

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA MECCANICA – SETTORE MATERIALI

TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA DEI MATERIALI

**LATERIZI, PROCESSO PRODUTTIVO ED
ESSICCAZIONE**

Relatore: Prof. Massimo Guglielmi

Laureando: Nicola Trabacchin

Matricola: 575317

ANNO ACCADEMICO 2011-2012

SOMMARIO

I laterizi vengono utilizzati sin dall'epoca romana come materiale da costruzione per svariati motivi, innanzitutto per la reperibilità delle materie prime, l'argilla e l'acqua, e per la facilità di produzione. Per la formatura degli elementi si è passati dagli stampi di legno riempiti a mano, alle presse meccaniche e poi alle filiere, con estrusione della pasta. Sono presenti tuttavia ancora aziende che utilizzano la produzione con stampi, sia a mano sia automatizzati, come l'azienda dove ho svolto il tirocinio. In questo elaborato si vuole presentare una panoramica sul processo produttivo dei mattoni ad impasto molle e sulle analisi di laboratorio effettuate per il controllo dello stesso. Si tratterà poi in particolare la fase di essiccazione del laterizio presentandone le caratteristiche più importanti e le problematiche che si possono riscontrare in questa fase. Verranno poi presentate delle prove di laboratorio svolte sull'essiccazione di argille da estrusione e da impasto molle e sull'essiccazione di argille con temperature stabili diverse.

È necessario sottolineare che le considerazioni esposte in questo lavoro riguardano l'esperienza condotta nell'azienda dello stage con i suoi impianti e le sue materie prime.

INDICE

SOMMARIO	ii
1. PRESENTAZIONE DELL'AZIENDA	1
2. CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI	3
2.1. Le argille e i minerali argillosi	4
3. IMPASTO MOLLE ED ESTRUSIONE.....	6
3.1. Argille da estrusione e da impasto molle	7
4. PROCESSO PRODUTTIVO	11
4.1. Prelavorazione e stampaggio.....	11
4.2. Essiccatoio.....	12
4.3. Cottura	13
4.4. Confezionamento.....	14
5. PROVE DI LABORATORIO	15
5.1. Argille e sabbie.....	15
5.2. Secco.....	17
5.3. Cotto	17
6. ESSICCAZIONE	20
6.1. Il calore e la temperatura	20
6.2. Processo di essiccazione.....	20
6.3. Impianto SML	23
6.4. Metodo di essiccazione.....	23
6.5. Curve dell'essiccatoio SML	27
6.6. Problemi legati all'essiccazione	30
6.7. Fattori che influenzano l'essiccazione.....	31
7. Gli strumenti per il controllo di essiccazione e cottura	33

7.1. Il Retrattometro	33
7.2. Il DataPaq	36
8. COMPARAZIONE ARGILLE	38
8.1. Realizzazione prove.....	40
8.2. Risultati delle prove.....	42
9. Influenza della sabbia in essiccazione.....	46
10. Conclusioni.....	48
11. Riferimenti Bibliografici	49

1. PRESENTAZIONE DELL'AZIENDA

La SML (San Marco Laterizi) è un'azienda che fa parte del gruppo Terreal Italia e opera nel settore dei laterizi, più precisamente si occupa della produzione di elementi per muratura, per pavimentazione e per copertura in laterizio. Essa si compone di tre stabilimenti produttivi, uno a Valenza (AL), sede legale della società, uno a Castiglion Fiorentino (AR) e quello di Noale (VE).

Negli stabilimenti di Noale e di Castiglion Fiorentino si producono elementi per muratura e per pavimentazione utilizzando la tecnologia produttiva così detta impasto molle, in quello di Valenza invece si producono solo elementi per coperture attraverso l'estrusione e pressatura degli stessi. Il sito di Noale presenta due linee produttive, quella industriale dove si producono solo elementi per muratura in faccia a vista, quella manuale e semiautomatica degli elementi d'architettura che permette di stampare mattoni e pezzi speciali in base alle richieste specifiche del cliente.

Il laterizio è stato utilizzato fin dall'antichità per la produzione di elementi costruttivi essendo di facile applicazione e le materie prime facilmente reperibili. Consiste infatti in un impasto di argilla, sabbia e acqua che poi viene essiccato e infine cotto. Per quanto riguarda la descrizione del processo produttivo si rimanda alle pagine successive. Una volta completato il processo produttivo è un materiale che presenta buone proprietà meccaniche (resistenza a compressione e a flessione) e buona resistenza agli agenti atmosferici, è inoltre un buon fonoassorbente e termoisolante, ponendosi quindi in rilievo tra i materiali da costruzione. Gli elementi che vengono prodotti nello stabilimento di Noale sono:

- **MATTONI FACCIA A VISTA:** sono parallelepipedi pieni prodotti in due diverse misure (250x120x55 mm e 250x120x65 mm) che vengono utilizzati per la realizzazione di murature faccia a vista, quindi senza l'utilizzo di intonaco esterno, e per pavimentazione. La finitura (superficie esterna del mattone) può essere "classico", qualora il mattone sia rivestito di sabbia o "vivo", qualora il mattone non presenti sabbia sulla superficie esterna. Un altro tipo di finitura superficiale, detta Handformatic, è caratterizzata dalla presenza di rughe sulle superfici laterali, conferendogli un aspetto anticato. I mattoni

possono essere di color rosso, rosato o giallo paglierino a seconda delle miscele di argille utilizzate.

- PEZZI SPECIALI: prodotti sia manualmente sia nell'impianto semiautomatico sono soprattutto forme piane da pavimentazione o elementi decorativi, possono anche essere quindi elementi da costruzione realizzati in misure particolari. Vengono utilizzati stampi in legno fatti a mano o, nel caso di forme particolarmente ricercate, stampi nei quali viene posto un calco della decorazione creato a mano da un artigiano. Gli elementi maggiormente prodotti sono le Tavelle: parallelepipedi pieni caratterizzati da un'altezza molto più piccola (20-50 mm) rispetto alle altre due dimensioni. Vengono utilizzati come elementi da rivestimento per muratura, per pavimentazione sia interna sia esterna e per l'applicazione nei sottotetti. Anche in questo caso tutti i prodotti possono essere di color rosso, rosato o giallo paglierino.



Figura 1 Esempio di mattoni faccia a vista

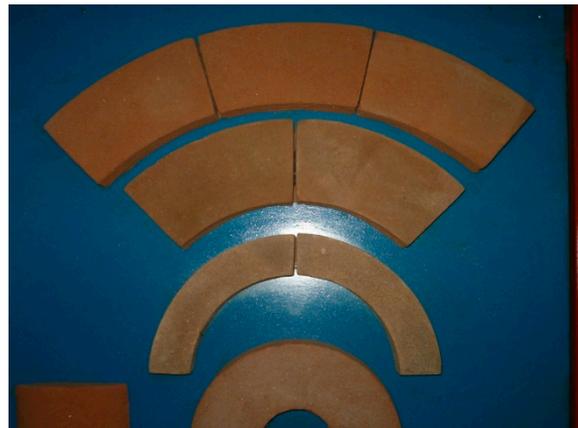


Figura 2 Esempio di pezzi speciali

2. CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

Le argille che vengono utilizzate per la produzione degli elementi in laterizio provengono sia da cave di proprietà della Terreal Italia S.R.L. site a Marcon (VE) sia da siti di escavazione controllati. In base alla zona geografica di provenienza, presentano caratteristiche chimico-fisiche diverse di volta in volta. Il terreno in generale può essere suddiviso in sottoclassi più specifiche, ad esempio analizzando la granulometria delle particelle di cui è composto. Una classificazione efficace in quest'analisi è la seguente:

- **SABBIA:** è composta da elementi di roccia lapidea massiva e resistente , può essere a grani arrotondati o a spigoli vivi e ha un diametro che può variare da 4 mm a 75 micron. Essa presenta interessanti proprietà meccaniche, ad esempio può essere compattata in modo piuttosto semplice ed è scarsamente influenzata dal contenuto d'acqua. Non è sensibile all'azione del gelo, inoltre se è ben assortita, cioè se ha una granulometria eterogenea, è meno permeabile e più stabile rispetto ad una sabbia scarsamente assortita, ovvero con una granulometria omogenea.
- **LIMO:** è composto da particelle che tendono a diventare mobili se saturi d'acqua, sostanzialmente è la frazione più fine di terreno che, a differenza dell'argilla, non possiede coesione e quindi non ha un comportamento plastico. Ha un diametro che può variare da 75 micron a 2 micron. È relativamente poco permeabile ed è sensibile al rigonfiamento a seguito del congelamento. È facilmente erodibile e la presenza di grani massivi riduce la compressibilità mentre quella delle particelle lamelliformi la aumenta dando luogo ad un limo elastico.
- **ARGILLA:** è identificabile in base al comportamento che può rendersi plastico in un intervallo di contenuto d'acqua e, una volta essiccata presenta una notevole resistenza. È la frazione di terreno più fine poiché le sue particelle hanno un diametro inferiore ai 2 micron. Una delle caratteristiche principali dell'argilla è la coesione che aumenta al diminuire del contenuto d'acqua. Presenta una permeabilità molto bassa ed è difficile da compattare quando è "umida". Se è ben compattata è resistente all'erosione e non è sensibile al

rigonfiamento per congelamento, è tuttavia soggetta al rigonfiamento o espansione al ritiro a seguito di una variazione del contenuto d'acqua.

2.1. Le argille e i minerali argillosi

Le argille sono costituite da un ristretto gruppo di minerali tipici, detti minerali argillosi che chimicamente possono essere definiti come silicati idrati di alluminio e che fanno parte della classe dei fillosilicati, ossia silicati formati a strati o a fogli.

Essi sono formati da un'alternanza di due tipologie di fogli, un foglio tetraedrico (Si^{4+} , Al^{3+} al centro) e un foglio ottaedrico (Al^{3+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} al centro).

I principali minerali argillosi sono:

Caolinite	TO	d= 7 A
Illite	TOT	d= 10 A
Smectiti	TOT	d= 12-15 A
Strati misti		d= 10-15 A

- **CAOLINITE:** La caolinite è un idrosilicato di alluminio e la struttura del reticolo cristallino è costituita da due strati, uno costituito da tetraedri con atomi di ossigeno ai vertici e atomi di silicio al centro e l'altro formato da ottaedri con ossigeno ai vertici e alluminio al centro. Esso quindi non contiene cationi metallici scambiabili né acqua e i fogli sono fortemente legati fra loro, conferendo alla caolinite una saldabilità piuttosto bassa rispetto agli altri minerali argillosi.

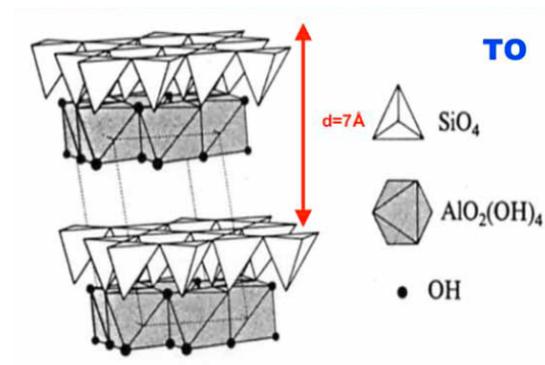


Figura 3 Struttura della Caolinite

3. *IMPASTO MOLLE ED ESTRUSIONE*

Negli stabilimenti dell'azienda si usano due metodi di formatura, quello a impasto molle (Soft mud) e quello a estrusione. Per gli elementi di muratura, prodotti a Noale e a Castiglion Fiorentino, si utilizza il metodo a impasto molle, mentre per gli elementi da copertura prodotti a Valenza e a Castiglion Fiorentino si utilizza l'estrusione. I due procedimenti sono profondamente differenti e danno risultati diversi. Come vedremo meglio in seguito, nel caso dell'impasto molle, l'argilla, miscelata con la sabbia e l'acqua, viene deposta all'interno di stampi rivestiti di sabbia e blandamente pressata. La fluidità della miscela argillosa aiuta la distribuzione omogenea della stessa nello stampo e fa sì che le lamelle della miscela non si orientino e non si vengano quindi a creare delle tensioni interne che potrebbero poi determinare dei difetti nel pezzo. In questo modo si crea un pezzo caratterizzato da un comportamento isotropo. Lo svantaggio dell'impasto molle è che esso richiede un tempo maggiore di essiccazione contenendo molta più acqua (circa 25%) dell'impasto da estrusione (attorno al 16%), e inoltre l'impossibilità nella realizzazione di forme particolari (si pensi ad esempio ai mattoni forati). Nell'estrusione invece l'argilla, sempre miscelata con sabbia e acqua in percentuali diverse, viene pressata all'interno della camera dell'estrusore grazie a delle viti elicoidali contro una filiera che le dà la forma finale. L'estruso poi viene tagliato in pezzi della lunghezza desiderata ed è pronto per la fase di essiccazione. In questo caso si ha una direzione preferenziale lungo la quale si dispongono le lamelle di argilla e anche lungo la quale si hanno le tensioni massime, cosa che può creare dei problemi (quali cricche o direzioni principali di sforzo) al pezzo una volta essiccato. Inoltre se la velocità di estrusione non è ben calibrata si riscontrano dei difetti notevoli, ad esempio nel caso di una velocità troppo elevata si denota immediatamente una corrugazione della superficie del pezzo che lo rende inutilizzabile. In questo caso il pezzo prodotto può presentare dei gradi di anisotropia. È necessario inoltre sottolineare che la scelta del tipo di processo produttivo dipende sostanzialmente dalle argille che sono presenti nel territorio nel quale si trova l'azienda.

3.1. Argille da estrusione e da impasto molle

Queste modalità di produzione comportano l'impiego di diverse tipologie di argille. Le argille utilizzate per l'estrusione non è detto vadano bene per l'impasto molle e viceversa. Per cercare di interpretare le caratteristiche che devono avere le miscele in base alla tipologia di formatura riporto le analisi mineralogiche e chimiche svolte in laboratori esterni di un'argilla da estrusione (quella utilizzata a Valenza) e per confronto le analisi di tre miscele argillose per il processo d'impasto molle (argille di colore rosso, rosato e giallo paglierino utilizzate a Noale):

Tabella 1 Analisi delle fasi mineralogiche delle argille. Legenda: Q = Quarzo, C = Calcite, D = Dolomite, P = Feldspato Sodico, F = Feldspato Potassico, I = Illite, H = Clorite, S = Smectite ed interlaminati smectitici, K = Caolinite

% in peso	Q	C	D	P	F	I	H	S	K	Ossidi di ferro	Minerali accessori
Argilla Valenza	31	0	0	12	Tracce	26	3	21	0	5	2
Miscela Rossa Noale	35	7	5	11	1	25	5	6	Tracce	4	1
Miscela Rosata Noale	30	12	8	10	1	23	5	6	Tracce	3	2
Miscela Gialla Noale	23	22	11	7	1	21	6	5	Tracce	3	1

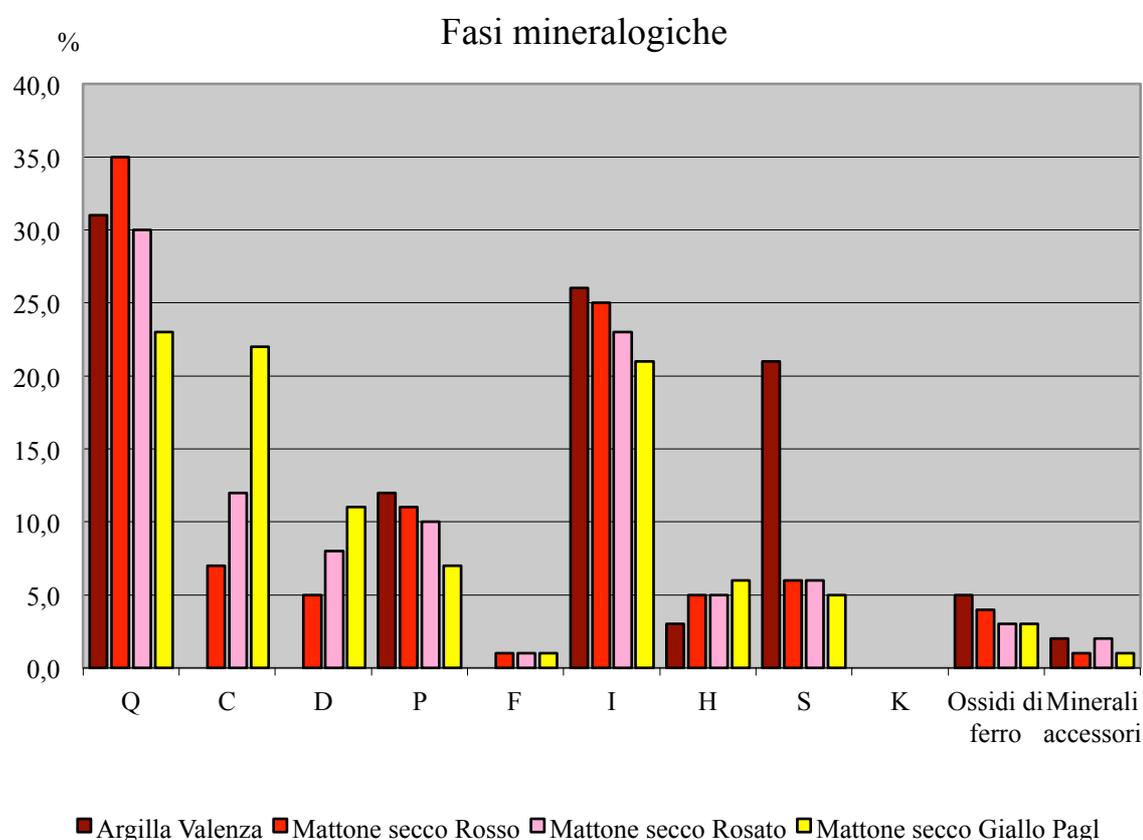


Grafico 1 Analisi chimica quantitativa delle argille

Si nota subito un enorme divario nella presenza della fase smectitica nelle quattro argille, in particolare si ha una presenza del 21 % nell'argilla da estrusione mentre le altre tre argille si attestano su un valore piuttosto simile tra di loro pari a 5-6%. Altro divario notevole si ha nella presenza della calcite che passa da un 22 % nell'argilla gialla ad un 12 % e 7 % rispettivamente nell'argilla rosata e in quella rossa. La calcite è responsabile della colorazione del prodotto finale, infatti una sua presenza rilevante va a dare, in fase di cottura, una tipica colorazione biancastra-giallastra al prodotto, cosa che accade nel giallo paglierino. La presenza d'illite rimane invece sostanzialmente uguale nelle quattro argille.

La presenza di smectite e interlaminati smectitici è responsabile del diverso comportamento delle due argille in fase di formatura. Queste due fasi mineralogiche infatti sono portatrici di un'elevata plasticità, necessaria alla formatura per estrusione.

Tabella 2 Analisi chimica quantitativa delle argille

% in peso	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	P.F.
Argilla Valenza	62,2	18,4	0,9	6,4	0,1	1,6	1,5	1,2	1,7	0,1	5,9
Miscela Rossa Noale	60,0	13,8	0,6	4,6	0,1	2,4	5,7	1,4	2,7	0,1	8,6
Miscela Rosata Noale	53,4	12,9	0,5	4,1	0,0	3,2	9,6	1,3	2,5	0,0	12,5
Miscela Gialla Noale	43,3	11,3	0,4	3,9	0,0	4,2	15,7	1,0	2,2	0,1	17,9

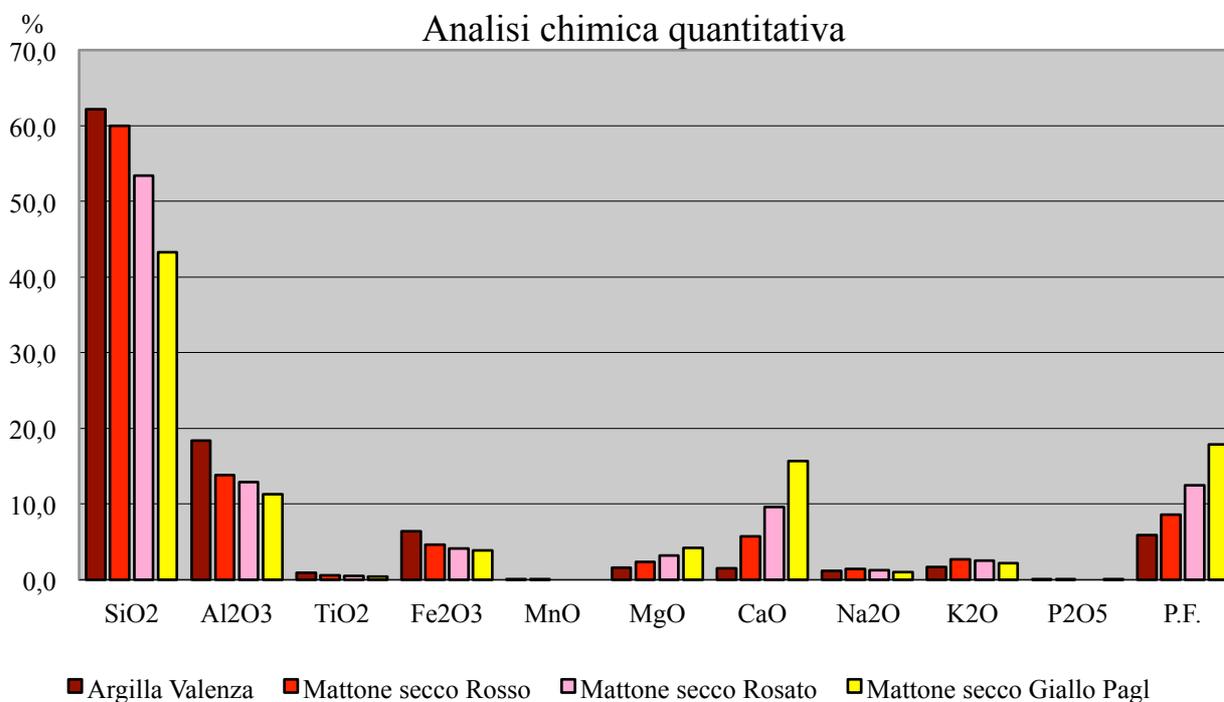


Grafico 2 Analisi delle fasi mineralogiche delle argille

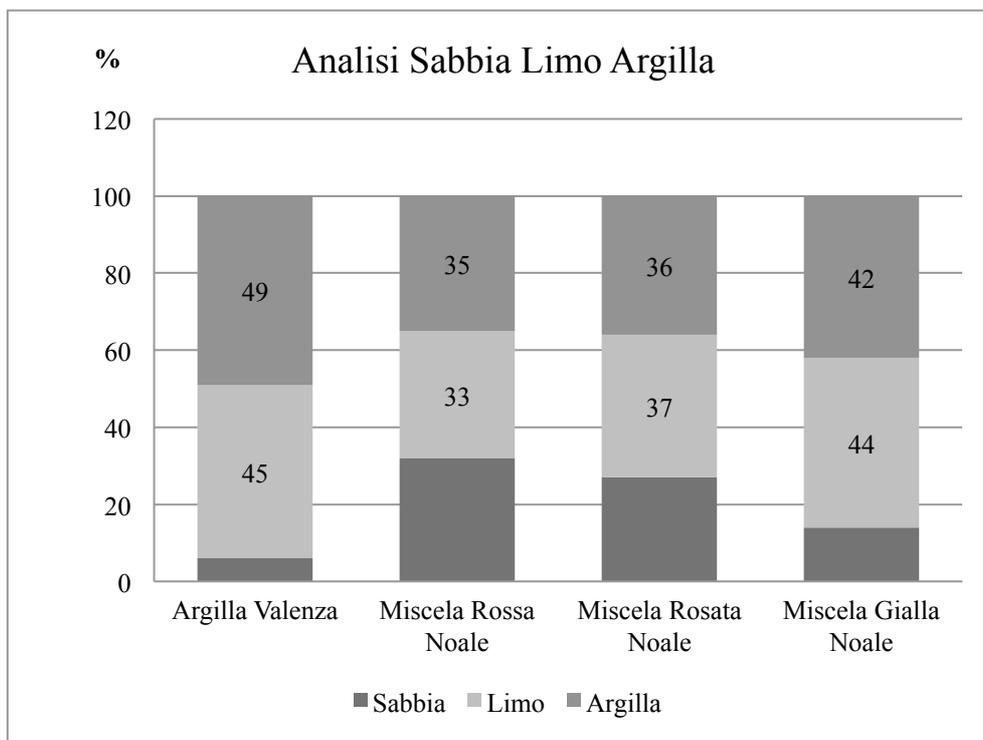
Come si può notare in tutte e tre le argille vi è una presenza relativamente elevata di silicio, il massimo si ha nell'argilla di Valenza (62.2 %) e va diminuendo nel rosso e nel rosato fino ad arrivare al minimo nel giallo (43.3 %). Stesso andamento si ha per l'alluminio che varia dal 18.4 % nell'argilla da estrusione all'11.3 % nell'argilla gialla. Un andamento opposto invece si ha per il calcio che ha un massimo nell'argilla gialla (15.7 %) e va calando fino ad un minimo di 1,5 % nell'argilla di Valenza.

Un altro fattore che influenza le proprietà dell'argilla è dato dalla granulometria della stessa. Argille con una granulometria fine, infatti, sono più facilmente modellabili, adatte quindi ad un processo di estrusione.

In seguito la tabella e i risultati delle analisi granulometriche svolte sulle quattro argille:

Tabella 3 Analisi granulometrica delle argille

	Diametro medio (μm)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	> 20 μm	2-20 μm	< 2 μm
Argilla Valenza	4,4	6	45	49	28	28	44
Miscela Rossa Noale	13,2	32	33	35	44	28	28
Miscela Rosata Noale	10,5	27	37	36	40	34	26
Miscela Gialla Noale	6,2	14	44	42	29	41	30



Come si può osservare dalle analisi granulometriche nell'argilla di Valenza si ha una parte molto esigua di sabbia (6 %) mentre è rilevante la parte di argilla (49 %), nel mattone rosso invece si ha quasi la stessa concentrazione di sabbia, limo e argilla. Questa differenza andrà a variare il ritiro delle argille in fase di essiccazione, infatti una granulometria più fine comporta un ritiro maggiore.

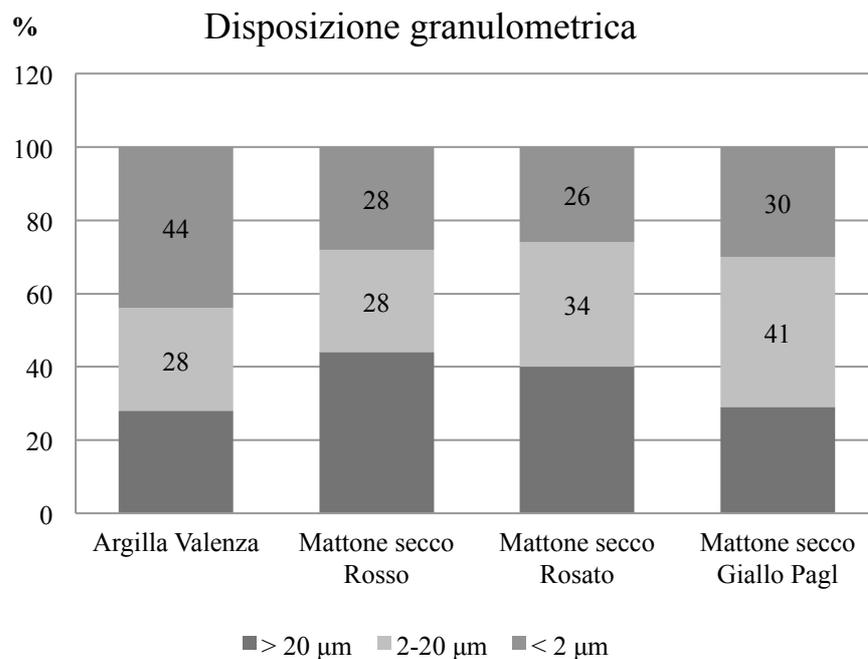


Grafico 3 Disposizioni granulometriche delle argille

Da quest'altro grafico sulla granulometria delle tre argille si vede come la percentuale di particelle dal diametro minore di 2 micron sia decisamente superiore nell'argilla da estrusione rispetto le altre due argille. Si ha quindi un diametro medio delle particelle molto più piccolo nel caso dell'argilla da estrusione.

4. *PROCESSO PRODUTTIVO*

Si riporta in seguito una descrizione sintetica del processo produttivo così come viene svolto nello stabilimento di Noale della Terreal Italia.

4.1. *Prelavorazione e stampaggio*

Le argille, provenienti dalla cava di proprietà o acquistate dai fornitori, dopo aver superato le prove previste dai piani di controllo aziendali, vengono depositate nella zona di stoccaggio dello stabilimento, detta “zona dei monti”. Sostanzialmente si creano delle collinette di terra, divise in base alle caratteristiche della stessa, sovrapponendo strati sottili successivi di terra provenienti dai diversi siti di escavazione. Questa disposizione permette di ottenere una buona omogeneità in fase di prelievo, effettuando con la pala dei tagli verticali del cumulo. Le sabbie invece vengono stoccate in silos. L’argilla viene lasciata riposare nei monti per circa 1 anno al fine di consentire una completa miscelazione dei vari strati. L’argilla prelevata dai monti viene miscelata con la pala secondo le miscele di produzione e stoccata in un magazzino coperto. Le miscele sono formate da due o più tipi di argilla mescolati tra di loro per ottenere il colore desiderato. Successivamente la miscela argillosa e la sabbia da impasto vengono poste in cassoni e attraverso delle tramogge vengono dosate nel giusto rapporto ed entrano, tramite dei nastri trasportatori, nel processo produttivo. Le successive fasi di prelavorazione sono: vagliatura della miscela argillosa, miscelazione della sabbia, laminazione, setacciatura e impasto.

La fase di vagliatura, consiste nel passaggio della miscela argillosa attraverso il rotofiltro. Esso è costituito da due cilindri cavi forati controrotanti che hanno lo scopo di purificare la terra dalle impurità più grossolane che può contenere, quali sassi e altri corpi estranei. Dopo la vagliatura viene aggiunta la sabbia da impasto che viene mescolata con l’argilla vagliata grazie a delle eliche rotanti. Segue la fase di laminazione costituita da due laminatoi, ciascuno costituito da due cilindri pieni controrotanti posti ad una distanza prefissata. La miscela passa attraverso il primo laminatoio denominato sgrossatore, caratterizzato da una luce di laminazione di circa 1 mm, che effettua una prima riduzione dello spessore delle particelle costituenti la miscela. Successivamente avviene il passaggio attraverso il secondo laminatoio, detto finitore, che effettua una laminazione più fine a circa 0.5 mm. L’obiettivo principale del processo di laminazione è quello di sminuzzare gli eventuali agglomerati di carbonati che

andrebbero altrimenti a creare difetti al prodotto finito, quali crateri e rotture del materiale. La miscela laminata, passa poi nel setaccio dove viene depurata dalle impurità più fini e alla quale vengono aggiunti acqua e vapor acqueo. La miscela passa infine nell'impastatore formato da un'elica rotante a pale che, grazie anche all'aggiunta di ulteriore vapore e acqua, impasta in modo ottimale la miscela e la porta alla giusta umidità necessaria alla successiva fase di stampaggio.

L'impasto viene trasportato alla mattoniera, dove avviene lo stampaggio vero e proprio. Essa è composta da una catenaria formata da 48 file, ognuna contenente 13 stampi. Essa permette una velocità di formatura di 24 stampate al minuto. Gli stampi, una volta disarmati, vengono lavati grazie ad uno spruzzo d'acqua ad alta pressione per rimuovere eventuali tracce di argilla residue e, a seconda del tipo di finitura superficiale, vengono cosparsi di sabbia (mattoncino classico) o di segatura (mattoncino vivo). La sabbia e la segatura oltre ad un'importante funzione estetica nel prodotto finito, svolgono la necessaria funzione di disarmando, consentendo un corretto distacco del mattone dallo stampo. Dopo la sabbiatura degli stampi, l'impasto viene versato all'interno di essi, leggermente pressato ed infine disarmato su tavolette metalliche che vengono a loro volta impilate in carrelli. Ogni carrello viene riempito con 75 tavolette suddivise in 15 piani per un totale di 975 mattoni verdi. Questi carrelli vengono quindi inviati verso l'essiccatoio per la fase di essiccazione.

4.2. Essiccatoio

La fase di essiccazione è una fase delicata del processo produttivo e sarà trattata ampiamente nei capitoli successivi, tuttavia essa consiste nel rimuovere la maggior parte d'acqua presente all'interno del mattone (umidità residua circa 3 %) grazie al controllo della temperatura e dell'umidità dell'ambiente di essiccazione. Questa fase ha una durata variabile (26-60 ore) che dipende principalmente dalla percentuale di acqua presente nell'impasto. Nei secoli passati essa avveniva perlopiù nell'ambiente di formatura, aveva quindi una durata di parecchi giorni ed era fortemente influenzata da eventuali variazioni dell'ambiente (correnti d'aria, aumento o diminuzione dell'umidità) che non erano facilmente controllabili dagli artigiani e che potevano comportare rotture dei pezzi. Oggigiorno si usano invece generalmente due tipi di essiccatoi, quello a camere statiche (come quello utilizzato a Noale) o quello a tunnel (utilizzato a Valenza), che consentono, grazie alle nuove tecnologie, un controllo molto più rigido delle temperature e dell'umidità in gioco riducendo il rischio di rotture.

4.3. Cottura

Una volta che il processo di essiccazione è stato completato i carrelli vengono trasportati all'impilatrice dove vengono creati i pacchi che andranno nel forno. In questa fase i mattoni vengono scaricati dal carrello dell'essiccatoio che ritorna alla mattoniera, e caricati sui carri che procedono verso il forno. In ognuno di questi carri vengono impilati 12 pacchi di mattoni formati da 357 mattoni cadauno. Questi pacchi sono costruiti in modo da consentire una corretta cottura di tutti i pezzi e prevedono quindi degli spazi vuoti tra i mattoni in modo da permettere un passaggio di calore fino all'interno del pacco. I carri che portano i mattoni al forno sono carri particolari, costituiti da una struttura in metallo ma ricoperti, sul pianale di carico, da uno strato di materiale refrattario, necessario per far resistere il carro alle elevate temperature cui è sottoposto durante la fase di cottura. Questi carri scorrono all'interno del forno su delle rotaie poste sul pavimento e ai lati strisciano su delle guide, chiamate guardasabbia; esse sono colme di sabbia e hanno il compito di evitare un passaggio di calore dalla zona di cottura verso la base del carro che, non essendo rivestita di materiale refrattario, potrebbe avere dei problemi e inoltre costituirebbe un notevole spreco energetico. Il forno presente nell'impianto di Noale è un forno a tunnel, lungo 120 m, di tipo continuo, cioè caratterizzato da un continuo flusso dei carri al suo interno. Questo tipo di forno si differenzia dal vecchio forno di tipo Hoffmann, nel quale i mattoni rimanevano fermi e quello che si muoveva era il fuoco. Nel nuovo forno invece è il materiale che lo attraversa raggiungendo le varie zone a temperatura differente. Il forno funziona secondo il principio del riscaldamento in contro corrente, cioè grazie a 4 grandi ventole poste sulla porta d'uscita del forno si spinge aria fredda all'interno. Quest'aria percorre quindi tutto il forno fino ad uscire, ovviamente molto più calda, dal camino situato subito dopo l'ingresso del forno.

Sostanzialmente si può suddividere il forno in tre zone:

- Zona di preriscaldamento
- Zona di cottura
- Zona di raffreddamento

La prima zona ha una duplice funzione, cioè quella di portare gradualmente i mattoni ad una temperatura più alta (circa 300°C), senza quindi sottoporli ad uno sbalzo termico troppo elevato, e quella di eliminare un eventuale umidità residua presente. Nella fase di cottura infatti i pezzi devono essere completamente essiccati per evitare la formazione di

fratture. In questa zona quindi, grazie a delle correnti d'aria dal basso verso l'alto si ha una seconda fase di essiccazione che è in grado di rimuovere l'umidità residua.

Si passa poi alla fase di cottura dove sono presenti inizialmente dei bruciatori laterali e successivamente delle lance poste sulla volta (chiamate macchinette) alimentate a metano, il quale si incendia per autocombustione. In questa zona si ha la vera e propria fase di cottura che avviene a temperature differenti secondo il tipo di argilla impiegata. L'argilla rossa infatti cuoce a 950 °C, quella rosata a 980 °C e quella gialla a 1050 °C. Nell'ultima zona, quella dei raffreddamenti rapidi, sono presenti due zone nelle quali i mattoni vengono raffreddati grazie ad un flusso d'aria prelevata dall'esterno, che dopo aver asportato calore viene riciclata per alimentare l'essiccatoio. Questi costituiscono i cosiddetti ricicli ad alta e a bassa temperatura, rispettivamente posti vicino alla zona di cottura e vicino all'uscita del forno, fondamentali per l'abbattimento dei consumi nella fase di essiccazione. Una volta terminata la fase di cottura i carri escono dal forno e a campione vengono controllati manualmente dei pacchi per verificare la conformità dei pezzi. Questi controlli vengono effettuati sia dall'operatore addetto al forno che controlla l'eventuale presenza di difetti sia presso il laboratorio interno dello stabilimento dove vengono invece effettuate prove atte a verificare la rispondenza ai requisiti aziendali e alle norme di riferimento per il settore degli elementi in laterizio (norma UNI EN 771 per la muratura e UNI EN 1334 per la pavimentazione).

4.4. Confezionamento

Una volta cotti, i pacchi di mattoni procedono verso la zona d'imballaggio dove vengono rivestiti con un film plastico termoretraibile e sui quali viene applicata l'etichetta riportante i valori dichiarati in conformità alle norme di riferimento. Solo nel caso di particolari richieste il pacco di mattoni viene invece smontato e ricostituito in modo più compatto, senza cioè avere spazi vuoti all'interno. Una volta confezionati, i pacchi di mattoni vengono disposti nel piazzale di stoccaggio e sono pronti per il carico e la spedizione.

5. PROVE DI LABORATORIO

Le prove effettuate nel laboratorio dell'azienda vengono effettuate per controllare:

- Le materie prime in ingresso, quali argilla e sabbia. Esse infatti devono superare requisiti ben determinati per poter essere utilizzate.
- I parametri di processo
- Le proprietà e le prestazioni del prodotto finito.

Tutte le prove vengono effettuate per controllare il corretto avanzamento del processo produttivo.

È necessario precisare che l'azienda Terreal Italia ha implementato nella sua organizzazione il sistema di certificazione secondo la norma ISO 9001:2000 (ICMQ certificato 97145). È inoltre certificato il controllo di produzione in fabbrica - FPC (certificato ICMQ 1305-CPD-0243) secondo la norma EN 771-1:2003/A1:2005.

Per quanto sopra detto il laboratorio e le prove in esso effettuate seguono i piani di controllo e le procedure aziendali.

5.1. Argille e sabbie

Tutte le argille, prima di essere introdotte nel ciclo produttivo, vengono sottoposte a specifiche prove per valutarne la compatibilità con la linea di produzione. Esse sono volte a determinare:

- La granulometria
- La calcimetria
- Il ritiro e la perdita di peso in essiccazione e in cottura
- La valutazione del colore dopo cottura

La granulometria viene determinata tramite una serie di setacci vibranti e irrorati d'acqua. La luce di maglia dei setacci varia da 300 micron a 45 micron, tutte le particelle che hanno un diametro minore di 45 micron quindi vengono perse. Bisogna inoltre ricordare che si considerano sabbia le particelle con un diametro maggiore di 75 micron, limo quelle con un diametro compreso tra 2 e 75 micron ed infine argilla quelle con un diametro minore di 2 micron. Con questa prova non si va ad analizzare la parte di argilla vera e propria ma solamente la parte delle sabbie e quella più grossolana del limo. Analisi delle frazioni più fini vengono effettuate periodicamente presso laboratori di analisi esterni, tuttavia per il ciclo di

produzione industriale giornaliero la prova granulometrica effettuata in laboratorio è sufficiente a fornire le informazioni necessarie.

La calcimetria (calcimetro DIETRICH-FRUHLING) serve a valutare il tenore di carbonati dell'argilla. Una quantità nota di argilla macinata viene posta in un contenitore sigillato a contatto con dell'acido cloridrico. L'acido reagisce con gli eventuali carbonati presenti nell'argilla liberando anidride carbonica, il cui volume viene determinato dal calcimetro. Da questo valore, tenuto conto anche della quantità di anidride carbonica che resta trattenuta dalla soluzione cloridrica, si ricava quindi la quantità totale di carbonati presenti nell'argilla. Questa misura è molto importante per la caratterizzazione dell'argilla poiché la quantità di carbonati va a influenzare il colore finale dell'argilla. Infatti argille con un contenuto basso di carbonati una volta cotte presentano un colore tendente al rosso, mentre quelle con un contenuto più elevato tendono ad una colorazione più chiara, tendente al giallo.

Oltre a queste due prove l'argilla viene anche controllata sia per quanto riguarda il suo ritiro in fase di essiccazione e cottura, sia per la perdita di peso in cottura. Per valutarne il ritiro si eseguono manualmente dei campioncini di forma rettangolare sopra ai quali viene incisa una linea lunga 100 mm. Una volta essiccati si rimisurano e si determina in tale modo il ritiro dell'argilla in fase di essiccazione. La stessa procedura viene effettuata dopo aver cotto i campioncini. Per la perdita di peso invece si realizza un campioncino che viene pesato prima dell'essiccazione, dopo essa e dopo la cottura.

La determinazione granulometrica e calcimetrica vengono effettuate quotidianamente sull'impasto di produzione per valutarne la corretta composizione. Oltre a queste due prove viene effettuato anche un controllo sull'umidità dell'impasto. Essa viene valutata inizialmente in fase di produzione attraverso l'apparecchio di Pfefferkorn e successivamente in laboratorio in modo più preciso. La prova di Pfefferkorn, che permette di eseguire una valutazione rapida e indicativa, consiste nel ricavare un cilindretto di argilla di diametro 33 mm e altezza 40 mm. Questo campioncino viene compresso tramite un disco del peso di 437 g (± 1 g) che cade da un'altezza di 85 mm (± 1 mm). Grazie alla misura dell'altezza del provino compresso si riesce a individuare un intervallo di umidità dell'impasto grazie a delle tabelle in precedenza costruite. Una volta effettuato questo controllo il campioncino stesso viene portato in laboratorio, pesato e posto in stufa. Dopo essere stato essiccato completamente viene ripesato, potendo così calcolare l'umidità precisa dell'impasto.

Sulle sabbie, sia quelle da rivestimento sia quelle da impasto, vengono effettuate la calcimetria e la granulometria nella stessa modalità delle argille.

5.2. Secco

Il mattone secco viene prelevato dagli essiccatoi nelle posizioni più critiche e portato in laboratorio. Viene quindi misurato per valutarne il ritiro, pesato e messo in stufa. Dopo un giorno si rivaluta il peso per calcolarne l'umidità residua presente dopo la fase di essiccazione. Un'umidità residua troppo elevata potrebbe andare a creare difetti o rotture in fase di cottura.

5.3. Cotto

Il mattone cotto, ovviamente, è quello su cui si concentra la maggior parte delle prove eseguite in laboratorio essendo il prodotto finale. Queste vengono utilizzate per la verifica di tutto il processo produttivo e per la marcatura CE. La marcatura è essenziale per la commercializzazione dei prodotti ed è la stessa azienda che stabilisce dei valori di riferimento minimi che il prodotto deve superare. Ogni tipologia di prodotto è caratterizzata da dei parametri prestabiliti che devono essere dichiarati. Le due norme che interessano i prodotti dell'azienda sono la norma UNI EN 771 per la muratura e UNI EN 1334 per la pavimentazione.

Le prove realizzate sul cotto sono:

- L'imbibizione (su 10 mattoni) è la prova che misura la velocità iniziale di assorbimento d'acqua. I mattoni infatti vengono pesati e immersi in orizzontale per un'altezza di 10 mm. Il mattone viene lasciato in immersione per 60 secondi e poi ripesato.
- L'assorbimento d'acqua (su 10 mattoni) misura la quantità massima di acqua che il mattone può assorbire. Essa viene determinata confrontando il peso del mattone cotto con il peso del mattone dopo aver trascorso 24 ore circa completamente immerso in acqua.
- Il carico di rottura trasversale (su 10 mattoni) viene determinato grazie ad uno strumento costituito da due cilindri sul quale poggia il mattone perpendicolarmente al suo asse maggiore di simmetria e da un terzo cilindro centrale che, azionato da un motore elettrico, scende verso il basso esercitando una forza in direzione perpendicolare sul lato del campione fino alla sua rottura.

I mattoni per questa prova devono essere stati immersi in acqua per un tempo compreso tra 16 e 72 ore.

- La prova di abrasione (su 10 mattoni) viene effettuata grazie ad un abrasimetro, uno strumento composto da una ruota abrasiva e da un carrello reggi-mattone. Il carrello è trainato tramite un sistema di carrucole verso la ruota abrasiva con una forza costante. Tra la ruota e il mattone viene lasciata cadere una quantità precisa di corindone (polvere di ossido di alluminio bianco fuso). La rotazione della ruota porta alla creazione di un solco sul mattone. Dopo 150 rotazioni si effettua la misura della lunghezza della briglia presente sul mattone dalla quale ci si ricava poi il volume di materiale asportato.
- La resistenza a compressione (su 15 mattoni) viene effettuata tramite una pressa. I mattoni prima di essere sottoposti a tale prova devono essere rettificati sulle due facce maggiori in modo da essere perfettamente piani e presentare le due facce parallele tra di loro. Una volta posto il campione nella pressa si avvia la prova. Il carico viene applicato perpendicolarmente al mattone che è sottoposto a compressione fino a rottura con una velocità di incremento del carico paria a $5,1 \text{ kg/cm}^2\text{s}$.
- L'attitudine all'efflorescenza (su 3 mattoni) è una prova che va a caratterizzare il mattone dal punto di vista estetico. I tre campioni vengono immersi in verticale in acqua distillata per un'altezza di circa 62,5 mm (un quarto dell'altezza del mattone) e lasciato a riposo in queste condizioni per 4 giorni. Facendo ciò l'acqua sale per capillarità in tutto il mattone e, qualora incontri sali solubili, li scioglie e li porta sulla superficie del mattone dove ricristalizzano. Una volta trascorso questo periodo i tre mattoni vengono lasciati ad asciugare e paragonati successivamente con un quarto mattone non sottoposto alla prova di riferimento. Qualora ci fosse la presenza di sali solubili si osserverebbe una patina biancastra più o meno consistente sulla superficie del mattone. Si valuta quindi visivamente il risultato della prova.
- La prova delle inclusioni calcaree (su 4 mattoni) viene eseguita con una vasca a bagno termostatico nella quale vengono immersi completamente i campioni. L'acqua all'interno della vasca viene scaldata fino ad una temperatura di $80 \text{ }^\circ\text{C}$, vengono quindi inseriti i 4 mattoni e lasciati ad una temperatura di circa $100 \text{ }^\circ\text{C}$

per 4 ore. Trascorso questo periodo si svuota la vasca, si estraggono i mattoni e si lasciano ad asciugare. Si esegue quindi un controllo visivo dei campioni andando a controllare l'eventuale presenza di crateri sulla superficie del pezzo. Questi sono generati dalla presenza d'inclusioni calcaree non finemente macinate che, a contatto con l'acqua calda della vasca, si possono espandere fino a provocare il distacco di una porzione di materiale. Se sono presenti dei crateri se ne misura il diametro medio.

Oltre a queste prove, il prodotto cotto, viene quotidianamente misurato e pesato al fine di controllare la regolarità del processo di formazione, di essiccazione e di cottura.

In seguito riporto una tabella riassuntiva contenente i risultati medi dell'anno di produzione 2011 per le tre tipologie di mattoni standard (250x120x55 mm) realizzati presso lo stabilimento di Noale.

Tabella 4 Risultati medi delle prove di laboratorio per l'anno 2011

Misura	Mattone Rosso	Mattone Rosato	Mattone Giallo Pagl	Unità di misura
Lunghezza	250,14	250,56	250,64	mm
Larghezza	120,31	120,32	120,36	mm
Altezza	54,49	54,20	54,63	mm
Peso	2,563	2,466	2,296	Kg
Imbibizione	3,2	3,5	4,5	kg/m ² min
Assorbimento d'acqua	19,2	21,2	23,6	%
Compressione	20,0	21,8	23,5	N/mm ²
Flessione	28,1	35,2	51,0	N/mm
Abrasione	4292,4	3276,3	3638,9	mm ³

Come si può osservare dall'andamento dei valori nelle prove, il mattone Giallo paglierino nelle prove di compressione, flessione e abrasione presenta i valori più elevati. Esso infatti è caratterizzato dall'avere migliori prestazioni meccaniche, anche se risulta avere un maggior assorbimento d'acqua rispetto alle altre due tipologie di mattone. Tutti i valori sono comunque conformi ai valori di riferimento dichiarati dall'azienda per le relative prove.

6. ESSICCAZIONE

I materiali ceramici, una volta stampati, contengono dal 15 al 30 % d'acqua a seconda del processo produttivo. Essi quindi devono essere essiccati innanzitutto affinché i mattoni, che appena stampati risultano essere molli, possano poi essere maneggiati dalle macchine e possano essere impilati, ma soprattutto per la fase di cottura alla quale poi sono sottoposti i pezzi: un contenuto troppo elevato d'acqua infatti in fase di cottura può provocare delle rotture. È necessario quindi eliminare la quasi totalità d'acqua presente nel mattone verde. Per fare ciò si deve quindi far evaporare l'acqua dal pezzo, ovvero si devono appunto essiccare i mattoni. Per far evaporare l'acqua è necessario somministrare all'acqua energia sotto forma di calore, ovvero attraverso l'aumento della temperatura dell'ambiente.

6.1. Il calore e la temperatura

Per calore s'intende un modo di trasferire energia, il concetto di calore è quindi simile a quello di lavoro. Non ha senso parlare di calore contenuto in un corpo, ma il calore indica l'energia che passa da un corpo ad un altro a causa di una differenza di temperatura per ristabilire l'equilibrio termico. Tale quantità di calore è data da $Q=c \cdot m \cdot \Delta t$ dove Q è il calore, m la massa, Δt la differenza di temperatura e c il calore specifico del materiale. In un sistema in equilibrio formato da N atomi vi possono essere N_{on} atomi dotati di maggiore energia cinetica rispetto agli altri di numero N_{off} ; se il sistema è in equilibrio, un atomo ON può diventare OFF e viceversa, ma il rapporto N_{on}/N_{off} non varia. Tale rapporto indica la temperatura ed è un indice dell'energia cinetica media degli atomi o delle molecole di un sistema.

L'unità di misura del calore è la caloria (cal) definita come il calore necessario ad aumentare da 14,5 a 15,5 °C la temperatura di 1 grammo di acqua.

6.2. Processo di essiccazione

L'acqua è contenuta nell'impasto sotto varie forme:

- Acqua interstiziale: è contenuta nei pori, sui bordi, sulla superficie delle particelle argillose.
- Acqua zeolitica: presente negli interstrati fra i pacchetti T-O e T-O-T costituenti la struttura dei minerali argillosi.

- Acqua di costituzione: presente sotto forma di ossidrili legati alle unità strutturali, per la sua eliminazione occorre un'energia molto elevata.

L'acqua che evapora durante l'essiccamento si distingue in:

- Acqua libera: che evapora per prima e rappresenta la maggior parte dell'acqua evaporata, essa è responsabile del ritiro del pezzo.
- Acqua legata: quella contenuta nei pori più fini, difficile da estrarre per la presenza delle forze capillari, essa va soprattutto ad aumentare la porosità del pezzo.

La rimozione dell'acqua dal pezzo si attua attraverso due processi distinti, ovvero grazie all'evaporazione dell'acqua dalla superficie del pezzo e grazie alla diffusione dell'acqua, attraverso i capillari, dall'interno del pezzo alla sua superficie. La condizione ottimale è che la velocità di evaporazione e quella di diffusione siano uguali, questo per evitare la formazione di gradienti di umidità all'interno del pezzo.

Nell'essiccazione quindi si deve tener conto di svariati fattori:

- La quantità d'acqua contenuta all'interno del corpo e la sua viscosità: la velocità di diffusione dell'acqua aumenta quanto minore è la viscosità che diminuisce con l'aumento della temperatura.
- L'umidità relativa dell'ambiente e il gradiente di umidità tra la superficie del pezzo e il suo interno: la presenza di una differenza di umidità è condizione necessaria affinché vi sia evaporazione, abbassando l'umidità superficiale si ottiene una maggiore velocità di migrazione dell'acqua. Il gradiente che si forma però non deve essere troppo elevato per non avere un'eccessiva velocità di essiccazione superficiale che potrebbe portare a ritiri eccessivi che potrebbero andare a provocare delle rotture.
- La permeabilità del pezzo.
- La forma del pezzo: quanto più la forma è complessa tanto più è delicato l'essiccamento per la difficoltà che esso proceda in modo omogeneo su tutto il pezzo.
- Lo spessore e le dimensioni del pezzo.
- La presenza di bolle d'aria.

L'evaporazione è prodotta dall'invio di un flusso di aria calda a più basso contenuto di umidità che asporta continuamente l'acqua evaporata.

Umidità dell'oggetto

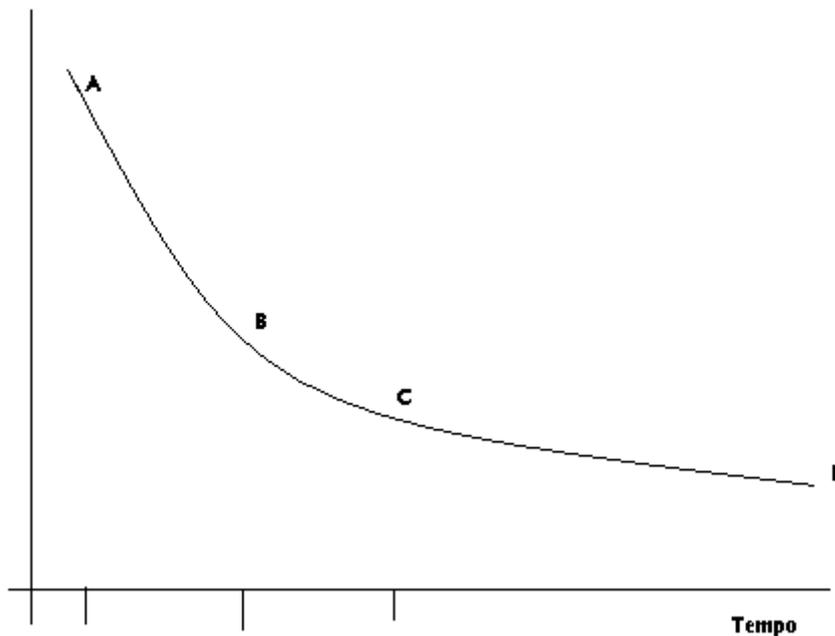


Grafico 4 Fasi dell'essiccamento

Durante l'essiccazione si possono distinguere tre fasi:

- AB l'evaporazione inizia con l'eliminazione dell'acqua libera sulla superficie del campione che richiama a se, attraverso la rete capillare, altra acqua dall'interno del pezzo. In questa fase l'evaporazione procede in modo costante, non dipendendo dal tipo di argilla, ma solo dal flusso d'aria. Poiché le particelle possono ancora scorrere le une sulle altre, l'evaporazione dell'acqua provoca la loro compattazione e il ritiro dell'argilla.
- BC il tasso di evaporazione diminuisce poiché l'acqua non giunge più sulla superficie, ma evapora direttamente dall'interno, si stabilisce pertanto tra la superficie e l'interno del pezzo un gradiente di umidità che, se eccessivo, può sviluppare tensioni a causa dei ritiri differenziati con possibile formazione di screpolature e deformazioni. L'evaporazione risente sempre meno del flusso di aria esterno e dipende soprattutto dalla tensione di vapore dell'acqua nei capillari all'interno del solido. Il calore assorbito non è più utilizzato per l'evaporazione dell'acqua superficiale e quindi s'innalza la temperatura del pezzo. Le particelle non possono più scorrere in modo agevole quindi il volume cessa lentamente di diminuire e si ha l'aumento della porosità grazie alla formazione di vuoti.

- CE non si ha più ritiro ma l'eliminazione dell'acqua comporta solo un aumento della porosità, in questa fase l'essiccamento può procedere con più rapidità. Tuttavia un eccessivo riscaldamento improvviso, ad esempio dall'immissione nel forno di cottura, potrebbe provocare il brusco innalzamento della pressione di vapore all'interno dei capillari fino all'esplosione del pezzo.

6.3. Impianto SML

L'impianto di essiccazione dello stabilimento di Noale è composto da otto camere (Celle) indipendenti una dall'altra definite statiche perché i carrelli carichi di mattoni all'interno delle celle subiscono il ciclo di essiccazione in modo discontinuo. Ogni cella contiene due file parallele da 17 carrelli ognuna per un totale di 34 carrelli che corrispondono a 33.150 mattoni. Ogni cella è fornita di un bruciatore a gas metano, di un ventilatore per l'immissione di aria in cella, di un ventilatore per l'estrazione dell'aria dalla cella e di serrande automatiche per una corretta gestione dei flussi di aria calda. Per ottimizzare i consumi energetici di metano l'azienda ha provveduto a realizzare un impianto di recupero dell'aria di raffreddamento dal forno di cottura per poterla riutilizzare come aria calda per il processo di essiccazione. Delle valvole automatiche miscelano l'aria recuperata con l'aria ambiente e la inviano nella cella utilizzata.

L'impianto è completamente automatizzato e l'addetto deve solo definire, tramite un computer, che ciclo di essiccazione deve fare ogni cella.

I carrelli secchi vengono scaricati per mezzo di un trasbordo, comandato dall'addetto alla prelaborazione, dalla cella di essiccazione alla linea di ritorno verso l'impilatrice permettendo così lo svuotamento di una cella.

L'impianto di formatura invece carica i carrelli di mattoni verdi sulla linea del verde per essere poi caricati dal trasbordo e portati nella cella precedentemente svuotata. Quando la cella è riempita, automaticamente si chiude la porta e inizia il ciclo di essiccazione impostato. Quando il ciclo di essiccazione è ultimato la cella è pronta per essere ulteriormente scaricata.

6.4. Metodo di essiccazione

Il metodo di essiccazione utilizzato dall'essiccatoio è quello di controllare costantemente umidità e temperatura all'interno della cella di essiccazione. Queste due grandezze dovranno raggiungere un determinato valore (per esempio 2%RH-110°C, dove %RH indica la percentuale di umidità relativa) dopo un periodo di tempo.

Sul computer viene impostato un ciclo d'essiccazione predefinito che definisce l'andamento della temperatura e dell'umidità in un dato tempo e il sistema informatico farà in modo che all'interno della cella avvenga ciò che è stato predefinito

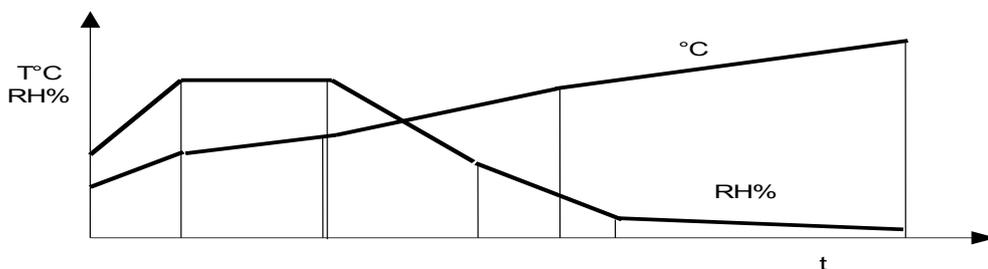


Figura 6 Esempio di curva di essiccazione teorica

Il ciclo di essiccazione predefinito è composto da tanti segmenti di tempo. Trascorso questo tempo ognuno di questi segmenti deve aver raggiunto il valore impostato di temperatura e umidità. Una volta eseguiti tutti i segmenti di un ciclo, l'essiccazione del materiale è terminata.

Per una migliore comprensione prendiamo ad esempio un segmento nel quale si debba arrivare a 50% RH e 80°C in quattro ore.

Il sistema informatico rileva "T" e "RH" reali all'interno della camera, ad esempio 70 % RH e 50°C. Dal ciclo impostato si evidenzia che la camera in quattro ore deve arrivare a 50 % RH e 80°C, a questo punto il sistema si calcolerà il gradiente (Misura flottante) per il quale dopo quattro ore arriverà proprio ai parametri impostati agendo sul bruciatore e sulle serrande.

Tabella 5 Esempio di regolazione dell'essiccatoio tramite la misura flottante

Tempo	Misura	Impostazione	Flottante
3 h 14 '	55 °C	80 °C	56 °C
	65 %RH	50 %RH	70 %RH

L'obiettivo è seguire la curva più fedelmente possibile, evitando grosse fluttuazioni e passando per piccoli stati di equilibrio successivi.

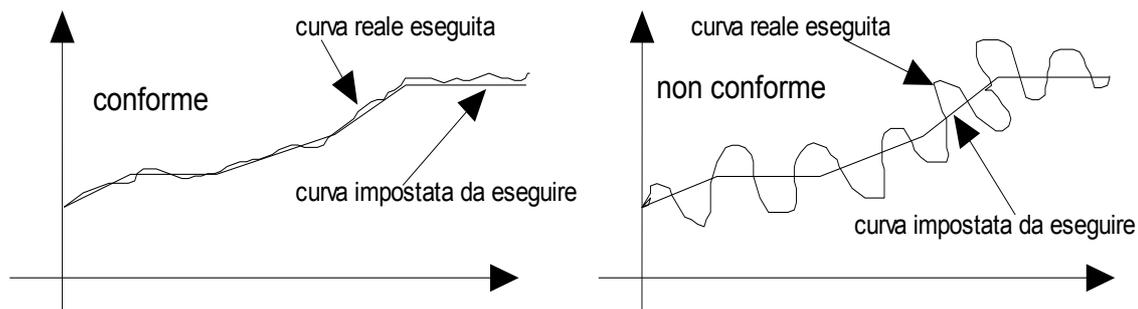


Figura 7 Esempio di curva con l'utilizzo delle misure flottanti e curva senza di esse

All'inizio del ciclo il processo non può essere estremizzato, si avrebbe altrimenti una troppo repentina essiccazione esclusivamente degli strati superficiali del mattone che andrebbero poi a impedirne l'essiccazione completa: l'acqua rimarrebbe chiusa all'interno del mattone. Si cerca quindi di far raggiungere alla cella un'umidità prefissata dalla curva di essiccazione in esecuzione. Questo viene effettuato tenendo chiuse le serrande del riciclo e del camino. L'aria viene quindi solamente fatta girare dal ventilatore di immissione e poi estratta dal ventilatore di estrazione. Una volta raggiunto il valore di umidità prefissato si cominciano ad aprire le serrande del riciclo dal forno (aria secca) e del camino di emissione mentre viene chiusa quella che dal condotto di estrazione interno si rimette nel condotto di aspirazione. La temperatura all'interno della cella viene fatta aumentare grazie ad un bruciatore in vena d'aria posto subito dopo il ventilatore di immissione, se non è sufficiente il calore recuperato dal forno. Tutta l'aria che entra nella cella viene quindi lambita dal bruciatore (qualora sia in funzione ed ovviamente in modalità diverse a seconda della fase del ciclo in atto).

All'interno della cella abbiamo 11 rotomix, dei grossi cilindri che ruotano su se stessi di 180 gradi e hanno come scopo quello di miscelare al meglio l'aria e di omogeneizzarla (i motori sono da 5.5 kW). Anche il motore dell'estrazione è da 5,5 kW mentre quello della ventola d'immissione è da 7,5 kW.

I cicli utilizzati dalla San Marco quotidianamente sono attualmente di tre tipi:

- Ciclo a 36 ore
- Ciclo a 48 ore
- Ciclo a 52 ore

La durata dei cicli è dettata soprattutto da esigenze di produzione in quanto sarebbe ideale per il mattone una essiccazione lenta e graduale corrispondente a cicli molto lunghi. In questo modo infatti si avrebbe una minore probabilità di rotture e un abbattimento dei costi di

gestione, potendo infatti utilizzare al meglio il calore derivante dal riciclo del forno. Si opta quindi per l'essiccazione più lunga possibile tenendo conto delle esigenze produttive dell'azienda. I cicli per i tre tipi principali di mattoni prodotti a Noale (Giallo paglierino, Rosato e Rosso) sono pressoché identici tra di loro.



Figura 8 Curva essiccatoio SML per un ciclo a 48h

6.5. Curve dell'essiccatoio SML

Vengono in seguito riportate delle curve ottenute nell'essiccatoio di Noale su un mattone Rosso per un ciclo di essiccazione di 26 h. Il mattone è stato stampato manualmente e posto nella cella dell'essiccatoio impostata con un ciclo di 26 h. Ogni ora il mattone veniva estratto dall'essiccatoio, pesato e misurato per misurarne relativamente la perdita di umidità e il ritiro in essiccazione. Al tempo stesso veniva controllato il volume di metano (m³) consumati dall'essiccatoio. L'umidità residua del mattone una volta terminata l'essiccazione era del 0.5%.

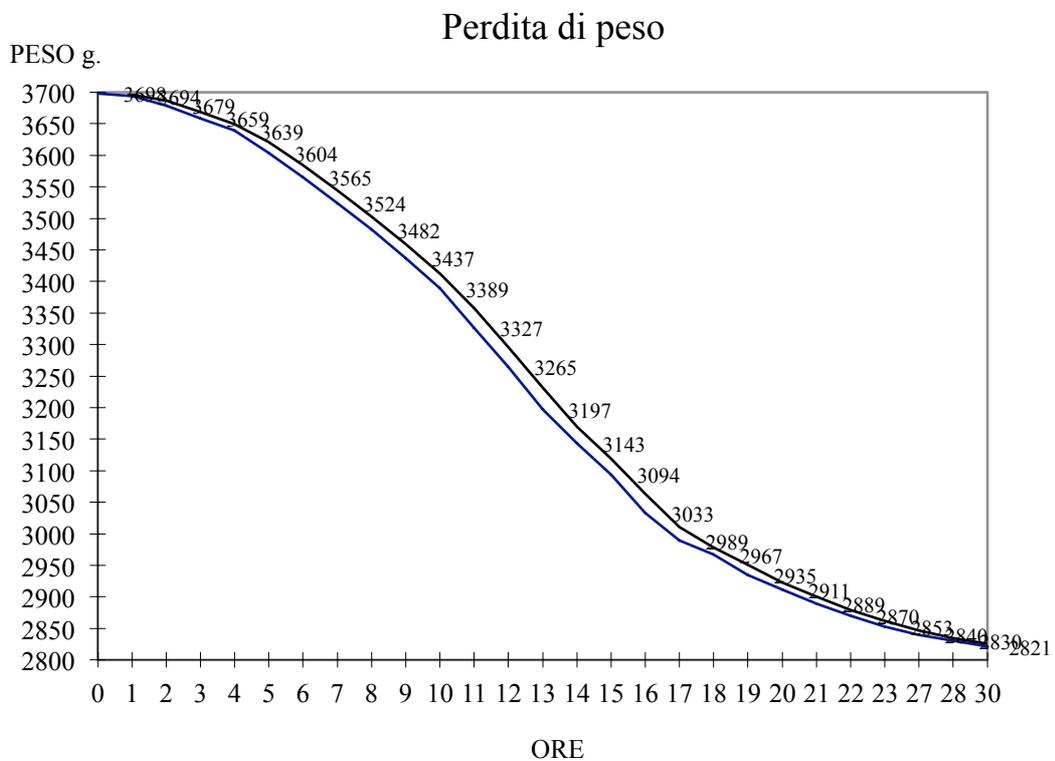


Grafico 5 Andamento della perdita di peso in un ciclo a 26 h

Il grafico della perdita di peso (Grafico 5) e il sotto riportato grafico della perdita d'acqua (Grafico 6) danno una chiara visione dell'andamento dell'essiccazione. Come si può osservare si notano una fase iniziale e finale caratterizzate da una perdita di peso relativamente bassa mentre nella fase centrale del processo si ha un rapido incremento della velocità di perdita di peso.

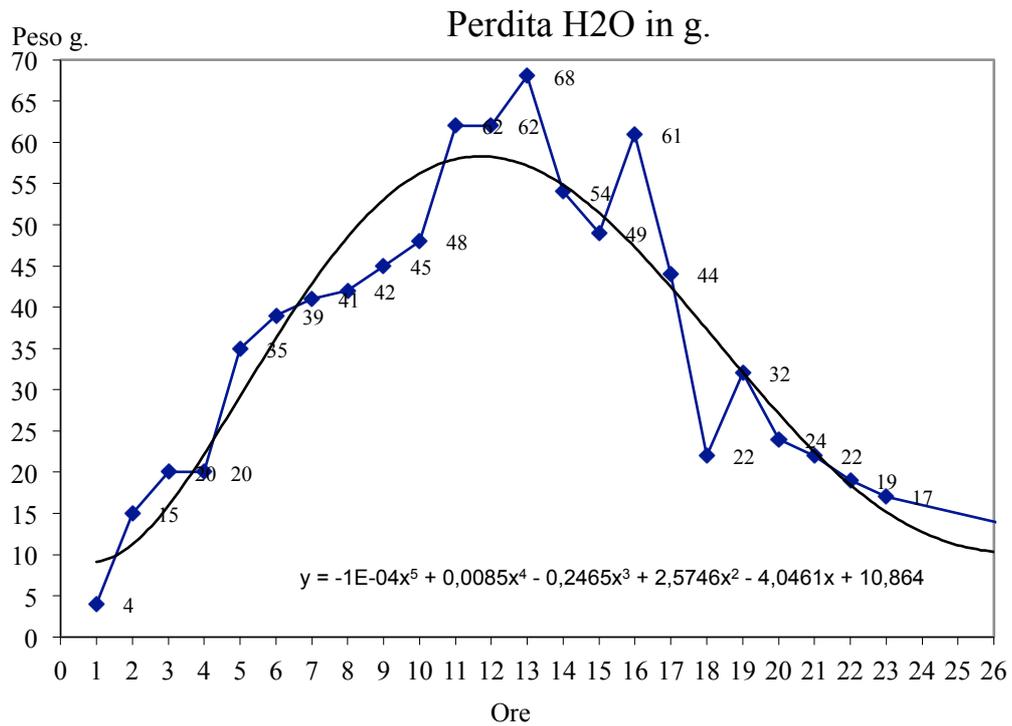


Grafico 6 Andamento della perdita d'acqua per un ciclo a 26 h

Il grafico mostra il tipico andamento a campana, caratterizzato dall'aver un massimo situato a metà ciclo e da un graduale abbassamento dei valori prima e dopo di esso.

Di seguito riportiamo il grafico dell'andamento del ritiro:

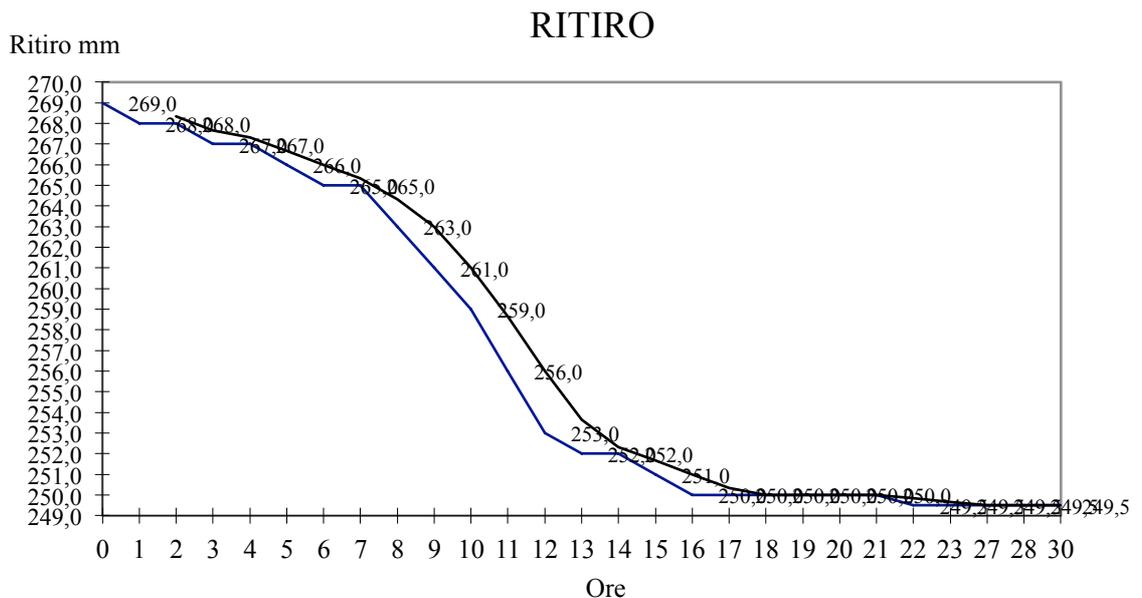


Grafico 7 Andamento del ritiro per un ciclo a 26 h

Per quanto riguarda il ritiro del mattone si osserva lo stesso andamento della perdita di peso, caratterizzato pertanto dall'aver un massimo incremento della velocità di ritiro a metà ciclo e una sostanziale stabilità del pezzo nelle ultime 10 ore di essiccazione.

In quest'ultima fase, caratterizzata comunque da una perdita di peso del pezzo si ha la formazione della porosità del mattone, che quindi non comporta alcun ritiro.

L'ultimo parametro analizzato è quello riguardante il consumo di m^3/h di metano, essenziale per comprendere i consumi dell'essiccatoio.

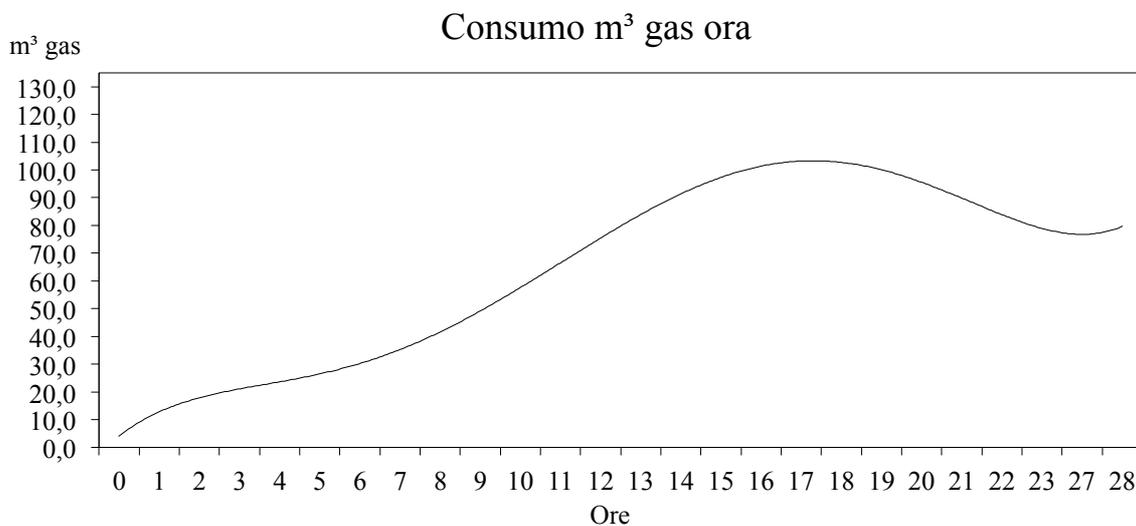


Grafico 8 Andamento del consumo di m^3/h di metano per un ciclo a 26 h

Come si può notare alla fase iniziale dell'essiccazione, costituita dall'omogeneizzazione dell'aria all'interno della cella corrisponde un consumo minimo di metano che gradualmente aumenta fino a raggiungere un massimo di $125 \text{ m}^3/\text{h}$ alla sedicesima ora di ciclo. Questo aumento è dettato dal necessario innalzamento della temperatura all'interno della cella necessario per fornire il calore per eliminare gli ultimi residui d'acqua.

Bisogna sottolineare il fatto che il consumo di metano è influenzato anche dalla quantità di calore recuperabile dal riciclo del forno. Pertanto se si hanno più celle in funzione la quantità d'aria del riciclo deve essere suddivisa.

6.6. Problemi legati all'essiccazione

Come già detto la fase di essiccazione è una fase delicata nel processo di produzione dei laterizi e pertanto, se eseguita in modo non corretto può portare a dei difetti nel pezzo. Questi difetti possono riguardare la superficie esterna del mattone, e quindi possono essere visibili già al termine della fase di essiccazione, oppure possono riguardare la struttura interna compromettendo così le caratteristiche del laterizio.

Nel caso di un'essiccazione troppo brusca si possono formare una o più fessure sul mattone che possono addirittura romperlo. Questo difetto avviene se l'umidità iniziale dell'ambiente di essiccazione è troppo bassa o se la temperatura è troppo elevata. In entrambi i casi si assiste alla repentina evaporazione dell'acqua superficiale, che va a creare un ritiro rapido e la conseguente rottura del pezzo. Al fine di evitare questa problematica è necessario che l'ambiente di essiccazione sia inizialmente a temperatura bassa (30-40 °C) ed elevata umidità (80-90 %RH) per arrivare, in un tempo adeguato, a temperature più elevate (fino a circa 100 °C) con aria secca (circa 15 %RH).

Come si può osservare nella Figura 9 queste cricche possono interessare tutta la larghezza del mattone rompendolo a metà



Figura 9 Rottura per essiccazione troppo rapida

Nel caso si abbia un'essiccazione non completa, invece, il pezzo non presenterà nessun segno superficiale dopo la fase di essiccamento, tuttavia se essa non è stata completata ci si trova con un mattone secco all'esterno, ma con un cuore ancora umido. Quest'umidità interna va a compromettere il laterizio in fase di cottura. Se s'immettessero nel forno mattoni con un'umidità residua superiore ad un valore critico di circa il 6%, che comunque dipende dalla velocità di cottura impostata, la fase di preriscaldamento non sarebbe sufficiente a rimuovere completamente questa umidità residua e giungerebbero nella zona di cottura dei mattoni ancora umidi al loro interno. Quindi l'acqua ancora presente si espanderebbe e potrebbe dare origine alla rottura visibile del pezzo oppure creerebbe delle fratture interne al pezzo che anche se non visibili andrebbero a compromettere le caratteristiche prestazionali. Questo tipo di difetto viene evidenziato durante i controlli previsti all'uscita forno, poiché se si percuote il mattone con un martelletto, si produce un suono cupo e non squillante. Se si rompe uno di questi mattoni si può facilmente osservare una linea di frattura curva, dovuta proprio alla disposizione delle tensioni interne che vengono a crearsi nella fase di cottura.

6.7. Fattori che influenzano l'essiccazione

Al fine di ottimizzare l'essiccazione è importante poterla velocizzare il più possibile, senza incorrere nelle problematiche citate. È importante quindi conoscere i fattori che vanno ad influire sul tempo di essiccazione e poterli modificare per ottenere essiccazioni ottimizzate in base alle esigenze di produzione, tenendo conto anche di eventuali riscontri in ambito economico. Il primo di questi fattori è l'umidità dell'impasto utilizzato, un impasto contenente il 10% d'acqua impiegherà un tempo sicuramente minore rispetto ad uno contenente il 25% d'acqua. Gli impianti a estrusione ad esempio utilizzano quantità d'acqua minori negli impasti e quindi hanno tempi minori di essiccazione. Un altro fattore è dato dalla presenza della sabbia nell'impasto. Essa ha principalmente il ruolo di smagrante, ed è molto efficace nella riduzione del ritiro del pezzo. Avendo un ritiro minore si ha una probabilità più bassa di avere fratture in fase di essiccazione e si può quindi procedere con una fase di essiccazione più spinta a tutto vantaggio della velocità di essiccazione. Un altro fattore che va a influenzare l'essiccazione è il ritmo di produzione. Bisogna infatti calcolare al meglio i vari cicli di essiccazione al fine di evitare che tutte le celle necessitino di una elevata quantità di calore nello stesso istante. Questo al fine di sfruttare al meglio il riciclo del forno e utilizzare il minimo possibile i bruciatori delle celle. Tutto ciò in un'ottica di risparmio energetico e quindi economico.

Tutti questi fattori però non possono essere variati a piacere, infatti vi è un intervallo di valori entro i quali si hanno dei vantaggi, oltre questi valori si va incontro ad altre problematiche.

La quantità d'acqua ad esempio varia attorno al 30 % nel caso dell'impasto molle. Se si aumenta troppo la quantità d'acqua si ottiene un impasto troppo liquido che non mantiene la forma subito dopo la fase di stampaggio, se la quantità d'acqua è troppo bassa invece l'impasto non è facilmente modellabile e può non adattarsi perfettamente alle pareti dello stampo.

La quantità di sabbia varia secondo l'impasto, ma assume comunque valori dal 7 al 10 %. Essa può essere aumentata se si vuole velocizzare la fase di essiccazione, arrivando anche al 20 %, tuttavia un aumento troppo elevato della sabbia va poi a influire sul prodotto finito abbassando la resistenza a compressione e a flessione. Se si usa una percentuale di sabbia troppo bassa senza adeguare la curva di essiccazione allungandola invece è molto probabile andare incontro alla rottura dei pezzi. Adeguando i cicli, comunque, si possono produrre anche mattoni del tutto privi di sabbia, che necessitano però di tempi più lunghi per l'essiccazione completa.

7. Gli strumenti per il controllo di essiccazione e cottura

La tecnologia moderna offre svariati strumenti per controllare istantaneamente i vari parametri essenziali sia in fase di essiccazione sia in fase di cottura. Questi controlli sono essenziali per il corretto avanzamento del processo produttivo e possono essere altresì molto utili per individuare le sorgenti di eventuali problemi che vengono riscontrati.

Ogni cella dell'essiccatoio a tal proposito è fornita di una sonda di umidità e di una termocoppia che trasmettono, in tempo reale, i dati relativi alla cella, consentendo di verificare il corretto avanzamento del ciclo di essiccazione impostato. Queste sono essenziali inoltre per stabilire le misure fluttuanti, essenziali come abbiamo già visto per l'essiccazione nelle celle.

Il forno invece è provvisto solo di termocoppie, poste nei punti dove vi sono i bruciatori e le macchinette. Queste sono essenziali per poter regolare, innanzitutto il ciclo di cottura, e successivamente la portata di metano alle macchinette e ai bruciatori per mantenere stabile la temperatura di cottura.

In questi due casi si ricavano delle informazioni riguardanti l'ambiente di essiccazione o quello di cottura in generale. Queste misure tuttavia possono non essere sufficienti per capire appieno delle problematiche riscontrabili, come ad esempio problemi in una particolare zona dell'essiccatoio o del forno. Può ad esempio capitare che i mattoni posti nei ripiani più alti dei carrelli dell'essiccatoio presentino dei difetti, o che i pacchi laterali dei carri del forno presentino un elevato numero di pezzi rotti. In questi casi è necessario andare ad analizzare i dati in quella specifica posizione. Si utilizzano quindi due strumenti: il Retrattometro e il Datapaq.

7.1. Il Retrattometro

Questo strumento misura contemporaneamente tre fattori in fase di essiccazione: la temperatura, l'umidità e il ritiro del mattone. Esso viene posizionato sopra il mattone verde al quale viene fissato grazie a dei piedini che si conficcano nell'argilla. Grazie ad un piedino mobile e a due fissi lo strumento segue gradualmente il ritiro del mattone registrandolo. Contemporaneamente rileva la temperatura e l'umidità dell'aria attorno al pezzo. Una volta terminato il ciclo di essiccazione si scaricano i dati in un pc e tramite un apposito software si



Figura 10 Il Retrattometro

realizza la curva di Bigot. Dallo studio di questa curva si possono ricavare svariate informazioni, per prima cosa se l'andamento di umidità e temperatura in quella specifica zona hanno seguito l'andamento impostato dal ciclo. Può capitare infatti che una scorretta miscelatura dell'aria o eventuali correnti d'aria vadano ad influire negativamente. Si può inoltre vedere, grazie ad un cambio di pendenza della curva del ritiro, quando esso

inizia, quando si arresta o quando si crea una cricca. Questo strumento permette quindi la corretta regolazione delle curve di essiccazione qualora si riscontrassero dei problemi. Nei due grafici sottostanti si possono osservare due curve di Bigot, nella prima il mattone è rimasto intatto, nella seconda il mattone si è rotto. Queste curve sono state realizzate nella stufetta del laboratorio, senza poter controllare quindi l'andamento dell'umidità.

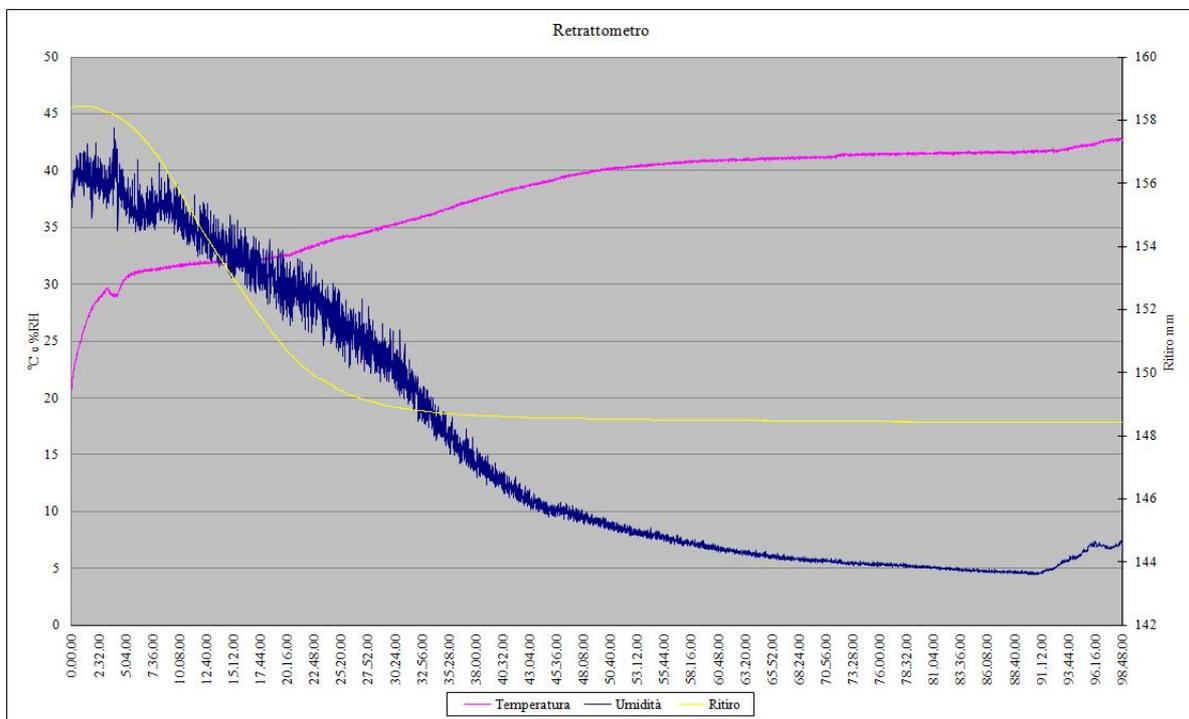


Grafico 9 Curva di Bigot

Come si può notare la curva del ritiro è lineare e non presenta cambiamenti di pendenza bruschi. Dopo circa 24 ore si ha un arresto del ritiro. Nella seconda fase dell'essiccazione, dove il ritiro è terminato, si ha solo la formazione di porosità all'interno del mattone. La variazione di pendenza nella curva della temperatura a circa 5 ore dall'inizio dell'essiccazione è attribuibile ad una corrente d'aria fredda determinata dall'apertura dello sportello della stufetta per un controllo visivo sui mattoni. Vediamo ora la curva di Bigot nel caso si abbia la rottura del mattone.

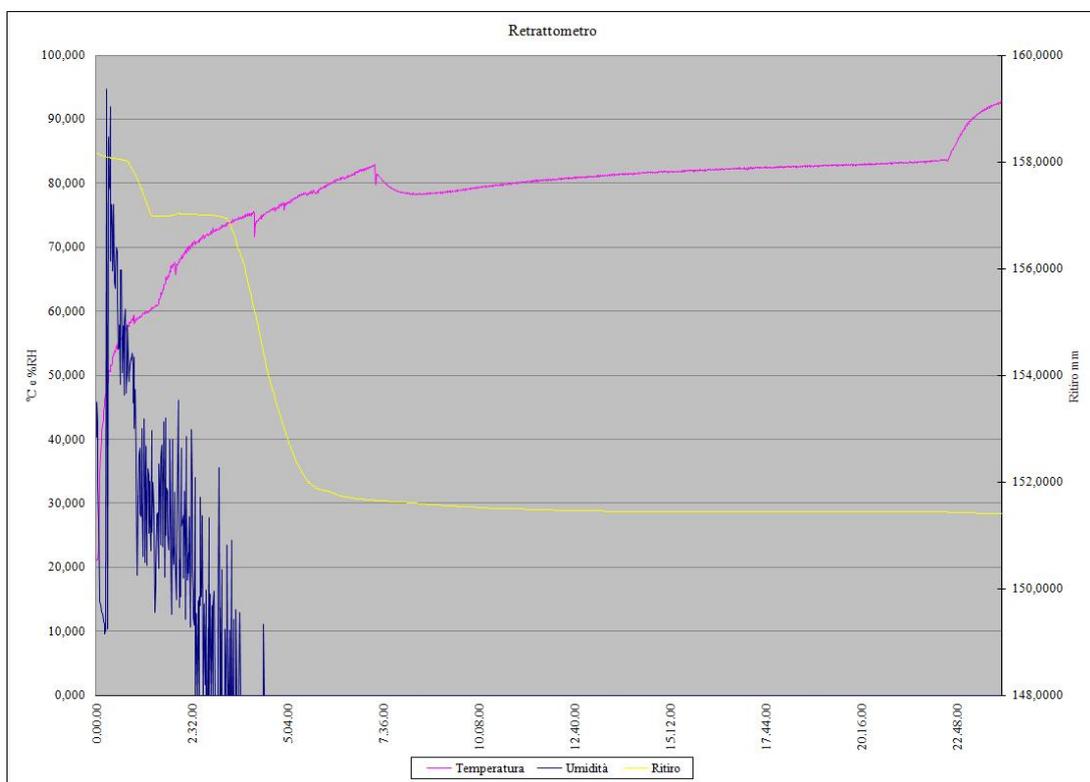


Grafico 10 Curva di Bigot

In questo caso il ciclo dura 24 ore e come si può notare dopo 5 ore dall'inizio dell'essiccazione il ritiro si è già concluso e l'umidità dell'aria è già 0 %RH. Nella linea del ritiro si può osservare un brusco cambio di pendenza, dopo circa un'ora dall'inizio essiccazione. In questo caso la rottura è stata determinata da una velocità iniziale di essiccazione troppo elevata, come testimoniano l'elevata temperatura (sostanzialmente attorno ai 60 °C già ad inizio ciclo) e il repentino abbassamento dell'umidità.

7.2. Il DataPaq

Questo strumento serve per controllare le temperature in fase di cottura in svariate posizioni di un carro. Grazie a dieci termocoppie poste in punti precedentemente determinati del carro (di lato, sopra, al centro, sotto e altre posizioni particolari) esso rileva le varie temperature durante tutto il ciclo di cottura. Lo strumento viene posto all'interno di una cassa



Figura 11 Il DataPaq

metallica isolante nella quale viene messa, all'interno di apposite condutture, dell'acqua per evitare riscaldamenti dannosi per lo strumento. Questa cassa viene fissata sotto un carro del forno. Grazie ai guardasabbia in questa zona la temperatura è di circa 100 °C per tutta la fase di cottura, non presentando quindi

grosse problematiche. Lo strumento, grazie ad una piccola antenna radio, può trasmettere i dati in tempo reale a un computer, oppure è possibile scaricare i dati alla fine della fase di cottura. Un software poi realizza un grafico nel quale vengono rappresentate le temperature di ogni termocoppia durante l'intero ciclo di cottura. Si possono quindi vedere eventuali differenze di temperature tra l'interno e l'esterno del pacco, tra un lato e l'altro del forno o in altre posizioni particolari.

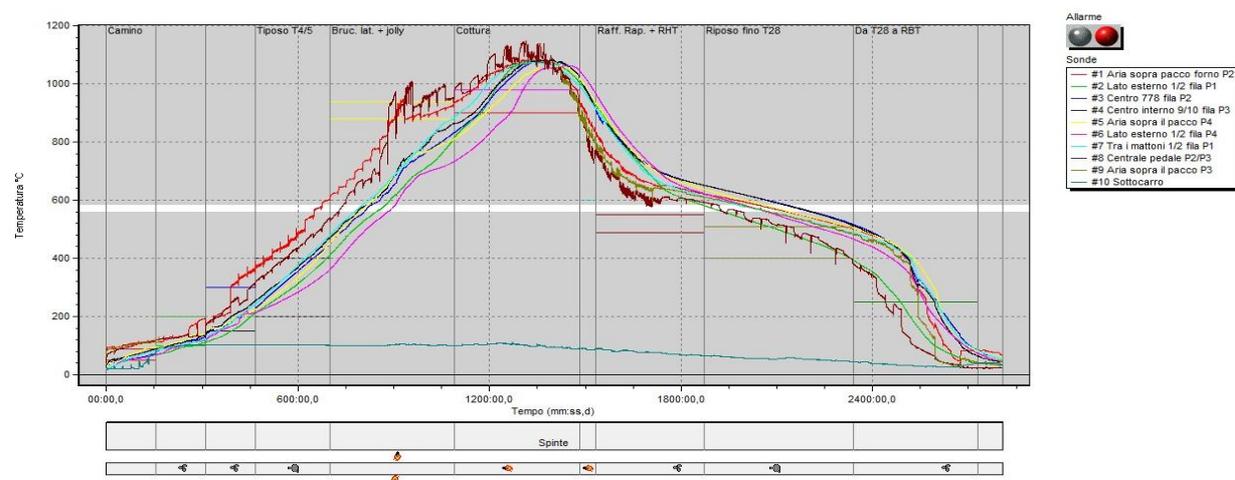


Grafico 11 Curva del DataPaq per un ciclo di cottura a 1050 °C

Il grafico riporta in particolare la curva di cottura del forno a tunnel per l'argilla Gialla che cuoce a 1050 °C. Si può osservare il graduale innalzamento della temperatura dovuto ai bruciatori e alle macchinette fino alla temperatura di cottura. In seguito si ha un repentino abbassamento, dovuto ai raffreddamenti rapidi, fino alla temperatura di 650 °C. Da questa temperatura, fino a 450 °C, il raffreddamento procede in modo molto più lento. In questo modo, la temperatura d'inversione del quarzo (573 °C) viene raggiunta e superata in modo graduale. Infatti in questa fase si ha una variazione del reticolo cristallino del quarzo che, se fatta in modo troppo rapido, comporta alla rottura del pezzo. Una volta arrivati a circa 450 °C si riprende a raffreddare in modo intenso il mattone che esce poi dal forno a circa 60-70 °C.

8. COMPARAZIONE ARGILLE

Nel periodo del tirocinio sono state realizzate delle prove di laboratorio atte a studiare il comportamento in fase di essiccazione, e confrontare le caratteristiche principali di un'argilla da estrusione in uso nello stabilimento di Valenza con l'argilla rossa di Noale. Le prove sono state eseguite su campioni costituiti da parallelepipedi (mattoncini campione) realizzati a mano di dimensioni 150x30x30 mm. L'essiccazione è stata compiuta mediante una stufa da laboratorio impostata a una temperatura fissa di 60 °C. Gli stessi campioni sono stati poi cotti a 950 °C nel forno del laboratorio per verificare i ritiri in cottura. Per le due tipologie di argilla sono stati preparati impasti con differenti quantità d'acqua, inoltre per l'argilla rossa di Noale è stata variata la quantità di smagrante (sabbia).

Di seguito si riportano le analisi iniziali delle argille, ovvero calcimetria e granulometria, eseguite presso il laboratorio interno dello stabilimento:

Tabella 6 Granulometrie e calcimetrie delle argille utilizzate nelle prove sperimentali

	Argilla di Valenza	Argilla Rossa di produzione	Argilla Rossa di produzione + 5% di sabbia	
Luce setacci	600 μ (%)	2,0	2,0	2,5
	355 μ (%)	0,9	6,2	7,5
	300 μ (%)	0,4	2,4	3,4
	150 μ (%)	2,0	8,3	10,3
	75 μ (%)	4,5	8,4	10,1
	63 μ (%)	3,4	3,6	4,1
	45 μ (%)	7,8	6,0	6,9
TOT Granulometria (%)	21,0	36,9	44,8	
Calcimetria (%)	0,0	13,0	14,0	

Si può osservare un progressivo incremento del valore della calcimetria che passa da 0% nel caso dell'argilla di Valenza a un 14 % per l'argilla Rossa con l'aggiunta di sabbia. Un'indicazione importante viene data inoltre dalla granulometria, sia osservando il residuo totale sia osservando la distribuzione granulometrica. Innanzitutto il residuo totale è più elevato nelle due argille di Noale, ovviamente più elevato nel caso dell'argilla con l'aggiunta di sabbia dove il 44,8% dell'impasto è composto da particelle con un diametro maggiore di 45 μ .

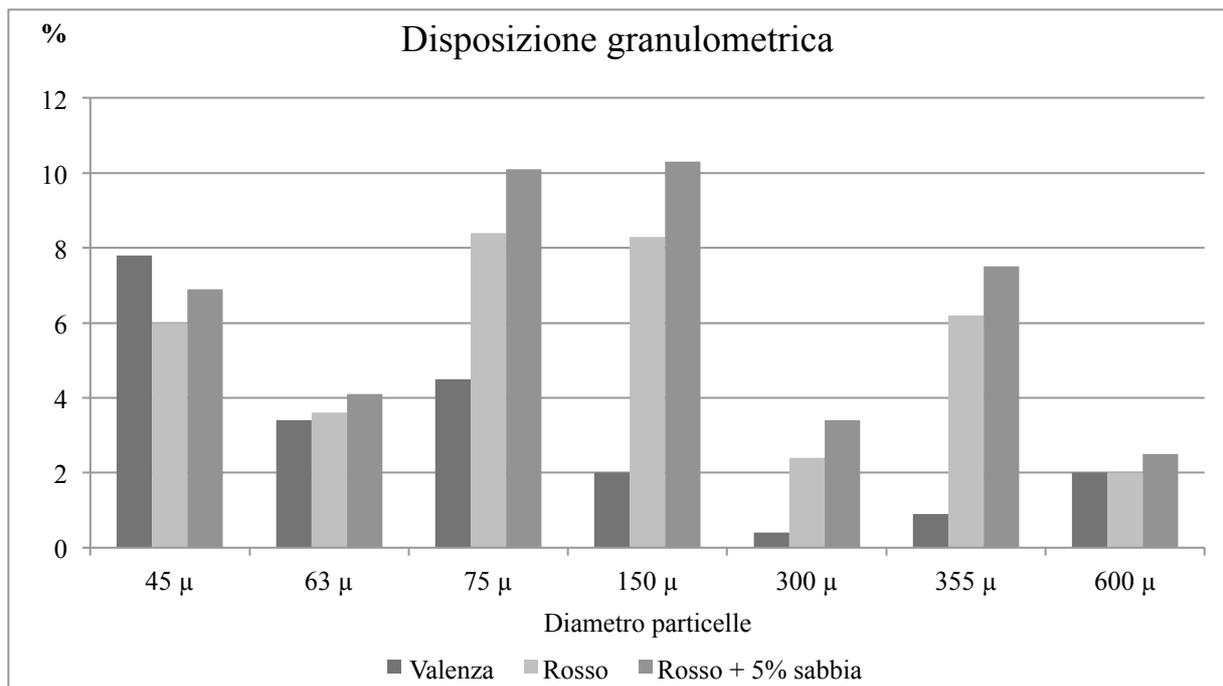


Grafico 12 Disposizione granulometrica delle argille considerate

Dal grafico della disposizione granulometrica si può osservare come l'aggiunta di sabbia abbia alzato in modo pressoché costante la curva dell'argilla Rossa, ovvero come la sabbia si sia distribuita in modo omogeneo nel range di diametri esaminati. Si nota inoltre che l'argilla di Valenza è caratterizzata da una granulometria più fine rispetto alle altre due argille, dovrebbe quindi risentire in modo più evidente del ritiro in fase di essiccazione.

8.1. Realizzazione prove

L'obiettivo delle prove è quello di verificare:

- La variazione del ritiro lineare, in fase di essiccazione e in cottura, dei campioncini al variare della percentuale d'acqua d'impasto
- La variazione del ritiro lineare, in fase di essiccazione e in cottura, dei campioncini al variare della percentuale di sabbia d'impasto

Come già detto, sono stati preparati manualmente campioncini utilizzando argilla di Valenza e di Noale.



Figura 12 Alcuni dei campioncini realizzati

I campioncini con l'argilla di Valenza sono stati realizzati, senza aggiunta di sabbia, aggiungendo il minimo quantitativo d'acqua possibile al fine di rendere lavorabile l'impasto, valore che è stato quantificato per via sperimentale al 19,2 % d'acqua rispetto al peso dell'argilla. Sono state poi realizzate altre due serie con il 19,8 % e il 22,0 % d'acqua.

Con l'argilla Rossa di Noale, sono stati preparati campioni con due percentuali differenti di sabbia: una serie con il 10,3% (miscela di produzione) e una al 15%.

Nella serie al 10,3% di sabbia si è variato il contenuto d'acqua partendo dal minimo quantitativo d'acqua per renderla lavorabile: 16,3 % e altre due serie al 18,1 % e al 20,0 %.

Per la terza serie di campioncini (al 15 %) sono state realizzate due diverse tipologie al 16,4 %, e al 18,7 % d'acqua.

Per tutte le serie si è quindi valutata la durezza dell'impasto grazie ad un penetrometro, l'umidità d'impasto, i ritiri durante l'essiccazione, dopo la cottura e la perdita di peso in cottura.

Tabella 7 Elenco delle prove realizzate

	Impasto	Sabbia (%)	Argilla (g)	Sabbia aggiunta (g)	H ₂ O aggiunta (g)
Valenza	V03	0	1000,0	0	34,0
	V05	0	1000,0	0	50,0
	V08	0	1000,0	0	80,0
Noale	N03	10,3	1000,0	0	31,0
	N05	10,3	1000,0	0	50,0
	N08	10,3	1000,0	0	80,0
	NS03	15	1000,0	56,1	38,1
	NS08	15	1000,0	56,1	84,5

	Impasto	Argilla	Sabbia (%)	Umidità Impasto (%)
Valenza	V03	V	0	19,2
	V05	V	0	19,8
	V08	V	0	22,0
Noale	N03	R	10,3	16,3
	N05	R	10,3	18,1
	N08	R	10,3	20,0
	NS03	R	15	16,4
	NS08	R	15	18,7

Nella realizzazione dei campioncini l'impasto è stato fatto manualmente e le varie quantità sono state misurate con una bilancia con precisione 0,1 g. La fase di essiccazione è stata effettuata in una stufa da laboratorio Memmert dove veniva impostata la temperatura fissa di essiccazione di 60°C. Le misure del ritiro sono state compiute con un calibro Mitutoyo con precisione 0,05 mm. La durezza è stata misurata con un penetrometro Ceramic Instruments ST 207 con precisione 0,1 kg/cm²

8.2. Risultati delle prove

Per ogni impasto sono stati realizzati tre campioncini. Nella tabella sottostante si riportano i valori medi dei parametri analizzati per ogni impasto:

Tabella 8 Risultati delle prove realizzate

Impasto	Penetrometro (kg/cm ²)	Umidità Impasto (%)	Ritiro essiccazione (%)	Perdita di peso cotto (%)	Ritiro cotto (%)
V03	0,758	19,2	7,17	5,82	1,73
V05	0,575	19,8	6,17	5,83	1,17
V08	0,567	22,0	6,50	5,95	1,07
N03	1,433	16,3	5,10	9,80	-0,49
N05	0,467	18,1	5,00	9,69	-0,46
N08	0,200	20,0	7,00	9,61	-0,36
NS03	0,200	16,4	4,63	9,43	-0,52
NS08	0,200	18,7	5,50	9,47	-0,42

Si fa presente che essendo il numero di prove realizzate abbastanza ridotto, dovuto anche ai tempi ristretti di tirocinio, non è stato possibile confermare con certezza tutte le ipotesi e i fenomeni messi in luce dal lavoro sperimentale svolto.

Le teorie che stanno alla base dello studio avrebbero bisogno di essere sviluppate e verificate con ulteriori prove sperimentali più approfondite. Lo scopo di questo lavoro è di individuare e conoscere i parametri che influenzano la fase del processo di essiccazione senza voler effettuare un completo lavoro esaustivo che richiederebbe molto più tempo.

Detto questo, per una corretta comprensione dei dati si fa presente che i ritiri sono indicati positivi qualora si abbia una riduzione della lunghezza, negativi se la lunghezza aumenta. Il ritiro del cotto viene calcolato a partire dalla lunghezza del secco. Informazioni più dettagliate si possono osservare esaminando i grafici riportanti in ascissa la percentuale d'acqua d'impasto delle varie miscele e in ordinata i valori della misura considerata.

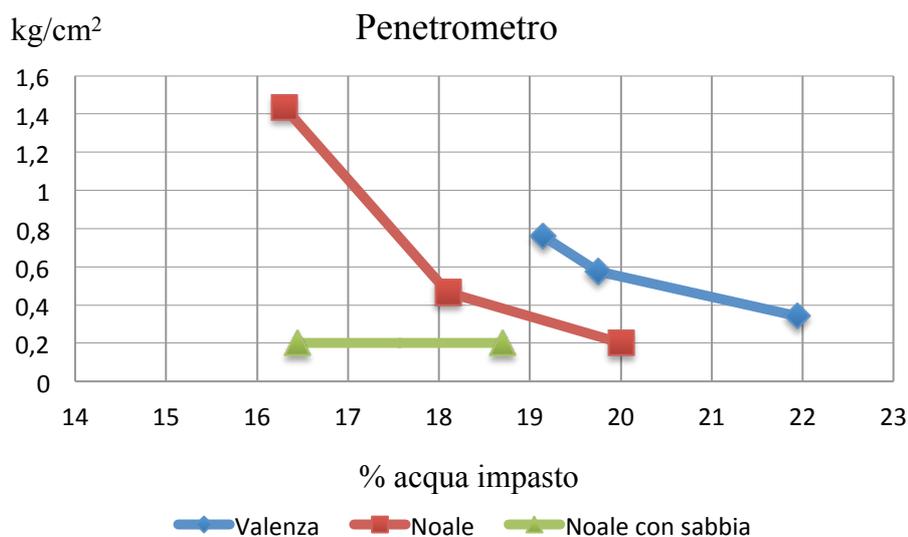


Grafico 13 Risultati del penetrometro

Dall'analisi dei risultati del penetrometro si è voluto valutare la correlazione tra la pressione (forza di penetrazione) e la percentuale d'acqua d'impasto per le due tipologie d'argilla.

Si nota come l'argilla di Valenza e quella di Noale abbiano un andamento decrescente all'aumentare della quantità d'acqua, mentre l'argilla di Noale con la sabbia aggiunta ha un andamento costante.

Le misure effettuate con il penetrometro mettono in luce come l'argilla di Noale, per umidità superiori a circa il 19%, si presenta molto molle, al limite di applicabilità dello strumento, mentre l'argilla di Valenza, estremamente plastica, mantiene ancora una buona consistenza. Questa sostanziale differenza è alla base dei due differenti metodi di formatura per cui un'argilla plastica è adatta all'estrusione. Il fatto che l'argilla con l'aggiunta di sabbia abbia mantenuto un valore costante pari a 0,2 kg/cm^2 per le due percentuali d'acqua considerate può essere attribuito al ruolo di smagrante della sabbia che rende l'impasto meno plastico e quindi più facilmente lavorabile.

Le informazioni più interessanti per quanto riguarda il comportamento dei tre impasti si ottengono però soprattutto dai grafici indicanti il ritiro in fase di essiccazione e quello in cottura (vedi grafici 14 e 15).

Ci si aspetta che, all'aumentare della quantità d'acqua nell'impasto il ritiro in essiccazione vada progressivamente aumentando e che, argille con una disposizione granulometrica più fine abbiano un ritiro in essiccazione maggiore. Per quanto riguarda il ritiro in cottura invece a priori non ci sono indicazioni che ci possano dare informazioni su un probabile andamento in quanto questo dipende dalle proprietà intrinseche dell'argilla.

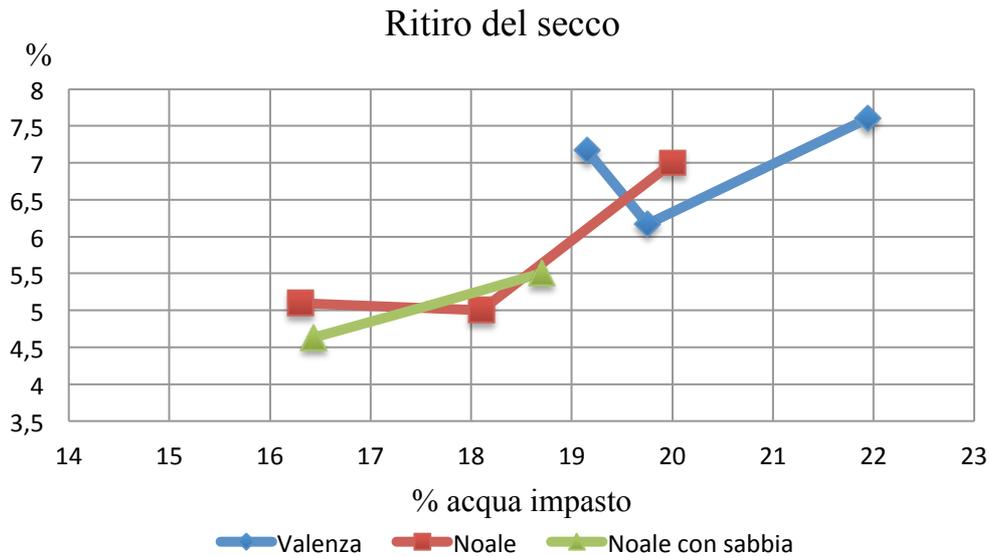


Grafico 14 Rappresentazione dei ritiri in essiccazione

Per quanto riguarda il ritiro del secco si possono osservare due cose importanti. Prima di tutto che i due impasti realizzati con l'argilla di Noale hanno confermato l'ipotesi che ad una maggiore quantità d'acqua corrisponda un ritiro maggiore. L'argilla di Valenza invece presenta un minimo del ritiro per il 19,8 % d'acqua. La seconda osservazione è relativa al comportamento della sabbia nell'impasto, questo smagrante aiuta anche il processo di essiccazione, essa infatti permette essiccazioni più rapide senza il rischio di fratture proprio per il fatto di ridurre il ritiro; la sabbia è un inerte non poroso e quindi non assorbe acqua al suo interno.

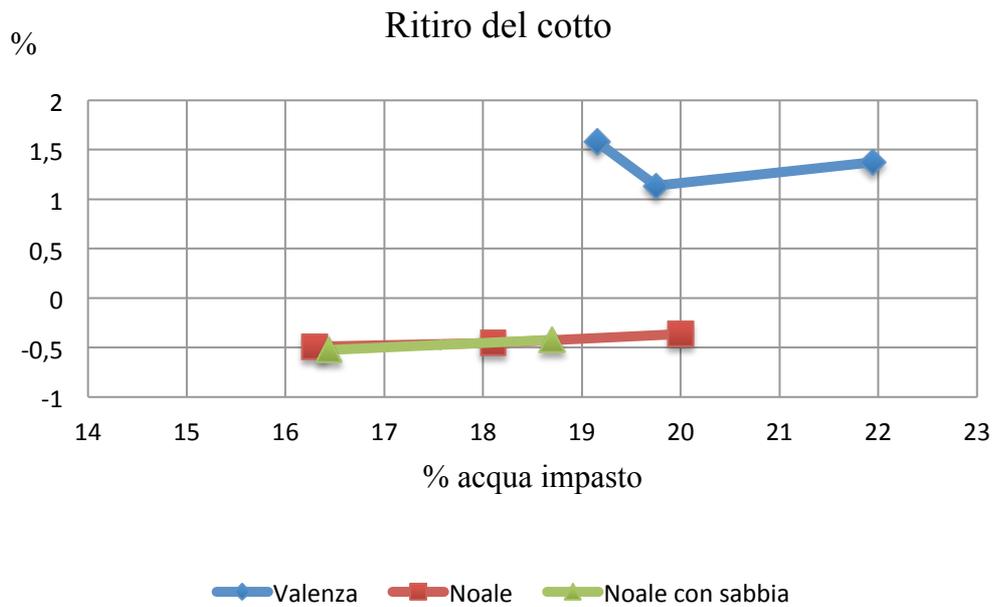


Grafico 15 Ritiro del cotto dei tre impasti

Per quanto riguarda invece il ritiro del cotto non si erano fatte ipotesi sul possibile andamento, si nota tuttavia una sostanziale differenza tra l'argilla di Noale e quella di Valenza. L'argilla da impasto molle infatti ha presentato, sia con sabbia aggiunta sia senza, un ritiro negativo, indice di un allungamento, anche se molto ridotto, in fase di cottura. L'argilla da estrusione invece ha presentato un ritiro positivo in fase di cottura. Anche in questo caso, come nel ritiro del secco, l'impasto con il 19,8 % d'acqua presenta un ritiro minore.

9. INFLUENZA DELLA SABBIA IN ESSICCAZIONE

Al fine di comprendere meglio l'influenza della sabbia nella fase di essiccazione sono state svolte delle altre prove più specifiche in tal senso. Sono stati realizzati innanzitutto due serie di mattoni standard, per poter valutare precisamente i ritiri, partendo dalla stessa argilla e aggiungendo differenti quantitativi di sabbia.

L'argilla è quella rossa di Noale, laminata ma priva di sabbia. Per entrambe le serie si sono realizzati tre mattoni: uno completamente privo di sabbia, uno al 10% di sabbia e uno al 25%. Sia l'impasto sia lo stampaggio sono stati eseguiti manualmente. Per l'essiccazione poi si è ricorsi alla stufa di laboratorio impostandola a una temperatura fissa per ogni serie di mattoni, ma diversa tra le due serie. In entrambi i casi l'essiccazione è stata piuttosto lunga, 4-5 giorni, per accertarsi che i mattoni fossero effettivamente secchi (l'umidità residua tendente a zero è stata verificata con due misurazioni ponderali con essiccazioni successive). L'umidità d'impasto dei sei mattoni è stata mantenuta pressoché costante e variando tra il 22 e il 23,5 % d'acqua.

Le due temperature di essiccazione sono rispettivamente 42 °C per la prima serie e 70 °C per la seconda serie. I mattoni sono stati inseriti nella stufa quando questa aveva già raggiunto la temperatura impostata. Ad essiccazione avvenuta si sono misurate le lunghezze dei mattoni. Nella tabella sottostante si riportano i ritiri.

Tabella 9 Risultati prove di essiccazione

Temperatura di essiccazione	% di sabbia	Lunghezza secco (mm)	Ritiro (%)
42 °C	0%	247,0	8,52
	10%	249,1	7,74
	25%	250,9	7,07
70 °C	0%	249,7	7,52
	10%	251,3	6,93
	25%	253,2	6,22

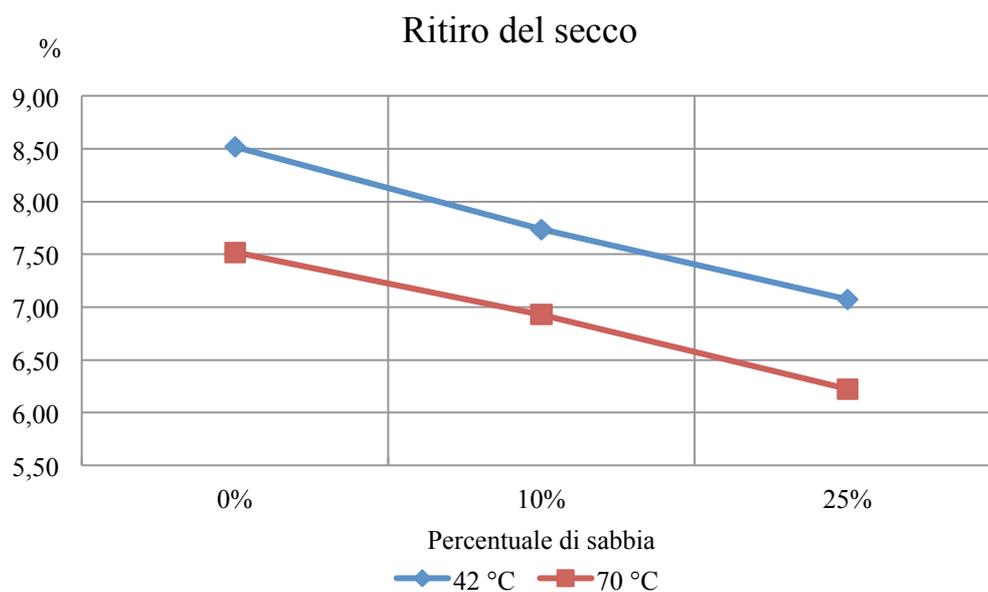


Grafico 16 Andamento del ritiro del secco

Come si può osservare in entrambi i casi, quindi indipendentemente dalla temperatura di essiccazione, la sabbia va a ridurre il ritiro. Si passa infatti dal 8,52 % al 7,07 % nel caso di 42 °C, mentre nel caso di 70 °C si passa dal 7,52 % al 6,22. Si nota inoltre come l'essiccazione a 42 °C presenti un ritiro maggiore rispetto a quella a 70 °C, indipendentemente dalla percentuale di sabbia. Questo fenomeno può essere attribuito al fatto che a 70 °C l'essiccazione è stata più rapida e ha coinvolto gli strati più esterni del mattone, impedendo un ritiro omogeneo e completo degli strati. A temperature più basse invece, l'essiccazione è molto più graduale e consente al pezzo di ritirarsi lentamente e completamente, presentando quindi un ritiro maggiore.

10. Conclusioni

La fase di essiccazione come si è visto è una fase essenziale della produzione del laterizio, caratterizzata da svariati fattori che devono essere bilanciati tra di loro per poter offrire al produttore un ottimo risultato di essiccazione tenendo anche in considerazione le esigenze produttive e naturalmente economiche.

Si è visto come la sabbia influenzi il processo di essiccazione della miscela argillosa. Percentuali più elevate vanno a ridurre il ritiro, permettendo quindi essiccazioni più rapide senza incorrere in rotture, ma presentando al tempo stesso una riduzione delle caratteristiche meccaniche del prodotto finito.

Anche la temperatura di essiccazione, soprattutto nella prima parte del processo, influisce sul ritiro del pezzo, temperature troppo elevate infatti possono portare ad una rottura dell'elemento mentre temperature troppo basse richiedono tempi di essiccazione lunghi, che spesso non combaciano con i tempi di produzione.

La quantità d'acqua dell'impasto, inoltre, modifica il ritiro del mattone, infatti impasti più ricchi d'acqua presentano un ritiro maggiore.

Le varie percentuali d'acqua, di sabbia e le temperature d'esercizio sono solo alcuni dei fattori essenziali da comprendere per poter controllare in pieno il processo essiccativo.

Un altro parametro fondamentale è l'umidità dell'aria coinvolta nel processo, la quale però in questo studio non è stato possibile monitorare data la semplicità degli strumenti di laboratorio.

Lo studio di questi fattori permette, assieme all'avanzamento tecnologico, di ottimizzare una tecnica produttiva esistente da più di 2000 anni, consentendo dei risultati sempre migliori, riducendo gli sprechi economici e al tempo stesso ambientali. La continua ricerca nel settore inoltre permette la realizzazione di nuovi prodotti con caratteristiche migliori, sia dal punto di vista meccanico sia dal punto di vista dell'isolamento termico e acustico. Le diverse tecniche produttive permettono inoltre di realizzare un'ampia gamma di prodotti che vanno a integrarsi perfettamente tra di loro permettendo delle opere edili a basso impatto ecologico.

11. Riferimenti Bibliografici

- Manuale operativo SML
- Istruzioni operative SML
- Gian Paolo Emiliani, Francesco Corbara, “Tecnologia ceramica Vol I e II”, Gruppo Editoriale Faenza Editrice S.p.A., 1999
- Bruno Fabbri, Michele Dondi, “La produzione del laterizio in Italia”, Gruppo Editoriale Faenza Editrice S.p.A., 1995
- Michele Dondi, “Caratterizzazione tecnologica delle argille per ceramica e dei prodotti di cottura”

Ringraziamenti

Desidero ringraziare sentitamente lo stabilimento di Noale dell'azienda Terreal Italia per l'occasione di svolgere il tirocinio. In particolare il Dott. Stangherlin Francesco e il Dott. Bresolin Davide per il costante supporto durante la stesura dell'elaborato e per la calda accoglienza datami. Ringrazio inoltre i signori Masiero Massimo, Michieletto Stefano, Barzan Simone e Agnoletto Massimo per la disponibilità dimostrata nel chiarire ogni mio tipo di dubbio.

Un ringraziamento inoltre al Prof. Guglielmi Massimo per essere stato sempre disponibile e comprensivo.