

Low-energy drying of sanitaryware and tableware

Essiccazione a basso consumo per sanitari e stoviglieria

Antonio Fortuna, Domenico Massimo Fortuna, Setec (Civita Castellana, Italy)

The recent dramatic increases in natural gas prices have made it more urgent than ever to drastically reduce the energy consumption of thermal machines in ceramic manufacturing processes. The Setec Group has long been one of the leading innovators in the industry and in recent years has focused on a number of energy-saving solutions.

Thanks to European co-funding through the Life programme, it has developed new formulations for sanitaryware with a low firing temperature (Life Sanitser project) and a new generation of low energy consumption shuttle and tunnel kilns (Life Economick project).

The latest Life project involving Setec from June 2020 is Life Rapid Dry, which focuses on energy saving in the sanitaryware and tableware drying process. The project has two goals: construction of a low energy consumption dryer (described in this article) and optimisation of sanitaryware bodies by introducing recycled materials (the subject of a future article).

I recenti e incontrollati aumenti del prezzo del metano hanno reso ancor più urgente il bisogno di ridurre drasticamente i consumi delle macchine termiche nei processi di produzione di manufatti in ceramica. Il gruppo Setec, da sempre all'avanguardia dell'innovazione nel settore, negli ultimi anni ha focalizzato l'attenzione su diverse soluzioni volte al risparmio energetico; in particolare, grazie al cofinanziamento europeo del programma Life, sono state sviluppate sia nuove formulazioni per sanitari basso-cuocen-

ti (Progetto Life Sanitser) che una nuova generazione di forni intermittenti e tunnel a basso consumo (progetto Life Economick). L'ultimo progetto Life che ha coinvolto Setec a partire da giugno 2020 è il Life Rapid Dry, dedicato al risparmio energetico nel processo di essiccazione di sanitari e stoviglieria. Due gli obiettivi del progetto: la realizzazione di un essiccatoio a basso consumo (descritto in questo articolo) e l'ottimizzazione degli impasti per sanitari mediante l'introduzione di materiali di recupero (oggetto di un prossimo approfondimen-





WITH THE CONTRIBUTION
OF THE LIFE PROGRAMME
OF THE EUROPEAN UNION
LIFE19 CCM/IT/001243

» The drying process

Drying is an extremely important production stage that involves removing all non-chemically-bonded water from the body. This water may be present either in the spaces between the body particles (interstitial water) or on the surfaces around the particles.

*In the drying process, water evaporates and air is used both as the heating fluid and as the means of evacuation of the vapour. So to regulate the drying process, it is essential to control the three air flow characteristics of **temperature, relative humidity and speed**.*

To gain a better understanding of the phenomena associated with drying, we shall take a detailed look at the process mechanism and the conditions that control it.

When the article is removed from the casting mould, the particles that make up the body are surrounded by a capillary network of water. In order to evaporate, this water must migrate to the surface of the article during the drying process without damaging the integrity of the semi-finished product.

The two fundamental factors controlling drying are therefore the speed of diffusion of water through the thickness of the piece and the rate of evaporation.

***The conditions for optimal drying are achieved when the rate of evaporation is equal to or slightly lower than the rate of diffusion.** This ensures that the water evaporates from the surface and prevents evaporation phenomena from occurring within the thickness of the body. As we shall see, these conditions rarely occur in industrial processes.*

***The rate of diffusion of water** in capillary channels depends on two factors:*

- *the temperature of the piece (the rate of diffusion increases with temperature);*
- *the composition of the body: the higher the content of plastic and very fine materials in the body, the slower the rate of diffusion; a more plastic body will also be subject to greater shrinkage and therefore increased blockage of the channels through which the water flows, thereby reducing the rate of diffusion.*

***The water evaporation rate** increases in three cases:*

- *when the difference between the vapour pressure inside the piece and the vapour pressure in the drying air increases (i.e. with increasing temperature);*

to). Alla R&S di Life Rapid Dry ha collaborato anche la LCE, azienda specializzata nella valutazione degli impatti ambientali, socio-economici ed in LCA.

» Il processo di essiccazione

L'essiccazione è una fase produttiva estremamente importante che provvede ad eliminare dall'impasto l'acqua non legata chimicamente; questa può essere o acqua interstiziale contenuta nei vuoti fra le particelle che costituiscono l'impasto, oppure acqua disposta superficialmente attorno alle varie particelle.

Nell'essiccazione l'acqua viene evaporata e, come fluido riscaldante, si usa aria che funge anche da mezzo di evacuazione del vapore. Per regolare il processo d'essiccazione è quindi fondamentale controllare le tre caratteristiche dell'aria, ossia: **temperatura, umidità relativa e velocità**.

Per comprendere meglio i fenomeni connessi all'essiccazione analizziamo in dettaglio il suo meccanismo e i suoi elementi controllanti.

Le particelle che costituiscono l'impasto, appena estratto dallo stampo di collaggio, si trovano circondate da un reticolo capillare d'acqua che, durante l'essiccazione, dovrà migrare alla superficie del pezzo per poter evaporare, senza danneggiare l'integrità del semilavorato.

I due fattori fondamentali che controllano l'essiccazione sono pertanto la velocità di diffusione dell'acqua attraverso lo spessore del pezzo e la velocità di evaporazione.

Le condizioni per un essiccamento ottimale si hanno con la velocità d'evaporazione uguale o leggermente inferiore alla velocità di diffusione: si ha così un'evaporazione superficiale e si evita l'insorgere di fenomeni evaporativi all'interno dello spessore dell'impasto. Come vedremo, tali condizioni sono rispettate raramente nei processi industriali.

La velocità di diffusione dell'acqua nei canali capillari dipende da due fattori:

- la temperatura del pezzo (la velocità di diffusione cresce all'aumentare della temperatura);
- la composizione dell'impasto: più l'impasto è ricco di materiali plastici e molto fini, più la diffusione è lenta; un impasto più plastico sarà anche soggetto ad un maggior ritiro e quindi ad una maggiore occlusione dei canali di passaggio dell'acqua con la conseguente riduzione della sua velocità di diffusione.

La velocità di evaporazione dell'acqua cresce in tre casi:

- quando aumenta la differenza fra la sua tensione di vapore nel pezzo e la pressione di vapore nell'aria d'essiccazione (quindi con la sua temperatura);

- as the speed of the drying air increases;
- when the surface/volume ratio (i.e. the specific surface area of the article) increases.

Figure 1 shows the drying curve obtained when performing tests on a sanitaryware body at constant air temperature and humidity. Observing this curve, we can easily identify three separate phases.

Constant drying speed phase

In this phase, the rate of migration of water to the surface is greater than the rate of evaporation, resulting in the formation of a thin film of water over the entire surface of the piece. The water that is eliminated is the interstitial water that is capable of flowing relatively easily to the surface of the piece, causing it to shrink.

This phenomenon is illustrated in Figure 2, which shows how the dimensions of a specimen change as a function of its water content (Bigot curve).

Decreasing speed phase

As the particles come closer together, the gaps through which water can pass are greatly reduced and the surface of the piece is no longer uniformly covered with water. Evaporation begins to take place within the thickness of the ceramic body, resulting in the migration of vapour to the surface. As the evaporation zone moves further towards the inside of the body, the drying speed decreases.

The heat transferred to the surface of the piece no longer serves to evaporate the water and instead raises its temperature to values close to the dry bulb temperature. During this time, shrinkage continues until the particles come into contact with each other, at which point the shrinkage of the piece ceases and porosity begins to form.

- quando aumenta la velocità dell'aria d'essiccamento;
- quando aumenta il rapporto superficie/volume, ossia la superficie specifica del manufatto.

La Figura 1 mostra la curva di essiccamento ottenuta effettuando delle prove su un impasto di sanitario, mantenendo costanti la temperatura e l'umidità dell'aria. Analizzando tale curva si individuano facilmente tre fasi distinte.

Fase a velocità d'essiccamento costante

In questa fase la velocità di migrazione dell'acqua alla superficie è superiore a quella d'evaporazione; si ha quindi un sottile strato d'acqua su tutta la superficie del pezzo. L'acqua eliminata è quella interstiziale che affluisce con relativa facilità alla superficie del pezzo causando il ritiro dello stesso; questo fenomeno è evidenziato nella Figura 2 che riporta la variazione dimensionale di un provino in funzione del suo contenuto d'acqua (curva di Bigot).

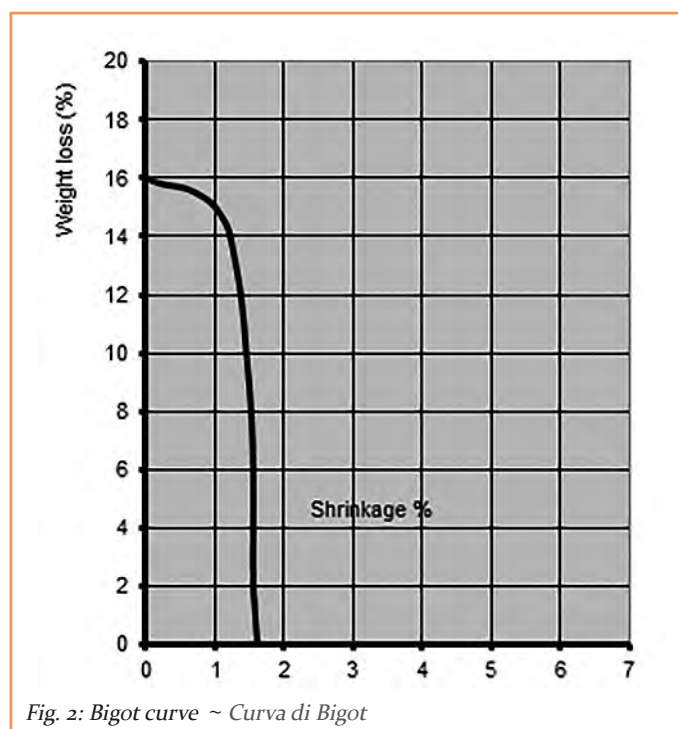
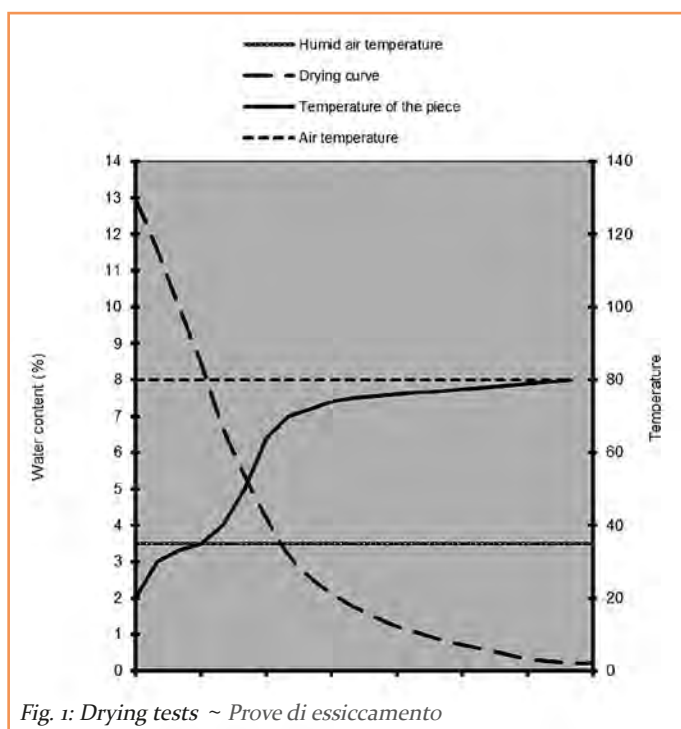
Fase a velocità decrescente

L'avvicinamento delle particelle provoca una notevole riduzione delle aperture disponibili per il passaggio dell'acqua e quindi la superficie del pezzo non è più uniformemente ricoperta di liquido. Inizia il fenomeno dell'evaporazione all'interno dello spessore della massa ceramica, con la conseguente migrazione del vapore alla superficie. Più la zona di evaporazione si sposta verso l'interno, minore è la velocità d'essiccazione.

Il calore ceduto alla superficie del pezzo, non più utilizzato per l'evaporazione dell'acqua, ne innalza la temperatura fino a valori prossimi a quelli del bulbo asciutto. Durante questo periodo il ritiro continua fino a quando le particelle vengono in contatto fra loro; a questo punto cessa la contrazione del pezzo ed inizia la formazione di porosità.

Fase a velocità decrescente, tendente verso lo zero

Questo tratto della curva d'essiccamento tende asintoticamente allo zero e corrisponde all'eliminazione dell'acqua inter-



Phase during which the speed decreases and tends towards zero

This section of the drying curve tends asymptotically towards zero, corresponding to the process of elimination of both the residual interstitial water and the superficial film of water around the solid particles. Water evaporation now occurs exclusively inside the piece. In this case, care must be taken to avoid sharp increases in the internal pressure of the water vapour as the piece is liable to suffer violent breakage if the pressure exceeds the material's mechanical strength. This for example is what happens when pieces explode after being introduced into the kiln while they are still too moist.



From these considerations, it is easy to appreciate that no matter how carefully the conditions and distribution of hot air are controlled, even the best drying treatment cannot ensure the uniform drying of a sanitaryware article. This is particularly true for items such as washbasins, bidets and WCs, which have large surface sections sheltered from the hot air flow.

Uneven drying results in different degrees of shrinkage between one section of the surface and another, causing stresses in the ceramic body. When these stresses exceed the mechanical strength of the body, cracks or fissures are formed.

Drying must therefore be performed in such a way that the inevitable moisture gradients remain within acceptable limits. However, with traditional forced convection drying, this equates with longer cycle times. The pieces must therefore be heated with very humid warm air in order to even out the temperature throughout the ceramic body before the evaporation process

stiziale residua e dell'acqua disposta come una pellicola sulla superficie delle particelle solide. L'evaporazione dell'acqua avviene esclusivamente all'interno del pezzo; in questo caso si deve avere l'accortezza di non provocare bruschi innalzamenti della pressione interna del vapore d'acqua perché,

se questa supera la resistenza meccanica del materiale, si può avere la rottura violenta del pezzo: è il caso delle "esplosioni" che avvengono quando si introducono pezzi ancora troppo umidi nel forno di cottura.

Da quanto esposto si deduce facilmente che, per quanto le condizioni e la distribuzione dell'aria calda siano controllate, anche il miglior trattamento d'essiccazione non può assicurare l'essiccazione omogenea di un sanitario. Questo è ancora più vero per pezzi come i lavabi, i bidet o i vasi, che presentano grandi porzioni della loro superficie "in ombra" rispetto al flusso dell'aria calda.

Un essiccamento disomogeneo si traduce in ritiri differenti da una zona all'altra della superficie di un pezzo che inducono delle tensioni nella massa ceramica; quando tali sforzi superano in valore la resistenza meccanica dell'impasto si ha la **formazione di crepe o fessure**.

È quindi necessario condurre l'essiccamento in modo che i gradienti di umidità, inevitabili, si mantengano dentro limiti accettabili. Tuttavia, con l'essiccamento tradizionale a convezione forzata, questo significa allungare i tempi di ciclo. Infatti, è necessario operare un riscaldamento dei pezzi con aria calda ma molto umida, così da uniformare la temperatura in tutta la massa ceramica prima che inizi il processo evaporativo; si riduce quindi gradatamente l'umidità relativa dell'aria per attivare l'evaporazione, ottenendo curve d'essiccamento come quella riportata in Figura 3.

» Essiccatoi tradizionali vs. Rapid Dry

Gli essiccatoi, come noto, servono per ridurre il contenuto d'acqua del pezzo a valori finali inferiori dell'1% in peso.

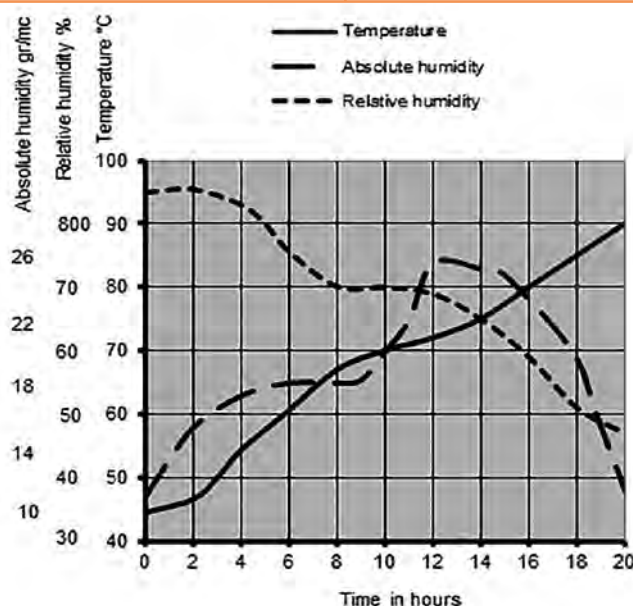


Fig. 3: Example of drying curve ~ Esempio di curva d'essiccazione

begins. The relative humidity of the air is then gradually reduced in order to initiate evaporation, resulting in drying curves such as the one shown in Figure 3.

Traditional dryers vs. Rapid Dry

The purpose of dryers is to reduce the water content of the piece to final values of less than 1% by weight. Older machines do not have real control systems, but can be thought of as simple heated chambers capable at best of maintaining a constant temperature without humidity control. For this reason, drying cycles often have a duration of more than 14 hours and do not allow the introduction of excessively moist pieces.

In addition, temperature uniformity within the chamber is only achieved by introducing large volumes of air, usually distributed through perforated grilles. This makes it necessary to significantly oversize both the intake fans and the heat generator, resulting in significant levels of electricity and natural gas consumption.

The new Rapid Dry dryer is designed to address all these critical issues and brings advantages in terms of lower consumption and shorter drying cycle times.

Drawing on its more than 30 years' experience in the ceramic sector, Setec has **optimised the dryer's heat flows and significantly improved control of the various parameters using innovative management software.** This brings the following benefits:

- the ability to turn the heat generator on/off so that it supplies only the minimum amount of heat required and only when needed;
- reduction in speed/switching off of all electric motors (cones and fans), which only operate when necessary;
- autonomous temperature and humidity control using water mist

Le macchine di più vecchia concezione non hanno veri e propri sistemi di regolazione, ma sono assimilabili a delle "camere riscaldate" in cui, al massimo, si cerca di mantenere una temperatura costante rinunciando al controllo dell'umidità. Per questo motivo i cicli di essiccamento si attestano molto spesso sopra le 14 ore e non permettono l'introduzione di pezzi troppo umidi. In aggiunta, l'uniformità di temperatura all'interno della camera è ottenuta solo grazie all'immissione di grandi quantità di aria, distribuita solitamente mediante opportune griglie forate. Tutto questo costringe ad un notevole sovradimensionamento sia dei ventilatori di mandata che del generatore di calore con notevole dispendio di energia elettrica e metano.

L'obiettivo del nuovo essiccatoio Rapid Dry è intervenire su tutte le cri-

ticità descritte, apportando benefici sia in termini di consumi che di riduzione della durata del ciclo di essiccamento.

Forte dell'esperienza ultratrentennale nel settore ceramico, Setec ha **ottimizzato i flussi di calore dell'essiccatoio e ha migliorato sensibilmente il controllo dei vari parametri grazie ad un innovativo software di gestione** che consente:

- l'accensione/spegnimento del generatore di calore, che eroga quindi il minimo calore necessario solo quando serve;
- la riduzione dei giri/spegnimento di tutti i motori elettrici (coni e ventilatori) che funzionano solo quando necessario;
- la gestione autonoma di temperatura e dell'umidità con l'impiego di acqua nebulizzata per controllare in particolare gli step iniziali del ciclo;



RAPID DRY

www.setecsrl.it
www.rapid-dry.eu

THE NEXT-GENERATION DRYER FOR SANITARYWARE AND TABLEWARE WHICH REDUCES ENERGY CONSUMPTION AND CO₂ EMISSIONS, WHILE PRESERVING PRODUCT QUALITY.



RAPID DRY



WITH THE CONTRIBUTION
OF THE LIFE PROGRAMME
OF THE EUROPEAN UNION
LIFE14 CCM/IT/001243

COMPLETE COMMERCIAL AND DIY REPAIR SOLUTIONS



- **NON-TOXIC**
- **EASY TO USE**
- **CURES IN MINUTES**
- **ODORLESS**
- **VARIOUS COLORS AVAILABLE**



**LIGHT CURE ACRYLIC - LCA™
FOR GLAZE DEFECTS**



**SELF CURE ACRYLIC - SCA™
FOR BODY CRACKS**

VISIT US AT

Ceramitec

HALL C2, STAND 128

21-24 JUNE 2022

WWW.CERAMICURE.COM

to control the initial steps in the cycle in particular;

- improved homogeneity of the chamber by using motorised cones to create adequate fluid turbulence inside the dryer;
- optimisation of heat flows into and out of the chamber dryer.

Installation of the new Rapid Dry: results

The **Rapid Dry** dryer was started up in early 2022 thanks to the cooperation of the Civita Castellana-based company **F.A. Ceramica** which tested the dryer in its factory. The results meet and significantly exceed the aims of the Life project:

- Drying cycle under 8 hours,
- Heat consumption of 98 kcal/kg compared to the 288 kcal/kg of older generation dryers,
- Electricity consumption of 0.003 kWh/kg compared to the benchmark figure of 0.019 kWh/kg.

Clearly, these very positive improvements are the combined result of the innovations that have been introduced together with a significant reduction in drying times compared to standard dryers. This results not only in significant cost savings, but also in a **drastic reduction in CO2 emissions**.

These advantages can be seen first-hand by observing the Rapid Dry dryer in operation (for info: afortuna@setecsrl.it) X

- una migliore omogeneità della camera mediante l'utilizzo di coni motorizzati in grado di creare un'adeguata turbolenza fluidodinamica all'interno dell'essiccatoio;
- l'ottimizzazione dei flussi di calore in ingresso ed uscita dall'essiccatoio a camera.

Installazione del nuovo Rapid Dry: risultati ottenuti

L'essiccatoio **Rapid Dry** è stato avviato ad inizio 2022 grazie anche alla collaborazione della **F.A. Ceramica** di Civita Castellana che ha testato l'essiccatoio nel suo stabilimento. I risultati ottenuti non solo rispettano gli obiettivi indicati nel progetto Life, ma li migliorano sensibilmente:

- Ciclo di essiccazione inferiore alle 8 ore,
- Consumo termico di 98 Kcal/kg contro le 288 Kcal/kg degli essiccatoi di vecchia generazione,
- Consumo elettrico di 0.003 Kwh/kg invece di 0.019 Kwh/kg rispetto al riferimento.

È evidente che tali miglioramenti, eccezionalmente positivi, sono dovuti alla combinazione delle innovazioni introdotte, unite ad una sensibile riduzione dei tempi di essiccazione rispetto agli essiccatoi standard. Tutto questo si traduce non solo in un notevole risparmio economico, ma anche in una **drastica riduzione delle emissioni di CO2**.

Vantaggi che si possono verificare direttamente visitando l'essiccatoio Rapid Dry in funzione (per info: afortuna@setecsrl.it) X

