



36

Mogliotti Valentina 147597
Micieli Mara 147668
Scollo Cristina 146592

LA VETROFUSIONE ART AND GLASS FUSING

La vetrofusione è una lavorazione termica che lavora solo ed esclusivamente un unico materiale: il *vetro*; cerchiamo quindi di analizzarne ogni aspetto indispensabile per poter illustrare al meglio questo tipo di lavorazione.



Esempio Vetrofusione

I vetri fanno parte della famiglia dei materiali ceramici, formati da materiali inorganici ad elevate temperature; tuttavia, a differenza degli altri ceramici, durante la solidificazione, il vetro non cristallizza; la sua struttura è quindi amorfa: le molecole cambiano il loro orientamento in modo casuale all'interno del materiale solido e la percezione visiva è quindi di un materiale trasparente. L'elevata durezza, l'elevata resistenza meccanica e un'ottima resistenza alla corrosione rendono il vetro utilizzabile in molte applicazioni.

COMPORAMENTO DEL VETRO La transizione dallo stato solido a quello liquido avviene in modo graduale e continuo per una progressiva variazione di viscosità in un intervallo di temperature nel quale si individua la temperatura di transizione vetrosa (T_g) passando dallo stato solido e plastico-viscoso terminando con quello fluido. Durata e intensità della fusione, durata e curva termica del raffreddamento hanno una notevole influenza sulle qualità fisiche e chimiche del vetro risultante.

COMPOSIZIONE

Silice	(SiO₂)	69-74%
Calce	(CaO)	5-12%
Ossido di Boro	(Na₂O)	12-16%
Magnesia	(MgO)	0-6%
Alluminia	(Al₂O₃)	0-3%

Accanto agli elementi menzionati possono essere contenute anche percentuali minime di altre sostanze, per influenzare proprietà e colore. Per esempio la soda (fondenti che servono per far fondere la silice ad una minore temperatura) e ad ossidi di Ca, Mg, Ba, allumina, che impediscono la devetrificazione.

Per la produzione di vetro colorato, si aggiungono concentrazioni minime di additivi nella massa vetrificabile, che non modificano la rigidità meccanica.

Ancora prima di spiegare la vetrofusione è essenziale comprendere e analizzare brevemente quali sono le fasi iniziali della produzione del vetro poiché nella vetrofusione si utilizzano

lastre di vetro ottenute da una precedente lavorazione industriale: *semilavorati*.

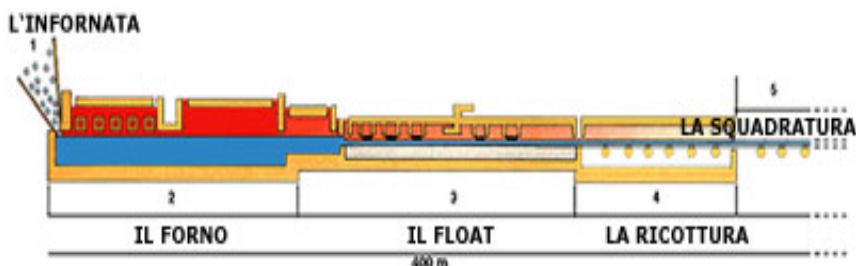
PRODUZIONE DEL VETRO Il vetro si ottiene per fusione da una miscela vetrificabile, omogenea: materie prime, mescolate in opportune proporzioni in peso. Tutti i componenti della miscela sono in polvere e le dimensioni dei grani hanno una grande importanza per la riuscita della fusione. Grani troppo grossi non riuscirebbero a fondere e grani troppo fini si potrebbero segregare (impaccare). L'omogeneità della miscela è importantissima e, per favorirla, oltre alla granulometria delle singole materie prime, è fondamentale l'aggiunta di piccole quantità di acqua (2-4%) che impediscono la separazione tra le fasi.

METODI INDUSTRIALI DI FORMATURA

METODO FLOAT La tecnica di produzione, attualmente utilizzata per la fabbricazione di vetro piano, è stata messa a punto negli anni sessanta negli Stati Uniti, consiste nel far galleggiare il vetro fuso di provenienza dal forno fusorio su di un bagno di stagno liquido. La sottile lastra, ottenuta, non necessita di levigatura superficiale e di ulteriore ricottura: vetro *Float*. I moderni impianti di produzione float producono al giorno circa 600 t di vetro spesso 4 mm. I nastri vetrati hanno una larghezza massima di 320 cm e vengono di norma tagliati in lastre lunghe 600 cm, per essere poi sottoposti a ulteriori lavorazioni . Il vetro float può anche essere colorato durante la produzione . L'intero fasi di processo sono qui sotto rappresentate nello schema:



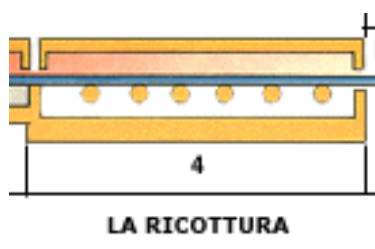
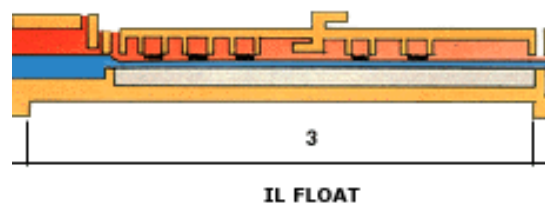
Lastra Float



FUSIONE DELLE MATERIE PRIME

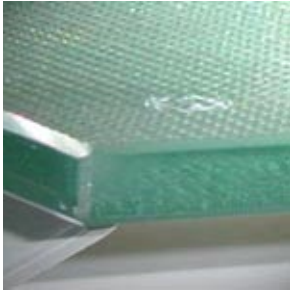
Si ottiene una miscela vetrificabile che viene convogliata mediante nastri trasportatori nel forno fusorio, all'interno del quale la temperatura massima raggiunge i 1550 °C.

IL FLOAT A 1100°C il vetro fuso cola dal forno su di un bagno di stagno fuso, galleggiando sulla superficie liquida e piana, viene tirato sino a divenire un nastro a facce parallele. Sui bordi del nastro le ruote dentate (toprolls) distendono o retraggono il vetro lateralmente, per ottenere lo spessore desiderato.



RICOTTURA Deposito a 600°C sui rulli di un tunnel di raffreddamento, lungo 100 metri, il nastro di vetro si raffredda sotto controllo fino alla temperatura ambiente. Il nastro di vetro acquista intorno ai 500°C le proprietà di un solido perfettamente elastico.

LAMINAZIONE All'uscita dal forno, il vetro passa tra due rulli metallici che gli conferiscono lo spessore ed il disegno desiderati: vetri stampati, utilizzati nell'architettura di interni, nell'arredamento, nella decorazione.



Vetro Tirato

SQUADRATURA Raffreddato all'aria libera, il nastro di vetro Float è controllato e, successivamente, tagliato in lastre dalla dimensione massima di 6x3,21m con taglio dei bordi longitudinali. Gli elementi sono successivamente posizionati verticalmente su dei cavalletti per mezzo di elevatori a ventosa

VETRO TIRATO La lastra di vetro viene "tirata" verticalmente o orizzontalmente in base alla direzione del punzone, in modo continuo, partendo da un bagno di vetro fuso. Il vetro tirato rispetto al vetro float

nonostante possiede le stesse proprietà fisiche la sua superficie ha leggere ondolazioni, dovute alla tiratura, perpendicolari alla direzione di tiratura, che possono disturbare la visione, e sono percepibili anche nell'immagine riflessa. Si possono ottenere laste sottilissime o di un modesto spessore, compresi tra i valori di 2mm a 12mm.

VETRO COLATO Nella produzione di vetro ornamentale o vetrocolato la massa vetrosa liquida viene colata

continuamente tra una o più coppie di rulli laminatori. A seconda della conformazione dei rulli o dei tavoli si possono avere due facce piane, una piana e una decorata o due facce decorate.



Macchinario per la Formazione del Vetro

TECNICHE DI LAVORAZIONE DEL VETRO Il vetro è sottoposto a numerose e diverse lavorazioni che vengono suddivise in base alle temperature di lavorazione:

- 0°c Il vetro freddo
- 600°c La grisaglia
- 700° - 800°c Il termoformato
- 800 - 850°c La vetrofusione
- 850° - 1000°c La pasta di vetro
- 1100° - 1250 c Il vetro soffiato
- 1250 - 1350°c Il casting



Frammenti di Vetro

Giunti a questo punto è possibile inoltrarci nella lavorazione della vetrofusione.

DESCRIZIONE La vetrofusione è un delicato processo

termico che richiede delle attrezzature e forniture essenziali per poter essere applicata. La fusione del vetro è un'operazione particolarmente difficile che non può essere improvvisata e neanche codificata in una serie di istruzioni standard poiché richiede una certa applicazione, studio e sperimentazione personale. Essa non ha una specifica classificazione poiché è un procedimento che racchiude in sé la conservazione, la sottrazione, l'incremento di materiale durante la lavorazione. Si utilizzano diversi tipi di vetro necessariamente compatibili tra di loro e si procede con fasi definite a seconda del prodotto che si vuole ottenere.

Gli oggetti si ottengono per *sovrapposizione, conservazione e/o sottrazione* di lastre o frammenti di vetro utilizzando materiali refrattari: *CERAPAPER* e *CERABOARD*.

FORMATI Il vetro utilizzato si presenta sul mercato in varie tipologie di formati per ciascuna tipologia di vetro ; si realizzano tramite diversi macchinari:

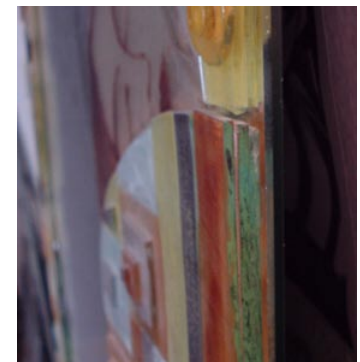
1. **Fritta o polvere di vetro** (realizzato tramite la FRANTUMAZIONE) è un materiale costituito da vetro precedentemente fuso, raffreddato ed infine sbriciolato o frantumato. La fritta è disponibile in diverse dimensioni
2. **Spaghetti di Vetro/Stringer** (realizzato tramite ESTRUSIONE) è un filo sottile di vetro ottenuti dal sottoprodotto della fusione del vetro
3. **Grisaglia**, miscela di polvere di vetro con polvere di ossido di ferro e rame unito ad un solvente con acqua , realizzato tramite ADDIZIONE;



Barattolo di Fritta

STORIA La tecnica della vetrofusione ebbe inizio con gli Egiziani e i Romani che furono i più prolifici nell'applicazione, il periodo che va dal 1500 a.c. fino al 500 d.c. si ha la maggiore applicazione del metodo di fusione con numerosi attrezzi indispensabili per la vita. Nei secoli successivi questa tecnica, abbandonata poi, a favore della tecnica di soffiatura del vetro, molto più adatta per la produzione di strumenti per bere e mangiare. A partire dagli anni '70 la vetrofusione è stata riscoperta, come forma di espressione artistica, da artigiani e artisti americani;

I laboratori che iniziarono a sperimentare questa "nuova" tecnica furono quelli di legatura al piombo. Sono proprio gli statunitensi a rappresentare il centro di avanguardia e specializzazione riguardante la vetrofusione seguiti dai francesi, tedeschi e italiani. Quest'ultimi rappresentati dalla Scuola di Bolzano e Milano. Solo negli ultimi anni anche la Spagna emerge tra le nazioni qualificate in questo tipo di lavorazione.



Sovrapposizione di Lastre ottenute per Vetrofusione



Colore In Polvere

La vetrofusione rimane comunque una tecnica che richiede una certa sperimentazione e una certa conoscenza del comportamento del vetro soprattutto nell'ambito della lavorazione nell'artigianato poiché è una esperienza che richiede numerosa improvvisazione artistica ma

sempre sulla base di conoscenze relative alla lavorazione. Le competenze e le conoscenze richieste all'artigiano sono molte come la compatibilità dei vetri, l'utilizzo dei forni, degli stampi, dei materiali refrattari e le temperature di cottura per ogni singola lavorazione. Questa particolare preparazione richiesta all'artigiano è dovuta al fatto che non è un processo automatizzato ma tutt'altro perché necessita di continue attenzioni soprattutto durante la formatura di un oggetto complesso. Ogni oggetto che si vuole ottenere avrà un suo processo più o meno vasto in base all'oggetto. Tutto questo è causato anche dalla consequenzialità degli step nella lavorazione che non possono essere programmati ancora prima dell'infornata poiché il comportamento del vetro è imprevedibile e si può andare incontro a spiacevoli inconvenienti.



Pittura a setaccio e Fusione Piana



Pittura a Setaccio Fusione in Rilievo

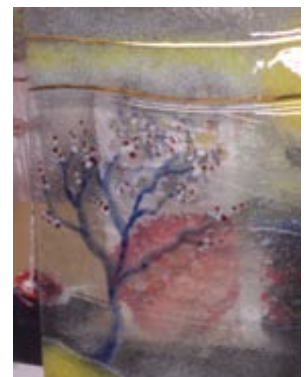
Necessariamente per l'oggetto che si vuole ottenere ci saranno determinati step ma come detto prima non sono del tutto consequenziali e programmati. Molte volte capita che per la realizzazione di un semplice prodotto, che richiede teoricamente un'unica infornata, si concluda e si ottenga il prodotto finale solamente dopo la realizzazione di 2 cotture nel forno o ancor peggio con la rottura del prodotto. Nel complesso risulta una lavorazione artistica e pertanto abbastanza flessibile nella creazione dell'oggetto. Nel caso della vetrofusione industriale alcune caratteristiche comuni con la lavorazione artigianale si modificano. Una di

queste è la specializzazione dell'operaio che non è più approfondita come quella di un artigiano ma che molte volte è assente proprio perché questa conoscenza si limita a svolgere la semplice azione di avviare i macchinari. Un aspetto che rimane poco

invariato è invece il grado di automazione poiché molte gestualità compiute dall'artigiano vengono compiute manualmente anche dall'operaio come la distribuzione omogenea della vernice di fondo sul piano di carico del forno o l'applicazione di qualche decorazioni sulla lastra di vetro. Molto probabilmente si avrà una consequenzialità maggiore degli step rispetto a quella artigianale senza escludere eventuali intoppi dovuti all'atteggiamento del vetro.

In sostanza i passi principali della lavorazione sono

1. *Progetto* iniziale in cui si elabora e si studia attentamente l'oggetto che si vuole ottenere
2. *Stesura del preventivo* si procede con una stima complessiva del costo finale
3. *Stesura del motivo* o della trama (o mascherina) che si vuole ottenere scala 1:1, serve per agevolare la realizzazione di un disegno che andrà poi rappresentato sul vetro. Molto semplicemente si disegna su di un cartoncino quello che bisogna



Fusione in Rilievo

rappresentare nel prodotto finale.

4. *Taglio del vetro con una successiva pulitura del pezzo*
5. *Assemblaggio dei pezzi.* Questi ritagli sono ottenuti dalla sovrapposizione della lastra di vetro sul cartoncino in cui è rappresentato il motivo. Attraverso l'uso di un tagliavetro è possibile ritagliare facilmente il vetro e seguire i movimenti del motivo. In questo modo abbiamo ottenuto dei pezzi di vetro che se assemblati su una base rappresentano il disegno finale.
6. *Cottura a una determinata temperatura che dipende dal tipo di lavorazione*
7. (Passaggio modificabile) *Ulteriore Decorazione*
8. *Ricottura*
9. *Lavorazione dopo cottura come Sabbatura o Molatura.*



Fusione Alti Spessori

Le tecniche di vetrofusione si dividono in

1. *Termoformato*
2. *Fusione piana*
3. *Fusione a rilievo*
4. *Fusione ad alti spessori*
5. *Pittura a setaccio piena o con mascherine*

La tecnica di termoformatura è una tecnica di decorazione del vetro che non prevede l'aggiunta di colore ma il decoro si percepisce attraverso la trasparenza del vetro grazie all'azione dei distaccanti o dei materiali refrattari.

La fusione piana consiste nella sovrapposizione o stratificazione di lastre o frammenti di vetro che dopo la cottura a una determinata temperatura la superficie del vetro risulterà piana.

La fusione a rilievo segue le stesse procedure della fusione piana ma la temperatura è diversa perché l'effetto ottenuto sulla superficie è a rilievo.

La fusione ad alti spessori prevede la sovrapposizione di numerosi strati per ottenere diversi spessori sempre tenendo conto della temperatura di applicazione. La tecnica di fusione con pittura a setaccio segue la procedura della termoformatura ma permette di utilizzare colori in polvere distribuiti con una mascherina o un setaccio oppure liquidi poiché diluiti nell'acqua e inseriti con l'uso di un pennello.



Risultato finale della Cera Persa

Le altre lavorazioni della vetrofusione sono

1. *Cera persa o Pasta di vetro*
2. *Casting*

Queste lavorazioni vengono incluse nella vetrofusione soprattutto perché vengono considerate come tecniche in cui si fonde il vetro in stampi. Rimane comunque una differenza sostanziale che è data dalla temperatura di cottura e soprattutto dalla durata.



Stampo del Casting

Cera persa è una tecnica in cui il vetro viene fuso in stampi refrattari raggiungendo la temperatura non superiore a 1000°C. È una lavorazione originale perché dona al vetro la tridimensionalità e l'impronta. Nel settore artigianale gli stampi vengono creati direttamente dall'artigiano partendo da un originale in polistirolo (o argilla, cera, plastilina), successivamente

si realizza la gabbietta per contenere il gesso, si prepara la miscela di gesso e infine si versa il composto nella gabbietta nel quale bisogna attendere la perfetta asciugatura. In fine si ripulisce lo stampo dal polistirolo o dalla cera facendola fondere e fuoriuscire dallo stampo grazie a un foro conico di colata praticato nel rivestimento e si inseriscono i pezzi di vetro come la frittata compatibili tra di loro. Il prodotto finale sarà un oggetto tridimensionale grazie allo stampo chiuso ma sarà a perdere poiché per estrarre il pezzo sarà necessario rompere lo stampo. La temperatura da raggiungere è di 850° ma la durata della cottura è di circa 1 settimana.

Il *casting* è una tecnica il cui principio è relativamente semplice: si tratta di realizzare un'impronta nella sabbia e, successivamente, di riempirla di vetro fuso. La complicazione subentra nel momento in cui si arriva all'atto di colaggio del vetro. Ma questa lavorazione viene anche identificata con un'altra regola ovvero simile alla *cera persa* poiché si utilizzano stampi artigianali in materiale refrattario. La differenza che li distingue è proprio nello stampo perché nel casting lo stampo è aperto e può essere riutilizzato pur essendo fragile. Ma la differenza sostanziale sarà nel prodotto che non avrà una tridimensionalità. La temperatura che bisogna raggiungere per ottenere un oggetto con la lavorazione di casting è di 850° e dura circa 3 giorni



Risultato finale del Casting

LAVORAZIONE DEL VETRO DOPO COTTURA

Le lavorazioni che migliorano l'aspetto del prodotto finito sono:

1. Sabbiatura
2. Molatura
3. Lucidatura

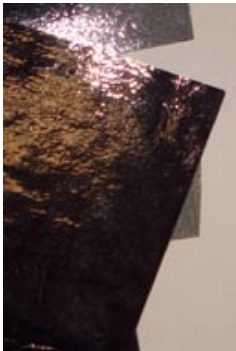
La molatura è una lavorazione che prevede la rimozione di vetro mediante un'azione abrasiva. La molatura si ottiene grazie a grani di materiale abrasivo di forma irregolare interposti fra le mole in movimento e la superficie del vetro. La lucidatura è simile alla molatura. Gli agenti lucidanti si trovano in natura sotto forma di polveri come l'ossido di stagno. L'agente lucidante viene applicato su di un disco rotante che può essere in feltro, pelle, sughero etc. Il processo di lucidatura non rimuove nemmeno una

piccola quantità di vetro, ma si limita a lucidare le superfici leggermente graffiate. La sabbiatura ha lo scopo di produrre una superficie di diffusione o effetto satinato sugli oggetti in vetro. Coprendo alcune zone della superficie, è possibile creare modelli decorativi. Questa operazione può servire per incidere dei solchi nel vetro e per praticare dei fori. Il tutto è realizzabile grazie all'utilizzo del corindone che è un metallo sabbiato che diffuso attraverso un compressore recide la superficie.

FORNITURE DI VETRO UTILIZZATI

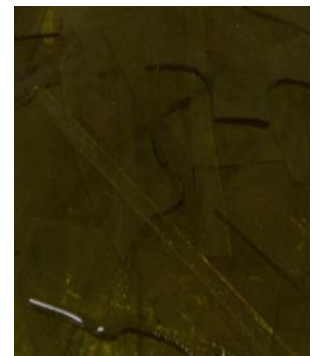
Nella vetrofusione si utilizzano diverse tipologie di vetro per ottenere delle decorazioni e colorazioni particolari. I vetri utilizzati sono:

Vetro Float è il prodotto ottenuto dalla formatura del vetro con il metodo float, si presenta sul mercato nelle dimensioni massime in commercio di 3.210mm x 6.000 mm e in altri formati 1830x2440mm, 1830x1220mm, 2100x1650mm, 2400x 3200 mm, 3210x2250mm 3210x2500mm, 3300x2134mm etc . Le lastre di vetro Float sono disponibili nei seguenti spessori: 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 8 - 10 - 12 - 15 - 19 mm. E'prodotto in due versioni "normale", con la sua caratteristica leggera colorazione verdastria, ed Extrachiaro, praticamente incolore e molto più costoso. I Maggiori produttori sono gli Stati Uniti e in piccola parte l'Italia.

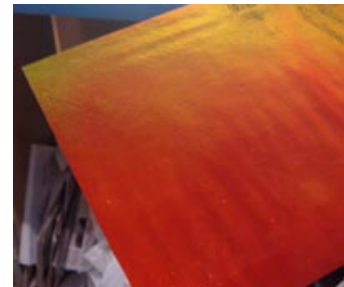


Vetro Desag o Vetro Antico 75 fa parte dei vetri colorati ed è un vetro soffiato ottenuto con una tecnica particolare che prevede il posizionamento manuale di una certa quantità di vetro su di un cannello. Grazie al processo di soffiatura si ottiene un cilindro che deve essere reso piatto. Con questa formatura manuale si conferisce delle qualità uniche al materiale e nel frattempo l'applicazione di un sottile strato di colore su un vetro trasparente. Si presenta in commercio sotto forma di lastre colorate o trasparenti con varie dimensioni 250x375mm, 500x750mm, 1000x750mm, 800x600mm, 750x1600mm, 750x2000mm, 1100x2000mm etc. Gli spessori sono di 3, 4, 6 mm per le lastre trasparenti mentre per le lastre colorate 2,3 mm. Rappresenta un vetro ad alta definizione tecnologica prodotto in Germania.

Vetro Bullseye è un vetro pregiatissimo, le cui peculiarità sono la luminosità e le particolari vivacissime colorazioni, proprietà esclusiva di questo tipo di vetro. Si ottengono facendo passare le masse di vetro fra due rulli oppure posizionando la massa di vetro su di un piano in ghisa e procedendo alla formatura mediante l'utilizzo di un rullo. Indicati per la fusione in quanto meno costosi.. Si presenta in commercio nelle dimensioni 300x240mm, 455x510mm 890x510mm e 900x500mm etc . Sono prodotti solamente negli Stati Uniti che detiene il primato



Vetri Dicroici sono vetri estremamente costosi poiché arricchiti di materiali preziosi come lamine o frammenti di oro, argento e altri metalli. Si distinguono per la base che può essere nera o trasparente o liscia o ruvida. Sono utilizzati principalmente per realizzare gioielli. A causa del prezzo i vetri Dicroici si presentano nel mercato nelle piccole dimensioni di 400mm x 400mm 60mm x 100 mm.

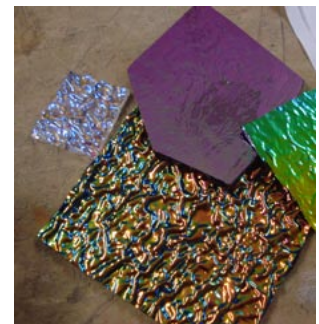


Vetri Flosing la gamma FLOSING si compone di una serie di vetri colorati opachi, trasparenti, traslucidi tutti compatibili con base di vetro Float, e con una vasta gamma di prodotti complementari. La differenza principale che distingue un campione di vetro colorato Flosing da uno campione di vetro colorato Desag è la colorazione poiché nel vetro Flosing la colorazione è solo superficiale e non esiste in sezione mentre il Desag è interamente colorato anche in sezione e permane la proprietà di trasparenza del pezzo. Le dimensioni presenti nel mercato sono 1600 x 600 mm, 800x 600mm, 900x600mm etc. Sono simili al bullseye ma meno pregiati. Sono prodotti in Spagna a Barcellona.



COMPATIBILITÀ DEI VETRI

Un aspetto da valutare durante la vetrofusione è la compatibilità tra i vetri. Nel modo della fusione del vetro, due vetri sono considerati compatibili, se possono essere fusi insieme e, dopo un adeguato raffreddamento a temperatura ambiente, risultare privi di tensioni irregolari che potrebbero portare alla rottura nel pezzo finito. E' un aspetto importante nel settore artigianale poiché si è interessati a fondere vetri colorati che in condizioni normali non si rompano. La compatibilità dei vari vetri usati costituirà uno degli elementi principali per la sopravvivenza del vetro stesso. Il vetro si espande se sottoposto a riscaldamento e si restringe se raffreddato. Se due vetri che non si espandono e si restringono in eguale misura, vengono fusi insieme, al loro interno si formeranno delle tensioni irregolari. Un fattore che esprime la compatibilità del vetro con un altro è il coefficiente di dilatazione termica (COE90). I vetri dello stesso tipo o famiglia sono compatibili tra di loro.



Vetri Dicroici

Vetri BullSeye	Compatibili con Desag, Float e Bullseye
Vetri Float	Compatibili con Floasing, Bullseye, Dicroici, Desag e Float
Vetri Dicroici	Compatibili con Dicroici, Float e Bullseye
Vetri Desag	Compatibili con Bullseye, Float e Desag

PREZZI DEL VETRO PER TIPOLOGIA DI FORMATO E DIMENSIONI

Tipologia di vetro	Misure	Prezzo	Caratteristiche
Lastra di Float	3,4,5 mm spessore	di Circa 10 euro al mq	
Lastra di Float	17,18,19mm spessore	di Circa 100 euro al mq	
Lastra di Desag	3mm	Circa 45 euro al mq	Tinte Chiare o Trasparente
Lastra di Desag	3mm	Circa 56 euro al mq	Tinte scure
Stringer di Desag	180 grammi	Circa 25 euro	
Lastra di Bullseye spessore di 3,4 mm	300x240mm	Circa tra 20\$ e 40\$	
Lastra di Bullseye spessore di 3,4 mm	455x510mm	Circa tra i 60\$ e 100\$	
Lastra di Bullseye spessore di 3,4 mm	890x510mm e 900x500mm	e Circa tra 110\$ e 210\$	
Stringer Bullseye	180grammi	Circa 20 euro	
Fritta Bullseye	1 kg	Circa 25 euro	
Lastre di Dicroici	1,5 mm di spessore	Circa 230 euro al kg	
Lastre di Dicroici	3 mm di spessore	Circa 110 euro al kg	
Stringer Dicroici	Spessore di 1mm al pezzo	Circa 1,5 euro al pezzo	
Lastre di Flosing	1600x600mm spessore di 2mm	Circa 30 euro	
Fritta di Flosing	1 kg	Circa 15 euro	

Alcuni prezzi sono espressi in dollari perché sono stati presi direttamente dall'industria Americana e tutti sono esenti dal conteggio dell'iva.

TIPOLOGIA DI MACCHINARI E STRUMENTI NECESSARI PER LA VETROFUSIONE



Forno Artigianale per Fusione

IL FORNO DI FUSIONE

Il forno di fusione è l'elemento importante fra quelli che costituiscono l'attrezzatura base per fondere il vetro. Nasce appositamente per questa lavorazione e la sua peculiarità risiede nella disposizione degli elementi del forno stesso. In una fornace impiegata per il processo di fusione, gli elementi si trovano sulla parte superiore del forno; in particolare i forni a carica dall'alto hanno le resistenze distribuite sul coperchio questo per fare in modo che il calore venga distribuito uniformemente e costantemente su tutta la superficie del vetro ed evitare la rottura del vetro.

Il piano di carico del forno è un altro elemento indispensabile sul quale vengono disposti i vari pezzi in vetro necessari per la realizzazione dell'opera finale.

Questi piani, o superficie di fusione sono realizzati con mattoni refrattari su cui viene appoggiato un tappetino di cerapaper o carta ceramica refrattaria

per rendere uniforme la texture della superficie del piano di carico. La superficie di qualsiasi piano di carico deve essere liscia e sufficientemente porosa per impedire al vetro di aderire al piano di carico alle alte temperature pertanto necessita di un distaccante in polvere. Le dimensioni dei forni variano a seconda dell'utilizzo perciò si avranno dimensioni contenute per l'artigiano a dimensioni più grandi per l'industria. 500x500 mm, 1000x500mm 1000x750mm, 1500x1000mm consumano intorno ai 6 kw, ,

1850x1000mm, 2100x1150mm, 2200x1300mm, 2500x1500mm consumano intorno ai 12 kw, 3000x2400mm, 3000x1500mm consuma 18kw



Forno a Cottura Dall'Alto



Termocoppia

TIPI DI FORNO Il calore è il catalizzatore che rende possibile il processo di fusione del vetro. Il forno fornisce il calore che, se propriamente controllato, farà in modo che il vetro possa passare attraverso le varie fasi, da quella di temperatura ambiente a quella di fusione e viceversa. Un forno deve avere la capacità di riscaldare il vetro ad almeno 850 gradi e fornire un sistema di monitoraggio, controllo ed osservazione delle varie fasi del processo di cottura. I tipi di forno usati nella vetro fusione sono due: a gas ed elettrici. I forni a gas possono essere utilizzati per la fusione, ma sono più complicati da

Il forno fornisce il calore che, se propriamente controllato, farà in modo che il vetro possa passare attraverso le varie fasi, da quella di temperatura ambiente a quella di fusione e viceversa. Un forno deve avere la capacità di riscaldare il vetro ad almeno 850 gradi e fornire un sistema di monitoraggio, controllo ed osservazione delle varie fasi del processo di cottura. I tipi di forno usati nella vetro fusione sono due: a gas ed elettrici. I forni a gas possono essere utilizzati per la fusione, ma sono più complicati da



Dispositivo Computerizzato

installare e da far funzionare. Al contrario, i forni elettrici sono pronti per essere utilizzati e sono più sicuri.

Nei forni elettrici, gli elementi principali sono le resistenze e possono essere collocati sia nella parte superiore interna sia attorno ai muri interni del forno. I forni, con gli elementi collocati nella parte superiore sono chiamati a *cottura dall'alto*. Gli altri vengono chiamati a *cottura laterale*. L'ubicazione e la disposizione degli elementi determinano il modo in cui il vetro verrà riscaldato. Osservando il modo in cui il vetro riceve il calore dalle resistenze di forno, servirà a sottolineare le importanti differenze fra la fusione in forno a cottura dall'alto e quello a cottura laterale. Nei forni a *riscaldamento dall'alto*, il calore è irradiato verso il basso dalle resistenze e viene indirizzato su tutta la superficie del vetro sul piano. Tutti i vetri ricevono, così, una stessa quantità di calore allo stesso tempo. Per questo, dato che non esiste alcuna differenza di temperatura nelle diverse zone del piano di carico, la dilatazione del vetro è uniforme. Il riscaldamento iniziale può, dunque, essere più veloce senza che per questo i pezzi si frantumino. Come nel nostro caso studiato nell'azienda.

ISOLAMENTO DEL FORNO

I forni vengono generalmente isolati con uno o due tipi di isolamento refrattario: i mattoni refrattari isolanti (mattoni teneri) e isolamento in fibra ceramica (Cerapaper) che viene posizionata tra il forno e la porta del forno per impedire la fuoriuscita di calore. La fibra ceramica è un materiale molto leggero e, durante la fase di riscaldamento, immagazzina meno calore rispetto al mattone refrattario.

CONTROLLO E MONITORAGGIO DEL FORNO La quantità di calore, immessa nei forni, deve essere controllata per ottenere il riscaldamento e i tassi di raffreddamento ideali. I forni elettrici sono muniti di un computer per controllare il flusso di elettricità agli elementi e la temperatura raggiunta all'interno del forno. Attraverso i pirometri ovvero la termocoppia o la sonda è il sensore della temperatura ed è solitamente posta a metà tra il

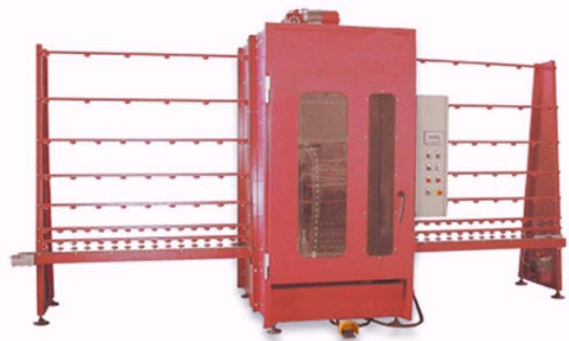
fondo ed il coperchio del forno in posizione verticale è collegata ad un galvanometro che comunica al computer la temperatura costante raggiunta che è stata impostata prima dell'infornata. È dotato di un dispositivo di spegnimento automatico del forno che serve a spegnere il forno ad un livello massimo di



Molatrice di Piccole Dimensioni



Macchinario per Formatura Stringer



Sabbiatrice Industriale

temperatura, predeterminato e nel frattempo funziona come dispositivo di sicurezza nel caso in cui si superi la temperatura di cottura.

VERNICE DI FONDO SUL PIANO DI CARICO La vernice di fondo o il separatore, sotto forma di polvere, sono tutti composti da miscele di argille, resistente alle alte temperature, e allumina che serviranno ad impedire al vetro di aderire alla superficie del piano di carico. Alcune proprietà della vernice di fondo si perdono dopo una cottura ad alte temperature e per questa ragione si procede ad applicare un nuovo strato di vernice dopo ogni cottura. Questa polvere viene raccolta dalla precedente infornata e nuovamente distribuita uniformemente sul piano di carico in questo modo la polvere viene riciclata generalmente per ancora 10 infornate. Può essere

distribuito mediante un setaccio oppure, diluendo la polvere con acqua, attraverso uno spruzzo o un pennello.



Tagliavetro



Scarsetta

SABBIATRICE viene utilizzata per eseguire il trattamento di sabbiatura. Le dimensioni del macchinario variano in base al tipo di lavorazione artigianale o industriale infatti rispettivamente si userà una sabbiatrice a compressore mentre nell'altro caso ad una sabbiatrice automatica con capacità diverse e maggiori.

MOLATRICI viene utilizzata per eseguire il trattamento di molatura. Anche per questa lavorazione vale lo stesso discorso delle dimensioni per tipo di produzione artigianale o industriale.

FUSIONE PER STRINGER è il macchinario utilizzato per creare gli .
TAGLIA VETRO ha un serbatoio per il lubrificante. La rotella metallica deve infatti scorrere ed è bene usare un liquido lubrificante oli e petroli. Per un taglio di precisione il taglia vetro deve essere tenuto perpendicolare alla superficie.

Gli strumenti manuali utilizzati maggiormente dall'artigiano che dall'operaio dell'industria sono le pinze, tagliavetro, martello e scarsetta. Si utilizzano macchinari che non richiedono una manutenzione accurata e costante nel



Pinze



Stampo in gesso CeraPersa

caso di una lavorazione artigianale ma l'unica considerazione richiesta è il rivestimento interno del forno che deve essere sostituito dopo numerose cotture. Le attrezzature pertanto vengono riutilizzate fino al loro deterioramento.

GLI STAMPI Lo stampo è un altro elemento molto importante utilizzato nella vetrofusione. Le caratteristiche quali la resistenza, lo spessore e la densità determinano la durabilità dello stampo. La qualità della sua superficie e la capacità di mantenere intatti piccoli dettagli determinano la qualità superficiale di vetro del pezzo finito che è stata a diretto contatto con lo stampo stesso. Inoltre la lucentezza del vetro, il suo colore, le sfumature che

esso può assumere, sono senz'altro alcune delle caratteristiche fondamentali della vetrofusione artistica. Tuttavia, l'elemento che più contraddistingue questa lavorazione



Stampo in Gesso Casting

costruire e produrre dei pezzi unici.

utilizzati possono essere:

che è un materiale molto semplice da modellare la cui porosità permette al vetro di non aderire alla sua superficie ma presenta uno svantaggio poiché il suo volume cambia notevolmente quando viene sottoposta a riscaldamento e a raffreddamento portando successivamente a una rottura dello stampo.

Il gesso ha il vantaggio di creare uno stampo usa e getta che si può rompere facilmente per estrarre il pezzo finito ma comunque è possibile realizzare uno stampo più duraturo che resiste all'incirca 2 o 3 infornate.

Entrambi i materiali hanno il difetto di trattenere dell'acqua essendo materiali porosi e pertanto danneggiarsi durante la cottura



Lastra di vetro adagiata su uno stampo fatto di Cerabord

viceversa se è meno spesso si ingrandisce lo spessore e si dilata la larghezza del vetro finale. Nella lavorazione industriale gli stampi in metallo sono particolarmente indicati per la curvatura e l'assetto perché costituiscono una superficie estremamente levigata in grado di sopportare gli shock termici

artistica, ed in molti casi la differenza da la lavorazione industriale e le altre creazioni d'arte, è la molteplice varietà di forme e dimensioni in cui l'artista può trasformare il vetro. Questa trasformazione del vetro avviene tramite appositi stampi in materiale refrattario, che vengono progettati e realizzati in modo da sopportare le elevate temperature necessarie per la vetrofusione. Forme quadre e rettangolari, ovali e concave, per realizzare vassoi o lavabi, portacandele o portacenere. Nella vetrofusione artigianale gli stampi possono essere direttamente realizzati dall'artigiano che ha la possibilità di

I materiali

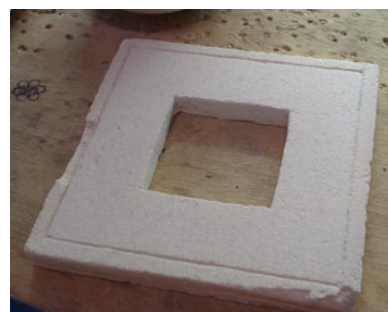
l'argilla



Stampo in Ceramica

fibra in ceramica l'utilizzo di questi materiali refrattari nella forma di materassino o materiali rigido permettono di ottenere forme di oggetti semplici. Hanno il vantaggio di assumere la forma di grandi oggetti e l'elevata durabilità. Molte volte gli stampi vengono usati per limitare il comportamento del vetro durante la fusione. Infatti il vetro durante la cottura tende a uno spessore di 6 mm qualsiasi sia lo spessore di partenza. Se il campione di vetro ha uno spessore più grande il vetro tenderà

a stringersi di spessore e ad allargarsi in larghezza



Materassino rigido

senza rompersi. Con il passare del tempo Gli stampi in ferro o in alluminio dolce a causa della loro tendenza ad ossidarsi lasciano il posto ad un materiale migliore che è l'acciaio inossidabili eccellente per curvare e assettare il vetro. Tutti gli stampi in metallo devono essere trattati con la vernice di fondo.



Cerabord

MATERIALI

Cerapaper presente nel mercato con spessori diversi di 3,4,6 mm è un materiale in fibra ceramica con particelle di vetro facilmente lavorabile e refrattario

Cerabord presente nel mercato con spessori di 1 o 2 pollici è un materassino morbido di fibra ceramica e particelle di vetro, è ed è utilizzato per ottenere oggetti come svuota tasche o posacenere.

Materassino rigido ha la struttura del cerabord ma è leggermente più robusto e più spesso simile al cartone

REFRATTARI

Questi materiali hanno entrambi la caratteristica di mantenere la loro consistenza anche durante la fusione senza mescolarsi con il vetro fuso e impartendo una struttura precisa al vetro. Sono utili per ottenere delle decorazioni, dei rilievi, dei cilindri e delle cavità oppure svolgere la funzione di stampi per ciotole o svuota tasche e oggetti simili. La carta di fibra in fogli (*Cerapaper*) può essere utilizzata per aggiungere una dimensione creativa

al lavoro. Viene spesso tagliata in strisce o in altre forme che danno rilievo al pezzo e lasciano una struttura prominente sulla superficie del pezzo in vetro.



Lubrificante per Tagliavetro

TAGLIO DEL VETRO In generale esistono diverse tecniche di taglio del vetro ma nel caso della vetrofusione ci si riferisce unicamente a questa lavorazione. Questo tipo di taglio non richiede l'accuratezza e la precisione

indispensabili con altri metodi utilizzati per unire insieme diversi pezzi di vetro. Un operatore della fusione del vetro può scegliere di lavorare con pezzi, frammenti e scaglie. Utilizzando un tagliavetro,

anche l'operatore meno esperto può riuscire ad ottenere pezzi strani e meravigliosi. La tecnica a mosaico, secondo la quale si devono posizionare piccoli pezzetti di vetro su di una base in vetro come un lastra, costituisce un altro metodo di grande possibilità di immagine, senza dover tagliare il vetro accuratamente. D'altra parte se i vari pezzi da fondere insieme vengono preparati con un tagliavetro seguendo un disegno predefinito si ottiene la decorazione voluta attraverso la sovrapposizione di piastrelle.

MATERIALI

DI

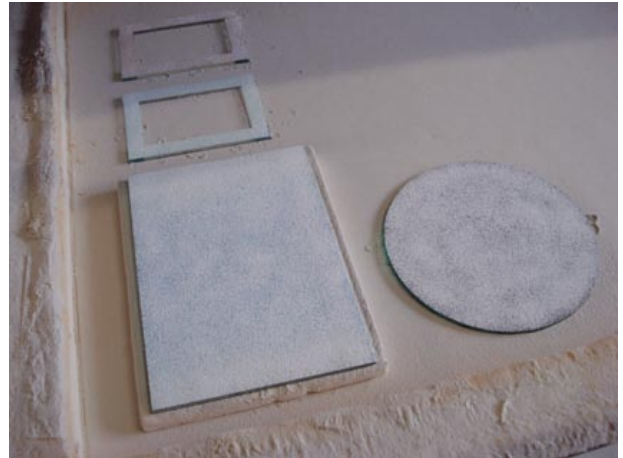
SICUREZZA

GUANTI IN KEVLAR, tessuto di silicato di vetro, sono resistente alle alte temperature. OCCHIALI PROTETTIVI sono indispensabili per proteggere gli occhi dalle incandescenze del forno che emette onde a frequenza infrarossa.

MASCHERINA è un altro elemento indispensabile perché evita l'inalazione di sostanze tossiche come le polveri per dipingere il vetro o la vernice di fondo.

TEMPERATURE DI FUSIONE RICHIESTE NELLA LAVORAZIONE

In base al tipo di lavorazione che si vuole svolgere bisognerà tenere conto dell'andamento della temperatura durante la cottura. Sono dati importanti perché devono essere inseriti prima dell'infornata nel computer. In particolare si adotterà la fusione piena per ottenere un semilavorato di un unico spessore ovvero un unico pezzo o lastra mentre nel caso della fusione di piega il vetro si deve adagiare allo stampo o per ottenere effetti in rilievo.



Oggetti disposti nel forno

1. FUSIONE PIENA si raggiunge la temperatura più alta nella fusione del vetro e ogni singolo passaggio è importante perché previene la vetrificazione del vetro in cui si otterrebbero delle tensioni interne che portano a rottura il pezzo.

	1 step	2 step	3 step	4 step	5 step	6 step	7 step	8 step
Rate	60	60	30	Skip	Skip	40	30	20
Temp	250°	550°	680°	815°	580°	520°	480°	440°
Time	5	5	5	5	40/60	40/60	20	10

Il 3 step è importante perché è il passaggio che previene la vetrificazione ovvero avviene il passaggio dallo stato solido a quello liquido. Il processo dura all'incirca intorno ai 5 minuti perché bisogna permettere la fuoriuscita dell'aria dal vetro che nel frattempo si sta sciogliendo.

4 Step viene richiesta la massima potenza energetica al forno per raggiungere la temperatura di 815° ovvero la massima temperatura in cui il vetro si comporta come il magma.

5 Step viene richiesta la massima potenza energetica al forno per raggiungere la temperatura di 580° e stazionare dai 40 ai 60 minuti. In questo passaggio si ha la ricottura del pezzo di vetro che ne aumenta la resistenza meccanica.

6 Step raggiunta la temperatura di 520° si tolgono tutte le tensioni di lavoro ovvero gli stress di lavorazione.

L'intera programmazione della fusione varia in base alla quantità di vetro presente nel forno pertanto può essere compreso tra le 24 ore fino a raggiungere 1 settimana

2. FUSIONE DI PIEGA: i passaggi richiesti sono utili per fare adagiare il vetro su di uno stampo refrattario ed ottenere effetti in rilievo

	1 step	2 step	3 step	4 step	5 step	6 step	7 step	8 step
Rate	60	60	30	Skip	Skip	40	30	20
Temp	250°	550°	680°	705°	580°	520°	480°	440°
Time	5	5	5	5	40/60	40/60	20	10

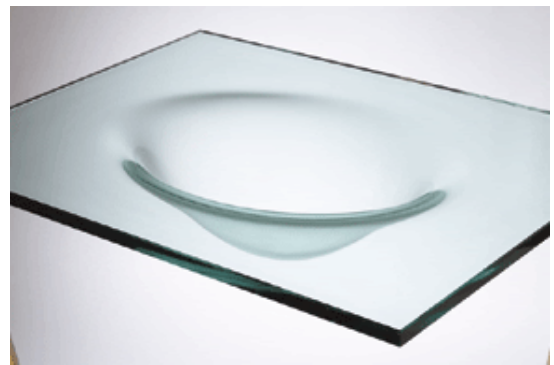
L'unica differenza tra le due fusioni è lo step 4 in cui la temperatura da raggiungere è di 705°. In entrambe le lavorazioni il vetro viene estratto dal forno a temperatura ambiente e non deve essere lavato subito.

Note:

RATE: tempo impiegato dal forno per raggiungere la temperatura richiesta

TIME: tempo previsto in cui il vetro deve stazionare alla temperatura prevista

SKIP: viene richiesta la massima potenza energetica al forno per raggiungere la temperatura richiesta



Lavandino ottenuto dalla curvatura del vetro

PRODOTTO Nella vetrofusione le forme ottenibili variano dal tipo di lavorazione se artigianale o

industriale e soprattutto dagli stampi in commercio.

Nella lavorazione artigianale è possibile realizzare

forme uniche e personali grazie agli stampi realizzati direttamente dall'artigiano.

Diversamente sarà per la produzione industriale che deve rispondere a una certa richieste del

mercato e avrà pertanto delle forme fissate Nel complesso è un lavorazione che ha in se tanti

aspetti criticabili come il comportamento imprevedibile del vetro che

porta a rottura l'intero pezzo ma possiede anche aspetti positivi

come il carattere artistico dell'intera lavorazione. Le dimensioni dei

forni per ottenere grandi curvature per uso industriale è di

3000x1800mm,

2500x1600mm,1600x2500mm, fino

ad arrivare alle dimensioni per uso

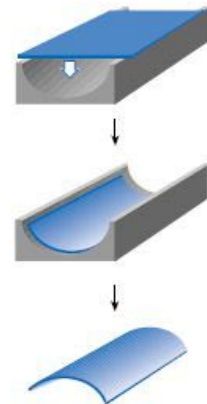
artigianale 500x1000mm. Esistono

forni per la realizzazione di lavandini è

le dimensioni massime sono

3600x4600 e quelle più piccole sono

di 2600x1700mm quindi i pannelli in



Dimostrazione Curvatura



Forno Industriale per la curvatura

vetrofusione non possono superare limiti.

tali

Gli oggetti realizzabili con la vetrofusione artigianale sono molti per esempio si può produrre

vetrate,

oggettistica,

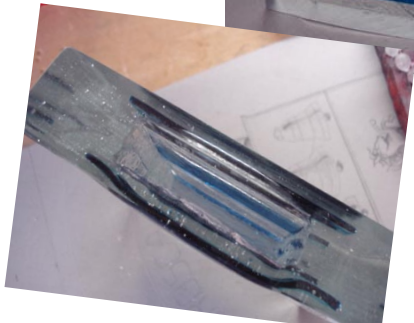
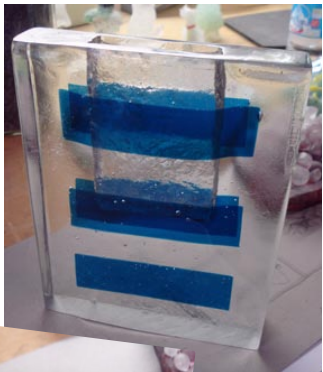
piastre-scultura

e

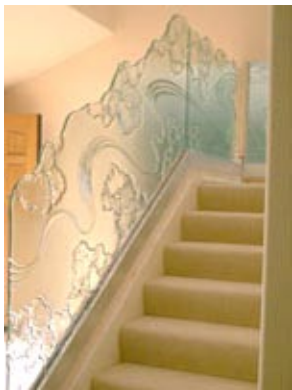
bigiotteria.

La tecnica della vetrofusione nell'ambito industriale viene usata prevalentemente per curvare il vetro o oltre a realizzare finestre artistiche o vetrate.

La curvatura o bombatura delle lastre implica una attenta precisione delle misure nella realizzazione della lastra che dello stampo di contenimento. Infatti la lastra piana di vetro verrà tagliata con le dimensioni dello sviluppo che assumerà una volta curvata. Le curvature, salvo casi particolari, hanno forme geometriche determinabili mediante i parametri dimensionali, quali:raggio, Sviluppo, Corda, Freccia, Angolo, Altezza, Spessore. Le lastre curvate, al pari di altri prodotti vetrari, possono essere lavorate ai bordi (molatura) o sulla superficie (satinatura,incisione).



Oggetto ottenuto tramite la Termofusione con un cavità all'interno



OGGETTI REALIZZABILI CON LA VETROFUSIONE

Vetrofusione Artigianale	Vetrate artistiche, Oggettistica, Gioielleria, Piastre-Scultura,
Vetrofusione Industriale	Bagni e Box Doccia,Pareti, Separé, Porte, Finestre,Lavandini, Specchi e Plafoniere

PREZZI IN COMMERCIO

Vetrate	Da 650 euro al massimo di 1200euro al mq
Formelle 30x30cm	75 in su
Lavorazione Casting o Cera persa	20x30 dai 600 euro in su
Tavolino 96x96cm	1385 euro
Portafoto 20x25cm	30 euro
Ciondoli	Dai 5 euro in su

I prezzi variano in base ai tipi di vetri utilizzati.

SITOGRAFIA:

<http://www.hobbyland.eu/ita/cat/14/>

<http://www.chiaraferraris.com/>

<http://www.cediav.it/ita/vetri/desag.htm>

<http://www.teknokilns.it/>

<http://www.tornatiforni.com/ita/categoria.php?idc=1>

<http://www.robrosso.it/Vetrare.htm#design>

BIBLIOGRAFIA:

UTET_ L' ATLANTE DEL VETRO_ Schittich, Staib, Balkow, Schuler, Sobek

William Smith_ Scienza e Tecnologia Dei Materiali