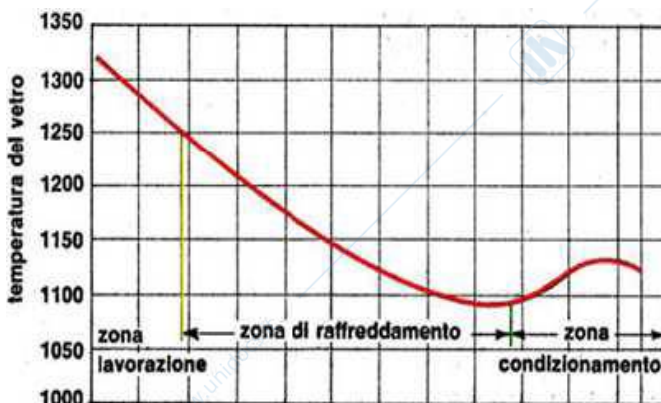
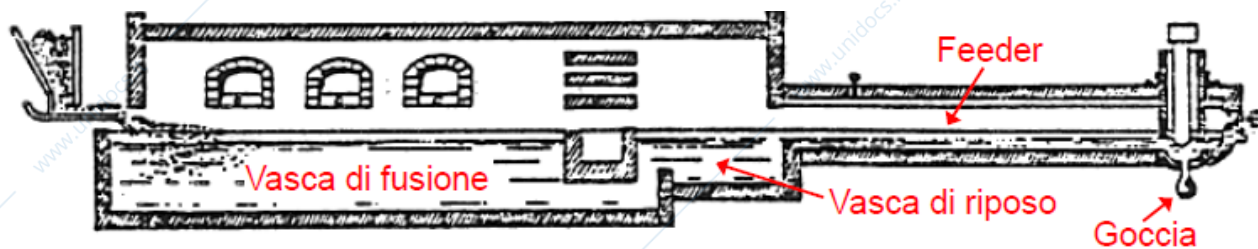


VETRO CAVO

La maggior parte della produzione mondiale di vetro serve per la fabbricazione di vetro cavo, cioè di contenitori di vario tipo e capienza per bottiglie, bicchieri, contenitori alimentari, per profumi, medicinali o reagenti chimici. In passato questi prodotti si ottenevano con il metodo manuale della soffiatura tramite una canna da soffio, in cui la prima parte della bottiglia che veniva formata era il fondo mentre l'ultima era l'imboccatura.

Attualmente il metodo più utilizzato è quello automatizzato diviso in 2 stadi (abbozzatura e finitura) che prevedono l'uso di due stampi diversi, e in cui la prima parte ad essere formata è l'imboccatura. Le funzioni a cui gli stampi devono assolvere sono: raffreddamento dell'oggetto prodotto per consentirgli di mantenere la forma e produzione di oggetti con buona qualità superficiale. Per ottenere questo, gli stampi devono possedere un insieme di caratteristiche: resistere alla corrosione da parte del vetro, evitare l'adesione del vetro (si usano lubrificanti), possedere una elevata conducibilità termica, ed essere facilmente lavorabili. Generalmente si usano stampi in acciaio al Ni-Cr o al W o leghe Cu-Ni. Poiché la superficie dello stampo a contatto con il vetro subisce delle brusche variazioni di temperatura, che si smorzano rapidamente all'interno della parete, allora la superficie esterna dello stampo viene raffreddata mediante aria, in modo tale da mantenere la temperatura della superficie interna più alta possibile e ottenere una buona qualità superficiale.

La formatura inizia con la produzione della porzione di vetro (detta posta o gob) a partire dal fuso, per gravità, sotto forma di goccia che verrà poi inserita e lavorata negli stampi. Per poter procedere alla fabbricazione di centinaia di migliaia di bottiglie identiche al giorno e di qualità ottimale, è necessario che la goccia di vetro arrivi alle macchine formatrici ogni volta con le stesse caratteristiche fisiche (cioè deve essere fornita sempre la stessa quantità di vetro, alla stessa viscosità e di conseguenza alla stessa temperatura). Per ottenere questo, si utilizza un forno fusorio a due vasche (una vasca di fusione a 1300°C e una vasca di riposo) in modo da omogeneizzare la temperatura del vetro nella zona del forno da cui viene estratto per essere mandato alle macchine formatrici. Con questa tipologia di forni si riesce anche a risparmiare dal punto di vista energetico ed economico, in quanto si riducono le correnti convettive all'interno del fuso, anche se il vetro prodotto avrà una qualità inferiore rispetto al vetro prodotto in forno con vasca unica, ma nel vetro per contenitori le caratteristiche ottiche non devono essere così ben sviluppate come nel caso del vetro piano.



Dopo la vasca di riposo si aggiunge un canale in refrattario (detto *feeder* o *forehearth*) che ha lo scopo di portare la T alla T di alimentazione (circa 1100°C) e di omogeneizzarla. Per poter ottenere una temperatura ottimale della goccia, il vetro viene prima raffreddato, poi leggermente riscaldato con dei bruciatori e mantenuto in agitazione per essere sicuri che abbia una temperatura il più possibile omogenea in tutto il volume. Inoltre, nel feeder il vetro può essere colorato, aggiungendo dei vetri bassofondenti intensamente colorati (fritta).

Al termine del feeder c'è una vaschetta forata dalla quale il vetro fuso cola per gravità. L'uscita della goccia è regolata dal movimento verticale di un pistone in refrattario. Coassiale al pistone si trova un tubo refrattario rotante, che serve a ridare l'omogeneità termica al vetro fuso, compromessa dal movimento del pistone. Il vetro fuso spinto dal punzone attraverso il foro viene poi tagliato da cesoie di acciaio o WC raffreddate ad acqua, formando così la goccia.

La temperatura di goccia è una delle variabili più importanti del processo: più è bassa, meno calore bisogna asportare durante la formatura. Tuttavia se è troppo bassa impedisce una corretta distribuzione vetro. Esiste una formula sperimentale che lega la temperatura di goccia al peso W della bottiglia:

$$T_{goccia} = A \cdot W^a$$

con A ed a (negativo) costanti che dipendono dal tipo di vetro e di processo.

Un altro parametro importante è il diametro dell'anello che è subordinato al tipo di contenitore e al diametro dello stampo abbozzatore. La lunghezza della goccia e il diametro dipendono dal tipo di contenitore, c è una forma ottimale per ogni tipo di contenitore anche per l'entrata nello stampo. La quantità di materiale dipende dal contenitore da formare. La forma della goccia dipende da numerose variabili, quali: temperatura del vetro, tempo base del canale, altezza del tubo, altezza del punzone, peso del vetro, corsa e diametro del punzone, altezza del taglio, diametro anello.

Una tra le prime macchine per la produzione dei contenitori di vetro è la macchina a sezione singola o I.S. in cui la goccia di vetro fuso viene portata allo stampo abbozzatore. L'elevata produzione è dovuta al fatto che lo stampo abbozzatore produce un nuovo abbozzo mentre quello finitore soffiava quello precedente. Un altro vantaggio che si rivelò determinante nell'economia della macchina è il fatto che ogni sezione lavora indipendentemente da tutte le altre e quindi la manutenzione di una sezione non blocca tutta la produzione.

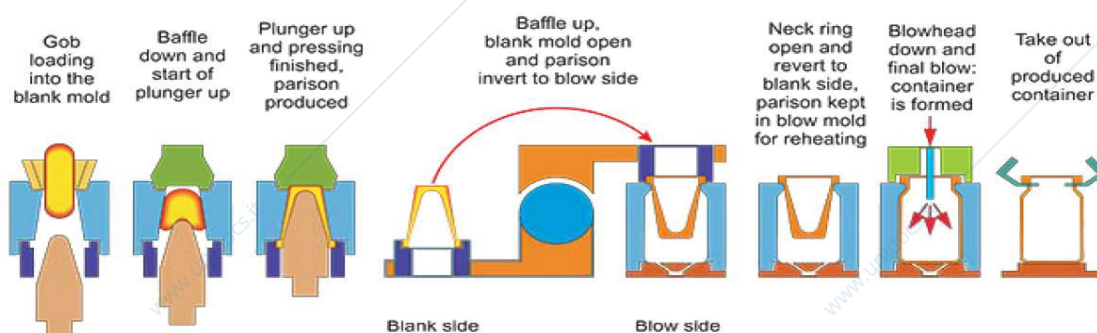
Una volta formata la goccia, questa viene portata nello stampo abbozzatore tramite canali in acciaio (rivestiti di grafite o resina epossidica) che si muovono e vengono posizionati con estrema accuratezza sopra il foro di entrata dello stampo corrispondente alle varie sezioni individuali. Viene fatta particolare attenzione alla costanza della velocità di entrata della goccia nello stampo, per garantire costanza di prodotto.

Una volta che arriva la goccia nello stampo abbozzatore (*blank mold*) che è posto a testa in giù, ci sono 2 modi diversi di generare l'abbozzo (*parison*):

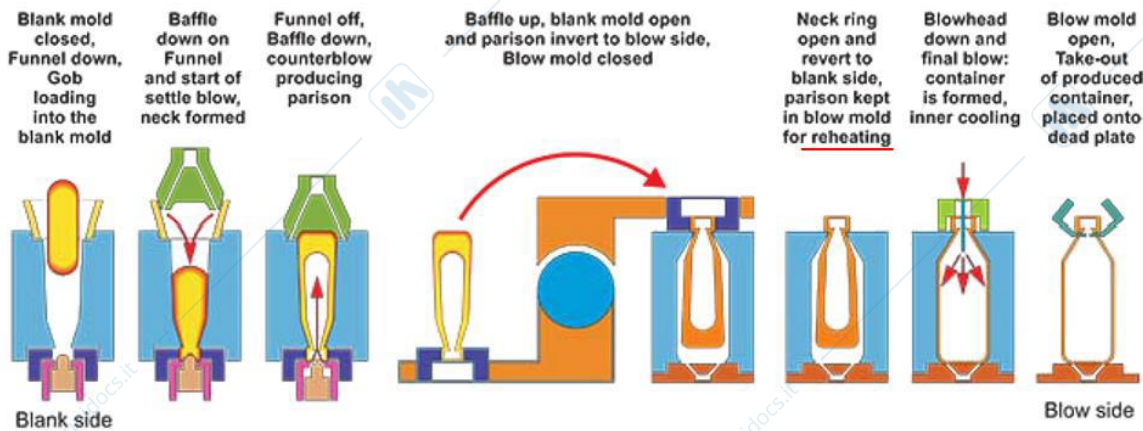
- 1) Pressando (processo presso-soffio, *press-blow*)
- 2) Soffiando (processo soffio-soffio, *blow-blow*)

In entrambi i processi, prima di soffiare nello stampo finitore, si deve aspettare un breve tempo per consentire alla T dell'abbozzo di uniformarsi.

Nel processo PRESSO-SOFFIO la formatura nello stampo abbozzatore è realizzata tramite un punzone (*plunger*) di forma e dimensioni opportune.



Nel processo SOFFIO-SOFFIO, per essere sicuri che la goccia in arrivo riempia bene lo stampo nella zona della bocca, viene applicata una pressione tramite aria compressa prima di soffiare dal basso. L'abbozzo viene trasferito da una fase all'altra, sostenuto dal solo collarino poiché è in grado di mantenere la forma acquisita senza deformarsi, in quanto il vetro che ne costituisce la superficie è diventato sufficientemente rigido.



Il ruolo dello stampo finitore è solo quello di conferire all'oggetto la forma esterna desiderata e di abbassare la temperatura del vetro ad un valore tale da evitare successive deformazioni, mentre la qualità è determinata principalmente dall'abbozzatore in cui la T deve essere uniforme altrimenti con il soffiaggio non si ottengono rapporti di stiro omogenei.

Per quanto riguarda la velocità di macchina, questa è legata alla curva η vs. T (che a sua volta dipende dalla composizione): un vetro lungo richiede un maggiore tempo di lavorazione e quindi si avrà una minore velocità di produzione. Tramite la formula di Lyle, si può risalire alla velocità di macchina.

Una singola sezione della macchina I.S. lavora essenzialmente in tre fasi, ciascuna delle quali richiede un determinato tempo:

- 1 fase di formatura dell'abbozzo (dall'istante di caduta della goccia nello stampo fino al momento della apertura dello stampo abbozzatore);
- 2 fase di riscaldamento (dall'apertura dello stampo abbozzatore fino all'inizio della soffiatura finale);
- 3 fase di soffiatura finale (dall'inizio della soffiatura finale fino all'apertura dello stampo finitore).

Il tempo di lavorazione è la somma di questi tre tempi parziali, ma è diverso dal tempo di produzione di ogni singola sezione della macchina (intervallo di tempo tra la caduta di due gocce successive) in quanto una goccia entra nello stampo abbozzatore mentre nello stampo finitore avviene la soffiatura della goccia precedente. Lo stadio più lento del processo di formatura che ne determina poi la velocità di macchina, è quello di riscaldamento dell'abbozzo all'interno dello stampo finitore e della successiva formatura e raffreddamento del contenitore finito.

Per quanto riguarda lo scambio di calore, esso avviene essenzialmente per pura conduzione tra aria-vetro-stampo, e per sola convezione attraverso lo strato d'aria tra il vetro che si è contratto e lo stampo dilatato. Si ha poi un passaggio di calore dall'interno alla superficie del vetro e quindi il vetro si ri-dilata ma comunque non raggiunge i valori iniziali.

Quando la viscosità ha raggiunto un valore di circa $10^{7,6}$ poise (punto di Littleton, a circa 700°C) il contenitore non si deforma più sotto il proprio peso né al contatto con il nastro trasportatore, per cui può essere estratto dallo stampo tramite delle pinze che lo sollevano e lo trasportano al di sopra di un piatto forato (*dead plate*), ove si raffredda ulteriormente per mezzo di aria ventilata attraverso i fori, per essere quindi messo su di un nastro trasportatore metallico verso il forno di ricottura.

Spesso, dopo la formatura e prima della ricottura, vengono realizzati dei trattamenti superficiali a caldo a base di ossido di stagno (con spessore pari a circa 10nm in modo da non creare difetti ottici) per generare una superficie resistente al graffio e più aderente alle cere che vengono spruzzate dopo la ricottura. Ciò consente anche di ridurre gli spessori e di ottenere un contenitore più leggero a parità di resistenza.

Successivamente si passa alla ricottura che serve ad eliminare le tensioni generate durante la formatura del contenitore, tramite riscaldamento a circa 650°C e raffreddamento lento e controllato sino a circa 100°C.

Dopodichè si effettua un trattamento a freddo che consiste nella spruzzatura di cere organiche (emulsioni acquose a base di polietilene, o di oleati, stearati, glicoli) sull'esterno del contenitore che lo protegge aumentando la lubrificazione della superficie, riducendo il danneggiamento (*scratching*) da contatto vetro-vetro o vetro-metallo, ed impedendo l'adesione (*sticking*) dei contenitori quando vengono movimentati nel nastro trasportatore. Il doppio rivestimento ottenuto a caldo ed a freddo, è invisibile e produce una superficie del contenitore che è virtualmente non graffiabile, fintantoché il rivestimento non viene rimosso.

I contenitori vengono poi sottoposti a controllo di qualità (della dimensione, dei difetti, della resistenza ed un controllo statistico qualità) ed eventualmente ad ulteriori lavorazioni di decorazione come ad esempio serigrafia, sabbiatura, satinatura con acidi o verniciatura. Dai controlli si possono individuare 4 classi di difetti:

- difetti critici: compromettono l'integrità fisica dell'utilizzatore (sicurezza);
- difetti funzionali: non permettono conservazione del prodotto;
- difetti primari: generano rotture in produzione;
- difetti estetici: aspetto del contenitore.

Una incartonatrice imballa i contenitori in scatole di cartone ondulato che vengono inviate poi ad un pallettizzatore, in cui vengono impilate secondo una configurazione disposta in modo tale da assicurarne la stabilità.