

# Critical factors in ceramic sanitaryware drying

## Le criticità nell'essiccazione dei sanitari in ceramica

S.Renzicchi, E.Martini,  
Setec (Civita Castellana, Italy)

Drying is a particularly critical stage of ceramic sanitaryware production and may result in high percentages of dry waste. This makes it essential to manage hot air and to remove the moisture contained in the pieces. If this is not done correctly, negative production performances may occur.

The drying process eliminates water that is not chemically bonded to the ceramic body and is present in two forms:

- interstitial water contained in the voids between the body particles;
- water deposited superficially around the various particles.

During drying, water is evaporated and air is used as a heating fluid that acts as the means for vapour evacuation. It is therefore fundamentally important to control the following air characteristics in order to regulate the drying process:

- temperature;
- relative humidity;
- speed.

In industrial drying the following factors must also be taken into account:

- Sanitaryware is almost always made up of surfaces obtained partly by solid and partly by hollow casting. Different types of casting correspond to a moisture residue differential (as much as 2-3%).
- The solid casting areas are normally thicker than hollow casting areas.
- The conjunction point between the surfaces obtained by hollow casting and those obtained by solid casting is a critical zone where breakage may occur during drying, as this point is characterised by discontinuity in terms of thickness and water content.
- Even within areas of the same body thickness there are moisture gradients that, as already seen, depend greatly on the type of casting (hollow or solid, and the deflocculation state of the starting slip).

### Drying in the ceramic sanitaryware industry

Drying in the sanitaryware industry is almost always carried out in two phases:

- 1 - Green drying (also called "leather-like effect"): the pieces extracted from the mould are subjected to an initial drying that makes them more consistent and easy to handle for finishing.
  - 2 - White drying: the semi-processed products are dried to a moisture residue value of around 1%.
- In some industrial production cycles, especially in

Il processo di essiccazione nella produzione dei sanitari in ceramica è una fase particolarmente critica e può generare elevate percentuali di scarti a secco. Diventa così fondamentale la gestione dell'aria calda e l'estrazione dell'umidità presente nei pezzi che, se non effettuate correttamente, possono dar luogo a performance produttive negative.

Il processo di essiccazione determina infatti l'eliminazione dell'acqua non chimicamente legata all'impasto ceramico ed in esso presente in due forme:

- acqua interstiziale contenuta nei vuoti tra le particelle dell'impasto;
- acqua depositata superficialmente attorno alle varie particelle.

Durante l'essiccazione, l'acqua viene fatta evaporare e l'aria è usata sia come fluido riscaldante sia come mezzo di evacuazione del vapore. Per regolare il processo di essiccazione è quindi fondamentale controllare le seguenti caratteristiche dell'aria:

- temperatura;
- umidità relativa;
- velocità.

Nell'essiccazione industriale è inoltre necessario tenere ben presenti i seguenti fattori:

- i sanitari in ceramica sono quasi sempre costituiti da superfici ottenute attraverso colaggio per svuotamento o a spessore obbligato. A questi differenti tipi di colaggio corrisponde un'umidità residua differente (anche del 2-3%);
- le aree ottenute per colaggio a spessore obbligato sono normalmente più spesse di quelle per vuotatura;
- la congiunzione tra le superfici ottenute con queste due differenti modalità di colaggio è una zona critica: durante l'essiccazione è ivi possibile una rottura poiché quest'area è caratterizzata da spessori e contenuti d'acqua differenti ed in conseguenza da ritiri differenziali;
- anche all'interno di aree caratterizzate dallo stesso spessore si possono avere gradienti di umidità che dipendono principalmente dal tipo di colaggio effettuato (per vuotatura o a spessore obbligato) e dallo stato di deflocculazione della barbotina iniziale).

### L'essiccazione nella produzione dei sanitari in ceramica

L'essiccazione nell'industria dei sanitari in ceramica è quasi sempre ottenuta in due fasi:

- 1 - essiccazione in verde (anche chiamata "effetto pelle - leather-like effect"): i pezzi estratti dallo stampo sono sottoposti ad un'iniziale



the more modern and automated processes that use pressure casting, drying can be carried out in a single operation. The finishing operation of pieces may be carried out immediately after demoulding, after green or white drying, but in the majority of cases it is carried out on the moist piece after green drying and before white drying.

### Green drying

This partial drying is performed by almost all companies in the sector after extraction from the mould. The pieces cast with traditional plaster moulds have poor consistency and therefore cannot be handled and finished immediately. It is necessary to eliminate part of their water content through an initial drying operation known as green drying.

This results in a 16-18% to 9-10% reduction in the water content of the pieces in the case of vitreous china and an 11-13% to 5-6% reduction for fire clay. These moisture variations cause 3-4% shrinkages for vitreous bodies and 2-2.5% shrinkages for fire clay bodies. Almost all unfired shrinkage occurs during green drying so it is necessary to take great care in green drying to avoid risks of breakage.

In anomalous conditions and especially with articles such as WCs, it is often necessary to cover certain areas of the surface in order to reduce the drying speed and to make it uniform so that parts of the same piece have slower drying rates. This avoids varying shrinkage rates and related stresses that may lead to the breakage of the ceramic mass.

Green drying involves leaving the pieces extracted from the moulds on the demoulding trays, in the casting area that is heated over the next 10-16 hours. The thermo-hygrometric conditions that are most commonly found during this phase are: temperature at 30-40°C and relative humidity at 40-60%.

### White drying

White drying helps to reduce the water content of the cast piece to values at or equal to 1%.

At the beginning these values are:

- 8-10% by weight for vitreous china and 4-5% for fire clay in the event the piece has undergone green firing;
- 15-17% by weight for vitreous china and 11-13% for fire clay when drying is carried out in a single operation.

All traditional plants that operate according to a manual or semi-mechanised production cycle adopt the first solution, while the second solution is almost always used by highly automated companies that employ pressure casting.

### The importance of body composition

Given that one of the most important parameters

essiccazione che li rende più solidi e facili da maneggiare nelle operazioni di finitura;

- 2 - essiccazione in bianco: i prodotti semi-processati sono essiccati fino a raggiungere un'umidità residua attorno all'1%.

In alcuni cicli industriali, specialmente in quelli che usano il calaggio a pressione, l'essiccazione può essere fatta in un'unica operazione. Le operazioni di finitura possono cioè essere fatte: immediatamente dopo la fase di formatura, dopo l'essiccazione in verde o in bianco, anche se, nella maggior parte dei casi, è eseguita sul pezzo umido dopo l'essiccazione in verde e prima di quella in bianco.

### L'essiccazione in verde

L'essiccazione parziale viene solitamente eseguita dopo l'estrazione dei pezzi dallo stampo: questi, colati con i tradizionali stampi in gesso, hanno poca consistenza e non possono quindi essere maneggiati e finiti immediatamente. È necessario pertanto eliminare una parte del loro contenuto di acqua con un'iniziale operazione di essiccazione denominata 'essiccazione in verde'. Questa determina una riduzione del contenuto di acqua compreso tra il 16-18% e il 9-10% nei pezzi in vitreous china e del 11-13% fino al 5-6% per il fire clay.

Queste variazioni di umidità determinano un ritiro del 3-4% negli impasti in vitreous e del 2-2.5% in quelli in fire clay. La quasi totalità dei ritiri in crudo avviene durante l'essiccazione in verde: per questo è necessaria molta attenzione in questa fase per evitare rotture.

Spesso, in condizioni anomale e in articoli come i wc, è necessario coprire alcune aree della superficie al fine di ridurre la velocità di essiccazione e renderla uniforme a quella delle altre parti del pezzo caratterizzate, al contrario, da velocità di essiccazione inferiori.

In questo modo, i diversi tassi di ritiro e le relative tensioni che possono portare alla rottura della massa ceramica sono evitate.

L'essiccazione in verde richiede il riposo dei pezzi estratti dagli stampi sui plateau di sformatura, nell'area di colaggio che è quindi riscaldata per circa 10-16 ore. Le condizioni termo-igrometriche tipiche di questa fase sono: temperatura a 30-40 °C e umidità relativa al 40-60%.

### L'essiccazione in bianco

L'essiccazione in bianco contribuisce a portare il contenuto di acqua del pezzo colato a valori inferiori o uguali all'1%. All'inizio, questi valori sono invece compresi tra:

- 8-10% per i pezzi in vitreous e 4-5% per quelli in fire clay nel caso in cui il pezzo sia sottoposto a essiccazione in verde;
- 15-17% del peso per il vitreous e 11-13% per fire

for the sanitaryware drying is the composition of body, Setec conducted a study to investigate the relationship between drying, the particle size of the body and the mineralogical composition and above all to find the best way to optimise drying according to the type of body.

It is a well-known fact that the finer particles in the body originate from the plastic materials, especially the ball clays, which due to their origin have a very fine particle size distribution and give the body the necessary plasticity. The study looked at 3 different vitreous china bodies used in the Civita Castellana industrial district prepared according to the "Italian procedure", in other words mixing together all the raw materials. These bodies differ in the quantity of plastic raw materials and therefore the presence of particles with different grain sizes.

The study also considered a further three bodies with the same formula but prepared by mixing quartz and feldspar and then adding ball clay and kaolin.

This gave three different residues: 1.5% at 45 micron (GB1.5), 2.6% at 63 micron (GB2.6) and 10% at 63 micron (GB10). After preparing the bodies, the samples were cast, all in the same way and using the same small moulds, after which they were dried

clay quando l'essiccazione è effettuata in una singola operazione.

Tutti gli impianti tradizionali che utilizzano cicli produttivi manuali o semi automatizzati sono caratterizzati dalla prima opzione mentre la seconda è utilizzata in impianti ad elevata automazione e colaggio in pressione.

#### La centralità della composizione dell'impasto

Poiché uno dei parametri più importanti per l'essiccazione dei sanitari è la composizione dell'impasto, Setec ha realizzato uno studio per verificare il rapporto tra essiccazione, dimensione delle particelle che costituiscono l'impasto e composizione mineralogica, ma soprattutto per individuare il modo migliore per ottimizzare l'essiccazione in relazione all'impasto utilizzato.

È noto che le particelle più fini all'interno dell'impasto provengono da materiali plastici, in particolare modo ball clays, che, vista la loro origine, hanno una distribuzione particellare molto fine e per questo danno all'impasto la necessaria plasticità.

Nello studio vengono analizzati tre diversi impasti per vitreous china usati nel distretto di Civita Castellana

The main values of particle size distribution of the bodies I valori principali delle dimensioni delle particelle presenti negli impasti						
	MB 1	MB 2	MB 3	GB 1.5	GB 2,5	GB 10
< 5 micron	41.39 %	36.62 %	34.21 %	47.18 %	41.88 %	37.32 %
< 10 micron	62.83 %	56.90 %	53.86 %	71.06 %	60.92 %	55.95 %
< 20 micron	83.88 %	79.82 %	76.64 %	95.58 %	81.32 %	73.99 %
< 30 micron	93.89 %	91.96 %	89.70 %	99.96 %	93.09 %	83.37 %
< 45 micron	99.12 %	98.56 %	97.63 %	100.00 %	99.25 %	90.64 %
90% finer than	25.14 %	27.72 %	41.39 %	16.51 %	26.65 %	43.04 %

The body formulations / Le formulazioni degli impasti				
Raw materials / Materie prime	MB 1	MB 2	MB 3	GB
Ball clays	25.7 %	24.7 %	24.2 %	25 %
Kaolins / Caolini	31.3 %	30.3 %	29.5 %	29 %
Quartz / Quarzi	24 %	25.5 %	26.3 %	25 %
Feldspar / Felspati	19 %	19.5 %	20 %	21 %
Total / Totale	100	100	100	100 %
Total plastic materials / Totale materie plastiche	57 %	55 %	53.7 %	
Total non plastic mat. / Totale materie non plastiche	43 %	45 %	46.3 %	

MB (Mixing Body) 1, 2 and 3 are the bodies prepared with the "Italian procedure"  
 MB (Mixing Body) 1, 2 e 3 sono gli impasti preparati all'italiana  
 GB (Grinding Body) are the bodies prepared grinding quartz and feldspar  
 GB (Grinding Body) sono gli impasti preparati macinando quarzo e feldspato

in the laboratory oven. During drying, shrinkage and weight loss were checked over the following periods of time: 2 hours after firing; every 10 minutes for the first hour; every 15 minutes for the next hour; every 30 minutes for the following two hours until constant shrinkage and weight were reached.

This information was used to create Bigot diagrams, curves showing the changes in sample dimension against weight loss (water content).

#### Conclusions

From the analyses the following considerations can be made for the two types of body:

#### Bodies with different compositions (MB 1, MB 2 and MB 3)

These bodies showed the following behaviour during drying: When the quantity of plastic raw materials (ball clays and kaolins) is increased, an increase in the finer particles present in the body is observed. Particles finer than 5 micron range from 34.21% in MB 3 to 36.62% in MB 2 and 41.39% in MB 1, which is the body with the highest ball clay and kaolin

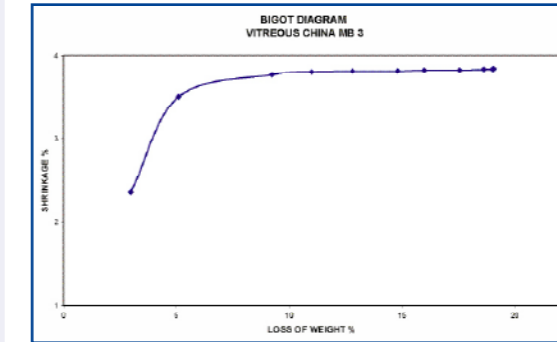
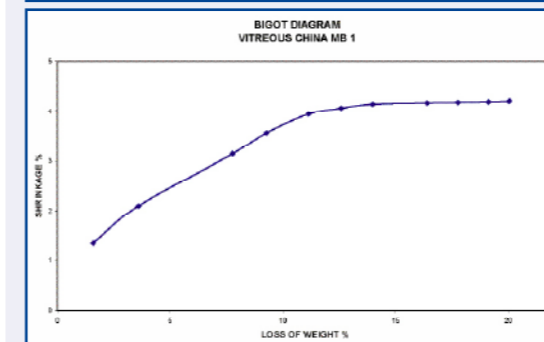
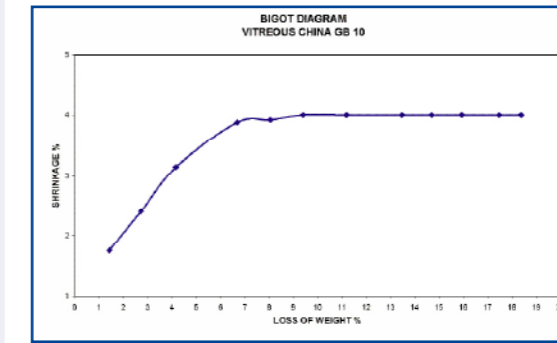
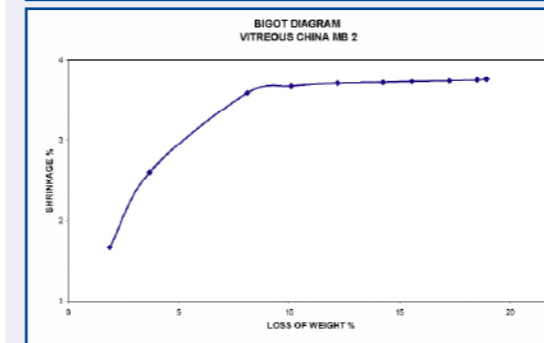
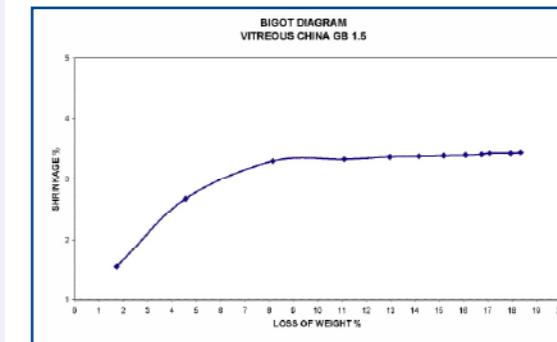
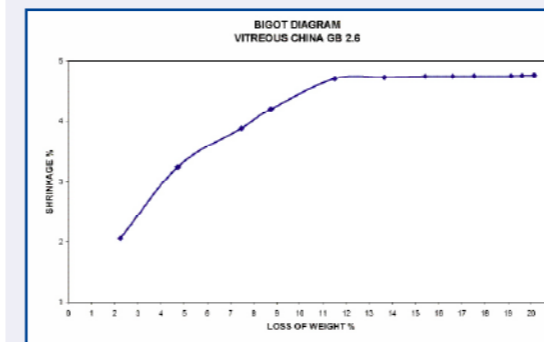
e preparati all'italiana", miscelando cioè assieme tutte le materie prime.

Questi impasti differiscono tra loro per la quantità di materiali plastici e quindi per la presenza di particelle con differenti granulometrie.

Sono inoltre stati studiati altri tre impasti aventi la stessa formula ma preparati macinando quarzo e feldspato per poi aggiungere ball clay e caolino. Questo ha portato ad ottenere tre residui differenti: 1,5% a 45 micron (GB1.5), 2,6% a 63 micron (GB2.6) e 10% a 63 micron (GB10).

Una volta preparati gli impasti, i pezzi sono stati colati, sempre con le stesse modalità nei medesimi stampi, per poi essere essiccati nel forno da laboratorio. Durante l'essiccazione sono stati controllati ritiro e perdita di peso nei seguenti intervalli di tempo: 2 ore dopo il colaggio; ogni 10 minuti per la prima ora; ogni 15 minuti per la successiva; ogni 30 per le due ore successive fino al raggiungimento di ritiro e peso costanti.

Sono stati quindi realizzati i diagrammi di Bigot, e cioè la curve che mostrano le variazioni della dimensione dei campioni in relazione alla perdita di peso (contenuto d'acqua).



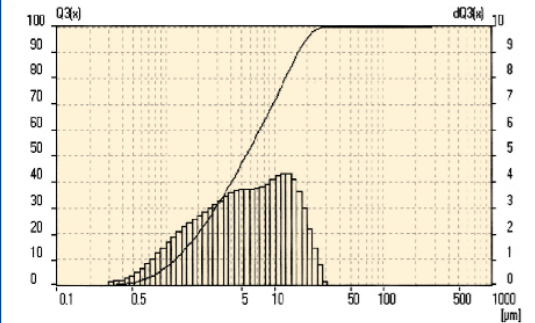
The Bigot curves for the various bodies  
Le curve di Bigot caratteristiche dei vari impasti



Interpolation Values...		C:\Programmi\22_32\FRITSCH\HIMNT_1.FPS	
**** %	< 0.30 µm	1.06 %	< 0.50 µm
47.18 %	< 5.00 µm	71.06 %	< 10.00 µm
95.58 %	< 20.00 µm	99.15 %	< 25.00 µm
100.00 %	< 45.00 µm	100.00 %	< 63.00 µm
100.00 %	< 90.00 µm	100.00 %	< 105.00 µm
100.00 %	< 150.00 µm	100.00 %	< 200.00 µm

Interpolation Values...		C:\Programmi\22_32\FRITSCH\10_90.FPV	
10.00 %	< 1.22 µm	20.00 %	< 1.96 µm
40.00 %	< 4.02 µm	50.00 %	< 5.44 µm
70.00 %	< 9.72 µm	80.00 %	< 12.81 µm
100.00 %	< 31.03 µm		

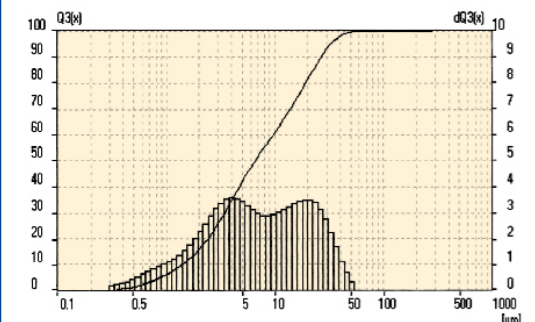
Vitreous China GB 1.5



Interpolation Values...		C:\Programmi\22_32\FRITSCH\HIMNT_1.FPS	
**** %	< 0.30 µm	1.37 %	< 0.50 µm
41.88 %	< 5.00 µm	60.92 %	< 10.00 µm
81.32 %	< 20.00 µm	88.23 %	< 25.00 µm
98.25 %	< 45.00 µm	100.00 %	< 63.00 µm
100.00 %	< 90.00 µm	100.00 %	< 105.00 µm
100.00 %	< 150.00 µm	100.00 %	< 200.00 µm

Interpolation Values...		C:\Programmi\22_32\FRITSCH\10_90.FPV	
10.00 %	< 1.41 µm	20.00 %	< 2.42 µm
40.00 %	< 4.70 µm	50.00 %	< 6.80 µm
70.00 %	< 13.96 µm	80.00 %	< 19.20 µm
100.00 %	< 54.01 µm		

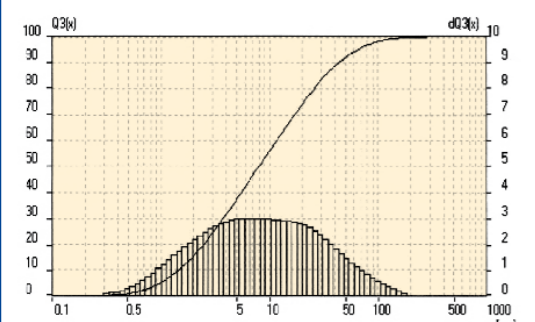
Vitreous China GB 2.6



Interpolation Values...		C:\Programmi\22_32\FRITSCH\HIMNT_1.FPS	
**** %	< 0.30 µm	0.81 %	< 0.50 µm
37.32 %	< 5.00 µm	55.95 %	< 10.00 µm
73.99 %	< 20.00 µm	79.37 %	< 25.00 µm
90.84 %	< 45.00 µm	94.84 %	< 63.00 µm
97.78 %	< 90.00 µm	98.84 %	< 105.00 µm
99.77 %	< 150.00 µm	100.00 %	< 200.00 µm

Interpolation Values...		C:\Programmi\22_32\FRITSCH\10_90.FPV	
10.00 %	< 1.48 µm	20.00 %	< 2.48 µm
40.00 %	< 5.53 µm	50.00 %	< 8.00 µm
70.00 %	< 17.10 µm	80.00 %	< 25.73 µm
100.00 %	< 182.88 µm		

Vitreous China GB 10



content. In the Bigot diagram we can see that increasing the quantity of plastic raw material and therefore the fineness of particles, the behaviour of body in drying changes.

First of all, the value of dry shrinkage increases, although the more the body is plastic the more shrinkage continues even at high value of loss of weight. This results in an increasing risk of cracks in pieces during the drying phase. The conclusion is that for the plasticity of the body there is an optimum value which it is preferable not to exceed.

#### Bodies with the same composition but different grinding (GB 1.5, GB 2.6, GB 10)

From the analysis of particle size distribution, we observed that the grinding of non-plastic materials influences the overall fineness of the body. The most finely ground body (GB 1.5) has a lower value of dry shrinkage, while the body with medium fineness (GB 2.6) has the highest value of dry shrinkage, higher even than that of the body with the coarsest particle size (GB 10). This might appear to be an incongruity, but in fact it is completely justified by the particle size distribution of the three bodies:

- The most finely ground body (GB 1.5) is certainly the most homogeneous in terms of particle dimensions (the particle size distribution curve is narrower), so it is more permeable and water extraction is faster. Bodies of this type display optimal behaviour and performance during drying because they have low shrinkage and rapidly lose water. From the Bigot diagram, we can see that at about 8% of weight loss, shrinkage is already complete. With these values, the risk of breakages during drying is very low.

#### Conclusioni

Dalle analisi effettuate possono essere tratte le seguenti considerazioni per le due tipologie di impasti:

#### Impasti con formulazioni differenti (MB 1, MB 2 e MB 3)

Questi impasti hanno mostrato il seguente comportamento durante l'essiccazione: aumentando le quantità di materie prime plastiche (ball clays e caolini) si osserva un incremento delle particelle più fini presenti nell'impasto; quelle inferiori a 5 micron passano dal 34.21% nel MB 3 al 36.62% nel MB 2 fino al 41.39% nel MB 1 che è l'impasto più ricco in ball clays e caolini.

Osservando i diagrammi di Bigot, inoltre, si osserva come all'aumentare della quantità di materie prime plastiche e quindi della finezza delle particelle, il comportamento dell'impasto risulta differente; in primis si ha un valore crescente nel ritiro a secco. Si evince inoltre che, più l'impasto è plastico più il ritiro continua anche ad alti valori di perdita di peso.

Ciò implica un rischio maggiore di crepe nei pezzi durante la fase di essiccazione. Si può concludere pertanto che anche per la plasticità dell'impasto esiste un optimum che è meglio non superare.

#### Impasti con la stessa composizione ma macinazione differente (GB 1.5, GB 2.6, GB 10)

Dall'analisi sulla distribuzione delle particelle si desume che la macinazione di materie non plastiche influenza la finezza generale dell'impasto. L'impasto più finemente macinato (GB 1.5) ha un valore di ritiro in secco più basso, l'impasto di finezza media (GB 2.6) ha invece il valore più alto, superiore anche all'impasto con le particelle più grossolane (GB 10). Questa evidenza potrebbe erroneamente sembrare una incongruità con le differenze di distribuzione granulometrica delle particelle che compongono gli impasti, ma non lo è in alcun modo. La spiegazione di questo comportamento sta nella distribuzione della granulometria degli impasti:

- L'impasto più fine (GB 1.5) è sicuramente più omogeneo in termini di dimensione delle particelle (la curva di distribuzione delle particelle è più stretta) e per questa ragione risulta più permeabile, e l'estrazione dell'acqua più veloce. Gli impasti di questo tipo hanno ottime performance durante l'essiccazione perchè hanno un basso tasso di ritiro e perdono rapidamente l'acqua. Se si controlla il diagramma di Bigot, infatti, si può osservare come a circa l'8% di perdita di peso il ritiro sia già completo. Con questi valori, il rischio di rotture nella fase di essiccazione è molto basso.
- L'impasto con residuo dal valore intermedio, 2.6 a 63 micron (GB 2.6), è quello che, data la sua distribuzione delle particelle (non molto omogenea, nel diagramma si possono vedere due "gobbe") ha

- The body with intermediate value of residue, 2.6 at 63 micron (GB 2.6), is the one which due to its fairly non-uniform particle size distribution (two "humps" can be observed in the diagram) has the greatest dry shrinkage and loses casting water most slowly. It needs to reach a weight loss of 11.5% to reach complete shrinkage. This type of body is certainly the one at greatest risk of cracking during the drying stage.

- The body with 10% residue at 63 micron (GB 10) has an intermediate behaviour between GB 1.5 and GB 2.6. The particle size distribution is very wide compared to the other two but it is also coarser and will have a medium risk of cracks during the drying phase.

From the above analysis it is clear that for the same operating conditions the correct choice of plasticity level of the body and proper grinding of non-plastic raw materials are two very important parameters for minimising the risk of cracking during the drying stage, which is one of the most critical stages of the entire sanitaryware production process.

un maggiore ritiro in secco e perde più lentamente l'acqua di colaggio; necessita infatti una perdita di peso dell'11.5% per raggiungere il ritiro completo. Questo tipo di impasto è sicuramente quello più rischioso per quanto riguarda le possibili crepe nella fase di essiccazione.

- L'impasto con il 10% di residuo a 63 micron (GB 10) ha un comportamento intermedio tra quelli mostrati dagli impasti GB 1.5 e GB 2.6.

La distribuzione della dimensione delle particelle è infatti molto larga se paragonata a quelle degli altri due impasti ma anche più grossolana e l'impasto risulta caratterizzato da un rischio medio di crepe durante la fase di essiccazione.

Dalle indagini effettuate risulta ovvio che, a parità di condizioni operative, la giusta plasticità dell'impasto e la corretta macinazione delle materie prime non plastiche sono due parametri molto importanti al fine di minimizzare il rischio di crepe durante la fase di essiccazione che risulta pertanto essere una delle fasi più critiche dell'intero processo produttivo dei sanitari.