

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA MECCANICA – SETTORE MATERIALI

**TESI DI LAUREA TRIENNALE
IN INGEGNERIA DEI MATERIALI**

ANNO ACCADEMICO 2011-2012

***Laterizi faccia a vista:
tecnologie e caratteristiche
a confronto***

Relatore: Prof. Massimo Guglielmi

Laureando: Nicola Franceschini

SOMMARIO

Introduzione	6
I laterizi – generalità e tipologie	8
CAPITOLO 1 – Laterizi faccia a vista e per pavimentazione: la situazione italiana negli anni Novanta	10
1.1 – Resistenza meccanica a flessione e dati porosimetrici	12
1.1.1 – Resistenza a flessione	13
1.1.2 – Porosimetria	13
1.2 – Formulazione degli impasti	14
1.3 – Cicli di lavorazione	14
1.4 – Caratteristiche e composizione chimica delle argille/impasti	15
1.5 – Composizione mineralogica	16
1.6 – Granulometria	18
CAPITOLO 2 – Il ciclo di produzione dei laterizi faccia a vista nello stabilimento Terreal Italia S.r.l di Noale	20
2.1 – Materie prime	20
2.2 – Stoccaggio, conservazione e preparazione di sabbia e argilla	21
2.3 – Cenni su microstruttura argillosa e miscele principali	21
2.4 – Prelavorazione	22
2.5 – Formatura “in pasta molle”	23
2.6 – Essiccazione	24
2.7 – Impilaggio	25
2.8 – Cottura	25
2.9 – Imballaggio	26
2.10 – Lavorazioni secondarie	27
2.10.1 – Produzione di listelli e angolari	27
2.10.2 – Reparto di produzione pezzi speciali e forme piane	27

CAPITOLO 3 – Le prove chimico-fisiche di laboratorio	28
3.1 – Cenni alle normative europee di riferimento sui laterizi	28
3.2 – Prove giornaliere	30
3.2.1 – Verifica della percentuale di acqua nell’impasto	30
3.2.2 – Granulometria dell’impasto mediante setacciatura ad umido	30
3.2.3 – Determinazione del tenore totale dei carbonati nell’impasto (prova di calcimetria) ...	31
3.2.4 – Campionamento del prodotto secco	31
3.2.5 – Controllo di dimensioni e massa dei mattoni finiti	32
3.3 – Prove settimanali	32
3.3.1 – Determinazione di massa, dimensioni e densità del cotto (UNI-EN ISO 771-1, UNI-EN ISO 772-13,16)	32
3.3.2 – Stima della velocità iniziale di assorbimento d’acqua (UNI-EN ISO 772-11)	33
3.3.3 – Calcolo della percentuale di assorbimento d’acqua (UNI-EN ISO 771-1, appendice C)	33
3.3.4 – Determinazione del carico di rottura trasversale (UNI-EN ISO 1344, appendice D) ..	33
3.3.5 – Calcolo della resistenza a compressione (UNI-EN ISO 772-1)	34
3.3.6 – Stima della resistenza all’abrasione (UNI-EN ISO 1344, appendice E)	35
3.3.7 – Saggio della presenza di sali solubili (efflorescenze) (UNI ISO 8942/3)	35
3.3.8 – Verifica della presenza di sali non solubili (inclusioni calcaree) (UNI ISO 8942/3) ..	36
3.4 – Panoramica sui dati ottenuti	37
 CAPITOLO 4 - Esempio di benchmarking su laterizi faccia a vista di aziende concorrenti	 39
 Conclusioni.....	 49
 Riferimenti bibliografici	 50
 Ringraziamenti	 51

Introduzione

L'Azienda produttrice con la quale ho avuto modo di collaborare in forma di tirocinio e svolgere così l'esperienza finale del percorso di studi di Laurea Triennale in Ingegneria dei Materiali è Terreal Italia S.r.l. – San Marco Laterizi di Noale (VE), fondata nel 1900 e specializzata nella realizzazione industriale di laterizi faccia a vista ad impasto molle per la posa in parete o in pavimentazione.

Questi prodotti conservano tuttora un notevole apprezzamento in quanto dal punto di vista estetico si riconducono alla tradizione dell'antico mattone formato a mano. Oggi per un'Azienda del settore risulta fondamentale coniugare la storia con le moderne tecnologie di fabbricazione, in un processo di continuo aggiornamento che porta ad ottenere manufatti non soltanto gradevoli alla vista, ma anche performanti nel comportamento in posa e in esercizio, nonché stabili dal punto di vista chimico, mineralogico e meccanico.

Terreal Italia S.r.l. vanta la realizzazione del primo impianto automatico in Italia per la produzione di questa tipologia di laterizi nel 1972, per merito del trasferimento di specifiche conoscenze tecnologiche importate dai Paesi Bassi, dopo decenni di esperienza nel campo della stampatura e movimentazione manuale.

Attualmente l'Azienda si articola in tre centri di produzione situati nel Nord e Centro Italia: lo stabilimento storico di Noale (muratura e pezzi speciali), quello di Castiglion Fiorentino (AR) (muratura e coperture), e quello di Valenza (AL) (coperture), dove si trova la sede legale.

Nel presente elaborato si vuole fornire anzitutto una panoramica generale sulle principali tematiche legate ai laterizi per murature a vista e per pavimentazioni prodotti nel nostro Paese, alla luce dei dati ricavati da un'indagine di settore. Seguirà poi una sintetica descrizione del ciclo produttivo adottato nello stabilimento Terreal Italia di Noale, nonché delle prove chimico-fisiche di laboratorio solitamente effettuate per controllare periodicamente le proprietà di prodotti e semilavorati. In ultima parte verrà esposto un esempio di procedura aziendale che oggi sta rivestendo un'importanza sempre maggiore nelle strategie di miglioramento della produzione e della qualità, ovvero il confronto con prodotti equivalenti realizzati da imprese concorrenti nell'ottica del cosiddetto "benchmarking", sulla base delle medesime prove di laboratorio.

Va infine tenuto presente che data l'enorme varietà di concetti e problematiche intimamente legate alla definizione, alla natura delle materie prime e alle tecnologie di produzione del manufatto in laterizio, lo scritto si propone di affrontarne le rispettive generalità senza addentrarsi in particolari eccessivamente specifici, tipici di un testo specialistico o di un trattato.

Padova, ottobre 2011



Veduta aerea dello stabilimento Terreal Italia S.r.l. di Noale (VE)

I Laterizi – generalità e tipologie

Solitamente, per indicare un materiale ceramico poroso, realizzato con pasta cristallina e senza rivestimenti, si adotta il termine “terracotta”. Oggi la terracotta è in larghissima parte rappresentata dai prodotti ceramici destinati all’impiego nelle costruzioni edili, i quali sono comunemente classificati col nome di “laterizi”.

Fra le caratteristiche salienti di un laterizio spiccano la modularità della forma (quindi la possibilità di realizzare un prodotto standardizzato e facilmente replicabile); la durata nel tempo e la buona capacità di opposizione agli agenti atmosferici; una bassa conducibilità termica ed un costo relativamente contenuto.

Dall’antichità fino al diciannovesimo secolo, le tecniche produttive dei laterizi consistevano per lo più in processi che prevedevano una formatura esclusivamente manuale, un’essiccazione condotta naturalmente mediante esposizione al calore del sole, ed una cottura all’interno di forni con temperatura e grado di ossidazione fortemente disomogenei da zona a zona. Grazie all’avvento delle macchine motrici e dei primi sistemi di razionalizzazione della produzione, è stato possibile rendere completamente meccanica l’operazione di formatura. Inoltre, l’arricchita conoscenza derivata dagli studi di termodinamica e dei moti dei gas ha consentito la realizzazione di forni capaci di effettuare un preriscaldamento del materiale secco per merito dei dispositivi di tiraggio dei fumi, controllando l’apporto di combustibile e di aria comburente necessari alla cottura. Tali progressi tecnologici hanno perciò permesso di elevare la qualità e la quantità produttiva dei laterizi, quest’ultima ormai estendibile su scala internazionale se si considera il potenziale di un singolo stabilimento.

Attualmente i prodotti in laterizio comprendono molte tipologie che rispondono in maniera adeguata ad altrettante esigenze: in primis sono in grado di conferire una resistenza meccanica idonea alle specifiche di costruzioni in muratura, perfino se queste sono situate in zona a rischio sismico; possiedono inoltre una discreta leggerezza e relativamente ridotte dimensioni, particolarmente apprezzabili in strutture di questo tipo poiché permettono una buona maneggevolezza durante le operazioni di posa in opera. Infine consentono di ottenere un sufficiente grado di abitabilità per merito delle loro caratteristiche termo e fonoisolanti.

Da tali preliminari considerazioni è possibile ottenere la seguente classificazione generale:

- **Mattoni pieni:** sono elementi per muratura che non presentano fori, oppure forature la cui superficie è approssimativamente inferiore al 15% della superficie totale. Vengono solitamente impiegati per la realizzazione di murature portanti e non. In generale le

dimensioni ufficialmente riconosciute per tali prodotti sono 5,5x12x25 cm, tuttavia esistono numerose varianti che comunque non si discostano per più di 0,5 cm dai dati standard. Particolare attenzione meritano i mattoni pieni come i “faccia a vista”, che spiccano per il loro colore e per la finitura (sabbata, smaltata, ecc.) della superficie; sono utilizzati per costruire facciate in muratura in assenza di intonaco. Appartengono a tale tipologia anche i mattoni formati in pasta molle e di forma più o meno irregolare, del tutto simili a quelli prodotti tradizionalmente a mano.

- **Mattoni e blocchi semipieni:** sono laterizi che presentano forature con percentuali variabili fra il 15% e il 45% della superficie totale. Anch’essi sono destinati alla posa in opera, mantenendo i fori sempre in posizione ortogonale alla superficie di appoggio. I fori, che possono essere circolari, quadrati o rettangolari, conferiscono al prodotto un’ancor maggiore leggerezza, un’essiccazione più rapida ed una migliore adesione alle malte.
- **Elementi per solai:** sono generalmente parallelepipedi in laterizio ad elevata percentuale di foratura, di solito compresa fra il 60% e il 75% della superficie totale. Vengono utilizzati per la realizzazione delle strutture orizzontali che suddividono i piani degli edifici (solai), oppure come materiali di sostegno per le coperture. Le prestazioni di tali prodotti sono correlate in linea di principio allo spessore, alla geometria e distribuzione dei fori, al materiale di accoppiamento in posa (calcestruzzo, laterizio ad armatura metallica, ecc.).
- **Elementi per coperture discontinue:** a tale categoria appartengono laterizi come tegole curve e piane, impiegate per ricoprire i tetti degli edifici. Esse, oltre che per forma e dimensioni, si distinguono anche per la tecnica di giunzione fra elementi adiacenti: mentre per le tegole curve basta una semplice sovrapposizione per garantire una soddisfacente tenuta agli agenti atmosferici, per le tegole piane è necessario un incastro su tre lati.
- **Tavelle e tavelloni:** sono generalmente laterizi forati a setti sottili; i tavelloni, impiegati per la costruzione di strutture orizzontali o verticali, presentano uno spessore variabile fra i 6 e gli 8 cm, larghezza di 25 cm e lunghezza elevata, da 50 cm a 200 cm. Le tavelle presentano un’analogia configurazione, ma il loro spessore è minore (dai 4 ai 6 cm) e la lunghezza varia fra i 40 cm e i 50 cm; sono solitamente presenti in controsoffittature o in coperture per l’isolamento termico.

- **Cotto da pavimentazione:** questo elemento è generalmente costituito da piastrelle di forma rettangolare o quadrata, aventi dimensioni variabili: lo spessore tuttavia è ridotto e di solito non supera i 2 cm. L'impasto di tali prodotti si distingue per la colorazione caratteristica (rossa nella maggior parte dei casi), e comprende granuli di rocce dure altofondenti o di sfridi di lavorazione (chamotte o inerte) che conferiscono al cotto una maggior resistenza all'abrasione (sfregamento). Sono inoltre dotati di setti forati laterali in grado di assicurare l'adesione al legante durante la posa in opera, caratteristica tipica del noto "cotto toscano".
- **Pezzi speciali:** tali prodotti comprendono elementi di svariate forme e geometrie, e sono solitamente destinati alla posa in opere di restauro architettonico. Si possono quindi annoverare fregi, elementi per colonne, capitelli, archi, comignoli, vasi da fiori, ecc.

CAPITOLO 1

Laterizi faccia a vista e per pavimentazione - la situazione italiana negli anni Novanta

“I laterizi e gli elementi speciali faccia a vista costituiscono la "nobilitazione" del mattone comune per muratura. La loro produzione richiede l'uso di argille selezionate, scelte in modo che il prodotto finale presenti adeguate caratteristiche estetiche, la massima resistenza agli agenti atmosferici e le prestazioni proprie di un materiale destinato ad essere lasciato a vista. Essi hanno vari aspetti (in forma e colori) e trattamenti superficiali (rullati, sabbiati, graffiati, ecc.). In relazione alle diverse tipologie di produzione si possono classificare in "**estrusi**" (pieni, semipieni o forati), "**pasta molle**" (fatti a mano o meccanicamente), "**pressati**" (pieni, con percentuale di umidità dell'impasto che varia dal citato "pasta molle" al secco). Oltre ai diversi tipi di faccia a vista vengono prodotti pezzi speciali (in piccole quantità o su specifico disegno) per archi e colonne, per cimase, cornici e scalini, per pavimentazioni, arredo urbano, ecc.” (*estratto dal sito Internet www.laterizio.it*)

Fra le tipologie sopra descritte, si vuole dedicare un maggior grado di attenzione al mattone faccia a vista e all'elemento da pavimentazione prodotti con la tecnologia ad "impasto molle", in altre parole il principale prodotto dello stabilimento Terreal Italia di Noale. Non a caso si è fatto uso del singolare: infatti in tale stabilimento viene realizzato un laterizio in grado di rispondere sia ad esigenze strutturali ed estetiche che di pavimentazione: il solo mattone faccia a vista può essere quindi destinato ai due differenti impieghi. Tuttavia, essendo note in

generale le differenze di forma, geometria e processo di produzione, ed allo scopo di effettuare una sommaria panoramica della situazione in Italia, è doveroso mantenere la separazione tipologica di questi due elementi in base alla classificazione descritta in precedenza. Si ribadisce l'intento di esporre dati e concetti il più possibile generali, in riferimento alle caratteristiche del prodotto maggiormente correlate ad aspetti tecnologici, come resistenza meccanica a flessione, porosità, composizione chimica, cicli di lavorazione impiegati.

Secondo un'indagine statistica condotta dall'IRTEC (Istituto di Ricerche Tecnologiche per la Ceramica del Consiglio Nazionale delle Ricerche) a partire dal 1991, l'Italia è risultata il maggior produttore di laterizi in Europa intorno alla metà degli anni Novanta, con un volume complessivo stimato intorno ai 20 milioni di tonnellate; di queste, circa il 5% (975000 t) rappresentava il comparto del mattone pieno faccia a vista, mentre l'1,25 % (250000 t) si riferiva al laterizio per pavimentazione. Se si considera la totalità della produzione italiana indipendentemente dalle tipologie, all'epoca erano operativi circa 350 stabilimenti in tutto il Paese, con una distribuzione non uniforme sul territorio: poco meno della metà (45%) situati nelle regioni del Nord, il 17% al Centro, il 25% al Sud ed il 13% sulle Isole. L'indagine ha coinvolto circa il 70% degli stabilimenti italiani (243), e la metodologia principale di campionatura è consistita nello scegliere le tipologie di prodotto maggiormente rappresentative di ciascuno di essi. Lo studio non si è tuttavia limitato ai soli laterizi finiti: per quanto concerne le materie prime argillose, sono stati presi in considerazione tutti i costituenti degli impasti. Ne è conseguito che ad un unico prodotto hanno corrisposto una o più argille, a conferma del fatto che il totale di 327 campionamenti risulta superiore al numero dei prodotti finiti.

La maggior parte della produzione italiana di mattoni faccia a vista nel 1994 era situata in Emilia-Romagna, nelle Marche ed in Campania, dove si concentrava il 65% del totale. In Veneto si è registrata una densità di stabilimenti pari ad 1 per le provincie di Venezia e Treviso, di 2 per la provincia di Padova. Sono stati campionati 35 prodotti provenienti da 24 centri produttivi, oltre la metà dei quali presentavano il "faccia a vista" come manufatto principale. Il numero di prodotti ha superato quello degli stabilimenti in quanto solitamente si realizzano insieme mattoni con caratteristiche e formulazione di impasti differenti.

I centri di produzione dei laterizi per pavimentazione selezionati sono stati circa 60, con un'alta concentrazione nella regione Toscana (16); in Veneto invece soltanto 5.

Complessivamente è il Nord Italia a possedere il più elevato numero di stabilimenti, che peraltro sono risultati essere per la maggior parte specializzati esclusivamente in tale fabbricazione. Solo una decina di impianti abbina la produzione di manufatti per pavimentazione ad altri tipi di laterizi, nella fattispecie mattoni faccia a vista o elementi per coperture. Il campione per le analisi è consistito in 20 prodotti finiti, 10 dei quali provenienti da centri toscani.

[NOTA: tutti i dati, le immagini e i grafici del presente capitolo sono stati tratti dal testo: B. Fabbri, M. Dondi, *La produzione del laterizio in Italia*, Gruppo Editoriale Faenza (1995)]

1.1 - Resistenza meccanica a flessione e dati porosimetrici

I dati ottenuti a seguito dei test e delle analisi sono i seguenti (a sinistra la situazione per mattoni faccia a vista, a destra quella per i laterizi per pavimentazione):

N° campione	r. a flessione		porosimetria	
	media (Kg/cm ²)	dev. standard	por. aperta (%)	mediana (µm)
1	116	9	42,7	1,65
2	70	10	37,7	1,10
3	62	8	37,5	1,30
4	136	12	38,2	1,00
5	160	11	33,0	1,00
6	33	6	37,8	2,05
7	44	6	45,9	1,80
8	57	8	47,2	1,00
9	46	6	45,8	1,45
10	113	6	32,8	0,95
11	145	9	36,6	0,60
12	139	21	39,6	1,00
13	94	9	41,3	0,90
14	54	6	35,4	2,00
15	97	22	34,2	0,65
16	51	6	36,1	3,00
17	90	12	35,8	1,80
18	63	8	41,6	2,00
19	76	11	28,2	2,00
20	221	42	35,0	0,60
21	64	9	39,3	0,75
22	67	3	45,9	1,50
23	68	4	47,2	1,80
24	58	7	46,0	0,90
25	114	14	24,6	2,00
26	65	9	45,8	1,40
27	54	5	45,0	0,60
28	131	13	38,4	0,50
29	92	21	29,9	0,25
30	66	9	36,2	0,95
31	51	2	33,8	3,00
32	140	4	27,2	0,80
33	18	2	28,5	0,70
34	67	3	26,3	2,00
35	64	12	30,6	1,55

N° campione	r. a flessione		porosimetria	
	media (Kg/cm ²)	dev. Standard	por. Aperta (%)	mediana (µm)
1	228	4	29,6	0,80
2	215	23	27,9	0,70
3	193	16	26,2	0,95
4	178	26	19,6	0,60
5	252	9	29,2	1,80
6	225	9	30,6	1,80
7	253	18	30,8	2,40
8	237	17	23,5	0,55
9	162	9	32,4	0,65
10	220	15	20,9	0,22
11	135	16	30,6	0,90
12	220	19	21,1	0,25
13	192	22	24,0	0,17
14	230	10	23,7	0,20
15	154	21	27,6	0,40
16	180	18	18,6	0,20
17	197	7	16,0	0,16
18	158	9	24,1	0,40
19	179	19	21,8	0,10
20	141	4	37,6	0,90

1.1.1 – Resistenza a flessione

I dati ottenuti per i laterizi faccia a vista hanno presentato una fortissima variabilità, pertanto l'intervallo dei risultati è risultato molto ampio ($18 \text{ Kg/cm}^2 \div 221 \text{ Kg/cm}^2$). Essendo piccola la deviazione standard delle misure ricavate per ciascun prodotto durante la prova, una possibile ragione dell'esistenza di tale divario potrebbe essere inerente alla formulazione degli impasti o al ciclo di lavorazione: si è notato infatti che i valori più bassi corrispondono a prodotti formati mediante stampaggio e pressatura, mentre quelli più elevati ai mattoni estrusi.

La variabilità si è ripetuta considerando il campione degli elementi da pavimentazione (da 135 a 253 Kg/cm^2), in cui i valori più elevati sono stati raggiunti da tre manufatti formati mediante pressatura.

1.1.2 – Porosimetria

La porosità aperta totale dei campioni faccia a vista testati si è mostrata variabile dal 25% al 47%, con diametro medio dei pori compreso fra 0,5 e 2 micron. Anche tale ambito può essere correlato alla tecnologia di formatura dei mattoni, inversamente a quanto riscontrato per la resistenza meccanica a flessione: i valori di porosità più bassi sono propri di mattoni estrusi e pressati, mentre quelli stampati si sono attestati a valori più alti del 35%. Si è inoltre rilevata per i prodotti estrusi una lieve tendenza del diametro medio a diminuire al crescere della porosità.

I laterizi per pavimentazione hanno invece presentato una porosità aperta minore se paragonata ai “faccia a vista” e alle altre tipologie di prodotti: quasi tutti gli elementi testati sono stati caratterizzati da valori minori del 32%. Notevole dispersione si è rilevata per la distribuzione delle dimensioni dei pori, con diametro medio oscillante fra $0,1 \mu\text{m}$ e valori superiori ai $2 \mu\text{m}$.

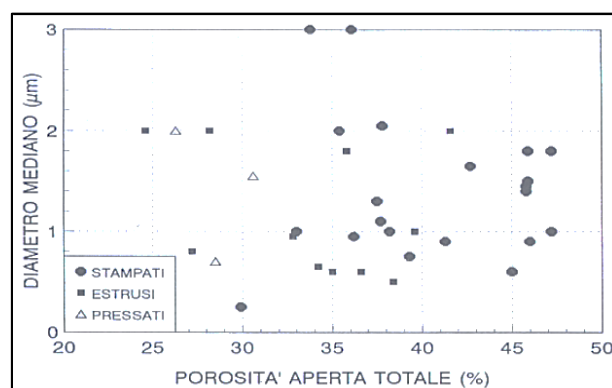


Fig. 1.1 - corrispondenza porosità aperta-diametro mediano dei pori per i mattoni faccia a vista

1.2 - Formulazione degli impasti

Più della metà dei mattoni faccia a vista analizzati è stata realizzata senza l'impiego di smagranti (es. sabbia); inoltre sono stati riscontrati molti casi in cui si sono miscelate due o più argille diverse: tale eterogeneità riflette la ricerca, da parte dei produttori, di ottenere prodotti con caratteristiche specifiche, soprattutto estetiche (come la colorazione, dal beige al rossiccio, e la finitura superficiale).

Anche per gli elementi da pavimentazione si sono riscontrate alcune differenze riguardo il numero di argille impiegate per la formulazione dell'impasto, nonché per la presenza o meno di smagranti. In definitiva, si è ottenuta la seguente panoramica:

- 8 manufatti ottenuti con un solo tipo di argilla senza l'impiego di smagranti;
- 5 manufatti ottenuti per miscela di 2 o 3 argille senza utilizzare smagranti;
- 7 manufatti ottenuti per miscela complessa di 2 o più argille con smagrante, solitamente chamotte, incidente per valori oscillanti fra il 10 e il 30% in peso dell'impasto.

Tutti i centri produttivi del Settentrione hanno impiegato impasti complessi, ovvero rispondenti alla terza classe elencata.

1.3 - Cicli di lavorazione

I prodotti "faccia a vista" testati si sono potuti suddividere nelle seguenti categorie: 28 lavorati a semi-umido (disgregazione preliminare del materiale seguita da laminazione e immissione d'acqua per l'impasto) e 7 lavorati a secco (macinazione in mulino a martelli e successiva umidificazione con acqua). La quantità di liquido nell'impasto è risultata variabile a seconda del tipo di formatura adottato: 20 provini sono stati stampati in pasta molle, a macchina o a mano, con percentuali d'acqua che oscillavano fra il 30% e il 40%; 12 sono stati estrusi (con tenore di H₂O compreso fra il 20% e il 25%); i rimanenti 3 campioni invece sono stati pressati con il 6% circa di acqua.

La metà dei prodotti è stata essiccata in ambienti a camere con cicli variabili fra le 36 e le 72 ore, mentre i rimanenti in tunnel semicontinui (24-48 ore) o continui (24-36 ore). Infine, 24 manufatti sono stati cotti tramite forni a tunnel, con intervalli di temperatura generalmente compresi fra i 900 °C e i 1020 °C; 9 in forni Hoffmann ad intervalli lievemente più alti (dai 950 °C ai 1100 °C); 2 in forni a camera/pozzo. Le tempistiche di cottura sono risultate ben più lunghe per i forni Hoffmann se confrontate con quelle dei forni a tunnel: nel primo caso si

sono infatti registrati cicli talvolta superiori alle 80 ore, mentre nel secondo l'intera fase ha interessato un intervallo compreso fra le 24 e le 60 ore.

Per quanto concerne il campione di laterizi per pavimentazione, le materie prime sono state processate mediante comminuzione o disgregazione delle particelle: in effetti la quasi totalità degli impasti (17) è stata macinata a secco con mulini a martelli e successivamente bagnata; i restanti 3 sono invece stati trattati mediante frangizolle e laminatoio. La formatura più utilizzata è stata quella per estrusione, con percentuali d'acqua comprese fra il 15 e il 20%. La successiva essiccazione è stata condotta in camere o in tunnel semicontinui per circa la metà dei casi; i cicli hanno mostrato estreme variabilità di durata, dalle 24 alle 120 (e più) ore per gli essiccatoi convenzionali, solo 1-2 ore per gli impianti continui. Infine, la fase di cottura, salvo pochissime eccezioni, è stata condotta in forni a tunnel: allo scopo di diminuire gli effetti di tempo e temperatura, sono stati adottati cicli variabili dalle 96 ore a 930 °C, fino alle 40-48 ore a 1000 °C.

1.4 - Caratteristiche e composizione chimica delle argille/impasti

Per l'analisi delle materie prime dei "faccia a vista" sono state selezionate 36 argille, per le quali è stato possibile operare la seguente sommaria classificazione:

- 17 argille impiegate da sole, oppure con aggiunta di un opportuno smagrante (ad es. sabbia o chamotte);
- 16 argille costituenti la frazione percentuale preponderante all'interno dell'impasto (quantità uguali o superiori al 23% in massa): sono risultate numericamente inferiori al numero dei prodotti corrispondenti, poiché le stesse materie prime sono state a volte mescolate fra loro in proporzioni variabili, al fine di ottenere un manufatto con caratteristiche (spesso cromatiche) differenti;
- 3 argille secondarie (cioè tali da comparire nell'impasto in quantità intorno al 10%).

L'intero lotto testato ha presentato una notevole varianza composizionale, sia considerato nel suo insieme che in base alla classificazione precedente. Le oscillazioni più significative hanno interessato il contributo in calcio, il cui ossido CaO è stato rilevato in percentuali che variano addirittura da percentuali molto basse al 20% circa. Sulla base di tale considerazione, è stato possibile operare un'ulteriore classificazione del campione:

- argille povere in CaO (tenore dall'1,5% al 3,2%). Per esse si sono registrati generalmente i tenori di alluminio, silicio e ferro più elevati. In relazione ai prodotti finiti corrispondenti, hanno fornito mattoni di colore rosso in varie tonalità;

- argille con CaO compreso fra il 7% e il 20%; tale abbondanza ha lasciato supporre una presenza più o meno massiccia di composti carbonatici; le % di Al, Si e Fe sono state inferiori rispetto a quelle del gruppo precedente. In corrispondenza al contenuto di Ca, il prodotto finito ha presentato un colore dal rosso-giallastro al giallo, talvolta con tinte molto chiare.

Passando al comparto pavimentazione, sono state analizzate 27 argille, anch'esse suddivisibili in base alla formulazione degli impasti:

- 8 argille utilizzate sole, uniche componenti dell'impasto;
- 18 argille impiegate in miscele binarie o terziarie (con presenza o meno di opportuno sgrassante), solitamente in quantità variabili dal 15 all'80% in peso;
- 1 impasto di 2 argille, una delle quali costituente l'80-85% dell'intera miscela.

Anche in tale frangente si sono registrate sensibili variazioni composizionali, sia a livello dei componenti primari che a quello dei componenti minori. In generale, gli elementi più abbondanti rilevati sono stati silice (SiO_2 , 41-67%), allumina (Al_2O_3 , 10-20%), CaO (0-19%); variabilità presente anche per gli ossidi di ferro, magnesio e potassio, seppur rilevati in minor quantità. Si sono potute così delineare classi di argille ricche in SiO_2 (60-67%) e povere in calcio (<3%), e di argille meno ricche di silice (49-55%) ma contenenti più CaO (>10%). Si è infine osservato che le materie prime impiegate sole sono state caratterizzate da valori intermedi di ossido di calcio, mentre quelle povere in calcio sono sempre state miscelate con altre più ricche di CaO.

1.5 - Composizione mineralogica

Dai dati di analisi per i mattoni faccia a vista, spicca la presenza di due minerali in alte percentuali: il quarzo (con punte fino al 48%) e l'illite (dal 14% al 42%). La calcite è stata registrata spesso in abbondanza, tuttavia in alcuni casi è perfino risultata assente; in piccole quantità invece figurano il feldspato di potassio e la dolomite. Le elevate frazioni di smectite rilevate per un piccolo numero di argille (dal 10% al 20%) sono state considerate ipotetico indice di eventuali inconvenienti in fase di lavorazione, soprattutto in fase di essiccamento del verde.

Anche per l'analisi mineralogica è stato possibile stilare una classificazione in due gruppi A e B in base alla povertà o alla ricchezza in calcio. La composizione chimico-mineralogica prevalente (in % di peso) riscontrata per le argille faccia a vista è la seguente:

Composto	Gruppo A	Gruppo B
SiO ₂	63-70	42-60
Al ₂ O ₃	14-17	11,0-12,5
TiO ₂	≈0,7	≈0,6
Fe ₂ O ₃	4,5-6,0	3,5-5,0
MnO	≈0,1	≈0,1
MgO	1,5-2,5	2,0-3,0
CaO	<3	7-20
Na ₂ O	≈1,0	≈1,0
K ₂ O	2,0-4,0	2,0-4,0
P ₂ O ₅	≈0,1	≈0,2
S	<0,05	<0,2
P.F.	4-8	9-22
Quarzo + feldspati	32-63	28-53
Minerali argillosi	36-65	28-49
Carbonati	<4	12-41

Complessivamente, riguardo l'incidenza dei tre principali componenti minerali degli impasti (quarzo + feldspati, minerali argillosi e carbonati) si osserva anche in tale frangente una notevole variabilità, in buona parte associabile alla ricerca di effetti diversi, soprattutto estetici, nei prodotti.

Analoga si è presentata la situazione degli elementi per pavimentazione, seppur le percentuali in peso di quarzo e illite siano risultate inferiori (20-42% e 17-36% rispettivamente). Clorite e feldspati hanno inciso per quantità significative (dal 4% al 13-16%), mentre la calcite è passata dal non essere presente all'avere valori intorno al 30%. Pertanto, si nota che 8 materie prime hanno presentato un basso tenore di carbonati (<4%) e quantità superiori al 32% in quarzo; le restanti 19, un alta percentuale di carbonati (7-37%) e minor contributo di minerale quarzatico (20-30%). In base a tale classificazione, le argille lavorate da sole sono state definite carbonatiche.

1.6 –Granulometria

La maggioranza dei materiali impiegati per la produzione dei laterizi faccia a vista è stata classificata generalmente come *argilla siltosa* o *silt argilloso* sulla base del diagramma triangolare di Shepard, raffigurato come segue in funzione dei diametri medi delle particelle:

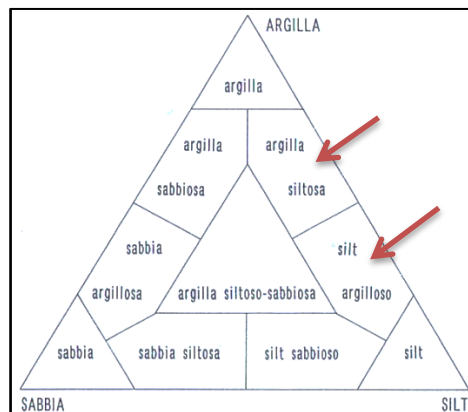


Fig. 1.2 - diagramma ternario sabbia (>63 μm) - silt (4-63 μm) – argilla (<4 μm)

E' stato altresì importante l'aver caratterizzato la granulometria delle argille in base alla formulazione degli impasti ad esse corrispondenti, utilizzando il diagramma di Winkler:

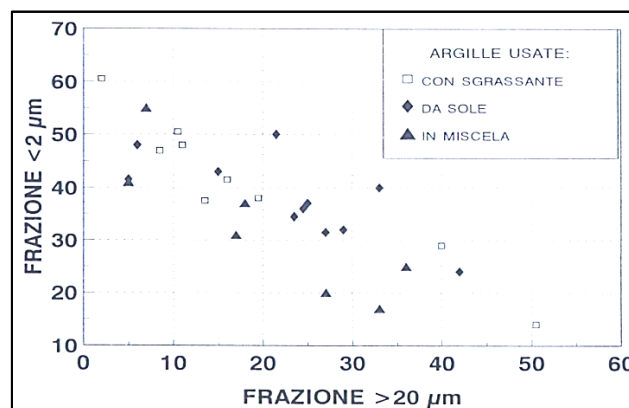


Fig. 1.3 - distribuzione della granulometria argillosa per i mattoni faccia a vista

Una volta evidenziate le argille impiegate da sole, con sgrassante o in miscela, si denota una distribuzione delle frazioni piuttosto ampia, sia per quanto riguarda la componente fine (<2 μm) che per quella più grossolana (>20 μm). Le frazioni aventi diametri intermedi fra 2 e 20 μm si sono invece attestate a variazioni percentuali minime, mantenendosi nella maggior parte dei casi intorno al 40-45%. Globalmente, le argille per le quali è stata prevista l'aggiunta

di un opportuno sgrassante sono risultate quelle con frazione fina più abbondante e minor frazione grossolana, al contrario di quelle impiegate da sole. Le materie prime da miscela non hanno presentato una granulometria tendenzialmente uniforme, a conferma dell'esigenza di correggere tali disomogeneità proprio con la miscelazione stessa.

Non si sono rilevate infine significative differenze fra argille povere, o più-meno abbondanti in carbonati.

Le 27 materie prime degli elementi per pavimentazione sono state anch'esse classificate secondo il metodo di Shepard: 13 argille siltose, 4 silt argillosi, 3 sabbie argillose e un'argilla propriamente detta. Nella maggior parte dei casi, le argille sono state sottoposte a macinazione, pertanto la distribuzione della granulometria dei successivi impasti è risultata differente rispetto a quella dei materiali di partenza grezzi. Il relativo diagramma di Winkler si è proposto di evidenziare l'effetto della macinazione, che ha ridotto la frazione più grossa ($>20\ \mu\text{m}$) e aumentato quella più fine ($<2\ \mu\text{m}$).

CAPITOLO 2

Il ciclo di produzione dei laterizi faccia a vista nello stabilimento Terreal Italia S.r.l di Noale

2.1 - Materie prime

La scelta delle materie prime da utilizzare per la produzione dei laterizi deve essere operata sulla base di precise proprietà chimico-fisiche, le quali vengono determinate con prove ed analisi secondo il “piano di controllo sui materiali in ingresso” aziendale. Ai fini dell’approvvigionamento, oltre ai previsti requisiti tecnici devono anche essere effettuate valutazioni di tipo economico.

Per l’acquisizione delle argille, Terreal Italia S.r.l. sfrutta prevalentemente la cava di proprietà situata in Marcon (VE), tuttavia l’Azienda importa questa materia prima anche da altri siti di escavazione controllati ed autorizzati nel caso in cui si richiedano delle argille aventi caratteristiche diverse come il colore. Grazie alla loro catalogazione, in base alle proprietà chimico-fisiche e mineralogiche nonché alla profondità di scavo ed al luogo di provenienza, è stato possibile creare una mappa delle più importanti zone geografiche suddivise per tipologia di argilla. In tal modo si possono prevedere proprietà e comportamenti di un’argilla nel processo produttivo ancor prima di effettuare delle prove/analisi.

L’impasto viene stampato sotto forma di mattone ed ottenuto miscelando in opportuni rapporti argilla, acqua fredda, vapore e sabbia. L’acqua serve a creare la giusta consistenza e viscosità all’impasto (tipica della tecnologia a “impasto molle”). Il calore conferito dal vapore acqueo, oltre a migliorare la lavorabilità dell’impasto stesso serve a facilitare l’essiccazione del mattone. Anche la sabbia, in qualità di “smagrante”, consente di migliorare la fase di essiccazione e, in base alla frazione aggiunta nell’impasto, permette di controllare il ritiro del prodotto.

Oltre alla sabbia da impasto, viene utilizzata anche quella “da rivestimento” che ha la funzione di disarmante, cioè di aiutare l’uscita del mattone dallo stampo, e quella di conferire al cotto una particolare finitura estetica.

La sabbia da rivestimento può essere scelta tra diversi tipi di minerali (quarzite, basalto, ecc.) e in diverse granulometrie, così da permettere l’ottenimento di finiture e colorazioni diverse del prodotto finito. Come l’argilla anche le sabbie vengono importate da cave selezionate.

2.2 - Stoccaggio, conservazione e preparazione di sabbia e argilla

Le sabbie, suddivise per tipologia, vengono stoccate in un grande capannone coperto (silos), mentre le argille vengono depositate all'aperto in enormi cumuli chiamati "monti". La formazione dei monti viene effettuata per strati orizzontali successivi e ciascun monte deve essere costituito da argille aventi caratteristiche simili, principalmente il colore. Lo stoccaggio così effettuato permette di avere un'elevata autonomia produttiva e aiuta l'omogeneizzazione delle argille per effetto dell'esposizione agli agenti atmosferici: infatti la completa costruzione di un monte può durare qualche anno e successivamente possono trascorrere ulteriori dodici mesi prima che venga prelevato del materiale. La stratificazione inoltre consente alla pala meccanica di prelevare porzioni argillose tagliando il monte in senso verticale, così da coinvolgere strati depositati in periodi diversi, ed effettuando così un ulteriore mescolamento. Solitamente la pala preleva argilla da uno o più monti per realizzare delle miscele di argille ad hoc in base ai tipi di prodotti che si desiderano produrre. Tali miscele, pronte all'uso in produzione, vengono stoccate in silos al riparo dalle precipitazioni piovose, offrendo un'autonomia produttiva di circa una settimana.

2.3 - Cenni su microstruttura argillosa e miscele principali

La microstruttura dell'argilla comunemente impiegata consta in un insieme di minerali, in larga misura silicati a struttura tetraedrica a strati piani, in cui un atomo di silicio può legarsi ad altri quattro atomi di ossigeno. L'unità fondamentale tetraedrica così composta si può replicare regolarmente per formare strutture ad anelli esagonali, grazie alla coordinazione per tre vertici. I piani così ottenuti possono a loro volta legarsi a piani adiacenti ad unità fondamentale ottagonale, costituita da un atomo centrale di alluminio coordinato con atomi di ossigeno e gruppi ossidrili ai vertici. Anche tali strutture planari formano anelli esagonali che danno origine ai differenti minerali d'argilla in funzione del tipo di sovrapposizione fra i piani tetraedrici ed ottaedrici.

Lo stabilimento Terreal Italia di Noale è specializzato nella produzione di mattoni faccia a vista di dimensioni standard: i colori di base del prodotto finito sono il rosso, il rosato e il giallo paglierino, ma è possibile ottenere prodotti con tonalità differenti agendo sulla combinazione delle argille nelle miscele di partenza e sulla finitura superficiale.

Da analisi chimiche effettuate sui prodotti Terreal Italia, emerge che le tre miscele di base si distinguono principalmente per il contenuto di ossido di calcio, nettamente più elevato per il mattone giallo paglierino rispetto ai laterizi rosso e rosato. Ciò influisce sulle caratteristiche chimico-fisiche e meccaniche, come si vedrà in seguito. Per tutte le miscele è comunque molto elevato il contenuto in silice (SiO_2), con percentuali in massa che si attestano intorno al 45% per il mattone giallo paglierino, 60% per il rosso e 55% per il rosato.

Sono presenti in tracce anche ossidi e carbonati di altri elementi, come quelli dei metalli alcalini, di titanio, ferro e magnesio. In particolare si cita l'allumina (Al_2O_3) come ossido maggiormente presente dopo la silice, con percentuali che variano dall'11% al 13%.

Nello Stabilimento Terreal Italia di Noale la produzione si articola su due linee produttive distinte:

1. linea automatizzata per la produzione di formati standard (25x12 cm UNI);
2. linea di produzione semiautomatica per la produzione di pezzi speciali e forme particolari stampate esclusivamente a mano "all'antica maniera".

Di seguito si descrive nel dettaglio la produzione automatizzata.

2.4 – Prelavorazione

La pala provvede a riempire, con la miscela argillosa e le sabbie richieste dalla produzione, dei cassoni dotati di tramoggia, dai quali escono dei nastri trasportatori che introducono le materie prime nello stabilimento, in particolare nella zona della prelavorazione.

La prelavorazione delle materie prime consiste nell'insieme delle operazioni atte a purificarle e a miscelarle in modo omogeneo per ottenere un impasto adatto allo stampaggio.

Tali operazioni si succedono secondo il seguente ordine cronologico:

- Vagliatura della miscela argillosa;
- aggiunta di sabbia alla miscela argillosa;
- laminazione;
- setacciatura con parziale aggiunta d'acqua;
- impastatura con aggiunta di acqua e vapore.

Si esaminano ora nel dettaglio le singole operazioni:

- Vagliatura: l'argilla viene immessa all'interno di un rotofiltro costituito essenzialmente da due cilindri rotanti cavi con superficie forata. La macchina riesce a separare e scartare le impurità più grossolane (come sassi o frammenti di legno), permettendo il passaggio del materiale purificato. Le impurità vengono inviate all'esterno dello stabilimento in un apposito

cassone di raccolta, mentre la miscela purificata prosegue su nastro e viene additivata della sabbia da impasto. Un sistema di miscelatori rotanti a elica permette un corretto mescolamento e contribuisce contemporaneamente ad un'ottimale distribuzione della miscela su tutta la superficie del nastro.

- Laminazione: consente la frantumazione delle impurità più fini ancora presenti, in particolare dei granuli carbonatici deleteri per il prodotto finito, in quanto causa di possibili rigonfiamenti e rotture che comprometterebbero sia le caratteristiche estetiche che quelle strutturali. L'impianto consta di un laminatoio sgrossatore per una prima frantumazione grossolana (che riduce lo spessore a circa 1 mm) ed un laminatoio finitore per una successiva frantumazione più fine (che assottiglia ulteriormente la miscela fino a circa 0,7-0,8 mm). Ciascun laminatoio è costituito da due cilindri pieni in acciaio, paralleli e ravvicinati, tra i quali viene fatta passare la miscela argillosa per ottenere lo schiacciamento voluto. Con la normale usura le superfici piane dei cilindri tendono a diventare irregolari ed è per questo motivo che lo spessore di laminazione viene spesso controllato e le superfici vengono periodicamente rettificare.

- Setacciatura: la miscela sabbia-argilla giunge ad un setaccio rotante che la umidifica ulteriormente e raccoglie le piccole impurità ancora rimaste.

- Impastatura: il prodotto setacciato è quindi pronto per essere opportunamente lavorato mediante l'azione di un'impastatrice orizzontale a pale, nella quale vengono aggiunti acqua e vapore acqueo. Scopo dell'impastatura è creare un impasto omogeneo con un tenore di umidità uniforme e idoneo per la successiva fase di formatura; inoltre l'immissione di vapore porta il semilavorato, dopo lo stampaggio, ad una temperatura ideale per la successiva essiccazione, accorciandone di fatto il ciclo con conseguente risparmio di energia termica ed elettrica.

La prelaborazione si completa con l'ottenimento di un impasto molle a circa 40 °C.

2.5 - Formatura “in pasta molle”

L'impasto viene poi convogliato mediante nastro trasportatore verso l'impianto di formatura: la mattoniera. Tale apparecchiatura è costituita da una parte mobile (catenaria), formata a sua volta da elementi metallici dotati ciascuno di 13 stampi. L'impasto molle viene dosato su un elemento per volta attraverso delle aperture opportunamente sagomate, e successivamente viene moderatamente pressato. La sagoma delle aperture consente all'impasto di depositarsi uniformemente nello stampo, senza lasciare vuoti.

La sabbia da rivestimento, di dimensioni e quantità vagliate, viene spruzzata direttamente all'interno di ciascuno stampo dilavato prima di ricevere l'impasto: viene così a svolgere le due funzioni di disarmante per l'estrazione del semilavorato dallo stampo, e di finitura estetica (rivestirà infatti anche il laterizio cotto).

Oltre a tale sistema di formatura, previsto per i mattoni standard con superficie regolare, Terreal Italia S.r.l. adotta la tecnologia Handformatic, che consente di ottenere una particolare finitura estetica di rugatura sulle superfici 250x55 mm e 120x55 mm. In sintesi, la tecnica consiste nella foggatura, per estrusione blanda e successiva sabbiatura, di panetti di impasto più piccoli delle dimensioni degli stampi, sui quali avviene poi la normale pressatura effettuata dalla mattoniera, che va a riempire i vuoti rimasti.

A seguito dell'estrazione dagli stampi, i mattoni vengono depositati su tavolette metalliche che ne permettono la movimentazione. Queste ultime vengono impilate in modo automatico su carrelli che trasportano i semilavorati all'interno delle celle dell'essiccatoio.

2.6 – Essiccazione

L'essiccazione è lo stadio che permette di eliminare quasi completamente il quantitativo d'acqua presente nell'impasto. È una fase particolarmente critica in quanto, se non condotta correttamente, può dare origine a non conformità (rotture, cricche nella massa argillosa, essiccazione incompleta) del prodotto. In questa fase si possono riscontrare notevoli contrazioni dimensionali (ritiro) del verde, con punte anche del 9% a seconda delle miscele argillose utilizzate: l'obiettivo è quello di essiccare il pezzo con una contrazione sufficientemente lenta e omogenea in tutta la massa in modo da non instaurare delle microtensioni interne alla struttura che possono portare alla rottura del materiale in cottura.

Nell'essiccatoio i semilavorati vengono sottoposti a cicli di essiccazione per 36 o 53 ore a seconda delle esigenze di produzione, in un ambiente ad umidità e temperatura controllata. In questa fase avviene il ritiro graduale dell'impasto, che, cedendo una quota pari a circa il 97% di acqua, provoca una riduzione di massa e volume. La sabbia smagrante aggiunta in precedenza all'impasto crea canali preferenziali per la fuoriuscita dell'acqua, facilitando l'essiccazione del pezzo; costituisce inoltre l'impalcatura interna solida che tende a limitare un ritiro eccessivo.

L'essiccatoio è del tipo a celle statiche, in cui cioè i carrelli entrano con i mattoni umidi, stazionano per tutta la durata dell'essiccazione, ed escono a fine ciclo con il prodotto secco. L'essiccazione avviene per evaporazione progressiva dell'acqua, coadiuvata dall'azione di un flusso di aria calda (a circa 120 °C) che veicola il calore attraverso l'intera cella. Il vapore acqueo liberato viene poi trasportato all'esterno per mezzo di un camino.

Un'essiccazione totale dei pezzi (0% di umidità), oltre a non essere necessaria, non sarebbe conveniente dal punto di vista economico in quanto comporterebbe un eccessivo consumo di energia ed un aumento dei tempi del ciclo stesso.

2.7 – Impilaggio

All'uscita dalle celle dell'essiccatoio, i mattoni essiccati vengono gestiti dalla macchina impilatrice, che li preleva dai carrelli e li dispone sotto forma di opportuni pacchi sui carri destinati all'entrata nel forno a tunnel. La struttura del pacco è già quella definitiva, la quale dopo cottura sarà imballata e pronta a lasciare lo stabilimento. Essa è costituita da una particolare disposizione dei mattoni su più strati in modo da lasciare numerosi vuoti tra gli elementi, necessari al passaggio del flusso di aria calda per una corretta cottura.

2.8 – Cottura

La fase di cottura consiste nel riscaldare progressivamente i pacchi fino a temperature di poco superiori ai 1000 °C. Ciò consente di ottenere un sufficiente grado di sinterizzazione per ogni singolo laterizio e il conferimento della colorazione caratteristica in base alla miscela impiegata.

Il forno a tunnel, lungo 120 metri, è dotato di bruciatori laterali fissi a metano e lavora in maniera continua, nel senso che i carri vi transitano in lento ma costante movimento. L'impianto, grazie alla sua notevole lunghezza, consta di un'elevata capacità di carico (36 carri). I carri sono rivestiti di materiale refrattario che ricopre la loro struttura metallica. Il calore viene fornito dai bruciatori che, posti sulla volta del forno, producono fiamme; queste ultime non colpiscono direttamente i pacchi per evitare fusioni del materiale in cottura, ma interessano gli spazi vuoti lasciati tra le file di pacchi. I carri procedono a spinte regolari di un metro ogni 20-30 minuti a seconda del tipo di miscela utilizzata per la formazione del mattone. Il forno è provvisto di un sistema che permette di immettere al suo interno aria a temperatura ambiente per il raffreddamento controllato del materiale, e di recuperarla poi ad

una temperatura più elevata per il riscaldamento dell'essiccatoio. Ciò permette di ottenere un notevole risparmio energetico.

Durante il transito dei carri nel forno, i pacchi subiscono dapprima una fase di preriscaldamento, poi un aumento di temperatura fino al raggiungimento del picco massimo, infine un graduale raffreddamento prima dell'uscita. Particolare attenzione si deve porre nel momento in cui i laterizi transitano nelle zone a 573 °C, sia a riscaldamento che durante il raffreddamento: infatti a questa temperatura avviene la transizione chimico-morfologica delle componenti quarzatiche delle argille, che provoca un aumento del loro volume effettivo in contrapposizione al successivo ritiro. Se non condotte con sufficiente lentezza e gradualità, al punto di quarzo tali stadi potrebbero portare a drastiche rotture dei pezzi, rendendoli pertanto non conformi. Oltre a tale fenomeno si registrano fusioni parziali alle temperature più alte e riagggregazioni delle fasi mineralogiche durante il raffreddamento.

La temperatura massima viene raggiunta all'incirca verso la metà del tunnel, dove termina la serie di bruciatori, e può variare dai 950 °C ai 1100 °C a seconda della gradazione cromatica voluta. All'uscita del forno i pezzi si sono trasformati in laterizi finiti. A conferma di quanto citato in precedenza riguardo le caratteristiche della miscela argillosa dell'impasto, l'analisi mineralogica sul manufatto Terreal Italia registra una massiccia presenza di quarzo (silice solida), calcite (CaCO_3), dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), feldspati di sodio, calcio, potassio e caolinite, rilevati in maggiori quantità nel mattone giallo paglierino.

2.9 – Imballaggio

All'uscita del forno i pacchi di prodotto cotto vengono scaricati in modo automatico dai carri e avviati all'imballaggio, mentre i carri vuoti ritornano alla zona di impilaggio.

L'imballaggio consiste nel prelevare un pacco per volta dal carro e nell'adagiarlo sopra un pallet di legno per agevolare il trasporto, quindi viene applicato un cappuccio di film plastico termoretraibile. A completamento del pacco, viene apposta un'etichetta riportante tutti i dati identificativi del prodotto che ne consentono la tracciabilità nella filiera produttiva e la marcatura CE.

Infine i mulettisti prelevano i bancali imballati e li depositano all'esterno dello stabilimento, in attesa dell'invio alla clientela.

2.10 - Lavorazioni secondarie

2.10.1 - Produzione di listelli e angolari

Nel reparto lavorazioni secondarie vengono effettuate tutte le operazioni di taglio e levigatura sul prodotto finito che portano alla realizzazione di listelli e angolari, cioè elementi utilizzati per realizzare pavimentazioni o pareti. La fase di taglio viene effettuata da operai specializzati con un'apposita sega ad umido per prevenire la dispersione di polvere e sabbia. L'asciugatura dei pezzi e l'imballaggio sono gestiti autonomamente.

2.10.2 - Reparto di produzione pezzi speciali e forme piane

Il reparto di produzione dei pezzi speciali comprende due sottoreparti: quello dello stampaggio tradizionale a mano e quello semiautomatico con una mattoniera di piccole dimensioni.

Per la produzione di pezzi speciali si utilizzano miscele argillose già pronte, cioè preparate e laminate nel reparto automatico dei mattoni standard. L'impasto della miscela argillosa con acqua avviene invece in modo autonomo nel reparto dei pezzi speciali e fornisce l'impasto molle sia alla linea semiautomatica sia alla linea manuale.

Per quanto riguarda la linea manuale, una squadra di mastri artigiani provvede alla realizzazione di laterizi completamente a mano. Il metodo di formatura è quello all' "antica maniera": dall'impasto creato in prelaborazione si ricavano delle piccole aliquote ("balocchi") che vengono depositate manualmente su stampi di legno, preventivamente rivestiti di sabbia. Lo stampo riempito viene ribaltato e battuto, per facilitare la fuoriuscita del pezzo, su una tavoletta metallica che ha lo scopo di agevolare il trasporto dei laterizi verdi. La successiva essiccazione è di tipo naturale, cioè viene condotta in ambienti blandamente riscaldati con l'aria calda di recupero dal forno di cottura a tunnel, ed ha una durata di oltre tre settimane a seconda del periodo stagionale. La cottura viene eseguita in forni a camera discontinui con una capacità di circa 14 t di cotto ciascuno. Il materiale cotto viene poi scaricato ed imballato manualmente.

La linea semiautomatica si occupa della produzione prevalentemente di tavelle e tavelloni, pozzali (mattoni curvi) per basamenti circolari e colonne, elementi decorativi per il restauro ecc. L'intero ciclo di produzione industriale descritto in precedenza per il mattone standard, ad eccezione della prelaborazione mutuata dalla linea automatica, viene perciò replicato in scala ridotta anche per i pezzi speciali.

L'essiccazione e la cottura seguono lo stesso procedimento della linea manuale.

CAPITOLO 3

Le prove chimico-fisiche di laboratorio

3.1 - Cenni alle normative europee di riferimento sui laterizi

Le definizioni dei laterizi (in veste di prodotti finiti) e delle loro proprietà, nonché le procedure per la loro verifica sperimentale in laboratorio, sono rigorosamente stabilite da specifiche norme UNI-EN ISO, in osservanza delle quali sono acquisibili la certificazione e la marcatura CE per i prodotti. Lo stabilimento Terreal Italia di Noale produce laterizi sia per pavimentazione sia per muratura in conformità alle prescrizioni delle seguenti norme di riferimento:

- UNI-EN ISO 1344, che specifica requisiti e classi di prestazione degli elementi per pavimentazione flessibile o rigida in laterizio e i metodi di prova per la loro valutazione. Prevede inoltre la marcatura idonea del prodotto.
- UNI-EN ISO 771-1, che specifica caratteristiche e requisiti prestazionali degli elementi per muratura in laterizio, in conformità a determinati metodi di prova presenti in altre normative (UNI-EN ISO 772-X, UNI ISO 8942/3).

Sull'imballaggio del pacco deve quindi essere presente un'etichetta con le seguenti informazioni:

- Nome e marchio di fabbrica con logo CE;
- Codice delle normative di riferimento per la conformità;
- Utilizzi previsti del laterizio (pavimentazione o muratura);
- Utilizzo previsto per il prodotto (ad esempio uso interno, esterno, oppure entrambi);
- Elenco delle proprietà/caratteristiche e classi di tolleranza dichiarate dal produttore in osservanza alle specifiche norme sulle prove sperimentali.

Terreal Italia S.r.l. dispone di un piccolo laboratorio attrezzato per lo svolgimento delle prove di routine in grado di assicurare un ottimo livello di controllo sul processo produttivo e sul prodotto finito. Si possono così trarre informazioni utili circa:

- l'andamento delle proprietà chimico-fisiche;
- il monitoraggio costante delle variabili del processo produttivo;
- la verifica della presenza di impurità quali sali idrati di calcio e magnesio;

- la valutazione delle caratteristiche in funzione delle dimensioni, della massa e della composizione propria di ciascuna tipologia di colore (giallo paglierino, rosato, rosso e loro tonalità secondarie).

I dati ottenuti dall'intera serie di prove permettono di formulare un giudizio globale sulla qualità del laterizio durante ogni fase del ciclo di produzione, sia per intervenire sul processo in caso di anomalie, sia per mantenere lo standard richiesto dalle norme di certificazione CE. A completamento delle prove svolte in seno allo stabilimento, vengono incaricati dei laboratori esterni accreditati per integrare tutte le prove richieste dalle norme che non possono essere eseguite internamente.

Ecco in sintesi le prove chimico-fisiche solitamente effettuate da Terreal Italia S.r.l.:

<p style="text-align: center;">PROVE GIORNALIERE (sul prodotto semilavorato e finito)</p>	<p style="text-align: center;">PROVE SETTIMANALI (solo sul prodotto finito)</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Controllo della percentuale di acqua nell'impasto - Controllo della frazione granulometrica dell'impasto (mediante setacciatura ad umido) - Verifica del tenore dei carbonati nell'impasto (calcimetria) - Campionamento del verde di essiccazione (dimensioni, massa, ritiro sul secco) - Controllo di massa e dimensioni del prodotto finito 	<ul style="list-style-type: none"> - Determinazione di dimensioni, massa e densità del cotto - Stima della velocità iniziale di assorbimento d'acqua (mediante prova di "imbibizione") - Stima della percentuale di assorbimento d'acqua - Determinazione del carico di rottura trasversale - Verifica della resistenza a compressione - Stima della resistenza all'abrasione - Saggio della presenza di sali solubili (efflorescenze) - Verifica della presenza di sali non solubili (inclusioni calcaree)

3.2 - Prove Giornaliere

3.2.1 - Verifica della percentuale di acqua nell'impasto

Un provino circolare di impasto argilloso umido viene prelevato e posizionato su un apparecchio di Pfefferkorn per la valutazione del tenore di umidità nell'impasto. Il dispositivo consta di una struttura poggiante su base metallica e munita di un disco di impatto che scorre su una barra verticale; una scala graduata consente la lettura dell'altezza finale del provino a seguito dell'impatto con il disco. La dentellatura del provino viene effettuata tramite una matrice cilindrica nella quale scorre un pistoncino di uguale diametro.

Si procede riempiendo la matrice di impasto, asportando le fuoriuscite con un raschietto, poi si oliano i meccanismi e il disco di impatto del dispositivo. Dopodiché si deforma il provino così ottenuto mediante l'azione del pistoncino e lo si posiziona sulla base. A seguito dell'impatto del disco sul provino, si determina la sua altezza finale, che deve rientrare in un preciso intervallo standard di valutazione per la conformità alla produzione. Il provino viene poi pesato e posto nella stufa del laboratorio per 24 ore. Si arriva quindi ad ottenere la sua massa a secco e calcolare la percentuale di umidità:

$$\text{Umidità}_{\%} = \frac{m_{umido} - m_{secco}}{m_{umido}} \cdot 100 \ .$$

3.2.2 - Granulometria dell'impasto mediante setacciatura ad umido

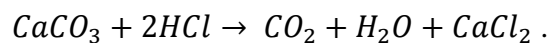
La prova giornaliera di granulometria consiste nella suddivisione della polvere di impasto in frazioni. Si preleva un campione umido di 100 g di materia prima dal reparto di prelaborazione e lo si essicca in stufa per circa 2 ore. Si prepara poi un macinato e lo si pone sul primo di una pila di sette setacci a maglie progressivamente più strette: le dimensioni dei fori sono rispettivamente 600, 355, 300, 150, 75, 63, 45 μm . La pila viene fissata in un apparecchio a vibrazione sussultoria periodica che per circa 30 minuti consente di ottenere una buona separazione e un più agevole passaggio della polvere di argilla attraverso la colonna. Il sistema è coadiuvato dall'azione di un getto d'acqua che facilita la discesa delle particelle più piccole, lubrificandole, evita l'aggregazione delle polveri e favorisce il trasporto della frazione inferiore a 45 μm lungo il tubo di scarico. Se da quest'ultimo esce acqua limpida, la setacciatura si ritiene terminata. Segue l'essiccazione dei setacci nella stufa del laboratorio per circa 90 minuti allo scopo di favorire la formazione dei depositi di polvere, i quali vengono poi pesati uno alla volta dalla frazione più grossolana a quella più fine. Il dato granulometrico totale al di sopra dei 45 μm è la somma delle frazioni ponderali di ciascun

deposito di polvere; infatti, poiché la massa iniziale della polvere è pari ad un ettogrammo, si ha che per un dato setaccio i la frazione ponderale Y_i in grammi risulta essere:

$$Y_i = \frac{m_{iniziale} - m_{finale}}{m_{iniziale}} \cdot 100 = \frac{100 - m_{finale}}{100} \cdot 100 = 100 - m_{finale} \quad \text{quindi} \quad Y = \sum_{i=1}^7 Y_i .$$

3.2.3 - Determinazione del tenore totale dei carbonati nell'impasto (prova di calcimetria)

La presenza totale di carbonati all'interno della polvere argillosa, opportunamente essiccata in stufa, viene valutata mediante un calcimetro di Dietrich-Frühling. Tale strumento è in grado di rilevare eventuali carbonati sfruttando la reazione chimica che si ha a seguito dell'attacco di acido cloridrico a contatto con la polvere; per il carbonato di calcio si ha ad esempio:



La reazione libera anidride carbonica, il cui volume viene individuato dalla variazione d'altezza della colonna di liquido in un tubo graduato, a partire dallo zero di taratura. Servendosi di questo dato, si individua nelle tavole la correzione corrispondente che tiene conto della quantità di anidride carbonica che è rimasta all'interno della soluzione cloridrica. Si applica infine la formula:

$$\%_{Ca} = \frac{X + K}{2}$$

dove X è il volume di CO₂ osservato e K è la correzione applicata.

3.2.4 - Campionamento del prodotto secco

Al termine di ciascun ciclo di essiccazione si prelevano tre pezzi verdi per ogni cella; il primo viene estratto dalla zona inferiore del carrello, il secondo al centro, il terzo dalla parte superiore. Uno di essi viene controllato direttamente dal responsabile del reparto di prelaborazione, mentre il tecnico si incarica del trasporto dei restanti in laboratorio, provvedendo alla loro pesatura e alla misura di lunghezza e spessore. Tali informazioni sono necessarie per valutare il ritiro avvenuto nell'essiccatoio, a partire dalle dimensioni nominali dello stampo di formatura.

Successivamente i verdi vengono lasciati asciugare completamente per circa 24 ore nella stufa del laboratorio, in attesa di essere ripesati completamente a secco. Da questo ultimo dato si calcola la variazione percentuale di peso, ovvero la percentuale di umidità residua.

3.2.5 - Controllo di dimensioni e massa dei mattoni finiti

Per ogni carro in uscita dal forno si prelevano tre mattoni cotti allo scopo di controllarne periodicamente dimensioni e massa, e verificarne la conformità alle norme. Nel modulo apposito per l'inserimento dei dati figurano il tipo di miscela utilizzata, il colore, la settimana di produzione e la data di formatura, la cella dell'essiccatoio di provenienza, nonché il numero del carro in uscita dal forno e lo schema di impilaggio dei mattoni nei bancali. Infatti è utile sapere in che posizioni del carro sono stati prelevati i mattoni del campione in caso di anomalie/non conformità alle norme; tali posizioni sono strategiche in quanto zone maggiormente sensibili a possibili variazioni di flussi d'aria e di temperatura durante il ciclo di cottura all'interno del forno a tunnel.

3.3 - Prove settimanali

Durante la settimana viene portato in laboratorio un campione di 10 mattoni (o forme piane) finiti e della stessa tipologia, in accordo con il programma di produzione. Ogni pezzo viene numerato per distinguerlo dagli altri durante la rilevazione/stesura dei dati. Inoltre, a seconda delle dimensioni dichiarate, della forma, del colore e della finitura, ogni serie fa riferimento ad un preciso codice di identificazione per una più agevole catalogazione nell'archivio storico delle prove.

3.3.1 - Determinazione di massa, dimensioni e densità del cotto (UNI-EN ISO 771-1, UNI-EN ISO 772-13,16)

Mediante l'utilizzo di un calibro con precisione del decimo di millimetro, vengono misurate lunghezza, larghezza e spessore del mattone e si verifica la conformità alle misure standard dichiarate 250x120x55 mm. Un analogo procedimento è riservato anche ai pezzi speciali, al cui codice di identificazione corrispondono le specifiche geometriche dichiarate dalla ditta.

Per ognuna delle dimensioni viene quindi calcolato il valore medio e il campo, che è la differenza fra il valore rilevato più alto e quello più basso. Tali dati sono poi sfruttati per verificare la conformità del pezzo alla norma di riferimento, la quale stabilisce le seguenti tolleranze per quanto riguarda i valori medi:

ΔX = valore medio – valore dichiarato (d) (arrotondato al mm); allora:

- Se $-0,4\sqrt{d} \leq \Delta X \leq 0,4\sqrt{d}$ oppure 3 mm (il maggiore fra i due) \Rightarrow categoria T1;
- Se $-0,25\sqrt{d} \leq \Delta X \leq 0,25\sqrt{d}$ oppure 2 mm (il maggiore fra i due) \Rightarrow categoria T2.

Per i campi ΔM (anch'essi arrotondati al mm) si ha:

- Se $-0,6\sqrt{d} \leq \Delta M \leq 0,6\sqrt{d} \Rightarrow$ categoria R1;
- Se $-0,3\sqrt{d} \leq \Delta M \leq 0,3\sqrt{d} \Rightarrow$ categoria R2.

Infine, la densità media non è altro che il rapporto fra massa media (in kg) e volume medio (in m^3) dell'intero campione testato.

3.3.2 - Stima della velocità iniziale di assorbimento d'acqua (UNI-EN ISO 772-11)

Solitamente l'imbibizione è la prima della successione di prove cui viene sottoposto il campione, una volta effettuata la misura delle dimensioni dei pezzi. Imbibire un laterizio può fornire una stima approssimativa della velocità iniziale di assorbimento dell'acqua, a sua volta correlata alla porosità aperta (e quindi anche alla permeabilità) del prodotto, nonché al suo comportamento in posa abbinato alle malte.

Si immerge la faccia di usura (quella non sottoposta a rettifica) di ogni singolo mattone per 60 ± 2 secondi all'interno di una bacinella riempita d'acqua e sopra dei piedistalli in modo tale che esso venga costantemente a contatto con il liquido per parte dello spessore (5 ± 1 mm) senza toccare il fondo. La risalita dell'acqua per capillarità all'interno dei pori aperti fa aumentare la massa del pezzo. Si effettua quindi la pesatura del mattone umido e si impiega il dato ottenuto per determinare la velocità iniziale di assorbimento d'acqua, espressa mediante il seguente rapporto e arrotondata al più piccolo $0,1 \text{ kg}/(m^2 \cdot \text{min})$:

$$v_{in} = \frac{m_{umido} - m_{secco}}{\text{area superficie immersa}} \cdot$$

3.3.3 - Calcolo della percentuale di assorbimento d'acqua (UNI-EN ISO 771-1, appendice C)

Questa prova consiste semplicemente nell'immergere l'intero campione di 10 mattoni in una vasca riempita d'acqua per circa 24 ore, in modo tale da permettere al liquido di saturare tutti i pori aperti dei laterizi. Si procede poi alla pesatura di ogni singolo mattone bagnato per calcolare la stima dell'assorbimento d'acqua, data dal rapporto percentuale fra la massa a secco e quella ad umido.

3.3.4 - Determinazione del carico di rottura trasversale (UNI-EN ISO 1344, appendice D)

Questa prova fornisce una valutazione della resistenza a rottura trasversale di un laterizio sottoposto ad una sollecitazione di flessione.

I mattoni, bagnati, vengono sottoposti uno alla volta alla prova, effettuata mediante un apposito macchinario collegato al PC e composto di pistone semovente con braccio di bilanciamento auto-orientabile, nonché di appoggi fissabili per il corretto posizionamento del campione. La norma UNI ISO stabilisce che il punto di flessione deve essere quello in cui il provino risulta maggiormente suscettibile allo sforzo. Per un mattone standard esso è il baricentro della faccia a superficie maggiore, ma la sua posizione può variare se si tratta di un pezzo speciale di diversa geometria, o di un listello. Inoltre il posizionamento del provino deve essere tale che le sue estremità sporgano al massimo di 15 ± 1 mm dalle barre di appoggio fisse, ai fini di ottenere un'equa distribuzione dello sforzo esercitato dal pistone sulla superficie.

La macchina monitora e plotta istantaneamente l'andamento della forza esercitata dal pistone sul mattone nel tempo, e lo registra nel PC. Generalmente la forza aumenta circa-linearmente con il tempo fino al raggiungimento di un picco massimo, poi decresce repentinamente fino al limite di rottura. Il valore numerico (al più piccolo 0,1 dN) del picco massimo viene poi inserito nel modulo settimanale. Infine, il carico di rottura trasversale viene ottenuto dividendo la forza massima per la larghezza del pezzo. La serie di 10 dati ottenuta a conclusione della prova viene mediata ed arrotondata al più vicino 1 N/mm.

3.3.5 - Calcolo della resistenza a compressione (UNI-EN ISO 772-1)

La prova di compressione si esegue solitamente su un campione di 15 pezzi finiti, prelevati all'uscita del forno e classificati in base al giorno e alla settimana di produzione che ne identificano il lotto. Prima della prova è necessario predisporre i campioni levigandoli ad acqua e successivamente asciugandoli all'aria ambiente per qualche giorno.

La macchina per la compressione dei pezzi è una pressa idraulica munita di un pistone che solleva una base circolare sulla quale è completamente adagiato il mattone con la superficie 250x120 mm. Il pezzo viene così spinto contro un disco fisso (il pistone sale alla velocità di $5,1 \text{ Kg}/(\text{cm}^2\cdot\text{s})$) che esercita una contropressione fino al raggiungimento della forza massima di rottura. La macchina fornisce i dati istantanei della forza esercitata dalla macchina (in KN) e della resistenza alla compressione (in N/mm^2) in funzione delle dimensioni del pezzo. La prova termina quando il sensore del dispositivo avverte una diminuzione sufficientemente significativa dello sforzo, e sul display digitale figurano i dati massimi rilevati. Questi ultimi vengono infine registrati nel modulo settimanale.

Resistenza a compressione e a flessione sono i due dati principali per valutare qualitativamente la resistenza meccanica del laterizio.

3.3.6 - Stima della resistenza all'abrasione (UNI-EN ISO 1344, appendice E)

Scopo di tale prova è la valutazione del consumo del laterizio a seguito dell'azione di sfregamento che si esercita normalmente sugli elementi per pavimentazione. Sebbene la norma stabilisca precise categorie di tolleranza, essa tuttavia non obbliga il produttore all'inserimento di tale dato nella marcatura CE.

Il pezzo viene posto all'interno di un abrasimetro, ovvero fissato mediante una morsa alle barre di un piccolo carrello che poggia su due guide metalliche, in modo tale che la sua superficie di usura fronteggi una mola del diametro di 20 cm e spessore di 1 cm. Il carrello, e di conseguenza la superficie del pezzo, viene spinto verso la mola mediante l'azione di un contrappeso. La mola, azionata dalla macchina, compie 150 giri per completare la prova, abradendo progressivamente il pezzo grazie alla trazione costante esercitata dal contrappeso. Fra mola e provino scorre un flusso di polvere di corindone in direzione tangenziale, immessa precedentemente in un piccolo imbuto posto sopra al carrello. Al termine, si estrae il provino dal carrello e si misura la lunghezza della corda (al più piccolo 0,5 mm) della scanalatura scavata su di esso. Questo dato permette di calcolare il volume di materiale asportato in mm³:

$$V = \left[\left(\pi - \frac{\alpha}{180} \right) - \sin(\alpha) \right] \left(\frac{hd^2}{8} \right),$$

dove: α è l'angolo in gradi, sotteso al centro del disco rotante, della briglia ($\sin(\alpha) = l/d$, con l lunghezza della briglia e d diametro del disco); h è lo spessore del disco.

Le categorie di tolleranza previste sono:

- Categoria A0: il volume medio è maggiore di 2100 mm³ (in tal caso i valori non vengono nemmeno dichiarati);
- categoria A1: volume medio inferiore o pari a 2100 mm³;
- categoria A2: volume medio inferiore o pari a 1100 mm³;
- categoria A3: volume medio inferiore o pari a 450 mm³.

3.3.7 - Saggio della presenza di sali solubili (efflorescenze) (UNI ISO 8942/3)

Anche la prova di efflorescenza non necessita la divulgazione del dato di analisi nella dichiarazione di conformità del prodotto.

Il fenomeno dell'efflorescenza avviene quando, a causa di un gradiente di umidità interna, i sali solubili presenti nel laterizio risalgono in superficie per capillarità allo scopo di ristabilire l'equilibrio termodinamico con l'ambiente esterno, e successivamente cristallizzano in patine biancastre a seguito dell'evaporazione dell'acqua. Questo fenomeno compromette l'integrità estetica del manufatto, la quale è requisito fondamentale per il "faccia a vista". Si sottopone

un campione di 3 elementi, e si conserva un quarto come riferimento: i primi vengono immersi in posizione verticale per un quarto della loro altezza in un recipiente contenente acqua distillata, e ivi vengono lasciati per 4 giorni. Poi li si tolgono dal bagno e li si asciugano in stufa al fine di fissare e rendere visibili i sali fuoriusciti dai pezzi. La verifica dell'efflorescenza è puramente visiva ed è eseguita in funzione del mattone di riferimento, che non è stato immerso nel bagno. La normativa relativa alla stima del tenore dei sali solubili nei laterizi stabilisce ben quattro gradi di giudizio:

- efflorescenza nulla: rispetto al mattone di riferimento, non si nota alcuna presenza di depositi salini sulla superficie;
- efflorescenza lieve: si intravede una sottile patina biancastra che permea il laterizio, seppur in maniera non completamente omogenea;
- efflorescenza media: la patina è ben visibile, omogenea e di un certo spessore;
- efflorescenza forte: in aggiunta alla patina si riscontrano ulteriori depositi di sali con cristalli molto evidenti.

3.3.8 - Verifica della presenza di sali non solubili (inclusioni calcaree) (UNI ISO 8942/3)

Anche per questa prova la normativa di riferimento stabilisce la non obbligatorietà di redazione dei dati numerici sulla marcatura CE.

Per verificare visivamente la presenza di inclusioni calcaree (dette in gergo “calcinelli”) nei pezzi, si immergono completamente quattro laterizi in acqua distillata (riscaldata inizialmente ad 80 °C all'interno di un bollitore) e li si lasciano per almeno 3 ore a 100 °C. Segue il riposo dei provini per una o più giornate all'aria ambiente una volta rimossa l'acqua calda. Il liquido penetrato attraverso i pori dei provini accelera la nucleazione e la dilatazione dei calcinelli non solubili, nonché la risalita dei sali solubili (efflorescenza spinta) che si depositano con maggior consistenza sulla loro superficie rispetto alla precedente prova. A seguito dell'apertura del coperchio del bollitore, si possono subito notare evidenti cristallizzazioni di ossidi a piccole e medie dimensioni. La verifica visiva dell'integrità del laterizio, nonché della presenza di eventuali nuclei è pertanto immediata, e consiste nell'annotare quanti fra i calcinelli visibili abbiano un diametro compreso fra i 3 e i 5 mm, oppure maggiore di 5 mm.

La presenza di nuclei salini non solubili all'interno dei laterizi è un fattore molto pericoloso per la vita in esercizio del prodotto: infatti, quando essi si dilatano a seguito di un aumento di temperatura e di umidità, generano talvolta gradienti di pressione così elevati da riuscire a rompere completamente il mattone.

3.4 - Panoramica sui dati ottenuti

I dati medi ottenuti per le prove giornaliere effettuate durante il periodo di tirocinio sono i seguenti (R = rosso; RS = rosato; GP = giallo paglierino):

colore della miscela	granulometria della miscela (%)	carbonati della miscela (%)	umidità dell'impasto (%)	massa mattone in uscita dalla cella di essiccazione (g)	massa mattone dopo essiccazione in stufa (g)	umidità residua (%)	spessore del mattone secco (mm)	lunghezza del mattone secco (mm)	ritiro sul mattone secco (%)
R	37,1	13,5	23,5	2897	2812	2,5	54,5	249,6	7,5
RS	29,7	24,9	23,4	2913	2845	2,4	54,4	249,8	7,5
GP	17,3	37,6	23,6	2909	2848	2,1	54,7	250,4	7,3

È interessante anzitutto notare come il dato granulometrico possa correlarsi alla plasticità dell'impasto, osservazione derivante dal monitoraggio delle proprietà di argille testate ormai da anni in funzione delle esigenze produttive, soprattutto per quanto riguarda il ritiro (solitamente intorno al 7,5-8%). Infatti si è visto che generalmente per il mattone giallo paglierino si ottengono le frazioni granulometriche totali più basse, i cui contributi più significativi sono normalmente rappresentati dalle particelle più fini. Ciò comporta una minore lavorabilità dell'impasto ed evidenzia la preponderanza delle componenti argillose rispetto alla sabbia smagrante. Per contro, il mattone rosso presenta la situazione diametralmente opposta, mentre il rosato si attesta su frazioni granulometriche intermedie, e quindi esprime un compromesso quanto a plasticità. A variare con la granulometria sono inoltre le caratteristiche meccaniche del laterizio, in quanto i materiali argillosi che presentano una frazione tendenzialmente bassa (e perciò la possibilità di ottenere un maggiore fattore di impaccamento fra le particelle) possiedono solitamente una resistenza meccanica più elevata, a differenza di quelli a granulometria maggiore, più soggetti alla presenza di vuoti microstrutturali.

Il ruolo dei carbonati presenti all'interno del laterizio incide sulla colorazione del materiale cotto: nel campione rosso si registra un rapporto fra quantità di CaO e Fe₂O₃ prossimo a 1,2, il che impedisce la ricombinazione di tali ossidi in filosilicati di colore più chiaro. Tale effetto diminuisce per i campioni di rosato e giallo paglierino, dove la quantità di CaO è preponderante rispetto a quella di ossido ferrico. Si assiste quindi ad una colorazione più chiara a seguito del processo di cottura.

L'umidità residua non sale mai al di sopra del 2,5% per i motivi suddetti riguardo l'essiccazione dei verdi di lavorazione, mentre le dimensioni dei verdi stessi sono

praticamente prossime a quelle previste per il prodotto cotto, a conferma che nel processo di cottura si hanno variazioni di volume minime, seppur significative per la sinterizzazione e la formazione dei legami ceramici dei componenti della miscela.

Passando all'analisi dei dati medi relativi alle prove settimanali, sono emersi i risultati che seguono:

COLORE	DIMENSIONI			DENSITA'	IMBIBIZIONE	ASS. D'ACQUA	R. A COMPRESSIONE	R. A FLESSIONE	R. A ABRASIONE
	lungh. (mm)	largh. (mm)	alt. (mm)	m. vol. lorda (kg/m ³)	v _a di ass. acqua (kg/m ² min)	%	(N/mm ²)	carico rott. Trasversale (N/mm)	volume (mm ³)
R	250,2	120,2	54,8	1565	3,3	19,8	20,0	29,2	2969
RS	250,4	120,0	54,0	1515	3,8	21,0	22,1	36,0	1868
GP	251,2	120,5	54,7	1387	4,7	23,5	21,5	50,5	3383

La densità è intesa come massa volumica lorda, ovvero comprensiva del volume dei pori aperti. Dai dati ricavati, si nota come il mattone giallo paglierino ne presenti il valore più basso, traducendosi in probabile indice di porosità elevata. Tale ipotesi può essere confermata dal maggiore tasso iniziale e la più alta percentuale di assorbimento dell'acqua. Inoltre, essendo l'impasto GP solitamente più ricco di frazioni granulometriche argillose fini e più povero di smagrante a particelle più grossolane, dovrebbe presentare dopo cottura un fattore di impaccamento elevato, tale da conferire una migliore resistenza meccanica al laterizio. Ciò sembra essere in linea con i dati raccolti: seppure la resistenza a compressione sia di poco minore rispetto a quella del campione rosato, quella a flessione è nettamente la migliore in assoluto, pertanto il prodotto giallo paglierino presenta una superiore qualità meccanica. In perfetta antitesi si presentano invece i dati sulle prove per il mattone rosso, che risulta avere una densità maggiore (e quindi una probabile bassa porosità aperta), minori capacità di assorbimento d'acqua, nonché proprietà meccaniche più scarse. Il campione rosato è generalmente caratterizzato da valori (e perciò proprietà chimico-fisiche) intermedi.

Infine, considerando i dati sulla resistenza all'abrasione, si nota che il mattone giallo presenta la maggiore suscettibilità all'usura per sfregamento.

CAPITOLO 4

Esempio di benchmarking su laterizi faccia a vista di aziende concorrenti

In osservanza alle suddette normative CE che regolamentano le procedure di laboratorio, è stato possibile effettuare analoghe prove di routine per mattoni faccia a vista standard prodotti in altri stabilimenti italiani concorrenti. Ciò viene solitamente fatto allo scopo di confrontare fra loro proprietà meccaniche ed estetiche di mattoni simili quanto a dati dichiarati nella marcatura (ma che potrebbero essere stati realizzati con impasti o tecnologie differenti). Tale indagine di natura statistica si rivela molto utile all'Azienda, che mediante prove effettuate su campioni selezionati riesce ad ottenere un approssimativo quadro d'insieme della capacità di miglioramento tecnico dei competitors. Questi ultimi sono poi inquadrati all'interno di una classifica che mette in successione i campioni dal più al meno performante, in funzione del colore e del tipo di prova effettuata.

Le procedure condotte per i test dei laterizi sono esattamente quelle descritte nel precedente capitolo, così come la strumentazione adottata per lo svolgimento di ciascuna prova. I campioni, suddivisi in base all'azienda produttrice e alla gradazione cromatica constano ognuno di 10 mattoni finiti. A seconda delle caratteristiche in esame, per la stesura dei dati medi calcolati si è ricorsi a differenti livelli di precisione: l'arrotondamento per difetto o per eccesso è stato utilizzato laddove fluttuazioni minime della misurazione non hanno inciso in maniera significativa. Si è inoltre focalizzata l'attenzione principalmente su densità e proprietà meccaniche in quanto ingegneristicamente più interessanti.

La statistica è stata effettuata per Terreal Italia ed altri 5 produttori italiani; per alcuni di questi non si è riusciti a disporre di tutti i campioni corrispondenti alle principali colorazioni dei mattoni Terreal Italia. I competitors sono stati distinti per numero e ubicazione geografica. In sintesi (R = rosso; RS = rosato; GP = giallo paglierino):

PRODUTTORE	UBICAZIONE	COLORE CAMPIONI		
P1	Centro Italia	R	RS	GP
P2	Nord Italia	R	RS	GP
P3	Nord Italia	R	-	GP
P4	Centro Italia	R	RS	-
P5	Nord Italia	R	RS	-
Terreal Italia	Nord Italia	R	RS	GP

Per tutti i campioni di diverso colore sono state effettuate le usuali prove di laboratorio (ad eccezione dei lotti R e GP del produttore 1, per i quali non figurano i dati relativi ai test di resistenza a flessione e all'abrasione). I risultati ottenuti a seguito dei test sono i seguenti (NOTA: il simbolo “*” significa che la macchina atta alla compressione dei pezzi non ha avvertito cedimenti significativi del materiale, non registrando pertanto nessun valore di resistenza massima):

DATI RILEVATI DALLE PROVE DI LABORATORIO	PRODUTTORE 1		PRODUTTORE 2		PRODUTTORE 3		PRODUTTORE 4		PRODUTTORE 5		TERREAL ITALIA - S.MARCO LATERIZI					
	P1 R	P1 RS	P1 GP	P2 R	P2 RS	P2 GP	P3 R	P3 GP	P4 R	P4 RS	P5 R	P5 RS	S.MARCO R	S.MARCO RS	S.MARCO GP	
DIMENSIONI (mm)	max	252,3	250,3	253,6	250,0	250,6	251,1	257,0	252,7	251,8	250,3	254,1	249,6	250,9	250,7	251,6
	min	250,0	248,9	250,0	248,3	248,6	247,1	255,3	247,7	249,8	249,1	250,2	247,1	249,1	250,1	250,8
	med	251,0	249,6	251,0	249,2	249,5	249,2	256,0	250,6	251,0	249,6	252,0	248,5	250,2	250,4	251,2
DENSITA' (Kg/m³)	max	118,2	118,6	118,6	120,2	120,7	120,2	121,1	121,8	120,1	120,4	121,9	119,4	120,4	120,1	120,7
	min	117,0	117,5	115,0	118,7	119,5	117,8	120,1	117,9	118,2	118,8	119,4	117,8	119,9	120,0	120,3
	med	117,3	118,1	116,3	119,4	120,2	118,7	121,0	120,1	119,0	119,7	120,0	118,7	120,2	120,0	120,5
% ASSORBIMENTO D'ACQUA	max	54,4	54,1	55,9	54,3	53,6	53,8	57,2	55,0	52,1	54,1	55,6	54,8	55,5	54,3	54,8
	min	53,0	51,8	53,6	52,4	51,1	50,3	56,0	53,3	51,1	52,0	54,0	53,0	54,4	53,7	54,7
	med	53,4	52,9	54,6	53,4	52,5	52,0	57,0	54,2	52,0	53,1	55,0	53,8	54,8	54,0	54,7
COMPRESSIONE (N/mm²)	max	1388	1563	1277	1704	1819	1601	1550	1730	1723	1504	1661	1674	1574	1516	1389
	min	1365	1526	1231	1611	1643	1478	1527	1474	1530	1755	1574	1610	1556	1514	1385
	med	1385	1537	1258	1665	1762	1541	1536	1606	1610	1612	1635	1645	1665	1515	1387
FLESSIONE (N/mm)	max	25,8	21,9	32,0	13,9	12,1	21,7	19,2	19,7	20,0	23,2	16,0	17,2	20,0	21,0	24,0
	min	24,1	17,6	29,7	10,2	2,7	16,9	18,6	6,3	7,1	7,4	15,5	15,9	19,0	21,0	23,0
	med	25,3	20,0	30,9	12,0	5,0	20,0	18,9	14,0	15,1	16,0	15,6	16,0	19,8	21,0	23,5
ABRASIONE (mm³)	max	0,0	25,4	0,0	34,5	33,3	28,5	19,9	25,3	29,8	29,5	33,8	42,8	20,5	22,1	21,9
	min	0,0	17,0	0,0	31,1	30,1	17,1	17,7	20,7	27,0	25,4	28,0	32,2	18,3	21,1	21,1
	med	*	19,4	*	32,8	31,3	23,1	18,7	22,3	28,9	27,1	30,0	37,8	19,5	21,6	21,5
FLESSIONE (N/mm)	max	0,0	30,3	0,0	51,6	46,3	30,2	35,6	37,0	49,8	49,6	45,0	49,7	32,0	36,0	52,0
	min	0,0	27,6	0,0	46,8	20,4	11,3	20,4	26,7	20,9	30,8	32,0	33,0	27,0	36,0	49,0
	med	0,0	29,0	0,0	49,0	39,0	22,0	31,0	31,0	39,0	40,0	38,0	44,0	29,2	36,0	50,5
ABRASIONE (mm³)	max	0	1777	0	1516	1327	8495	9802	3815	3753	2717	4151	2479	4558	2746	3610
	min	0	1319	0	1169	641	2149	7444	1327	2717	1713	3104	1380	1125	990	3156
	med	0	1631	0	1288	1041	4436	8625	2329	3117	2324	3681	1975	2969	1868	3383

In base al tipo di campione, inoltre, sono stati raccolti i dati dichiarati da ciascun produttore in accordo con le specifiche normative UNI ISO, all'interno delle rispettive schede tecniche. Essi sono stati riassunti in una tabella, simile alla precedente. Per ragioni di completezza, laddove nella data scheda non è stato trovato il dichiarato relativo alla prova corrispondente, si è deciso di confrontare gli esiti del test con i valori certificati da Terreal Italia (evidenziati in rosso): da notare che per la resistenza a flessione (carico di rottura trasversale) non sono stati considerati i campioni rossi in quanto Terreal Italia non ha dichiarato un limite specifico (e per questo indicato con 0):

DATI DICHIARATI DALLE AZIENDE PRODUTTRICI		PRODUTTORE 1			PRODUTTORE 2			PRODUTTORE 3		PRODUTTORE 4		PRODUTTORE 5		TERREAL ITALIA		
		R	RS	GP	R	RS	GP	R	GP	R	RS	R	RS	R	RS	GP
DIMENSIONI (mm)	lunghezza	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
	larghezza	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
	altezza	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
DENSITA' MEDIA (Kg/m³)		1550	1500	1450	1560	1540	1510	1550	1350	1633	1633	1620	1650	1560	1500	1450
% ASSORBIMENTO D'ACQUA		25	26	28	20	22	22	20	26	20	20	16,3	15,6	22	22	26
COMPRESSIONE (N/mm²)		19	20	18	22	21	20	17	17	29,3	29,3	30,3	28,6	18	20	22
FLESSIONE MEDIA (N/mm)		0	30	30	0	30	30	0	30	0	30	0	30	0	30	30
ABRASIONE	corda (mm)	95	90	85	95	90	85	95	85	95	90	95	90	95	90	85
	volumi (mm³)	7697	6490	5425	7697	6490	5425	7697	5425	7697	6490	7697	6490	7697	6490	5425

Per verificare l'effettiva conformità dei produttori ai dati dichiarati (o eventualmente creare un termine di paragone con le caratteristiche dei mattoni Terreal Italia), si sono calcolati per ogni campione e tipo di prova gli scostamenti percentuali, con segno, dal valore certificato in funzione dei risultati medi ottenuti dai rispettivi test, con la precisione del secondo termine decimale:

$$Scostamento_{\%} = \frac{val. dichiarato - val. misurato medio}{val. dichiarato} * 100$$

SCOSTAMENTI % FRA VALORI MEDI DICHIARATI E MISURATI	PRODUTTORE 1			PRODUTTORE 2			PRODUTTORE 3		PRODUTTORE 4		PRODUTTORE 5		TERREAL ITALIA			
	P1 R	P1 RS	P1 GP	P2 R	P2 RS	P2 GP	P3 R	P3 GP	P4 R	P4 RS	P5 R	P5 RS	S.MARCO R	S.MARCO RS	S.MARCO GP	
DIMENSIONI (mm)	lunghezza	-0,40	0,16	-0,40	0,32	0,20	0,32	-2,40	-0,24	-0,40	0,16	-0,80	0,60	-0,08	-0,16	-0,48
	larghezza	2,25	1,58	3,08	0,50	-0,17	1,08	-0,83	-0,08	0,83	0,25	0,00	1,08	-0,17	0,00	-0,42
	altezza	2,91	3,82	0,73	2,91	4,55	5,45	-3,64	1,45	5,45	3,45	0,00	2,18	0,36	1,82	0,55
DENSITA' MEDIA (Kg/m ³)	10,65	-2,47	13,24	-6,73	-14,42	-2,05	0,90	-18,96	1,41	1,29	-0,93	0,30	-0,32	-1,00	4,34	
% ASSORBIMENTO D'ACQUA	-1,20	23,08	-10,36	40,00	77,27	9,09	5,50	46,15	24,50	20,00	4,29	-2,56	10,00	4,55	9,62	
COMPRESSIONE (N/mm ²)	-	3,00	-	-49,09	-49,05	-15,50	-10,00	-31,18	1,37	7,51	0,99	-32,17	-8,33	-8,00	2,27	
FLESSIONE MEDIA (N/mm)	-	3,33	-	-	-30,00	26,67	-	-3,33	-	-33,33	-	-46,67	-	-20,00	-68,33	
ABRASIONE (mm ³)	-	74,87	-	83,27	83,96	18,23	-12,06	57,07	59,50	64,19	52,18	69,57	61,43	71,22	37,64	

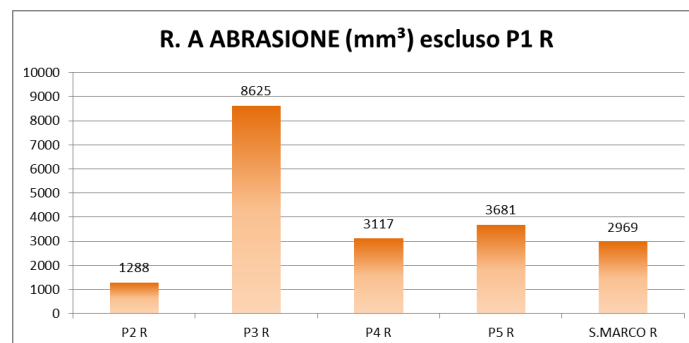
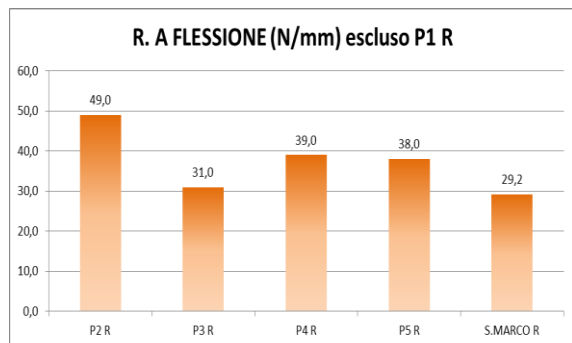
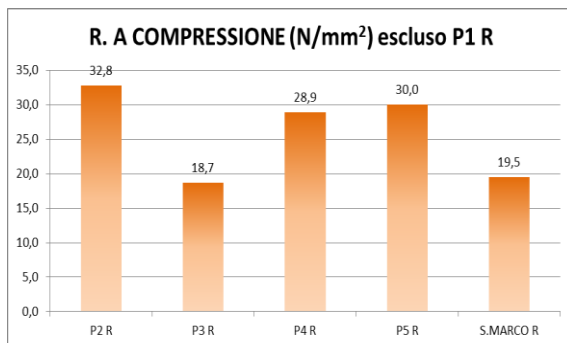
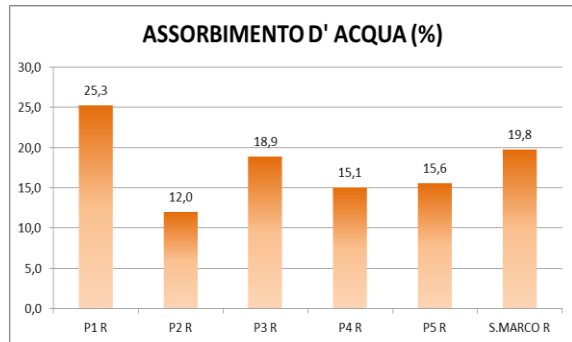
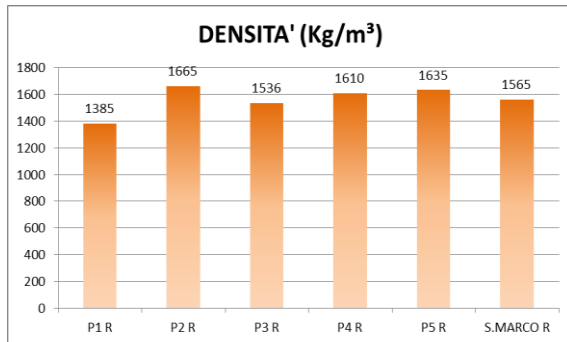
Non sempre uno scostamento negativo indica una scarsa performance dei prodotti testati. Per le resistenze a flessione e a compressione un dato misurato che superi quello dichiarato è considerato come un aspetto positivo, mentre per densità, assorbimento d'acqua e resistenza all'abrasione tale aspetto risulta invertito e pertanto viene privilegiato uno scostamento maggiore di zero.

Si può notare che per quanto riguarda le proprietà in esame, i mattoni Terreal Italia hanno presentato in generale un'ottima conformità ai dati dichiarati, con scostamenti nocivi pressoché minimi in densità e buone performance meccaniche.

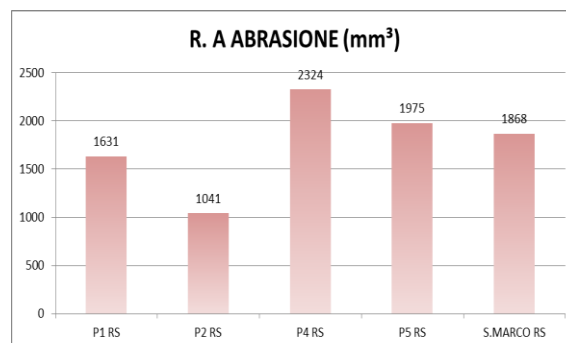
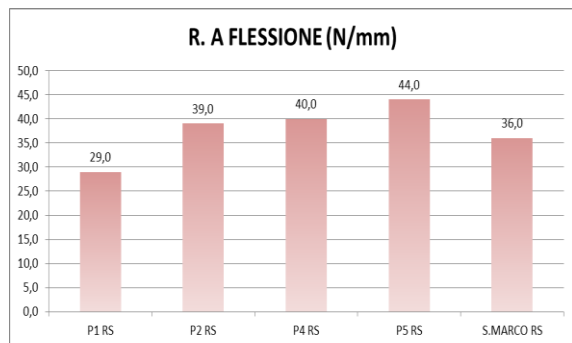
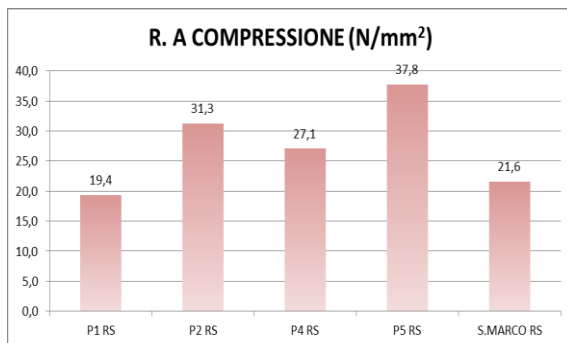
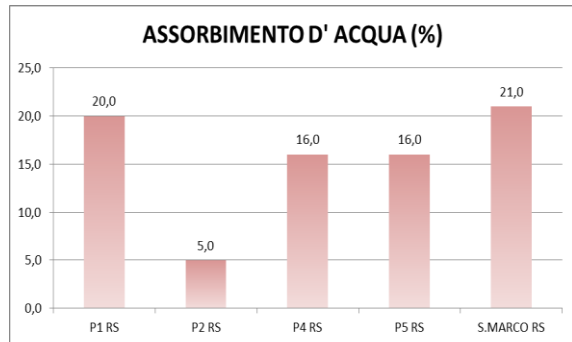
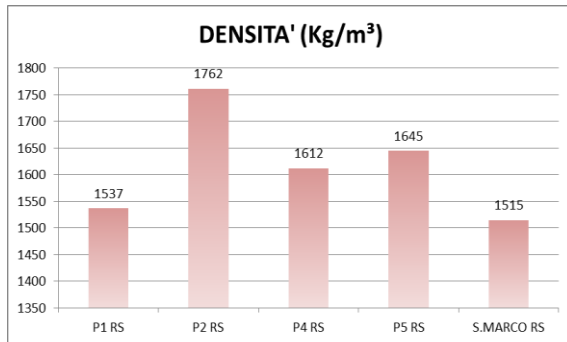
Una volta collezionato l'intero volume di dati, si è proceduto al confronto delle proprietà dei campioni in relazione ai corrispondenti test effettuati, mediante la compilazione di opportuni istogrammi. La comparazione è stata eseguita in due modi differenti:

- confronto fra i valori medi misurati di campioni dello stesso colore;
- confronto fra i valori medi misurati di tutti i campioni, sulla base del quale si è stilata la classifica generale.

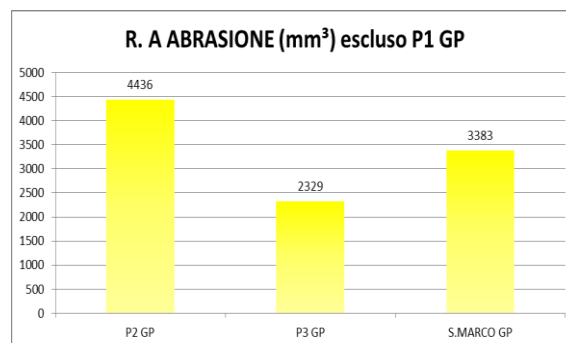
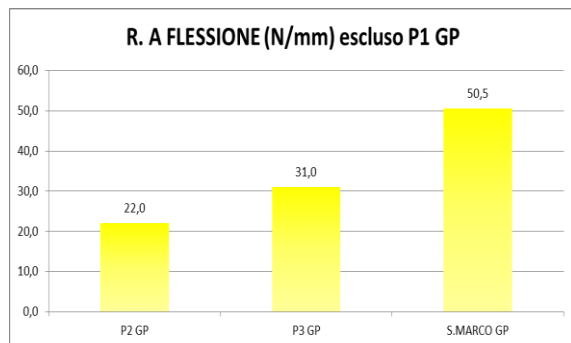
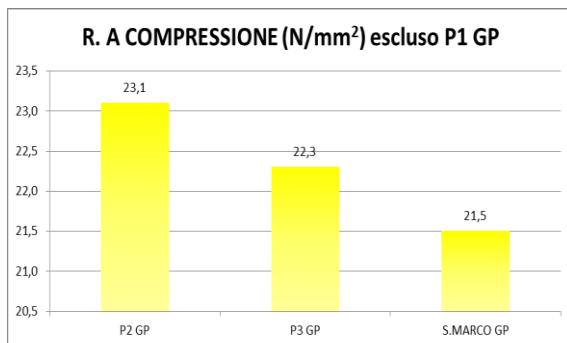
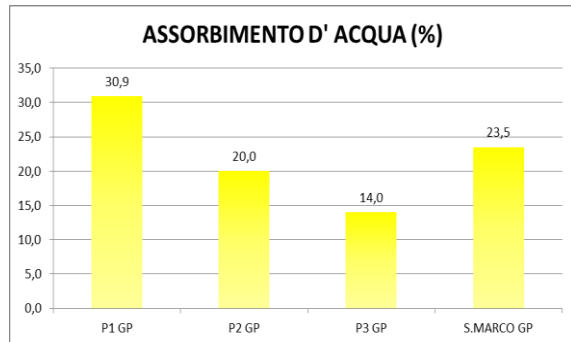
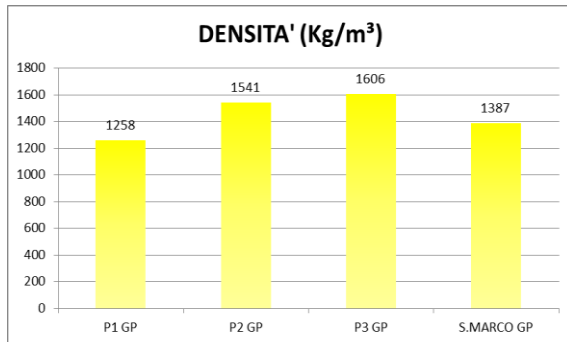
Confronto fra campioni R



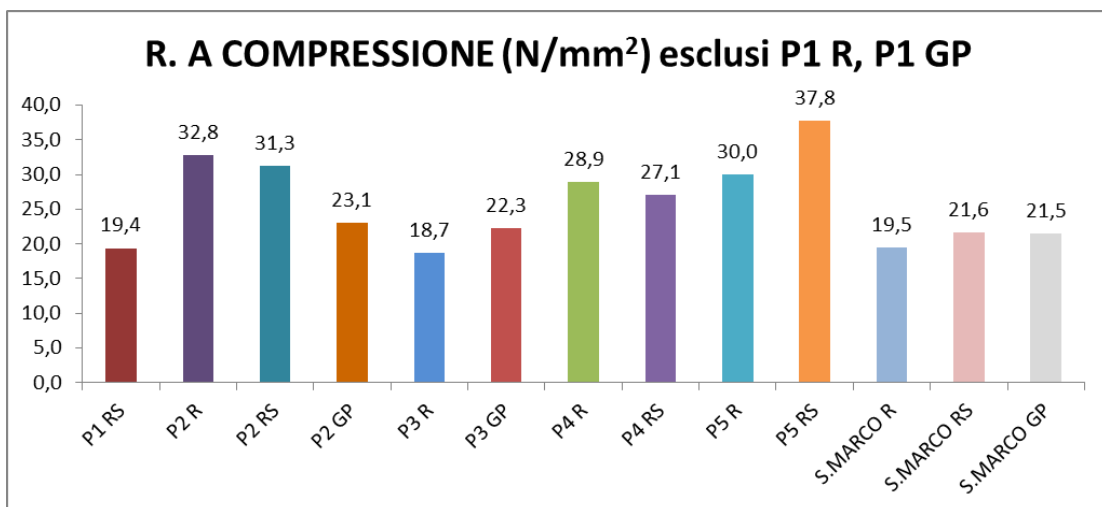
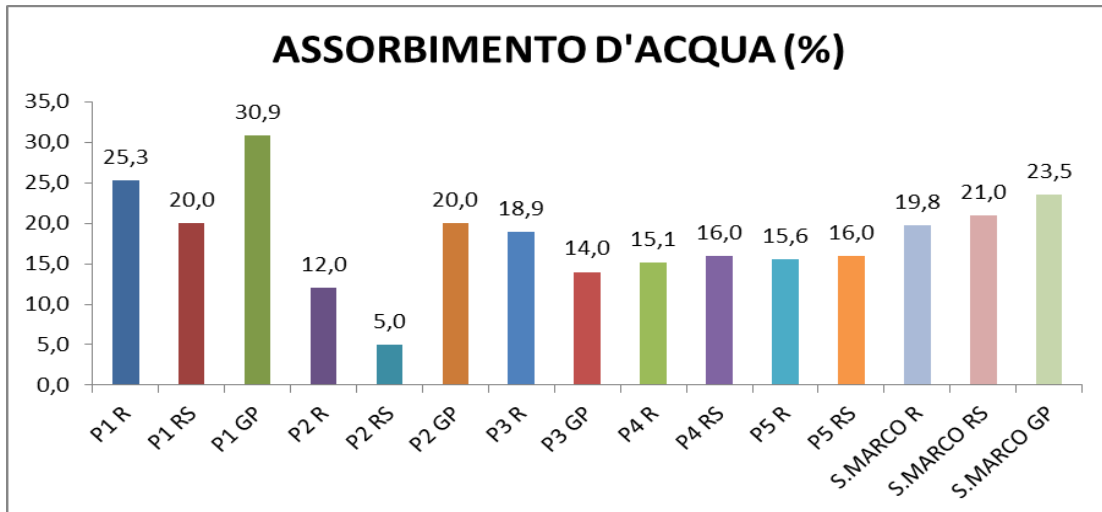
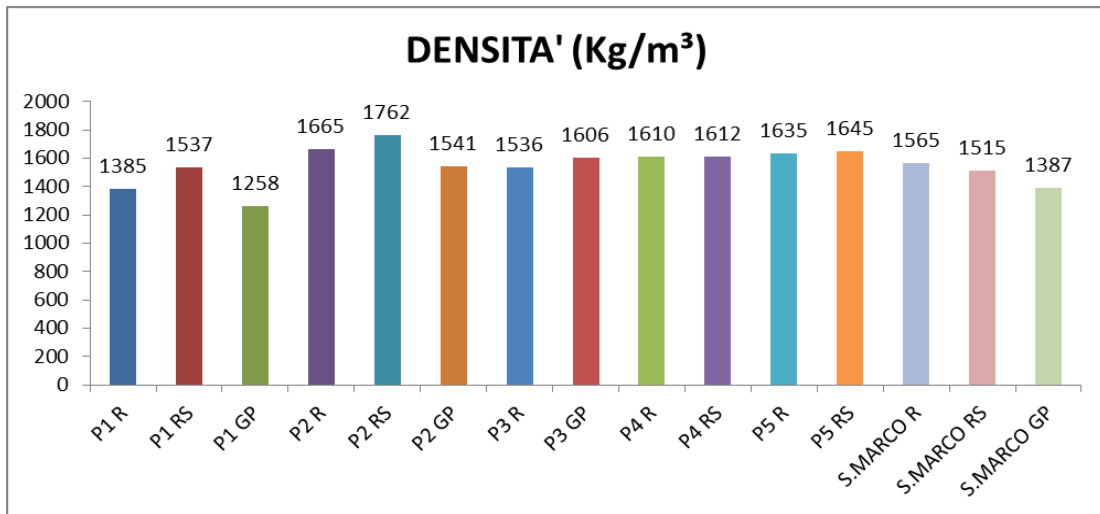
Confronto fra campioni RS

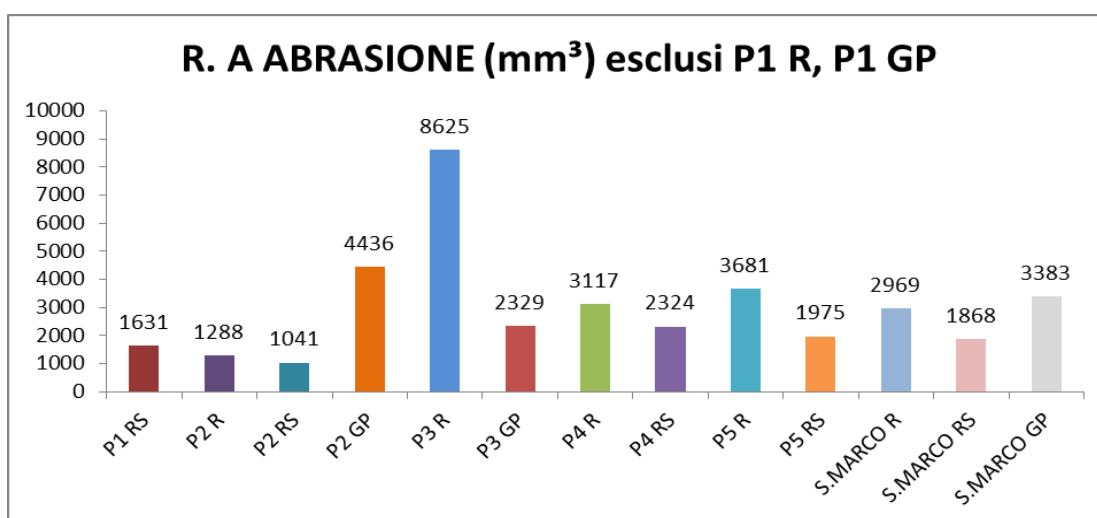
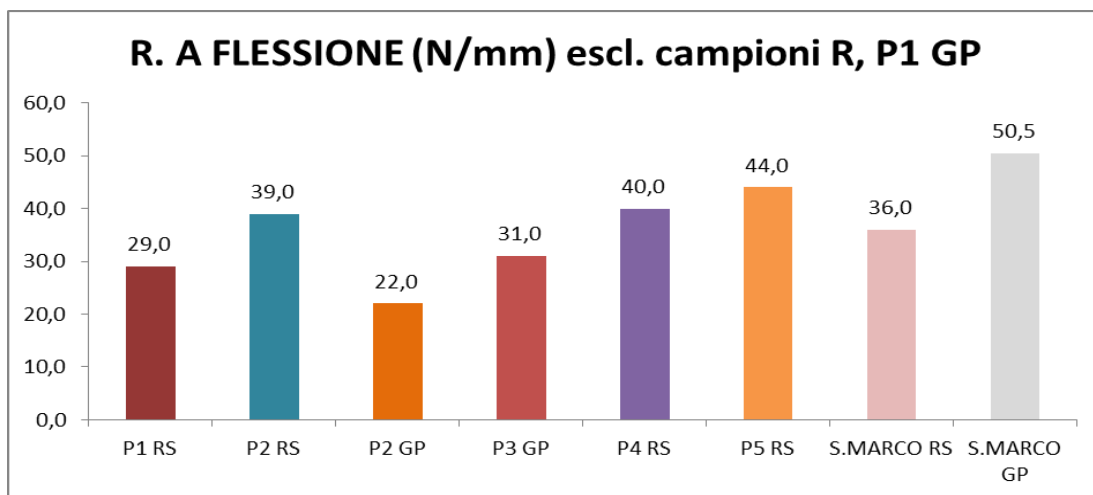


Confronto fra campioni GP



Confronto fra le proprietà di tutti i campioni testati





La classifica generale a pagina seguente mette in evidenza la qualità dei prodotti sulla base delle prove di laboratorio effettuate. Ogni campione è individuato da una casella colorata nella quale figura il rispettivo produttore. Per ciascuna proprietà il metodo di classificazione ha presentato alcune varianti: per densità media, percentuale di assorbimento d'acqua e resistenza all'abrasione la scala di valutazione è partita dai valori minimi. Ciò perché una bassa densità è solitamente indice di un miglior potere fono e termoisolante, e un minor assorbimento limita nocivi fenomeni di ristagno di liquido all'interno del laterizio. Riguardo alle proprietà meccaniche, si sono privilegiati i valori più elevati in quanto resistenze:

CLASSIFICA GENERALE		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°
da min a max	DENSITA' (Kg/m ³)	P1 GP	P1 R	S.MARCO GP	S.MARCO RS	P3 R	P1 RS	P2 GP	S.MARCO R	P3 GP	P4 R	P4 RS	P5 R	P5 RS	P2 R	P2 RS
da min a max	% ASSORBIMENTO D'ACQUA	P2 RS	P2 R	P3 GP	P4 R	P5 R	P5 RS P4 RS	P3 R	S.MARCO R	P2 GP P1 RS	S.MARCO RS	S.MARCO GP	P1 R	P1 GP		
da max a min	R. A COMPRESSIONE (N/mm ²) esclusi P1 R, P1 GP	P5 RS	P2 R	P2 RS	P5 R	P4 R	P4 RS	P2 GP	P3 GP	S.MARCO RS	S.MARCO GP	S.MARCO R	P1 RS	P3 R		
da max a min	R. A FLESSIONE (N/mm) esclusi i campioni R, P1 GP	S.MARCO GP	P5 RS	P4 RS	P2 RS	S.MARCO RS	P3 GP	P1 RS	P2 GP							
da min a max	R. A ABRASIONE (mm ³) esclusi P1 R, P1 GP	P2 RS	P2 R	P1 RS	S.MARCO RS	P5 RS	P4 RS	P3 GP	S.MARCO R	P4 R	S.MARCO GP	P5 R	P2 GP	P3 R		

A prima vista si può osservare una maggior concentrazione di campioni a miscela rosata nelle prime posizioni della classifica (da 1° a 6° posto), indipendentemente dalla caratteristica. Fra questi spicca P2 RS che, avendo una elevata densità, possiede buone prestazioni meccaniche, un'ottima resistenza all'abrasione e la minima capacità di assorbimento d'acqua.

Per quanto concerne i campioni di colore rosso, P2 R ha espresso in assoluto il giudizio complessivo migliore mentre P4 R e P5 R segnalano soddisfacenti prestazioni "isolanti" (in base ad una scala di densità) e di assorbimento. I campioni gialli hanno generalmente dimostrato prestazioni discrete, tuttavia è da segnalare S. Marco GP, avente un buon potere isolante e la migliore resistenza a flessione.

Occupando per ben sei volte le prime tre posizioni della classifica generale, il produttore P2 si eleva al rango di competitor più temibile, nonché punto di riferimento per le performance dei campioni a miscela rossa e rosata. Lo standard di qualità più elevato per le miscele gialle si attribuisce al mattone Terreal Italia.

Conclusioni

L'analisi dei dati raccolti durante l'attività di tirocinio, ha fin da subito dimostrato come il ciclo di produzione dei laterizi faccia a vista sia generalmente influenzato da un cospicuo numero di fattori in relazione alle proprietà chimico-fisiche e alla lavorazione dell'impasto argilloso, nonché a variabili di processo come temperatura e grado di umidità. Ciò risalta particolarmente dall'indagine statistica sui prodotti italiani negli anni Novanta. Tali fattori incidono a loro volta, durante ciascuna fase della produzione, sulla microstruttura e le proprietà meccaniche ed estetiche del materiale; da qui l'imprescindibile necessità di operare un rigoroso controllo (così come quotidianamente avviene nello stabilimento Terreal Italia S.r.l. di Noale), al fine di migliorare, rispettando le esigenze produttive, il grado di qualità complessivo del laterizio. Quest'ultimo è risultato molto diversificato nei confronti di prodotti simili di altre aziende italiane; ciò può fornire un esempio di come una variabilità di composizioni chimiche e mineralogiche delle materie prime porti all'ottenimento di manufatti eterogenei per proprietà, pur essendo in linea con i requisiti delle normative vigenti.

Il laterizio faccia a vista presenta oggi un'interessante sintesi fra tradizione e tecnologia, inserita in un contesto di mercato globale e di elevata competitività fra le aziende produttrici.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- B. Fabbri, M. Dondi: *La produzione del laterizio in Italia* (Gruppo Editoriale Faenza Editrice, 1995);
- G. P. Emiliani, F. Corbara: *Tecnologia ceramica – le tipologie* (Gruppo Editoriale Faenza Editrice, 2001);
- *Analisi chimica quantitativa e mineralogica su mattoni a vista standard secchi GP R RS Terreal Italia S.r.l.* - rapporto di prova del 3 aprile 2007;
- Sito Internet dell'Associazione Nazionale Degli Industriali dei Laterizi (ANDIL) – sezione “elementi per faccia a vista” (<http://www.laterizio.it>).

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare sentitamente tutti coloro che mi hanno accompagnato in questo importante percorso formativo: in primis il Dott. Francesco Stangherlin e il Prof. Massimo Guglielmi, per la loro disponibilità, professionalità e cordialità; il Dott. Davide Bresolin e il Sig. Massimo Masiero, per la simpatia e la pazienza accordatami.

Desidero ringraziare anche i Sig.ri Massimo Agnoletto, Simone Barzan, Stefano Michieletto, Henry Meneguzzo per avermi accolto amichevolmente in un ambiente per me nuovo; l'Arch. Franco Favaro, per la grande perspicacia.

Infine, un caloroso grazie a tutti i dipendenti di questa Azienda, che con la semplicità di un saluto, di un sorriso e di qualche battuta mi hanno fatto sentire parte di un grande gruppo.

