un problema come quello dei rifiuti in una nuova risorsa economica e sociale. Perciò la ricerca affronta il problema degli sfridi di vetro attraverso il dialogo con l'ecosistema muranese e a partire dalle relazioni tra progetto e ingegneria chimica, relazione fondamentale per capire caratteristiche, problematiche potenzialità del vetro di Murano.



05. Giubbotto ideato dal progetto Fili Pari e realizzato con scarti di marmo delle cave di Carrara. *Fili Pari*

06. RiceHouse, intonaco realizzato con la pula di scarto del riso di Novara. <https://www.ricehouse.it/> (ultima consultazione settembre 2021).





# L'Età del vetro

Stefano Centenaro

Nel corso della storia dell'uomo, la scoperta e l'utilizzo di materiali nuovi e diversi ha permesso l'evoluzione della nostra società e cultura. L'Età della pietra ha definito un ampio periodo della Preistoria, durante il quale la pietra veniva utilizzata dall'uomo per realizzare oggetti di diversa natura: dagli utensili taglienti per incidere altri materiali come il legno, alle punte per le frecce e le lance utili per difendersi dai predatori. Il periodo terminò con l'avvento dell'Età del bronzo, contraddistinta dalla prima importante forma di lavorazione dei metalli: l'aggiunta volontaria di arsenico al rame. In Medio Oriente sono stati ritrovati manufatti in lega rame-arsenico risalenti al 3000 a.C., ma questi furono realizzati solo per un tempo limitato perché i fumi emessi dall'arsenico durante la fusione potevano uccidere le persone. Più sicura e utilizzata è la lega rame-stagno per la produzione del bronzo. Infine, l'Età del ferro, che gli storici sono soliti far iniziare tra il 1500 e il 1000 a.C. anche se il ferro meteorico (che ha un grande contenuto di nichel) già nel 4000 a.C. era utilizzato dalle popolazioni preistoriche per realizzare utensili e armi. Naturalmente la disponibilità di ferro meteorico è limitata perciò pietra, rame e bronzo furono i materiali più utilizzati fino al secondo millennio a.C., quando gli Ittiti scoprirono i segreti per ottenere quello che le antiche testimonianze scritte chiamano "ferro buono". Si trattava di una lega ferro-carbonio (acciaio) che era più dura del bronzo nonostante il contenuto di carbonio fosse solo dello 0,5% circa; non era ferro puro, che è più morbido del bronzo e si corrode facilmente se esposto all'aria e all'umidità. Questo percorso, fatto di sperimentazioni e scoperte, è lungo millenni bisognerà attendere molto tempo prima di veder riconosciuta l'influenza del carbonio sulla durezza dell'acciaio (Hummel, 2006).

Più di recente le epoche storiche sono state definite a seguito di fenomeni sociali, culturali e di transizioni tecnologiche di grande rilievo per l'umanità: si pensi all'era delle esplorazioni spaziali o all'era dell'informazione. È dunque anacronistico pensare di poter ancora definire un'era in funzione di un materiale? Non credono questo David L. Morse e Jeffrey W. Evenson, Vice Presidenti Esecutivi di Corning, una delle principali aziende innovatrici

al mondo nel campo della scienza dei materiali. Essi sostengono che, nonostante sia innegabile il passaggio a un mondo digitale e il crescente interesse per la realtà virtuale, i materiali rimangono gli elementi costitutivi della nostra società e cultura. In particolare, quella che stiamo vivendo oggi potrebbe essere definita come l'Età del vetro (Morse, 2016).

La prima ragione risiede nel ruolo centrale che il vetro ha nella nostra vita quotidiana: interagiamo con computer e smartphone attraverso schermi di vetro, scattiamo fotografie attraverso lenti di vetro, trasmettiamo e riceviamo informazioni tramite fibre di vetro. In secondo luogo, negli ultimi dieci anni sono state introdotte innovazioni che fino a poco tempo fa non avremmo potuto nemmeno immaginare, quali ad esempio l'impiego di tecniche di vetrificazione per convertire scorie nucleari pericolose in materiali inerti (Pinet, 2021), la realizzazione di vetri bioattivi che stimolano le difese immunitarie del corpo per curare le ferite (Mehrabi, 2020) oppure lo sviluppo di film sottili in vetro elettrocromico con cui rivestire le finestre "intelligenti" per migliorare l'efficienza energetica delle nostre case (Ji, 2018). Infine, l'Età del vetro è legata ai grandi passi avanti compiuti relativamente alla conoscenza di questo materiale. A Murano nel XV secolo Angelo Barovier creò un vetro straordinariamente trasparente chiamato "cristallo" fondendo solo le pietre di fiume più bianche con i residui purificati dalle ceneri delle piante alofite, ma non conosceva i meccanismi di interazione della silice con il sodio e il manganese. Oggi, invece, la comprensione della fisica e della chimica del vetro consente di passare dalla lunga sperimentazione per tentativi ed errori a sofisticate tecniche di modellazione per prevedere le proprietà e il comportamento che avrà un materiale.

Alla luce di quanto sopraelencato non resta che dare a tutti il benvenuto nell'Età del vetro.

## **La definizione di vetro da diversi punti di vista: artistico e scientifico**

I maestri vetrai realizzano in Murano straordinari manufatti e parlano del loro lavoro e del vetro utilizzando definizioni sorprendenti: "decorativo e funzionale", "solido e liquido", "eterno e temporaneo" sono solo alcuni degli appellativi spesso ossimorici con cui i maestri vetrai descrivono la materia che plasmano ogni giorno nelle fornaci. Questa complessità, che di sovente è autocontraddittoria, è insita nello stato vetroso, come attestano anche le

molte definizioni del vetro date in due secoli dagli scienziati di tutto il mondo. Nel corso degli anni si è sviluppata una sempre più dettagliata e crescente conoscenza di questo materiale e, di conseguenza, anche le definizioni più tecniche sono state aggiornate. Ad esempio, il vetro non necessariamente si ottiene per raffreddamento di un fuso ad elevate temperature: altre vie per ottenere materiali vetrosi a temperature relativamente basse sono la tecnica sol-gel[1], la deposizione chimica da vapore (CVD)[2] e la deposizione fisica da vapore (PVD)[3].

Una definizione attualmente di largo uso in ambito scientifico è “il vetro è un solido non cristallino che presenta il fenomeno della transizione vetrosa” (Shelby, 2005, p. 3) ma, per comprendere la definizione, è necessario conoscere cosa significa transizione vetrosa[4]. Invece A. K. Varshneya definisce il vetro come “un solido avente una struttura non cristallina, che si trasforma progressivamente in un liquido al riscaldamento” (Varshneya, 2012, p. 17), evitando di introdurre il concetto di transizione vetrosa e dando una descrizione qualitativa del vetro di più diretta comprensione.

La maggior parte delle definizioni proposte negli ultimi decenni descrivono i vetri come liquidi o, più tipicamente, come solidi. E. D. Zanotto rivede queste definizioni alla luce delle seguenti considerazioni:

- la struttura del vetro è simile a quella del liquido sottoraffreddato da cui ha avuto origine;
- i vetri si comportano come solidi su una scala temporale umana, ma sono soggetti a fenomeni di rilassamento strutturale e di scorrimento viscoso a qualsiasi temperatura ( $T > 0$  K) sotto l'azione della gravità;
- a seguito di trattamenti termici sufficientemente lunghi o nel limite di un tempo infinitamente lungo, il destino ultimo del vetro è quello di cristallizzare.

Una prima definizione molto intuitiva spiega che “il vetro è uno stato della materia non in equilibrio, non cristallino che - su una scala temporale breve - si comporta come un solido ma si rilassa progressivamente verso lo stato liquido” (Zanotto, 2017, p. 490). La seconda, più dettagliata, chiarisce meglio le proprietà generali del vetro: “Il vetro è un particolare stato della materia condensata, non cristallino e non in equilibrio, che mostra il tipico fenomeno della transizione vetrosa. Esso appare solido quando osservato su scale temporali tipiche della nostra vita quotidiana, ma in realtà sta continuando ad evolvere come in uno stato liquido sottoraffreddato. Il destino finale strutturale del vetro, nel limite di un tempo infinito, è quello di cristallizzare” (Zanotto, 2017, p. 490).

[1] Processo chimico di sintesi di materiali vetrosi e ceramici (rivestimenti, polveri, fibre, ecc.) attraverso il quale una sospensione colloidale (sol) si trasforma in un reticolo inorganico continuo (gel) attraverso fenomeni di idrolisi e condensazione. Successivi trattamenti termici di essiccamento e solidificazione vengono usualmente realizzati per eliminare la fase liquida contenuta nel gel, per promuovere un'ulteriore condensazione e per incrementare le proprietà meccaniche del materiale sintetizzato.

[2] Tecnica chimica di sintesi che consente di depositare su un substrato solido un rivestimento a partire da un precursore molecolare, che viene veicolato tramite una miscela di gas che si decompone (a pressione e temperature opportune) sulla superficie del substrato. La miscela di gas utilizzata consente al contempo di rimuovere i prodotti di decomposizione del precursore.

[3] Processo fisico di deposizione atomica tramite evaporazione di atomi e molecole da sorgenti solide e successiva loro condensazione sulla superficie del substrato in un ambiente di plasma. Può essere impiegato per realizzare rivestimenti sia di elementi singoli, sia di leghe o di composti.

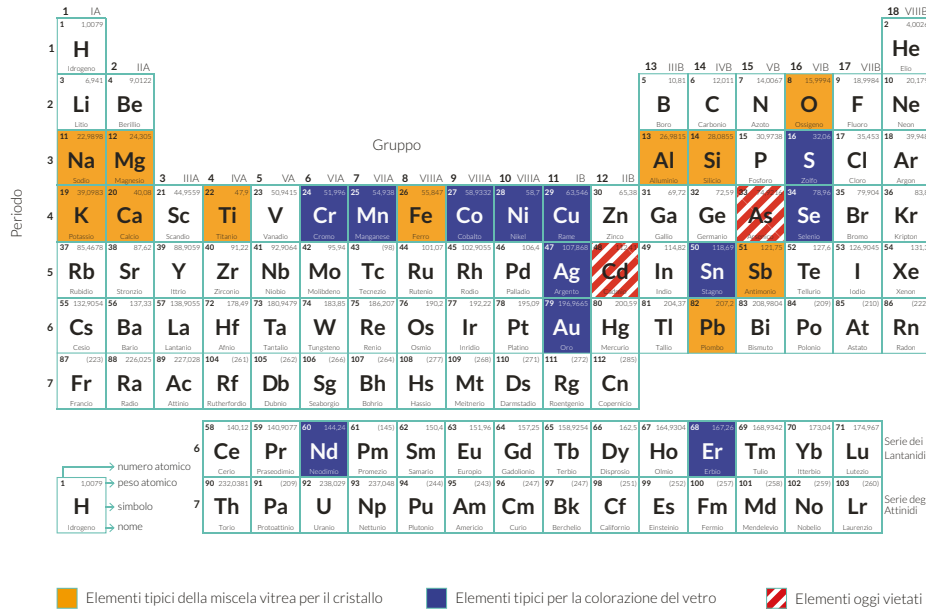
[4] Fenomeno che consiste in un passaggio graduale e reversibile di un materiale amorfo da uno stato cosiddetto “vetroso” (rigido e fragile) ad uno stato viscoso o gommoso al crescere della temperatura.

# Le diverse forme del vetro: il Cristallo di Murano e la sua composizione

L'uomo utilizza il vetro da oltre un milione di anni, già nel paleolitico l'ossidiana veniva utilizzata per la realizzazione di utensili da taglio come coltelli o punte di freccia: questo materiale deve la sua formazione al rapido raffreddamento della lava felsica, che contiene un'ampia varietà di componenti quali elementi alcalini, alcalino-terrosi e ossidi di metalli di transizione. In particolare, la silice ( $\text{SiO}_2$ ) in essa contenuta rende la lava piuttosto viscosa promuovendo, al raffreddamento, la formazione di una struttura amorfa vetrosa: l'ossidiana è un vetro vulcanico, la più importante e diffusa categoria dei "vetri naturali", ossia quei vetri che si formano spontaneamente in natura (McCloy, 2019). Invece il vetro che ci circonda nella vita di tutti i giorni, dalle lastre delle finestre agli schermi dei dispositivi elettronici, rientra nella famiglia dei "vetri artificiali", che comprende la grande maggioranza dei vetri commercialmente diffusi, a base di silice. Anche il vetro artistico di Murano rientra in questa categoria.

La silice è un ossido formatore perché da sola è in grado di dar luogo ad una struttura vetrosa. La struttura a livello atomico della silice consiste in un tetraedro in cui gli ossigeni occupano la posizione dei vertici mentre il silicio si trova al centro. Il vetro è costituito quindi da un reticolo dato dall'aggregazione di tante unità tetraedriche, ciascuna delle quali condivide con le unità vicine un atomo di ossigeno. Questi atomi di ossigeno, che collegano tra loro coppie di atomi di silicio, sono denominati ossigeni pontanti (*bridging oxygen*, BO) (Doremus, 1994). La silice si trova in natura e rappresenta il principale costituente della sabbia, ma la sabbia impiegata per la produzione di vetro artistico deve essere molto pura: le impurezze di ferro possono indurre nel vetro colorazioni che possono andare dal giallo chiaro al verde-azzurro, a seconda delle condizioni di fusione della miscela vetrosa (ossidanti o riducenti). In particolare, la presenza di soli ioni  $\text{Fe}^{2+}$  induce una colorazione azzurro cielo, mentre la presenza combinata di ioni  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$  comporta una colorazione verde; la presenza di soli ioni  $\text{Fe}^{3+}$  induce una colorazione giallo chiaro (Bidegaray, 2020). Per poter ottenere vetro incolore occorre utilizzare sabbia di cava e sottoporla a processi di purificazione; in alternativa si possono impiegare agenti decoloranti come il biossido di manganese. Questa strategia era conosciuta fin dai tempi degli antichi Romani (Freestone, 2015), tuttavia padroneggiare la tecnica di decolorazione del vetro era

01. Individuazione nella tavola periodica degli elementi che caratterizzano il vetro.



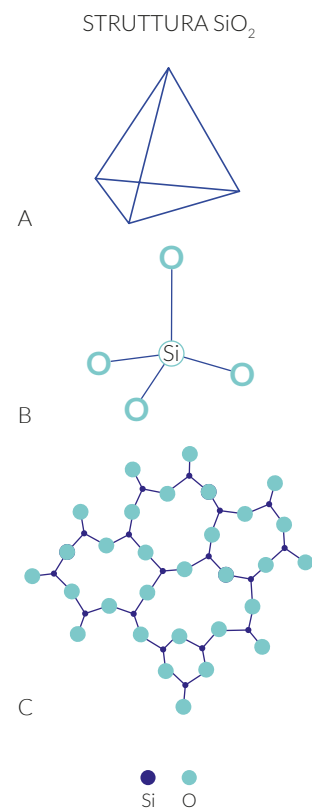
tutt'altro che semplice: Plinio narra che Nerone fu disposto a pagare 6.000 sesterzi (corrispondenti attualmente a circa 250.000 \$) per acquistare due coppe in vetro di modesta dimensione ma dalla perfetta trasparenza (Secundus, 1978).

La sabbia di silice non è l'unico costituente del vetro di Murano: il secondo componente fondamentale è l'ossido di sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ). Un ossido modificatore che, aggiunto alla silice (ossido formatore), ne modifica il reticolo interrompendone la continuità e dando luogo alla formazione di ossigeni non pontanti (*non-bridging oxygen*, NBO), ossia ossigeni legati ad un solo atomo di silicio. L'interruzione locale della continuità del reticolo di silice ne causa l'indebolimento e quindi determina importanti cambiamenti nelle proprietà chimico-fisiche del vetro: in particolare si abbassa la temperatura di transizione vetrosa e si riduce la viscosità del fuso permettendo di ottenere un vetro lavorabile a temperature molto inferiori rispetto ad un vetro di pura silice (Bourhis, 2014). Senza la silice, gli ossidi modificatori non sono in grado di dar luogo autonomamente a una struttura vetrosa ma le loro caratteristiche sono fondamentali per lavorare più agevolmente ed economicamente il vetro, soprattutto in ambito artistico, in cui ogni lavorazione è artigianale e può richiedere anche qualche decina di minuti.

Anche l'ossido di calcio (CaO), terzo componente base del vetro di Murano, rientra nella famiglia degli ossidi modificatori. I cationi modificatori alcalini introdotti grazie all'aggiunta di  $\text{Na}_2\text{O}$  sono monovalenti ( $\text{Na}^+$ ), ossia più debolmente legati e quindi relativamente più liberi di diffondersi attraverso la struttura del vetro. Invece i cationi alcalino-terrosi introdotti grazie all'aggiunta di CaO sono bivalenti ( $\text{Ca}^{2+}$ ), ossia più fortemente legati e quindi assai più sfavoriti nella possibile diffusione all'interno della struttura del vetro. A parità di quantità di ossidi modificatori aggiunti, la frammentazione del reticolo - ossia il rapporto tra NBO e BO - sarà la stessa indipendentemente dalla tipologia di ossidi modificatori introdotti; tuttavia, le proprietà del vetro che si ottengono aggiungendo o l'uno o l'altro o entrambi, sono sensibilmente differenti. Aggiungendo CaO al vetro di  $\text{SiO}_2$  modificato con  $\text{Na}_2\text{O}$ , si ha una maggiore stabilità chimica del vetro (Scholze, 1991) (img. 03). La durabilità chimica è anch'essa una proprietà altamente desiderabile nel campo del vetro artistico perché rende i manufatti realizzati dai maestri più resistenti agli agenti atmosferici (ad esempio l'umidità) che potrebbero alterare l'aspetto superficiale dell'oggetto e la sua stabilità.

A Murano gli ossidi di sodio e di calcio vengono introdotti nella bocca del forno, insieme alla sabbia di silice, rispettivamente sotto forma di carbonato di sodio e carbonato di calcio. Il primo viene ottenuto tramite processo Solvay, utilizzando come materia prima il calcare proveniente da particolari cave. Il secondo viene estratto, con un grado di purezza adeguato, da cave di marmo o rocce calcaree in generale.

La "ricetta" del vetro necessita ancora di piccoli ma fondamentali ingredienti, ovvero minime quantità di altri composti noti come affinantanti. Durante i primi stadi della fusione del vetro le reazioni dei carbonati presenti nella miscela vetrificabile formano numerose piccole bolle di anidride carbonica che devono essere eliminate dal vetro fuso. Gli affinantanti favoriscono e accelerano l'eliminazione delle bolle perché nella fase finale del processo di fusione, quando la temperatura raggiunge il suo massimo valore, si decompongono sviluppando bolle di grandi dimensioni (dell'ordine di alcuni millimetri) all'interno della massa fusa. A parità di viscosità del fuso, la velocità ascensionale di una bolla è direttamente proporzionale al quadrato del suo raggio (legge di Stokes): ne consegue che nel loro moto verso la superficie del bagno le bolle prodotte dagli affinantanti inglobano e trasciano le bolle più piccole favorendone l'eliminazione dal fuso (Verheijen, 2019). Attualmente, gli affinantanti sono a base di triossido di antimonio e nitrati di metalli alcalini (Trough, 2017).



02. Il reticolo della molecola di silice  $\text{SiO}_2$ ; rappresentazione della geometria tetraedrica della silice (A); rappresentazione tridimensionale della silice (B); rappresentazione bidimensionale del reticolo di silice (C).

# Il vetro artistico di Murano: un mondo di colori

Oltre alla tradizione e alla millenaria cultura del vetro, la ragione che rende il vetro artistico prodotto a Murano tanto apprezzato a livello internazionale è l'estrema varietà e brillantezza di colori. Il colore che percepiamo quando guardiamo un oggetto dipende:

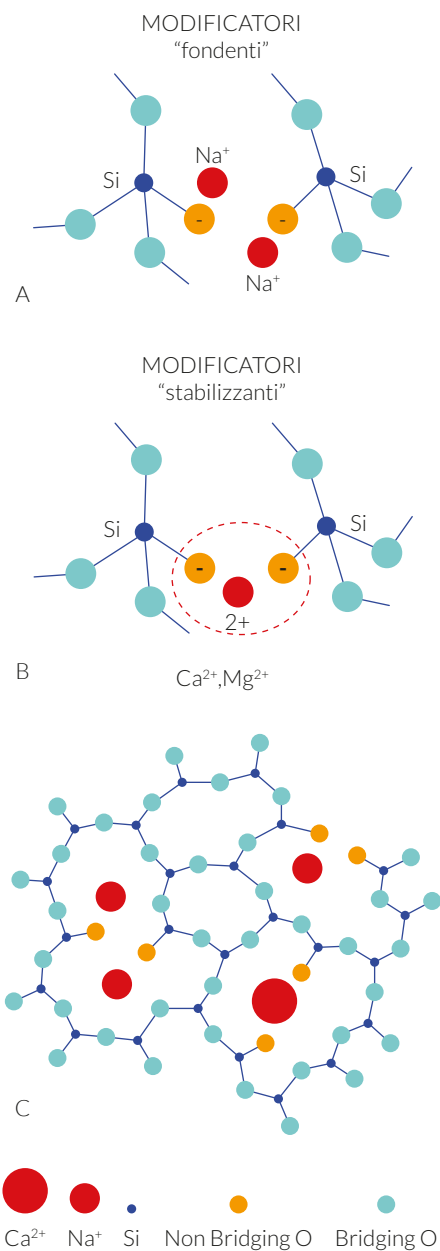
- dalla tipologia di sorgente luminosa che colpisce l'oggetto;
- dal modo in cui la luce interagisce con l'oggetto;
- dalla struttura anatomica e fisiologica del nostro occhio.

Per quanto riguarda il primo punto, è di esperienza comune notare quanto cambino i colori degli oggetti quando essi sono esposti a diverse tipologie di luce artificiale oppure al variare dello spettro della luce del sole, al passare delle ore o per la presenza o l'assenza di nuvole, oppure ancora in relazione alle differenti stagioni. Queste sorgenti luminose consentono di osservare variazioni spettrali molto importanti. Se osserviamo la luce prodotta dal Sole e quella che dal Sole giunge alla superficie terrestre, si possono notare piccole perdite di intensità in funzione della lunghezza d'onda che corrispondono all'assorbimento da parte di alcuni costituenti dell'atmosfera. Nel caso della luce emessa da una lampadina ad incandescenza possiamo notare un aspetto continuo dello spettro luminoso, a differenza della distribuzione discreta caratteristica di un comune diodo ad emissione di luce (LED) o dello spettro fortemente discontinuo delle lampade a fluorescenza. Queste possibili differenze degli spettri della luce che colpisce ogni oggetto possono influenzare notevolmente la nostra percezione del colore (De Ligny, 2019).

In merito all'interazione tra luce e materia, quando la luce di una determinata intensità ( $I_0$ ) interagisce con la materia, essa può essere:

- riflessa ( $I_R$ );
- trasmessa ( $I_T$ );
- assorbita ( $I_A$ );
- diffusa in tutte le direzioni ( $I_D$ ).

Il fenomeno che principalmente determina la colorazione del vetro è l'assorbimento selettivo di determinate lunghezze d'onda della luce. Questo fenomeno può avere origini diverse, ma il più importante è l'assorbimento dovuto alle transizioni elettroniche all'interno degli atomi: ciò si manifesta soprattutto introducendo nel vetro ioni polivalenti, principalmente riconducibili ai metalli di transizione o ad alcuni elementi delle cosiddette "terre



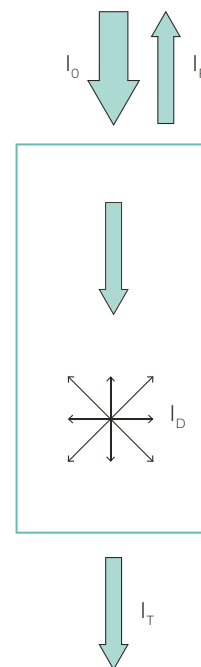
03. Tipologie di modifica del reticolo della silice: azione cationi modificatori monovalenti sul reticolo di silice (A); azione cationi modificatori bivalenti sul reticolo di silice (B); azione sinergica dei cationi modificatori monovalenti e bivalenti sul reticolo di silice (C).



04. Esempio di colorazione del vetro artistico di Murano, opera di Lino Tagliapietra.

rare". Questi elementi mostrano transizioni elettroniche che corrispondono ad assorbimenti nella regione delle lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico (che per noi corrisponde alla luce visibile) contribuendo così a una colorazione del vetro (Vogel, 1994). Un esempio a cui si è fatto cenno precedentemente è il vetro archeologico: le impurità di ferro all'interno della silice assorbono alcune lunghezze d'onda della luce incidente e quindi appaiono colorazioni caratteristiche, che vanno dal giallo chiaro al blu e al verde in base alla valenza assunta dallo ione ferro. Oltre all'assorbimento, anche la riflessione e la diffusione della luce possono influenzare la percezione del colore degli oggetti in vetro: il vetro di cui è fatta la coppa di Licurgo contiene nano-particelle colloidali di oro e argento che inducono la coesistenza di due processi ottici, l'assorbimento e la diffusione. Più in dettaglio, la coppa di Licurgo cambia il suo colore a seconda dell'orientamento della luce: se essa proviene dall'interno della coppa (e si osserva dall'esterno la luce trasmessa) prevale il fenomeno dell'assorbimento e la coppa appare rossa agli occhi dell'osservatore. Viceversa, se la luce che illumina la coppa proviene dall'esterno (e si osserva la luce che viene riflessa dalla coppa) prevale il fenomeno della diffusione ed essa appare di colore verdastro (Dekker, 2020) (img. 05).

Per quanto riguarda il terzo aspetto, ovvero la struttura dell'occhio, vanno riconosciute le particolari cellule che sono in grado di convertire le onde elettromagnetiche (che costituiscono ciò che comunemente chiamiamo luce) in impulsi nervosi, questo avviene grazie a processi di natura chimica legati ai pigmenti organici che queste cellule contengono. Nell'occhio sono presenti delle cellule coniche, particolarmente sensibili alla luce diurna, che permettono di percepire i colori perché contengono pigmenti diversi tra loro, sensibili a lunghezze d'onda differenti. Ci sono al contempo cellule a forma di bastoncelli, molto sensibili anche in caso di intensità luminosa molto bassa (luce notturna) ma che non consentono di percepire differenze cromatiche: queste permettono di vedere soltanto nella scala dei grigi. Gli occhi umani consentono di vedere in modo diverso da quello di altri essere viventi, ad esempio le cocorite hanno cellule recettive sensibili anche ai raggi ultravioletti: distinguono molto bene i colori e riescono ad apprezzare varietà di tonalità assai superiori a quelle visibili all'occhio umano (Pearn, 2001). La capacità di poter osservare il mondo a colori, aspetto che si è abituati a dare per assodato, è dunque il frutto di un'articolata combinazione di diversi fattori, molto articolati e complessi.



05. Effetto dicroico della Coppa di Licurgo (immagine tratta da [www.vanillamagazine.it](http://www.vanillamagazine.it), ultima consultazione luglio 2021).

06. Rappresentazione delle interazioni luce-materia.

# Il riciclo del vetro: il caso di Murano

Il vetro è considerato un materiale “permanente”, ossia che può essere riciclato indefinitamente senza che se ne alterino le proprietà intrinseche. Fin dall’antichità la pratica del riciclo del vetro era ben nota: gli antichi Romani erano soliti frantumare il vetro trasparente o debolmente colorato dalle impurità di ferro per poi aggiungerlo alle materie prime per produrre nuovo vetro (riciclo a circuito chiuso). Il vetro colorato veniva invece frantumato e impiegato per realizzare le tessere per i mosaici donando luminosità e brillantezza alle opere musive accanto alle più comuni tessere in pietra (riciclo a circuito aperto) (Paynter, 2016).

Oggi la produzione di vetro nella sola Unione Europea ha raggiunto un volume corrispondente a circa 40 milioni di tonnellate in peso. Di queste, oltre la metà riguardano il vetro per contenitori, ossia quello impiegato per una vasta gamma di imballaggi per alimenti e bevande nonché flaconi per profumeria, cosmetici e farmaceutici. A seguire, con circa una decina di milioni di tonnellate, si ha il vetro piano, utilizzato principalmente nell’edilizia (finestre e facciate) e nell’industria automobilistica (parabrezza, finestrini, specchietti e tettucci apribili) (Glass Alliance Europe, 2019). Date le quantità in gioco, pianificare attentamente il fine-vita di tutti questi diversi prodotti in vetro è di primaria importanza e il vetro artistico di Murano, data la sua natura artigianale, fatica a rientrare all’interno delle statistiche europee: con le sue diecimila tonnellate prodotte ogni anno, rappresenta una nicchia all’interno della produzione europea del vetro (SSV, 2011).

Tendenzialmente, il vetro viene riciclato secondo una forma di riciclo a circuito chiuso. Questo vale soprattutto per le bottiglie di vetro: il riciclo aiuta a risparmiare energia poiché i rottami di vetro fondono a una temperatura inferiore rispetto alle materie prime vergini. Questi vengono aggiunti ai carbonati di sodio e di calcio e alla sabbia di silice per realizzare nuovi prodotti in vetro. I maggiori problemi in questa forma di riciclo sono legati alla presenza di contaminanti, principalmente ceramiche, vetroceramiche e sostanze organiche, oltre che dai diversi colori dei rottami di vetro.

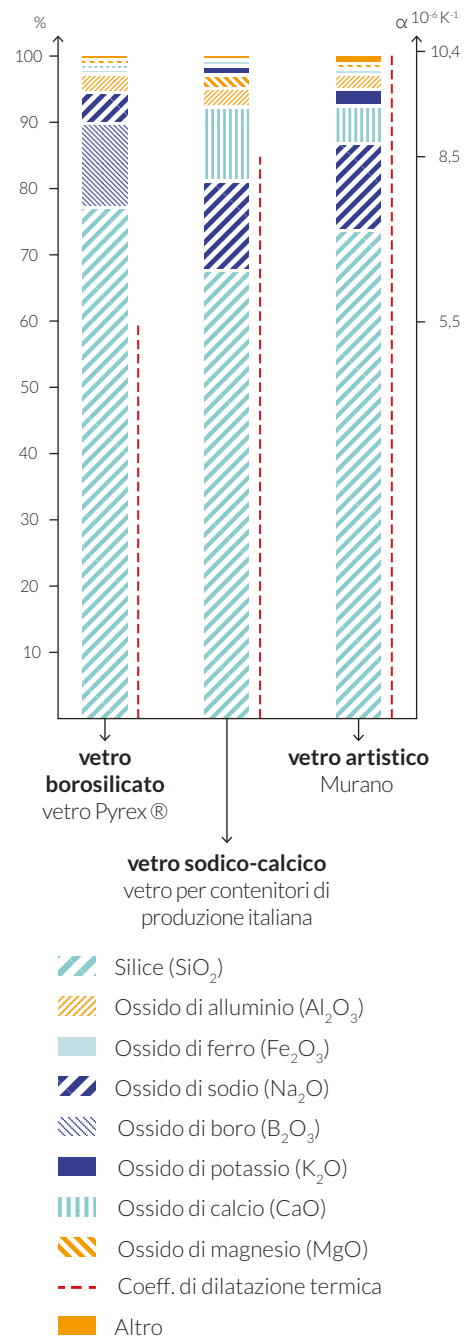
Per quanto riguarda il vetro artistico di Murano, i principali ostacoli fisico-chimici per l’avvio di circuiti chiusi o aperti di riciclo sono dovuti a:

- contaminanti di origine non vetrosa;
- vetro di diversa composizione;
- frammenti di vetro policromatici.

Le prime due problematiche sono comparabili a quelle del riciclo per il vetro dei contenitori, ciò che diversifica sensibilmente lo scarto del vetro di Murano è il terzo punto. Il vetro per contenitori, come quello impiegato per le bottiglie dell'acqua, della birra o del vino, presenta principalmente tre configurazioni cromatiche: trasparente, verde, ambra (FEVE, 2019). Le bottiglie vengono conferite nella raccolta differenziata separate per colore (in bidoni diversi) oppure vengono separate all'interno dell'impianto di riciclo grazie a opportune macchine ottiche selezionatrici. Separare il vetro per colori è molto importante per efficientare il processo di riciclo e anche perché ogni colore ha la sua funzione: il vetro trasparente non protegge dalla luce il prodotto contenuto e viene utilizzato, ad esempio, per contenere l'acqua; il vetro verde offre una maggiore protezione dalla luce e viene utilizzato, ad esempio, per contenere il vino; il vetro ambra offre una protezione dalla luce ancora migliore e viene spesso utilizzato per contenere la birra (il suo gusto potrebbe risultare alterato dall'assorbimento della luce). Quindi per realizzare una nuova bottiglia occorre rifondere vetro dello stesso colore se non si vogliono perdere le proprietà caratteristiche tipiche delle diverse colorazioni e se si vogliono evitare i problemi legati all'incompatibilità chimica e alla diversa temperatura di fusione dei frammenti (Lebullenger, 2019).

I colori rendono il vetro di Murano straordinariamente affascinante ma sono anche il suo tallone d'Achille per quanto concerne il riciclo: quasi sempre ci si trova di fronte a manufatti in cui vetri di diverso colore (rosso, giallo, verde, blu, azzurro) vengono combinati ed assemblati insieme e risulta quasi impossibile sviluppare una strategia di riciclo come quella descritta per il vetro in bottiglia, perché ogni colore risulta intimamente legato agli altri. Per questa ragione il vetro artistico muranese è un rifiuto speciale che deve essere trasportato fuori dall'isola, trattato opportunamente ed infine smaltito.

È quindi importante studiare e sperimentare nuove strategie di riciclo che siano sostenibili dal punto di vista ambientale ed economico e che permettano di dare nuova vita a questi scarti così peculiari, ricchi di storia e di sapienza; possibilmente lavorando in Murano, affinché il frutto del riciclo sia un prodotto descrivibile in virtù della storia di sperimentazioni e innovazioni che rende ricca e notissima la tradizione dei vetrai muranesi.



07. Composizioni di diverse tipologie di vetro associate ai corrispettivi coefficienti di dilatazione termica.