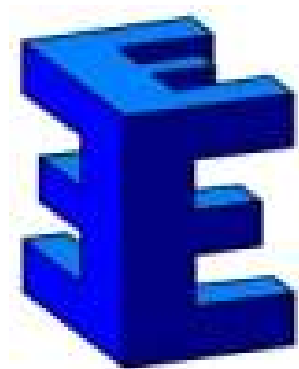


etaflorence * **renewable** **energies**

Il progetto CERAMIN

EIE/06/222/SI2.444565



Manuale di efficienza energetica

**Linee guida sulla riduzione dei consumi energetici
nell'industria europea della ceramica**

Revisione 2 del 19 Ottobre 2009

Autori

Il presente testo è stato elaborato a cura dell'Ing. Guido Nasseti del Centro Ceramico di Bologna e prodotto da ETA Energie Rinnovabili sulla base delle informazioni e figure contenute nel testo "Tutorial on Energy Saving", prodotto nell'ambito del Progetto CERAMIN, e originariamente redatto dal gruppo di esperti del consorzio di progetto.

Il testo, revisionato ed integrato rispetto all'originale, secondo l'esperienza italiana nella produzione di materiale ceramico, è pertanto di esclusiva responsabilità degli autori revisori.



Il documento in inglese "Tutorial on Energy Saving" elaborato dal gruppo di esperti del progetto Ceramin (dalla Polonia, Gran Bretagna, Francia e Germania) e disponibile al sito www.ceramin.eu, costituisce il risultato del relativo task di progetto. Non è disponibile una esatta traduzione di questo documento in lingua italiana.

Copyright © 2009 Autori

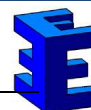
Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere fotocopiata, riprodotta, archiviata, memorizzata o trasmessa in qualsiasi forma o mezzo, elettronico, meccanico, reprografico, digitale, se non nei termini previsti dalla legge che tutela il diritto d'autore e comunque con il consenso scritto degli Autori.

Questa pubblicazione fa parte della documentazione messa a disposizione dal progetto CERAMIN cofinanziato dall'Agenzia Esecutiva per la Competitività e l'Innovazione nell'ambito del Programma "Energia Intelligente per l'Europa": il documento fornisce utili linee guida sulla riduzione dei consumi energetici per l'industria europea della ceramica.



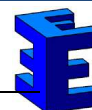
Responsabilità legale:

La responsabilità sul contenuto della pubblicazione è esclusivamente degli autori e non rappresenta in alcuna maniera l'opinione della Comunità Europea. La Commissione Europea non è responsabile per alcun uso che potrebbe essere fatto dalle informazioni ivi contenute.



Indice

0	Introduzione	4
1.	Considerazioni generali.....	7
2.	Blocchi in laterizio per murature	7
3.	Mattoni da pavimentazione e mattoni faccia a vista	15
4.	Tegole e clinker (spaccatelle).....	20
5.	Stoviglieria	25
6.	Articoli igienico-sanitari	31
7.	Piastrelle	36
8	Bibliografia	42



0 Introduzione

Il progetto CERAMIN vuole incoraggiare l'industria europea della ceramica ad investire nella diminuzione dei consumi energetici ($SEC, S_{specific} E_{energy} C_{consumption}$) tramite l'istituzione di una competizione tra aziende volta a premiare i prodotti in commercio prodotti con il minor impegno energetico: ai partecipanti di tale gara viene proposta questa guida indicante le principali pratiche per conseguire tali elevati risparmi energetici.

Le principali aziende europee, produttrici di articoli ceramici, sono state invitate a prendere parte a questa competizione che prevede per i vari sottosectori ceramici un premio per il minor consumo energetico e per l'azienda che ha conseguito la più alta riduzione di energia nel processo di fabbricazione.

In una prima fase il gruppo di esperti del consorzio di progetto decise di testare preliminarmente il meccanismo di gara coinvolgendo un buon numero di imprese ceramiche provenienti da almeno sei paesi europei (informazioni dettagliate del gruppo di esperti del progetto Ceramin sono disponibili sul sito internet: <http://www.ie-leipzig.com/Ceramin/partners.htm>).

La seguente Tabella 1 presenta i partecipanti industriali al 31.12.2008, suddivisi per settori e per nazione, che hanno deciso di aderire al test del meccanismo di gara.

	GB	S	F	I	G	PL	Somma per settore
Mattoni per muratura					1	2	3
Mattoni da parete e pavimento	9				13	2	24
Tegole						1	1
Refrattari	2	3	1			1	7
Piastrelle da parete e pavimento	1		2			1	4
Sanitari			1		1	1	3
Stoviglie	3		1			2	6
Ceramiche tecniche							0
Somme per paese	15	3	5	0	15	10	48

Tabella1

La Tabella 2 mostra il risultato del test del meccanismo di gara. Le regole per il calcolo per la mitigazione energetica sono allegate e presentate alla fine del documento nell'Annesso1. In base a tali regole, devono essere riportati i dati di produzione di almeno due annualità: con i dati di due annualità è possibile calcolare per ogni società un valore finale, confrontabile, indicante il grado di mitigazione conseguito.

Le società che hanno partecipato a questa fase di test sono ordinate per settore e per il livello di mitigazione energetica che hanno conseguito: sono riportate soltanto le prime cinque (se il sottosectore presentava un sufficiente numero di imprese) per la mitigazione energetica conseguita e la migliore in termini assoluti per ogni settore.



I dati, almeno per questa fase di test, non sono verificati o certificati da soggetti terzi ad eccezione dell'industria ceramica pesante per la quale sono disponibili, per la maggior parte delle aziende dati certificati secondo la EU ETS (Emission Trading Scheme).

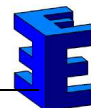
	Enter-prise No.	No. of Plant	Branch	Sum of energy consumption [GJ]	SEC [GJ/t]	Place-ment absolute	Energy miti-gation	Place-ment mitigation
D	1	1	Masonry...	15.308	2,69	4	0,92	1
PL	PL-3	PL-3	Masonry...	181.290	1,34	1	0,38	2
PL	PL-5	PL-5-2	Masonry...	145.052	2,17	2	0,29	3
PL	PL-5	PL-5-2	Masonry...	138.090	2,61	3		
PL	PL-3	PL-3	Masonry...	287.464	2,76	5		
D	1	1	Masonry...	20.885	3,60	6		
UK	5	1	Pavement...	56.609	10,63	42	3,81	1
UK	3	1	Pavement...	21.388	4,24	32	1,63	2
UK	8	1	Pavement...	9.768	3,16	25	1,10	3
UK	6	1	Pavement...	19.413	5,83	38	0,97	4
D	6	1	Pavement...	90.670	4,72	35	0,40	5
UK	1	1	Pavement...	4.135	1,43	2	-0,05	16
UK	1	1	Pavement...	4.024	1,37	1		
UK	8	1	Pavement...	13.168	4,26	33		
D	6	1	Pavement...	99.921	5,12	37		
UK	3	1	Pavement...	35.812	5,88	39		
UK	6	1	Pavement...	21.743	6,80	40		
UK	5	1	Pavement...	62.746	14,45	46		
PL	PL-5	PL-5-1	roof...	78.481	4,27		12,08	
PL	PL-5	PL-5-1	roof...	34.822	22,38			
UK	9	1	refractories	90.397	16,31	11	6,27	1
E	2	2	refractories	44.031	8,16	7	1,72	2
PL	PL-4	PL-4	refractories	304.986	4,91	3	1,13	3
F	D	1	refractories	50.026	10,88	8	0,51	4
E	2	1	refractories	57.675	3,77	1	0,24	5
E	2	1	refractories	53.184	4,66	2		
PL	PL-4	PL-4	refractories	347.730	6,04	4		
F	D	1	refractories	45.543	11,39	9		
E	2	2	refractories	51.487	13,32	10		
UK	9	1	refractories	145.421	25,72	12		
UK	13	1	tiles	475.346	8,80	7	0,67	1



PL	PL-1	PL-1	tiles	505.728	5,13	3	0,28	2
F	C	1	tiles	212.677	8,33	5	0,13	3
F	B	1	tiles	300.240	5,12	2	-0,12	4
F	B	1	tiles	349.200	5,00	1		
PL	PL-1	PL-1	tiles	356.082	5,55	4		
F	C	1	tiles	196.815	8,73	6		
UK	13	1	tiles	491.282	9,46	8		
F	A	1	sanitary...	176.090	20,79	5	3,02	1
PL	PL-7	PL-7	sanitary...	118.560	10,68	1	1,03	2
D	13	1	sanitary...	81.472	10,76	2	0,65	3
D	13	1	sanitary...	82.198	12,07	3		
PL	PL-7	PL-7	sanitary...	138.484	14,69	4		
F	A	1	sanitary...	178.351	25,33	6		
UK	11	1	table...	131.907	56,35	10	13,18	1
PL	PL-8	PL-8	table...	259.203	44,57	5	4,96	2
F	E	1	table...	125.536	52,39	6	3,90	3
PL	PL-2	PL-2	table...	454.358	31,21	1	1,96	4
UK	12	1	table...	241.809	33,13	2	1,01	5
PL	PL-2	PL-2	table...	299.109	36,10	4		
UK	12	1	table...	277.784	34,65	3		
PL	PL-8	PL-8	table...	287.050	54,50	8		
F	E	1	table...	122.729	56,30	9		
UK	11	1	table...	169.593	76,12	12		

Tabella 2: le migliori cinque aziende nei diversi sottosectori ceramici per la mitigazione energetica conseguita e la migliore in termini assoluti per ogni settore.

Le raccomandazioni e le osservazioni contenute nelle pagine seguenti sono il risultato delle esperienze sul campo maturate dal gruppo di esperti del progetto CERAMIN e delle numerose fonti bibliografiche riportate nelle ultime pagine del presente documento.



Considerazioni generali

1.1. A proposito delle Linee Guida

Le Linee Guida sono strutturate per settori ceramici. Molte raccomandazioni sono applicabili a più di un settore o sono simili anche per settori differenti; pertanto tali raccomandazioni sono ripetute per ogni settore in cui si possono applicare.

Occorre tenere presente che solamente alcune raccomandazioni si possono adattare alla produzione specifica di un'azienda o alle sue necessità relativamente ai costi e benefici.

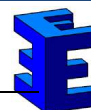
1.2. Raccomandazioni generali

- Quando un impianto lavora, in parte o per intero, a pieno regime, cioè il più possibile vicino alla sua capacità di progetto, esso presenta un consumo energetico specifico (C.E.S) inferiore rispetto alla condizione di operare al di sotto di questo valore (massima produttività).
- Sebbene i consumi di energia elettrica nel processo ceramico non siano stati presi in considerazione in queste Linee Guida, la cogenerazione di energia elettrica e calore può essere considerata una buona opzione strategica per risparmiare costi ed energia.

2. Blocchi in laterizio per murature

2.1. Materie prime e impasti

- Gli additivi per migliorare le caratteristiche d'isolamento termico, mediante la formazione di porosità interne alla massa durante la cottura, possono contribuire alla riduzione dei consumi energetici, essendo sostanze combustibili. Le temperature di combustione di tali additivi presentano un ampio intervallo. Scarti di grafite, coke di petrolio o argille contenenti alti tenori di sostanze organiche possono fornire energia fino a 800°C.
- Additivi, quali ceneri, rottame di vetro, lana di vetro possono favorire la riduzione della temperatura di cottura o contribuire a produrre materiali alleggeriti nella massa ma con le stesse proprietà meccaniche dei materiali standard. Nel caso dei laterizi, e in generale per tutti i materiali ceramici tradizionali, non si raggiunge una vera e propria sinterizzazione, perché la porosità del materiale cotto è abbastanza elevata. E' più corretto parlare di greificazione, cioè di solidificazione, che nei laterizi avviene per la reazione dell'ossido di calcio, derivante dalla decomposizione dei carbonati presenti nelle argille, con la silice contenuta nel quarzo (sabbia). Gli additivi citati favoriscono il processo di greificazione. Tra questi additivi la lana di vetro, essendo fibrosa, può presentare diversi inconvenienti tra cui: (i) l'usura precoce dei fili delle taglierine, (ii) la



sicurezza dell'ambiente di lavoro (le fibre disperse nell'aria sono dannose alla salute degli operatori, perché possono essere inalate). Pertanto, dopo alcune prove sperimentali, non sono mai state utilizzate negli impasti (per lo meno in Italia).

- La formatura richiede una certa plasticità del materiale da formare. Specialmente per gli attuali mattoni un corretto quantitativo d'acqua è necessario per fornire una buona plasticità all'impasto. Si può ridurre il quantitativo d'acqua di formatura usando argille con una migliore plasticità oppure aggiungendo speciali additivi, detti "leganti" o "tenacizzanti", che conferiscono una maggiore resistenza meccanica in crudo all'impasto. Tali additivi possono essere a base organica (polisaccaridi, ligninsulfonati, etc...), o a base inorganica. Quando si usano tali additivi bisogna fare molta attenzione al dosaggio, soprattutto per gli additivi organici, per non provocare il difetto di cuore nero nel materiale in cottura. Riducendo l'acqua di formatura si consegue un risparmio energetico in essiccamento.

2.2. Formatura

- E' possibile risparmiare energia in essiccamento con l'estrusione in pasta dura, cioè a tenori di umidità inferiori a quelli standard. Comunque non tutti gli impasti sono adatti, dal momento che, a volte, il risparmio energetico conseguibile in essiccamento grazie al minor contenuto d'acqua di formatura è annullato dal maggior consumo elettrico dell'estrusore.
- Si può provare ad aumentare la temperatura d'estrusione del materiale, mediante iniezione di vapore nella mattoniera, in modo da farlo entrare nell'essiccatoio più caldo e più umido in superficie e velocizzare così il ciclo di essiccamento.

2.3. Essiccamento

Nell'industria ceramica essiccare significa rimuovere l'acqua di formatura, o interstiziale, e l'acqua zeolitica, o colloidale, legata da deboli forze di legame (di Van der Waals), dall'impasto per migrazione interna e per evaporazione superficiale. E' ben noto che l'acqua presenta elevati valori di calore specifico (4,2 kJ/kgK) e calore latente di evaporazione (2500 kJ/kg).

Inevitabilmente tali proprietà causano elevati consumi energetici in essiccamento. L'unico obiettivo da perseguire nella riduzione dei consumi energetici in essiccamento può essere quello di avvicinarsi il più possibile al consumo teorico.

La Fig. 1 mostra che attualmente fino al 50% dell'energia del processo produttivo dei laterizi viene utilizzata nell'essiccamento, sebbene nel Regno Unito, dove viene molto impiegata la tecnica dell'estrusione in pasta dura, solo il 30% di energia termica è usata nell'essiccamento.

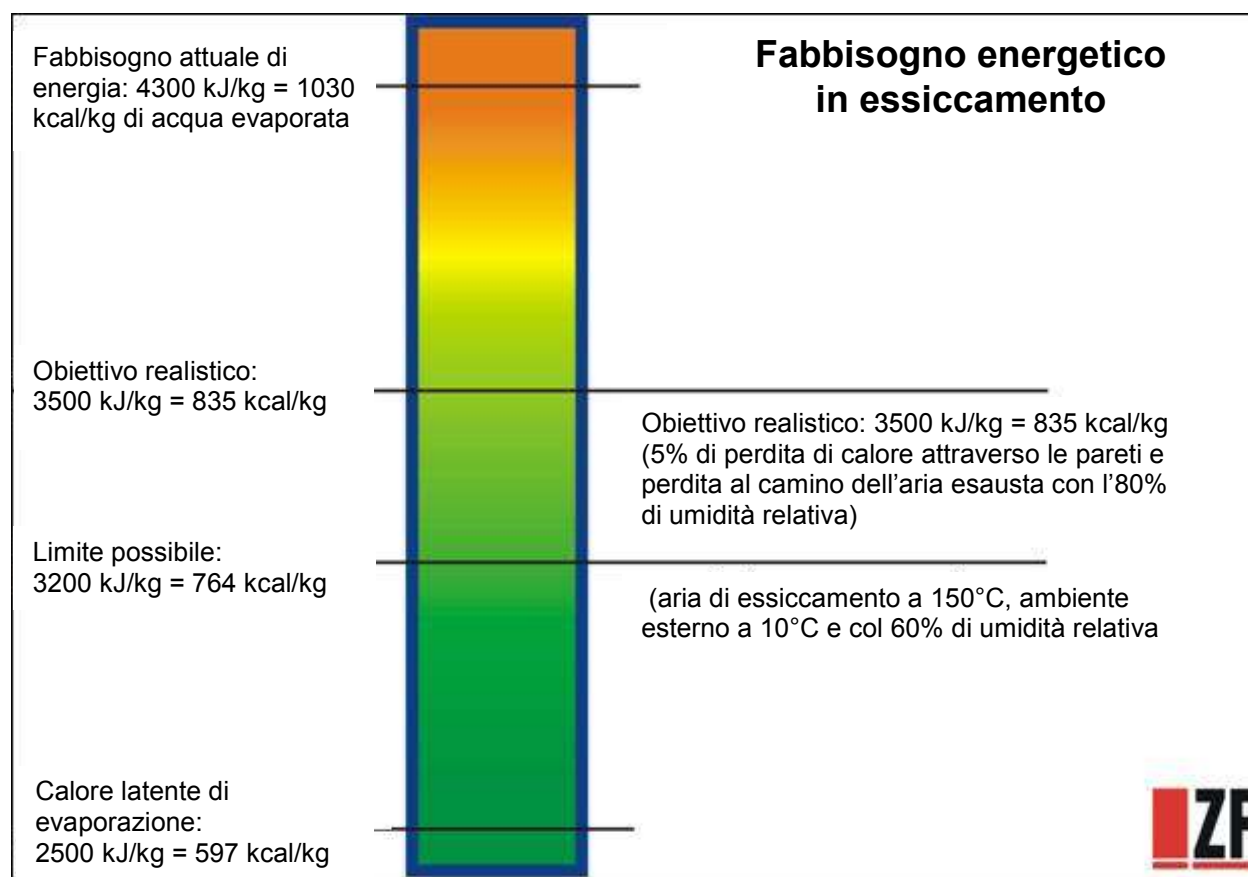


Fig. 1: Stato dell'arte dell'essiccamento

- Un altro metodo di ammodernamento è il controllo del sistema di ventilazione-combustione in funzione della temperatura e dell'umidità che si devono mantenere nelle diverse zone dell'essiccatoio.
- Privilegiare l'utilizzo dell'aria di essiccamento in minori volumi ma a più alta temperatura in modo da ridurre le perdite al camino e da velocizzare il ciclo di essiccamento, soprattutto all'ingresso dei pezzi nell'essiccatoio.
- Indirizzare il flusso di aria d'essiccamento attraverso le forature dei mattoni.

La Figura 2 mostra i più bassi costi energetici (calore ed elettricità) conseguibili ottimizzando il calore e il flusso di aria d'essiccamento.

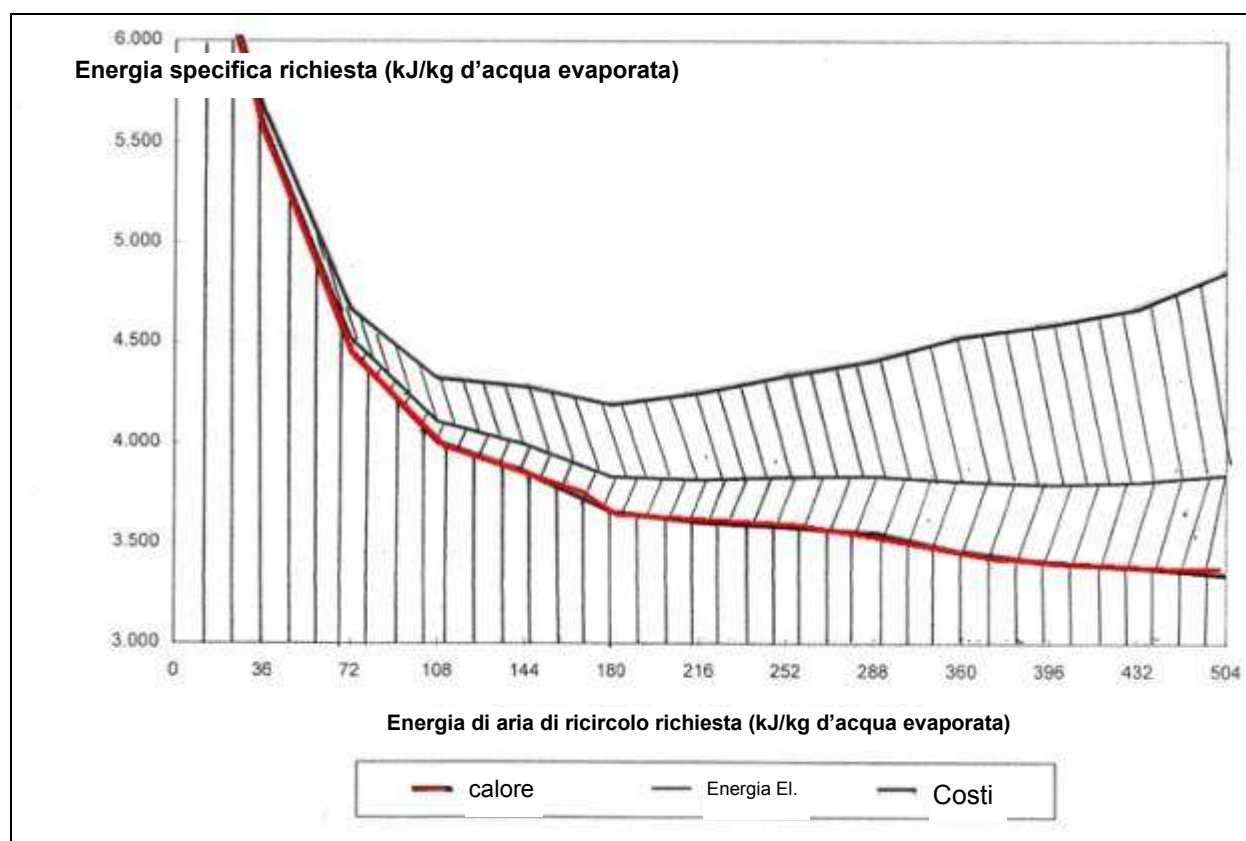


Fig. 2: Energia termica richiesta in funzione dell'energia di aria di ricircolo richiesta negli essiccatoi

- La collocazione del materiale nell'essiccatoio e la densità di carica deve favorire la maggiore esposizione possibile della superficie del materiale al passaggio dell'aria d'essiccamento.
- Tempi di essiccamento più brevi, se compatibili con l'integrità del materiale, favoriscono il risparmio di energia.
- Dirigere opportunamente i flussi di aria sul materiale velocizza il processo e riduce i tempi d'essiccamento; flussi d'aria intermittenti sul materiale possono ridurre i tempi d'essiccamento e aumentare la resa produttiva.
- Utilizzare software per simulare il processo d'essiccamento, così come controllare i dati operativi mediante controllo remoto sono un buon sistema per migliorare l'essiccamento.
- La tubazione di collegamento tra forno ed essiccatoio, per il recupero dell'aria di raffreddamento dal forno a favore dell'essiccatoio, dev'essere ben coibentata; occorre comunque fare un'analisi costi-benefici per ottimizzare lo spessore dell'isolamento in funzione della riduzione delle perdite di calore.
- La maggior parte dei moderni essiccatoi possono risparmiare fino al 90% di tempo d'essiccamento rispetto agli essiccatoi convenzionali.
- L'utilizzo di sistemi alternativi d'essiccamento che usano aria satura di vapore, i cosiddetti "essiccatoi senza aria *airless driers*", permettono di conseguire una riduzione notevole dei tempi d'essiccamento e dei consumi energetici. Occorre fare un'analisi di costi e benefici per l'applicazione ai particolari prodotti.
- Sistemi alternativi d'essiccamento mediante bruciatori a raggi infrarossi, che possono essere alimentati con diversi gas, sono facilmente regolabili ed

energeticamente molto efficienti, sono disponibili sul mercato e permettono di ridurre i tempi d'essiccamento. Possono anche essere incorporati nelle camere degli essiccatoi esistenti.

- Sono stati sperimentati già alla fine degli anni '80 sistemi d'essiccamento a microonde, che velocizzano drasticamente i tempi d'essiccamento, grazie al fatto che la trasmissione del calore con le microonde permette un riscaldamento selettivo dell'acqua, in quanto molecola dipolare. Tali sistemi sono però molto costosi, sia dal punto di vista impiantistico sia (in Italia) dal punto di vista dei costi delle energia elettrica e pertanto poco convenienti.

2.4. Cottura

Il consumo energetico specifico nella cottura dei prodotti ceramici dipende dal ciclo di cottura richiesto, che a sua volta è determinato dal tempo di cottura, dai gradienti di temperatura di riscaldamento e dalla temperatura max. di cottura. Il ciclo di cottura e la temperatura di cottura sono determinati in base alla composizione dell'impasto, al processo di formatura e alle proprietà richieste al materiale cotto.

La Figura 3 mostra una crescita esponenziale del consumo specifico in funzione della temperatura di cottura.

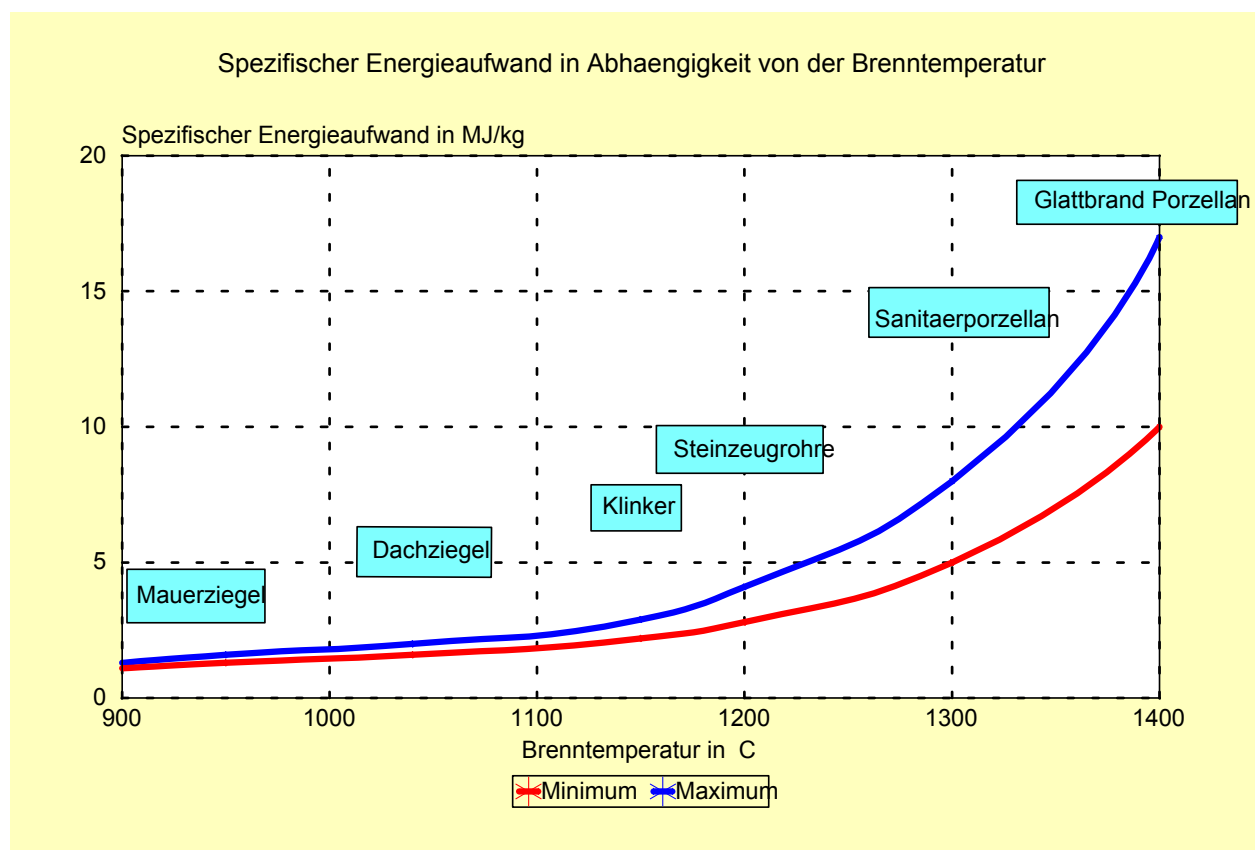
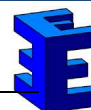


Fig. 3: Consumi energetici di diversi prodotti ceramici con differenti temperature di cottura



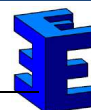
Blocchi in laterizio per murature:	900-980 °C 3,5-5 MJ/kg cotto = 835-1194 kcal/kg cotto 290-350 kcal/kg cotto
Tegole:	1020-1080°C 4,5-6 MJ/kg cotto = 1075-1433 kcal/kg cotto 250-450 kcal/kg cotto (f. a tunnel) 900-950 kcal/kg cotto (f. intermittenti)
Mattoni faccia a vista:	1120-1190°C 6-8 MJ/kg cotto = 1433-1910 kcal/kg cotto 430-520 kcal/kg cotto
Tubi di grès:	1160-1240°C 8-10,5 MJ/kg cotto = 1910-2507 kcal/kg cotto
Sanitari:	1260-1360°C 13,5-15 MJ/kg cotto = 3224-3582 kcal/kg cotto 950-2200 kcal/kg cotto (f. a tunnel) 2300- >4000 kcal/kg cotto (f. intermittenti)
Porcellana (ultima cottura)	1330-1440°C 17-19 MJ/kg cotto = 4060-4540 kcal/kg cotto

I dati di consumo termico specifico in carattere normale si riferiscono a fornaci di vecchio tipo, mentre quelli in grassetto rappresentano lo stato dell'arte degli impianti recenti.

2.4.1. Progettazione del forno e dei carri di supporto del materiale

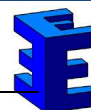
In generale, le perdite di energia possono essere influenzate dalla progettazione del forno e dei carri di supporto del materiale in due modi:

- 1. Infiltrazioni d'aria dell'ambiente esterno nel forno**
Bisogna cercare di ridurre, per quanto possibile, le infiltrazioni di aria fredda proveniente dall'ambiente circostante il forno
- 2. Densità dei materiali costituenti il forno e i carri di supporto che devono essere riscaldati**
 - Il piano del carro dovrebbe essere costruito con materiali isolanti di alta qualità, cioè ad elevato isolamento termico e a bassa densità. Si raccomanda di adattare gli starti di materiale costituente il carro in modo tale da sopportare le differenti rispettive tensioni dovute ai differenti gradienti di temperatura.
 - Cercare di evitare volte del forno autoportanti. Tali volte tendono a flettersi verso il canale di cottura a causa delle differenti dilatazioni dovute alle differenze di temperatura nella sezione trasversale del forno. E' importante considerare molto attentamente la progettazione ed avere una volta sostenuta dalla parete del forno.

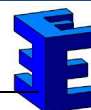


2.4.2. Combustibili e tecnologia di cottura

- Con i moderni forni a tunnel, in ingresso al forno (zona che risente del tiraggio del camino) la depressione statica non dovrebbe superare i 10-15 Pa; in zona di cottura si raccomanda un valore massimo di pressione statica pari a 1-2 Pa.
- Anche se l'utilizzo di combustibili solidi nell'industria ceramica europea è dismesso da tempo per alcuni produttori di laterizi c'è ancora possibilità di conseguire risparmi energetici passando al gas naturale. La combustione di questi è più efficiente. Attualmente si usa in massima parte il gas naturale, che presenta, oltre ad una maggiore efficienza di combustione, anche il vantaggio di non inquinare il materiale con le sostanze organiche e lo zolfo presenti nei fumi derivanti dalla combustione del carbone e dell'olio. Il GPL, che ha gli stessi vantaggi del gas naturale rispetto ai combustibili solidi e liquidi, si usa soprattutto quando non si ha a disposizione il gas naturale. Nelle fornaci dell'Europa meridionale (Grecia, Spagna e Sud Italia) si può ancora trovare qualche fornace che utilizza l'olio (BTZ, cioè a basso tenore di zolfo; l'ATZ non è ammesso nell'Unione Europea). Fornaci che utilizzano il carbone si trovano in India e in Cina.
- L'utilizzo di energie rinnovabili, quali i bio-gas prodotti dalle aziende con propri impianti, permettono di conseguire riduzione di costi ed emissioni di CO₂; i bio-gas, comunque, non possono coprire l'intero fabbisogno energetico della fornace.
- Migliorare il sistema di controllo del ciclo di cottura adottando nuovi sistemi di combustione e controlli multizonali.
- I bruciatori ad impulsi sono più efficienti di quelli convenzionali, in quanto permettono un più efficiente ed uniforme scambio termico in tutta la carica del materiale in cottura.
- I bruciatori ad alta velocità (con velocità dei gas esausti > 100 m/s) sono raccomandati nella zona di preriscaldamento fino a 700°C. A questa più bassa temperatura il riscaldamento avviene principalmente per convezione, per cui si aumenta lo scambio termico aumentando la velocità dei fumi sul materiale. I bruciatori ad alta velocità si utilizzano anche in zona di cottura per due motivi: (i) anche in zona di cottura c'è scambio termico per convezione, oltre che per irraggiamento, (ii) è necessario avere un'alta velocità dei fumi per raggiungere con certezza tutte le pile del materiale sul carro e quindi mantenere costante le caratteristiche del prodotto (ritiro in cottura, porosità, colore, etc...)
- Tecniche già descritte per l'essiccamento sono importanti anche per la cottura: permettono ai gas caldi di fluire meglio attraverso il materiale: si ricorda l'accorgimento di dirigere opportunamente i flussi di aria sul materiale, anche se comunque meno importante dell'utilizzo dei bruciatori ad alta velocità.
- L'aria di combustione dovrebbe essere preriscaldata; alle temperature più alte di cottura il preriscaldamento dell'aria di combustione consente di ottenere risparmi energetici. Il preriscaldamento dovrebbe essere fatto utilizzando l'aria esausta del forno, uscente dalla zona di raffreddamento alla più alta temperatura.



- Utilizzare il materiale di supporto già caldo e non a temperatura ambiente, ad es. disponendo di telai di supporto del materiale sia per l'essiccamento sia per la cottura o disponendo direttamente il materiale da essiccare sui carri del forno.
- I gas caldi dovrebbero passare tra i fori dei mattoni per aumentare la superficie di scambio termico tra fumi e materiale, chiamata "cottura a perfusione".
Per quanto riguarda il concetto di dirigere opportunamente i flussi di aria sul materiale, già accennato precedentemente, vale quanto commentato a proposito dei bruciatori ad alta velocità. D'altra parte, la carica, cioè la disposizione del materiale sul carro di supporto deve seguire certe regole; ad es. i blocchi vengono sovrapposti a strati con direzione diversa perché il materiale non crolli.



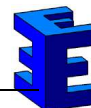
3. Mattoni da pavimentazione e mattoni faccia a vista

3.1. Materie prime e impasti

- Additivi , quali ceneri, rottame di vetro, lana di vetro possono favorire la riduzione della temperatura di cottura o contribuire a produrre materiali alleggeriti nella massa ma con le stesse proprietà meccaniche dei materiali standard.
- Nel caso dei laterizi, e in generale per tutti i materiali ceramici tradizionali, non si raggiunge una vera e propria sinterizzazione, perché la porosità del materiale cotto è abbastanza elevata. E' più corretto parlare di greificazione, cioè di solidificazione, che nei laterizi avviene per la reazione dell'ossido di calcio, derivante dalla decomposizione dei carbonati presenti nelle argille, con la silice contenuta nel quarzo (sabbia). Gli additivi citati favoriscono il processo di greificazione. Tra questi additivi la lana di vetro, essendo fibrosa, può presentare diversi inconvenienti tra cui: (i) l'usura precoce dei fili delle taglierine, (ii) la sicurezza dell'ambiente di lavoro (le fibre disperse nell'aria sono dannose alla salute degli operatori, perché possono essere inalate). Pertanto, dopo alcune prove sperimentali, non sono mai state utilizzate negli impasti (per lo meno in Italia). La formatura richiede una certa plasticità del materiale da formare. Un corretto quantitativo d'acqua è necessario per fornire una buona plasticità all'impasto. Si può ridurre il quantitativo d'acqua di formatura usando argille con una migliore plasticità oppure aggiungendo speciali additivi, detti "leganti" o "tenacizzanti", che conferiscono una maggiore resistenza meccanica in crudo all'impasto. Tali additivi possono essere a base organica (polisaccaridi, ligninsulfonati, etc...), o a base inorganica. Quando si usano tali additivi bisogna fare molta attenzione al dosaggio, soprattutto per gli additivi organici, per non provocare il difetto di cuore nero nel materiale in cottura. Riducendo l'acqua di formatura si consegue un risparmio energetico in essiccamento.

3.2. Formatura

- E' possibile risparmiare energia in essiccamento con l'estrusione in pasta dura, cioè a tenori di umidità inferiori a quelli standard. Comunque non tutti gli impasti sono adatti, dal momento che, a volte, il risparmio energetico conseguibile in essiccamento grazie al minor contenuto d'acqua di formatura è annullato dal maggior consumo elettrico dell'estrusore.
- Si può provare ad aumentare la temperatura d'estrusione del materiale, mediante iniezione di vapore nella mattoniera, in modo da farlo entrare nell'essiccatoio più caldo e più umido in superficie e velocizzare così il ciclo di essiccamento.
- Disegni sofisticati della superficie che viene posata sul massetto di cemento possono ridurre il peso dei mattoni da pavimento, risparmiando sull'impasto. Disegni di questo tipo sono possibili anche per i mattoni faccia a vista. Una opportuna foratura permette di conseguire risparmi energetici in essiccamento e in cottura grazie alla maggiore superficie di scambio termico.



3.3. Essiccamento

Nell'industria ceramica essiccare significa rimuovere l'acqua di formatura, o interstiziale, e l'acqua zeolitica, o colloidale, legata da deboli forze di legame (di Van der Waals), dall'impasto per migrazione interna e per evaporazione superficiale. E' ben noto che l'acqua presenta elevati valori di calore specifico (4,2 kJ/kgK) e calore latente di evaporazione (2500 kJ/kg).

Inevitabilmente tali proprietà causano elevati consumi energetici in essiccamento. L'unico obiettivo da perseguire nella riduzione dei consumi energetici in essiccamento può essere quello di avvicinarsi il più possibile al consumo teorico.

La Fig. 1 mostra che attualmente fino al 50% dell'energia del processo produttivo dei laterizi viene utilizzata nell'essiccamento, sebbene nel Regno Unito, dove viene molto impiegata la tecnica dell'estrusione in pasta dura, solo il 30% di energia termica è usata nell'essiccamento.

- Un modo per ridurre i consumi energetici in essiccamento è quello di collegare il forno all'essiccatoio.
- Oggi l'accoppiamento forno-essiccatoio costituisce lo stato dell'arte; l'essiccatoio va in continuo assieme al forno e non si ferma nel fine settimana, la mattoniera sì, ma non è critico l'avviamento.
- Un altro metodo è il controllo del sistema di ventilazione-combustione in funzione della temperatura e dell'umidità che si devono mantenere nelle diverse zone dell'essiccatoio.
- Privilegiare l'utilizzo dell'aria di essiccamento in minori volumi ma a più alta temperatura in modo da ridurre le perdite al camino e da velocizzare il ciclo di essiccamento, soprattutto all'ingresso dei pezzi nell'essiccatoio.
- Indirizzare il flusso di aria d'essiccamento attraverso le forature dei mattoni.
- La Figura 2 mostra i più bassi costi energetici (calore ed elettricità) conseguibili ottimizzando il calore e il flusso di aria d'essiccamento.
- La collocazione del materiale nell'essiccatoio e la densità di carica deve favorire la maggiore esposizione possibile della superficie del materiale al passaggio dell'aria d'essiccamento.
- Tempi di essiccamento più brevi, se compatibili con l'integrità del materiale, favoriscono il risparmio di energia.
- Dirigere opportunamente i flussi di aria sul materiale velocizza il processo e riduce i tempi d'essiccamento; flussi d'aria intermittenti sul materiale possono ridurre i tempi d'essiccamento e aumentare la resa produttiva.
- Utilizzare software per simulare il processo d'essiccamento, così come controllare i dati operativi mediante controllo remoto sono un buon sistema per migliorare l'essiccamento.
- La tubazione di collegamento tra forno ed essiccatoio, per il recupero dell'aria di raffreddamento dal forno a favore dell'essiccatoio, dev'essere ben coibentata; occorre comunque fare un'analisi costi-benefici per ottimizzare lo spessore dell'isolamento in funzione della riduzione delle perdite di calore.
- La maggior parte dei moderni essiccatoi possono risparmiare fino al 90% di tempo d'essiccamento rispetto agli essiccatoi convenzionali.
- L'utilizzo di sistemi alternativi d'essiccamento che usano aria satura di vapore, i cosiddetti "essiccatoi senza aria *airless driers*", permettono di conseguire una

- riduzione notevole dei tempi d'essiccamento e dei consumi energetici. Occorre fare un'analisi di costi e benefici per l'applicazione ai particolari prodotti.
- Sistemi alternativi d'essiccamento mediante bruciatori a raggi infrarossi, che possono essere alimentati con diversi gas, sono facilmente regolabili ed energeticamente molto efficienti, sono disponibili sul mercato e permettono di ridurre i tempi d'essiccamento. Possono anche essere incorporati nelle camere degli essiccatoi esistenti.
 - Sono stati sperimentati già alla fine degli anni '80 sistemi d'essiccamento a microonde, che velocizzano drasticamente i tempi d'essiccamento, grazie al fatto che la trasmissione del calore con le microonde permette un riscaldamento selettivo dell'acqua, in quanto molecola dipolare. Tali sistemi sono però molto costosi, sia dal punto di vista impiantistico sia (in Italia) dal punto di vista dei costi dell'energia elettrica e pertanto poco convenienti.
 - Moderni sistemi di supporto del materiale, a massa alleggerita e con materiali speciali (cfr. Fig. 5) permettono di risparmiare energia.



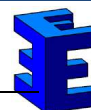
Fig. 5: Mobil System di Rotho - telaio di supporto per mattoni da pavimento o faccia a vista.

3.4. Cottura

Il consumo energetico specifico nella cottura dei prodotti ceramici dipende dal ciclo di cottura richiesto, che a sua volta è determinato dal tempo di cottura, dai gradienti di temperatura di riscaldamento e dalla temperatura max. di cottura. Il ciclo di cottura e la temperatura di cottura sono determinati in base alla composizione dell'impasto, al processo di formatura e alle proprietà richieste al materiale cotto.

La Figura 3 mostra una crescita esponenziale del consumo specifico in funzione della temperatura di cottura.

La Figura 4 mostra il bilancio energetico di un forno a tunnel per blocchi di muratura. I valori più elevati di perdite di energia consistono nei differenti flussi di aria esausta parzialmente usati per l'essiccamento.



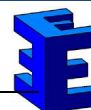
3.4.1. Progettazione del forno e dei carri di supporto del materiale

In generale, le perdite di energia possono essere influenzate dalla progettazione del forno e dei carri di supporto del materiale in due modi:

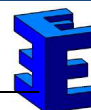
1. **Infiltrazioni d'aria dell'ambiente esterno nel forno**
Bisogna cercare di ridurre, per quanto possibile, le infiltrazioni di aria fredda proveniente dall'ambiente circostante il forno
2. **Densità dei materiali costituenti il forno e i carri di supporto che devono essere riscaldati**
 - Il piano del carro dovrebbe essere costruito con materiali isolanti di alta qualità, cioè ad elevato isolamento termico e a bassa densità. Si raccomanda di adattare gli starti di materiale costituente il carro in modo tale da sopportare le differenti rispettive tensioni dovute ai differenti gradienti di temperatura.
 - Cercare di evitare volte del forno autoportanti. Tali volte tendono a flettersi verso il canale di cottura a causa delle differenti dilatazioni dovute alle differenze di temperatura nella sezione trasversale del forno. È importante considerare molto attentamente la progettazione ed avere una volta sostenuta dalla parete del forno.

3.4.2. Combustibili e tecnologia di cottura

- Con i moderni forni a tunnel, in ingresso al forno (zona che risente del tiraggio del camino) la depressione statica non dovrebbe superare i 10-15 Pa; in zona di cottura si raccomanda un valore massimo di pressione statica pari a 1-2 Pa.
- L'utilizzo di energie rinnovabili, quali i bio-gas prodotti dalle aziende con propri impianti, permettono di conseguire riduzione di costi ed emissioni di CO₂; i bio-gas, comunque, non possono coprire l'intero fabbisogno energetico della fornace.
- Migliorare il sistema di controllo del ciclo di cottura adottando nuovi sistemi di combustione e controlli multizonali.
- I bruciatori ad impulsi sono più efficienti di quelli convenzionali, in quanto permettono un più efficiente ed uniforme scambio termico in tutta la carica del materiale in cottura.
- I bruciatori ad alta velocità (con velocità dei gas esausti > 100 m/s) sono raccomandati nella zona di preriscaldamento fino a 700°C. A questa più bassa temperatura il riscaldamento avviene principalmente per convezione, per cui si aumenta lo scambio termico aumentando la velocità dei fumi sul materiale.
I bruciatori ad alta velocità si utilizzano anche in zona di cottura per due motivi: (i) anche in zona di cottura c'è scambio termico per convezione, oltre che per irraggiamento, (ii) è necessario avere un'alta velocità dei fumi per raggiungere con certezza tutte le pile del materiale sul carro e quindi



- mantenere costante le caratteristiche del prodotto (ritiro in cottura, porosità, colore, etc...)
- Tecniche già descritte per l'essiccamento sono importanti anche per la cottura: permettono ai gas caldi di fluire meglio attraverso il materiale: si ricorda l'accorgimento di dirigere opportunamente i flussi di aria sul materiale, anche se comunque meno importante dell'utilizzo dei bruciatori ad alta velocità.
 - L'aria di combustione dovrebbe essere preriscaldata; alle temperature più alte di cottura il preriscaldamento dell'aria di combustione consente di ottenere risparmi energetici. Il preriscaldamento dovrebbe essere fatto utilizzando l'aria esausta del forno, uscente dalla zona di raffreddamento alla più alta temperatura.
 - Utilizzare il materiale di supporto già caldo e non a temperatura ambiente, ad es. disponendo di telai di supporto del materiale sia per l'essiccamento sia per la cottura o disponendo direttamente il materiale da essiccare sui carri del forno.
 - I gas caldi dovrebbero passare tra i fori dei mattoni per aumentare la superficie di scambio termico tra fumi e materiale, chiamata "cottura a perfusione".
Per quanto riguarda il concetto di dirigere opportunamente i flussi di aria sul materiale, già accennato precedentemente, vale quanto commentato a proposito dei bruciatori ad alta velocità. D'altra parte, la carica, cioè la disposizione del materiale sul carro di supporto deve seguire certe regole; ad es. i blocchi vengono sovrapposti a strati con direzione diversa perché il materiale non crolli.
 - Se un forno a tunnel cuoce un solo tipo di prodotto, la gestione del forno sarà ottimizzata (curva di cottura e densità di carica) e così pure il consumo energetico per quel prodotto. Se nel forno vengono messi prodotti diversi non si possono ottimizzare i consumi per i singoli prodotti, ma si dovrà accettare un consumo medio più elevato. Occorre allora ragionare sull'utilizzo di forni intermittenti di piccola capacità per prodotti speciali o di sfruttare al meglio i diversi impianti installati in fornace .



4. Tegole e clinker (spaccatelle)

4.1. Materie prime e impasti

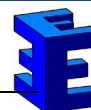
- La formatura richiede una certa plasticità del materiale da formare. Un corretto quantitativo d'acqua è necessario per fornire una buona plasticità all'impasto: questo concetto è particolarmente importante nei materiali da copertura (tegole e coppi) perché, a seguito della formatura di un semilavorato mediante estrusione, segue la formatura definitiva del pezzo mediante pressatura del semilavorato plastico con pressa rotativa; pertanto è importante mantenere una buona plasticità dell'impasto fino alla fine del processo di formatura. Si può ridurre il quantitativo d'acqua di formatura usando argille con una migliore plasticità oppure aggiungendo speciali additivi, detti "leganti" o "tenacizzanti", che conferiscono una maggiore resistenza meccanica in crudo all'impasto. Tali additivi possono essere a base organica (polisaccaridi, ligninsulfonati, etc...), o a base inorganica. Quando si usano tali additivi bisogna fare molta attenzione al dosaggio, soprattutto per gli additivi organici, per non provocare il difetto di cuore nero nel materiale in cottura.
Riducendo l'acqua di formatura si consegue un risparmio energetico in essiccamento.

4.2. Formatura

- E' possibile risparmiare energia in essiccamento con l'estrusione in pasta dura, cioè a tenori di umidità inferiori a quelli standard. Comunque non tutti gli impasti sono adatti, dal momento che, a volte, il risparmio energetico conseguibile in essiccamento grazie al minor contenuto d'acqua di formatura è annullato dal maggior consumo elettrico dell'estrusore. Per quanto detto al Par. 4.1 sulla formatura dei materiali da copertura, il concetto esposto in questo paragrafo vale solo per il clinker.
- Si può provare ad aumentare la temperatura d'estrusione del materiale, mediante iniezione di vapore nella mattoniera, in modo da farlo entrare nell'essiccatoio più caldo e più umido in superficie e velocizzare così il ciclo di essiccamento.
- Disegni sofisticati del pezzo possono ridurre il peso del pezzo; ciò permette di risparmiare sulla massa e quindi ridurre i consumi energetici in essiccamento e in cottura.

4.3. Essiccamento

Nell'industria ceramica essiccare significa rimuovere l'acqua di formatura, o interstiziale, e l'acqua zeolitica, o colloidale, legata da deboli forze di legame (di Van der Waals), dall'impasto per migrazione interna e per evaporazione superficiale. E' ben noto che l'acqua presenta elevati valori di calore specifico (4,2 kJ/kgK) e calore latente di evaporazione (2500 kJ/kg).



Inevitabilmente tali proprietà causano elevati consumi energetici in essiccamento. L'unico obiettivo da perseguire nella riduzione dei consumi energetici in essiccamento può essere quello di avvicinarsi il più possibile al consumo teorico.

La Fig. 1 mostra che attualmente fino al 50% dell'energia del processo produttivo dei laterizi viene utilizzata nell'essiccamento, sebbene nel Regno Unito, dove viene molto impiegata la tecnica dell'estrusione in pasta dura, solo il 30% di energia termica è usata nell'essiccamento.

- Un modo per ridurre i consumi energetici in essiccamento è quello di collegare il forno all'essiccatoio.
- Oggi l'accoppiamento forno-essiccatoio costituisce lo stato dell'arte; (l'essiccatoio va in continuo assieme al forno e non si ferma nel fine settimana, la mattoniera sì, ma non è critico l'avviamento).
- Un altro metodo è il controllo del sistema di ventilazione-combustione in funzione della temperatura e dell'umidità che si devono mantenere nelle diverse zone dell'essiccatoio.
- Privilegiare l'utilizzo dell'aria di essiccamento in minori volumi ma a più alta temperatura in modo da ridurre le perdite al camino e da velocizzare il ciclo di essiccamento, soprattutto all'ingresso dei pezzi nell'essiccatoio.
- La Figura 2 mostra i più bassi costi energetici (calore ed elettricità) conseguibili ottimizzando il calore e il flusso di aria d'essiccamento.
- La collocazione del materiale nell'essiccatoio e la densità di carica deve favorire la maggiore esposizione possibile della superficie del materiale al passaggio dell'aria d'essiccamento.
- Tempi di essiccamento più brevi, se compatibili con l'integrità del materiale, favoriscono il risparmio di energia.
- Dirigere opportunamente i flussi di aria sul materiale velocizza il processo e riduce i tempi d'essiccamento; flussi d'aria intermittenti sul materiale possono ridurre i tempi d'essiccamento e aumentare la resa produttiva.
- Utilizzare software per simulare il processo d'essiccamento, così come controllare i dati operativi mediante controllo remoto sono un buon sistema per migliorare l'essiccamento.
- La tubazione di collegamento tra forno ed essiccatoio, per il recupero dell'aria di raffreddamento dal forno a favore dell'essiccatoio, dev'essere ben coibentata; occorre comunque fare un'analisi costi-benefici per ottimizzare lo spessore dell'isolamento in funzione della riduzione delle perdite di calore.
- La maggior parte dei moderni essiccatoi possono risparmiare fino al 90% di tempo d'essiccamento rispetto agli essiccatoi convenzionali.
- L'utilizzo di sistemi alternativi d'essiccamento che usano aria satura di vapore, i cosiddetti "essiccatoi senza aria *airless driers*", permettono di conseguire una riduzione notevole dei tempi d'essiccamento e dei consumi energetici. Occorre fare un'analisi di costi e benefici per l'applicazione ai particolari prodotti.
- Sistemi alternativi d'essiccamento mediante bruciatori a raggi infrarossi, che possono essere alimentati con diversi gas, sono facilmente regolabili ed energeticamente molto efficienti, sono disponibili sul mercato e permettono di ridurre i tempi d'essiccamento. Possono anche essere incorporati nelle camere degli essiccatoi esistenti.
- Sono stati sperimentati già alla fine degli anni '80 sistemi d'essiccamento a microonde, che velocizzano drasticamente i tempi d'essiccamento, grazie al fatto

che la trasmissione del calore con le microonde permette un riscaldamento selettivo dell'acqua, in quanto molecola dipolare. Tali sistemi sono però molto costosi, sia dal punto di vista impiantistico sia (in Italia) dal punto di vista dei costi dell'energia elettrica e pertanto poco convenienti.



Fig. 6: Mobil System di Rotho - telaio di supporto per tegole.



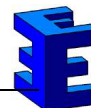
Fig. 7: Mobil System di Rotho – sistema di connessione di diversi telai di supporto per tegole.

4.4. Cottura

Il consumo energetico specifico nella cottura dei prodotti ceramici dipende dal ciclo di cottura richiesto, che a sua volta è determinato dal tempo di cottura, dai gradienti di temperatura di riscaldamento e dalla temperatura max. di cottura. Il ciclo di cottura e la temperatura di cottura sono determinati in base alla composizione dell'impasto, al processo di formatura e alle proprietà richieste al materiale cotto.

La Figura 3 mostra una crescita esponenziale del consumo specifico in funzione della temperatura di cottura.

La Figura 4 mostra il bilancio energetico di un forno a tunnel per blocchi di muratura. Il diagramma di Sankey non è molto differente per le tegole. I valori più elevati di perdite



di energia consistono nei differenti flussi di aria esausta parzialmente usati per l'essiccamento. A causa delle più alte temperature di cottura i consumi termici specifici di un forno a tunnel per tegole sono un po' più alti di quelli per i blocchi da murature.

4.4.1. Progettazione del forno e dei carri di supporto del materiale

In generale, le perdite di energia possono essere influenzate dalla progettazione del forno e dei carri di supporto del materiale in due modi:

1. Infiltrazioni d'aria dell'ambiente esterno nel forno

Bisogna cercare di ridurre, per quanto possibile, le infiltrazioni di aria fredda proveniente dall'ambiente circostante il forno

2. Densità dei materiali costituenti il forno e i carri di supporto che devono essere riscaldati

- Il piano del carro dovrebbe essere costruito con materiali isolanti di alta qualità, cioè ad elevato isolamento termico e a bassa densità. Si raccomanda di adattare gli starti di materiale costituente il carro in modo tale da sopportare le differenti rispettive tensioni dovute ai differenti gradienti di temperatura.
- Cercare di evitare volte del forno autoportanti. Tali volte tendono a flettersi verso il canale di cottura a causa delle differenti dilatazioni dovute alle differenze di temperatura nella sezione trasversale del forno. E' importante considerare molto attentamente la progettazione ed avere una volta sostenuta dalla parete del forno.
- Si possono utilizzare speciali sistemi di supporto in superleghe metalliche tipo INCONEL o in Carburo di Silicio a minore massa e così risparmiare tempo ed energia (Progetto UE Thermie n. IN/476/94/IT).

4.4.2. Combustibili e tecnologia di cottura

- Con i moderni forni a tunnel, in ingresso al forno (zona che risente del tiraggio del camino) la depressione statica non dovrebbe superare i 10-15 Pa; in zona di cottura si raccomanda un valore massimo di pressione statica pari a 1-2 Pa.
- L'utilizzo di energie rinnovabili, quali i bio-gas prodotti dalle aziende con propri impianti, permettono di conseguire riduzione di costi ed emissioni di CO₂; i bio-gas, comunque, non possono coprire l'intero fabbisogno energetico della fornace.
- Migliorare il sistema di controllo del ciclo di cottura adottando nuovi sistemi di combustione e controlli multizonali.
- I bruciatori ad impulsi sono più efficienti di quelli convenzionali, in quanto permettono un più efficiente ed uniforme scambio termico in tutta la carica del materiale in cottura. Nel caso dei materiali da copertura bisogna comunque verificare l'applicazione in funzione della disposizione del materiale (ad es. nella disposizione monostrato non serve).



- I bruciatori ad alta velocità (con velocità dei gas esausti > 100 m/s) sono raccomandati nella zona di preriscaldamento fino a 700°C . A questa più bassa temperatura il riscaldamento avviene principalmente per convezione, per cui si aumenta lo scambio termico aumentando la velocità dei fumi sul materiale. I bruciatori ad alta velocità si utilizzano anche in zona di cottura per due motivi: (i) anche in zona di cottura c'è scambio termico per convezione, oltre che per irraggiamento, (ii) è necessario avere un'alta velocità dei fumi per raggiungere con certezza tutte le pile del materiale sul carro e quindi mantenere costante le caratteristiche del prodotto (ritiro in cottura, porosità, colore, etc...)
- Tecniche già descritte per l'essiccamento sono importanti anche per la cottura: permettono ai gas caldi di fluire meglio attraverso il materiale: si ricorda l'accorgimento di dirigere opportunamente i flussi di aria sul materiale, anche se comunque meno importante dell'utilizzo dei bruciatori ad alta velocità.
- L'aria di combustione dovrebbe essere preriscaldata; alle temperature più alte di cottura il preriscaldamento dell'aria di combustione consente di ottenere risparmi energetici. Il preriscaldamento dovrebbe essere fatto utilizzando l'aria esausta del forno, uscente dalla zona di raffreddamento alla più alta temperatura.
- Utilizzare il materiale di supporto già caldo e non a temperatura ambiente, ad es. disponendo di telai di supporto del materiale sia per l'essiccamento sia per la cottura o disponendo direttamente il materiale da essiccare sui carri del forno.
- I gas caldi dovrebbero passare tra i fori dei mattoni per aumentare la superficie di scambio termico tra fumi e materiale, chiamata "cottura a perfusione".
Per quanto riguarda il concetto di dirigere opportunamente i flussi di aria sul materiale, già accennato precedentemente, vale quanto commentato a proposito dei bruciatori ad alta velocità. D'altra parte, la carica, cioè la disposizione del materiale sul carro di supporto deve seguire certe regole; ad es. i blocchi vengono sovrapposti a strati con direzione diversa perché il materiale non crolli.
- Se un forno a tunnel cuoce un solo tipo di prodotto, la gestione del forno sarà ottimizzata (curva di cottura e densità di carica) e così pure il consumo energetico per quel prodotto. Se nel forno vengono messi prodotti diversi non si possono ottimizzare i consumi per i singoli prodotti, ma si dovrà accettare un consumo medio più elevato. Occorre allora ragionare sull'utilizzo di forni intermittenti di piccola capacità per prodotti speciali o di sfruttare al meglio i diversi impianti installati in fornace
- Le tegole possono essere disposte sul carro in due modi: o a pacco, o in monostrato: Nella cottura a pacco i consumi energetici sono abbastanza contenuti (cfr. Fig. 3); per contro la qualità del prodotto, in termini di uniformità di colore e di regolarità dimensionale, è peggiore. Nella cottura in monostrato la tegola viene sorretta da un telaio, che può essere o in materiale refrattario (sistema tradizionale, cassette ad H) oppure in superleghe o in Carburo di Silicio (sistema innovativo). Col telaio tradizionale in materiale refrattario, a fronte di una migliore qualità, si hanno consumi specifici maggiori di 2-2,5 volte, a causa del peso del telaio. Col

telaio innovativo in superlega o in carburo di silicio si riescono a contenere i consumi come nella cottura a pacco, con una resa qualitativa uguale a quella ottenibile con le cassette ad H. Occorre fare un'analisi costi benefici, perché i telai innovativi in SiC e in superlega sono molto costosi.

5. Stoviglieria

5.1. Materie prime e impasti

Il tipo d'impasto nella stoviglieria ha un'influenza fondamentale sul consumo energetico specifico dei prodotti. C'è un'ampia gamma di prodotti da stoviglieria con impasti differenti tra loro: dalle terraglie al grès, alle porcellane (tenere, dure, fosfatiche, cordieritiche) ed altri prodotti ancora (stoviglieria alberghiera, da forno, etc...). Tali prodotti hanno requisiti diversi; ad es. una delle differenze consiste nella resistenza al lavaggio in lavastoviglie, importante per la stoviglieria domestica, ma soprattutto per quella alberghiera; un'altra differenza consiste nella resistenza agli sbalzi termici della stoviglieria da forno. La porcellana dura è la stoviglieria che presenta il più alto consumo energetico specifico (Fig. 3).

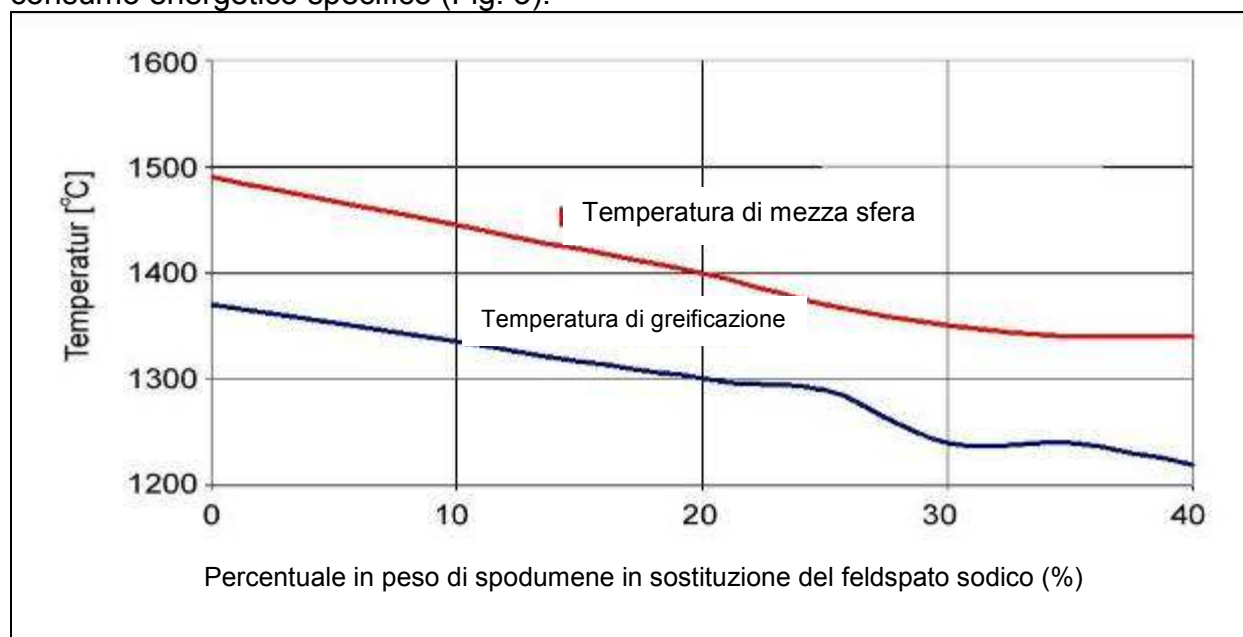
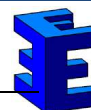


Fig.9: Effetto del feldspato di litio (spodumene), come additivo fondente in sostituzione del feldspato sodico, sulla temperatura di greificazione e di mezza sfera.

- L'introduzione di nuove materie prime fondenti, quali Spodumene (feldspato di litio, usato nelle pirofile da forno e negli isolatori di porcellana in quanto aumenta la resistenza agli sbalzi termici) o Colemanite (silicato idrato di bario) e miscele di feldspati sodico-potassici permettono di ottenere impasti a bassa fusibilità (ad es. porcellana tenera), che possono favorire la riduzione della temperatura di sinterizzazione fino a 200°C con notevoli risparmi energetici (cfr. Fig. 10). Occorre fare attenzione al dosaggio di fondenti energici, quali Spodumene e Colemanite, perché tendono a ridurre l'intervallo di greificazione dell'impasto, con conseguenti problemi di costanza dimensionale dei pezzi dopo cottura.



- La monocottura permette di risparmiare energia rispetto alla bicottura, ma richiede una riformulazione degli impasti e degli smalti.
- La formatura richiede una certa plasticità del materiale da formare. Un corretto quantitativo d'acqua è necessario per fornire una buona plasticità all'impasto. Si può ridurre il quantitativo d'acqua di formatura usando argille con una migliore plasticità oppure aggiungendo speciali additivi, detti "leganti" o "tenacizzanti", che conferiscono una maggiore resistenza meccanica in crudo all'impasto. Tali additivi possono essere a base organica (polisaccaridi, ligninsulfonati, etc...), o a base inorganica. Quando si usano tali additivi bisogna fare molta attenzione al dosaggio, soprattutto per gli additivi organici, per non provocare il difetto di cuore nero nel materiale in cottura. Riducendo l'acqua di formatura si consegue un risparmio energetico in essiccamento.

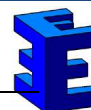
5.2. Formatura/Decorazione

- La pressatura isostatica è una tecnica di formatura innovativa nel settore della stoviglieria, che permette la formatura del manufatto per pressatura di polveri, come nel caso delle piastrelle di ceramica. Con questo sistema viene ridotta l'acqua di formatura del pezzo ed inoltre non è necessario l'essiccamento degli stampi a piattello rotante, in quanto viene utilizzata una pressa con stampo isostatico; in tal modo viene ridotta l'energia termica per l'essiccamento, anche se è richiesta energia termica per la produzione delle polveri da pressatura, mediante essiccamento a spruzzo della barbottina di impasto. Il bilancio energetico comunque è favorevole alla pressatura isostatica rispetto al metodo tradizionale della formatura a plastico. E' consigliabile quindi utilizzare tale tecnica per quanti prodotti possibile, anche se in pratica è facilmente applicabile solo ai pezzi simmetrici di non grandi dimensioni e attualmente viene usata solo per la formatura dei piatti e delle scodelle.
- Disegni sofisticati possono migliorare il profilo dei pezzi e far risparmiare energia in essiccamento ed in cottura.
- Le decorazioni possibili in monocottura od al massimo in bicottura fanno risparmiare energia rispetto a terzi o successivi fuochi (cotture del decoro). Bisogna vedere cosa richiede il mercato; prodotti più elaborati costano di più, ma valgono anche di più. Le considerazioni di risparmio energetico non devono influenzare le strategie di mercato, altrimenti si appiattisce la qualità di prodotto. L'Energy Manager deve suggerire strategie di contenimento dei consumi energetici a pari qualità di prodotto e di produzione.

5.3. Essiccamento

Nell'industria ceramica essiccare significa rimuovere l'acqua di formatura, o interstiziale, e l'acqua zeolitica, o colloidale, legata da deboli forze di legame (di Van der Waals), dall'impasto per migrazione interna e per evaporazione superficiale. E' ben noto che l'acqua presenta elevati valori di calore specifico (4,2 kJ/kgK) e calore latente di evaporazione (2500 kJ/kg). Inevitabilmente tali proprietà causano elevati consumi energetici in essiccamento.

- L'essiccamento in ambiente naturale, aiutato dal riscaldamento dell'aria ambiente mediante termoconvettori oppure facendo transitare il materiale al di sopra del



forno, era utilizzato nell'industria dei sanitari; al giorno d'oggi non viene quasi più adottato, per i tempi lunghi che richiede. Attualmente si utilizzano sempre essiccatoi ad aria calda. In particolare nell'industria della stoviglieria ci sono due passaggi nell'essiccamento:

- (i) l'essiccamento cosiddetto "a verde" o "a cuoio", dove l'umidità viene ridotta dal 17-20% (umidità di formatura) al 7-8%; in tale passaggio il pezzo viene introdotto nell'essiccatoio assieme allo stampo (piattello rotante), in modo che il pezzo si stacchi dal supporto per differente ritiro in essiccamento;
 - (ii) l'essiccamento cosiddetto "a bianco", dove il pezzo viene introdotto da solo nell'essiccatoio per completare l'essiccamento al 2-3% di umidità residua.
- Per essiccare prodotti formati per colaggio ed estrusione possono essere usati essiccatoi a microonde per risparmiare energia. Sulle tecniche di essiccamento a microonde si è già detto ai Par. 3.3, 4.3, 5.3. Sicuramente sono molto efficienti dal punto di vista sia energetico sia del processo. Bisogna però valutare anche i costi d'investimento e d'esercizio.
 - Condizioni d'essiccamento insufficiente sono visibili dopo cottura; infatti, aumenta lo scarto e il consumo specifico. E' oltre modo importante effettuare controlli di qualità *on-line*, cioè sulla linea di produzione, per mantenere costanti i parametri tecnologici dei semi-lavorati ai valori ottimali per una buona resa di qualità e di efficienza.
 - L'utilizzo di sistemi alternativi d'essiccamento che usano aria satura di vapore, i cosiddetti "essiccatoi senza aria *airless driers*", permettono di conseguire una notevole riduzione dei tempi d'essiccamento e dei consumi energetici. Occorre fare un'analisi di costi e benefici per l'applicazione ai particolari prodotti.
 - Un modo per ridurre i consumi energetici in essiccamento è quello di collegare il forno all'essiccatoio.
 - Un altro metodo è il controllo del sistema di ventilazione-combustione in funzione della temperatura e dell'umidità che si devono mantenere nelle diverse zone dell'essiccatoio.
 - Privilegiare l'utilizzo dell'aria di essiccamento in minori volumi ma a più alta temperatura in modo da ridurre le perdite al camino e da velocizzare il ciclo di essiccamento, soprattutto all'ingresso dei pezzi nell'essiccatoio.
 - La Figura 2 mostra i più bassi costi energetici (calore ed elettricità) conseguibili ottimizzando il calore e il flusso di aria d'essiccamento.
 - Tempi di essiccamento più brevi, se compatibili con l'integrità del materiale, favoriscono il risparmio di energia.
 - Dirigere opportunamente i flussi di aria sul materiale velocizza il processo e riduce i tempi d'essiccamento; flussi d'aria intermittenti sul materiale possono ridurre i tempi d'essiccamento e aumentare la resa produttiva.
 - Utilizzare software per simulare il processo d'essiccamento, così come controllare i dati operativi mediante controllo remoto sono un buon sistema per migliorare l'essiccamento.
 - La tubazione di collegamento tra forno ed essiccatoio, per il recupero dell'aria di raffreddamento dal forno a favore dell'essiccatoio, dev'essere ben coibentata; occorre comunque fare un'analisi costi-benefici per ottimizzare lo spessore dell'isolamento in funzione della riduzione delle perdite di calore.
 - Sistemi alternativi d'essiccamento mediante bruciatori a raggi infrarossi, che possono essere alimentati con diversi gas, sono facilmente regolabili ed energeticamente molto efficienti, sono disponibili sul mercato e permettono di

ridurre i tempi d'essiccamento. Possono anche essere incorporati nelle camere degli essiccatoi esistenti.

Consumi energetici specifici (MJ/kg)

Forno a tunnel: $8 + 25 = 33 \text{ MJ/kg} = 33 \times 238,8 = 7880 \text{ kcal/kg}$

Forno intermittente: $6,3 + 16,7 = 23 \text{ MJ/kg} = 23 \times 238,8 = 5492 \text{ kcal/kg}$

Forno a rulli: $4,2 + 10,4 = 14,6 \text{ MJ/kg} = 14,6 \times 238,8 = 3486 \text{ kcal/kg}$
 (può essere anche più alto; es. $4,7 + 13,9 = 18,6 \text{ MJ/kg}$)

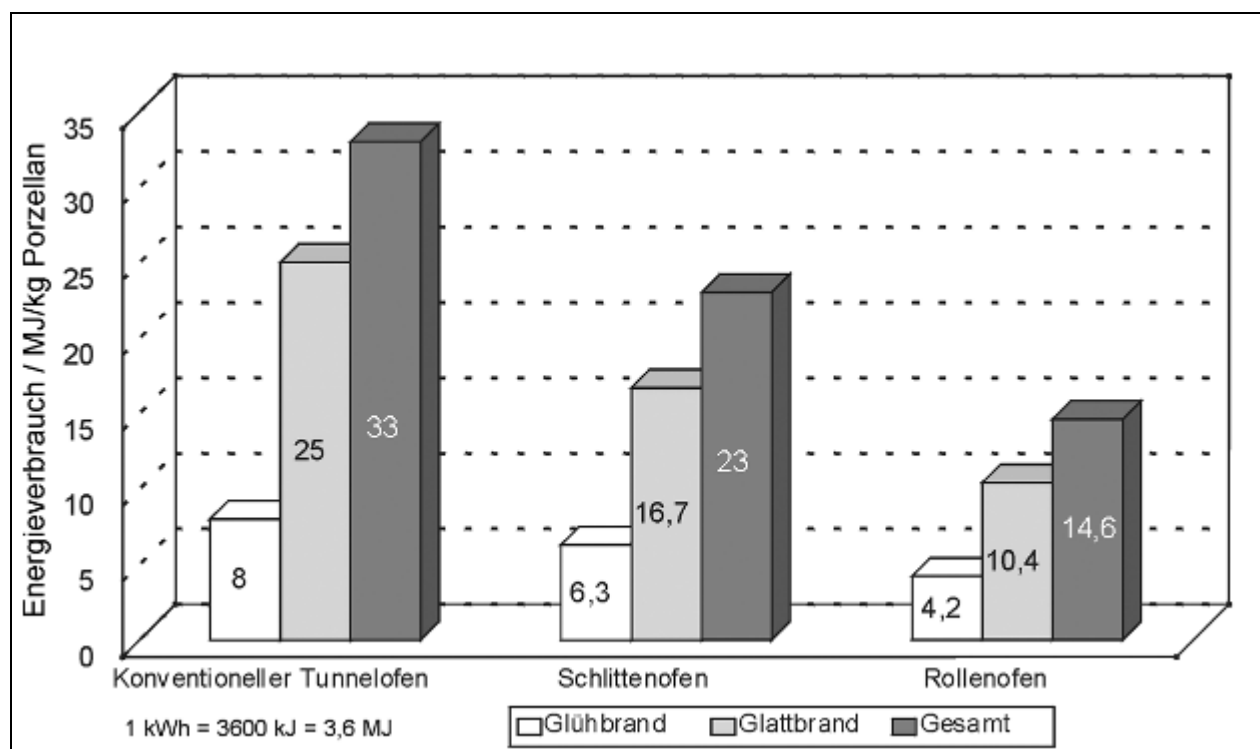


Fig. 10: Confronto tra consumi energetici di differenti tipi di forni per i differenti passaggi nella cottura della porcellana dura.

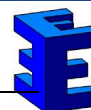
5.4. Cottura

Il consumo energetico specifico nella cottura dei prodotti ceramici dipende dal ciclo di cottura richiesto, che a sua volta è determinato dal tempo di cottura, dai gradienti di temperatura di riscaldamento e dalla temperatura max. di cottura. Il ciclo di cottura e la temperatura di cottura sono determinati in base alla composizione dell'impasto, al processo di formatura e alle proprietà richieste al materiale cotto.

La Figura 3 mostra una crescita esponenziale del consumo specifico in funzione della temperatura di cottura.

5.4.1. Progettazione del forno e dei carri di supporto del materiale

La Fig. 11 mostra i consumi termici specifici di tre differenti tipi di forno utilizzati per la cottura della porcellana dura. E' ovvio che il forno a rulli, che ha una bassa massa di



materiale di supporto e un ciclo di cottura estremamente rapido, rispetto agli altri due tipi di forno, presenta il più piccolo consumo di energia termica.

In generale, le perdite di energia possono essere influenzate dalla progettazione del forno e dei carri di supporto del materiale in due modi:

1. Infiltrazioni d'aria dell'ambiente esterno nel forno

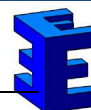
Bisogna cercare di ridurre, per quanto possibile, le infiltrazioni di aria fredda proveniente dall'ambiente circostante il forno

2. Densità dei materiali costituenti il forno e i carri di supporto che devono essere riscaldati

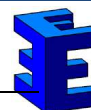
- Il piano del carro dovrebbe essere costruito con materiali isolanti di alta qualità, cioè ad elevato isolamento termico e a bassa densità. Si raccomanda di adattare gli starti di materiale costituente il carro in modo tale da sopportare le differenti rispettive tensioni dovute ai differenti gradienti di temperatura.
- Cercare di evitare volte del forno autoportanti. Tali volte tendono a flettersi verso il canale di cottura a causa delle differenti dilatazioni dovute alle differenze di temperatura nella sezione trasversale del forno. E' importante considerare molto attentamente la progettazione ed avere una volta sostenuta dalla parete del forno.

5.4.2. Combustibili e tecnologia di cottura

- La tecnologia della cottura rapida nei forni a rulli ormai da tempo è penetrata nei settori della stoviglieria e dei sanitari, grazie ai cicli rapidi e ai risparmi energetici conseguibili. I forni a rulli non hanno però sostituito i forni a tunnel, come nel settore delle piastrelle ceramiche, perché molti degli impianti sono vecchi e non è sempre possibile in tali contesti l'inserimento dei forni a rulli. Perché ciò avvenisse, occorrerebbe fare investimenti per ammodernare l'intero processo produttivo. Occorre comunque perseguire lo scopo di sostituire, per quanto possibile, i forni a tunnel con i forni a rulli.
- Con i moderni forni a tunnel, in ingresso al forno (zona che risente del tiraggio del camino) la depressione statica non dovrebbe superare i 10-15 Pa; in zona di cottura si raccomanda un valore massimo di pressione statica pari a 1-2 Pa.
- Utilizzando la tecnologia della monocottura, anziché quella della bicottura, si ottengono notevoli risparmi energetici dal momento che si cuoce con una sola cottura (cfr. Fig. 11). Comunque bisogna riformulare gli impasti e gli smalti.
- Migliorare il sistema di controllo del ciclo di cottura adottando nuovi sistemi di combustione e controlli multizonali.
- Nel settore della ceramica "fine" (stoviglieria, sanitari e piastrelle) non si usano in generale bruciatori ad impulsi, perché i forni hanno sezioni molto inferiori a quelle dei forni da laterizi e le cariche del materiale non sono voluminose come quelle dei laterizi. Si potrebbero utilizzare bruciatori



- recuperativi e bruciatori rigenerativi in zona di cottura, ma occorre vedere volta per volta il caso particolare.
- I bruciatori ad alta velocità (con velocità dei gas esausti > 100 m/s) sono raccomandati nella zona di preriscaldamento fino a 700°C . A questa più bassa temperatura il riscaldamento avviene principalmente per convezione, per cui si aumenta lo scambio termico aumentando la velocità dei fumi sul materiale.
I bruciatori ad alta velocità si utilizzano anche in zona di cottura per due motivi: (i) anche in zona di cottura c'è scambio termico per convezione, oltre che per irraggiamento, (ii) è necessario avere un'alta velocità dei fumi per raggiungere con certezza tutto il materiale sul carro e quindi mantenere costante le caratteristiche del prodotto (ritiro in cottura, porosità, colore, etc...)
 - Tecniche già descritte per l'essiccamento sono importanti anche per la cottura: permettono ai gas caldi di fluire meglio attraverso il materiale. Si ricorda l'accorgimento di dirigere opportunamente i flussi di aria sul materiale, anche se comunque meno importante dell'utilizzo dei bruciatori ad alta velocità.
 - L'aria di combustione dovrebbe essere preriscaldata; alle temperature più alte di cottura il preriscaldamento dell'aria di combustione consente di ottenere risparmi energetici. Il preriscaldamento dovrebbe essere fatto utilizzando l'aria esausta del forno, uscente dalla zona di raffreddamento alla più alta temperatura. Con questo scopo si potrebbe studiare l'applicazione di bruciatori rigenerativi (cfr. quanto detto più sopra).
 - Cercare di organizzare la produzione con pochi cambi di prodotto, cercando di mantenere un solo prodotto per lungo tempo. Questo concetto è molto valido dal punto di vista del contenimento dei consumi energetici, perché si riducono i transitori nei cambi di produzione, ma è difficile d'applicare per motivi commerciali. Cercare di ottimizzare la curva di cottura per quel prodotto. Con prodotti differenti nel forno è difficile ottimizzare i consumi energetici. Attualmente, al fine di ridurre i costi di produzione, si cerca di non fermare il forno o di evitare di farlo andare a basso regime di produzione, facendo una carica "mista" di diversi prodotti e trovando un compromesso per la curva di cottura.
 - Studiare l'applicazione di sistemi di recupero dei cascami energetici in uscita dal forno (ad es. per l'essiccamento).
 - Il materiale di supporto (carri o telai) è uno dei maggiori responsabili dei consumi energetici. Si possono utilizzare moderni sistemi di supporto in superleghe metalliche o in Carburo di Silicio a minore massa e così risparmiare tempo ed energia. Occorre fare un'analisi di costi e benefici per valutare la redditività dell'investimento.
 - Più bassa è la quantità di materiale scartato, più basso è il consumo energetico specifico per il materiale che va a magazzino.
 - Forni intermittenti, ad es. per la ricottura, possono essere condotti in maniera molto più efficiente se vengono utilizzati sistemi di recupero termico assieme al preriscaldamento dell'aria di combustione, da farsi ad es. mediante bruciatori rigenerativi.



6. Articoli igienico-sanitari

6.1. Materie prime e impasti

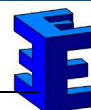
- L'introduzione di nuove materie prime fondenti, quali Spodumene (feldspato di litio) o Colemanite (silicato idrato di bario) e miscele di feldspati sodico-potassici permettono di ottenere impasti a bassa fusibilità (ad es. porcellana tenera), che possono favorire la riduzione della temperatura di sinterizzazione fino a 200°C con notevoli risparmi energetici (cfr. Fig. 10). Occorre fare attenzione al dosaggio di fondenti energici, quali Spodumene e Colemanite, perché tendono a ridurre l'intervallo di greificazione dell'impasto, con conseguenti problemi di costanza dimensionale dei pezzi dopo cottura.
- Ottimizzazione la granulometria dei feldspati migliora la loro reattività in cottura e riduce la temperatura e il tempo di cottura. Negli impasti per sanitari vengono già utilizzati i feldspati in granulometria molto fine (vengono forniti acquistati già premacinati e costano il doppio di quelli in granulometria standard). Macinarli ulteriormente, se da una parte aumenta la reattività in cottura, dall'altra aumentano i costi energetici della macinazione. Occorre fare un'analisi dei costi e dei benefici.

6.2. Formatura/Decorazione

- Tecniche di colaggio in pressione, applicate a partire dalla metà degli anni '80, con utilizzo di stampi in resina anziché in gesso, permettono di evitare l'essiccamento degli stampi. Sono necessarie d'altra parte barbotine a temperature più elevate, per facilitare il processo di colaggio in pressione, e maggiori fabbisogni di energia elettrica.
- Nel processo di colaggio tradizionale con gli stampi in gesso è bene, se possibile, ridurre il contenuto d'acqua della barbotina al fine di ridurre l'energia termica richiesta nell'essiccamento degli stampi.
- Disegni sofisticati possono migliorare il profilo dei pezzi e far risparmiare energia in essiccamento ed in cottura.
- Programmare meglio la produzione, soprattutto cercando di allungare i tempi di produzione di ogni singolo tipo di prodotto, evitando molti cambi, permette di essiccare e cuocere grandi lotti dello stesso prodotto, con conseguenti risparmi energetici. Questo concetto è valido ma di difficile applicazione nelle attuali condizioni di mercato.
- Ridurre il numero di prodotti differenti consente di ottimizzare la gestione della produzione e i consumi energetici. Occorre comunque confrontarsi con le condizioni attuali di mercato: avere a catalogo molti prodotti, vuol dire avere una maggiore offerta per il mercato.

6.3. Essiccamento

Nell'industria ceramica essiccare significa rimuovere l'acqua di formatura, o interstiziale, e l'acqua zeolitica, o colloidale, legata da deboli forze di legame (di Van



der Waals), dall'impasto per migrazione interna e per evaporazione superficiale. E' ben noto che l'acqua presenta elevati valori di calore specifico (4,2 kJ/kgK) e calore latente di evaporazione (2500 kJ/kg). Inevitabilmente tali proprietà causano elevati consumi energetici in essiccamento.

- Un modo per ridurre i consumi energetici in essiccamento è quello di collegare il forno all'essiccatoio.
- Oggi l'accoppiamento forno-essiccatoio costituisce lo stato dell'arte; (l'essiccatoio va in continuo assieme al forno e non si ferma nel fine settimana, il reparto di collaggio sì, ma è previsto un parcheggio del materiale da essiccare).
- Un altro metodo è il controllo del sistema di ventilazione-combustione in funzione della temperatura e dell'umidità che si devono mantenere nelle diverse zone dell'essiccatoio.
- Privilegiare l'utilizzo dell'aria di essiccamento in minori volumi ma a più alta temperatura in modo da ridurre le perdite al camino e da velocizzare il ciclo di essiccamento, soprattutto all'ingresso dei pezzi nell'essiccatoio.
- La Figura 2 mostra i più bassi costi energetici (calore ed elettricità) conseguibili ottimizzando il calore e il flusso di aria d'essiccamento.
- Per essiccare prodotti formati per collaggio possono venire impiegati essiccatoi a microonde per risparmiare energia. Sulle tecniche di essiccamento a microonde si è già detto ai Par. 3.3, 4.3, 5.3. Sicuramente sono molto efficienti dal punto di vista sia energetico sia del processo. Bisogna però valutare anche i costi d'investimento e d'esercizio.
- Condizioni d'essiccamento insufficiente sono visibili dopo cottura; infatti, aumenta lo scarto e il consumo specifico. E' oltre modo importante effettuare controlli di qualità *on-line*, cioè sulla linea di produzione, per mantenere costanti i parametri tecnologici dei semi-lavorati ai valori ottimali per una buona resa di qualità e di efficienza.
- L'utilizzo di sistemi alternativi d'essiccamento che usano aria satura di vapore, i cosiddetti "essiccatoi senza aria *airless driers*", permettono di conseguire una notevole riduzione dei tempi d'essiccamento e dei consumi energetici. Occorre fare un'analisi di costi e benefici per l'applicazione ai particolari prodotti.
- Tempi di essiccamento più brevi, se compatibili con l'integrità del materiale, favoriscono il risparmio di energia.
- Dirigere opportunamente i flussi di aria sul materiale velocizza il processo e riduce i tempi d'essiccamento; flussi d'aria intermittenti sul materiale possono ridurre i tempi d'essiccamento e aumentare la resa produttiva.
- Utilizzare software per simulare il processo d'essiccamento, così come controllare i dati operativi mediante controllo remoto sono un buon sistema per migliorare l'essiccamento.
- La tubazione di collegamento tra forno ed essiccatoio, per il recupero dell'aria di raffreddamento dal forno a favore dell'essiccatoio, dev'essere ben coibentata; occorre comunque fare un'analisi costi-benefici per ottimizzare lo spessore dell'isolamento in funzione della riduzione delle perdite di calore.
- Sistemi alternativi d'essiccamento mediante bruciatori a raggi infrarossi, che possono essere alimentati con diversi gas, sono facilmente regolabili ed energeticamente molto efficienti, sono disponibili sul mercato e permettono di ridurre i tempi d'essiccamento. Possono anche essere incorporati nelle camere degli essiccatoi esistenti.

6.4. Cottura

Il consumo energetico specifico nella cottura dei prodotti ceramici dipende dal ciclo di cottura richiesto, che a sua volta è determinato dal tempo di cottura, dai gradienti di temperatura di riscaldamento e dalla temperatura max. di cottura. Il ciclo di cottura e la temperatura di cottura sono determinati in base alla composizione dell'impasto, al processo di formatura e alle proprietà richieste al materiale cotto.

La Figura 3 mostra una crescita esponenziale del consumo specifico in funzione della temperatura di cottura.

	Temperatura [°C]	SEC [MJ/kg cotto]	Capacità produttiva [t/h]
Vecchi forni a tunnel	1200-1280	6,7-9,2	1-5
Moderni forni a tunnel con fibre e refrattari leggeri	1230-1260	4,2-6,7	1-5
Forni a rulli	1230-1260	3,7-5,2	1-3

Tabella 3: C.E.S. per differenti tipi di forni per la cottura dei sanitari

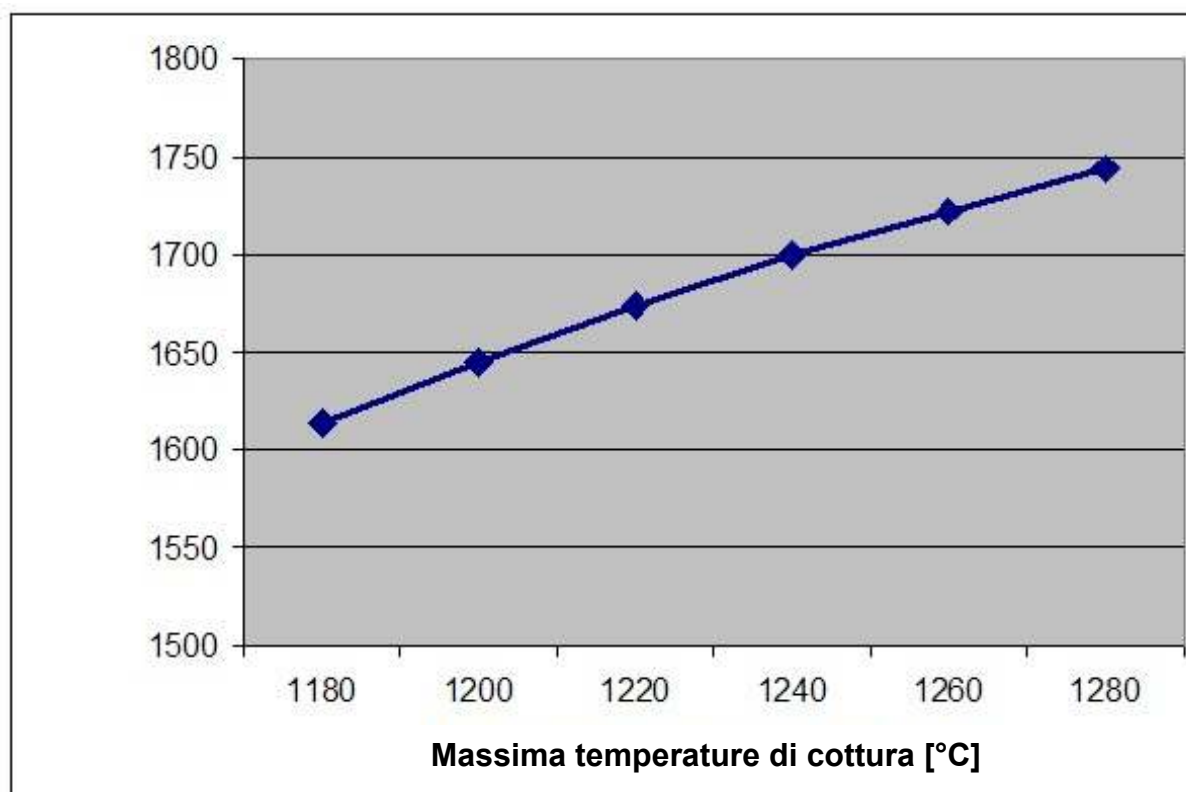


Fig.11: Consumo specifico energetico in funzione della temperatura di cottura di prodotti igienico-sanitari [Friedherz Becker, Riedhammer GmbH 2007]

6.4.1. Progettazione del forno e dei carri di supporto del materiale

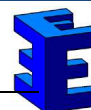
La Tabella 3 mostra i valori di consumo energetico specifico per tre differenti tipi di forno per la cottura dei sanitari. E' ovvio che il forno a rulli, che ha una massa minore del materiale di supporto e un ciclo di cottura rapido, presenta in generale il minore consumo energetico.

In generale, le perdite di energia possono essere influenzate dalla progettazione del forno e dei carri di supporto del materiale in due modi:

1. **Infiltrazioni d'aria dell'ambiente esterno nel forno**
Bisogna cercare di ridurre, per quanto possibile, le infiltrazioni di aria fredda proveniente dall'ambiente circostante il forno
2. **Densità dei materiali costituenti il forno e i carri di supporto che devono essere riscaldati**
 - Il piano del carro dovrebbe essere costruito con materiali isolanti di alta qualità, cioè ad elevato isolamento termico e a bassa densità. Si raccomanda di adattare gli starti di materiale costituente il carro in modo tale da sopportare le differenti rispettive tensioni dovute ai differenti gradienti di temperatura.
 - Cercare di evitare volte del forno autoportanti. Tali volte tendono a flettersi verso il canale di cottura a causa delle differenti dilatazioni dovute alle differenze di temperatura nella sezione trasversale del forno. E' importante considerare molto attentamente la progettazione ed avere una volta sostenuta dalla parete del forno.

6.4.2. Combustibili e tecnologia di cottura

- Con i moderni forni a tunnel, in ingresso al forno (zona che risente del tiraggio del camino) la depressione statica non dovrebbe superare i 10-15 Pa; in zona di cottura si raccomanda un valore massimo di pressione statica pari a 1-2 Pa.
- Più bassa è la quantità di materiale scartato, più basso è il consumo energetico specifico per il materiale che va a magazzino. La ricottura aumenta i consumi energetici, anche se riqualifica lo scarto.
- Migliorare il sistema di controllo del ciclo di cottura adottando nuovi sistemi di combustione e controlli multizonali.
- Nel settore della ceramica "fine" (stoviglie, sanitari e piastrelle) non si usano in generale bruciatori ad impulsi, perché i forni hanno sezioni molto inferiori a quelle dei forni da laterizi e le cariche del materiale non sono voluminose come quelle dei laterizi. Si potrebbero utilizzare bruciatori recuperativi e bruciatori rigenerativi in zona di cottura, ma occorre vedere volta per volta il caso particolare.
- I bruciatori ad alta velocità (con velocità dei gas esausti > 100 m/s) sono raccomandati nella zona di preriscaldamento fino a 700°C. A questa più bassa temperatura il riscaldamento avviene principalmente per convezione, per



cui si aumenta lo scambio termico aumentando la velocità dei fumi sul materiale.

I bruciatori ad alta velocità si utilizzano anche in zona di cottura per due motivi: (i) anche in zona di cottura c'è scambio termico per convezione, oltre che per irraggiamento, (ii) è necessario avere un'alta velocità dei fumi per raggiungere con certezza tutto il materiale sul carro e quindi mantenere costante le caratteristiche del prodotto (ritiro in cottura, porosità, colore, etc...)

- Tecniche già descritte per l'essiccamento sono importanti anche per la cottura: permettono ai gas caldi di fluire meglio attraverso il materiale. Si ricorda l'accorgimento di dirigere opportunamente i flussi di aria sul materiale, anche se comunque meno importante dell'utilizzo dei bruciatori ad alta velocità.
- L'aria di combustione dovrebbe essere preriscaldata; alle temperature più alte di cottura il preriscaldamento dell'aria di combustione consente di ottenere risparmi energetici. Il preriscaldamento dovrebbe essere fatto utilizzando l'aria esausta del forno, uscente dalla zona di raffreddamento alla più alta temperatura. Con questo scopo si potrebbe studiare l'applicazione di bruciatori rigenerativi (cfr. quanto detto più sopra).
- Cercare di organizzare la produzione con pochi cambi di prodotto, cercando di mantenere un solo prodotto per lungo tempo. Questo concetto è molto valido dal punto di vista del contenimento dei consumi energetici, perché si riducono i transitori nei cambi di produzione, ma è difficile d'applicare per motivi commerciali. Cercare di ottimizzare la curva di cottura per quel prodotto. Con prodotti differenti nel forno è difficile ottimizzare i consumi energetici. Attualmente, al fine di ridurre i costi di produzione, si cerca di non fermare il forno o di evitare di farlo andare a basso regime di produzione, facendo una carica "mista" di diversi prodotti e trovando un compromesso per la curva di cottura.
- Studiare l'applicazione di sistemi di recupero dei cascami energetici in uscita dal forno (ad es. per l'essiccamento).
- Il materiale di supporto (carri o telai) è uno dei maggiori responsabili dei consumi energetici. Si possono utilizzare moderni sistemi di supporto in superleghe metalliche o in Carburo di Silicio a minore massa e così risparmiare tempo ed energia. Occorre fare un'analisi di costi e benefici per valutare la redditività dell'investimento.
- Più bassa è la quantità di materiale scartato, più basso è il consumo energetico specifico per il materiale che va a magazzino.
- Forni intermittenti, ad es. per la ricottura, possono essere condotti in maniera molto più efficiente se vengono utilizzati sistemi di recupero termico assieme al preriscaldamento dell'aria di combustione, da farsi ad es. mediante bruciatori rigenerativi.

7. Piastrelle

7.1. Materie prime e impasti

- L'introduzione di nuove materie prime fondenti, quali Spodumene (feldspato di litio) o Colemanite (silicato idrato di bario) e miscele di feldspati sodico-potassici permettono di ottenere impasti a bassa fusibilità (ad es. porcellana tenera), che possono favorire la riduzione della temperatura di sinterizzazione. Occorre fare attenzione al dosaggio di fondenti energici, quali Spodumene e Colemanite, perché tendono a ridurre l'intervallo di greificazione dell'impasto, con conseguenti problemi di costanza dimensionale dei pezzi dopo cottura. Ciò è molto importante per il settore delle piastrelle, dove vengono sempre utilizzati cicli di cottura estremamente rapidi, che enfatizzano il problema.
- L'operazione di essiccamento a spruzzo della barbottina necessita di una densità della barbottina ottimale, soprattutto per permetterne una buona nebulizzazione nella camera di essiccamento ai fini di ottenere dei granulati con una distribuzione granulometrica ottimale. Ridurre il contenuto d'acqua della barbottina, utilizzando una maggiore quantità di additivi reologici deflocculanti, può essere un modo per risparmiare energia termica nell'operazione di essiccamento a spruzzo. Bisogna però fare un'analisi tra il maggior costo del deflocculante ed il risparmio energetico conseguibile.
- I mulini continuo permettono di macinare barbottine con 2-3 punti percentuali in meno di acqua, grazie alla continuità del ciclo di macinazione e alle proprietà tissotropiche delle barbottine ceramiche. Inoltre, la barbottina in uscita dal mulino continuo ha una temperatura maggiore di 10-15°C rispetto al ciclo discontinuo. Tutto ciò si traduce in un risparmio di energia termica nella fase di essiccamento a spruzzo pari a circa il 15%.

7.2. Essiccamento a spruzzo della barbottina/Essiccamento del supporto

Nell'industria ceramica essiccare significa rimuovere l'acqua di formatura, o interstiziale, e l'acqua zeolitica, o colloidale, legata da deboli forze di legame (di Van der Waals), dall'impasto per migrazione interna e per evaporazione superficiale. E' ben noto che l'acqua presenta elevati valori di calore specifico (4,2 kJ/kgK) e calore latente di evaporazione (2500 kJ/kg). Inevitabilmente tali proprietà causano elevati consumi energetici in essiccamento, specialmente nell'operazione di essiccamento a spruzzo della barbottina dove si hanno contenuti d'acqua fino al 40%.

- Una delle soluzioni energeticamente più efficienti nell'operazione di essiccamento a spruzzo della barbottina è l'applicazione della cogenerazione di calore ed energia elettrica.

La Figura 12 mostra l'eccellente livello di efficienza energetica (circa il 90%) raggiungibile da tale sistema.

L'applicazione della **cogenerazione** nell'industria delle piastrelle di ceramica trova la soluzione migliore nell'atomizzatore, cioè nell'essiccatoio a spruzzo della barbottina. Questo sostanzialmente per due motivi: (i) il tempo di funzionamento dell'atomizzatore nell'arco dell'anno è abbastanza elevato (6000-7000 ore), (ii) il



fabbisogno termico dell'atomizzatore è abbastanza elevato (rappresenta il 35-40% del fabbisogno termico totale dell'impianto produttivo). Pertanto la redditività dell'investimento è molto interessante.

L'applicazione della cogenerazione, introdotto nell'industria delle piastrelle ceramiche a partire dall'inizio degli anni '90, viene realizzata con turbine o con motori a combustione interna. Recentemente, si stanno sempre più estendendo applicazioni con utilizzo di combustibile vegetale (olio di palma o etanolo), che rendono ancora più ecosostenibile la cogenerazione. Infine, recentemente si sta introducendo nel settore l'applicazione della cogenerazione mediante microturbine, cioè turbine con produzione di energia elettrica da 60 a 250 kW (mediamente 100 kW), che possono rendere possibile l'applicazione puntuale della cogenerazione agli essiccatoi del supporto (produzione dell'energia elettrica per l'essiccatoio con recupero dei fumi esausti per l'essiccamento).

- Più elevata è la densità della barbottina, più basso è il consumo energetico dell'atomizzatore (a pari umidità della polvere da pressatura).
- Il consumo energetico dell'atomizzatore diminuisce per granulometrie delle polveri atomizzate più piccole, se è possibile dal punto di vista tecnologico; infatti, per ottenere granulometrie più piccole occorre aumentare la produttività dell'atomizzatore, il che riduce i consumi energetici. Comunque, la granulometria delle polveri atomizzate deve stare in un ben definito intervallo (50-500 μm , centrato sui 250 μm) per permettere una buona pressatura.
- Migliore è l'isolamento dell'atomizzatore, minori sono le perdite di calore alle pareti e minore il consumo energetico; bisogna quindi controllare lo stato della coibentazione.
- Un'ottima tecnica di risparmio energetico consiste nel recupero dei fumi esausti dai forni di cottura come aria di combustione (cfr. Fig. 13). Adottando l'accorgimento di preriscaldare l'atomizzatore con aria ambiente e introdurre successivamente i fumi dei forni, non si hanno problemi di corrosione delle lamiere dell'atomizzatore per condense acide.
- In sostituzione dei comuni cicloni si possono utilizzare separatori dinamici di polveri con preriscaldamento della barbottina (cfr. Fig. 14). La polvere fine che esce con l'aria esausta dell'atomizzatore viene catturata dalla barbottina, che viene riscaldata dall'aria esausta.
- Una tecnologia energetica alternativa al processo ad umido per la produzione di polveri da pressatura consiste nella **granulazione a secco**. Tale processo è stato introdotto nel settore delle piastrelle ceramiche a partire dall'inizio degli anni '80 e si è sviluppato mediante studi, ricerche e sperimentazioni industriali (cfr. ad es. Progetto n. EE 561/86 IT e Progetto Thermie n. IN 354/91), che hanno favorito la sua applicazione dapprima ai prodotti in pasta rossa (monoporosa e monocottura) e successivamente ai prodotti in pasta chiara (monoporosa e monocottura) fino alla produzione del grès porcellanato, prodotto in pasta chiara con elevati requisiti tecnici ed estetici.

Il processo consiste:

- (i) nella macinazione dell'impasto a secco con mulini ad elevata efficienza, del tipo ad asse verticale a rulli di grande diametro oppure tubolari ad asse orizzontale, con biglie di allumina od ossido di zirconio come corpi macinanti;
- (ii) nella successiva agglomerazione delle polveri finemente macinate mediante umidificazione con l'ausilio di sistemi di granulazione, che possono essere: turbogranulatori, granulatori a piatto inclinato e granulatori a tamburo

rotante. Affinché avvenga la granulazione occorre umidificare le polveri con un contenuto d'acqua superiore a quello necessario per l'operazione di formatura; pertanto all'uscita del granulatore è necessario un essiccamento delle polveri in un essiccatoio a letto fluido, al fine di riportarne l'umidità ai valori accettabili per la pressatura.

Le polveri granulate a secco presentano caratteristiche tecnologiche differenti da quelle ottenute col processo di macinazione ad umido in mulini tamburlani a biglie e successivo essiccamento a spruzzo della barbotina ceramica; le principali differenze sono: la densità del grano (cavo quello atomizzato, pieno quello granulato a secco, che risulta quindi più duro e meno deformabile) e la sua forma (più rotondeggiante quello atomizzato, più irregolare quello granulato). Da ciò deriva una minore scorrevolezza e deformabilità del granulato a secco rispetto all'atomizzato, che ne rende più difficile la compattazione.

A fronte di questi svantaggi tecnologici, la granulazione a secco presenta enormi vantaggi di risparmio energetico, poiché richiede circa la metà di consumo di energia termica nell'essiccamento dei granuli, rispetto al sistema ad umido.

Per gli svantaggi tecnologici citati, il processo di preparazione dell'impasto per via della granulazione a secco è però meno impiegato del processo ad umido, che è applicato ad oltre l'80% della produzione di piastrelle ceramiche.

➤ Gli essiccatoi del supporto, verticali od orizzontali, possono sfruttare un recupero energetico dall'aria di raffreddamento in uscita dai forni di cottura.

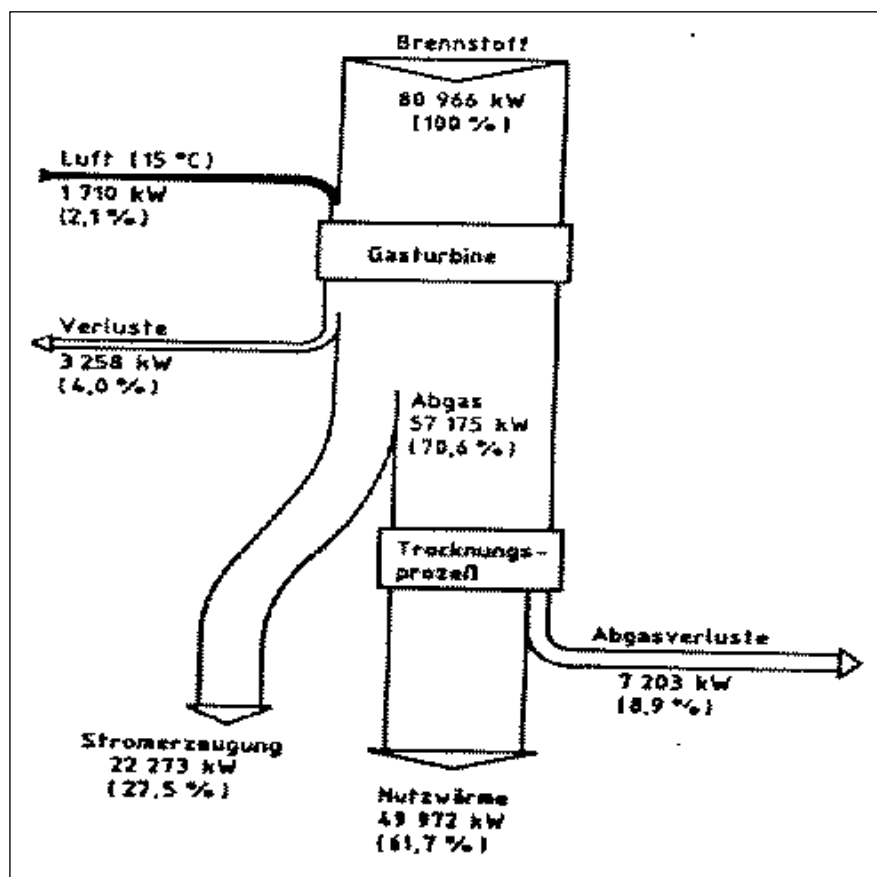


Fig.12 - Bilancio di un impianto di cogenerazione applicato ad un essiccatoio a spruzzo della barbotina.

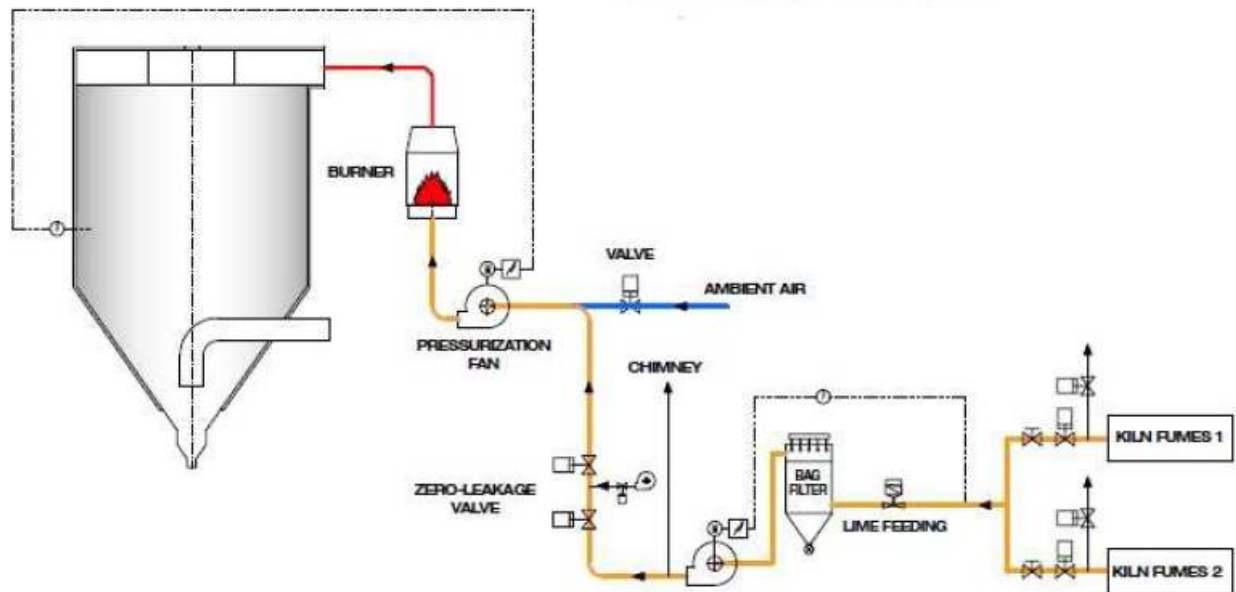


Fig.13 - Recupero del calore dei fumi esausti dal forno all'atomizzatore (da SACMI).

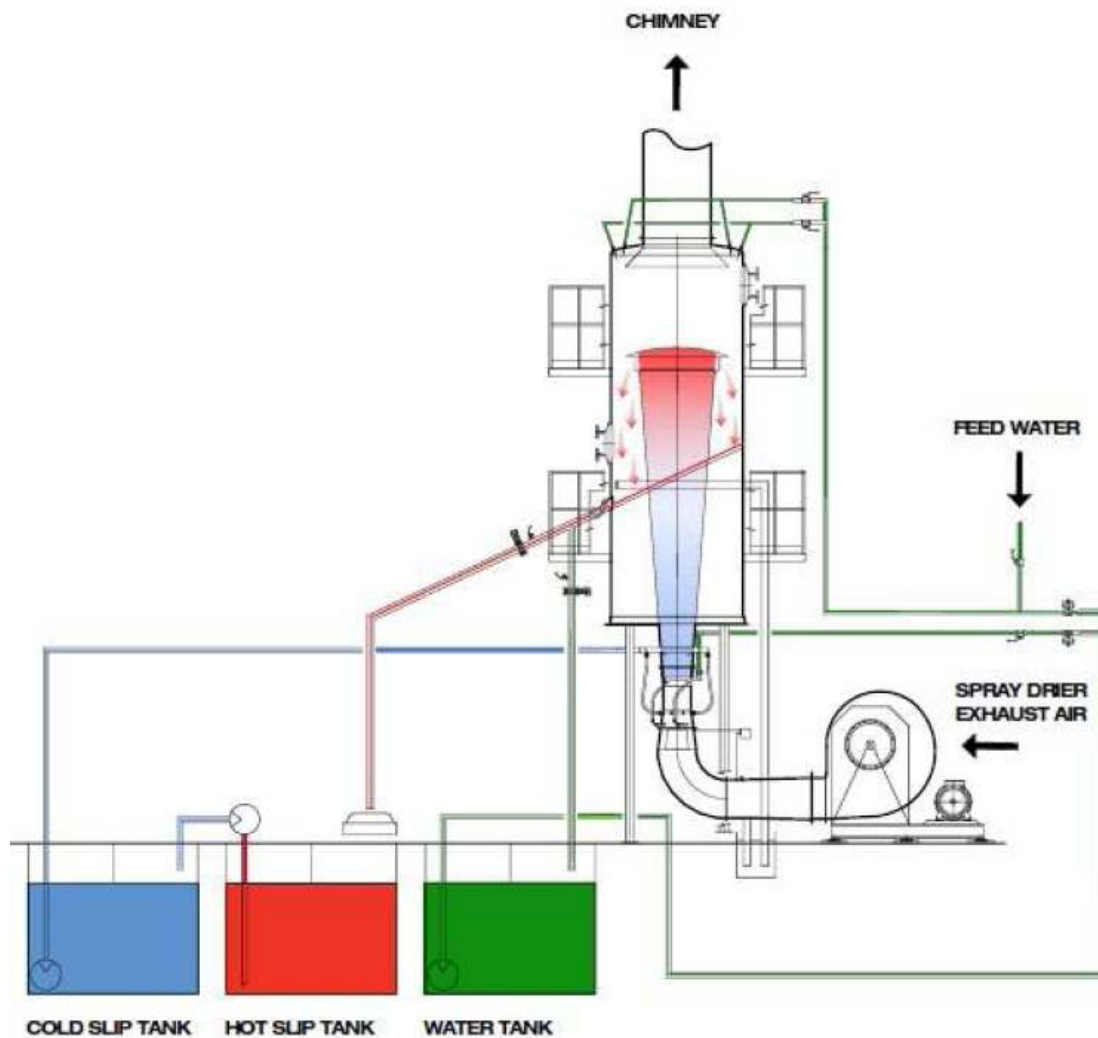


Fig.14 - Separatore di polveri dall'aria esausta dell'atomizzatore con riscaldamento della barbotina.

7.3. Formatura e decorazione

- Migliorare il programma di produzione permette di essiccare e cuocere lotti più grandi di prodotto con conseguente riduzione dei consumi energetici (se commercialmente è possibile).
- Ridurre il numero di prodotti differenti consente di ottimizzare la gestione della produzione e i consumi energetici (se commercialmente è possibile).
- Adozione di presse ad elevata efficienza energetica, che adottano sistemi conservativi della regolazione della potenza (pompe a portata variabile, circuiti idraulici collegati ad un volano).

7.4. Cottura

Il consumo energetico specifico nella cottura dei prodotti ceramici dipende dal ciclo di cottura richiesto, che a sua volta è determinato dal tempo di cottura, dai gradienti di temperatura di riscaldamento e dalla temperatura max. di cottura. Il ciclo di cottura e la temperatura di cottura sono determinati in base alla composizione dell'impasto, al processo di formatura e alle proprietà richieste al materiale cotto.

La Figura 3 mostra una crescita esponenziale del consumo specifico in funzione della temperatura di cottura.

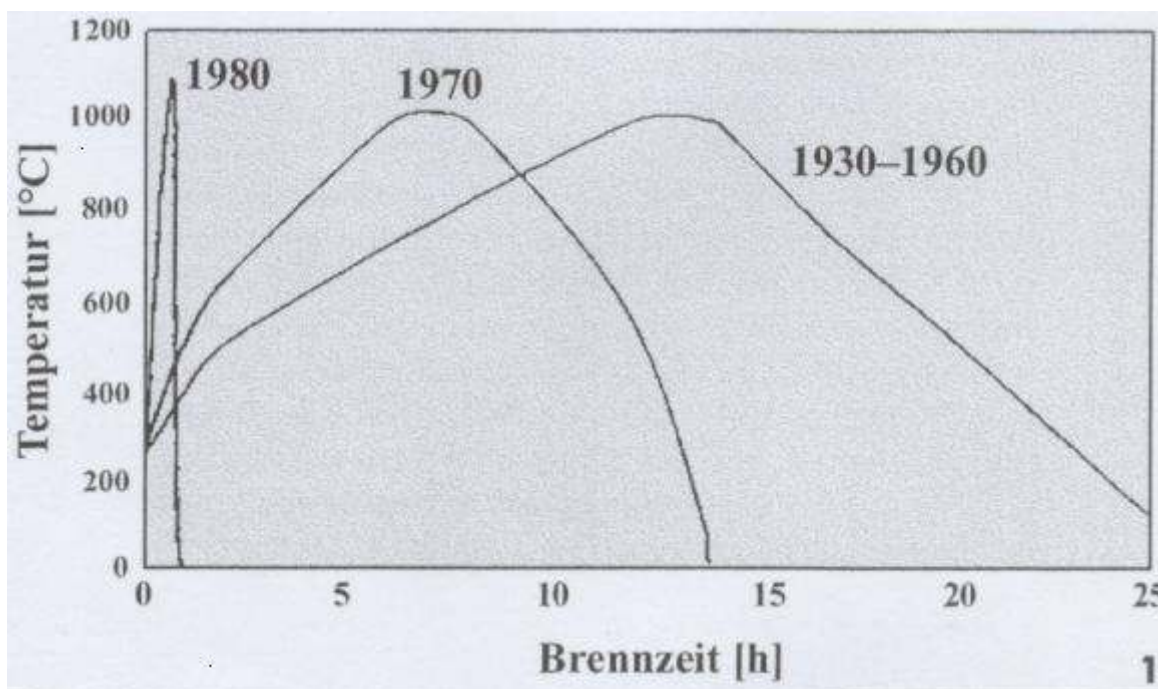
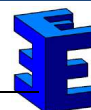


Fig.15 – Riduzione dei tempi di cottura per le piastrelle di ceramica durante il 20° secolo.



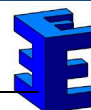
7.4.1. Progettazione del forno

Il forno a rulli costituisce lo stato dell'arte nell'industria delle piastrelle ceramiche e la migliore tecnologia energetica in cottura. Il forno a rulli, introdotto nel settore delle piastrelle di ceramica a partire dalla fine degli anni '70, già alla metà degli anni '80 aveva sorpassato il forno a tunnel, che al giorno d'oggi ha sostituito quasi completamente. I vantaggi che presenta il forno a rulli sono:

- altissima efficienza energetica, grazie alla scomparsa del materiale di supporto (le piastrelle avanzano nel forno appoggiate direttamente sui rulli) e alla riduzione della massa dei materiali isolanti e refrattari;
- flessibilità di produzione (possibilità di eseguire cambi di formato svincolandosi dal materiale di supporto);
- facilità di produzione di grandi formati (coi forni a tunnel era impossibile produrre formati superiori al 25x25 cm poiché il materiale in appoggio sui supporti si fletteva per deformazione piroplastica);
- rapidità del ciclo di cottura, grazie alla scomparsa dei materiali di supporto e alla disposizione delle piastrelle in monostrato; si è passati da cicli di decine di ore a cicli di decine di minuti e ciò consente di effettuare prove di produzione e verifiche tecniche in tempi brevi;
- facilità d'automazione delle operazioni di carico e scarico delle piastrelle;
- controllo più preciso della curva di cottura e risposta più rapida delle regolazioni, con conseguenti risparmi energetici e miglioramento della qualità del prodotto (al giorno d'oggi esistono sistemi di regolazione del forno che controllano in continuo le dimensioni dei pezzi all'uscita del forno, con possibilità di retroazione sulla curva di cottura in caso di manifestazioni di difetti o superamento delle tolleranze dimensionali);
- riduzione del volume dei fumi esausti in uscita dal camino, con conseguente riduzione dei consumi energetici.

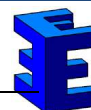
7.4.2. Combustibili e tecnologia di cottura

- La depressione statica all'ingresso forno non dovrebbe superare i 10-15 Pa; in zona di cottura si raccomanda un valore massimo di pressione statica pari a 1-2 Pa.
- Più bassa è la quantità di materiale scartato, più basso è il consumo energetico specifico per il materiale che va a magazzino.
- Nei moderni forni a rulli viene recuperata l'aria di raffreddamento del materiale dalla zona più calda come aria di combustione.
- L'aria di raffreddamento del materiale dalla zona meno calda può venire recuperata per gli essiccatoi del supporto.
- Cercare di organizzare la produzione con pochi cambi di prodotto, cercando di mantenere un solo prodotto per lungo tempo. Chiaramente questo concetto è molto valido dal punto di vista del contenimento dei consumi energetici, perché si riducono i transitori nei cambi di produzione, ma è difficile d'applicare per motivi commerciali.

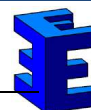


8 Bibliografia

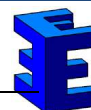
1. Gres Acueducto, S.A.: The works and the products an unqualified success. ZI Ziegelindustrie International, 2000, 5, 23-30
2. Riedel, R.: The real snag lies in the detail part 1 und 2. ZI Ziegelindustrie International, 2000, 6 und 9, 29-37, 23-32
3. Hesse, V.: The problems of energy consumption of tunnel kiln cars in fast firing tunnel kilns. ZI Ziegelindustrie International, 2001, 3, 13-20
4. Schlosser, M.: New concepts for tile setters and rapid drying in the clay roofing tile industry. ZI Ziegelindustrie International, 2001, 1/2, 25-29
5. Ceramicas Casao: High quality, large capacity and low energy consumption. ZI Ziegelindustrie International, 2001, 7, 24-28
6. Bauhütte Leitzl-Werke GmbH: "Eco Brickworks 2000" operating at full capacity. ZI Ziegelindustrie International, 2001, 5, 16-24
7. Vissing, L.: Energy consumption in the Danish brick industry. ZI Ziegelindustrie International, 2003, 3, 21-27
8. Strohmenger, P.: Energy saving intermittent kiln with heat exchanger system. ZI Ziegelindustrie International, 2003, 3, 36-39
9. www.tangram.co.uk: Energy efficiency in ceramics processing. www.tangram.co.uk
10. Jüchter, M.: Modernization of an existing plant an economical alternative. ZI Ziegelindustrie International, 2004, 3, 20-23
11. Mödinger, F.: The utilization of biogas at brickworks. ZI Ziegelindustrie International, 2004, 5, 20-31
12. Bayrische Dachziegelwerke Bogen GmbH: Innovative tunnel kiln for accessories at Bogen roofing tile works. ZI Ziegelindustrie International, 2004, 9, 36-39
13. Brick and Tile of Lawrenceville: A new manufacturing plant for for brick an tile Corporation of Lawrenceville. ZI Ziegelindustrie International, 2004, 10, 22-26
14. Ronchetti, R.: A new type of kiln for rapid firing of clay roof tiles. ZI Ziegelindustrie International, 2004, 11, 38-42
15. Hohlfeld, K.: Reduced kiln furniture weight for H-setters for firing roof tiles. ZI Ziegelindustrie International, 2005, 3, 19-28
16. Mödinger, F.: Options for the use renewable fuels in tunnel kilns. ZI Ziegelindustrie International, 2006, 8, 44-53
17. Aubertot, C.: Petroleum coke - a fuel of the future. ZI Ziegelindustrie International, 2006, 9, 36-40
18. Rieger, W.: Flue gas post-combustion in tunnel kilns with utilization of the released heat of combustion for brick drying and firing. ZI Ziegelindustrie International, 2007, 9, 32-42
19. Dörr, J.: Pore-forming with carboniferous clay blends - without strength loss but with a simultaneous energy saving. ZI Ziegelindustrie International, 2006, 5, 122-129
20. Kettler, H.: Kiln car engineering and energy conservation. ZI Ziegelindustrie International, 2006, 5, 130-133
21. anonymous: "International Brick Plant Operator's Forum" in Clemson (USA) with focus on energy saving. ZI Ziegelindustrie International, 2006, 12, 8-13
22. Mori, G.: Röben clay roofing tile plant in Sroda Slaska - designed for 40 million tiles and 4 million accessories per year . ZI Ziegelindustrie International, 2006, 9, 18-27
23. Rieger, W.: New design of a tunnel kiln structure made of prefabricated lightweight chamotte elements and replacement of the kiln cars by firing pallet circuit. ZI Ziegelindustrie International, 2007, 6/7, 45-55
24. Kettler, H.: BurcoLight - Results from practical operations. ZI Ziegelindustrie International, 2008, 5, 21-28
25. Industrie Pica S.p.A.: A new innovative clay roofing tile works at Portacomara. ZI Ziegelindustrie International, 2008, 8, 46-52



26. Unieco Fornace di Fosdondo: Newly developed dryer for the brick factory Fornace di Fosdondo. ZI Ziegelindustrie International, 2008, 1/2, 51-54
27. Strohmenger, P.: Energy saving Bogie-hearth furnace with heat Exchanger-System, Keramische Zeitschrift, 2003, 5, 350-352
28. Kartal, A.: Untersuchungen zur Erstellung von Hartporzellan bei verringerten Brenntemperaturen. cfi/Ber. DKG, 2004, 5, D20-D22
29. Rambaldi, E.: Glass recycling in porcelain stoneware tiles: Firing behaviour. cfi/Ber. DKG, 2004, 3, E32 - E 36
30. Coudamy, G.: Energy Saving and optimised firing thanks to new technology: "Entropy+". cfi/Ber. DKG, 2003, 9, E53-E60
31. Hansen, H.: Intelligente HAT-Herdwagenöfen. cfi/Ber. DKG, 2006, 11/12, D15-D16
32. Müller-Zell, A.: Niedrig sinternde Fertigmassen für Geschirr. cfi/Ber. DKG , 2008, 11, D15-D16
33. Fischer, M.: Möglichkeiten und Grenzen der Energieeinsparung. cfi/Ber. DKG , 2009, 2, D14-D18
34. Slater, A.: Fire more or less. cfi/Ber. DKG , 2009, 2, E35-E39
35. Junge, K.: Sintering aids for reducing the final firing temperature and energy saving. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 10, 686-687
36. Leisenberg, W.: Ways to efficient use of energy. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 7, 434-440
37. Bohlmann, C.: Reduction of mixing water with additives - a contribution to energy cost saving. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 1/2, 35-43
38. König, R.: The "Laminaris" at the Staudacher Brickworks - a further advance in drying technology. ZI Ziegelindustrie International, 1999, 9, 67-71
39. Masatishi Nakashima, J.: Clay roofing tile production in Japan. ZI Ziegelindustrie International, 1999, 3, 11-17
40. Riedel, R.: Combustion air preheating. ZI Ziegelindustrie International, 1999, 11, 30-39
41. Rapis-Ziegel Schmidt GmbH: New drying technology in the Rapis brickworks. ZI Ziegelindustrie International, 1999, 9, 73-78
42. Vogt, S.: Way to efficient use of energy. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 8, 496-501
43. Junge, K.: Effects of the ban on Sunday working on the energy consumption of heavy clay works. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 6, 327-335
44. König, R.: The Laminaris rapid dryer at the Tonwerk Venus in Schwarzach. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 8, 502-508
45. Denissen, J.A.M.: Energy efficient drying, Part 1: Energy efficiency of various techniques in convective drying. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 8, 509-517
46. Häßler, A.: A new continuous system for drying, firing and transport. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 8, 519-521
47. Hobohm, F.: Maßnahmen zur Energieeinsparung. www.keramikinstitut.de, 2008
48. Bartusch, R.: Potential for saving energy in the Ceramic Industry. Keramische Zeitschrift, 2002, 1, 6-10
49. Vogt, S.: Fortschrittliche Trocknungstechnik. www.keramikinstitut.de, 2008
50. Jeagermann, Z.: Information about PL-2, personally, 2009, 3.
51. Carlidge D.: New techniques in the brick industry of the UK, personally, 2009, 3.
52. Petersminde Teglværk A/S, Stenstrup, Fünen, DK: A modern tunnel kiln for the manufacture of a wide assortment of facing bricks. ZI Ziegelindustrie International, 2005, 7, 14-17
53. Telle, R: Senkung der Brenntemperaturen bei Sanitärporzellan durch Lithium- Zugaben, www.keramikinstitut.de, 2007
54. Sladek, R.: Gegenwärtiger Stand der Technik im Brennverfahren für sanitär-keramische Produkte, Keramische Zeitschrift 47 (1995) 5
55. Schulle, W.: Entwicklungen und Probleme beim Schnellbrand keramischer Produkte. Keramische Zeitschrift 52 (2000) 12



56. Köhler, R.: Personal talks with German tile producers
57. Vouillemet, M.: Le séchage mixte air chaud / micro-ondes des moules en plâtre neufs pour l'industrie du sanitaire. L'Industrie Céramique & Verrière 899 , 12/94, 780-784
58. Vouillemet, M: Le séchage en céramique. Les Techniques de l'Industrie Minérale 8, 12/2000, 93-98.
59. Blanc J.J.: The real costs of the dispersion of spray dried bodies. Ceramic World Review 70, 01-01/2007, 148-155
60. Blanc J.J.: Valorisation des déchets de verre dans les céramiques vitrifiées. L'Industrie Céramique & Verrière 953, 01/2000, 671-676
61. Vouillemet, M.: L'apport des micro-ondes comme source d'énergie en céramique. Réduction des cycles de traitement thermique et optimisation de la qualité des produits. Séchage mixte micro-ondes / air chaud des sanitaires : résultats pilotes et applications possibles.
62. Blanc J.J.: La granularité des poudres en céramique. Finesse et réactivité des feldspaths pour vitreous sanitaire. Mines & Carrières 81, 07-08/99, 28-31.
63. J.Fifer: Commercial case for airless drying. Br Ceram Trans 97, No 2, 1998, p80 -82
64. Cartlidge D: Personal: Infrared burner system that can be controlled in red and blue mode with the heating surface being a Sintered Nit. 2009
65. WRAP: Glass in Bricks and Tiles. (UK website)
66. Cartlidge D: Personal: flexi flat roller making. 2009
67. Cartlidge D: Personal: laser decoration for sanitaryware. 2009
68. Airless drying shapes up to Tableware challenge. Global Ceramic Review, No 2/99, summer 1999
69. Cartlidge D: Use of waste glasses in sanitaryware production. 2009
70. SACMI Imola S.C:
http://www.sacmi.com/System/00/01/25/12544/633600971649531250_1.pdf
http://www.sacmi.com/System/00/01/25/12542/633600970754531250_1.pdf
http://www.sacmi.com/System/00/01/25/12552/633601079876875000_1.pdf
http://www.sacmi.com/System/00/01/25/12553/633601080867187500_1.pdf
71. Petzold, J: Personal recommendations about operating ceramic kilns



etaflorence * **renewableenergies**

Piazza Savonarola, 10
I-50132 Firenze Italy
Tel. +39-055-5002174
Fax +39-055-573425
e-mail: eta.fi@etaflorence.it
<http://www.etaflorence.it>

La pubblicazione è disponibile in formato
Portable Document Format all'indirizzo

www.ceramin.eu