

Laterizi prodotti con argilla e rifiuti urbani

B. Boesmans, F.J. Colon e J.H. van der Velden
Divisione di Tecnologia per la Società TNO, Apeldoorn, Paesi Bassi

... e di questa relazione è stata presentata anche il marzo 1979 al 2° Congresso Mondiale del Riciclaggio di Manila.

INTRODUZIONE

Il sistema di segregazione per rifiuti urbani è stato ideato nei Paesi Bassi dall'Organizzazione per la Ricerca Scientifica Applicata (TNO) in collaborazione con la Recycling BV e la Rijkswaterstaat BV, è descritto dettagliatamente nella letteratura (1). È un sistema meccanico di separazione a secco che fa uso di tecnologie quali: riduzione della granulometria, frantumazione, classificazione, e che mira a separare i rifiuti primari utilizzabili dai rifiuti urbani ed a ridurre il flusso di rifiuti solidi nella nostra società.

Nel 1970 fu dato il via alla realizzazione di questo sistema di separazione su scala di laboratorio. Il risultato finale fu la costruzione di un impianto pilota su scala tecnica da 15-20 tonnellate l'ora di rifiuti urbani. L'impianto fu incorporato nello stabilimento per il trattamento dei rifiuti del Dipartimento Comunale della Città di Haarlem (Fig. 1). L'approvvigionamento e lo scarico dei rifiuti non presentano un problema in questo luogo, oltre è possibile effettuare prove a lungo termine.

Lo schema del processo è riportato in fig. 2. I principali prodotti che vengono separati sono: acciaio, latta, plastica, carta ed una frazione fibrosa fine che è composta prevalentemente da materiale organico.

Il sistema e i suoi collaboratori per il lavoro di ricerca non si sono limitati alla e propria separazione delle varie componenti, ma hanno anche ricercato le possibilità di lavorare i materiali separati trasformarli in prodotti utili. È possibile anche per la frazione fine. Le indagini dimostrano che la frazione fine potrebbe essere usata sia come combustibile per la produzione di laterizi che per la preparazione di composti. Per quel che riguarda quest'ultimo, gli esperimenti svolti in collaborazione con l'Istituto per la Fertilità del Terreno hanno dimostrato che la frazione fine entra facilmente a far parte di composti e che dà origine a un prodotto con proprietà equivalenti a quelle di un composto di rifiuti urbani non frazionati. La ricerca che ha portato a questo risultato non viene qui presa ulteriormente in esame.

Il presente documento viene esaminata la possibilità di utilizzare i rifiuti urbani frazionati fini per la produzione di laterizi per mattoni. Il fatto che sia preferito un tipo particolare della frazione fine piuttosto di un altro dipende, tra l'altro, dalle condizioni locali e dalle posizioni sul mercato dei prodotti: il composto e i mattoni. A tale riguardo è stato notato che in un certo numero di Paesi c'è un aumento dell'utilizzo di mattoni murature interne ottenuti per cottura. Questo mostra il grafico di fig. 3, questo sviluppo particolarmente considerevole nel-

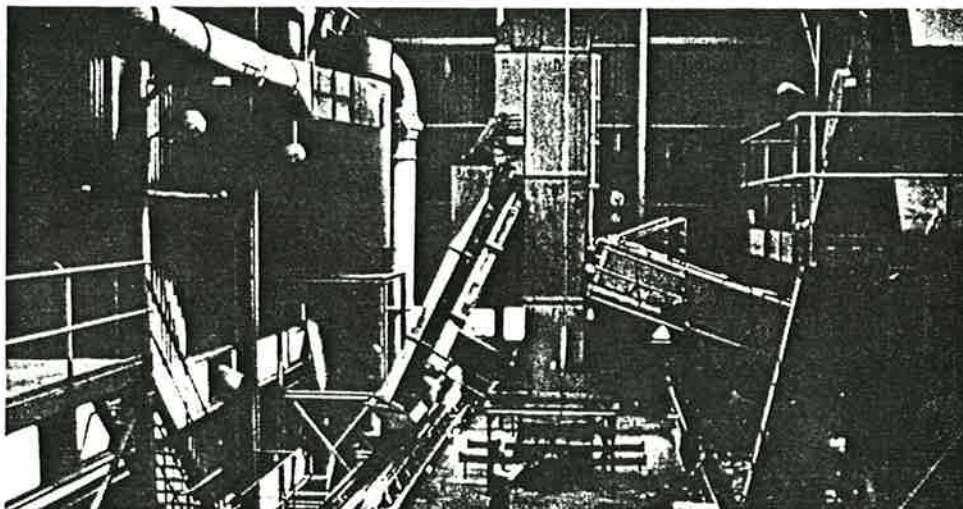


Fig. 1 - Impianto per la separazione dei rifiuti urbani.
Fig. 1 - Plant for the separation of municipal refuse.

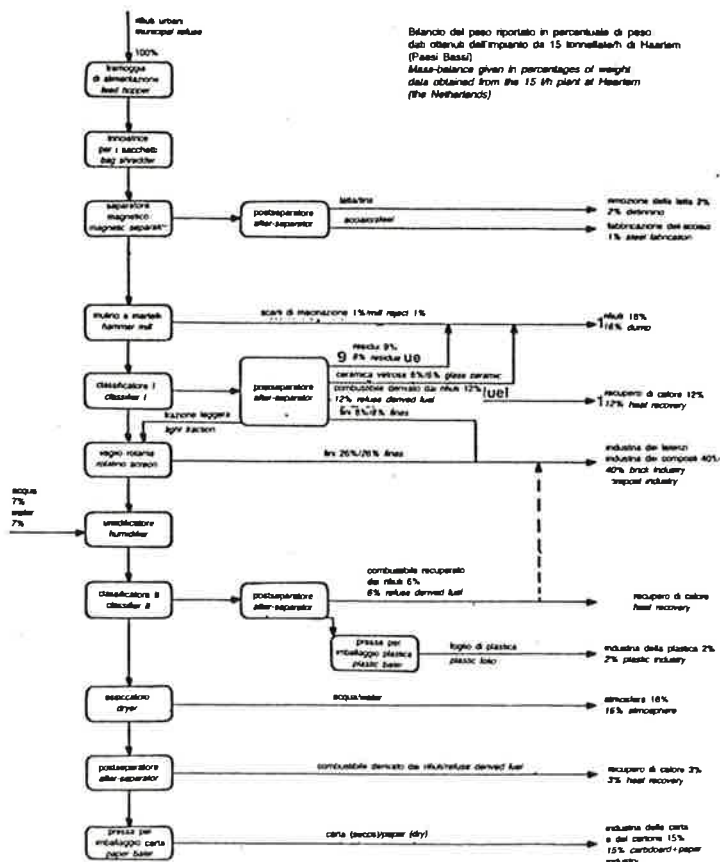
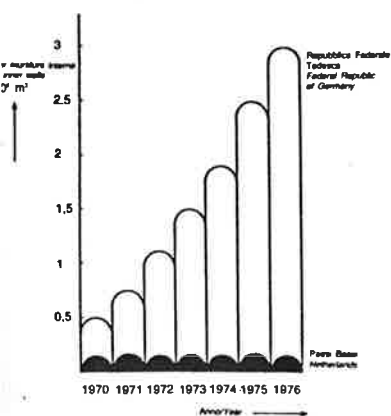


Fig. 2 - Schema di lavorazione del sistema Esmil-Recycling-TNO.
Fig. 2 - Flow sheet Esmil-recycling-TNO system.



3 - Applicazione dei mattoni cotti per murature interne (derivati dai dati del TBE, la Federazione Europea dei Produttori di Laterizi).

3 - Application of fired inner wall bricks (derived data of TBE, the European Federation of Tile Brick Manufacturers).

Repubblica Federale Tedesca durante gli anni.

SCOPO E MOTIVAZIONE DELLE INDAGINI

Le indagini erano orientate ad esaminare le possibilità di usare la frazione fine come additivo di combustione nell'argilla per la produzione di mattoni per murature interne tramite estrusione. Si è ritenuto che tale ricerca potesse contribuire a:

ampliare l'assortimento di materiali da costruzione con un prodotto in argilla che offra interessanti proprietà meccaniche e fisiche;

risolvere il problema dei rifiuti; risparmiare sull'impiego delle materie prime naturali per la produzione di materiali da costruzione;

risparmi sui consumi di carburante nella produzione di mattoni per murature interne tramite cottura.

La ricerca sulle possibilità di riutilizzo dei rifiuti nei materiali da costruzione non è stata limitata a quella dei rifiuti urbani nei prodotti base di argilla. Altri materiali di rifiuto, ad esempio i fanghi degli impianti di trattamento delle acque, fanghi dei porti e rifiuti volanti sono stati o sono tuttora oggetto di studio da parte del TNO per quel che riguarda la loro utilizzabilità nei materiali da costruzione.

CARATTERISTICHE DELLA FRAZIONE

Come abbiamo detto precedentemente, la frazione fine consiste prevalentemente di materia organica ed ha una struttura fibrosa. Le dimensioni delle componenti organiche sono inferiori ai 10 mm e quelle inorganiche inferiori ai 2 mm. La densità apparente del materiale sciolto di discarica è di circa 0,6 g/m³. Iniziando con 1 kg di frazione fine a. dopo aver essiccato a 100°C rimangono circa 0,6 kg. e dopo aver cotto a 1000°C

Tab. 1 - Analisi chimica della frazione fine in % di materiale secco.
Table 1 - Chemical analysis of fine fraction in % of dry matter.

Simbolo Symbol	%	Simbolo Symbol	%	Simbolo Symbol	%
SO ₂	0.3	Ca	2.4	Zn	0.01
Cl	0.3	Cr	0.004	As	0.004
NH ₃	0.03	Fe	0.3	Pb	0.02
P	0.1	Cu	0.008		

restano circa 0,25 kg. Il valore calorico netto è di circa 10 MJ per kg di frazione secca. Un'analisi chimica della frazione è compresa in tavola 1.

Il diagramma del ciclo di lavorazione di fig. 2 mostra che almeno il 26% ed al massimo il 40% dei rifiuti diventa disponibile come frazione fine. La frazione è prodotta in un processo di separazione controllata e pertanto è discretamente costante in composizione e granulometria. Questa è una condizione importante per l'impiego di un prodotto ottenuto da rifiuti nella produzione dei mattoni. Il fatto che la qualità delle componenti delle materie prime resti praticamente immutato è di importanza primaria per un processo di fabbricazione dei laterizi meccanizzato, automatizzato e al passo coi tempi.

4 - PROVE SPERIMENTALI

Il valore utile della frazione fine della produzione di ceramica per costruzione è stato esaminato dapprima in laboratorio. Per mezzo di prove sperimentali si è esaminato se, ed in che misura, fosse possibile fare provini con miscele di argilla e di frazione fine di qualità tale che risultasse accettabile in considerazione dello scopo perseguito. Queste indagini sono avvenute nel 1975 e sono state svolte con consultazioni dell'industria Olandese dei laterizi da parte del Gruppo di Lavoro TNO "Ceramiche da Costruzione". I campioni della frazione fine umida sono stati miscelati in vari rapporti in un miscelatore planetario con alcune argille olandesi comuni. Dalla miscela sono stati fatti provini sia tramite estrusione che per mezzo di stampi. Questi sono stati essiccati in un essiccatoio a convenzione usando diversi regimi di essiccazione e successivamente sono stati cotti in un forno da laboratorio alimentato a gas in atmosfera ossidante. È stato esaminato il comportamento alla formatura, all'essiccazione e alla cottura, ed inoltre sono state determinate alcune proprietà caratteristiche, come ad esempio la densità apparente, resistenza allo schiacciamento e colore del cotto.

Queste indagini di massima hanno avuto un risultato positivo. Ad esempio da una massa contenente 2/3 di frazione fine umida per kg di argilla secca è stato possibile fare provini porosi non perforati aventi una densità apparente di circa 1150 Kg/m³ che potevano essere segati e inchiodati.

I provini cotti hanno evidenziato una efflorescenza bianco-grigiastra che poteva essere rimossa tramite lavaggio parzialmente. Ciò va attribuito ai sali presenti nella miscela di materie prime, che cristallizzano sulla superficie esterna del prodotto durante l'essiccazione e che compaiono dopo la cottura sotto forma di

scoloritura superficiale. Tuttavia questo aspetto meno piacevole è di scarsa importanza per applicare i mattoni cotti in muri interni intonacati.

Per quel che riguarda la tecnologia di produzione, le indagini si sono concretizzate nel seguente paragrafo di conclusioni e risultati:

4.1 - Preparazione dell'impasto

Come materia prima base si consiglia di usare un'argilla grassa, cioè un'argilla con il 50% o più di una frazione granulometrica inferiore ai 10 µm (m/m₀). L'uso di un'argilla grassa dà luogo a un prodotto con buona resistenza meccanica. Il dosaggio e l'impasto delle materie prime naturalmente dovrebbe essere adeguato al carattere fortemente diverso delle due componenti.

4.2 - Formatura

Va preferita la formatura tramite estrusione dell'impasto deareato. Questo metodo di formatura limita il tenore d'acqua del mattone fresco non cotto, dà luogo ad una buona resistenza meccanica del prodotto ed inoltre rende possibile fabbricare semplicemente grossi mattoni perforati. I pezzi presenti nell'impasto ostacolano il taglio della colonna d'argilla che fuoriesce dall'estrusore. Con un'estrusione compatta e adattando la macchina di taglio è possibile superare queste difficoltà.

4.3 - Essiccamento

Il comportamento all'essiccamento dei provini preparati con la frazione fine si rivela notevolmente migliore di quello dei prodotti fatti esclusivamente di argilla. La riduzione della sensibilità alla formazione di cricche durante l'essiccamento va attribuita alla caratteristica fibrosa della frazione fine.

4.4 - Cottura

La cottura dei provini a temperature di circa 1000°C non presenta problemi specifici. Va preferita un'impilatura rada, cioè lasciando spazi tra i mattoni introdotti nel forno, e dovrebbero essere cotti in atmosfera ossidante. Queste misure favoriscono la combustione completa delle componenti combustibili della frazione fine.

5 - ESPERIMENTI SU SCALA INDUSTRIALE

I risultati positivi delle prove sperimentali hanno mostrato completamente la giustezza della scelta di continuare le indagini su scala più ampia.

la Hoeke Engineering BV dichiarò la sua disponibilità a collaudare il valore utile della frazione fine per la produzione dei mattoni su scala industriale e a sviluppare ulteriormente tecnologia di produzione dei mattoni su scala industriale in collaborazione con il TNO e altri co-ricercatori.

Basandosi sui risultati delle indagini di laboratorio sono state effettuate delle preparazioni per una produzione di prova. Quest'ultima è stata effettuata in una fornace belga nel 1976. Sono state lavorate 50 tonnellate di frazione fine. L'argilla usata risaliva al miocene. La frazione granulometrica $10\mu m$ era del 10%. Il rapporto di miscelazione fra frazione fine e argilla è stato variato in una gamma molto vasta. Il diagramma di lavorazione viene riportato in fig. 4.

La misura in cui ciò è risultato necessario, l'attrezzatura di produzione è stata adeguata alle necessità della lavorazione che nel frattempo era stata sviluppata. La pasta preparata è stata immessa in un'estrusore a vuoto sotto forma di tranci simili a salsiccia con uno spessore di 30 mm ed una consistenza che corrispondeva a 1,35 del coefficiente Pfefferkorn, e trasformato in mattoni perforati di varia misura. I mattoni verdi sono stati essiccati per 48 ore e successivamente cotti per 72 ore.

Tali esperimenti ebbero successo. La Fig. 5 mostra una pila di mattoni ottenuti in questo modo.

La Tab. 2 riporta alcuni dei risultati delle prove. Si riferiscono ad un mattone di 280 x 135 x 90 mm dopo la cottura, ed a una composizione di impasto, cioè 8 parti in volume di frazione fine sciolta umida a 10 parti in volume di argilla umida sciolta. I valori fra parentesi si riferiscono alla lavorazione dell'argilla senza aggiunta di frazione fine. Colpisce l'enorme differenza della densità e del peso apparente.

Tab. 2 - Alcuni risultati di ricerche su scala industriale.
Table 2 - Some results of investigation on an industrial scale.

COMPOSIZIONE DELL'IMPASTO COMPOSITION OF THE BODY			
argilla secca, parti in peso/Dry clay, parts by mass		10	
frazione fine umida, parti in peso/Moist fine fraction, parts by mass		5	
argilla umida, parti in volume/Moist clay, parts by volume		10	
frazione fine umida, parti in volume/Moist fine fraction, parts by volume		8	
DATI DEL PROCEDIMENTO PROCESS DATA			
umidità d'acqua iniziale/Initial water content (m/m _d)	%	42.5	(30)
ritiro all'essiccazione/Drying shrinkage (L/L _w)	%	5	(7)
ritiro in cottura/Firing Shrinkage (L/L _d)	%	4	(2)
ritiro complessivo/Total shrinkage (L/L _w)	%	8.8	(8.9)
PROPRIETÀ DEI MATTONI DOPO LA COTTURA PROPERTIES OF FIRED BRICK			
dimensioni, Lun. x Lar. x Alt./Dimensions, L x W x H	mm	280x135x90	
perforazione (v/v)/Perforation (v/v)	%	20	
peso per mattone/Mass per brick	kg	3.8	(5.0)
densità apparente/Mattone/Bulk density of brick	kg/m ³	1100	(1470)
resistenza schiacciamento (10 mattoni)/Crushing strength (10 bricks)			
Media/Average	N/mm ²	14	(n.d.)*
Limite superiore/Upper limit	N/mm ²	18	(n.d.)*
Limite inferiore/Lower limit	N/mm ²	13	(n.d.)*
resistenza termica/Muro/Heat resistance of wall (135 mm)	(m ² ·K)/W	0.33	(n.d.)*
aderenza malta mortar adherence		buona good	(buona) (good)

* dati tra parentesi si riferiscono alla lavorazione dell'argilla senza la frazione fine
* figures in brackets apply to the processing of clay without fine fraction.
n.d. = not determined

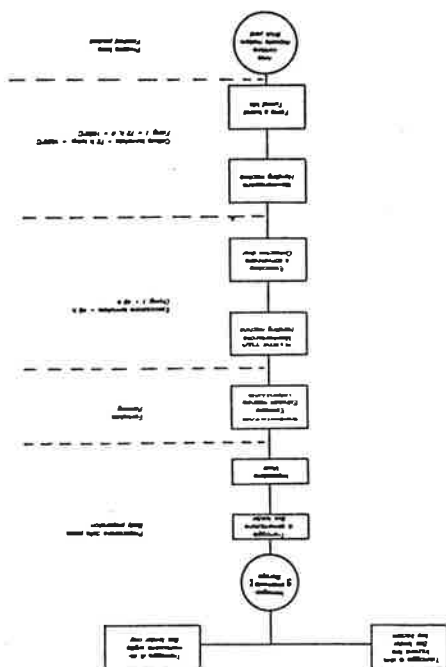


Fig. 4 - Schema di lavorazione della produzione sperimentale di mattoni.
Fig. 4 - Flowsheet of trial production of bricks.

Siccome il nuovo prodotto è leggero, è possibile trattare formati più grandi più facilmente. La resistenza allo schiacciamento dei mattoni è ampiamente sufficiente per la loro applica-



Fig. 5 - I mattoni ottenuti dall'argilla e dalla frazione fine.
Fig. 5 - Bricks from clay and fine fraction.

zione in muri interni di materiale cotto sotto tensione di carico. La resistenza alle temperature, misurata in condizioni normali, di muri campione fatti con tali mattoni soddisfa le aspettative. Un'indagine sull'adesione della malta ai muri di prova analogamente ha avuto un risultato positivo (fig. 6). Con i mattoni non usati per scopi di collaudo è stato costruito un muro divisorio in un capannone di uno stabilimento.

Le proprietà fisiche e meccaniche del nuovo prodotto leggero termoisolante mostra grande somiglianza a quelle di altri prodotti a base di argilla cotta, per quel che riguarda tale aspetto. Le proprietà che risultano molto apprezzate sono:

- un tenore di umidità in equilibrio relativa-

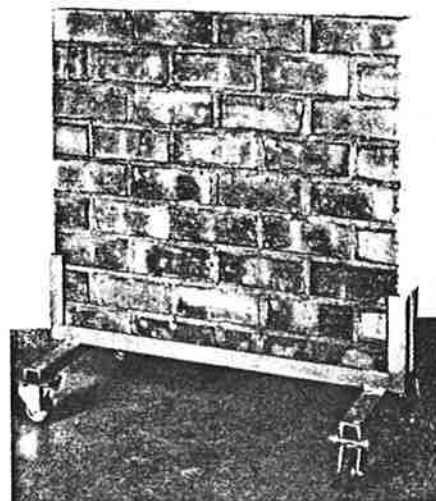


Fig. 6 - Muro sperimentale costruito di mattoni cotti ottenuti da argilla e frazione fine.
Fig. 6 - Trial wall of fired bricks from clay and fine fraction.

- mente basso fino ad alle umidità atmosferiche;
- un coefficiente di espansione lineare relativamente basso;
- nessun ritiro dopo la cottura del prodotto.

Per quel che concerne le sue proprietà, il nuovo prodotto somiglia alquanto ad altri prodotti leggeri a base di argilla cotta nei quali sono impiegati additivi combustibili, come polistirolo, segatura, o rifiuti provenienti da miniere di carbone o dalla produzione della carta.

Dalle indagini svolte si può derivare la relazione approssimativa esistente tra la resistenza allo schiacciamento di un mattone e il rapporto di miscelazione della frazione fine con l'argilla grassa. Tale relazione viene riportata in fig. 7. Sull'asse verticale viene indicata la resistenza media allo schiacciamento dei mattoni cotti a 1000°C, di 280 x 135 x 90 mm con 20% di perforazione (v/v). Sull'asse orizzontale viene riportato il rapporto di miscelazione. I dati danno le parti espresse in volume di frazione fine umida sciolta da combinare con 10 parti espresse in volume di argilla sciolta con un contenuto d'acqua di circa 28% (m/m₀). La fig. 7 mostra che con rapporti di 5 - 15 parti espresse in volume di frazione fine a 10 parti di argilla, sempre espresse in volume, si riesce a far fronte a richieste di resistenza divergenti per quel che riguarda la resistenza meccanica.

Nel 1977 gli esperimenti sono stati ripetuti in una fornace olandese, impiegando 20 tonnellate di frazione fine ed un'argilla marina giovane. Il 56% (m/m₀) dell'argilla aveva granulometria $10 \mu\text{m}$. Anche in questo caso si rivelò possibile la produzione di mattoni leggeri perforati.

Per quel che riguarda eventuali incidenze ambientali da parte dell'applicazione summenzionata della frazione fine tratta dai rifiuti urbani, si può sottolineare quanto segue: l'odore che si percepisce nel trasformare la

Tab. 3 - Calcoli esemplificativi riferentisi ai risparmi di argilla e di consumo di combustibile. (I dati tra parentesi si riferiscono alla lavorazione dell'argilla senza la frazione fine).
 Table 3 - Example of calculation referring to savings on clay and fuel consumption.
 (The figures in brackets apply to the processing of clay without fine fraction).

Capacità annuale dell'impianto di separazione Annual capacity of separating plant	tonn. ton	100.000	
Frazione fine per muratura/Fine fraction to brick works	tonn./ton	25.000	(-)
Argilla per muratura (ferma)/Clay to brick works (unmoved)	m ³	32.000	(53.000)
Risparmio di argilla (ferma)/Clay saving (unmoved)	m ³	21.000	
Produzione annuale di mattoni/Annual production of bricks	m ³	50.000	(50.000)
Perforazione dei mattoni/Perforation of bricks	%	20	(20)
Densità apparente dei mattoni/Bulk density of bricks	kg/m ³	1.100	(1470)
Consumo calorico (combustibile fossile)/Heat consumption (fossil fuel)	GJ/m ³	1,5	(3)
Risparmio di combustibile/Fuel saving	GJ/m ³	1,5	

frazione fine non è stato ritenuto sgradevole durante le fasi di produzione precedenti l'essiccazione. Tuttavia, l'aria che fuoriusciva dagli impianti di essiccazione nell'ambiente di lavoro aveva un odore penetrante meno accettabile. La combustione della frazione fine nel forno può dare ulteriormente luogo a un pennacchio di fumo sulla ciminiera del forno. Per controbattere questi effetti indesiderati sull'ambiente vero e proprio, si dovrebbero prendere delle misure giustificate da un punto di vista economico.

6 - RISPARMI SULL'ARGILLA E NEL CONSUMO DI CARBURANTE

Nella produzione di prodotti a base di argilla, ovviamente, l'impiego di un additivo sfocia in un risparmio rispetto al consumo di argilla.

Un calcolo esemplificativo (Tab. 3) mostra che una fornace che prende 25.000 tonnellate di frazione fine da un'impianto di separazione con una capacità annuale pari a 100.000 tonnellate di rifiuti urbani, può trasformarli in 50.000 m³ di mattoni per murature interne con densità apparente di 1100 Kg/m³. Si è supposto che siano impastate 8 parti espresse in volume di frazione fine con 10 parti espresse in volume di argilla e che la perforazione dei mattoni sia di circa il 20%. Il consumo annuale di argilla in questo caso sarebbe approssimativamente di 32.000 m³. Supponendo che questi 50.000 m³ di mattoni per murature interne consistano completamente di argilla, sarebbero necessarie circa 53.000 m³ di argilla l'anno e si otterrebbe un prodotto con una densità apparente di circa 1470 Kg/m³. Pertanto l'uso di additivi di combustione in questo caso provoca un risparmio del 40% di argilla e offre un mattone più leggero che è più facile da trattare. Inoltre anche il consumo di combustibile fossile, correntemente usato per l'essiccazione e per la cottura del prodotto summenzionato, diminuirà aggiungendo frazione fine all'impasto. Espresso in unità termiche, si prevede che tale consumo diminuisca da circa 3 GJ a circa 1,5 GJ per m³ di mattone perforato.

I dati riportati sopra, tra l'altro, dipendono fortemente dal rapporto di miscelazione della pasta e dalla perforazione dei mattoni. A questo riguardo va sottolineato che spesso nei mattoni per murature interne si applica una perforazione maggiore di quel 20% che abbiamo supposto qui, il che ha un influsso favorevole sul fabbisogno calorico.

7 - CONCLUSIONI

Prove sperimentali e ricerche su scala industriale hanno dimostrato che un impasto di argilla e di frazione fine tratta dai rifiuti urbani può essere trasformato in mattoni adatti per la costruzione di murature interne portanti o non.

Quando ci si attiene strettamente ai procedimenti di produzione sviluppati, si ottiene un materiale da costruzione che presenta favorevoli proprietà meccaniche e fisiche. L'applicazione del nuovo prodotto, anziché delle argille correnti senza additivi per la produzione di laterizi per murature interne, porta a dei risparmi sulla quantità di argilla necessaria e sui consumi di combustibile fossile e contribuisce al riutilizzo dei materiali di rifiuto onnipresenti.

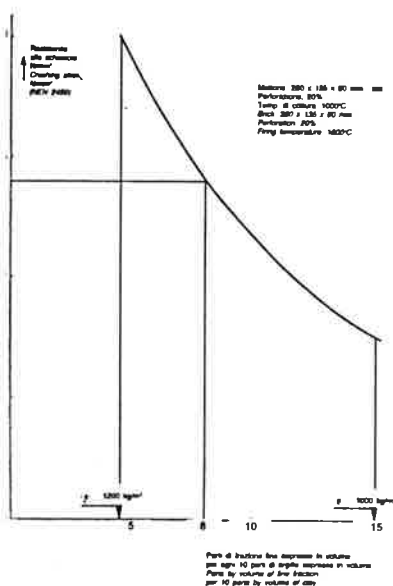


Fig. 7 - Relazione approssimativa tra il rapporto impasto dei componenti e la resistenza allo schiacciamento dei mattoni perforati.

Fig. 7 - Approximate relationship between mixing ratio of constituents and crushing strength of perforated bricks

BIBLIOGRAFIA

F.J. Colon e H.J.M. Kruidenberg, La separazione meccanica dei rifiuti urbani in componenti utili e il loro impiego come materie prime industriali. Proc. Primo Congresso Mondiale del Riciclaggio, Basile (6-9 marzo, 1978).

Bricks manufactured from clay and municipal refuse

B. Boesmans, F.J. Colon and J.H. van der Velden
Division of Technology for Society TNO, Apeldoorn, the Netherlands

paper has been presented March 20, 1979, on
and Recycling World Congress at Manila.

INTRODUCTION

A separating system for municipal waste, developed in the Netherlands by the Organisation for Applied Scientific Research (TNO) in co-operation with Recycling BV and Esmil is described at length in the literature (1). It is a dry, mechanical separation system that makes use of technologies such as size reduction, screening and classification, and aims at recovering usable raw materials from municipal refuse and reducing the solid waste volume of our society.

In 1970, development started of this separating system on a laboratory scale. This resulted in the construction of a technical-scale pilot plant of 15 to 20 tons municipal refuse per hour. The plant was incorporated in the waste-processing factory of the Municipal Cleanliness Department at Haarlem (fig. 1). The separation and discharge of the waste does not present any problems here; moreover, long-term tests can be carried out. A diagram of the process is given in fig. 2.

The principal products separated are: steel, glass, slate, plastic, paper and a fibrous fine fraction mainly consisting of organic material.

The authors and their research partners have not restricted themselves to the separation of the proper components but have also searched for possibilities of working up the separated materials into useful products.

Research also applied to the fine fraction. The investigations showed that the fine fraction could be used both as combustion additive in brick manufacture and for the preparation of compost. As regards the latter purpose, experiments made in co-operation with the Institute for Soil Fertility have demonstrated that the fine fraction is easily compostable and is a product with properties that are equivalent to or even better than those of compost from fractionated municipal waste. The research bringing about this result is not further considered here.

In this paper the research into the possibilities of using the fine fraction for the manufacture of inner-wall bricks is discussed. The fact that one particular application of the fine fraction is preferred to another depends, among other things, on local conditions and on the market position of the two end products: compost and bricks. In this connection it is remarked that there is an increase in the use of fired inner-wall bricks in a number of countries. As graph in fig. 3 shows, this development has particularly been striking in the Federal Republic of Germany in the last few years.

2 - PURPOSE AND MOTIVATION OF THE INVESTIGATIONS

The investigations were directed to the possibilities of applying the fine fraction as combustion additive in clay for the manufacture of fired inner-wall bricks. It was thought that this research could contribute to:

- broadening the assortment of building materials with a clay product of attractive mechanical and physical properties;
- solving the waste problem;
- saving the use of natural raw materials for the manufacture of building materials;
- saving on fuel consumption with the manufacture of fired inner-wall bricks.

Research into the possibilities of re-using solid waste in building materials were not restricted to that of municipal refuse in clay products. Other waste materials, such as sludge from water treatment plants, sludge from harbours and fly-ash have been or are being examined by TNO as to their applicability in building materials.

3 - CHARACTERISTICS OF THE FINE FRACTION

As stated before, the fine fraction mainly consists of organic material and has a fibrous structure. The organic constituents are smaller than 10 mm and the inorganic ones smaller than 2 mm in size. The bulk density of the loosely dumped material is about 650 kg/m³. Starting from 1 kg moist fine fraction some 0.6 kg is left after drying at 100°C and after firing at 1000°C about 0.25 kg remains. The nett calorific value amounts to approx. 10 MJ per kg dry fraction. A chemical analysis of the fraction is included in Table 1.

The flowsheet in fig. 2 shows that at least 26% and at most 40% of the waste becomes available as fine fraction. The fraction is produced in a controlled separation process and is therefore reasonably constant of composition and particle size. This is an important condition for the application of a waste product in brick manufacture. The fact that the quality of the raw material components remains practically unchanged, is of prime importance for an up-to-date, mechanised and automated brick manufacturing process.

4 - TRIAL EXPERIMENTS

The useful value of the fine fraction in manufacturing constructional ceramics was first investigated on a laboratory scale. By means of trial experiments it was investigated if, and to what extent, it would be possible to make test

pieces from mixtures of clay and fine fraction of such a quality that it was acceptable for the purpose in mind. These investigations took place in 1975 and were carried out in consultation with the Dutch brick and tile industry by the TNO Working Group "Constructional Ceramics". Samples of the moist fine fraction were mixed in different proportions in a planet mixer with some current Dutch clays. The mixture was worked up into test pieces, both by extrusion and with the aid of moulds. These were dried in a convection drier using different drying regimes and subsequently fired in a gas-fired laboratory kiln in an oxidising environment. The behaviour on forming, drying and firing was examined, and some characteristic properties, like bulk density, crushing strength and colour of the fired test pieces, were determined.

These tentative investigations had a positive result. From a body containing for instance 2/3 kg moist fine fraction per kg dry clay, porous non-perforated testpieces could be made with a bulk density of approx. 1150 kg/m³ which could be sawn and nailed.

The fired test pieces showed a greyish-white efflorescence that could partly be washed away. This should be attributed to the salts present in the raw materials mixture, which crystallize on the outside surface of the product during drying, the reveal themselves after firing in the form of a discoloration of the surface. This less attractive appearance is of little importance, however, for application of the fired bricks in plastered inner walls.

As regards manufacturing technology, the investigations have materialised in the following results and conclusions:

4.1 - Body preparation

It is recommended to use a fat clay as basic raw material, i.e. a clay with 50% or more of a particle-size fraction smaller than 10 µm (m/m₀). The use of a fat clay yields a product of good mechanical strength. Dosing and mixing of the raw materials should obviously be attuned to the highly different character of the two components.

4.2 - Forming

Forming by extrusion of the deaerated body is to be preferred. This forming method limits the water content of the fresh, unburnt brick, results in a good mechanical strength of the product and, moreover, makes it possible to manufacture large perforated bricks in a simple way. The pieces present in the body hamper the cutting of the clay column emerging from the extrusion machine. By stiff extrusion and adapting the cutting device these difficulties can be overcome.

4.3 - Drying

The drying behaviour of the test pieces prepared with the fine fraction proves to be considerably better than that of products made solely from clay. The reduced sensitivity to crack formation with drying must be attributed to the fibrous character of the fine fraction.

4.4 - Firing

Firing the test pieces at temperatures of about 1000°C does not present any specific problems. An open setting, i.e. where space is left between bricks in the kiln, is preferred and they should be fired in an oxidising environment. These measures promote a complete combustion of the combustible constituents of the fine fraction.

5 - EXPERIMENTS ON AN INDUSTRIAL SCALE

The positive results of the trial experiments fully showed the rightness of continuing the investigations on a larger scale.

Hoeke Engineering BV declared their readiness to test the useful value of the fine fraction for the manufacturing of bricks on an industrial scale and to further develop the manufacturing technology of bricks on an industrial scale, in co-operation with TNO and other research partners.

Based on the results of the laboratory investigations preparations were made for a trial production. This was done in a Belgian brickworks in 1976. 50 tons of fine fraction was processed. The clay used dated back to the miocene age. The particle-size fraction <10 µm was 60%. The ratio of mixing clay and fine fraction was varied with a wide range. The process flowsheet is given in fig. 4.

In so far as this was necessary, the production equipment was made to suit the process specification that has meanwhile been developed. The body prepared was fed to a vacuum fusion machine in the form of 30 mm thick, sausage-like lumps, of a consistency corresponding to 1.35 Pfefferkorn coefficient, and processed to perforated bricks of various sizes. The green bricks were dried for 48 hours and subsequently fired for 72 hours. The experiments were successful. Fig. 5 shows a stack of bricks made in this way.

Table 2 gives some of the test results. They relate to a brick of 280 x 135 x 90 mm after firing, and to one composition of the body, i.e. 8 parts by volume of loose, moist fine fraction to 10 parts by volume of loose, moist clay. The values mentioned in brackets apply to the processing of clay without the addition of fine fraction. Striking is the large difference in bulk density and weight. The new product being light in weight, larger sizes can more easily be handled. The crushing strength of the bricks is amply sufficient for their application in fired inner walls under load. The heat resistance, measured under normal conditions, of test walls made from these bricks, comes up to expectation. An investigation into the mortar adherence to trial walls likewise had a positive result (Fig. 6).

From the bricks not used for testing purposes, a separating wall in a factory hall was constructed.

The physical and mechanical properties of the new, lightweight, heat insulating product show great resemblance for that matter to those of other clay-fired products. The properties that are much desired are:

- a relatively low equilibrium moisture content up to high air humidities;
- a relatively low linear expansion coefficient;
- no after-shrinkage of the finished product.

As regards its properties, the new product somewhat resembles other lightweight fired clay products in which combustible additives like polystyrene, sawdust, or waste from coal mining and paper manufacture are applied.

From the investigation carried out, the approximate relationship between the crushing strength of a brick and the mixing ratio of fine fraction and fat clay can be derived. This relationship is given in fig. 7. On the vertical axis, the average crushing strength is indicated of bricks fired at 1000°C, of 280 x 135 x 90 mm and 20% perforation (v/v). Horizontally the mixing ratio is plotted. The figures give parts by volume of loose, moist fine fraction fed per 10 parts by volume of loose, clay with a water content of some 28% (m/m₀).

Fig. 7 shows that with ratios of 5 to 15 parts by volume of fine fraction to 10 parts by volume of clay, widely diverging demands with respect to mechanical strength can be satisfied. In 1977, the experiments were repeated at a Dutch brick works, using 20 tons of fine fraction and a young marine clay, 56% (m/m₀) of the clay was of a particle size <10 µm. Also here the manufacture of lightweight, perforated bricks proved to be possible.

As regards any impact on the environment of the above application of the fine fraction from municipal refuse, the following can be remarked:

The odour that is perceived in processing the fine fraction is not considered unpleasant during the stages of manufacturing prior to drying. The air leaking from the drying facilities in the working space, however, has a less acceptable penetrating odour. Combustion of the fine fraction in the kiln can further result in a smoke plume on the chimney of the kiln. To fight these undesired effects on the environment proper, economically justified measures should be taken.

6 - SAVINGS ON CLAY- AND FUEL CONSUMPTION

In manufacturing clay products, the application of an additive obviously results in a saving on clay consumption.

An example of a calculation (Table 3) shows that a brick works taking 25,000 tons of fine fraction from a separating plant with a yearly capacity of 100,000 tons of municipal refuse, can turn this into 50,000 m³ of inner walls bricks with a bulk density of 1100 kg/m³. It has been assumed that 8 parts by volume of fine fraction are mixed with 10 parts by volume of clay and that the perforation of the brick is about 20%. The annual consumption of unmoved clay in this case will be approximately 32,000 m³.

Assuming these 50,000 m³ of inner wall

bricks to consist entirely of clay, about 53,000 m³ per year of unmoved clay would be required, and a product of circa 1470 kg/m³ bulk density would be obtained. The use of firing additive in this case therefore results in a 40% saving on clay and yields a brick of lighter weight that is easier to handle.

Also the consumption of current fossil fuel for drying and firing the mentioned product will decrease by adding fine fraction to the mixture. Expressed in thermal units, this consumption is estimated to be reduced from about 3 GJ to about 1.5 GJ per m³ perforated brick. The above figures strongly depend on, among other things, the mixing ratio of the body and the perforation of the bricks. In this connection it should be remarked that for inner wall bricks a higher perforation than the 20% assumed here, is often applied, which has a favourable influence on heat consumption.

7 - CONCLUSIONS

Trial experiments and research on an industrial scale have shown that a mixture of clay and the fine fraction from municipal refuse can be made into bricks that are suitable for the construction of loaded or unloaded inner walls.

When the process specifications developed are strictly adhered to, a construction material is obtained with favourable mechanical and physical properties.

Applying the new product instead of the current clays without additive for the manufacture of inner wall bricks leads to a saving on clay and fossil fuel consumption and contributes to the re-use of an omni-present waste material.

8 - LITERATURE

F.J. Colon and H.J.M. Kruidenberg, The mechanical separation of municipal refuse into useful components and their application as raw material in industry. Proc. First Recycling World Congress. Basle (March 6-9, 1978).