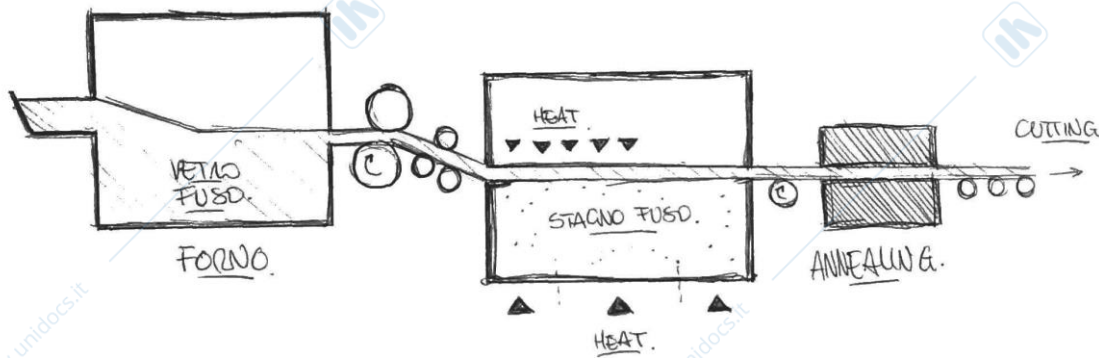


Flat Glass.

Sono state diverse le tecnologie implementate per la produzione di vetro piano nel corso degli anni. Quello attualmente utilizzato è il metodo di "float glass", che supera gli svantaggi delle altre tecnologie (costo, scarsa qualità superficiale) permettendo la produzione di superfici "piatte" (senza ondulazioni) e "parallele" (con spessore uniforme).



Il metodo di *float glass* fu messo a punto da Henry Bessemer nel 1850 e si basa sulla colata continua di vetro fuso proveniente dal forno su una vasca di metallo liquido, a contatto con il quale tende a raffreddare. Grazie alla diversa densità tra i due fluidi, il vetro fuso colato è in grado di galleggiare sul metallo liquido.

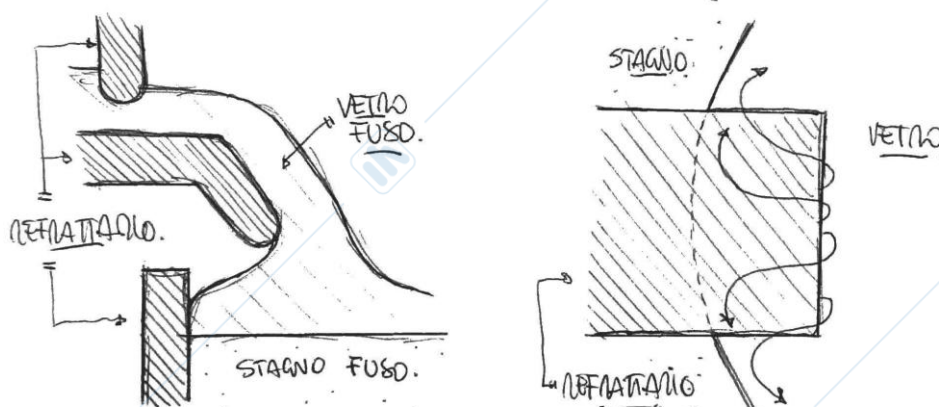
È l'equilibrio tra la forza di gravità, la tensione superficiale tra i due fluidi e tra gli stessi con l'atmosfera, oltre che la non interazione chimica tra vetro e metallo, a permettere di ottenere una superficie piatta e priva di distorsioni ottiche, oltre che determinare lo spessore del vetro in uscita. È anche grazie al controllo della temperatura nel bagno che è possibile l'eliminazione delle irregolarità superficiali ed il raggiungimento di uno spontaneo appiattimento nel tempo.

Il metallo utilizzato per la creazione della vasca è lo STAGNO, questo grazie alla sua temperatura di fusione (tra 500C e 1100C), la sua densità e bagnabilità nei confronti del vetro.

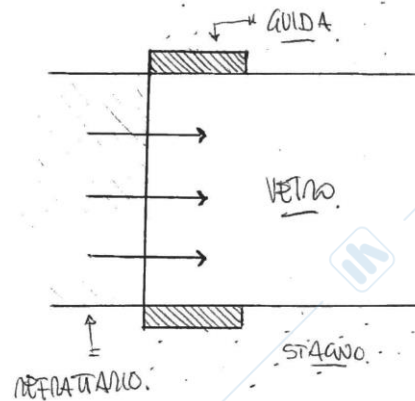
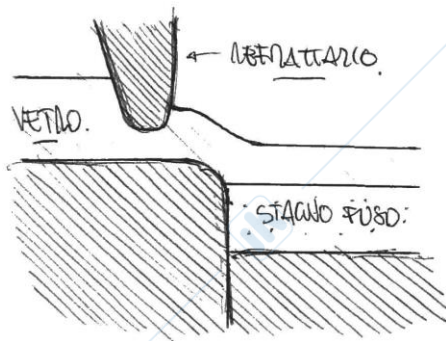
Sopra il bagno di stagno è necessario mantenere un'atmosfera riducente per ostacolare l'ossidazione del metallo, e un certo grado di pressione, per evitare l'entrata di ossigeno dall'esterno.

Ci sono due diversi metodi per trasportare il *melt* sullo stagno liquido. Essi sono:

- PILKINGTON PROCESS, dove il vetro passa sulla vasca con metallo tramite cascata. Si ha formazione di una "cipolla" causa l'interazione del *melt* con i bordi posteriori della vasca. Tali bordi sono in refrattario e tendono ad interagire con il vetro creando difetti.



- PPG PROCESS, dove il vetro passa invece tramite spinta dello stesso lungo l'asse principale del sistema. Si evita così la formazione della "cipolla" e di distorsioni superficiali.



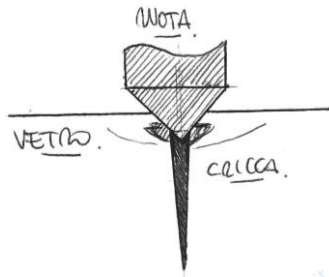
Entrambe le tecniche prevedono l'utilizzo di rulli laterali che sono in grado di definire lo spessore del vetro tramite allargamento o restringimento della sua larghezza.

>Problemi. Nonostante questa tecnologia sia in grado di realizzare superfici parallele, piane, lucenti e poco contaminate, ci sono diversi problemi legati al processo e legati alla:

- **PRESENZA DI OSSIGENO**, a causa dell'apertura del bagno di stagno che è direttamente a contatto con l'atmosfera. Lo stagno reagisce facilmente con O_2 , creando uno strato di ossido che interagisce con il vetro favorendo la sua adesione. Da questo contatto si genera uno strato ricco in Sn^{2+} ; quando poi il pannello di vetro va all'*annealing*, Sn si ossida nuovamente fino a Sn^{4+} . A causa del diverso volume tra i due stati di ossidazione dello stagno, si produce ritiro dimensionale e quindi la formazione di cricche superficiali che contribuiscono all'interferenza ottica (in particolare questo fenomeno rende opaca la superficie del vetro).
Un'altro inconveniente causato dalla presenza di ossigeno è che la solubilità dello stagno nello stagno varia con la temperatura. In particolare, all'entrata della vasca ($T > 1000^\circ C$) si ha una completa solubilità che tende a ridursi verso l'uscita ($T = 600^\circ C$), dove allora tende a crearsi SnO sottoforma di schiuma. La minore densità dell'ossido rispetto al metallo, lo fa galleggiare sulla vasca ma a causa dell'elevata interazione tra vetro ed ossido, esso rimane attaccato alla superficie del vetro e trasportato nelle fasi successive della produzione. In tal modo l'ossido entra in contatto con i rulli incaricati dell'estrazione del vetro, contaminandoli e generando la continua distribuzione di difetti superficiali sul vetro in uscita --> necessario bloccare la produzione --> notevole costo!
La presenza di atmosfera riducente ed il suo ricircolo favoriscono la bassa presenza di ossigeno a contatto con il bagno di stagno.
- **PRESENZA DI ZOLFO**, in generale proveniente dagli agenti di affinaggio (Na_2SO_4) ed in grado di migrare dal vetro fuso al bagno di stagno liquido. Si ha quindi un progressivo aumento della quantità di ioni solfato nella vasca, fino alla formazione di $SnSO_4$, che tende ad evaporare (causa elevata pressione parziale). Raggiunge quindi il tetto del forno, entrando in contatto con l'atmosfera riducente che ne provoca la riduzione in Sn metallico. Qui, in contatto con le pareti fredde tende a condensare e ricadere quindi sul *layer* di vetro sottoforma di goccioline, creando difetti.
È possibile arginare il problema riducendo la quantità di agenti di affinaggio (ma si rischia di ridurre la produttività del sistema) o disegnando il tetto in modo da minimizzare la superficie fredda e far sì che la condensazione dello stagno avvenga in zone sotto le quali non passa il vetro.

A seguito della zona del forno c'è la fase di *annealing*. Tale processo è necessario per consentire il raffreddamento uniforme in tutto il componente, traducendo il vetro fuso in solido ed evitando la formazione di stress residui che comportano la rottura.

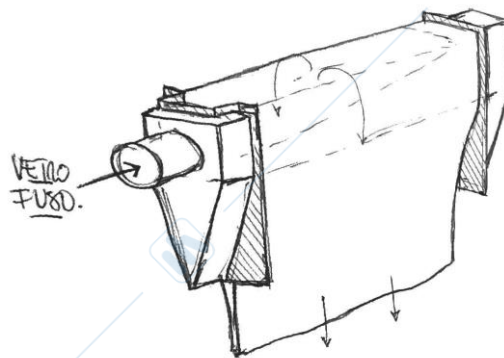
È un processo costoso e che, nel caso di vetro piano, è fatto in modo da realizzare un “profilo di tensioni ingegneristico”, ovvero tale da indurre un leggero stato compressivo sulle superfici e uno in trazione all'interno. Questo perché la fase di *cutting* successiva prevede prima la creazione di un'incisione e poi la sua apertura, e non un vero taglio. Perché tale fase vada a buon fine è necessario che la cricca creata tenda a propagare perpendicolarmente --> accade se non si esegue una non completa fase di annealing, favorendo così l'introduzione di un profilo di tensioni controllato, che permette tale propagazione. La fase di taglio è condotta in due step: (1) *cross cutting* del pannello nella sua larghezza, e (2) *eliminazione delle parti laterali*, in quanto sono le zone entrate in contatto con i rulli o i bordi in refrattario ed in generale sono di spessore inferiore.



Una volta che i pannelli sono stati tagliati vengono conservati (*storage*). Questa fase è molto delicata e deve essere svolta in modo da evitare il contatto diretto tra diversi pannelli e quindi la loro reazione, oltre che evitare l'introduzione di crepe.

Come illustrato è evidente che la produzione di lastre di vetro è complicata e richiede un continuo controllo dei parametri di processo. In particolare è fondamentale quello della temperatura, che tende ad assumere profili diversi sia longitudinalmente che trasversalmente rispetto la linea produttiva, ma anche il controllo della velocità di ingresso e di estrazione del vetro. Tali fattori infatti, se adeguatamente scelti, permettono di ottenere sia una viscosità che un profilo di temperatura ottimali.

>Vetro piano sottile. Ovvero la produzione di lastre di vetro con spessore compreso tra 0.03 e 2mm. A causa di tale caratteristica non può essere prodotto tramite *float process* ma per “*fusion process*” (Corning, 1968). Il processo consiste nel realizzare una fontana di vetro fuso che fa ricadere lo stesso verticalmente, permettendo la creazione del pannello sottile. Dato che tutto il processo è guidato dalla gravità e non si estrae il vetro in modo meccanico, non si verificano distorsioni nello spessore o insorgenza di difetti superficiali. Inoltre il processo non dipende dalla composizione del vetro e la qualità del pannello può essere migliorata con una adeguata miscelazione del vetro fuso (facilito omogeneizzazione).



>Vetro nelle costruzioni. Il vetro è utilizzato nelle costruzioni per la sua trasparenza, durabilità e durezza ma in particolare perché permette il contatto diretto con l'ambiente e la protezione da esso. Possono essere divisi in *tradizionali (basic e safety)* ed *innovativi*.

>Tradizionali. Permettono l'entrata di luce e calore dall'esterno.

- **BASIC**. Si tratta di vetro che viene utilizzato a seguito della loro produzione ed ha in generale impiego decorativo.

- SAFETY. Vetro particolare che permette la sicurezza nei confronti sia di impatti accidentali che volontari. Si tratta di:
 - Vetro laminato. È composto da lastre di vetro intervallate da un foglio di plastica speciale. È utilizzato per la sua resistenza agli urti, a carichi statici o dinamici ma anche impatti istantanei come i proiettili.
 - Vetro armato. Tale da incorporare una armatura metallica.
 - Vetro temprato. O indurito, contiene stress permanenti di tipo compressivo sulle superfici mentre c'è uno strato di trazione interno. È un vetro con elevata resistenza flessionale ed agli shock termici. La sua caratteristica principale è che se si frattura, non produce schegge ma tende a frammentarsi in tante particelle consumando l'energia di rottura in energia superficiale.
 - Vetro antifuoco. Ha lo scopo principale di dare più tempo alle persone di uscire da un edificio limitando il passaggio di fiamme, radiazioni e fumo. Si tratta di un vetro laminato particolare, caratterizzato da un layer di gel. Questo risulta trasparente in condizioni normali, mentre quando è in contatto con fonti di calore, tende ad assorbirlo ed opacizzarsi, impedendo passaggio radiazioni.

>Innovativi. Migliorano lo scambio di calore con l'esterno riducendo i costi di riscaldamento invernale e rinfrescamento estivo, e anche di luce, minimizzando l'utilizzo di luce artificiale.

Un vetro è classificabile in funzione del "solar factor" (SF), che indica la quantità di calore che attraversa il vetro stesso; è evidente che il valore di SF richiesto per un vetro varia in base alle condizioni climatiche. La soluzione attualmente utilizzata per consentire trattenimento del calore durante inverno e la sua eliminazione durante l'estate è quella del "vetrocamera". Si tratta di un doppio vetro che contiene aria o gas inerte.