

POLYETHYLENE

Rotomolding

APPLICATIONS



Rotomolding

APPLICATIONS

Il Rotomolding di Versalis

Versalis Rotomolding

PRINCIPI DI BASE DEL ROTOMOLDING

Lo stampaggio rotazionale è un processo particolarmente utilizzato per la produzione di oggetti cavi in materiale termoplastico. Il materiale polverizzato viene introdotto nello stampo; lo stampo viene successivamente chiuso, riscaldato e raffreddato mentre esso ruota intorno a due assi ad angolo retto o mutualmente perpendicolari. Durante la fase di riscaldamento (tempo di permanenza nel forno), la polvere prima fonde parzialmente formando un film poroso sulla superficie interna dello stampo; questo gradualmente cresce fino a formare uno strato omogeneo con lo spessore voluto.

Lo stampo deve stare nel forno per un tempo sufficiente per permettere al materiale di essere uniformemente distribuito e totalmente fuso; continuando a ruotare, viene successivamente posizionato nella zona di raffreddamento. Il raffreddamento avviene per ventilazione forzata o per getti di acqua oppure per una combinazione di entrambi. Quando lo stampo è freddo, viene posizionato nella zona di lavoro per essere aperto. Dopo l'estrazione del manufatto, lo stampo viene caricato per un ciclo successivo.

THE BASIC PRINCIPLES OF ROTOMOLDING

Rotational moulding is a process which is used particularly for the production of hollow objects from thermoplastic materials. The powdered material is put into a mould; the mould is then closed heated and cooled as it rotates around two perpendicular axes, at right angles to each other or mutually perpendicular. During the heating phase (residence time in the oven), the powder first partially melts and forms a porous film on the inner surface of the mould; this then gradually builds up until a homogeneous layer with expected thickness is formed.

The mould has to stay in the oven long enough to allow the material to be evenly distributed and completely molten; it is then moved to the cooling area where the rotation continues. The cooling is carried out by forced ventilation or by water spray or a combination of both. When the mould is cold, it is moved to the working area where it is opened. After the finished part has been removed, the mould is loaded for the next cycle.

Alcune principali differenze che caratterizzano lo **stampaggio rotazionale** rispetto al processo di soffiaggio o stampaggio ad iniezione sono:

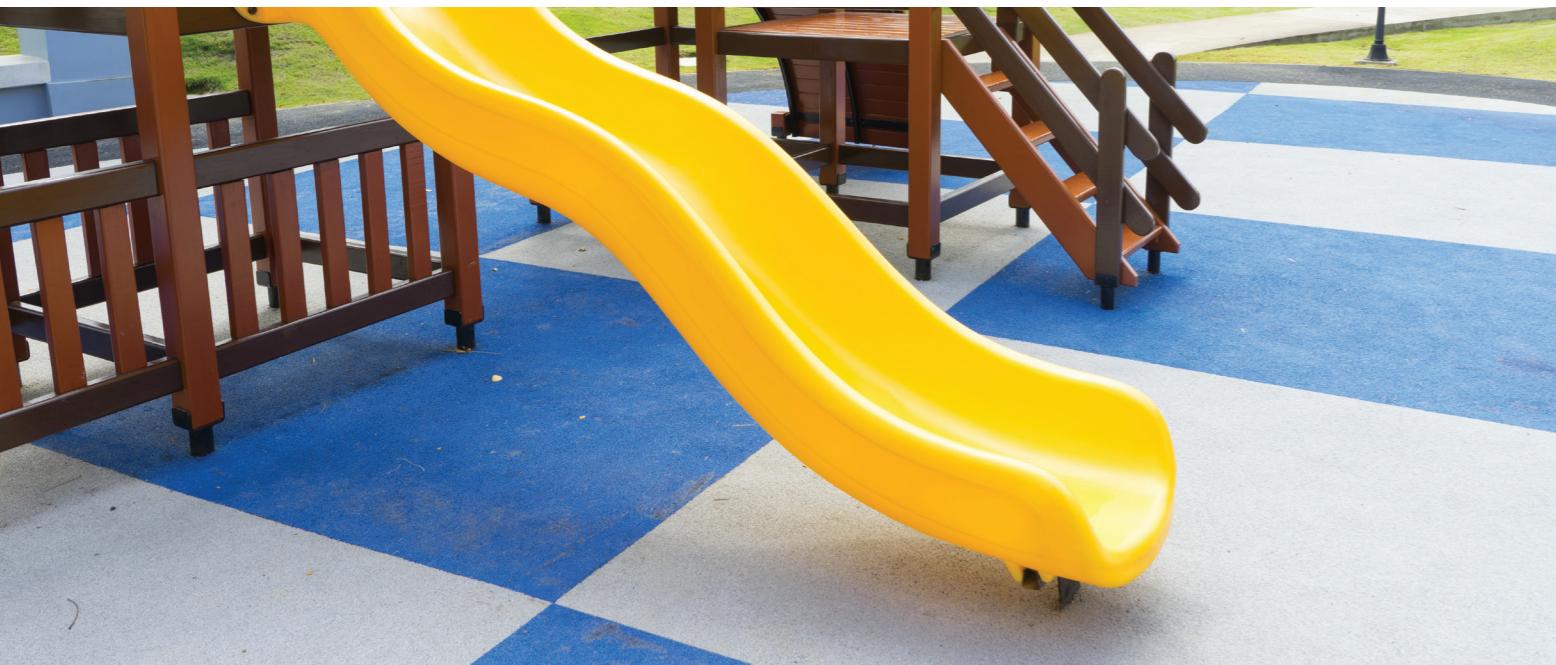
- l'utilizzo di polimero in polvere invece del granulo;
- il materiale fuso si trova all'interno di uno stampo chiuso. Nello stampaggio ad iniezione il materiale è introdotto sotto pressione all'interno dello stampo;
- l'utilizzo di una modellazione rotazionale biaxiale;
- libertà nella forma degli stampi, che non è possibile con gli altri sistemi di stampaggio;
- l'utilizzo di stampi economici in accordo con l'assenza di pressione durante il processo. Il manufatto viene rimosso dallo stampo teoricamente senza generare alcuno stress.

MOTIVI PER LA SCELTA DELLO STAMPAGGIO ROTAZIONALE

Quando viene scelto il tipo di stampaggio, in relazione al tipo di applicazione, è necessario considerare vari parametri. I più importanti sono:

- forma e disegno del manufatto;
- dimensioni del manufatto;
- peso del manufatto;
- tempo di ciclo previsto.

Lo **stampaggio rotazionale** può essere impiegato per produrre praticamente qualsiasi forma purché cava. Questo non è troppo limitante se si considerano le tecniche in cui una forma cava possa riprodurre apparentemente un manufatto pieno, es. parasoli e braccioli per auto. Manufatti apparentemente chiusi possono essere tagliati in due o più parti e aperti.



Some of the basic differences which characterize **rotational moulding** in comparison to processes such as blow or injection moulding include:

- the use of polymer powders instead of granules;
- the material melts within the closed mould. In injection moulding the material is introduced in molten form under pressure;
- the use of mould biaxial rotation;
- freedom of mould design, which is not possible with other moulding systems;
- the use of inexpensive moulds due to the absence of pressure during processing.

The finished parts are removed from the mould with virtually no residual moulding stresses.

CRITERIA FOR CHOOSING ROTATIONAL MOULDING

When selecting the method of moulding, related to a determined application, it is necessary to consider various parameters.

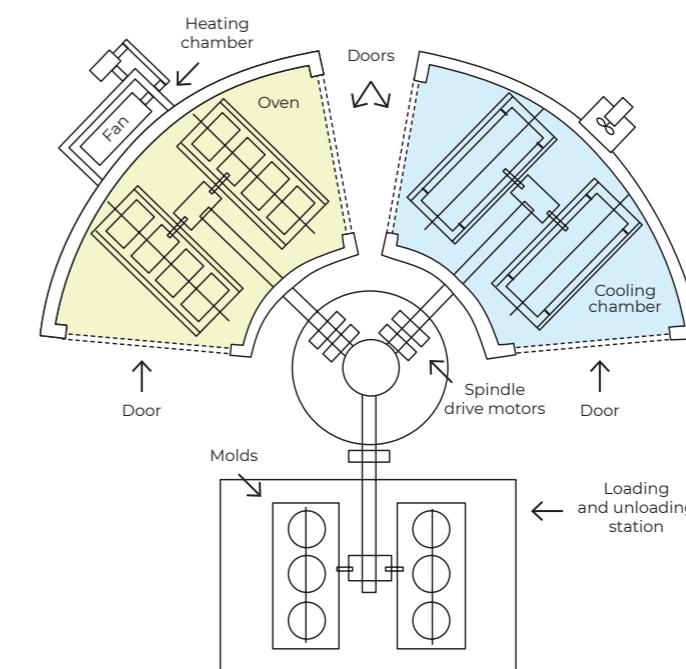
The most important are:

- shape and design of the part;
- part dimensions;
- part weight;
- expected moulding time.

Rotational moulding may be employed to produce practically any shape, as long as it is hollow. This may not be too limiting if one considers all techniques by which a hollow design may be used to produce an apparently solid item, ex. sunshades and armrests for automobiles. Items which are apparently closed may also be cut into two or more open parts.

Fig.1

Schema di una linea da stampaggio rotazionale
Schema for a typical rotational moulding line



L'esclusiva libertà di progettazione nello **stampaggio rotazionale** è una delle principali differenze rispetto le altre tecniche di stampaggio. Nello **stampaggio rotazionale** non vi sono alte pressioni in fase di stampaggio, le varie parti del manufatto tendono a ritirarsi e staccarsi dalla superficie dello stampo. Gli oggetti da stampaggio rotazionale possono essere di varie dimensioni, sebbene le grandi dimensioni siano quelle ideali.

Gli oggetti piccoli sono generalmente prodotti a basso costo su macchine più veloci (iniezione e soffiaggio) se la produzione è sufficientemente alta da giustificare gli alti costi di investimento. Quando c'è una domanda limitata o la richiesta di un prototipo, è meglio utilizzare la tecnica dello **stampaggio rotazionale** perché è più economica. È possibile stampare oggetti pesanti centinaia di chili e superiori ai tre metri di diametro con il polietilene. Con il soffiaggio e lo stampaggio ad iniezione, non è possibile produrre oggetti di questo tipo. La dimensione massima di un manufatto da **stampaggio rotazionale** dipende solo dalla grandezza del forno e dalla capacità della macchina.

The exclusive design freedom offered by **rotational moulding** is one of the most significant differences in comparison to other moulding processes. In **rotational moulding** there are no high pressures for the moulding so the moulded parts tend to shrink and to detach from the mould wall. Rotational moulded objects may be of any dimension, although larger parts are ideal with this technique.

The smallest parts are generally produced at a lower cost on high rate machines (injection and blow), if the number of parts is high enough to justify the higher investment cost. When the number is limited, or there is a request for prototypes, it is better to use the **rotational moulding** technique because of the lower mould cost. It has been possible to mould items weighing several hundred kilograms and with up to a three meter diameter, with polyethylene. With blow and injection moulding techniques it would not have been possible to produce such objects.

The maximum dimensions of a **rotational moulded** part depends only on the oven dimensions and on the machine capacity.

LO STAMPAGGIO

Il tempo di ciclo è il parametro che viene preso in considerazione quando si sceglie la tecnica migliore di stampaggio.

Anche se lo **stampaggio rotazionale** non può essere competitivo con gli altri processi di grande produzione (1.000.000 o più pezzi per anno), è certamente vantaggioso per piccole produzioni, dove il costo dell'equipaggiamento ha una certa importanza.

Le dimensioni e la forma invece, sono fattori determinanti per la produzione di grandi oggetti.

Lo **stampaggio rotazionale** è adatto per prodotti aventi un certo spessore (maggiore 20 mm); è meno adatto per prodotti a basso spessore perché anche se il processo genera relativamente un'uniformità di spessore, pezzi in polietilene sotto i 0,7 mm sono molto difficili da produrre.

In teoria lo **stampaggio rotazionale** permetterebbe di utilizzare un'ampia gamma di polimeri, ma in pratica le applicazioni sono limitate a causa della considerevole influenza della degradazione termica (in accordo col tempo di permanenza) sulle proprietà fisico meccaniche del prodotto. Le proprietà fisiche differiscono da quelle dello stampaggio ad iniezione, perciò i test dovrebbero essere fatti prima di scegliere il materiale da utilizzare.



THE MOULDING

Cycle time is one of the parameters that has to be taken into consideration when selecting the best working technique.

Even if **rotational moulding** cannot be competitive with other processes in large production runs (1,000,000 or more parts per year), its real advantageous in smaller runs where the equipment's low cost is an important factor.

The parts dimension and design instead, are deciding factors for the production of big series.

Rotational moulding is especially suitable for items with relatively thick walls (up to 20 mm); it is less suitable for items with thin walls because even though this process produces relatively uniform thickness, polyethylene items under 0.7 mm are very difficult to achieve.

In theory **rotational moulding** allows the use of a wide range of polymers, but in practice the applications are limited by the considerable influence of thermal degradation (due to the residence time in the oven) on the physical mechanical characteristics of the product. The physical characteristics of the part differ from those of injection moulded samples, therefore practical tests should be carried out before choosing the material to be used.



I VANTAGGI

È possibile creare prototipi di stampo per sperimentazioni senza una grande spesa. La produzione degli stampi è meno costosa rispetto a quelli utilizzati con alte pressioni (iniezione e soffiaggio).

Ci sono meno scarti.

È possibile produrre oggetti con rientranze, profili complicati e con una buona definizione delle superfici.

È possibile stampare simultaneamente prodotti identici o similari, differenti sezioni di una parte in vari colori su un braccio singolo.

È spesso possibile introdurre inserti in plastica o metallo come parti integranti del manufatto.

È possibile produrre oggetti a doppio strato.

È possibile stampare polietilene reticolabile.

Massima libertà nella progettazione del pezzo.

È possibile ottenere pezzi multistrato.

ADVANTAGES

It is possible to make prototype moulds for experiments with no great expense for the mould.

The production moulds are less expensive than those used in high pressure moulding (injection/blow).

There are less scraps.

It is possible to produce parts with recesses and complicated outlines, with good definition of the surfaces.

It is possible to mould simultaneously identical or similar items, different sections of one part in different colours on one single arm.

It is very often possible to introduce plastic or metal inserts as an integral part of the item.

It is possible to produce double-wall objects.

It is possible to mould cross linkable polyethylene.

Maximum part design freedom.

It is possible to obtain multilayer parts.

LIMITAZIONI

È impossibile cambiare rapidamente lo spessore, è necessaria una graduale transizione. È difficile mantenere bassi valori di tolleranza.

La variazione media dello spessore è di circa 5%.

È difficile produrre una grande quantità di pezzi.

LIMITATIONS

It is impossible to rapidly change thickness, as a gradual transition is necessary. It is difficult to maintain very close dimensional tolerances. The average variation of the thickness is around 5%.

It is difficult to produce large production quantities.



STAMPI PER STAMPAGGIO ROTAZIONALE

I materiali principalmente utilizzati nella produzione degli stampi sono: cast alluminio, nickel elettroformato, lastre di acciaio inossidabile e non.

Lo stampo in cast alluminio è generalmente usato quando è necessaria una migliore e maggiore uniformità di scambio termico e quando è necessaria una perfetta definizione dello stampo.

Gli stampi elettroformati sono ampiamente utilizzati per le produzioni che richiedono una fedele riproduzione della figura. Gli stampi in lastre d'acciaio sono generalmente i più economici e usati per semplici forme (es. cilindriche) e per grandi produzioni.

Gli stampi cast in alluminio generalmente hanno uno spessore di 6-8 mm mentre gli stampi ottenuti da lastre d'acciaio generalmente hanno spessore di 2-3 mm. Alcuni materiali per lo stampo sono flessibili a sufficienza da permettere l'inserimento di sottosquadri.

Alcuni materiali polimerici utilizzati in **stampaggio rotazionale**, ritirano sufficientemente facilmente l'estrazione dallo stampo, mentre altri, meno soggetti a ritiro, costringono a progettare gli stampi con un lieve angolo di sforo per agevolare il distaccamento del pezzo. Le caratteristiche di ritiro del polimero devono essere conosciute per progettare uno stampo che permetta la produzione di pezzi con i limiti di tolleranze richiesti.

MOULDS FOR ROTATIONAL MOULDING

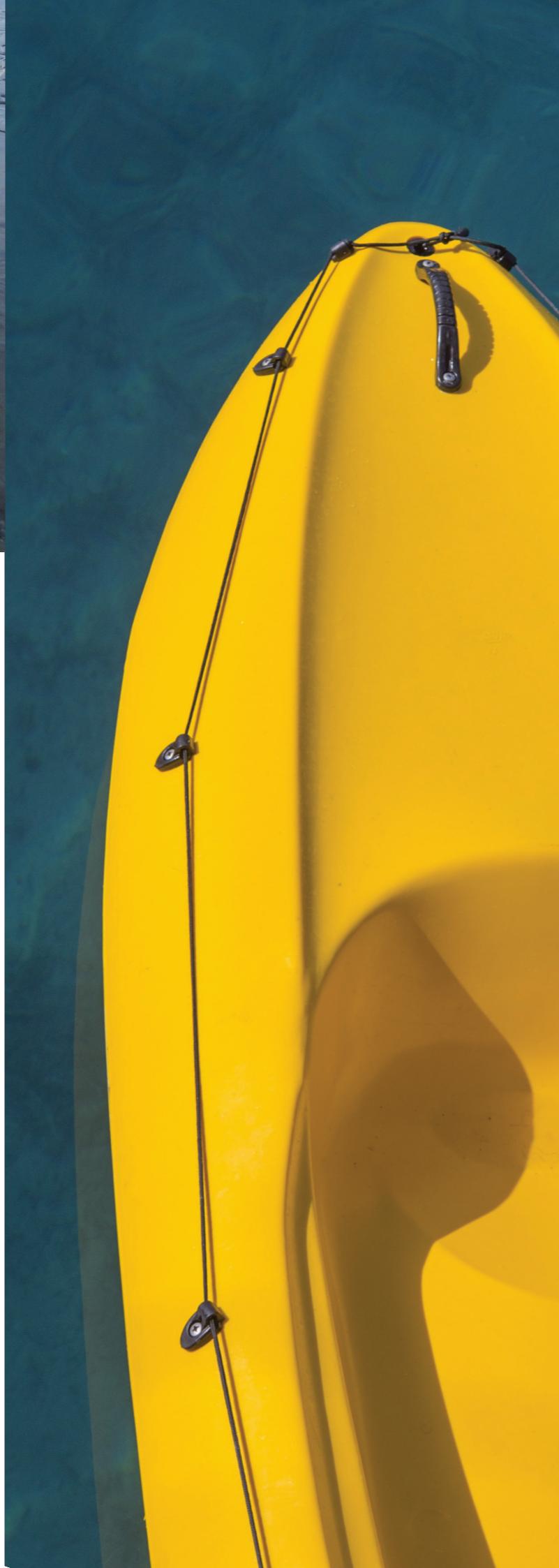
The materials which are mainly used for the production of the moulds are: cast aluminium, electroformed nickel, stainless and non stainless steel sheet.

The moulds in cast aluminium are generally used when a better and more even heat transfer is needed, and when perfect mould definition is necessary.

The electroformed moulds are widely used for products that require a perfect reproduction of the figure (surface finishing). Steel sheet mould is usually the most economical and is used for simple shapes (ex. cylindrical) and for extremely large products.

Cast aluminium mould usually have a thickness of 6-8 mm while sheet steel moulds are usually 2-3 mm thick. Some moulding materials are flexible enough to allow the inclusion of undercuts in the mould.

Some materials shrink very easily thus enabling an easy extraction, while others do not tolerate undercuts, and in this case the mould has to be designed with light draft angle in order to detach the finished part. The polymer's shrinkage characteristics has to be known in order to design a mould enabling the production of parts within the required tolerance limits.



Un ulteriore vantaggio del processo è la possibilità di produrre pezzi a doppia parete. Quando si utilizza la doppia parete, è necessario ricordare che quello interno, a causa degli effetti di ritiro, può deformarsi verso il cuore. Per semplificare la rimozione del pezzo, l'interno deve essere ben lubrificato e il pezzo deve essere estratto alla giusta temperatura.

Chi progetta componenti per lo **stampaggio rotazionale** deve considerare il tipo di superficie dello stampo e come nel caso di altre tecniche di stampaggio di materie plastiche migliore è la superficie dello stampo migliore sarà la finitura superficiale del pezzo.

Tutti i sopra menzionati stampi possono essere lucidati ma quelli elettroformati sono i più adatti per la migliore finitura superficiale.

Se si desidera una superficie opaca piuttosto di una lucida, la stessa superficie deve essere sabbiata. Gli stampi in alluminio, quando vengono trattati sotto le superfici, possono diventare porosi, invece le lastre di acciaio possono avere problemi di resistenza agli sforzi.

Another process advantages is the possibility of producing double wall items. When the double wall is employed, it is necessary to remember that the inner one because of the shrinkage, can shrink into the core.

In order to simplify the removal of the part, the core will have to be well lubricated and the part will have to be extracted at the right temperature.

The designer of the rotational moulded part has to consider the type of mould surface he can use because, as is the case with other plastic materials and moulding techniques, more is polished the mould surface, better is the surface of finished part.

All the above mentioned moulds may be polished, but the electroformed moulds are the most suitable for a high surface finish.

If a matt surface is desired instead of a bright one, the surface of the mould has to be sandblasted. Cast aluminum moulds may be porous under the surface when sandblasted, and sheet steel moulds may have stress problems.

TEMPO DI RISCALDAMENTO

Lo **stampaggio rotazionale** può essere termicamente definito come un processo di scambio termico in condizioni non stazionarie. Questo significa che la temperatura dello stampo non raggiunge mai l'equilibrio ma aumenta e diminuisce continuamente durante l'intero ciclo (fig. 2).

Anche se la temperatura della resina all'interno dello stampo continua a variare, è necessario ricordare che la bontà dello stampaggio dipende dal tempo di permanenza dello stampo nel forno. Il tempo in cui lo stampo si trova all'interno del forno viene chiamato "tempo di permanenza nel forno".

La prima fase di ciclo nel forno viene denominata "tempo di induzione" ed è il tempo necessario affinché lo stampo raggiunga la temperatura di fusione della resina. La seconda fase del ciclo è definita come "tempo di fusione" ed è il tempo richiesto per fondere completamente la resina.

OVEN RESIDENCE TIME CYCLE

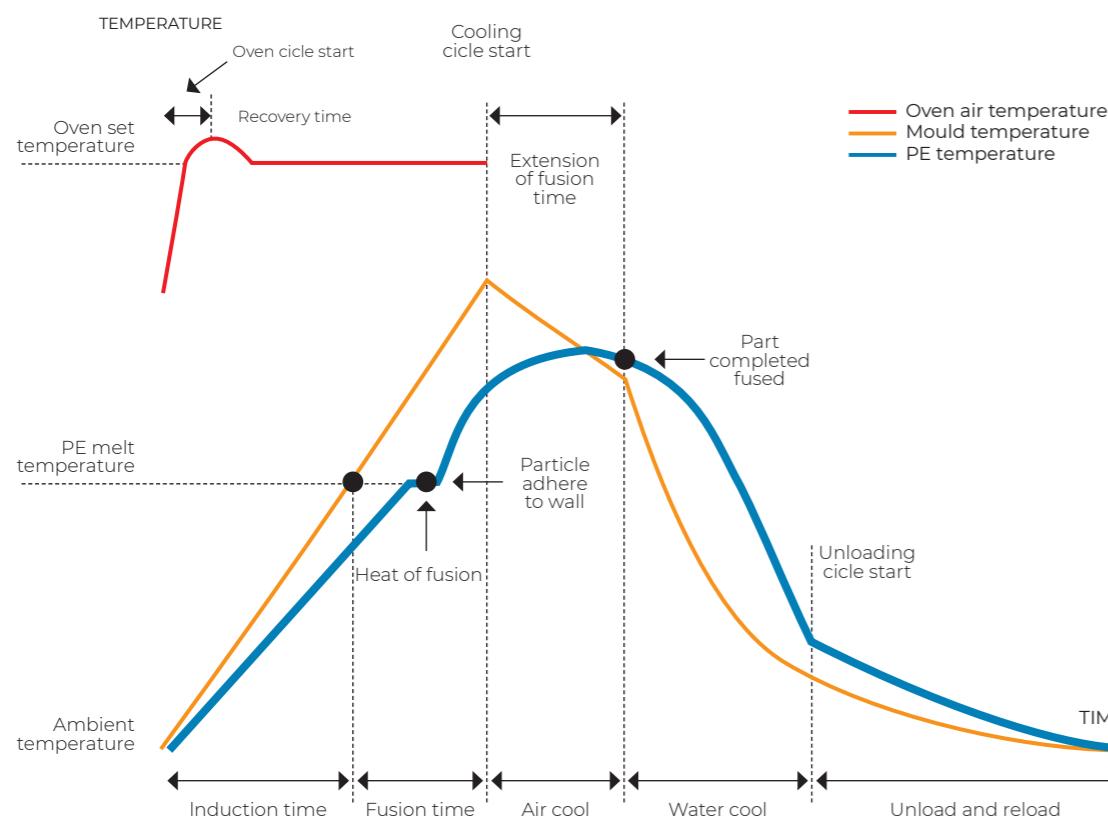
Rotational moulding may be thermodynamically classed as a heat exchange process in a non stationary condition. This means that the mould temperature never reaches equilibrium but continuously rises and falls during the whole cycle (fig. 2).

Even the temperature of the resin inside the mould continues to vary, so it is necessary to remember that a satisfactory moulding depends upon the mould residence time in the oven. The total amount of time passed by the mould in the oven is called "residence time in the oven".

The first phase of the cycle in the oven is called "induction time", and is the time necessary for the mould to reach the resin melting temperature. The second phase of the cycle is defined as the "melting time" and is the time required to melt the resin completely.

Fig. 2

Andamento della T di resina e stampo durante il ciclo di stampaggio
Relationship of mould and material temperature for typical cycle



TEMPO DI INDUZIONE

Il tempo di induzione dipende da un determinato numero di variabili, alcune delle quali sono elencate qui sotto:

- temperatura del forno;
- temperatura di fusione della resina;
- velocità di scambio termico in relazione alla superficie dello stampo;
- spessore dello stampo;
- rapporto tra superficie e volume dello stampo;
- coefficiente di scambio termico del materiale dello stampo;
- tempo di recupero del forno.

Il più diffuso sistema di riscaldamento è quello a circolazione di aria calda.

INDUCTION TIME

The induction time depends on a number of variables, some of which are listed below:

- oven temperature;
- resin melting temperature;
- speed heat transfer in relation to the mould's surface;
- mould thickness;
- ratio between surface and mould volume;
- heat exchange coefficient of the mould material;
- oven recovery time.

The most widespread heating system in use today is that of hot air circulation.



TEMPO DI FUSIONE

La seconda fase del ciclo di riscaldamento dipende da diverse variabili. Questi parametri sono elencati in ordine di importanza relativamente al loro effetto sul tempo di fusione:

- spessore del pezzo;
- temperatura del forno;
- velocità dell'aria di riscaldamento;
- rapporto tra la superficie dello stampo e il suo volume;
- dimensione della polvere;
- capacità di riscaldamento dello stampo per unità di superficie;
- temperatura della resina e calore di fusione.

MELTING TIME

The second phase of the oven cycle also depends on a number of variables. These parameters are listed according to their effect on the melting time:

- part thickness;
- oven temperature;
- heating air velocity;
- ratio between mould surface and its volume;
- resin powder particle size;
- mould heat capacity per surface unit;
- resin melting temperature and heat of fusion.



Ognuno di questi fattori ha un impatto sul tempo di fusione e sulla qualità del pezzo finito. Parleremo di ognuno di questi punti per vedere esattamente quanto questi influenzino il processo e cosa possa essere fatto per ottimizzare il ciclo. Il tempo di fusione è funzione diretta dello spessore della parete del pezzo da stampare.

In fig. 3 è illustrato l'effetto del tempo di permanenza nel forno come funzione diretta dello spessore del pezzo. Generalmente lo spessore non è un parametro che si può arbitrariamente variare perché dipende dalle caratteristiche finali di utilizzo. Tuttavia la temperatura del forno ha un considerevole effetto sul tempo di fusione.

La velocità di fusione può essere innalzata in alcuni casi incrementando per esempio la temperatura del forno da 200°C a 300°C, come in figura.

Each of these factors has an impact on the melting time and on the quality of the finished part. We will talk about each one of them to see exactly how they influence the process, and what may be done to optimize the cycle.

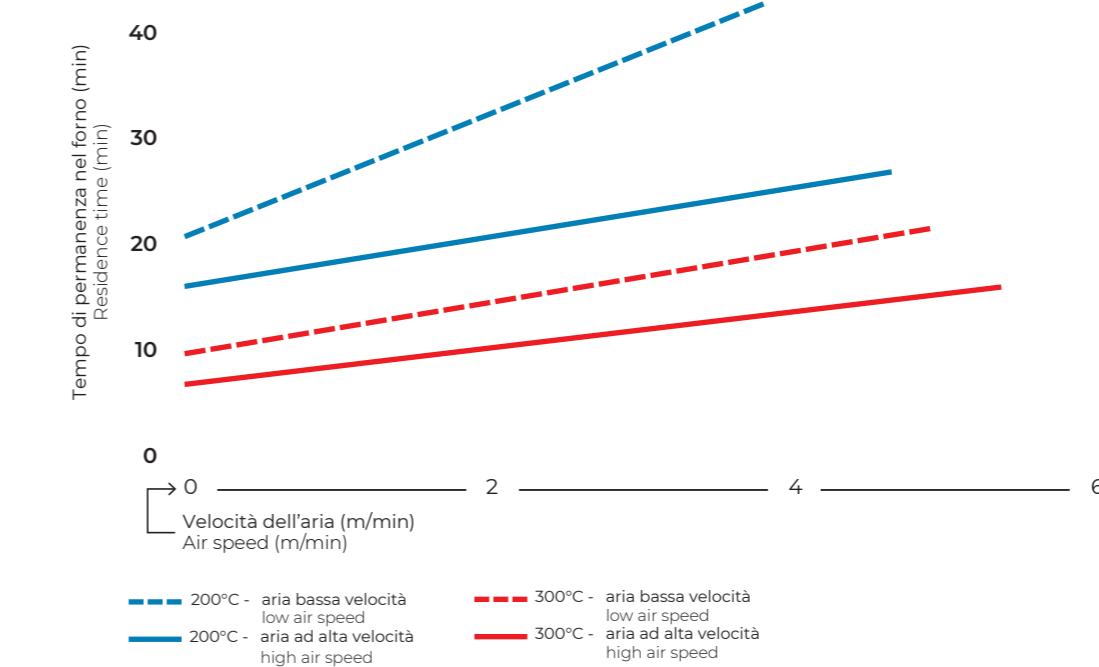
The actual melting time is a direct function of the moulded part wall thickness.

Fig. 3 illustrates the effect on the residence time in the oven as a function of the part thickness. Usually thickness is not a parameter which may be arbitrarily varied because it is dependent on the final use requirements. Also the oven temperature has a considerable effect on the melting time.

The melting speed may be considerably increased in some cases by raising for example the oven temperature from 200°C up to 300°C.

Fig. 3

Tempo di permanenza vs. spessore (funzione di temperatura e velocità dell'aria)
Residence time vs. thickness (as a function of air temperature & velocity)





La variazione del tempo di permanenza nel forno, intuitivamente può rappresentare la chiave per migliorare la produttività. Questo ovviamente richiede un aumento della temperatura del forno: è comunque necessario evitare di portare il forno a temperature eccessivamente elevate per accelerare il ciclo. È possibile dimostrare che queste azioni migliorano la produttività ma penalizzano il risparmio finale e possono causare costi aggiuntivi dovuti alla manutenzione dello stampo e all'incremento degli scarti dovuti a degradazione del polimero.

Il tempo di fusione è influenzato anche dalla dimensionale delle particelle. Infatti una dimensionale maggiore richiede un tempo maggiore per fondere il polimero. Questo avviene perché si riduce la superficie di contatto tra la superficie riscaldata dello stampo e le particelle non fuse. La differenza di superficie di contatto diviene poco influente per polveri aventi il diametro delle particelle inferiore a 500 µm.

La temperatura di fusione della resina e il rapporto superficie/volume dello stampo, sono generalmente parametri fissati perché dipendono dal tipo di resina utilizzata e dall'utilizzo finale e anche se influenzano il tempo di ciclo, essi non possono essere facilmente modificati per migliorare. Il valore ottimale della velocità dell'aria di riscaldamento è un parametro fissato dal costruttore dell'impianto ed è il risultato di lunghe prove. Questa velocità è molto importante perché influenza considerevolmente il tempo di riscaldamento dello stampo.

Lo spessore ed il tipo di materiale utilizzato per lo stampo dipendono dalla forma del pezzo, dal costo, dalla durata e dall'equipaggiamento disponibile. Normalmente con uno stampo di un certo spessore, i cicli sono lunghi ma lo stampo dura di più e le linee del pezzo risultano di miglior aspetto comportando una minore manutenzione.

The variation of the residence time in the oven, logically, can represent the key to improve the productivity. However it is necessary to avoid bringing the oven to excessively high temperatures to accelerate the cycle. It can be shown that these actions improve productivity, but the resulting savings could be lost due to the higher cost of mould and machine maintenance, and the part could be ruined due to thermal degradation, as a consequence of high the temperature.

The fusion time is also influenced by the particle sizes. In fact, a greater dimension requires longer time for the melting of the polymer. This occurs because the contact area between the heated mould surface and the non molten particles is reduced. The difference in the contact area becomes a minor factor for powders with a particle diameter under 500 µm.

The resin fusion temperature and the surface/volume ratio of the mould are usually fixed parameters because they depend on the resin used and on the end use, and even if they influence the cycle time they cannot be easily modified in order to improve. The optimum heating air velocity value is a parameter fixed by the machinery manufacturer and is the result of detailed evaluations. This velocity is very important because it considerably influences the heating time of the mould.

The thickness and the kind of material employed for the mould are determined by the shape of the part, the cost, the expected life, and the equipment availability. Normally with a thicker mould wall, the cycles are longer but the mould life is longer, and the parting line has a better aspect, and there is less maintenance.

L'importanza di questi singoli fattori deve essere valutata per ogni singolo caso tenendo sempre in considerazione il numero di pezzi richiesti e l'aspetto superficiale. Il tempo di recupero del forno è il tempo necessario al forno per riprendere la temperatura prefissata dopo aver introdotto uno stampo freddo al suo interno. Il tempo dipenderà dal peso dello stampo e dalla sua temperatura al momento dell'ingresso nel forno, dalla temperatura impostata del forno e dalla capacità dei bruciatori. Un tempo di recupero sotto il minuto è considerato normale.

Miglioramenti sono stati fatti per ridurre il tempo di permanenza nel forno essendo esso un parametro chiave del ciclo completo. Infatti l'utilizzo di resine più stabili ha permesso di utilizzare processi ad alte temperature e l'avanzamento tecnologico nella costruzione degli stampi ha permesso l'uso di pareti più sottili senza ridurne la durata e bruciatori di dimensioni maggiorate e dalla forma migliorata hanno migliorato il coefficiente termico nei nuovi forni.

DETERMINAZIONE DEL TEMPO OTTIMALE DI PERMANENZA NEL FORNO

Questo valore è generalmente determinato da esperimenti. Il miglior metodo è quello di caratterizzare i pezzi stampati prodotti con differenti cicli, mediante un esame ottico seguito da prove meccaniche. Un pezzo correttamente stampato deve possedere ottime proprietà meccaniche come: resistenza all'impatto a basse temperature e resistenza allo sforzo a rottura. Inoltre, la superficie interna deve essere liscia, piatta e dello stesso colore di quella esterna.

Se il ciclo è troppo corto, il pezzo stampato non sarà completamente compatto presentando una superficie polverosa con piccole bolle d'aria al suo interno. Inoltre presenterà bassi sforzi finali in trazioni e urto. Al contrario se il ciclo è troppo lungo il pezzo stampato avrà una superficie interna liscia ed ingiallita, un forte odore acido e si avrà un decremento sia del MFR che in termini di proprietà meccaniche. Questo dimostra la degradazione termica in relazione all'ossidazione. Un'altra grandezza influenzata dal tempo di permanenza nel forno è la resistenza all'impatto.

The importance of each of these factors has to be evaluated for every single case always considering the number of parts required and the surface aspect. The oven recovery time is the time necessary for the oven to regain the set temperature, after having introduced a cold mould into the oven. Such time will vary according to the mould weight, to its temperature when introduced into the oven, to the oven set temperature and to the capacity of the burner. A recovery time under one minute is considered as a normal time.

As the key parameter of the complete cycle is the residence time in the oven, efforts have been made in order to reduce it. In fact improved stabilization of the resins has enabled the use of higher processing temperatures, and a more advanced technology in the construction of moulds has enabled the use of thinner walls with no reduction of mould life and larger burners with improved design have improved the thermal efficiency of the new ovens.

DETERMINATION OF THE OPTIMUM RESIDENCE TIME IN THE OVEN

This value is generally established by trials. The best method is that of the characterization of the moulded parts, produced with different cycles, by a visual examination of the pieces, followed by mechanical testing. A part moulded correctly has to reach the optimum of mechanical characteristics, such as: impact resistance at low temperatures and tensile strength at break. Besides, the inner surface must be smooth, dull and of the same colour as the outer one.

If the cycle is too short, the moulding will not be fully compact, have powdery surface with small inner air blisters. Besides, it will present lower ultimate tensile stress (U.T.S.) at break and izod resistance. On the contrary, if the cycle in the oven is too long, the moulding will have a smooth or yellowed inner surface, a strong acid smell, and will show a decrease in MFR and reduced mechanical characteristics. This shows a degradation of the resin due to thermal oxidation. Another important property which is affected by the residence time in the oven is the impact resistance.

Essa aumenta gradualmente man mano che la resina viene fusa finché si arriva ad un tempo in cui questa caratteristica risulta ottimale. Questo intervallo generalmente va da subito prima la completa fusione, quando le piccole bolle d'aria si presentano concentrate principalmente sulla superficie interna della parete, fino a quando la resina è completamente fusa senza che avvenga una degradazione termica. Se il riscaldamento continua dopo questo punto, avviene una rapida degradazione causando il decadimento delle proprietà meccaniche.

Una caratteristica abbastanza comune
oggigiorno nei forni ad aria calda è la
possibilità di variare automaticamente
ed indipendentemente la temperatura
di ciascun braccio.
Un ulteriore vantaggio è rappresentato
dalla possibilità di variare la
temperatura del forno durante il
ciclo. In questo modo il tempo di
permanenza nel forno può essere
ridotto regolando la temperatura
e ottimizzando lo scambio termico
durante ogni fase del ciclo termico.

It increases gradually as the resin is molten until at a certain point at which this characteristic results optimal. This interval generally goes from the period immediately before the complete melting when the small air bubbles which are still present are concentrated toward the inner wall, up to the moment when the resin is completely molten, and no thermal degradation has occurred. If the heating continues after this point, a rapid degradation of the resin starts, causing a drop in the mechanical characteristics.

A feature which nowadays is quite common in warm air ovens is the possibility automatically and independently of varying the temperature in every each arm. A further advantage is represented by the possibility of varying the oven temperature during the cycle. In this way the residence time in the oven may be reduced by regulating its temperature and optimizing the heat transfer during each phase of the heating cycle.



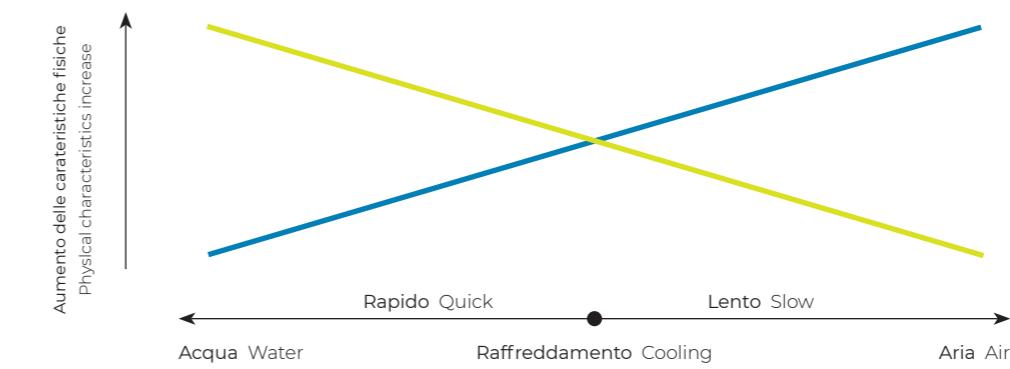
CICLO DI RAFFREDDAMENTO

All'inizio gli stampi erano raffreddati ad aria da grandi ventole; per ridurre il tempo di ciclo si è optato per l'introduzione di getti di acqua fredda. Oggi il tipico ciclo di raffreddamento utilizza il raffreddamento esterno a ventola e/o getti d'acqua e in alcuni casi il raffreddamento interno (interno al pezzo stampato). Con l'utilizzo di timer è possibile ritardare l'inizio del ciclo di raffreddamento. Questo permette di prolungare il ciclo di fusione per completare la fusione della parte interna del pezzo.

Durante questo ritardo le ventole possono essere utilizzate per ridurre gradualmente la temperatura dello stampo e raffreddare leggermente il pezzo stampato. In questo modo si riducono le deformazioni del pezzo e le meccaniche a basse temperature migliorano. Un rapido raffreddamento del pezzo tende ad aumentare la percentuale di fase amorfa nei polimeri cristallini. Questa operazione, specialmente per lo stampaggio di gradi LLDPE, richiede una maggiore manutenzione dello stampo a causa dello sbalzo termico. Per esempio il polietilene ad alta densità non è consigliato per stampaggio rotazionale perché necessita di essere raffreddato più lentamente, tende ad essere più duro, fragile, rigido e con un ritiro percentuale maggiore. La fig. 4 mostra la relazione tra la velocità di raffreddamento e la variazione delle caratteristiche fisiche del polietilene.

Fig.

Effetto del raffreddamento sulle caratteristiche fisiche del polietilene Effect of the cooling on the physical characteristics of polyethylene



- ESCR
- Temperatura infragilimento Brittleness temperature
- Impatto a basse temperature Impactres at low temperature
- Allungamento (%) Elongation (%)
- Distorsione Warpage

COOLING CYCLE

At the beginning the moulds were only air cooled with big fans; in order to reduce the cycle times the water spray cooling has been introduced.

Today a standard cooling cycle uses the outer cooling with fan and/or water spray, and in some cases the inner cooling too (that is, inside the moulded part). With the use of timers it is possible to delay the start of the cooling cycle. This enables the melting cycle to be prolonged, to complete the resin melting in the inner layer of the part.

During such delay the fan cooling may be used in order to effect a gradual decrease in the mould temperature, and a slow cooling of the moulding part.

In such a way distortion of the moulding is delayed, and the mechanicals at low temperatures are improved. A rapid cooling of the part tends to increase the amorphous structure content in the crystalline polymers. This operation, especially for the moulding of LLDPE, requires greater mould maintenance because of thermal impact/ shock. For example, high density polyethylene, is really not suggested for rotomoulding applications, because it has to be cooled more slowly, it tends to be more stiff, fragile, mechanically rigid, and has a greater shrinkage percentage. Fig. 4 shows the relation between cooling speed and the various physical characteristics of polyethylene.

VELOCITÀ E RAPPORTO

DI ROTAZIONE

Velocità di rotazione

Due sono le variabili importanti nello stampaggio rotazionale, la velocità di rotazione e la differenza di velocità di rotazione dei due assi.

Lo stampaggio rotazionale non è un processo centrifugo. Il centro gravitazionale di molti stampi non coincide con l'intersezione dei due assi. Gli stampi sono montati in maniera tale da mantenere le superfici ad una distanza variabile dal centro di rotazione.

Forti forze centrifughe devono essere evitate dato che determinerebbero una non uniforme distribuzione della resina fusa causando variazioni dello spessore delle pareti del pezzo. Idealmente entrambi gli assi dovrebbero essere tenuti ad una velocità inferiore ai 20 RPM. Per ottenere bassi tempi di ciclo sono necessarie alte velocità di rotazione e alte temperature del forno.

ROTATION SPEED AND RATIO

Rotation speed

Two important working variables in rotational moulding are speed of rotation, and the ratio of the rotation speed of the two axis.

Rotational moulding is not a centrifugal process.

The centre of gravity of most of the moulds does not coincide with the intersection of the two axis. Moulds are usually mounted so that all mould surfaces are at variable distances from the centre of rotation. Strong centrifugal forces should be avoided since these would cause uneven distribution of molten resin leading to variations in the wall thickness of the moulding.

Ideally therefore both major and minor axis speeds should be low and less than 20 RPM. To achieve short cycle times, high rotation speeds and high oven temperatures are necessary.



RAPPORTO DI ROTAZIONE

Le variazioni di velocità dipendono dalla forma richiesta dello stampo e dal suo posizionamento. Uno stampo a forma simmetrica, es. sfere o cubi, richiede una variazione di velocità di 4:1 tra l'asse maggiore e quello minore purché la dimensione maggiore dello stampo sia montata parallelamente all'asse maggiore di rotazione. Nel caso in cui la dimensione maggiore fosse posizionata perpendicolarmente all'asse maggiore, è necessario invertire il rapporto di velocità 1:4. Stampi aventi forme irregolari richiedono un range di rapporti da 8:1 a 2:1. Data la complessità di molti stampi è necessario determinare l'effettivo rapporto di velocità sperimentalmente.

In tab.1, vengono dati come linee guida alcuni valori tipici di velocità dell'asse maggiore e minore per varie forme. Una volta determinata la velocità di rotazione di un asse, il rapporto di velocità può essere semplicemente calcolato grazie alla seguente formula:

$$\text{rapporto} = N_1 / (N_2 - N_1)$$

dove:

N_1 = vel. dell'asse principale (giri/min)

N_2 = vel. dell'asse secondario (giri/min)

ROTATION RATIO

Rotation ratio is governed by the shape of the mould and the way as it is mounted. A symmetrical shaped mould, eg. a sphere or cubes requires a speed variation ratio 4:1 between major and minor axis provided that the maximum dimension of the mould is parallel to the main rotation axis. If the maximum dimension is perpendicular to the main axis, we should invert the speed ratio 1:4. Irregular moulds need ratios from 8:1 to 2:1. Considering the complexity of many moulds, it is necessary to determine the most effective rotation ratio experimentally.

Some typical speeds of major and minor axis for various shapes are given as guidelines in the tab.1. Once the speed of an axis is determined the rotation ratio may easily be calculated by applying the following formula:

$$\text{ratio} = N_1 / (N_2 - N_1)$$

where:

N_1 = major axis speed (rev/min)

N_2 = minor axis speed (rev/min)



Tab.1

Rapporti di rotazione per forme tipiche
Rotation ratios for typical shapes

		VELOCITÀ ASSE (GIRI/MIN) AXES SPEED (REV/MIN)	
Rapporto Ratio	Forme Shapes	Maggiore Major	Minore Minor
8/1	Oblungo Oblong ⁽¹⁾ Tubo dritto Straight tube ⁽¹⁾	8	9
5/1	Condotti aria Air ducts	5	6
4.5/1	Sfere di globi Spheres of globes	8	9.75
4/1	Cubi, globi, forme complesse Cubes, globes, complex shapes	8	10
	Scatole rettangolari Rectangular boxes	10	12.5
2/1	Anelli, pneumatici, sfere Rings, tyres, spheres	6	9
	Cornici, forme rotonde e piatte, manichini Frames, round flat shapes, manikins	10	15
1/3	Forme piatte rettangolari Flat rectangular shapes	4	15
	Serbatoi gasolio, valige Gasoline tanks, suitcases	6	22.5
	Coperchi per grandi contenitori Tote bin covers	9.5	36
1/4	Pneumatici, condutture ricurve per l'areazione Tyres, curved air ducts pipe	4	20
	Palloni sferici Spheres balls	5	25
1/5	Cilindri ⁽²⁾ Cylinders ⁽²⁾	4	24

(1) Parallello all'asse principale Parallel to the major axis

(2) Perpendicolare all'asse principale Perpendicular to the major axis

DIMENSIONE DELLE POLVERI

La scelta del tipo di resina da adottare per lo stampaggio rotazionale non richiede solo di tenere in considerazione le caratteristiche chimiche e fisiche ma anche le caratteristiche della polvere come la dimensione, la superficie e l'uniformità delle particelle, perché hanno un'influenza sul prodotto finito.

La particella ottimale è quella che rapidamente fluisce negli angoli acuti e nelle rientranze, che aderisce sullo stampo e fonde senza bolle con un piccolo contributo termico. Per nostra esperienza, le particelle più fini devono essere utilizzate per resine a elevata viscosità (basso MFR) per ottenere una buona riproduzione superficiale. Le particelle ideali hanno una superficie liscia e una stretta distribuzione dimensionale.

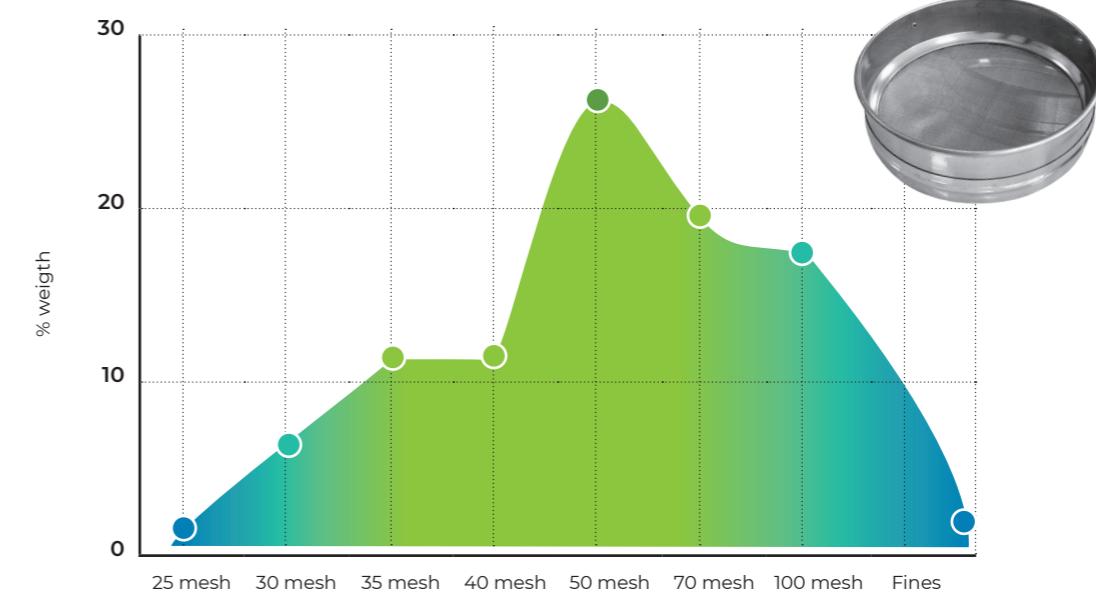
POWDER RESIN PARTICLE SIZE

The selection of a resin for rotational moulding does not only require considerations of the chemical and physical characteristics, but also on the characteristics of the powder itself, such as the size, shape and uniformity of the particles, as they may have an influence on the finished product.

The optimal particle is the one that rapidly flows into acute angles and into recesses, that adheres to the mould and melts with no bubbles with a minimal thermal contribution. From our experience, finer particles have to be used with high viscosity resins (Low MFR) to obtain good surface reproduction. The ideal particles have a smooth surface and a narrow size distribution.

Fig. 5

Particelle granulometriche ASTM 1921
Particle size distribution ASTM 1921



La particella di polvere ottimale ha una dimensionale di circa 300 µm. Se troppo grandi è necessario un tempo maggiore di permanenza nel forno per fondere il polimero, causando una riduzione delle caratteristiche meccaniche dovuta all'ossidazione e alla degradazione termica del polimero. Nelle resine selezionate è necessario considerare la viscosità apparente del fuso alle basse velocità. Un polimero con una viscosità relativamente bassa (alto MFR) permette una buona riproduzione superficiale anche con particelle di grandi dimensioni. Un'altra importante caratteristica della polvere è lo scorrimento che può essere facilmente misurato in secondi con un adeguato dispositivo.

I **Clearflex®** hanno una stretta distribuzione dei pesi molecolari che la rendono particolarmente adatta per lo **stampaggio rotazionale** conferendo al prodotto elevate meccaniche e resistenza alla rottura. I produttori di manufatti in stampaggio rotazionale, a seconda della resina più adatta, devono considerare che per densità crescenti:

aumenta:
→ la rigidità
→ il ritiro
→ la temperatura di rammollimento
→ la resistenza all'abrasione
→ la resistenza al creep

diminuisce:
→ la tenacità alle basse temperature
→ la resistenza chimica sotto sforzo meccanico (ESCR)
→ la resistenza all'impatto
→ la flessibilità

Per MFI decrescenti:

aumenta:
→ la resistenza chimica sotto sforzo meccanico (ESCR)
→ la viscosità del materiale stampato
→ la resistenza all'impatto alle basse temperature
→ la resistenza al creep

The optimum powder particle size has proved to be around 300 µm. If too large, a long residence time in the oven is necessary to melt the polymer therefore causing a reduction of the physical characteristics due to oxidation or thermal degradation of the polymer. Besides, in the selection of resins, it is necessary to consider the apparent viscosity of the molten material at low shear rates. A polymer with a relatively low viscosity (high MFR) will allow good surface reproduction even with large dimension particles. Another important characteristic of the powder is the dry flow, that may easily be measured in seconds, with an adequate device.

The **Clearflex®** have a narrow molecular weight distribution that makes them particularly suitable for **rotational moulding** and gives to the product high mechanical and stress cracking resistance characteristics. Manufactures, in the selection of the most suitable resin, have to keep in mind that at higher densities:

increases:
→ the stiffness
→ the shrinkage
→ the softening temperature
→ the abrasion resistance
→ the creep resistance

decreases:
→ the tenacity at low temperatures
→ the stress cracking resistance (ESCR)
→ the impact resistance
→ the flexibility

At lower MFR:

increases:
→ the stress cracking resistance (ESCR)
→ the viscosity of moulded material
→ the impact strength resistance at low temperatures
→ creep resistance



RESISTENZA DEI PRODOTTI

CLEARFLEX® AGLI AGENTI

CHIMICI

Le resine **Clearflex®** hanno una elevata resistenza a numerosi agenti chimici sia acidi che basici. Tuttavia le sostanze organiche di natura paraffinica come gli idrocarburi, o gli oli, per la loro affinità chimica col polietilene, possono essere assorbite dal polimero, generando così un rigonfiamento che riduce la resistenza meccanica del manufatto.

Questo fenomeno è più ridotto nei tipi a maggiore cristallinità (densità) e maggior peso molecolare (MFI più bassi), e può essere ulteriormente contrastato progettando manufatti a spessore incrementato.

Anche i tensioattivi, per la loro natura chimica mista, possono permeare dentro al polimero accelerando il processo di micro fratturazione dei manufatti, specialmente nei gradi a più alta fluidità e densità. Sostanze di questo tipo sono notoriamente i detergenti, ma tensioattivi più blandi possono essere presenti anche in natura.

La resistenza ai tensioattivi viene chiamata ESCR (Environmental Stress Cracking Resistance) e può essere valutata attraverso la norma ASTM D 1693/B; si determina il numero di fratture nel tempo di 10 provini piegati ad U e tagliati al centro, immersi in tensioattivo a 50°C.

Recentemente Versalis ha sviluppato un nuovo **Clearflex® RM 506 U**, comonomero esene, che ha una elevata resistenza all' ESCR (> di 1.000 ore).

CLEARFLEX® RESISTANCE TO CHEMICAL AGENTS

Clearflex® resins have a high resistance to many acidic and basic chemical agents. However, organic substances of paraffinic nature such as hydrocarbons, or oils, due to their chemical affinity with polyethylene, can be absorbed by the polymer, thus generating a swelling which reduces the mechanical resistance of the article.

This phenomenon is reduced in the types with higher crystallinity (density) and higher molecular weight (lower MFI), and can be further contrasted by designing products with increased thickness.

Also the surfactants, due to their chemical nature, can permeate inside the polymer, accelerating the micro fracturing process of the objects, especially by using higher fluidity and high density polymer grades. Substances of this type are known as detergents, but feeble surfactants may also be present in nature.

The surfactant resistance is called ESCR (Environmental Stress Cracking Resistance) and can be evaluated by the ASTM D 1693/B standard. This test measures the rate of formation of breakage of a strip of polymer U-shaped curved and cut, immersed in a solution containing a surfactant at 50°C.

Recently Versalis has developed a new **Clearflex® RM 506 U**, comonomer hexene, which has a high resistance to ESCR (> 1,000 hours).



STABILIZZAZIONE U.V.

Il polietilene è fotodegradabile se esposto alla luce del sole per lunghi periodi. Il risultato di questa esposizione determina un cambiamento del colore (ingiallimento del polimero), formazione di microfrazioni, infragilimento del manufatto.

La principale causa di questa degradazione è la radiazione ultravioletta che rappresenta la componente più energetica dello spettro luminoso. La velocità della degradazione dipende dall'intensità della radiazione, dal numero di ore giornaliere di esposizione e dalla latitudine. L'esperienza ha provato che la durata di un prodotto stabilizzato all'U.V. può aumentare da due a quattro volte rispetto un materiale non stabilizzato. L'additivazione di pigmenti nella resina può fungere come protezione contro gli U.V. a seconda del tipo di pigmento e della qualità di dispersione.

Il carbon black ben disperso, ad esempio al 2%, offre un'ottima protezione contro la degradazione U.V.

U.V. STABILIZATION

The polyethylene is subject to photodegradation if exposed to the sunlight for long periods of time. The result of this exposure is indicated by a change in colour (yellowing of the resin), by the formation of microcracks.

The principal cause of this degradation is the ultraviolet radiations that represent the highest energy component of the light spectrum. The speed of the degradation depends on the radiation intensity, on the number of daily hours of exposure and on the latitude. Experience has proved that the life of an ultraviolet stabilized product may be increased from two to four times compared to that produced with non stabilized resins. The addition of pigments in the resins also generally acts favorably as anti U.V. protection, depending upon the type of pigment and on the degree of dispersion. For example 2% of well dispersed carbon black offers good protection against U.V. degradation.

APPLICAZIONI DELLO STAMPAGGIO ROTAZIONALE CON RESINE CLEARFLEX®

La scelta della resina **Clearflex®** più adatta deve essere fatta considerando di raggiungere il miglior bilancio di caratteristiche, a seconda del tipo di manufatto che si intende produrre. Ci sono molte applicazioni che crescono rapidamente e ciò determina la necessità di sviluppare continuamente nuove resine.

I settori applicativi più comuni sono:

- chimica (contenitori per lo stocaggio ed il trasporto di agenti chimici);
- agricoltura (cisterne per fertilizzanti e diserbanti);
- arredamento (lampade, oggetti di design);
- civile (taniche per benzina, serbatoi acqua potabile);
- auto (serbatoi e condotti per l'aerazione, barriere stradali);
- marina (barche, canoe, windsurf, boe).

TYPICAL APPLICATIONS OF ROTATIONAL MOULDING WITH CLEARFLEX® RESINS

The selection of the most suitable type of **Clearflex®** resin has to be made in order to achieve the best balance of characteristics, depending on the requirements of the item that is to be produced.

There are many applications and these are rapidly increasing, due in part to the continuous development of new resins.

The most common application areas are:

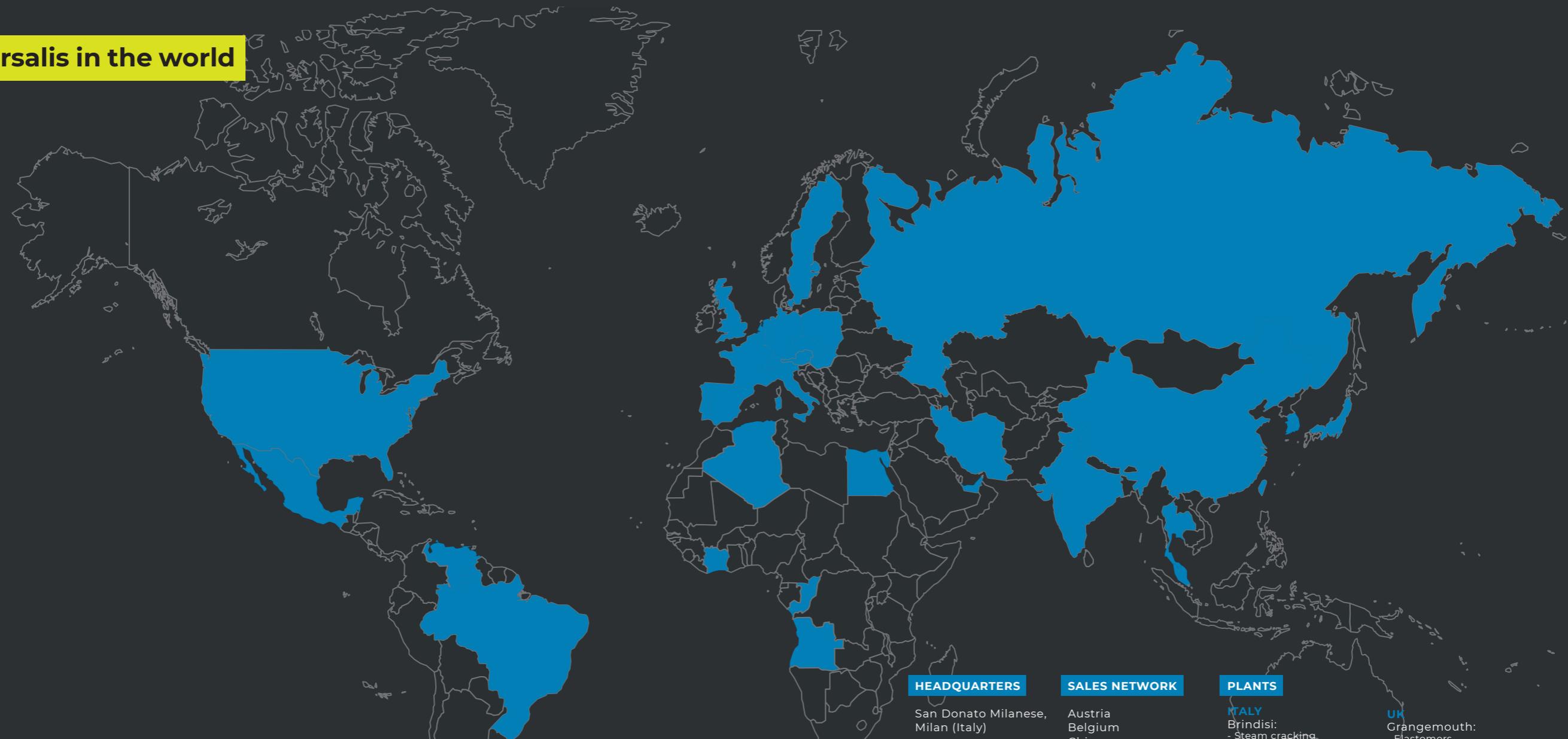
- chemicals (containers for stocking and transport of chemical agents);
- agricultural (tanks for fertilizers and herbicides);
- home furnishings (lamps, design objects);
- civil (fuel oil tanks, drinkable water tanks);
- car (gasoline tanks, air ducts and intakes, new jersey);
- marine (boats, canoes, windsurfs, buoys).

Rotomolding portfolio

TYPE	MFR/D	TANKS	DUSTBINS	DESIGN FURNITURES	TOYS	ESCR
Clearflex® RM 506 U	3.5/0.934	X	X	X		+++++
Clearflex® RL 50 U	3.5/0.941	X	X			++++
Clearflex® RM 50 U	4.0/0.936	X	X	X		+++
Clearflex® RN 50 U	6.0/0.936			X	X	++
Clearflex® RP 50 U	9.0/0.935			X	X	+
Clearflex® RL 506 UH	4.0/0.940	X	X	X		+++++



Versalis in the world



Versalis is focused on establishing itself as a solution provider, offering a range of increasingly market-oriented products at an international level. The company is present in the APAC region through its Shanghai-based subsidiary, Versalis Pacific Trading; in Mumbai, India; in Singapore; and in South Korea through LVE, a joint venture with Lotte Chemical.

Versalis can also count on subsidiaries Versalis Americas – with offices in Houston, Texas – and Versalis Mexico. Furthermore, Versalis serves the oil and gas industry with offices in Ghana and in Congo, with its portfolio of oilfield chemicals. Thanks to a widespread sales network, distributors and sales agents, Versalis can serve all markets worldwide.

HEADQUARTERS

San Donato Milanese,
Milan (Italy)

LICENSING

Algeria
Brazil
China
Egypt
India
Iran
Japan
Malaysia
Portugal
Qatar
Romania
Russian Federation
Slovak Republic
South Korea
Spain
Taiwan
USA
Venezuela

R&D

ITALY
Ferrara
Mantua
Novara
Porto Torres
Ravenna
Rivalta Scrivia

SALES NETWORK

Austria
Belgium
China
Congo
Czech Republic
Denmark
France
Germany
Ghana
Greece
Hungary
India
Italy
Mexico
Poland
Portugal
Romania
Russian Federation
South Korea
Slovak Republic
Spain
Taiwan
USA
Venezuela

PLANTS

ITALY
Brindisi:
- Steam cracking
- Aromatics
- Polyethylene
Crescentino:
- Bio-ethanol
Ferrara:
- Elastomers
- Polyethylene
Mantua:
- Intermediates
- Styrene
- Styrenics
Porto Marghera:
- Recycled polymers
Porto Torres:
- Elastomers
- Renewable chemistry
Priolo:
- Steam cracking
- Aromatics
Ragusa:
- Polyethylene EVA
- Butadiene
Ravenna:
- Elastomers

UK
Grangemouth:
- Elastomers

FRANCE
Dunkerque:
- Steam cracking
- Polyethylene EVA

GERMANY
Oberhausen:
- Polyethylene EVA

HUNGARY
Széhalombatta:
- Styrenics

SOUTH KOREA
Yeosu (LVE, a joint
venture with Lotte
Chemical):
- Elastomers



Versalis spa
Piazza Boldrini, 1
20097 San Donato Milanese (MI) - Italy
Ph. 0039 02 520.1

versalis.eni.com

Technical service:
Piazza Boldrini, 1
20097 San Donato Milanese (MI) - Italy
Ph. 0039 02 520.32998

Via Taliercio, 14 - 46100 Mantova - Italy
Ph. 0039 0376 305520 – 0039 0376 305741

4531 Route des Dunes - CS 20060 Mardyck -
59279 Dunkerque - France
Ph. 0033 3 2823.5516 – 0033 3 28 23 55 12

Duesseldorfer Str. 13
65760 Eschborn – Deutschland
Ph. 0049 151 402 605 61

Moreover, a specific office follows customers
in all regulatory requirements:
product.stewardship@versalis.eni.com

