

Oggi, 29 ottobre 2008, alle ore 9,00, nella sala Seminari si è riunito il collegio dei Docenti del Dottorato con il seguente ordine del giorno :

- 1) Seminario conclusivo per la valutazione dell'attività di ricerca del dottorato del XXI ciclo.

Sono presenti i seguenti membri del collegio:

NOME	Presente	Assente giustificato	Assente
Festa prof. Demetrio	X		
D'Elia prof. Sergio	X		
Sacomanno Frank		X	
Goulias Konstadinos G.		X	
Ciccione prof. Filippo			X
Principe prof. Ilario	X		
Capiluppi prof. Gianfranco		X	
Astarita ing. Vittorio	X		
Cirillo Cinzia		X	
Artese Giuseppe	X		
Celani arch. Gabrio	X		
Francini arch. Mauro	X		
Mazzulla ing. Gabriella	X		
Parise arch. Federico			X
De Luca ing. Pierantonio	X		
Vaiana ing. Rosolino	X		
Salvo ing. Francesca	X		
Guido Giuseppe	X		

Presiede il prof. Sergio d'Elia ; verbalizza il dott. Giuseppe Guido

### 1) punto all'ordine del giorno

Il coordinatore fa presente che entro il termine assegnato del 23 ottobre 2008 i candidati: Mario Cordasco, Annunziata Palermo, Alessandro Vescio e Rosa Sansosti, secondo le disposizioni che erano state rese note in precedenza, hanno consegnato presso lo studio del coordinatore:

- una bozza della tesi di dottorato in forma cartacea
- una scheda delle attività di ricerca e di formazione nei tre anni di dottorato
- una copia delle pubblicazioni fatte nei tre anni.

Tali elaborati sono stati a disposizione dei membri del collegio per una disamina fino alla data odierna.

Il coordinatore prende la parola e invita i dottorandi ad illustrare il proprio lavoro, senza l'aiuto di supporti audiovisivi, soffermandosi in particolare sull'attività dell'ultimo anno.

Al termine dell'esposizione, i membri del collegio avranno la possibilità di chiedere spiegazioni ed ulteriori richieste di chiarimento e potranno suggerire eventuali correzioni o integrazioni da apportare al lavoro di tesi.

Allo stesso modo ciascun dottorando avrà la possibilità di fare domande. La presenza contemporanea di tutti i dottorandi è utile anche per scambi culturali e per possibili ricerche in comune.

Il coordinatore fa presente che le relazioni, le fotocopie delle pubblicazioni e le schede personali degli allievi, pervenute al coordinatore nei tempi prestabiliti, sono state consultate dai membri del collegio che ne hanno fatto richiesta.

Vengono invitati a illustrare il proprio lavoro i seguenti dottorandi, giunti al terzo anno del dottorato: Mario Cordasco, Annunziata Palermo, Alessandro Vescio e Rosa Sansosti.

Ognuno di loro espone il proprio lavoro esaurientemente, soffermandosi soprattutto sulla metodologia posta in essere, sui risultati ottenuti sull'applicabilità del metodo proposto e sulle ricerche possibili nel campo di ricerca intrapreso. Ciascun candidato risponde, quindi, a qualche domanda posta dai membri del collegio per chiarire meglio le posizioni assunte e sui punti di forza e di debolezza della ricerca.

Ogni candidato illustra altresì l'attività di formazione e collaterale svolta, la partecipazione a corsi, convegni e seminari, le collaborazioni con altri Enti o Università, illustra ancora a grandi linee quali sono le pubblicazioni svolte.

#### OMISSIS

Il collegio dei docenti ritiene all'unanimità che il lavoro di ricerca posto in essere dai candidati Mario Cordasco, Annunziata Palermo e Rosa Sansosti, è meritevole ed i risultati raggiunti sono considerevoli, e ritiene che i candidati possano essere ammessi a sostenere l'esame finale, compilando per ciascuno di essi il medaglione che si riporta nel seguito.

#### Valutazione dell'attività finale dell'allieva **Rosa Sansosti** (XXI ciclo)

*Si esamina la tesi dell'allieva **Rosa Sansosti** (dottoranda con borsa del XXI ciclo) che ha svolto un lavoro dal titolo: **Impiego di scarti industriali in materiali di natura ceramica destinati all'edilizia urbana**. Tutor il prof. **Alfonso Nastro** che afferisce al settore scientifico disciplinare ING-IND 22. Il supervisore dell'allieva, **prof. Alfonso Nastro**, esprime un giudizio positivo sull'impegno, sul rigore scientifico adottato per la stesura del lavoro di tesi.*

I risultati ottenuti nel corso del triennio di attività sono interessanti ed apprezzati dalla comunità scientifica del settore di afferenza, tanto a livello nazionale che internazionale. L'allieva, nel corso dei tre anni, presenta infatti una produzione scientifica interessante, che consiste in 1 articolo su rivista internazionale, 1 comunicazioni a congresso nazionale con pubblicazione delle memorie, 10 comunicazioni a congresso internazionale con pubblicazione delle memorie.

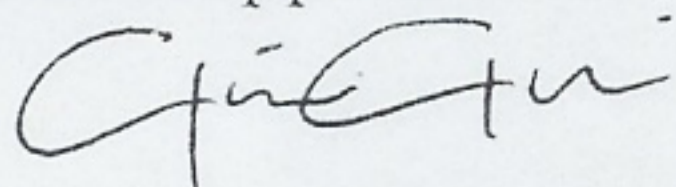
Visti i risultati conseguiti, il prof Nastro ribadisce il suo giudizio altamente positivo e propone al Collegio dei docenti l'ammissione dell'allieva Rosa Sansosti all'esame finale per il conseguimento del titolo di dottore di ricerca.

Il Collegio dei docenti prende atto e condivide il giudizio positivo espresso dal supervisore sull'attività di ricerca, sull'impegno dell'allieva, sulla sua produzione scientifica e sulla tesi finale presentata.

Il collegio quindi approva l'attività complessiva ed il lavoro di tesi che la dott. Sansosti presenterà all'esame finale per il conseguimento del titolo di Dottore di Ricerca in Tecnologie e Pianificazione Ambientale.

#### OMISSIS

Il segretario verbalizzante  
Ing. Giuseppe Guido



Il Coordinatore  
Prof. Ing Sergio d'Elia



UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

DIPARTIMENTO DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

*Dottorato di ricerca in*  
TECNOLOGIE E PIANIFICAZIONE AMBIENTALE

—XXI CICLO—  
SETTORE SCIENTIFICO DISCIPLINARE: ING/IND 22

---

***IMPIEGO DI SCARTI INDUSTRIALI IN MATERIALI  
DI NATURA CERAMICA  
DESTINATI ALL'EDILIZIA URBANA***

Supervisore

*Prof. Ing. Alfonso Nastro*

Dottorando

*Dott. Ing. Rosa Sansosti*

*Rosa Sansosti*

Coordinatore

*Prof. Ing. Sergio d'Elia*

*Sergio d'Elia*

*A Sergio e ...  
a tutti coloro che  
hanno confidato in questa ricerca.*

# INDICE

## **PRAFAZIONE**

Pag. I-VI

## **CAPITOLO I – DEFINIZIONE, CLASSIFICAZIONE E PROCESSI PRODUTTIVI DEI PRODOTTI CERAMICI**

1.1 Introduzione	“ 1
1.2 I prodotti ceramici : definizione e storia	“ 2
1.3 Classificazione dei prodotti ceramici	“ 3
1.3.1 Ceramiche silicatiche a base argillosa	“ 6
1.3.1.1 Terrecotte	“ 8
1.3.1.2 Terraglie	“ 9
1.3.1.3 Faenze	“ 9
1.3.1.4 Refrattari	“ 10
1.3.1.5 Grès	“ 11
1.3.1.6 Porcellane	“ 12
1.3.1.7 Smalti ceramici	“ 13
1.4 Il laterizio e la sua storia	“ 13
1.5 Materie prime per la produzione di laterizi	“ 16
1.5.1 Frazione argillosa	“ 17
1.5.2 Frazione inerte	“ 27
1.5.3 Frazione organica	“ 30
1.5.4 Frazione fondente	“ 31
1.6 Tipologie di laterizi	“ 33
1.6.1 Mattoni pieni	“ 34
1.6.2 Mattoni e blocchi semipieni	“ 34
1.6.3 Mattoni e blocchi semipieni alleggeriti in pasta	“ 35
1.6.4 Elementi solai	“ 36
1.6.5 Elementi per coperture discontinue	“ 37
1.6.6 Tavelle e Tavelloni	“ 38
1.6.7 Cotto da pavimentazione	“ 39
1.6.8 Pezzi speciali	“ 40
1.7 Fabbricazione di laterizi	“ 42
1.7.1 Stagionatura	“ 42
1.7.2 Preparazione impasti	“ 43
1.7.3 Foggiatura	“ 44
1.7.4 Essiccamento	“ 45
1.7.5 Cottura	“ 50
1.7.6 Scelta, condizionamento e imballaggio	“ 55
1.8 La normativa dei laterizi	“ 55

## **CAPITOLO II – LA GESTIONE DEI RIFIUTI: QUADRO LEGISLATIVO EUROPEO E NAZIONALE**

2.1 Introduzione	“ 65
2.2 Normativa europea	“ 66
2.3 Normativa nazionale	“ 67
2.4 Gestione rifiuti in Europa e in Italia	“ 68






2.5 Classificazione dei rifiuti	“ 70
2.5.1 I rifiuti urbani	“ 70
2.5.2 I rifiuti speciali	“ 71
2.5.3 Rifiuti pericolosi e non pericolosi	“ 71
2.6 Tecnologie smaltimento rifiuti	“ 72
2.7 Impiego di materiali da riciclo nell’industria ceramica tradizionale	“ 75
2.7.1 Riciclaggio di rifiuti urbani ed industriali nell’industria di laterizi	“ 77
2.7.2 Piastrelle per pavimento e rivestimento	“ 81
2.7.3 Porcellana: sanitari e stoviglia	“ 84
2.7.4 Terracotta	“ 85

### **CAPITOLO III – METODOLOGIE E STRUMENTAZIONE DA LABORATORIO ADOTTATE**

3.1 Introduzione	“ 86
3.2 Analisi mineralogica	“ 86
3.2.1 Diffratometria a raggi X	“ 87
3.3 Strumenti e metodi per l’analisi termica	“ 89
3.3.1 Analisi termogravimetrica (TG)	“ 90
3.3.2 Analisi termogravimetrica differenziale (DTG)	“ 91
3.3.3 Colorimetria differenziale a scansione (DSC)	“ 92
3.4 Microscopia elettronica a scansione (SEM)	“ 93
3.4.1 Principio di funzionamento SEM	“ 93
3.5 Spettrofotometria di assorbimento atomico	“ 95
3.5.1 Spettrometri di assorbimento atomico (AAS)	“ 96
3.5.2 Le sorgenti	“ 97
3.5.2.1 Lampade a catodo cavo (HCl)	“ 97
3.5.3 Atomizzatori di fiamma	“ 99
3.6 Porosità dei prodotti finiti	“ 101
3.6.1 Porosimetria a mercurio	“ 103
3.7 Pressa idraulica	“ 105
3.8 Macchinari utilizzati per le fasi di formatura e cottura dei laterizi	“ 107
3.8.1 Mulino	“ 107
3.8.2 Mini betoniera	“ 108
3.8.3 Mattoniera tipo MVP/O serie G	“ 109
3.8.4 Essiccatore termoventilato	“ 111
3.8.5 Forno a camera	“ 112

### **CAPITOLO IV – CARATTERIZZAZIONE MATERIE PRIME ARGILLOSE E MATERIALI DI SCARTO**

4.1 Introduzione	“ 114
4.2 Cenni geologici-strutturali dell’area di campionamento	“ 115
4.3 Aspetto e trattamento preliminare dei campioni di argilla	“ 115
4.4 Calcinazione delle argille e calcolo delle perdite di peso	“ 119
4.5 Determinazione della perdita al fuoco	“ 122
4.6 Analisi mineralogica mediante diffrazione a raggi X (XRD)	“ 123
4.7 Analisi chimica mediante fluorescenza a raggi X sui campioni di argille	“ 125

4.8 Analisi chimica mediante microanalisi EDS	“ 126
4.9 Analisi termogravimetrica	“ 126
4.10 Campionamento dei materiali di scarto	“ 129
 <i>Residui di lavorazione dello zinco proveniente dall'industria idrometallurgica (ferrite di zinco)</i>	
4.11 Introduzione	“ 130
4.12 Proprietà organolettiche dei fanghi di zinco	“ 131
4.13 Analisi granulometrica	“ 131
4.14 Analisi mineralogica mediante diffrazione a raggi X (XRD)	“ 132
4.15 Analisi chimica mediante microanalisi EDS	“ 133
4.16 Analisi termogravimetrica	“ 133
 <i>Trucioli di PVC, provenienti da una piccola industria produttrice di infissi in PVC.</i>	
4.18 Introduzione	“ 136
4.19 Aspetto del materiale	“ 137
4.20 Analisi termogravimetrica	“ 138
 <i>Fibre di cellulosa “Technocel”, provenienti da una azienda tedesca (CFF GmbH &amp; Co. KG.)</i>	
4.21 Introduzione	“ 139
4.22 Aspetto del materiale	“ 139
4.23 Analisi termogravimetrica	“ 140
4.24 Analisi mediante microscopio elettronico a scansione	“ 141
 <i>Polvere di clorite, scarto proveniente da un'industria mineraria.</i>	
4.25 Introduzione	“ 142
4.26 Aspetto del materiale	“ 142
4.27 Analisi mineralogica mediante diffrazione a raggi X (XRD)	“ 143
4.28 Analisi chimica mediante microanalisi EDS	“ 143
4.29 Analisi termogravimetrica	“ 144
4.30 Analisi mediante microscopio elettronico a scansione	“ 145
 <i>Polvere di diverse tipologie di vetro proveniente dalla raccolta differenziata</i>	
4.31 Introduzione	“ 146
4.32 Analisi chimica mediante microanalisi EDS	“ 147
4.33 Analisi termogravimetrica	“ 147

**CAPITOLO V – OTTIMIZZAZIONE DEI PROCESSI DI LAVORAZIONE E REALIZZAZIONE DEI PROTOTIPI DI LATERIZIO**

5.1 Introduzione	“ 148
5.2 Massa totale	“ 149
5.3 Quantità materiale di scarto	“ 149
5.4 Acqua d'impasto	“ 149
5.5 Formatura ed essiccazione dei campioni	“ 149
5.6 Temperatura e tempo di cottura	“ 150
5.7 Effetti della fase di essiccazione e cottura sui campioni	“ 152

<b>CAPITOLO VI – NORMATIVA DI RIFERIMENTO: UNI 8942</b>	
6.1 Introduzione	“ 154
6.2 Norma di riferimento prodotti di laterizio per murature	“ 155
<i>Terminologia e sistema di classificazione - UNI 8942 parte 1a</i>	
6.2.1 Premessa	“ 155
6.2.2 Scopo	“ 155
6.2.3 Termini e definizioni	“ 155
6.2.4 Sistema di classificazione	“ 156
6.2.4.1 Percentuale di foratura	“ 156
6.2.4.2 Giacitura in opera	“ 156
6.2.4.3 Tecnologia di produzione	“ 156
<i>Limiti di accettazione - UNI 8942 parte 2a</i>	
6.2.5 Scopo	“ 157
6.2.6 Campo di applicazione	“ 157
6.2.7 Campionamento	“ 157
6.2.8 Limiti di accettazione	“ 158
<i>Metodi di prova - UNI 8942 parte 3a</i>	
6.2.9 Scopo	“ 159
6.2.10 Generalità per le prove	“ 159
6.2.11 Dimensioni esterne – Calcolo volume lordo e netto (UNI 8942 parte III	“ 159
6.2.12 Massa volumica e massa volumica apparente (UNI 8942 parte III - punto 7)	“ 160
6.2.13 Resistenza a flessione (UNI 8942 parte III - punto 10)	“ 161
6.2.14 Inclusioni calcaree (UNI 8942 parte III - punto 11)	“ 162
6.2.15 Attitudine alle efflorescenze (UNI 8942 parte III - punto 12)	“ 163
6.2.16 Imbibizione (assorbimento specifico) (UNI 8942 parte III - punto 13)	“ 163
6.2.17 Assorbimento d’acqua e stima del rischio di gelività (UNI 8942 parte III - punto 14)	“ 164
6.2.18 Porosità (UNI 8942 parte III - punto 15)	“ 165
6.2.19 Gelività (cicli gelo-disgelo) (R.D. 2234 16 Novembre 1939)	“ 166
<b>CAPITOLO VII – CLASSIFICAZIONE DI LATERIZI REALIZZATI MEDIANTE L’AGGIUNTA DI MATERIALE DI SCARTO</b>	
7.1 Introduzione	“ 167
7.2 Stato dell’arte sulle esperienze di riciclaggio di scarti urbani ed industriali nella produzione di laterizi	“ 168
7.3 <i>Provini realizzati con argilla e scarto di ferrite di zinco</i>	“ 177
7.4 Classificazione a norma	“ 177
7.4.1 Ritiro	“ 177
7.4.2 Peso	“ 179
7.4.3 Dimensioni esterne – Calcolo volume lordo e netto (UNI 8942 parte III - punto 6)	“ 180
7.4.4 Massa volumica e massa volumica apparente (UNI 8942 parte III - punto 7)	“ 180



7.4.5 Resistenza a flessione (UNI 8942 parte III - punto 10)	“ 182
7.4.6 Inclusioni calcaree (UNI 8942 parte III - punto 11)	“ 183
7.4.7 Attitudine alle efflorescenze (UNI 8942 parte III - punto 12)	“ 184
7.4.8 Imbibizione (assorbimento specifico) (UNI 8942 parte III - punto 13)	“ 186
7.4.9 Assorbimento d'acqua e stima del rischio di gelività (UNI 8942 parte III - punto 14)	“ 187
7.4.10 Porosità (UNI 8942 parte III - punto 15)	“ 190
7.4.11 Gelività (cicli gelo-disgelo) (R.D. 2234 16 Novembre 1939)	“ 190
7.4.12 Prove di rilascio	“ 191
7.5 <i>Provini realizzati con argilla e polvere di clorite</i>	“ 194
7.6 Classificazione a norma	“ 194
7.6.1 Ritiro	“ 194
7.6.2 Peso	“ 195
7.6.3 Dimensioni esterne – Calcolo volume lordo e netto (UNI 8942 parte III - punto 6)	“ 196
7.6.4 Massa volumica (Da) e massa volumica apparente (Mv) (UNI 8942 parte III - punto 7)	“ 197
7.6.5 Resistenza a flessione (UNI 8942 parte III - punto 10)	“ 198
7.6.6 Inclusioni calcaree (UNI 8942 parte III - punto 11)	“ 199
7.6.7 Attitudine alle efflorescenze (UNI 8942 parte III - punto 12)	“ 199
7.6.8 Imbibizione (assorbimento specifico) (UNI 8942 parte III - punto 13)	“ 201
7.6.9 Assorbimento d'acqua e stima del rischio di gelività (UNI 8942 parte III - punto 14)	“ 201
7.6.10 Porosità (UNI 8942 parte III - punto 15)	“ 203
7.6.11 Prove di rilascio	“ 204
7.7 <i>Provini realizzati con argilla e trucioli di pvc</i>	“ 205
7.8 Classificazione a norma	“ 207
7.8.1 Ritiro	“ 207
7.8.2 Peso	“ 208
7.8.3 Dimensioni esterne – Calcolo volume lordo e netto (UNI 8942 parte III)	“ 208
7.8.4 Massa volumica (Da) e massa volumica apparente (Mv) (UNI 8942 parte III - punto 7)	“ 209
7.8.5 Resistenza a flessione (UNI 8942 parte III - punto 10)	“ 211
7.8.6 Inclusioni calcaree (UNI 8942 parte III - punto 11)	“ 212
7.8.7 Attitudine alle efflorescenze (UNI 8942 parte III - punto 12)	“ 212
7.8.8 Imbibizione (assorbimento specifico) (UNI 8942 parte III - punto 13)	“ 214
7.8.9 Assorbimento d'acqua e stima del rischio di gelività (UNI 8942 parte III - punto 14)	“ 214
7.8.10 Porosità (UNI 8942 parte III - punto 15)	“ 216
7.9 <i>Provini realizzati con argilla e fibre di cellulosa</i>	“ 217
7.10 Classificazione a norma	“ 217
7.10.1 Ritiro	“ 217
7.10.2 Peso	“ 218
7.10.3 Dimensioni esterne – Calcolo volume lordo e netto (UNI 8942 parte III - punto 6)	“ 219

7.10.4 Massa volumica e massa volumica apparente (UNI 8942 parte III - punto 7)	“ 220
7.10.5 Resistenza a flessione (UNI 8942 parte III - punto 10)	“ 221
7.10.6 Inclusioni calcaree (UNI 8942 parte III - punto 11)	“ 223
7.10.7 Attitudine alle efflorescenze (UNI 8942 parte III - punto 12)	“ 223
7.10.8 Imbibizione (assorbimento specifico) (uni 8942 parte iii - punto 13)	“ 223
7.10.9 Assorbimento d'acqua e stima del rischio di gelività (UNI 8942 parte III - punto 14)	“ 224
7.10.10 Porosità (UNI 8942 parte III - punto 15)	“ 226
7.11 <i>Provini realizzati con argilla e polvere di vetro</i>	“ 227
7.12 Classificazione a norma	“ 228
7.12.1 Ritiro	“ 228
7.12.2 Peso	“ 229
7.12.3 Dimensioni esterne – Calcolo volume lordo e netto (UNI 8942 parte III - punto 6)	“ 229
7.12.4 Massa volumica e massa volumica apparente (UNI 8942 parte III - punto 7)	“ 230
7.12.5 Resistenza a flessione (UNI 8942 parte III - punto 10)	“ 231
7.12.6 Inclusioni calcaree (UNI 8942 parte III - punto 11)	“ 233
7.12.7 Attitudine alle efflorescenze (UNI 8942 parte III - punto 12)	“ 233
7.12.8 Imbibizione (assorbimento specifico) (UNI 8942 parte III - punto 13)	“ 233
7.12.9 Assorbimento d'acqua e stima del rischio di gelività (UNI 8942 parte III - punto 14)	“ 234
7.12.10 Porosità (UNI 8942 parte III - punto 15)	“ 235
7.13 Esame morfologico su provini tal quali e contenenti scarti	“ 236
Conclusioni	“ 240
Bibliografia	“ 245

APPENDICE

Pag. I-XXIII

# PREFAZIONE

Nell'era dell' informazione di massa, dell' informatizzazione e dell'industrializzazione globale, basta semplicemente accendere la televisione, sfogliare un giornale, o anche recarsi in posti un pò meno frequentati per renderci conto di un problema che sta assumendo dimensioni preoccupanti: *i rifiuti*.

Le problematiche connesse alla produzione di rifiuti hanno assunto negli ultimi anni proporzioni sempre maggiori, in relazione al miglioramento delle condizioni economiche, al veloce progredire dello sviluppo industriale, all'incremento della popolazione e delle aree urbane (*Iperbole, la rete civica di Bologna, 2007*).

Gli europei producono ogni giorno “quasi mezzo chilo” di rifiuti di imballaggio a testa. Gli italiani sono, anche, al di sopra di questa media con circa 200 chili pro-capite all'anno.

Da un decennio a questa parte è stata intrapresa una politica forte, mirata allo sviluppo della raccolta differenziata ai fini di riciclo, riutilizzo e recupero di materiali dai rifiuti, per ridurre l'enorme impatto causato dalle discariche, essendo queste ultime la destinazione più utilizzata su tutto il territorio nazionale.

La raccolta differenziata è organizzata per categorie merceologiche, riconducibili nei contenitori che li contraddistinguono, suddivisi in: carta e cartone, vetro, plastica, organico putrescibile, potatura e fogliame, pile, medicinali, ecc..

Le attività industriali producono una certa quantità di sostanze non inerenti gli scopi della produzione stessa. Tali sottoprodotti, nella maggior parte dei casi non riutilizzabili, costituiscono le scorie di produzione e pongono il problema del loro corretto smaltimento.

Per ridurre l'impatto ambientale globale di tali materiali si può agire su diversi parametri, come minimizzare le quantità di materie prime estratte e, di conseguenza, le emissioni che essi rilasciano (*Morselli L. et al., 2005; Morselli L. et al., 2004*).

Il continuo aumento della quantità di rifiuti prodotti rappresenta, indubbiamente, una misura dell'impovertimento delle risorse, sebbene l'impatto generato sull'ambiente non dipenda solo dalla quantità, ma anche e soprattutto dalla

qualità dei rifiuti; infatti le sostanze pericolose in esse contenute possono generare notevoli danni sull'ambiente e, direttamente o indirettamente, anche sull'uomo (APAT, 2004).

C'è da sottolineare, inoltre, che l'eliminazione di materiali di scarto e di rifiuti industriali, in genere, è un problema oneroso su scala mondiale.

I prodotti secondari, in relazione alle dimensioni delle particelle, possono essere impiegate come sostituti della sabbia, quando le sezioni delle particelle sono molto simili al filler usato nella manifattura del cemento. Un altro utilizzo è quello di materia prima, se di provenienza dalla produzione di piombo, zinco, rame, o come correttore nella produzione di clinker, sfruttando la loro caratteristica di possedere un contenuto di silice reattiva superiore al 25%. Il limite di utilizzazione dei residui è rappresentata dai rapporti fra gli ossidi di calcio, alluminio, ferro e silicio, che devono essere simili a quelli del clinker (Morselli L. et al., 2003; Sanna U., 2002).

Tra le tante soluzioni proposte per risolvere il problema "rifiuti", quelle più importanti mirano alla teoria del recupero e del riutilizzo (Pelino M. et al., 1994).

Gli impasti utilizzati nell'industria dei laterizi sono, di norma, fortemente eterogenei; essendo costituiti da materie prime argillose con uno spettro compositivo complessivamente assai ampio. Per questo motivo, tali impasti sono in grado di tollerare la presenza di materiali di scarto di diverso tipo, anche in percentuali significative. Inglobare tali rifiuti, negli impasti per laterizi, significa ottenere sempre almeno due vantaggi di tipo ambientale:

- riciclaggio e inertizzazione di scarti, spesso inquinanti e di difficile collocazione;
- risparmio di materie prime argillose.

Inoltre, l'aggiunta di scarti industriali ed urbani alle materie prime, per laterizi, promuove di frequente effetti positivi sulle proprietà dei semilavorati e dei prodotti.

In conformità alle direttive della Comunità Europea in materia di rifiuti, in Decreto del Ministero dell'Ambiente n°22/97, noto con il nome di Decreto Ronchi e integrazioni successive, ha introdotto finalmente nel nostro Paese una disciplina organica e unitaria. Con riferimento all'utilizzazione dei residui come fonti di materie prime, si evince dall'esame di tale decreto che:

- l'industria dei materiali ceramici tradizionali, come laterizi, piastrelle, refrattari, ecc., e le opere di ingegneria civile sono, in assoluto, i settori con maggiori potenzialità di assorbimento dei rifiuti;
- l'industria del cemento e del calcestruzzo ha, in questo contesto, un ruolo d'importanza fondamentale.

In particolare, temperature superiori a 1000°C, rendono i materiali ceramici capaci di conglobare, in modo più che soddisfacente, i materiali di scarto favorendo la formazione di fasi vetrose e silicatiche, durante la cottura (*Wachtman J. B., 1999*).

Si deve sottolineare, inoltre, che l'utilizzo dei rifiuti in tali settori implica la riduzione del quantitativo delle materie prime, per così dire tradizionali, e del degrado ambientale connesso alle attività estrattive di queste ultime, impiegate nell'industria dei materiali da costruzione e nelle opere di ingegneria civile (*Morselli L. et al., 2005*).

È evidente che l'accertamento di prestazioni soddisfacenti dei nuovi manufatti, sotto il profilo tecnico ed ambientale, costituisce la premessa indispensabile per stabilire l'idoneità all'impiego di un qualsiasi tipo di scarto.

È ugualmente evidente che il costo di riutilizzo, paragonato a quello dei materiali naturali, in alternativa ai quali se ne propone l'impiego, rappresenta un elemento fondamentale per il successo del suo sfruttamento commerciale: spesso il notevole risparmio che si può ottenere, evitando la messa in discarica di rifiuti, è sufficiente per rendere economicamente attraente l'impiego di un residuo.

Molti sono gli studi tesi a valutare la possibilità di utilizzare, nel ciclo produttivo di ceramici, differenti tipologie di rifiuti o scarti di produzione, provenienti sia da attività urbane che industriali. Gli obiettivi ultimi/comuni di tutti gli studi, effettuati finora, sono la valorizzazione, l'inertizzazione e la ricerca di una giusta collocazione per gli scarti considerati (*Morselli L. et al., 2004*).

## *Obiettivi*

L'obiettivo principale di questa ricerca, svolta nel triennio accademico 2005-2008, è quello di ottenere materiali innovativi di interesse ingegneristico, destinati all'edilizia urbana, mediante l'aggiunta di scarti di produzione industriali/urbani nella produzione di materiali ceramici tradizionali.

Questi nuovi lavorati devono risultare sicuri per quando riguarda il "rilascio" di sostanze tossiche e, con proprietà chimico-fisiche e meccaniche auspicabilmente migliori o comparabili a quelle dei materiali ceramici tradizionali (cioè realizzati con impasti di sola argilla), presi come riferimento.

La tesi in oggetto è incentrata sulla caratterizzazione di nuovi materiali realizzati attraverso materie prime argillose, provenienti da una cava sita in località Perrotta nel comune di Rosario (RC), addizionati con differenti tipologie di rifiuto, provenienti da diverse attività industriali e urbani presenti nel territorio calabrese.

## *Struttura tesi*

Il lavoro di tesi è stato così strutturato:

*I Parte "Stato dell'arte"*: rivolta allo studio dei materiali ceramici tradizionali, alle condizioni generali sulla problematica rifiuti e a possibili impieghi di scarti di produzione in manufatti ceramici.

*II Parte "Sperimentazione"*: focalizzata sui metodi di studio necessari per la caratterizzazione e classificazione delle materie prime, dei materiali di rifiuto e dei prodotti ceramici finali. Questa parte racchiude i risultati sperimentali ottenuti dai metodi di prova, impiegati durante la fase di laboratorio.

In particolare:

*Capitolo 1: Definizione, classificazione e processi produttivi dei prodotti ceramici.*

Introduce le materie prime e i materiali ceramici tradizionali, focalizzando l'attenzione sui laterizi. Descrive le origini di questi ultimi, le differenti tipologie introdotte sul mercato e l'evoluzione subita dai processi di produzione.

*Capitolo 2: La gestione dei rifiuti: quadro legislativo europeo e nazionale*

Descrive lo stato attuale in materia di rifiuti. Vengono studiati gli aspetti teorici del problema su scala mondiale, cercando di individuare e classificare le diverse tipologie di rifiuti, i processi di smaltimento attuali ed eventuali forme di riutilizzo nei materiali ceramici.

*Capitolo 3: Metodologie e Strumentazione da laboratorio adottate*

Descrive la strumentazione utilizzata e le varie procedure eseguite per la caratterizzazione delle materie prime, dei materiali di scarto e dei prodotti finali di produzione.

*Capitolo 4: Caratterizzazione materie prime argillose e materiali di scarto*

I presupposti per una buona produzione di materiali ceramici sono rappresentati dalla conoscenza approfondita delle materie prime e degli additivi (scarti di produzione) impiegati. Questa fase, la "caratterizzazione", verrà ampiamente trattata e discussa in questo capitolo.

*Capitolo 5: Ottimizzazione dei processi di lavorazione e realizzazione dei prototipi di laterizi*

La realizzazione e classificazione di prodotti finiti, formulati a partire da miscele di argilla e scarti di diversa tipologia, necessita di uno studio preliminare

riguardante l'ottimizzazione dei processi produttivi. Composizione percentuale argilla-scarto, quantità di acqua di impasto, temperatura di essiccamento e di cottura nonché tempo di permanenza in forno, risultano essere i parametri su cui si basa la stesura di questo capitolo.

### *Capitolo 6: Normativa di riferimento: UNI 8942*

La classificazione dei nuovi manufatti ceramici è effettuata secondo norma UNI 8942, specifica per “*Prodotti di laterizio per murature*”. In questo capitolo si descrivono, in modo dettagliato, le parti in cui è suddivisa la normativa di riferimento.

### *Capitolo 7: Classificazione di laterizi realizzati mediante l'aggiunta di materiale di scarto*

È focalizzato sulla caratterizzazione dei prodotti finali, ottenuti dalla fase di lavorazione degli impasti argilla-scarto. La classificazione dei nuovi manufatti segue la normativa di riferimento.

Lo studio effettuato, in questa fase di ricerca, prevede il confronto dei risultati ottenuti dalle prove eseguite su laterizi composti da solo argilla e manufatti realizzati con impasti argilla-scarti.



*1 Parte "Stato dell'arte"*

## Definizione, classificazione e processi produttivi dei prodotti ceramici

*I prodotti ceramici sono materiali realizzati da un impasto di materiale plastico argilloso e acqua. Le materie prime in polvere, alle quali possono essere aggiunti opportuni additivi per facilitare le successive lavorazioni, vengono scelte e miscelate in base al tipo di ceramica che si vuole ottenere (Amerio C. et al., 1996).*

*L'impasto ottenuto passa al successivo stadio di lavorazione: la formatura, che può avvenire seguendo diverse tecniche (pressatura, colaggio, estrusione, stampaggio), a seconda della forma che si vuole dare al prodotto. La fase successiva è quella dell'essiccazione, che risulta lo stadio più delicato di tutto il processo produttivo. Essa ha lo scopo di allontanare l'acqua, aggiunta all'impasto, per evitare deformazioni, fenditure e addirittura frantumazione nella successiva cottura.*

*Infine avviene la cottura, che serve per stabilizzare la forma dei manufatti, conferendo loro consistenza e resistenza meccanica. In molti casi, il prodotto che si ottiene da questa prima cottura coincide con quello finito, ma spesso la superficie esterna richiede una rifinitura finale o un rivestimento (Fabbri B. et al, 1983).*

*In questo capitolo sono riportate notizie concernenti i materiali ceramici in generale, con particolare riferimento ai laterizi, alla loro storia, alle diverse tipologie presenti sul mercato e ai processi di produzione.*

---

### 1.1 Introduzione

I prodotti ceramici sono elementi artificiali ottenuti da un impasto plastico soggetto a cottura. Tali elementi dotati di buoni requisiti fisico-meccanici hanno trovato nel passato, e trovano ancora oggi, largo impiego nel campo dell'ingegneria.

Per *ceramica* si intende un materiale, prodotto artificialmente dall'uomo, composto con materie inorganiche, non metalliche, foggiate a temperatura ambiente e consolidato a caldo, rigido e fragile. Solitamente di colore bianco, può venire variamente colorata e smaltata. La ceramica è usualmente composta da diversi materiali, quali: argilla, feldspato, sabbia, ossido di ferro, allumina e quarzo (Korach M., 1949).

Una composizione così articolata determina la presenza di cristalli fini e appiattiti. La forma di questi, inoltre, conferisce alla ceramica una certa plasticità e ne rende la lavorazione più facile e proficua (Enciclopedia Italiana Grolier, 1994).

La ceramica è una lavorazione antica e molto diffusa in aree anche molto distanti tra loro. Esistono tipi diversi di ceramiche:

- *Ceramiche a pasta compatta*. Rientrano nel gruppo i grès e le porcellane. Hanno una bassissima porosità e buone doti di impermeabilità ai gas e ai liquidi. Non si lasciano scalfire da una punta d'acciaio.
- *Ceramiche a pasta porosa*. Sono tipicamente le terraglie, le maioliche e le terrecotte. Hanno pasta tenera e assorbente, facilmente scalfibile.

Con ceramica non si intende solo il materiale, ma per estensione anche il prodotto che di quel materiale risulta composto. I prodotti in questione possono essere moltissimi (*Emiliani G.P. et al., 2001*). Tra i più frequenti merita ricordare:

- *ceramici tradizionali*, utilizzati nell'industria edilizia;
- *da rivestimento e da copertura*, come le tegole e le piastrelle;
- *strutturale*, i laterizi;
- *sanitari*;
- *meccanici e aeronautici*, utilizzati soprattutto nei motori e turbine.

## 1.2 I prodotti ceramici : definizione e storia.

In origine con il termine “prodotti ceramici” venivano indicati manufatti ottenuti con materie prime diffuse in natura, tra le quali, principalmente, l'argilla.

Il termine *ceramica*, deriva dal greco *Kéramos* e significa appunto "*argilla*". Tale categoria comprende una vastissima gamma di prodotti ottenuti modellando impasti di argilla e di altre terre che, vengono successivamente cotti e, spesso, ricoperti di un rivestimento impermeabile di smalto o vernice, e decorati (*Litzow K., 1982*).

Oggi, invece, con il termine ceramici si identificano non solo i prodotti, quali laterizi, maioliche, terraglie, porcellane e grès, ma anche i ceramici refrattari monolitici, quelli informi (cementi refrattari), gli abrasivi, i cementi, i vetri ed i prodotti per usi elettrotecnici, ingegneristici e biosanitari (protesi) classificati come ceramici speciali per i quali, con l'attributo “ceramico”, viene sottolineato lo stato prevalentemente cristallino, l'origine artificiale mediante trattamento termico e il fatto che siano costituiti da sostanze inorganiche non-metalliche, da ossidi, carburi, nitruri, titanati, azoturi, (*Haussonne M., 1969*).

Esiste una vasta gamma di prodotti ceramici, che si differenziano sia per quanto riguarda la composizione chimica, le materie prime, i processi di formatura e sinterizzazione impiegati per la loro realizzazione, sia per le proprietà e le applicazioni per i quali sono utilizzati (*Onida F. et al., 1989*).

La tecnica della ceramica è una tra le più antiche e diffuse al mondo.

Il “mondo” della ceramica è “nato” nella lontana era geologica del mesolitico (10000÷5000 anni fa) e il primo tornio da vasaio è stato rintracciato in Mesopotamia tra il 4000 ed il 3000 a.C.; mentre i primi mattoni cotti (probabilmente a una temperatura non superiore a 500°C e, quindi, con scarse caratteristiche meccaniche ma comunque in uno

stato fisico tale da resistere alle piogge) risalgono attorno al 3000 a.C. Nell'800 a.C. gli Etruschi ricoprivano i tetti delle abitazioni con tegole. Tra il 2200 ed il 2000 a.C. in Babilonia si registrò una grande articolazione delle produzioni di terracotta: anfore, caraffe, tubature fognarie, mattoni, pannelli decorativi per pareti. Antecedentemente al 2500 a.C. l'uso del tornio da vasaio era noto per lo meno in India, Cina ed Egitto. Si deve riconoscere che la civiltà egiziana ha giocato un ruolo preminente nello sviluppo della ceramica e del vetro nel mondo mediterraneo antico; si pensi che attorno al 1300 a.C. ai ceramisti di quell'impero era nota persino la tecnica del colaggio (*Venturi V., 1992*).

Anche in Italia si affermarono importanti centri per la produzione di ceramica: a Roma, con la ceramica aretina (*Utet, 1986*); a Faenza si svilupparono prodotti che presero il nome di faenze, e a Firenze le maioliche decorate e smaltate. Più tardi, intorno al XVI secolo, si apprese, in Europa, la tecnica della porcellana, già in uso in Cina, e nel XVII secolo sorsero le prime industrie per la sua produzione (*Reh H., 1988*).

Nonostante le molte innovazioni di carattere tecnologico l'industria dei prodotti ceramici rimase tradizionalmente legata alla produzione di mattoni, vasellame e normali refrattari fino all'inizio della seconda guerra mondiale. Da quel momento in poi si registrarono notevoli evoluzioni nella produzione dei materiali ceramici ed un progressivo aumento degli ambiti applicativi (*AA. VV., 1997*).

Oggi, infatti, i ceramici vengono utilizzati nell'edilizia, per la produzione di stoviglie, per l'elettronica, per l'industria chimica, nel campo dell'energia nucleare e delle altissime temperature.

### **1.3 Classificazione dei prodotti ceramici**

I prodotti ceramici si possono dividere in vari modi in base alle materie prime di partenza o al costituente principale di queste (argillosi, a base di ossidi, di carburi), agli impieghi (refrattari, materiali ceramici strutturali, abrasivi) o alle caratteristiche salienti (ceramiche elettriche, magnetiche). Più razionale appare la suddivisione in base all'esame microstrutturale: prodotti a struttura prevalentemente vetrosa o prevalentemente cristallina; poiché dalla presenza di percentuali maggiori o minori di tali fasi, dipendono gran parte delle proprietà tecnologiche (*Mariani E., 1974*).

In generale i criteri adottati per la classificazione dei prodotti ceramici fanno riferimento:

- alla natura della materia prima costituente il prodotto (ceramiche a base argillosa e ceramiche a base non argillose);
- alla dimensione dei granuli costituenti la struttura del corpo ceramico (ceramica grossolana o fine);
- alla percentuale di acqua assorbita dal cotto ( la ceramica fine è densa o porosa a seconda che l'assorbimento sia o no minore del 2%; per la ceramica grossolana questo limite è portato a 6%);

- la temperatura di cottura e il colore dell'impasto una volta cotto (bianco o colorato);
- la presenza o meno di un rivestimento con successiva diversificazione a seconda del tipo di rivestimento.

Questo tipo di classificazione male si adatta ai nuovi materiali ceramici e spesso distribuisce in gruppi differenti ( per esempio a causa del colore dell'impasto) materiali che invece hanno proprietà comuni.

Classificazione spesso adottata (*Schuller K.H. et al., 1985; Sladek M., 1986; Buchner W. et al., 1996; Albonetti S., 2003*) è quella che raggruppa i prodotti ceramici in cinque principali categorie: ceramiche silicatiche a base argillosa, ceramiche silicatiche a base non argillosa, ceramiche costituite esclusivamente da ossidi, ceramiche non costituite da ossidi, ceramiche fosfatiche (*Tabella 1.1*):

Tabella 1.1 – Classificazione dei materiali ceramici

Materiali Costituenti	Dimensione granuli	Assorbimento acqua	Colore	Prodotti	
<b>CERAMICHE SILICATICHE A BASE ARGILLOSA</b> (per ceramiche silicatiche a base argillosa si intendono quei prodotti, a base di minerali argillosi, di cui la silice è uno dei costituenti base e che, in opportune condizioni di cottura, sviluppano nella massa cristalli di mullite)	GROSSOLANE (granuli visibili ad occhio nudo)	POROSE >6%	COLORATE	Terrecotte	
				Refrattari	
				Abrasivi	
				Fire-Clay	
	FINI (granuli non visibili)	POROSE >2%	COLORATE	Klinker	
				Grès chimico	
		DENSE <6%	COLORATE	Grès artistico	
				COLORATE	Faenze
					Terraglie
				BIANCHE	Grès per piastrelle, rosso, porcellanato
Grès porcellanato					
<b>CERAMICHE SILICATICHE A BASE NON ARGILLOSA</b> (sono prodotti derivanti da materie prime non costituite in prevalenza da minerali argillosi e che in cottura formano cristalli o composti diversi dalla mullite)	GROSSOLANE (granuli visibili ad occhio nudo)	POROSE		Faenze silicee	
				Refrattari silicei, forsteritici, allo zirconio	
	FINI (granuli non visibili ad occhio nudo)	POROSE		Refrattari elettrofusi allo zirconio	
				Cordieriti	
		DENSE		Steatiti	
				Cordieriti	
				Porcellane allo zirconio	
				Silico alluminati di litio	
<b>CERAMICHE A BASE DI OSSIDI</b> (costituite principalmente da una singola fase cristallina pura di un ossido metallico con un elevato punto di fusione)	GROSSOLANE (granuli visibili ad occhio nudo)	DENSE		Refrattari basici	
				Refrattari a base di allumina	
	FINI (granuli non visibili ad occhio nudo)	DENSE		Refrattari elettrofusi a base di allumina	
				Allumina sinterizzata	
				Ossido di zirconio, titanio, magnesio	
				Materiali ferro-elettrici	
				Materiali ferro-magnetici	
<b>CERAMICHE NON COSTITUITE DA OSSIDI</b> (includono tutti i materiali che non conducono l'elettricità nel sistema borocarbonio-azoto-silicio-alluminio e non sono termodinamicamente stabili negli ambienti ossidanti. (Buchner W. et al., 1996))	GROSSOLANE (granuli visibili ad occhio nudo)	DENSE		Carbone	
				Grafite	
	FINI (granuli non visibili ad occhio nudo)	DENSE		Carburi	
				Nitruri	
				Boruri	
				Materiali per semiconduttori	
<b>CERAMICHE FOSFATICHE</b> (utilizzate principalmente per la sostituzione di tessuti ossei, sono quelle a base di fosfati di calcio, quali l'idrossiapatite). (Ravaglioli A. et al., 2000))	FINI	POROSE		Bioceramici	
		DENSE		Bioceramici	

La presente classificazione, che si basa sulle proprietà tecniche e sull'utilizzo commerciale dei prodotti, è necessaria per superare i problemi che sorgono quando si fa riferimento a prodotti con nomi che, storicamente, hanno vari significati o che hanno diversi significati in altri paesi o che, per l'evoluzione tecnologica, non sono più coerenti con precedenti classificazioni. Tale classificazione distingue innanzitutto i prodotti sulla base della natura della materia prima costituente.

Da un punto legislativo non esiste, ancora, nessuna norma in grado di classificare i materiali ceramici in modo adeguato. A livello internazionale, la normativa esistente riguarda la qualità dei prodotti sulla base di specifiche proprietà normalizzazioni, ma è limitata per ora solo al campo delle ceramiche refrattarie (ISO 836, ISO 1109, ISO 1927), delle ceramiche da impiegare come piastrelle (EN 87) e dei sanitari (UNI 4543). Bisogna ricordare, inoltre la norma UNI 10291 che fornisce una classificazione descrittiva delle principali tipologie merceologiche dei materiali ceramici, utilizzati nella realizzazione di oggettistica (*Emiliani G.P. et al, 2001*).

### ***1.3.1 Ceramiche silicatiche a base argillosa***

Appartiene a questo gruppo la quasi totalità delle ceramiche definite “tradizionali” (*Kingery W. D. et al., 1976*). Esse riguardano i settori dell'edilizia, della stoviglieria, dell'oggettistica artistica e ornamentale, dei sanitari e della costruzione di apparecchiature tecniche.

Tutti questi prodotti presentano, dopo cottura, un corpo con un certo grado di porosità costituito da composti allo “stato cristallino”, da materiale allo “stato amorfo” o “vetroso”.

Per stato cristallino si intende una disposizione ordinata e regolare nello spazio degli ioni, atomi o molecole che costituiscono il materiale, secondo un reticolo cristallino formato da moduli che si ripetono periodicamente. La struttura cristallina ha origine da materiali formati durante la cottura a partire dalla disgregazione dei reticoli delle materie prime e, in parte, da inclusi derivanti o da cristalli non completamente disgregati. La composizione chimica, la dimensione e le quantità relative dei cristalli di nuova formazione dipendono dai minerali di partenza, dalla loro granulometria e dalle modalità di cottura: temperatura, tempo, atmosfera del forno.

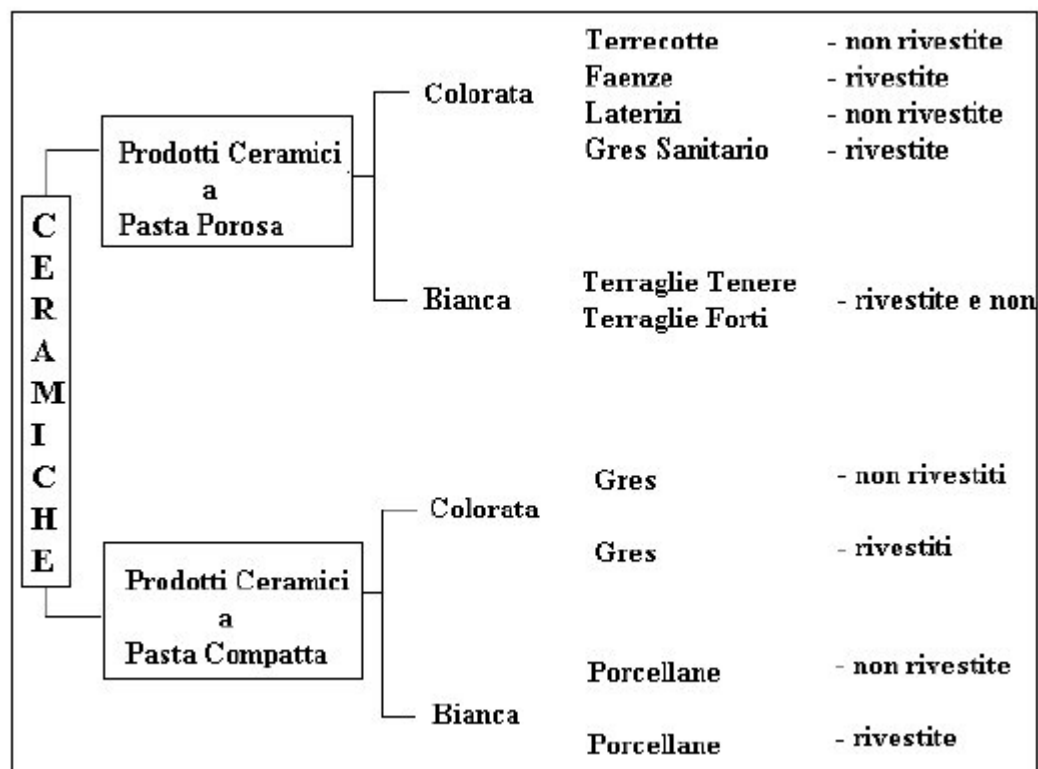
La parte vetrosa deriva dalla fusione di alcuni componenti che formano una fase liquida la cui quantità aumenta con la temperatura di cottura; questo liquido si colloca tra i granuli cristallini e, trasformandosi in un vetro in fase di raffreddamento, accentua la coesione del corpo ceramico e ne limita la porosità.

La parte amorfa, invece, deriva dalla disgregazione dei reticoli cristallini senza che venga poi ristabilito alcun tipo di ordine, neppure al livello di un vetro.

A seconda delle materie prime, di cui sono formati, e della temperatura a cui vengono sottoposti nella cottura, possono risultare variamente colorati da bianco a marrone

cupo, generalmente a causa di impurezze ferrifere. I prodotti possono essere impiegati senz'altro trattamento oppure la pasta può essere ricoperta con un rivestimento.

In base alla microstruttura, porosa o compatta, al colore del supporto, alla presenza o meno del rivestimento superficiale si distinguono i gruppi di prodotti indicati in *Figura 1.1*<sup>1</sup>



*Figura 1.1 – Classificazione dei materiali ceramici tradizionali*

La porosità decresce gradualmente dall'alto verso il basso, con punte altissime nel caso di terrecotte tecniche, usate nella filtrazione di gas, fino ad arrivare a valori molto piccoli per le porcellane che sono praticamente senza pori. Contemporaneamente la temperatura di fusione aumenta passando da un valore di circa 900°C fino a 1400°C.

La porosità di un corpo ceramico è distinguibile in porosità aperta e chiusa (*Tabella 1.2*).

<sup>1</sup> [www.antonio.licciulli.unile.it/didattica\\_2005/ceramici\\_introduzione.pdf](http://www.antonio.licciulli.unile.it/didattica_2005/ceramici_introduzione.pdf)



**Tabella 1.2** – Tabella di riferimento per le porosità di alcune tipologie

PIASTRELLE		ALTRE	
Terracotta	19-24%	Terrecotte laterizi	20-25%
Terraglia	15-20%	Terraglai tenera e faenza	18-25%
Grès	<3%	Terraglia forte	12-15%
Grès porcellanato	<1,5%	Grès	<3%
Grès rosso	3-6%	Porcellana	<0,5%

I *prodotti a pasta porosa* mostrano una pasta terrosa e opaca alla frattura, permeabile ai gas e ai liquidi, costituita da uno scheletro non fuso a pori liberi, cioè comunicanti tra loro tramite interstizi e assorbente.

I *prodotti a pasta compatta* (sinterizzata o vetrificata) hanno, invece, una pasta lucente alla frattura, impermeabile ai fluidi, non assorbente. Si differenziano nella struttura, nella natura mineralogica e nel grado di traslucidità. La loro massa è formata da minerali originari (quarzo) non fusi, da minerali di neoformazione (mullite) e da vetro. La presenza di quest'ultimo deriva da una modificazione di stato durante la cottura (greificazione), per la quale alcuni componenti rammolliscono gradualmente e il liquido altamente viscoso che si forma riempie i pori e salda, in fase di raffreddamento, tutto il corpo ceramico (Mariani E., 1974).

Tra i principali prodotti ceramici a tessitura porosa ricordiamo le terrecotte, le faenze, le terraglie, i refrattari e i laterizi. Le più comuni ceramiche a tessitura compatta sono: i grès, le porcellane ed gli smalti ceramici.

### **1.3.1.1 Terrecotte**

Le terrecotte sono ceramiche che, dopo il processo di cottura presentano una colorazione che varia dal giallo al rosso mattone, grazie alla presenza di sali o ossidi di ferro. La presenza di ossido di ferro, oltre a dare il colore tipico, migliora anche la resistenza meccanica della ceramica cotta. Sono ceramiche con alta porosità, cotte in ambiente ossidante ad una temperatura compresa tra 880 e 980°C a partire da argille plastiche comuni.

In base all'uso cui sono destinate possono avere una tessitura variabile da grossolana eterogenea a fine quasi omogenea. Sono caratterizzate da un tessuto molto poroso, con capacità di assorbimento dell'acqua del 18-20%. Queste ceramiche possono essere o non provviste di rivestimento. Le prime sono impiegate come vasellame da cucina: tazze, piatti, pentole, ecc.; le seconde in genere come ceramiche strutturali nell'edilizia, ad uso ornamentale o per scopi artistici.

### **1.3.1.2 Terraglie**

Appartengono a questo gruppo i prodotti a pasta porosa e a pasta parzialmente vetrificata, sempre bianca, che non richiedono uno strato di smalto coprente. La decorazione di questi prodotti è effettuata dopo la prima cottura; il manufatto viene quindi ricoperto con uno strato di vetrina ed infine sottoposto ad una seconda cottura. Le terraglie si dividono in tenere e forti a seconda la resistenza opposta alla scalfittura e le caratteristiche meccaniche. Queste ultime sono strettamente correlate con la composizione delle materie prime e con la temperatura raggiunta durante la cottura (*Frigione G. et al, 2006*).

Per la preparazione delle terraglie tenere si parte di solito da argille plastiche poco colorate, addizionate di sabbie quarzifere o di calcare che consentono di abbassare la temperatura di cottura. Subiscono due cotture: la prima a 1050-1200°C e la seconda a 900-1100°C. Le terraglie tenere hanno caratteristiche meccaniche superiori a quelle delle maioliche e trovano impiego nella fabbricazione di vasellame, di oggetti da ornamento, di apparecchi sanitari, di piastrelle e stoviglie di basso costo perchè presentano il difetto della scaglia.

Le terraglie forti sono a pasta più compatta si preparano da argille accuratamente selezionate, povere di ferro e da caolino addizionate di quarzo e di feldspato. Vengono cotte dapprima a circa 1250°C e successivamente a 1100-1150°C. Hanno una struttura simile alle porcellane, formata da cristalli legati da una fase vetrosa salvo che in esse è presente una discreta rete di pori comunicanti.

Rispetto alle terraglie tenere sono più resistenti e più pregiate, per questo vengono utilizzate anche per la produzione di filtri porosi (partendo da impasti speciali non ricoperti di vernice) impiegati come sterilizzanti nei laboratori farmaceutici; per chiarificare vini e acque e per altre applicazioni nel campo della filtrazione. Tipico difetto della terraglia forte è il cavillo che consiste nella formazione di piccole crepe nello strato di vernice (*Mariani E., 1974*).

### **1.3.1.3 Faenze**

Le faenze sono ceramiche con colorazione variabile dal giallo al bruno nocciola, che presentano porosità di tipo aperto (intorno al 18% di acqua assorbita), struttura prevalentemente cristallina. Sia per la temperatura di cottura cui sono sottoposte (900-950°C), sia per la composizione mineralogica dell'impasto, somigliano alle terrecotte, da cui si distinguono per la granulometria molto fine. (*Emiliani G.P. et al, 2001 vol.III*)

Sono prodotte da argille ricche in carbonato di calcio, che hanno subito un accurato trattamento di raffinazione. Risultano ricoperte da un rivestimento vetrificato, costituito da una vetrina o da uno smalto opaco, bianco o colorato. In alcuni casi le faenze, prima del rivestimento, vengono ricoperte con un sottile strato, denominato *ingobbio*, che ha lo scopo di nascondere il colore della pasta (rossiccio) e quindi conferire maggior pregio al

prodotto. L'ingobbio è costituito da una sospensione acquosa bianca contenente, in genere, caolino, creta, carbonato di calcio e feldspati e può essere colorata per aggiunta di ossidi metallici.

Allorché il rivestimento che ne ricopre la superficie è uno smalto bianco e decorato, il prodotto assume l'ulteriore denominazione di *maiolica*. Durante il processo produttivo le maioliche subiscono due cotture: una prima a circa 900-950°C in atmosfera ossidante, che rende il prodotto poroso e facilmente scalfibile; una successiva, previo raffreddamento e rivestimento (per uso decorativo), ad una temperatura di circa 50°C inferiore alla precedente, che conferisce loro un aspetto brillante. Tali prodotti hanno scarsa resistenza meccanica e agli attacchi chimici. Sono usualmente impiegati nella modellazione di figure ed oggetti decorativi, data l'elevata plasticità dell'impasto, nella fabbricazione di stoviglie e di piastrelle da rivestimento. Le piastrelle note, comunemente, con il nome di cotto sono infatti delle faenze non smaltate (Frigione G. et al, 2006).

#### **1.3.1.4 Refrattari**

I refrattari sono prodotti appartenenti al mondo ceramico (inorganici, non metallici) aventi la caratteristica primaria di resistere alle alte temperature, ma anche a sbalzi termici, tensioni e aggressioni da parte di agenti solidi, liquidi e gassosi (Aliprandi G., 1982).

Hanno l'impasto a struttura cristallina e grossolana; la porosità è variabile e dipende dall'uso cui sono destinati. prodotti ceramici derivati da materiali argillosi e da altre materie prime aventi la proprietà di resistere a temperature molto elevate (per definizione, ad almeno 1580 °C) senza fondere, senza rompersi e senza deformarsi. I materiali refrattari vengono, pertanto, utilizzati per aumentare la resistenza al calore di parti di strutture e apparecchiature soggette sia all'azione diretta di fiamme, sia a irraggiamento termico o all'effetto termoconvettivo di gas caldi.

In base alla natura chimica i materiali refrattari si classificano in: *argillosi* (a base di argilla, sono i più diffusi; hanno una natura leggermente acida e un punto di fusione compreso tra 1500 e 1700 °C); *alluminosi* (a base di argilla e di allumina, o ossido di alluminio  $Al_2O_3$ , quest'ultima in percentuale superiore al 46%; all'aumentare del contenuto di allumina si alza il punto di fusione, fino al livello di 2000 °C; sono di natura leggermente acida); *silicei* (sono costituiti da biossido di silicio  $SiO_2$ , o silice, quasi puro; hanno un punto di fusione intorno a 1700 °C e un carattere acido); *magnesiaci e dolomitici* (di natura basica, hanno un punto di fusione intorno a 1600 °C). Altri materiali refrattari molto resistenti, ma di costo elevato, sono quelli a base di ossidi di berillio, di torio e di uranio, impiegati in impianti nucleari, con temperature di fusione tra 2200 e 3100 °C. Anche i materiali refrattari *carboniosi* (in particolare il carbonio puro sotto forma di

grafite, praticamente infusibile) sono molto resistenti al calore ma hanno il difetto di bruciare in ambiente ossidante<sup>2</sup>.

Essi sono quindi i materiali idonei ed indispensabili per la costruzione ed il funzionamento di forni di ogni tipo, ad esempio, per la metallurgia. E come nel corso dei secoli è progredita la tecnologia dei forni e dei processi che avvengono in essi (fusione di metalli e di vetri, cottura di calce, cementi e ceramiche, per citarne solo le principali), così è progredita la tecnologia dei refrattari la cui fabbricazione, negli ultimi due secoli circa, si è trasformata in industria. (Aliprandi G., 2003)

Ma, anche se trattasi di materiali fondamentali per i prodotti della civiltà umana, i refrattari sono generalmente ignorati dal “grande pubblico” ed anche dalle storie dell’evoluzione industriale; una sorta di “industria nascosta” o, secondo un assioma americano: “l’industria dietro tutte le industrie”, ed è solo da meno di due secoli che i tecnici s’interessano con cura sempre maggiore ai materiali con cui sono costruiti i loro forni. (Nicodemi W., 2004) Ma, mentre per tutte le industrie del fuoco (cottura o fusione), come la ceramica e le sue vernici, la vetreria e la metallurgia, ci sono pervenute testimonianze numerosissime della loro storia, poche tracce ci sono rimaste dei recipienti in cui venivano realizzate e dell’insieme dei materiali resistenti al fuoco, se non la descrizione ed i pochi reperti dei forni che con essi si costruivano.

#### **1.3.1.5 Grès**

Derivano da alcune mescolanze argillose naturali che producono ceramiche greificanti a temperature tra i 1050-1100°C o, più spesso, tra i 1200-1250°C. Appartengono alla classe dei prodotti a pasta non porosa. Per effetto dell’azione legante, esercitata dalla componente viscosa, i tessuti acquistano elevata compattezza e marcata resistenza alla deformazione. I grès presentano buone proprietà meccaniche, elevata resistenza all’attacco chimico, bassa conduttività termica e bassa resistenza agli sbalzi termici (Emiliani G.P. et al, 2001 vol. III).

Sono ottenuti da argille plastiche, abbastanza refrattarie, con un intervallo di sinterizzazione ampio e relativamente basso, lontano dalla temperatura di rammollimento (1600-1700°C) così che si possono realizzare pezzi anche di grandi dimensioni senza che si abbiano deformazioni.

Il grès, a livello strutturale, è costituito da una fase vetrosa, a basso tenore di silice, da una abbondante quantità di cristalli di silice, a spigoli vivi, poco attaccati dalla massa fusa, da granuli di feldspato più o meno vetrificati, da una modesta quantità di mullite e da una rete di piccoli pori chiusi.

Possiamo distinguere diversi tipi di grès:

---

<sup>2</sup> [www.sapere.it](http://www.sapere.it)

- *Grès comune*, di colore rosso cupo; si prepara a partire da argille ricche di ossidi di ferro e viene utilizzato per fabbricare piastrelle in genere non smaltate (*Fabbri B. et al., 1983*).
- *Grès antiacido o chimico*, particolarmente resistente all'azione di quasi tutti gli agenti chimici. Viene preparato con materie prime accuratamente selezionate e cotte a 1280°C circa; possiede un colore debolmente grigio o avorio e viene utilizzato per la fabbricazione di tubazioni, rubinetti, oggetti vari per impianti chimici (*Frigione G. et al., 2006*).
- *Grès fine*, ottenuto da argille pure addizionate di quarzo e di feldspato; può venire ricoperto con ingobbi o con vetrine trasparenti. Si presenta a pasta bianca o molto chiara.
- *Grès porcellanato*, nato come prodotto per applicazioni tecniche (pavimentazioni di ambienti particolarmente sollecitati, come quelli di ambienti pubblici ed industriali), oggi è diffusamente utilizzato per pavimentazioni di qualsiasi tipo e dimensione (*Esposito L. et al., 2000*). Il prodotto è quasi completamente vetrificato, quindi non assorbente (assorbimento d'acqua inferiore a 0,5%) e con elevate caratteristiche meccaniche ed estetiche.
- *Grès sanitario*, denominazione stabilita dalle norme FECS (Federation Europeenne Ceramique Sanitarie), è usata per indicare i prodotti già noti come fire clay (*Emiliani T. et al., 1982*). Il termine grès è, in questo caso, improprio poiché sottintende un prodotto greificato o vetrificato; mentre il grès sanitario è costituito da una massa porosa, di colore giallo grigio, protetta da due strati impermeabili (vernice e ingobbio) tenacemente compenetrati in seguito alla cottura ad alta temperatura. Tale materiale risulta adatto per la fabbricazione di apparecchi sanitari; le sue caratteristiche sono stabilite dalle norme UNI 4542 e 4543.

#### **1.3.1.6 Porcellane**

Sono i prodotti ceramici più pregiati, fabbricati impiegando miscele di caolino, quarzo e feldspato, cotte fino a completa vetrificazione. Secondo la composizione della miscela di partenza, le porcellane possono essere distinte in porcellane feldspatiche, fosfatiche e fritte. Nel gruppo delle porcellane feldspatiche sono comprese la porcellana classica, la vitreous-china, la porcellana sanitaria.

La *porcellana classica* è detta anche porcellana dura; è prodotta da materie prime a elevato grado di purezza. Il manufatto è foggato a mano, sul tornio, con forgiatrici meccaniche, o per colaggio in forme. Il manufatto è quindi essiccato e cotto a circa 900°C affinché acquisisca una consistenza sufficiente alle successive manipolazioni. Il rivestimento con vetrina si effettua immergendo il manufatto in vernici e sottoponendolo, quindi, a cotture tra 1380-1420°C. a queste temperature si ottiene la gresificazione della massa e la fusione della vernice.

I difetti più comuni della porcellana consistono in:

- screpolatura, dovute a difettosa foggatura;
- deformazioni, dovute a eccessiva temperatura di cottura ;
- macchie, dovute a impurezze contenute nella pasta.

La porcellana cotta ad alta temperatura senza rivestimento di vetrina prende il nome di *Bisquit* e trova impiego nella fabbricazione di statuine, oggettistica.

*Vitreus-china*. Porcellana di tipo feldspatico, come la classica, cotta però a temperatura più bassa, e cioè fra 1230 e 1320°C, meno traslucida, più sottile, ad elevata durezza e modulo di rottura e a bassa permeabilità. Si presenta di color bianco e si distingue sostanzialmente in due tipi a seconda che si effettuino una o due cotture, destinate rispettivamente alla produzione di sanitari e di stoviglie (*Mariani E., 1974*).

Per la sua produzione si utilizzano materie prime di buona qualità, ma non pure come quelle utilizzate nella produzione della porcellana classica. Per questo motivo la vitreus-china è una porcellana più economica di quella classica.

*Porcellana sanitaria*. Ha una composizione simile alla porcellana e i manufatti sono fabbricati colando la pasta fluida entro stampi di gesso. La porcellana sanitaria più diffusa è quella ottenuta con una cottura unica di pasta e vernice. Fra i prodotti ceramici per uso sanitario, questa è la più usata essendo costituita da una massa compatta. È utilizzata per lavabi, lavelli, water-closed, ecc.

#### **1.3.1.7 Smalti ceramici**

Gli smalti ceramici sono prodotti che trovano impiego come materiale protettivo di superfici metalliche (acciaio, ghisa, alluminio, rame) allo scopo di accoppiare alle elevate caratteristiche meccaniche e di deformabilità del metallo, le particolari capacità di resistenza agli agenti chimici e all'usura proprie dei prodotti ceramici. La smaltatura prevede a preparazione del metallo di base, all'applicazione dello smalto e la sua cottura. A smaltatura è utilizzata per la produzione di molti oggetti di uso quotidiano quali elettrodomestici, vasche da bagno, ecc.

La composizione chimica dello smalto varia in funzione dell'applicazione alla quale è destinato. Infatti, lo smalto deve garantire che i coefficienti di dilatazione e di contrazione termici siano uguali a quelli del metallo da smaltare, al fine di evitare formazione di incrinature (*Frigione G. et al, 2006*).

### **1.4 Il laterizio e la sua storia**

Terra, acqua, aria, fuoco. Fin dai suoi albori la cultura delle civiltà dell'area mediterranea era permeata dall'idea che quattro sono i principi fondamentali di cui è costituito l'universo sensibile. Per una curiosa coincidenza, proprio di tali elementi l'uomo di quelle civiltà cominciò a servirsi per esercitare una delle sue principali attività creatrici: la "costruzione".

Costruire è dapprima ideare una funzione, quale ad esempio l'abitare, il proteggersi, il creare strumenti per l'ampliamento del sapere.

Costruire è poi, ideare una forma, un oggetto stesso con strumenti e tecniche idonei. Il laterizio è in questo senso più di un materiale da costruzione, poiché non è una materia prima, come la pietra, ma è già in se stesso il prodotto di un antichissimo processo creativo.

Questo processo utilizza i quattro elementi fondamentali della natura:

- *terra* ed *acqua* per foggare l'oggetto;
- *aria* per una prima trasformazione costituita dal processo essiccativo;
- *fuoco* per la trasformazione radicale, la cottura, che conferisce allo strumento di costruzione la solidità e l'inalterabilità (*Industria Laterizi Giavarini*).

Nella classificazione corrente delle ceramiche tradizionali si usa il termine "terracotta" per indicare qualsiasi prodotto ceramico avente la pasta colorata, porosa, a struttura prevalentemente cristallina, senza rivestimento.

Allo stato attuale della tecnica ceramica, stante l'entità della produzione per i diversi impieghi, la tipologia "terracotta" è rappresentata prevalentemente dalle ceramiche per uso edile denominate, comunemente, laterizi.

La tessitura dell'impasto di tale ceramica è, generalmente, eterogenea e relativamente grossolana; in qualche caso, come ad esempio per oggetti d'uso domestico e per particolari impieghi, può anche essere fine (*Fabbri B., 1995*).

L'uso dei laterizi offre i seguenti vantaggi:

- modularità della forma e molteplicità di forme precostituite;
- resistenza meccanica adeguata, congiunta ad un peso specifico non troppo elevato;
- durata nel tempo e resistenza agli agenti atmosferici;
- conducibilità relativamente bassa e discreta permeabilità ai gas;
- costo relativamente contenuto.

Tali caratteristiche vengono raggiunte dalle terrecotte grazie alle materie prime utilizzate e alla loro lavorazione. Come tutti i materiali ceramici, infatti, i laterizi costituiti quasi esclusivamente da composti inerti, vengono impastati con acqua, formati, essiccati e cotti. Questi processi conferiscono le caratteristiche già menzionate (*ANDIL 1993*).

La produzione del laterizio, da sempre, è stata legata alla disponibilità di argille e di fonti energetiche per la sua cottura.

Fin dall'epoca preistorica l'argilla fu utilizzata per la formazione dei piani di calpestio delle capanne e per sigillarne gli orifizi. Più tardi (4000 a.C.), in Mesopotamia, nella zona compresa tra il Tigri e l'Eufrate, furono utilizzati mattoni crudi (adobe), preformati per pressatura in appositi stampi ed essiccati, per la costruzione delle torri templari (ziggurat) e a Babilonia per le cinte murarie.

La tecnica, che prevedeva l'impastamento dell'argilla con paglia triturrata, si diffuse nelle regioni asiatiche e africane (in cui il clima permetteva l'essiccazione dei

mattoni): ne sono una testimonianza le cinta murarie di Persepoli che raggiungono i tre metri di spessore e sono formate da blocchi 40x40x12, cementati da argilla bianca.

In Egitto si fece ampio uso di mattoni crudi prodotti dagli schiavi per realizzare non solo le comuni abitazioni, ma anche le regge e le case patrizie; perfino una piramide fu costruita in mattoni crudi (Aseska 2500 a.C.).

Solo nel 3000 a.C. cominciarono ad essere utilizzati nel Medio Oriente mattoni cotti, inizialmente come rivestimento esterno di murature realizzate con mattoni essiccati. La prima conseguenza della cottura fu il passaggio dalla forma a base quadrata di 30 cm di lato e altezza 15 cm dell'elemento crudo, a forme più schiacciate per favorire cotture più veloci ed uniformi.

L'uso del mattone a vista permetteva di evitare l'intonacatura a base di argilla, necessaria per i mattoni crudi. I mattoni cotti furono anche plasmati e utilizzati come tasselli di decorazioni a rilievo di grandi dimensioni.

Anche le tegole in argilla cotta sono state utilizzate inizialmente dalle civiltà mesopotamiche per diffondersi poi nei paesi del Mediterraneo: nel mondo ellenico, usate per la copertura dei templi, mostrano già una notevole funzionalità tecnico-estetica.

È, comunque, la civiltà romana ad utilizzare, per le esigenze di rapida edificazione dovute all'urbanizzazione della Roma imperiale, i laterizi in alternativa ai blocchi di materiale lapideo. L'impiego di mattoni crudi fu addirittura proibito a Roma a causa della alluvione del Tevere del 54 a.C. che distrusse molte abitazioni per dilavamento dell'argilla.

Nell'architettura romana, la costruzione di mattoni si differenziò in varie tipologie standardizzate dimensionalmente, per soddisfare esigenze costruttive sempre più qualificate. Col declinare della civiltà romana, la tecnica della costruzione muraria in laterizio ebbe rinnovato slancio con la civiltà bizantina, durante la quale fu largamente impiegata influenzando anche l'architettura medioevale. Passando dalla tecnica di costruzione romana a quella medioevale, si assiste ad una notevole riduzione della monumentalità delle opere e quindi all'uso di elementi murari di dimensioni sempre più ridotte, alleggeriti anche con trafori della massa.

I sistemi di produzione dei laterizi non sono cambiati molto fino al secolo XIX: formatura a mano, essiccazione naturale nei periodi di sole, cottura con accumulo dei mattoni in forni in cui la temperatura e l'ossidazione non erano omogenee, ma variavano notevolmente da zona a zona.

È stata l'utilizzazione delle macchine motrici e l'impiego della fornace Hoffman che hanno razionalizzato la produzione dei laterizi, aumentandola in qualità e in quantità; con le prime, infatti, si è riusciti a meccanizzare le operazioni di formatura, mentre con la fornace si sono compiuti progressi decisivi dando continuità all'operazione di cottura, utilizzando il tiraggio dei fumi per il preriscaldamento del



secco, controllando l'alimentazione del combustibile e la quantità d'aria necessaria alla combustione (*Emiliani G.P. et. al, 2001 vol.III*).

I laterizi si sono diversificati nel tempo e nelle varie culture per forma, colore, dimensioni, foratura e caratteristiche strutturali come porosità, granulosità, refrattarietà, per rispondere alle esigenze funzionali ed estetiche più svariate. Attraverso la scelta delle argille e delle tecniche di impasto, essiccazione e cottura, il laterizio costituisce una struttura per costruzione versatile ed adattabile, proprio perché è in sé stesso un prodotto dell'attività dell'uomo che non ha cessato di evolversi dalle origini della civiltà.

Il laterizio accompagna da millenni una delle più importanti attività dell'uomo: *costruire*.

Dal latino *later* – *mattone* si impone in Italia come materiale da costruzione a partire dall'epoca romana. Già allora la produzione era notevolmente diversificata: mattoni quadrati, triangolari, sagomati a segmento d'arco per colonne, coppi e tegole di varie forme e dimensioni. Il problema dell'umidità e dell'isolamento termico erano risolti con pareti realizzate con particolari mattoni cavi, di forma tubolare a sezione rotonda o quadrata. Tali mattoni possono essere considerati gli antenati diretti degli attuali forati.

Il laterizio accompagna l'evoluzione dell'urbanistica italiana, passando attraverso lo sviluppo privilegiato di monasteri ed abbazie, castelli e fortezze nell'alto medioevo e nel rinascimento, l'espressione dei fasti privati nel barocco, le discusse esigenze di razionalità e ordine del diciottesimo secolo e quelle di risanamento e apertura di grandi spazi del secolo scorso.

Esplorare il mondo dei laterizi significa scoprire un universo di forme che, testimoni della vita di ieri e specchio della vita di oggi, ci parlano degli usi e delle consuetudini regionali del nostro Paese (*Industria Laterizi Giavarini*).

## 1.5 Materie prime per la produzione di laterizi

Nella produzione dei laterizi si utilizzano, principalmente, impasti naturali costituiti da argille (*Casati P., 1996*). Esse sono rocce sedimentarie incoerenti originate da depositi alluvionali (fluviali, deltizi, lacustri), costituite generalmente da granuli del diametro di 2  $\mu\text{m}$ . Come la maggior parte delle rocce sedimentarie presenta una composizione chimica eterogenea poiché, in seguito ad erosione e trascinamento, la matrice argillosa ingloba altri minerali e sostanze organiche sotto forma di particelle minute.

L'impasto per la produzione è rappresentato da una miscela di materiali classificabili in quattro grandi categorie (*Mottana A. et al., 1987*):

- Frazione argillosa
- Frazione inerte
- Frazione organica

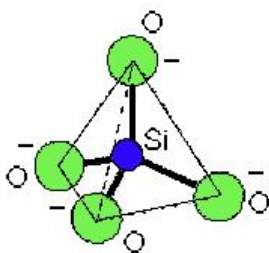
- Parte fondente

### 1.5.1 Frazione argillosa

E' la parte più fine dell'impasto e può variare dal 30 al 60%. I minerali argillosi così come ogni minerale, sono caratterizzati da proprietà fisiche omogenee, da una composizione chimica caratteristica (che può essere variabile solo entro certi limiti) e, soprattutto, dal fatto di possedere un'impalcatura di atomi (detto reticolo cristallino) che rimane fissa per ciascun minerale. L'espressione esterna della disposizione degli atomi costituenti il minerale, cioè del reticolo cristallino, si definisce "cristallo". Esso non è altro che una forma poliedrica, con particolare disposizione delle facce, degli spigoli e dei vertici tale da rispettare il più possibile l'equilibrio interno degli atomi.

In una sostanza cristallina gli atomi sono disposti in strutture tridimensionali ordinate, all'interno delle quali è possibile individuare un insieme di reticoli incastrati, ognuno dei quali ha ai propri vertici (nodi) atomi di uno stesso elemento. In questo incastro può essere individuata un'unità minima, detta cella elementare, la cui ripetizione nello spazio origina l'intera struttura cristallina caratteristica della sostanza solida. Il cristallo di un minerale si forma quando esistono condizioni tali per cui, attraverso una serie di reazioni chimico-fisiche, partendo da atomi disordinati si arriva a pezzi di materia rigorosamente organizzati in modo periodico e omogeneo. Ogni cambiamento, ad esempio variazioni di temperatura e pressione, può interrompere la crescita dei cristalli o modificarne la struttura.

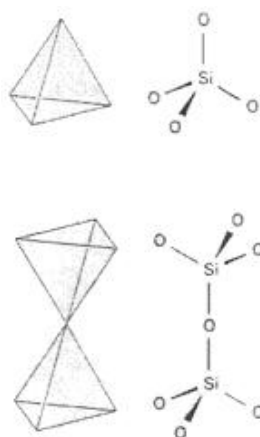
Molti dei minerali esistenti in natura sono silicati, formati da ossigeno e silicio, elementi abbondanti nella crosta terrestre e nel sottostante mantello. Tutti i silicati presentano gruppi formati da un atomo di silicio e quattro di ossigeno ( $\text{SiO}_4$ ), disposti con una geometria a tetraedro, al cui centro vi è il silicio e ai vertici l'ossigeno.



**Figura 1.2** – Gruppo fondamentale  $\text{SiO}_4$

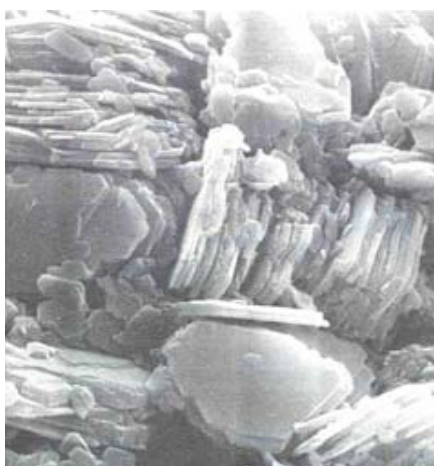
Le varie strutture dei silicati derivano dai diversi modi con cui questi tetraedri si associano. Molto spesso al centro del tetraedro l'atomo di silicio può essere sostituito con un atomo di Alluminio e meno frequentemente con atomi di Ferro e Magnesio.

Gli atomi di Ossigeno posti ai vertici del tetraedro si legano con quelli di altri tetraedri vicini formando delle strutture più complesse a simmetria esagonale.



**Figura 1.3** – Legame tra due tetraedri

Nei minerali argillosi i singoli gruppi fondamentali si dispongono su piani paralleli in strutture esagonali o ottaedriche. La sovrapposizione di più strati crea una struttura facilmente sfogliabile, per questo motivo ad essa viene dato il nome di *fillosilicati* (il cui nome deriva dal greco e vuol dire “foglia”). La combinazione di forme tetraedriche e ottaedriche differenzia tra loro i vari tipi di minerali argillosi.



**Figura 1.4** – L’immagine al SEM di un fillosilicato evidenzia le stratificazioni.

Inoltre tra gli strati si crea spazio sufficiente per l’introduzione di una o più molecole di acqua. Tale acqua, denominata *interfogliare* od *interlaminare*, influenza fortemente le proprietà dei minerali.

In presenza di essa aumenta la possibilità degli strati di scorrere tra loro se sollecitati da un’azione esterna con un notevole miglioramento della loro plasticità. Negli stessi interstizi occupati dall’acqua, a volte, possono essere assorbiti degli ioni metallici alcalini ed alcalino terrosi diversificando ulteriormente i vari minerali.

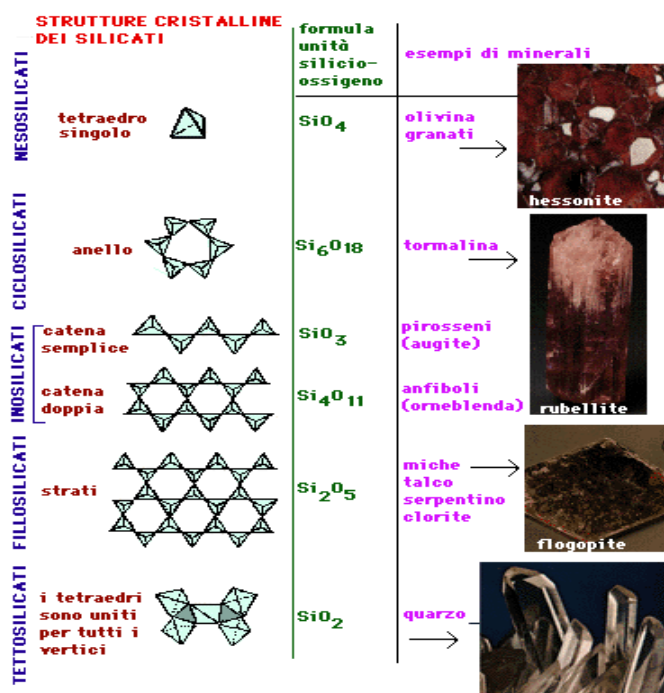


Figura 1.5 – Strutture cristalline dei silicati

I principali fillosilicati, utilizzati per la produzione di laterizi, possono essere distinti in tre grandi gruppi, caratterizzati da una particolare composizione degli strati:

- **argille a due strati** ( *caolinite*, *hallosite* ): composte da uno strato di tetraedri di silicio e uno strato di ottaedri di alluminio
- **argille a strati misti** - *smectite*, *vermiculite*, *illite*: composte da uno strato di ottaedri di alluminio tra due strati di tetraedri di silicio
- **argille a strati misti** - *clorite*: composte da strati alternati di tipo diverso

Per la produzione di laterizi vengono usati soprattutto l'illite, la clorite, la montmorillonite e in maniera minore la caolinite.

### *Illite*

Il termine illite deriva dal primo minerale trovato ed identificato proveniente dallo stato dell'Illinois, Stati Uniti del Nord. L'unità strutturale di base è composta da uno strato di ottaedri di alluminio, circondato da uno strato di tetraedri di silicio e alluminio. In interstrato vi sono poi ioni di potassio e molecole d'acqua. La sua formula chimica è pertanto  $K_xAl_4(OH)_4Si_{8-x}Al_xO_{20} \cdot H_2O$ , con  $x < 2$  generalmente compreso fra 1 e 1.5.



Figura 1.6 - Minerale Illitico

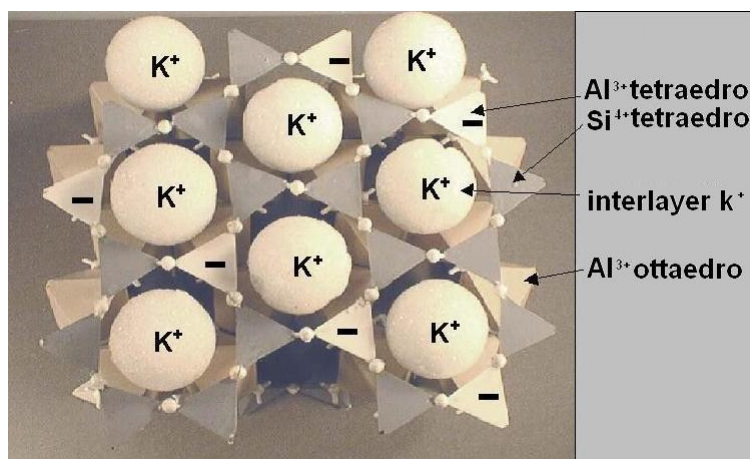


Figura 1.7 – Vista dall'alto della struttura illitica

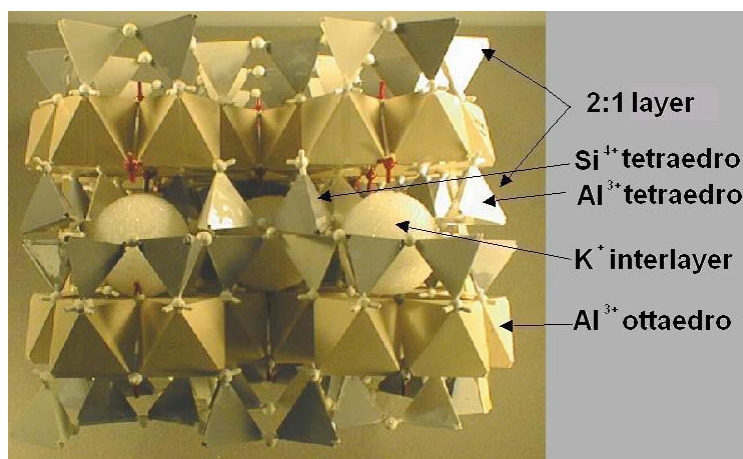


Figura 1.8 – Vista laterale della struttura illitica

E' un minerale prettamente di natura sedimentaria ragion per cui essa non si trova mai allo stato puro, ma associata sempre ad altri minerali quali clorite, montmorillonite, caolinite, quarzo, calcite, dolomite.

I giacimenti, a frazione prevalentemente illitica, si trovano sull'Appennino Emiliano.

Il principale impiego di questo minerale è nel campo ceramico per la produzione di laterizi ma anche di piastrelle, utilizzate sia come rivestimento ad alta porosità (argille illitico-carbonatiche), che da pavimento a media e bassa porosità. In altri settori le argille di tipo illitico “cuocenti bianco” possono essere utilizzate, in alternativa alle argille caoliniche, come supporti in polvere. Altri tipi, detti “cuocenti rosso”, vengono impiegati per la produzione di materiali espansi leggeri molto utilizzati nel settore edilizio. A tal fine essi devono essere additivati con prodotti espandenti, possibilmente a basso prezzo.

I manufatti prodotti con argille illitiche presentano una normale espansione dopo pressatura ed estrusione e buoni valori di resistenza meccanica alla flessione, inerente sia al prodotto finito che a quello essiccato.

Altre caratteristiche presentano poi valori diversi in base al contenuto carbonatico delle argille.

**Tabella 1.3** – Differenze tra i principali tipi di minerali illitici

Minerale	Illite (carbonati 15-25%)	Illite (carbonati < 5%)
Ritiro	$\pm 1 \%$	$2 \div 6 \%$
Assorbimento H <sub>2</sub> O	$15 \div 22 \%$	$5 \div 13 \%$
Resistenza Meccanica [ kg/cm <sup>2</sup> ]	$110 \div 160$	$> 200$
Dilatazione cubica [°C <sup>-1</sup> ]	$180 \div 225 \times 10^{-7}$	$180 \div 225 \times 10^{-7}$

Inoltre i manufatti con un maggiore tenore di carbonati risultano, a 1020 °C, leggermente refrattari, passando allo stato vetroso oltre i 1100 °C con una trasformazione improvvisa e repentina. Quelli con un contenuto di carbonati quasi nullo, invece, risultano più fusibili, raggiungendo la completa vetrificazione in un range compreso tra 1050÷1080 °C.

### **Clorite**

Il termine deriva dal greco “cloros” che vuol dire verde. Il colore di questo minerale è prevalentemente verdaceo, dovuto ad una elevata presenza di ossidi di ferro ridotto.

Come tutti i fillosilicati la sua struttura è di tipo lamellare, ottenuta dalla sovrapposizione di più fogli composti da materiali diversi. E' la sovrapposizione di due strutture di base molto simili. La prima composta da uno strato di-ottaedrale di alluminio al centro, circondato sopra e sotto da un foglio composto da tetraedri sia di alluminio che di silicio. L'altra molto simile a quella descritta con la differenza di avere al centro un magnesio tri-ottedrale. In interlayer poi presenta magnesio e alluminio in forma ottaedrale.



**Figura 1.9** - Minerale cloritico

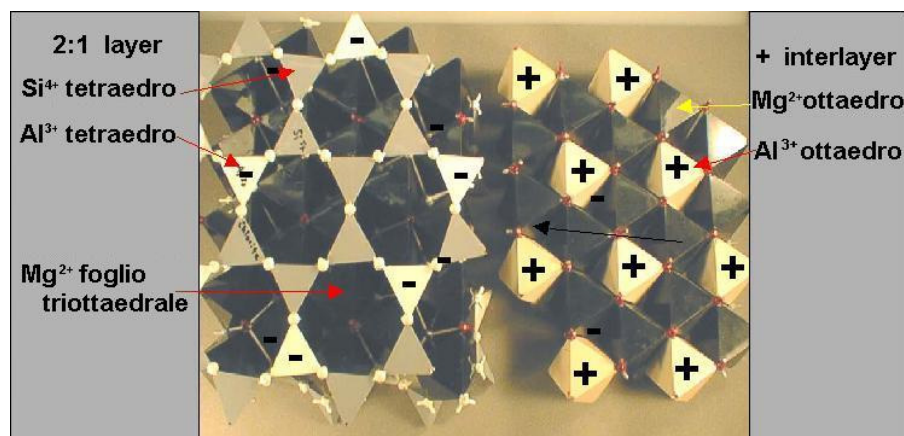


Figura 1.10 – Vista dall'alto della struttura cloritica

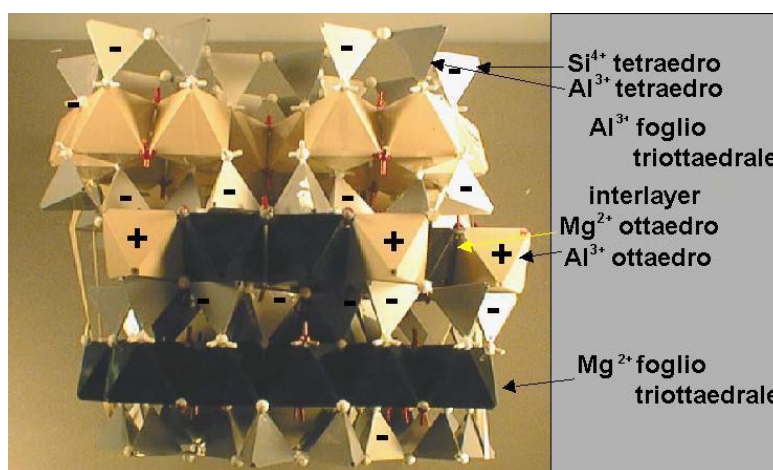


Figura 1.11 – Vista laterale della struttura cloritica

La sua formula chimica, che può variare entro limiti piuttosto ampi, risulta così essere:  $Mg_6(OH)_{12} \cdot (Mg,Fe,Al)_6 [(Si,Al)_8O_{20}] (OH)_4$ .

Anche la clorite è una roccia sedimentaria formata soprattutto in ambiente marino. I suoi minerali sono di composizione notevolmente complessa, frutto della grande variabilità degli elementi che la compongono.

In Italia la clorite si trova sempre mista all'illite, per questo motivo i giacimenti si trovano, come per l'illite, nell'Appennino emiliano. In particolare qui si trova un'argilla clorotico-illitica, molto compatta, caratterizzata da una scarsa plasticità, da una buona omogeneità e da assenza di sostanze organiche. Per quanto riguarda il calcolo dei valori di ritiro, assorbimento d'acqua, della resistenza meccanica e del coefficiente di dilatazione cubica si ripetono le stesse considerazioni effettuate per l'illite. Nel campo ceramico le cloriti vengono utilizzate per

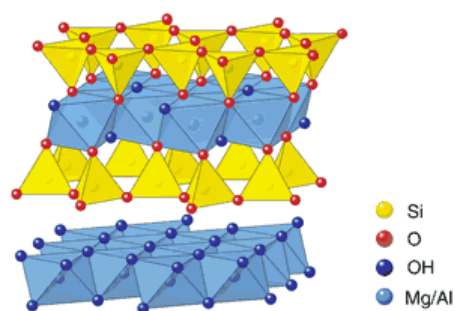


Figura 1.12 - Schema semplificato della clorite

diversi scopi. Quelle grigio-azzurre si utilizzano per rivestimenti smaltati, le argille grigie per supporti colorati a media porosità. Quelle a bassa porosità vengono impiegate per manufatti antigelivi smaltati e non smaltati.

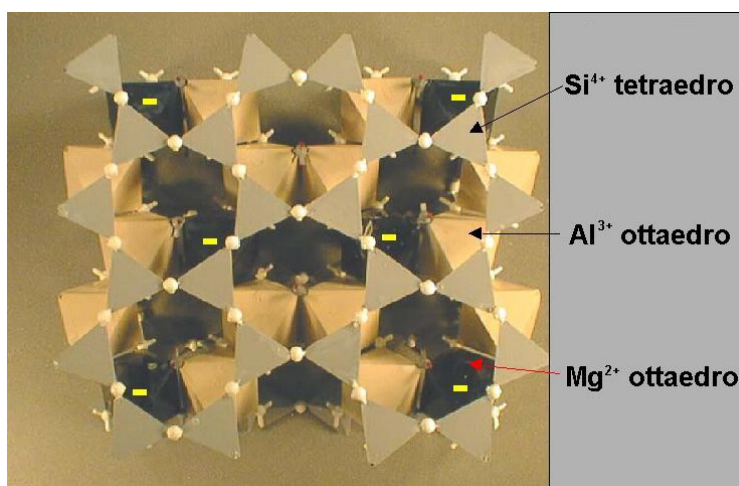
Le argille grigio-azzurre si adottano nella produzione di vasellame rustico (maiolica) e nella fabbricazione di laterizi trafilati di grandi dimensioni come pignatte e tavelloni.

### ***Montmorillonite***

Appartenente al gruppo delle smectiti, il suo nome deriva da Montmorillon, località francese dove fu localizzato e in seguito classificato. La montmorillonite è un idrosilicato di alluminio sodico, morfologicamente costituito da uno strato di ottaedri di allumina interposto tra altri due di tetraedri di silice. Tali strati sono raccolti a cumuli e sono tenute assieme da deboli forze di Van der Waals. I cumuli possono essere separati, in acqua, in particelle più piccole di dimensioni submicroniche, e sviluppare una superficie specifica di 800 m<sup>2</sup>/g.

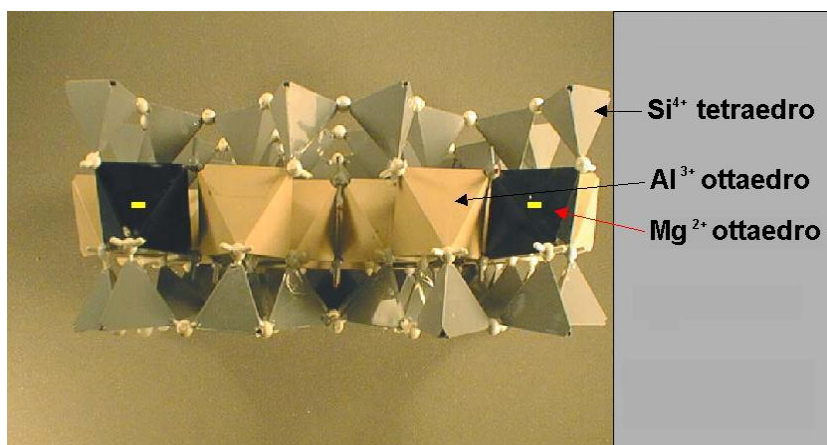


**Figura 1.13** – Minerale montmorillonitico



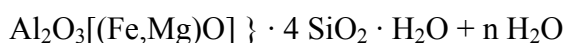
**Figura 1.14** – Vista dall'alto della struttura montmorillonitica





**Figura 1.15** – Vista laterale della struttura montmorillonitica

Spesso nei tetraedri il silicio è sostituito con l'alluminio e negli ottaedri con il magnesio o il ferro. La sua formula di struttura è:



ed una sua composizione teorica è:

- SiO<sub>2</sub> 66,7 %
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 28,3 %
- H<sub>2</sub>O 5%.

La montmorillonite possiede la caratteristica di assorbire tra gli strati del reticolo una quantità molto variabile di acqua, rigonfiandosi, fino a raggiungere l'aspetto di un gel ed un volume maggiorato di 6 volte rispetto a quello iniziale. Per questo motivo è consigliabile che negli impasti ceramici la percentuale di bentonite non superi il 5%. Infatti, se da un lato favorisce la lavorabilità ed il potere legante dell'impasto, dall'altro richiede molta acqua d'impasto quindi comporta lunghi tempi di essiccamento e maggiori rischi di deformazioni e rottura. Un'altra importante caratteristica della montmorillonite è quella di scambiare gli ioni di una soluzione inglobandoli tra i suoi strati e rilasciandoli solo se immersi successivamente in ambiente acido.

Il comportamento di un manufatto bentonitico prevede una normale resistenza dopo pressatura, un'elevatissima resistenza meccanica alla flessione sia sul verde che sull'essiccato, un fortissimo ritiro in fase di essiccamento (> 1 %).

Inoltre dopo cottura si ha:

**Tabella 1.4** – Principali caratteristiche della montmorillonite dopo cottura

Montmorillonite	Dopo cottura 1020 °C
Ritiro	5 ÷ 8 %
Assorbimento H <sub>2</sub> O	16 ÷ 17 %
Resistenza Meccanica [ kg/cm <sup>2</sup> ]	100 ÷ 200

La montmorillonite trova il suo principale impiego come costituente fondamentale dei fanghi per trivellazione petrolifere. Esso favorisce, infatti, la risalita dei frammenti di roccia a causa dell'aumento di viscosità, e costituisce un rivestimento impermeabile sulle pareti del pozzo.

In altri casi, viene utilizzato come decolorante, deodorante, deidratanti e come neutralizzatori di oli minerali, vegetali ed animali. In quantità limitate viene miscelato agli impasti ceramici, soprattutto per la produzione di laterizi, favorendone la plasticità in fase di foggatura.

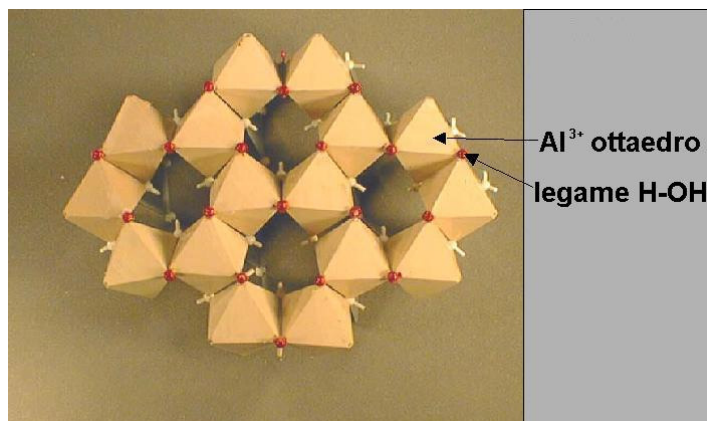
I giacimenti di montmorillonite si trovano in spessi strati alti vari metri di colore bianco-grigio con tinte giallo-verde. Essi si localizzano maggiormente in Gran Bretagna, Francia, Germania, Italia (Sardegna, Isola di Ponza), Grecia, Romania, per quanto riguarda l'Europa. Messico, Stati Uniti, Canada, Argentina e Brasile per l'America, India e Giappone per l'Asia ed in Sudafrica.

### **Caolinite**

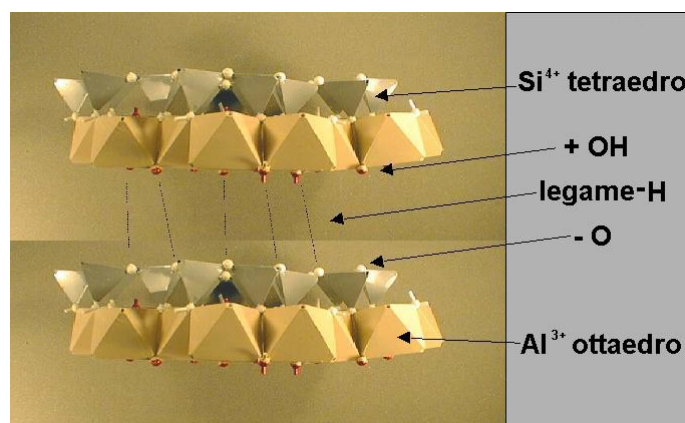
Il suo nome deriva dal cinese “kau-ling” (collina alta) per indicare il primo luogo dove questa materia fu estratta. La caolinite possiede una struttura molto semplice. Infatti è composta dalla ripetizione a strati della stessa struttura. Nella unità di base si ha la sovrapposizione di tetraedri di silicio e di ottaedri di alluminio. In questi ultimi la faccia basale possiede gruppi ossidrilici (OH) invece dell'ossigeno. Ciò permette alle varie unità di essere tenute insieme da legami idrogeno.



**Figura 1.16** - Minerale caolinitico



**Figura 1.17** – Vista dall'alto della struttura caolinitica



**Figura 1.18** – Vista laterale della struttura caolinitica

La sua formula chimica è  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ .

Una sua possibile composizione è:

- $\text{SiO}_2$  46,5 %
- $\text{Al}_2\text{O}_3$  39,6 %
- $\text{H}_2\text{O}$  13,9 %

L'origine della caolinite è variegata. Raramente si trova in forma pura ed assume la denominazione di caolino, in questo caso ha un'origine primaria e non subisce trasporti come gli altri minerali argillosi. Deriva essenzialmente dall'alterazione idrolitica di rocce feldspatiche. E' di colore bianco, scarsamente plastico e untuoso al tatto. Più frequentemente ci si trova di fronte a giacimenti secondari, sedimentati in ambienti acquosi, specialmente lacustri, dopo un certo trasporto che li arricchisce di impurità, frammenti di altre rocce (quarzo e ossidi di ferro) ma soprattutto elementi vegetali e carboniosi. A questi minerali viene dato il nome di ball-clay e presentano un elevato grado di plasticità ed una colorazione scura che si schiarisce solo dopo cottura.

Tecnologicamente le differenze tra caolino e ball-clay sono evidenti.

Il primo presenta una forte espansione dopo pressatura, scarsissima resistenza meccanica sia sul verde che sull'essiccato e una forte espansione dopo essiccamento.

Il secondo, invece, è caratterizzato da una discreta espansione dopo pressatura e valori molto elevati del modulo di rottura.

Altre caratteristiche sono queste:

**Tabella 1.5** – Differenze tra i principali tipi di minerali caolinitici (temp. cottura=1020°C)

Minerale	Caolino	Ball-clay
Ritiro	----	0 ÷ 2 %
Assorbimento H <sub>2</sub> O	25 ÷ 30 %	18 ÷ 22 %
Resistenza Meccanica [ kg/cm <sup>2</sup> ]	30 ÷ 60	50 ÷ 150
Dilatazione cubica [ mm <sup>3</sup> /°C ]	110 ÷ 140 x 10 <sup>-7</sup>	120 ÷ 170 x 10 <sup>-7</sup>

I principali giacimenti di caolinite si trovano in Inghilterra, Germania, Francia, Repubblica Ceca e Stati Uniti.

Il procedimento principale di estrazione prevede l'utilizzo di un forte getto d'acqua che colpisce direttamente la parete e della raccolta del fango ottenuto in grandi vasche di sedimentazione. L'operazione successiva è quella di purificare il tutto per separare il caolino da eventuali frammenti di impurità quali quarzo e feldspato.

Una volta separato dagli elementi estranei il caolino può essere utilizzato per svariate applicazioni industriali. Quasi il 90 % del prodotto puro, è impiegato nell'industria cartaria dove viene usato sia come caricante che come coprente. Il restante 10% viene utilizzato negli impasti ceramici. Le ball-clay, invece, vengono impiegate quasi esclusivamente nell'industria ceramica, perché vengono miscelate ad altre argille senza effettuare un processo di purificazione. La loro percentuale nell'impasto varia da prodotto a prodotto con percentuali che vanno dal 15% al 40 %.

### 1.5.2 Frazione inerte

La parte inerte dell'impasto è formata da sabbie di quarzo e feldspati che si sono mescolate ai minerali argillosi nel processo di trasporto e sedimentazione dei minerali. Tali materiali si comportano da inerti a causa della bassa temperatura di cottura degli impasti di laterizio (900°C – 1050°C).

La quantità di questa frazione nell'impasto è variabile da regione a regione ed è in relazione alla formazione geologica dell'argilla impiegata. Essa costituisce lo scheletro portante dei manufatti nella fase di foggatura, essiccamento e cottura; favorisce l'essiccamento, riduce la plasticità ed il ritiro, concorre alla formazione della porosità nella massa. Ha un ruolo determinante per la resistenza meccanica a flessione e schiacciamento,

per la resistenza all'usura, per l'estetica dei manufatti cui conferisce un aspetto rustico. Fra i materiali aggiunti come inerti sono preferibili quelli a base di rocce silicatiche altofondenti.

### Quarzo

Il quarzo è una forma allotropica della famiglia della silice. Il termine silice deriva dal latino "silex" (pietra dura). E' un componente che riveste un'importanza fondamentale poiché è l'elemento principale delle rocce del pianeta e ricopre un importante ruolo nella formazione delle ceramiche.



Figura 1.19 - Cristalli di quarzo

La struttura base è quella dei silicati vista già in precedenza e l'unità fondamentale è il tetraedro di silicio con l'atomo di silicio al centro e quattro atomi di ossigeno ai vertici del tetraedro. Si crea, perciò, un difetto di 4 cariche essendo il silicio tetravalente positivo e ogni ossigeno bivalente negativo.

La silice, a pressione atmosferica, possiede tre forme cristalline stabili (quarzo, tridimite, cristobalite) in specifici range di temperatura ed una vetrosa amorfa. Per quanto riguarda il quarzo essa assume due forme  $\alpha$  e  $\beta$  in funzione della temperatura e pressione.

Si è in presenza della forma  $\alpha$ , dai 20 °C a 575 °C, di quella  $\beta$  da 576 °C a 870 °C.

Il polimorfismo della silice è ben visibile nel seguente diagramma di stato.

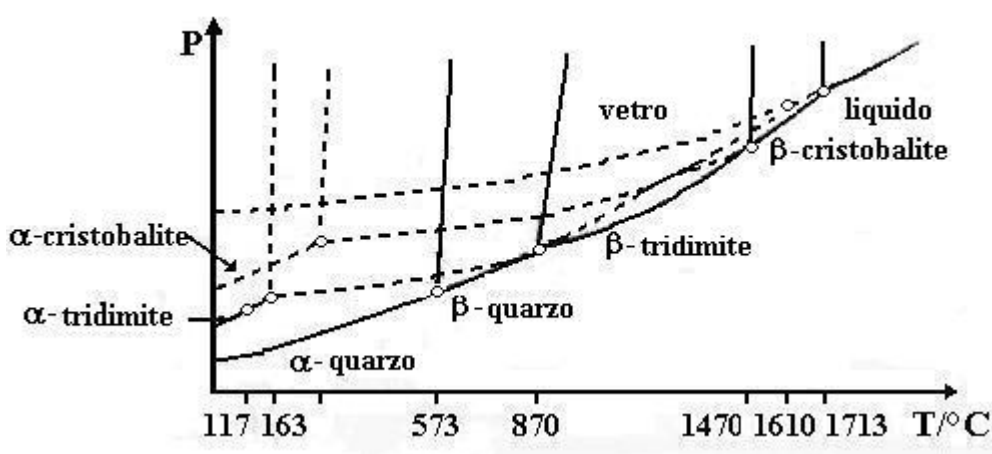


Figura 1.20 – Diagramma di stato della silice

Nei vari passaggi la temperatura agisce in maniera diversa sul cristallo. Le trasformazioni da quarzo  $\alpha$  a quarzo  $\beta$  sono di tipo *distorsivo*, si assiste, infatti, ad un riassetto del reticolo cristallino. Quelle tra quarzo, tridimite e cristobalite sono di tipo *ricostruttivo* poiché si ha una rottura e ricostruzione dei legami.

La prima ha una cinetica nettamente maggiore della seconda e provoca un aumento del 3% rispetto al suo volume iniziale ed una sensibile diminuzione di densità.

Queste variazioni fanno preferire altri tipi di inerti (ad esempio i feldspati) al quarzo nella produzione di manufatti ceramici per i quali, in fase di cottura, si raggiungono temperature ben più elevate rispetto a quelle di transizione  $\alpha \rightarrow \beta$ .

I quarzi insieme a residui di altre rocce, con dimensioni dei granuli compresi tra 0,25 e 2 mm, formano dei grandi depositi di sabbia.

Essi possono essere di origine primaria, caratterizzati da una colorazione biancastra e da un aspetto translucido, in tal caso si parla di quarziti, oppure di tipo secondario che assumono colorazione diversa in base al tipo di impurezze presenti (miche, feldspati, ossidi e idrossidi di ferro, materiali argillosi, sostanze vegetali).

I depositi sabbiosi possono essere di origine alluvionale, lacustre e marino ma anche di accumulo eolico. Come si può ben capire i numerosi modi di sviluppo dei giacimenti fa sì che nel mondo vi siano tantissimi produttori di sabbie. I maggiori sono in Germania, Brasile, Macedonia e Stati Uniti. In Italia buone caratteristiche posseggono le sabbie provenienti da Cuneo o Bologna.

Prima di un loro utilizzo il materiale sabbioso viene frantumato in grani poi filtrato per separare la frazione quarzosa da quella feldspatica o da altre impurità ed infine classificato in base alla dimensione dei granuli.

Una volta raggiunto un buon grado di purezza il quarzo è leggero (peso specifico  $2,65 \text{ g/cm}^3$ ) e duro (7 della scala di Mohs).

La sfaldabilità è difficile. In condizioni normali ha una frattura a superfici curve (concoide, cioè a forma di conchiglia), ma si può sfaldare su piani in condizioni controllate, soprattutto in direzione parallela ai romboedri. Quando è puro è incolore ed è definito cristallo di rocca o ialino (*rock-crystal*), ma la mancanza di colore non è indice di purezza. La causa della diversa colorazione è, infatti, da attribuire ad atomi che sostituivano il silicio e l'ossigeno nell'edificio cristallino mantenendone intatta la trasparenza, ma che viravano a nuove tonalità di colore se colpiti da particolari radiazioni.

Il quarzo è usato nell'industria ceramica per la sua refrattarietà, per la sua capacità di smagrire, creando uno scheletro solido ad argille senza nerbo che tendono a modificare la propria forma in crudo, e per l'elevata bianchezza che conferisce al prodotto.

Inoltre in fase di essiccamento favorisce la degasazione di eventuali impurità presenti nelle materie prime e l'eliminazione dell'acqua, ma contrasta il ritiro.

### **Feldspati**

Il suo nome deriva dal tedesco “feldspat”, spato di campo, dove spato indica grossi cristalli che si sfaldano secondo forme elementari.

La struttura base del feldspato è un anello formato da quattro gruppi tetraedrici  $\text{SiO}_4$ . Gli anelli a loro volta si legano fra loro formando lunghe catene.

La formula generica è:



dove:

- X indica, generalmente Sodio ( $\text{Na}^+$ ), Potassio ( $\text{K}^+$ ) o Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ).
- Y indica quasi sempre Alluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ), Silicio ( $\text{Si}^{4+}$ ) o più raramente Ferro ( $\text{Fe}^{3+}$ ).

In base al tipo di elementi presenti e alla loro combinazione si ottengono le tre principali specie feldspatiche:

- *Ortoclasio*:  $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$
- *Albite*:  $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$
- *Anortite*:  $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$

I feldspati sono molto presenti in natura; da soli costituiscono il 60 % delle rocce magmatiche. Più raramente si possono trovare depositi di origine sedimentaria.

Giacimenti appartenenti a tale specie si trovano, perciò, in tutto il mondo. I più importanti si trovano in Russia, Turchia, penisola scandinava, Gran Bretagna, Germania, Francia, Grecia, Stati Uniti, Canada, Messico, Giappone, India, Sud Africa e Australia. In Italia i giacimenti si trovano lungo l'arco alpino nelle province di Vercelli, Novara, Brescia, Como ma soprattutto Trento.

I feldspati rivestono particolare importanza nell'industria ceramica grazie al loro comportamento fondente. Durante il riscaldamento, infatti, vetrificano in maniera lenta e graduale senza punti di fusione definiti; questa peculiarità rende l'intera struttura compatta e poco porosa.

Quando le miscele ceramiche posseggono un valore troppo elevato della dilatazione che, in fase di smaltatura, potrebbe portare alla tipica forma convessa, l'aggiunta di feldspato ne produce un sensibile abbassamento.

Oltre al campo ceramico, questi minerali vengono utilizzati anche in campo vetrario per il loro elevato tenore di allumina.



**Figura 1.21** - Ortoclasio appartenente alla famiglia dei feldspati

### **1.5.3 Frazione organica**

La frazione organica, sempre associata ad una argilla, è costituita da residui vegetali fossilizzati. È responsabile, assieme ai minerali ferrosi, della colorazione a crudo dell'argilla, ne migliora la lavorabilità, ma richiede l'adozione di programmi di cottura adeguati per evitare il difetto del cuore nero. Esso è quell'alone di colore scuro nel centro

di un corpo ceramico cotto che è causato dalla formazione di composti di ferro a basso grado di ossidazione. Quando un oggetto ceramico è fabbricato con argille contenenti molto materiale carbonaceo ed è cotto rapidamente tale materiale può non avere la possibilità di ossidarsi. A causa della scarsa porosità del pezzo ceramico, infatti non riesce ad assorbire ossigeno dall'ambiente esterno. In tali condizioni si trasforma in carbone che crea forti condizioni riducenti all'interno del corpo ceramico con conseguente formazione di composti ridotti del ferro.

Quest'ultimo, a sua volta, forma composti basso fondenti con la silice aumentando la resistenza meccanica del corpo ceramico per la maggiore vetrificazione in corrispondenza della zona più scura, ma, nelle ceramiche smaltate, può causare crateri negli smalti per emissione di gas durante la loro maturazione.

Infatti, quando lo smalto fonde a bassa temperatura diviene rapidamente impermeabile ai gas e non consente il passaggio dell'ossigeno verso il corpo ceramico per l'ossidazione del materiale carbonaceo. Sotto lo strato smaltato si forma un alone più scuro che rende il materiale disomogeneo, conferendo all'intera zona una consistenza più friabile.

#### ***1.5.4 Frazione fondente***

Tali materie prime provocano durante la cottura la formazione di fasi vetrose, sia per fusione spontanea, sia per effetto di reazioni chimiche con l'argilla. In questo modo si abbassa la temperatura di fusione dell'impasto con notevole risparmio anche dal punto di vista economico.

I manufatti argillosi misti a fondenti, formano dopo la cottura corpi fortemente cementati o addirittura fusi. Il grado di trasformazione raggiunto è condizionato dal carattere più o meno refrattario dell'argilla, dal tenore di fondente introdotto nell'impasto, dalla temperatura di cottura e da altri parametri chimici e fisici (grado di miscelazione, presenza di impurità, ecc.).

Tra i principali fondenti inseriti nell'impasto per la produzione di laterizi si annoverano il *calcare* e gli *ossidi di ferro*.

#### ***Calcare***

Il *calcare* è una roccia sedimentaria molto comune composta principalmente da calcite. Dal punto di vista chimico i principali componenti sono il carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) ma anche carbonato di magnesio ( $\text{MgCO}_3$ ).

La roccia si forma per accumulazione sul fondo marino di conchiglie e scheletri di animali. Se presenta una percentuale rilevante di argilla prende il nome di marna.

E' il principale fondente per la produzione di laterizi e la sua concentrazione negli impasti si colloca generalmente tra il 10 ed il 35 %. Esso impartisce solidità e coesione ai cotti formando silicati e silicoalluminati di calcio a temperature non eccessivamente alte.

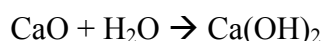


E' il responsabile della porosità aperta che si forma durante la sua dissociazione in ossido di calcio ed anidride carbonica.

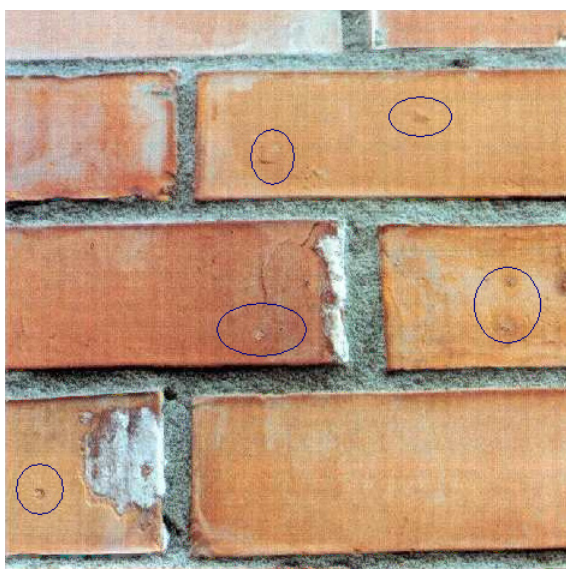


La sua presenza nell'argilla è evidenziata da un'intensa effervescenza che si sviluppa quando viene trattata con acidi deboli (acido acetico).

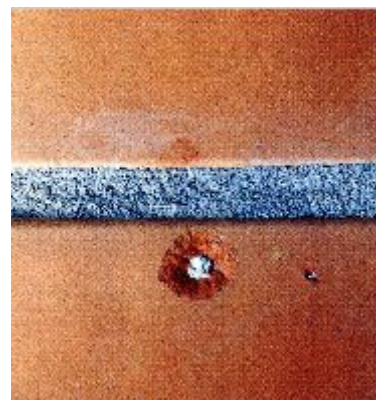
E' importante che sia finemente e uniformemente distribuito nell'argilla: la presenza di noduli di calcare dà luogo, per decomposizione, ad un granulo di ossido di calcio che può idratarsi con aumento di volume provocando il difetto del calcinello o la scagliatura. Tale fenomeno avviene con la reazione:



e si evidenzia in fase di cottura con la presenza di grumi di materiale biancastro sulle facce esterne del manufatto.



**Figura 1.22** - Nei cerchi sono visibili i calcinelli



**Figura 1.23** - Scagliatura a cratere

I possibili rimedi sono:

- macinazione più fine dell'argilla per avere una migliore distribuzione e reattività del calcare
- cottura a più alta temperatura per favorire una più completa combinazione della calce con la silice ed aumentare pertanto la resistenza meccanica del cotto;
- aggiunta di cloruro di calcio, di sodio, di ammonio, che esplicano una azione vetrificante sulla massa;
- immissione, durante la fase di raffreddamento, di anidride carbonica per riconvertire l'ossido di calcio in carbonato;
- immersione del prodotto in acqua per disciogliere l'idrossido di calcio che si forma e ridurre le tensioni interne.

### **Ossidi di ferro**

Gli ossidi di ferro presenti negli impasti in forma sia idrata che non idrata, formano con gli altri ossidi soluzioni solide e composti nuovi che conferiscono una rinnovata conformazione ai manufatti per la coesione del materiale. Intorno ai 1000 °C la fusione di eutettici (*eutettico*, o *miscela eutettica*, è una miscela di sostanze il cui punto di fusione è più basso di quello delle singole sostanze che la compongono) con la silice e l'allumina porta ad una maggiore greificazione dell'impasto rendendo l'elaborato finale più compatto e meno soggetto a deformazione.

La presenza di questi ossidi determina, inoltre, la colorazione finale dell'impasto.

La colorazione dipende, oltre che dalla concentrazione di ossidi di ferro presenti nella miscela, dalla combinazione di molteplici fattori come l'atmosfera del forno, le concentrazioni relative di calce e allumina e la temperatura di cottura.

L'ossido di calcio ha un effetto decolorante perché forma dei composti con il ferro (ferriti) che sono di colore chiaro e anche perché assieme all'ossido di ferro crea un composto che reagisce con l'allumina formando una struttura nella quale la tipica colorazione rossa non ha più modo di manifestarsi.

E' importante, inoltre, ridurre al minimo la presenza di alcune impurezze, quali pirite e marcasite, entrambi minerali del ferro. In fase di cottura producono granuli di ossido di ferro ed anidride solforosa che creano rispettivamente asperità e cavità nel corpo ceramico, a causa dell'azione fondente, e sali solubili responsabili di antiestetiche effluorescenze, a causa dell'ossidazione ad anidride solforosa.

## **1.6 Tipologie di laterizi <sup>3</sup>**

La moderna industria dei laterizi ha elaborato nuovi elementi in argilla, basati sulla forma sempre valida del mattone pieno. Questi nuovi elementi sono stati specificatamente progettati e prodotti per rispondere a varie esigenze:

- resistenza meccanica della muratura, anche in zone sismiche;
- aumento dell'isolamento termico, ottenuto con un particolare disegno dei setti interni o con la creazione, nella pasta di argilla, di micro-cavità;
- possibilità di avere diversi spessori di muratura, senza dover ricorrere a tagli degli elementi;
- maggiore velocità di esecuzione, ottenuta con l'aumento delle dimensioni degli elementi fino al massimo compatibile con una facile maneggiabilità;
- offerta di pezzi speciali quali architravi, stipiti, mazzette ecc.;
- elementi per la costruzione facilitata e per il fai-da-te.

La produzione di laterizi comprende molti tipi di manufatti che tengono conto di svariate esigenze: la resistenza meccanica delle murature, anche in zona sismica, la

---

<sup>3</sup> [www.laterizio.it](http://www.laterizio.it)

maggiore leggerezza e maneggevolezza possibile, l'isolamento termico e acustico. A seconda dell'uso che poi dovrà avere l'intero manufatto si sceglierà l'uno o l'altro tipo. Questo paragrafo descrive i principali tipi (ANDIL 1983).

### **1.6.1 Mattoni pieni**

*Sono così denominati gli elementi privi di fori o che comunque si presentano con una limitata foratura, inferiore al 15% dell'area complessiva. Possono essere impiegati sia per murature strutturali che di semplice confinamento di ambienti. Generalmente le dimensioni ufficiali sono 5,5 x 12 x 25 centimetri ma esistono moltissime varianti per lo più regionali che comunque non si discostano più di 1/2 centimetro dalle misure indicate.*



**Figura 1.24 - Mattoni**

I mattoni a faccia vista si distinguono per la particolare colorazione (naturale o artificiale, uniforme o non) o per la particolare finitura superficiale (sabbatura, smaltatura). Sono utilizzati per la realizzazione di murature prive di intonaco. Appartengono a questa tipologia anche i mattoni sabbati, foggiate per pressatura con pasta molle, caratterizzati dalla forma irregolare che li rende simili ai mattoni fatti a mano (Acocella A. 2005).

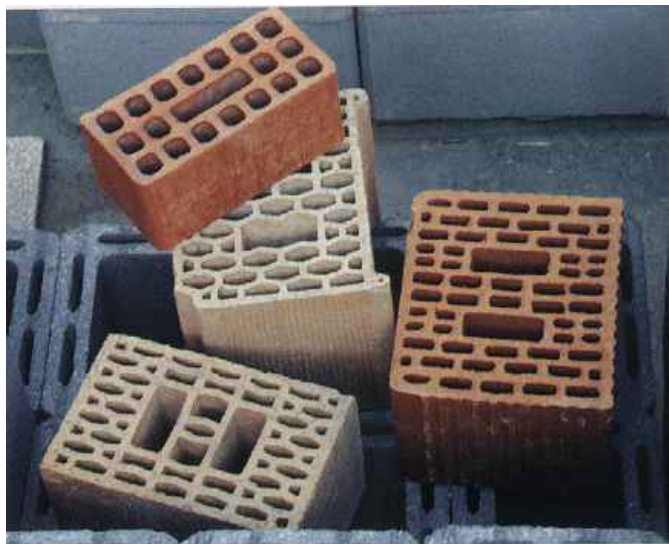
### **1.6.2 Mattoni e blocchi semipieni**

*Vengono così definiti gli elementi in laterizio forati, destinati ad essere posti in opera con i fori ortogonali al piano di posa. La loro percentuale di foratura varia tra il 15 e il 45%.*

Gli elementi di formato più grande, il cui volume supera i 5,5 decimetri cubi, vengono nominati blocchi: le loro dimensioni sono estremamente variabili. Generalmente l'altezza è intorno ai 25 centimetri, mentre lo spessore e la lunghezza possono spaziare rispettivamente da 12 a 40 e da 20 a 50 centimetri.

Vengono utilizzati prevalentemente per la realizzazione di murature portanti, ed in qualche caso anche come tamponamento.

Vanno messi in opera mantenendo la foratura verticale. Essa consiste in fori circolari, quadrati o rettangolari realizzati per trafilatura. La foratura offre numerosi vantaggi: alleggerimenti dei manufatti, minor consumo di impasto, essiccamento più rapido, migliore ancoraggio della malta.

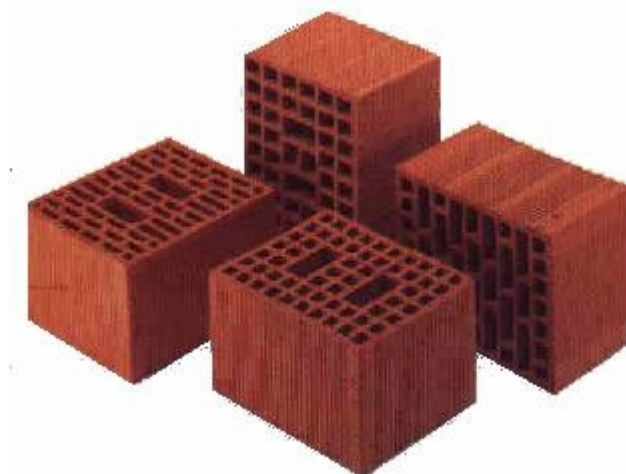


*Figura 1.25 - Blocchi semipieni*

### ***1.6.3 Mattoni e blocchi semipieni alleggeriti in pasta***

*I mattoni e i blocchi semipieni possono essere prodotti sia in laterizio normale che in laterizio alleggerito in pasta. In questo ultimo caso, i prodotti si ottengono miscelando all'impasto dell'argilla, prima della loro formatura, del materiale combustibile, finemente suddiviso, quale ad esempio, carbone, segatura di legno, sferette di polistirolo espanso, sansa esausta ecc., che durante il processo di cottura brucia completamente, lasciando così all'interno della massa laterizia dei piccolissimi vuoti, non comunicanti tra loro, che contribuiscono ad aumentarne le caratteristiche di isolamento termico e acustico.*

Per le murature non portanti, cioè quelle che servono a dividere un fabbricato in locali preservando l'isolamento acustico e termico, si producono laterizi in cui la foratura raggiunge percentuali del 65 - 70 %. In questo caso i prodotti hanno pareti più sottili e, di conseguenza, presentano una minore resistenza meccanica.



**Figura 1.26** - Blocco semipieno alleggerito in

#### **1.6.4 Elementi per solai**

*Si tratta di elementi di forma pressoché parallelepipedica, destinati ad essere messi in opera a fori orizzontali, con l'area dei fori compresa tra il 60 ed il 75%. Impiegati nelle strutture orizzontali (solai) che costituiscono i piani di un edificio, vengono anche utilizzati come supporto delle coperture.*

*Le loro prestazioni derivano dallo spessore, dalla forma e distribuzione dei fori, dalla loro associazione a travi in cemento armato o a gettate di calcestruzzo armato. Possono essere suddivisi in più categorie: elementi per solai da gettare in opera con cassetta, per solai realizzati con travetti (in calcestruzzo armato o in laterizio ad armatura metallica ecc.), per solai preconfezionati a pannelli. Inoltre, possono essere o di semplice alleggerimento oppure collaboranti staticamente con la struttura.*

*Oltre ai solai realizzati con gli elementi descritti, vengono impiegati, per lo più nell'edilizia sociale e per il terziario, pannelli prefabbricati, composti da una lastra in cemento, armata con tondi o con trefoli di precompressione, e blocchi di alleggerimento in laterizio.*

Gli elementi per solaio permettono la realizzazione di orizzontamenti leggeri e di elevata rigidità; sono utilizzabili in ogni tipo di intervento, dal piccolo cantiere, che non dispone di complesse apparecchiature per il sollevamento, alle imprese maggiori, dagli interventi di ristrutturazione in località di difficile accesso (centri storici, luoghi dove non è possibile montare gru ecc.) alle nuove costruzioni. I solai in laterocemento determinano una sicura risposta non solo ai problemi di carattere statico, ma anche per quanto riguarda la resistenza al fuoco, la protezione termo-igrometrica, l'isolamento acustico.



Figura 1.27 – Blocchi per solai

### 1.6.5 Elementi per coperture discontinue

In Italia esistono due categorie di prodotti per coperture: le tegole curve (o coppi) e le tegole piane che, secondo la loro conformazione, prendono varie denominazioni: portoghese, olandese, marsigliese, romana.

La differenza sostanziale tra le due categorie citate, oltre naturalmente alla forma, è insita nel tipo di giunzione tra elemento ed elemento.

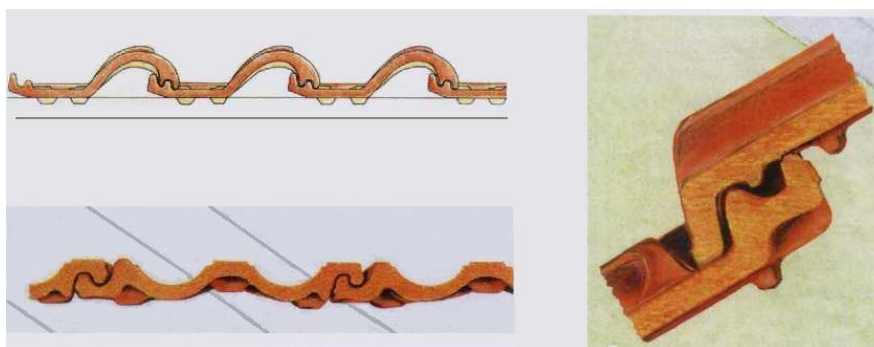


Figura 1.28 -Particolare degli agganci tra tegole romane e marsigliesi

Mentre per i coppi la tenuta agli agenti atmosferici (che è uno dei requisiti essenziali delle coperture) è affidata alla semplice sovrapposizione degli elementi, le tegole piane presentano una serie di incastri e risalti su tre lati, assicurando in tale maniera la prestazione richiesta.

Essi sono elementi relativamente piccoli. I coppi a sezione tronco-conica misurano all'incirca 12 x 43 x 18 cm (la prima cifra indica la larghezza minore, la seconda la lunghezza e la terza la larghezza maggiore), mentre le tegole piane sono larghe circa 25 centimetri e lunghe circa 40. Grazie alle loro dimensioni ridotte questi prodotti possono adattarsi anche a forme complesse di copertura.

Si possono ottenere vari tipi di colore sia miscelando opportunamente diverse qualità di argilla, sia aggiungendo sostanze coloranti, per lo più ossidi metallici, all'impasto. In tal modo si ottengono colorazioni che vanno dal giallo al rosso al testa di moro. Vengono, inoltre, prodotti tegole e coppi smaltati in vari colori, e tipi "antichizzati", ai quali cioè viene dato artificialmente quell'aspetto che, normalmente, il tempo, l'azione

del sole, del vento e della pioggia conferiscono alle coperture. Quest'ultimo tipo di produzione trova sempre più largo impiego negli interventi di restauro e ristrutturazione.



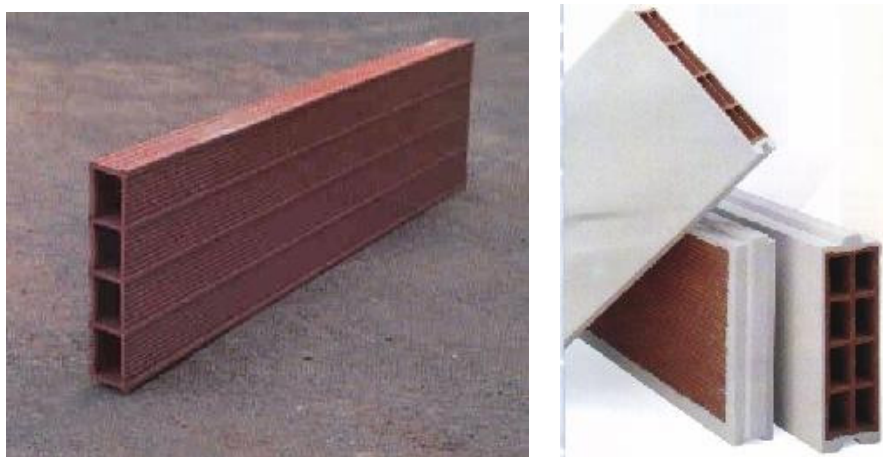
**Figura 1.29** - Tetti con tegole romane e marsigliesi

### **1.6.6 Tavelle e Tavelloni**

*Sono laterizi particolari, generalmente a setti sottili, che richiedono materie prime e tecnologie produttive raffinate.*

*I tavelloni sono elementi forati, con spessore tra 6 e 8 centimetri, larghezza di circa 25 centimetri e lunghezza che varia dai 50 ai 200 e più centimetri; le tavelle hanno analoga configurazione ma sono di spessore minore (4-6 cm) e di lunghezza massima compresa tra i 40-50 centimetri.*

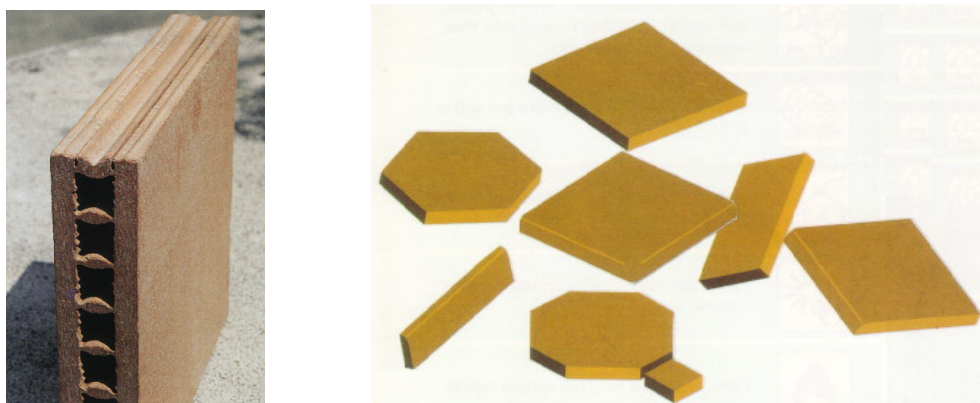
Mentre le tavelle trovano impiego nelle controsoffittature, nelle "fodere" di pareti verticali e in specifici interventi di isolamento termico (come coperture di pilastri e cordoli in c.a. per evitare i ponti termici), i tavelloni vengono impiegati sia per realizzare strutture orizzontali, appoggiati su appositi travetti o muricci, sia per strutture verticali di controfodera o tramezzature (sono correttamente impiegati, per quest'ultima destinazione, i tavelloni "gessati", ricoperti su una o su tutte due le facce maggiori di scagliola di gesso, che consente di ottenere una superficie piana senza necessità di ulteriore intonacatura), oltre ad avere un largo impiego nella realizzazione di arredi fissi interni quali pedane, mensole, muretti ecc.



*Figura 1.30 – Particolare di un tavellone*

### **1.6.7 Cotto da pavimentazione**

Gli elementi da pavimentazione sono costituiti, generalmente, da piastrelle di forma rettangolare o quadrata in varie dimensioni con spessori che non superano i 2 cm, eccezion fatta per le forme speciali e per i listelli. Sono ottenuti per estrusione in doppio cioè come profilato forato divisibile in due parti dopo la cottura. Le forme speciali sono foggiate per stampatura.



*Figura 1.31 – Particolare di una piastrella trafileta in doppio e pezzi ottenuti per*

Possono essere messi in opera o su un massetto di sabbia e cemento, in questo caso raggiungono grossi spessori (fino ad un paio di centimetri) e presentano un particolare disegno della faccia inferiore, o "a colla", su supporto preesistente già regolare. Diversamente dai precedenti sono più sottili e con una leggera rigatura della faccia di allettamento. Quest'ultimo tipo trova impiego particolarmente nelle ristrutturazioni.

La pasta di questi manufatti si distingue per la particolare colorazione prevalentemente rossa, per la tessitura grossolana ed eterogenea derivante dalla presenza di inclusi di vario colore: si tratta di granuli di rocce dure altofondenti o di rottami riciclati



provenienti dalla stessa produzione (sfiridi) che, oltre a migliorare l'aspetto estetico, conferiscono alla piastrella una maggiore resistenza all'abrasione.

### 1.6.8 Pezzi speciali

I restanti gruppi comprendono la quasi totalità di nuovi ceramici prodotti a partire dalla metà del '900. Queste ceramiche sono definite *speciali* o *avanzate* in quanto le loro prestazioni vanno ben oltre le applicazioni delle ceramiche tradizionali (Emiliani G. P. et al., 2001 vol.III).

Si tratta di materiali che, pur essendo ottenuti da materie comuni, diffuse, di scarso valore strategico, presentano molteplici proprietà che li rendono idonei ai più svariati campi di impiego, quali: alto rapporto resistenza meccanica/densità, eccezionale resistenza a corrosione, erosione ed ossidazione, ottime proprietà elettriche e magnetiche, elevato grado di stabilità, durezza e resistenza alle alte temperature associata a bassi coefficienti di espansione e ad alta conducibilità termica (Norton F.H., 1974).

I ceramici avanzati sono preparati a partire da materie prime molto pure, prodotte dall'industria chimica, e generalmente sono costituiti da un unico composto cristallino in forma di granuli che si saldano tra loro durante la cottura (sinterizzazione). Una rappresentazione schematica di tali prodotti, in funzione delle loro proprietà e delle loro applicazioni, è riportata in Tabella 1.3 (Meriani S. et al., 1996).

*Riguardano i fregi architettonici, gli elementi modulari e non per la realizzazione di colonne, capitelli, archi, elementi per l'arredo urbano, canne fumarie e comignoli, colmi e aeratori, canalette per la posa di cavi, vasi da fiori.*

*Le canne fumarie, i frangisole ed altri elementi a sezione costante sono ottenuti per estrusione, tutti gli altri sono realizzati per stampatura manuale o semiautomatica utilizzando stampi di legno, resina o metallo.*



Figura 1.32 - Frangisole



Figura 1.33 - Alcuni pezzi speciali

Tabella 1.3 – Materiali ceramici speciali o avanzati

Settori di applicazioni	Applicazioni	Proprietà	Materiali ceramici
TERMICO	Rivestimenti forni	Refrattarietà - Isolamento termico	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ZrO <sub>2</sub> , SiC, TiC, BaS, CeS
	Materiali per elettrodotti	Conducibilità termica	BeO
	Scambiatori per parti elettroniche	Capacità termica - Conducibilità termica	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Parti di turbine e motori	Resistenza shock - Resistenza scorrimento	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , ZrB <sub>2</sub> , TiB <sub>2</sub>
NUCLEARE	Combustibile Nucleare	Sorgente di radiazioni	UO <sub>2</sub> , UC, US, ThS
	Materiale per rivestimento	Refrattarietà Resistenza alle radiazioni	BeO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Materiale per schermatura	Resistenza meccanica ad alta temperatura	C, SiC, B <sub>4</sub> C
ELETTRICO	Elementi riscaldanti per alte temperature	Conducibilità elettrica	SiC, TiC, B <sub>4</sub> C
	Memorie magnetiche	Proprietà magnetiche	Ferriti
	Antenne magnetiche		
	Supporti per semiconduttori	Isolamento termico	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Semiconduttori, sensori di gas	Semiconduttività	SnO <sub>2</sub> , ZnO
	Traduttori e oscillatori	Piezoelettricità - Dielettricità	BaTiO <sub>3</sub> , CaTiO <sub>3</sub> , SrTiO <sub>3</sub> , PZT
CHIMICO BIOLOGICO	Assorbanti	Assorbimento	SiO <sub>2</sub> , zeoliti
	Catalizzatori	Catalisi	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Reattori per alta T	Resistenza alla corrosione	BaS, CeS
	Sensori di gas e vapori		ZnO, SnO <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub>
	Protesi e implantologia ossea	Compatibilità biologica	Apatite
MECCANICO	Parti di turbine e motori	Resistenza a shock termici - Resistenza a scorrimento	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , TiB <sub>2</sub> , ZrB <sub>2</sub>
	Parti di strumenti di precisioni	Durezza	SiC, ZrO <sub>2</sub>
	Utensili	Resistenza meccanica	TiN, B <sub>4</sub> C, WC, TiC
	Abrasivi	Resistenza all'abrasione	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiC
	Lubrificanti solidi	Lubrificazione	C, BN
OTTICO	Lenti per alte temperature	Trasparenza	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO
	Fibre ottiche e rilevatori ottici	Trasmissione ottica	SiO <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub>
	Memorie ottiche, Filtri ottici	Polarizzazione	PLZT
	Diodi laser, diodi luminescenti, fosfori	Fluorescenza	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ThO <sub>2</sub> , ZnS, CdS

## **1.7 Fabbricazione dei laterizi<sup>4</sup>**

Il processo produttivo prevede le seguenti lavorazioni: stagionatura, prelaborazione, ulteriore stagionatura, raffinazione, foggatura, essiccamento, cottura, scelta e condizionamento, imballaggio (Emiliani G. et al, 2001 Vol. II).

A monte di queste operazioni c'è la fase di caratterizzazione delle materie prime che verranno utilizzate per l'impasto. Diviene indispensabile conoscerne le caratteristiche chimiche, mineralogiche e tecnologiche. Questa caratterizzazione permette da un lato di farne l'uso più appropriato, dall'altro di effettuare gli interventi più idonei (particolari trattamenti o aggiunte di altre materie) per ottenere una ceramica con i requisiti tecnici previsti.

### **1.7.1 Stagionatura**

La fase di stagionatura inizia con l'estrazione del materiale dalla cava, eseguita a cielo aperto. La prima operazione da fare è quella di eliminare lo strato più superficiale (cappellaccio) ricco di residui vegetali e sali solubili, servendosi di vari tipi di mezzi ed apparecchiature: draghe, escavatori a tazze, pale meccaniche.

Questo materiale, essendo un materiale derivante da sedimentazione, contiene frazioni argillose frammiste a frazioni sabbiose ed altre impurità.

In un secondo momento viene trasportato alle fabbriche dove verrà utilizzato, che provvederanno a posizionarli in grossi cumuli e lasciati all'aria aperta per 12-18 mesi.

In tale periodo gli agenti atmosferici quali pioggia, gelo e disgelo, producono prima lo sgretolamento delle zolle, poi lo stemperamento dei noduli e degli agglomerati delle particelle argillose. L'esposizione all'aria, favorendo la decomposizione delle sostanze organiche, accresce la presenza di humus, il quale, migliora il comportamento plastico dell'argilla. La stagionatura comporta infine una purificazione chimica, perché, grazie all'azione ossidante dell'aria alcuni composti vengono ossidati divenendo meno nocivi in fase di cottura. Fra quelli da eliminare vi sono i solfuri che se contenuti in minerali, come le pirite, essendo facilmente decomponibili al calore, liberano gas solforosi durante la cottura provocando gravi inconvenienti, quali la formazione di grosse bolle all'interno dei corpi ceramici in fase di greificazione, l'offuscamento della lucentezza dei rivestimenti e della vivezza dei colori, l'insorgenza di efflorescenze affioranti in forma di platine bianche saline sulla superficie dei cotti. Pertanto con la stagionatura si verifica l'asportazione dei sali di zolfo per effetto del dilavamento effettuato dalle acque piovane.

---

<sup>4</sup> Facincani E., Tecnologia ceramica. I laterizi, Gruppo Editoriale Faenza Editrice, 2001.

C'è da rilevare che non tutti i tipi di argilla reagiscono positivamente alla stagionatura. Le argille che presentano una granulometria molto fine possono essere dilavate dalle piogge con diminuzione della plasticità.

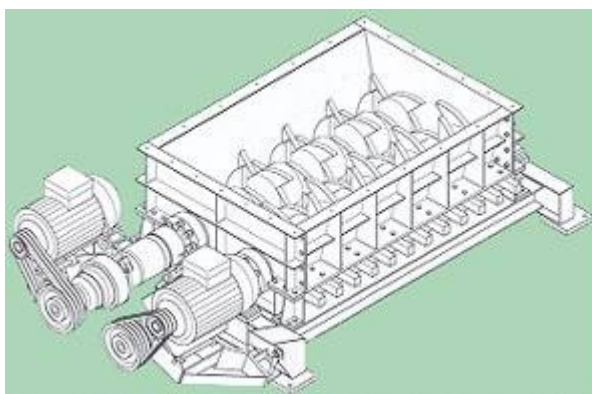
In questi casi si preferisce effettuare una stagionatura al coperto. In queste condizioni la durata ottimale di questo trattamento varia molto a seconda della natura e della quantità delle materie miscelate. Può, tuttavia, essere stabilita in base a prove di laboratorio valutando ad esempio la lavorabilità al trascorrere del tempo di stagionatura.

### **1.7.2 Preparazione impasti**

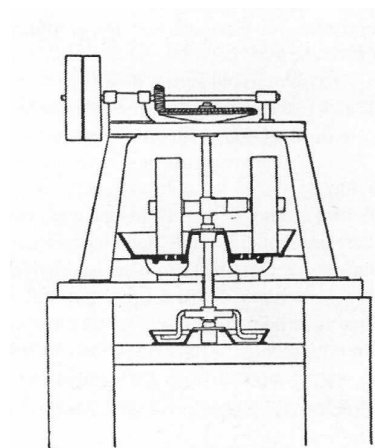
Il prelievo dell'argilla dal cumulo avviene con pala meccanica se esso ha composizione omogenea, con escavatore a tazze se si tratta di un cumulo in cui l'asportazione di materiale deve interessare vari strati. La preparazione dell'impasto si svolge con modalità diverse a seconda della granulometria dell'argilla, del tipo e della qualità di prodotto che si vuole ottenere. Per la maggior parte dei laterizi (mattoni pieni o semipieni, blocchi forati) la preparazione è eseguita solitamente allo stato plastico.

In genere si utilizza in frangizolle seguito da una molazza a pista forata (*figure 1.34-1.35*).

Il frangizolle effettua la frantumazione del materiale, inizialmente a forma di grandi ciottoli, attraverso l'azione di due o più corpi rotanti costituiti da materiali ad altissima resistenza e dotati di denti frantumatori, che girano in senso inverso attorno ad assi paralleli. Poiché questi materiali molto spesso contengono pietrisco, dopo i frangizolle vengono fatti passare attraverso una molazza a pista forata per eliminare la frazione ghiaiosa. Essa consiste in un disco forato con fori di diametro opportuno su cui ruotano una o più mole verticali che schiacciano l'argilla.



**Figura 1.34 - Frangizolle**



**Figura 1.35 – Schema di una molazza**

Il materiale prelaborato è avviato ad un silos di stagionatura a sviluppo longitudinale o a pianta circolare dove migliora notevolmente le caratteristiche

tecnologiche e subisce una ulteriore miscelazione garantendo l'alimentazione regolare e costante del reparto foggatura.

Il silo di stagionatura è strutturato in modo che mentre in una zona il materiale viene accumulato, in un'altra, trascorso il tempo previsto, si effettua l'estrazione mediante scavatori e si avvia il materiale su nastro trasportatore ad un cassone dosatore che alimenta un laminatoio raffinatoro (distanza rulli < 1 mm) (figure 1.36-1.37).

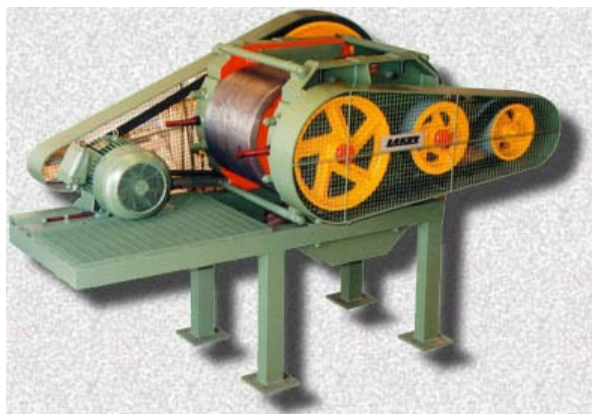


Figura 1.36- Laminatoio

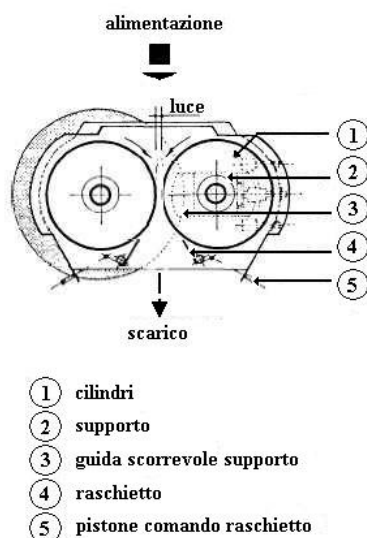


Figura 1.37 - Sezione di un laminatoio

Il laminatoio è costituito sostanzialmente da due cilindri lisci a rotazione contraria ed a giri di rotazione differenziati. Il trattamento si conclude con l'umidificazione (nell'impastatore-bagnatore figura 1.38). Esso è costituito da un contenitore orizzontale semicilindrico con due alberi, muniti di palette disposte ad elica, che ruotano in senso inverso, e da un tubo forato che trasporta acqua sottopressione, la quale viene polverizzata sul materiale aumentandone la lavorabilità.

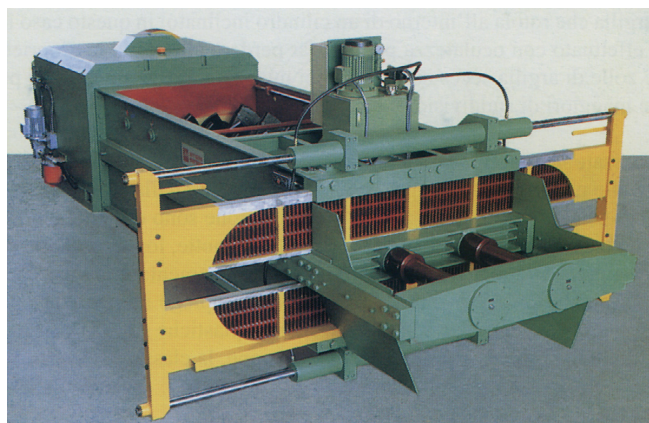


Figura 1.38- Mescolatore-bagnatore con filtro

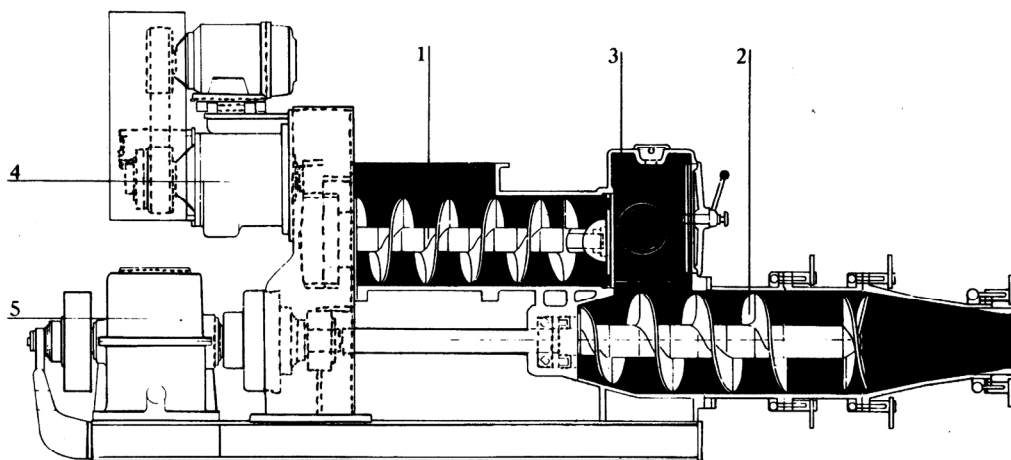
Tra i benefici apportati da questa tecnica si possono ricordare:

- migliore lavorabilità dell'impasto e quindi una più agevole estrusione
- predisposizione dei manufatti ad un essiccamento rapido perché l'evaporazione che si verifica dopo l'uscita dalla filiera rende la tessitura dell'impasto più permeabile

E' in questa fase di umidificazione e di impastamento che si provvede ad incorporare nella massa dell'impasto gli additivi per migliorare la lavorabilità, ad aggiungere sostanze combustibili, fondenti, plastificanti, inerti, materiali che aumentano la porosità e quindi il potere coibente del laterizio.

### 1.7.3 Foggiatura

Prima dell'avvento degli estrusori (c.a. 1870) e delle presse, i manufatti in terracotta per uso edile venivano foggiate manualmente, con l'impasto allo stato plastico, utilizzando stampi in legno; questa tecnica, ancora diffusa presso popolazioni a tecnologia poco sviluppata, si conserva, tuttora, per l'esecuzione di un numero limitato di pezzi con forme complesse per usi particolari. A volte dopo la bagnatura la miscela viene ulteriormente impastata e degasata in un impastatore. Il degasaggio serve ad eliminare l'aria all'interno dell'impasto rendendolo molto compatto. Ciò evita difetti successivi alla formatura quali fenomeni di eccessivo ritiro o formazione di crepe.



**Figura 1.39** - Impastatrice degasatrice: 1) camera di immissione argilla, 2) camera di compressione che spinge l'argilla verso la filiera, 3) camera a vuoto 4) pompa del vuoto 5) tramoggia

La foggatura dei laterizi a sezione costante avviene generalmente per estrusione. Consiste nel sospingere l'impasto allo stato plastico (contenuto d'acqua tra il 15-20 %) con un apposito propulsore contro un orifizio, denominato filiera, avente un'apertura di sezione e forma prestabilita. Anche i coppi sono ottenuti tagliando obliquamente in senso longitudinale un profilato semicilindrico estruso.

Nella realizzazione di blocchi forati, di tavelle, tavelloni e dei profilati di cotto, allo scopo di ottenere dimensioni costanti e forme regolari dei manufatti, si esegue il taglio del filone in due momenti. In un primo momento con un solo filo all'uscita della filiera in modo da ottenere un multiplo dell'elemento da foggiare, poi, con un sistema di fili, prima dell'avvio all'essiccatoio. Tale apparecchiatura consiste in un insieme di fili di acciaio tesi su una opportuna intelaiatura distanti tra loro quanto le lunghezze del manufatto.

Il taglio avviene trasversalmente al filone, ma si effettuano anche ulteriori tagli secondo particolari angolazioni per ottenere certe sagome.

Quando non si devono ottenere trafilati a sezione costante, si utilizza anche la pressatura allo stato plastico. Con tale procedimento, ad esempio, si producono le tegole piane.



*Figura 1.40 – Filiera per estrusione dei blocchi*

#### **1.7.4 Essiccamento**

L'essiccamento rappresenta una delle fasi più delicate dell'intero processo di fabbricazione dei laterizi a causa dell'alta percentuale di acqua da eliminare dai manufatti in uscita dall'estrusore. Senza un pre-essiccamento, infatti, la percentuale d'acqua varia dal 15 al 20 %. Nel caso venisse saltata questa fase per passare direttamente alla fase di cottura avverrebbe che la grande quantità di acqua evaporata provocherebbe deformazioni, rotture o addirittura esplosione dei pezzi.

Si capisce dunque la necessità di allontanare tale acqua nella maniera più omogenea ed economica possibile.

Il compito dell'essiccamento è di trasformare la fase liquida presente nei manufatti in vapore. Tale processo avviene ponendo i laterizi in camere calde e ventilate.

La vaporizzazione può essere schematizzata in quattro fasi:

- trasferimento del calore dall'aria al pezzo
- trasformazione dell'acqua da liquida a vapore
- trasporto di vapore dall'interno del pezzo verso la superficie
- allontanamento del vapore dalla superficie esterna del pezzo

Ognuna di queste fasi possiede una sua cinetica ma si deve ricordare che sono influenzate da diversi fattori come il potere essiccante dell'ambiente, umidità relativa e velocità dell'aria.

Tali fattori sono diversi in funzione del tipo di essiccatore utilizzato. I più diffusi tipi sono:

- a camera
- a tunnel
- rapidi

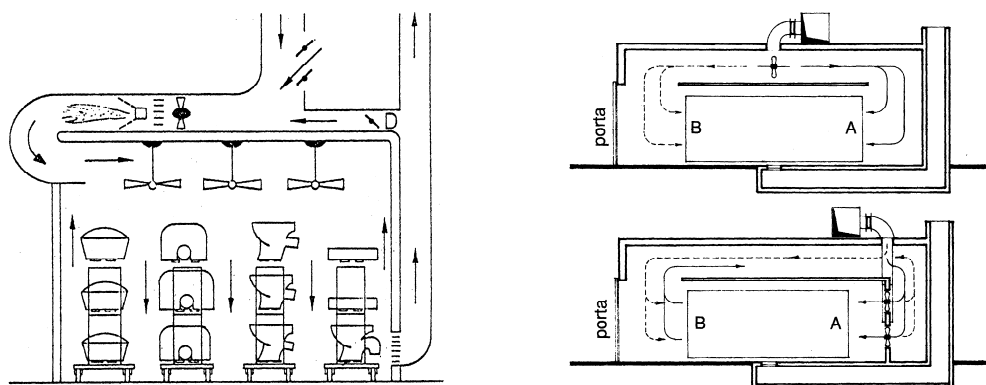
### ***Essiccatoi a camera***

Gli essiccatoi a camera sono discontinui in quanto il ciclo di lavorazione si ripete per ogni caricamento di materiale.

Utilizzano un flusso d'aria che si ricambia continuamente dato che viene immessa, calda e secca, da una parte della camera e fuoriesce, fredda e umida, dal pavimento. La posizione dell'apertura di scarico dell'aria ne asseconda il flusso in quanto, raffreddandosi e assorbendo umidità, l'aria si appesantisce e si indirizza per convezione verso il basso.

Gli oggetti sono posti su scaffali o sui carrelli da infornamento in modo da limitarne la manipolazione; la circolazione dell'aria può avvenire in senso longitudinale alla camera o dall'alto verso il basso.

Un limite di questi essiccatoi, oltre alla discontinuità della lavorazione, è che la circolazione dell'aria è poco omogenea ed i pezzi vicino all'ingresso si asciugano prima di quelli lontani. Per evitare tale inconveniente, nelle camere a circolazione longitudinale, il flusso dell'aria viene periodicamente invertito.



**Figura 1.41** – Schema di un essiccatore a camera



### ***Essiccatoi a tunnel***

Per impianti di grandi dimensioni si preferisce utilizzare gli essiccatoi a tunnel che sono a ciclo continuo e permettono l'essiccamento del prodotto. I pezzi da essiccare vengono collocati sui medesimi carrelli utilizzati per la cottura, assicurando un contatto più uniforme ed efficace tra l'aria, proveniente dalle zone di raffreddamento dei forni, e gli oggetti da essiccare.

Ogni pezzo è posizionato singolarmente in modo da esporre ai flussi d'aria circolanti nell'essiccatoio la più ampia superficie o le eventuali forature. L'aria calda viene insufflata nel tunnel in senso longitudinale o in senso trasversale al cammino del materiale. Nel primo caso essa procede in controcorrente ai manufatti e quindi incontra prima il materiale in uscita, già secco, e poi, caricandosi di umidità e raffreddandosi, incontra il materiale più umido. In questo modo il flusso d'aria calda e umida riscalda i pezzi appena entrati senza innescare una evaporazione troppo rapida.

Il tunnel risulta perciò diviso in zone, a diverse condizioni termo-igrometriche, a seconda dello stato di essiccamento del materiale (partendo dall'ingresso del materiale si incontrano: zona umida, zona semiumida, zona secca). Le disomogeneità tra differenti zone sono meglio ottenute convogliando l'aria trasversalmente (sanitari e laterizi) al cammino dei manufatti.

Soprattutto se si tratta di manufatti di grosse dimensioni, si procede dapprima con aria molto calda (80-90 °C) quasi satura di vapore, che rallenta l'evaporazione superficiale e favorisce la diffusione dell'acqua alla superficie, per poi diminuire gradatamente l'umidità dell'aria; in questo modo il tempo di essiccamento si riduce del 40% e si abbrevia la lunghezza del tunnel. La maggior parte dell'aria calda necessaria al processo è recuperata dall'impianto di raffreddamento del forno di cottura ed eventualmente integrata con apposito generatore.

I tempi di essiccazione vanno dalle 24 alle 48 ore. Ultimamente, diminuendo il contenuto di acqua di foggatura, aumentando la permeabilità delle masse mediante l'iniezione del vapore, utilizzando opportune formulazioni mineralogiche e granulometriche e sistemi di trasporto e ventilazione più efficaci, si sono ridotti i tempi di essiccamento a 15-20 ore.



*Figura 1.42 – Ingresso di un carro in un essiccatore a tunnel*

### ***Essiccatoi rapidi***

Gli essiccatoi rapidi (orizzontali o verticali) a flusso d'aria rispondono all'esigenza di alimentazione dei forni per cicli sempre più brevi. A seconda dei prodotti (piastrelle, sanitari, laterizi) i tempi di essiccamento vanno da 35 minuti a 4-5 ore.

Tale tipo di essiccamento richiede condizioni particolari per quanto concerne lo stato del materiale e le modalità operative.

Per quanto riguarda le condizioni del materiale, gli oggetti essiccati devono avere spessori molto sottili ed impasti preferibilmente magri e porosi (se l'impasto è plastico lo spessore non deve superare 6 mm, per spessori superiori ai 2 mm tale trattamento non è possibile neanche per impasti magri). La quantità di umidità presente nell'impasto deve essere in percentuale ridotta (per le piastrelle il 7 %) per questo si effettua, soprattutto per impasti con più del 50% di componenti plastici, un pre-essiccamento in camere di ventilazione la cui funzione è quella di uniformare l'umidità e di eliminare dal materiale, caricato sui carrelli, l'acqua che può essere allontanata a temperatura ambiente.

Dato che nei manufatti seccati a ciclo rapido diminuisce il carico di rottura (laterizi), è bene valutare l'opportunità di utilizzare l'essiccamento rapido eseguendo preliminarmente le seguenti analisi: distribuzione granulometrica, ritiro in funzione dell'umidità, indice di fessurazione, carico di rottura a flessione del secco.

Per quanto riguarda le modalità di essiccamento, affinché avvenga senza deformazioni, bisogna che il contatto tra l'aria ed il manufatto sia il più soddisfacente possibile in modo che l'evaporazione sia omogenea su tutta la superficie e che non si formino, tra i pezzi, correnti o zone d'aria disomogenee. Per questo motivo gli oggetti

vengono ben distanziati tra loro e posti su graticci o rulli dove il ritiro avviene liberamente senza attriti.

Il flusso d'aria va in controcorrente ai prodotti per cui, all'ingresso, il materiale incontra l'aria al suo massimo grado di umidità; la velocità del flusso e la portata d'aria devono essere tali da impedire il formarsi di pellicole di aria satura attorno ai pezzi.

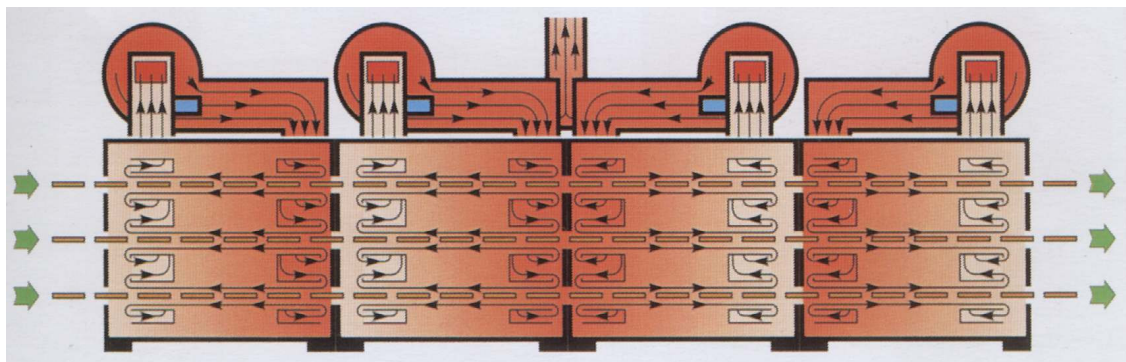


Figura 1.43 – Essiccatoio rapido orizzontale

### ***Essiccatoi a infrarossi e a microonde***

Ultimamente si è sviluppata la tecnica dei raggi infrarossi e delle microonde.

Il primo può essere utilizzato solo per spessori limitati come quelli delle stoviglie o piastrelle. Il funzionamento di un essiccatoio a raggi infrarossi è molto semplice. Vengono prodotte delle onde elettromagnetiche della lunghezza d'onda degli infrarossi che investono gli oggetti. L'acqua che è nelle mattonelle assorbe l'energia trasmessa dalle onde ed evapora. Contemporaneamente si crea un flusso di aria calda che investe il manufatto per favorire la fuoriuscita del vapore.

Un procedimento analogo è quello che sfrutta le microonde. In questo caso l'acqua evapora più rapidamente e l'intero processo risulta molto economico. L'unico problema è che le microonde possono essere nocive per gli stessi operatori che si trovano nei pressi dell'essiccatoio.

### ***1.7.5 Cottura***

La cottura è l'operazione fondamentale del processo tecnologico in quanto dà origine al materiale ceramico trasformando le materie prime dell'impasto in nuovi composti cristallini e vetrosi che conferiscono al cotto particolari proprietà: la insolubilità e la solidità che garantiscono il mantenimento della forma, la resistenza meccanica, la porosità. La cottura consiste nel riscaldamento del manufatto essiccato fino ad una fissata temperatura e per un tempo necessari a far avvenire quelle trasformazioni chimico-fisiche che portano l'impasto ad acquisire le proprietà richieste dal prodotto ceramico. Le principali trasformazioni chimico-fisiche sono la dilatazione, l'evaporazione, la solidificazione.

Durante la dilatazione il manufatto varia le sue dimensioni a causa del riscaldamento che provoca l'aumento delle vibrazioni nella struttura cristallina.

Quando la temperatura raggiunge determinati valori, specifici per ogni miscela utilizzata, si ottiene una fusione dei fondenti presenti. Si verifica così un rammollimento della struttura e una presenza sempre maggiore della fase liquida all'aumentare della temperatura.

Nel corso della cottura, inoltre, si assiste all'evaporazione dell'acqua ancora non eliminata dopo la fase di essiccamento. A temperature superiori ai 1000 °C oltre all'acqua evaporano anche alcuni composti come gli ossidi alcalini, gli ossidi di piombo e l'ossido di zinco.

Nella fase di raffreddamento, dopo la cottura dell'impasto, si ha la solidificazione del fuso che fornisce coesione e solidità alla massa dell'impasto e del rivestimento.

A seconda dei componenti che costituiscono il fuso e delle modalità di raffreddamento, tale consolidazione può portare alla formazione della fase vetrosa o di quella cristallina.

Nella maggior parte degli impasti ceramici le due fasi coesistono.

Ciò avviene perché, sebbene gli impasti abbiano le potenzialità di raggiungere uno stato cristallino, durante la fase di raffreddamento la temperatura scende troppo rapidamente, non permettendo al materiale il tempo di formare una struttura completamente cristallina.

I forni sono molto numerosi e con caratteristiche diverse ma possono essere classificati in due grandi categorie: i forni continui e i forni intermittenti.

### ***Forni intermittenti***

Hanno dimensioni abbastanza ridotte per cui si prestano a trattare limitate quantità di pezzi. Sono ancora presenti soprattutto nel settore artigianale per la loro mutabilità delle condizioni di cottura. La loro resa è molto minore rispetto a quelli industriali poiché il riuso del calore durante le varie fasi è completamente assente.

Possono essere a sviluppo orizzontale e verticale e con sorgenti di calore a combustione o elettriche. Nei forni a combustione le sorgenti di calore sono collocate sotto il piano di infornamento oppure lateralmente alla base del forno. In quelli elettrici il calore è fornito da resistori generalmente dislocati su tutte le pareti delimitanti la cella di cottura compreso lo sportello di chiusura.

Il riscaldamento può essere diretto o indiretto. Nel primo caso il calore che fuoriesce dalla resistenza o le fiamme generate dal combustibile lambiscono il materiale, nel secondo le fiamme riscaldano la parete esterna della camera di cottura che prende il nome di muffola.

Nei forni a combustione a sviluppo verticale si può fare un'ulteriore distinzione. Si parlerà, infatti, di forni a fiamma dritta quando le fiamme e i fumi sviluppati procedono

sempre nello stesso verso fino a confluire nel camino. E' evidente che questo tipo possiede l'inconveniente di avere un gradiente termico molto differente tra la zona di combustione ed il camino; i gas caldi risalendo riscalderanno molto di più gli oggetti in prossimità della volta, rispetto a quelli sottostanti. Si avrà, invece, un forno a fiamma rovesciata quando i gas caldi prodotti dai bruciatori alla base della camera, si dirigono, in maniera naturale, verso l'alto e poi, raggiunta la volta del forno, vengono richiamati verso il basso dall'aspirazione del camino il cui condotto si apre sulla suola. In questo caso la distribuzione del calore risulta più uniforme.

Negli ultimi tempi questi forni hanno raggiunto notevoli miglioramenti grazie all'introduzione, in uso nella media e grande produzione, della suola mobile.

Grazie ad essa i carrelli alla base del forno, rivestiti di materiale refrattario, vengono estratti in maniera più pratica, facilitando le operazioni esterne di carico e scarico con notevole riduzione dei tempi necessari a svolgere le varie operazioni.

### ***Forni continui***

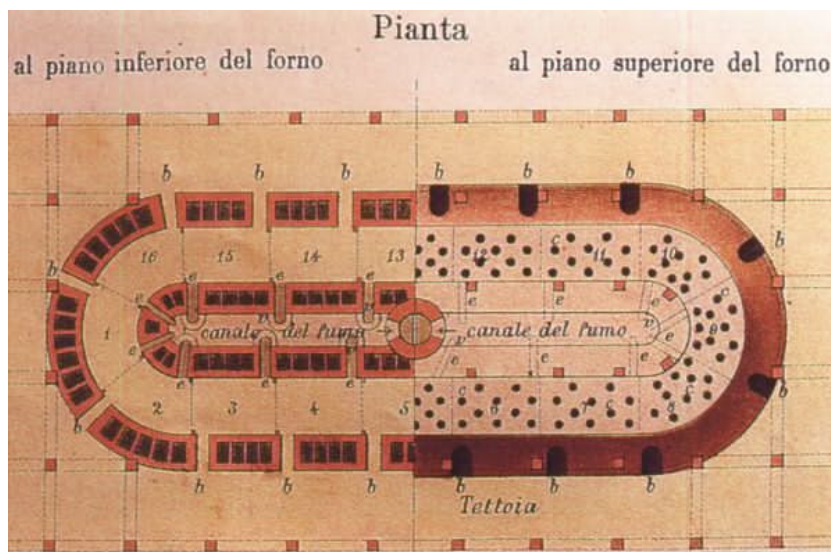
Sono utilizzati soprattutto a livello industriale in quanto si prestano molto meglio dei forni intermittenti alla automazione delle operazioni di infornatura e sfornatura dei manufatti con conseguente riduzione dell'incidenza della manodopera sui costi di produzione. I forni continui possono essere a fuoco fisso o a fuoco mobile.

### ***Forni continui a fuoco mobile***

Sono stati molto sfruttati in passato ma con i progressi della tecnologia sono passati quasi in disuso. Il più conosciuto tra essi è il forno Hoffmann.

Esso è costituito da una galleria, a forma di anello ellittico, suddivisa in camere. La combustione avviene alternativamente in ciascuna camera che è adibita a molteplici scopi nel corso della cottura. Inizialmente adibita al riscaldamento, alla cottura, poi, e al raffreddamento a fine cottura. Da questo tipo di funzionamento deriva il nome di "fuoco mobile". In questo tipo di forno è molto sfruttato il principio del recupero del calore.

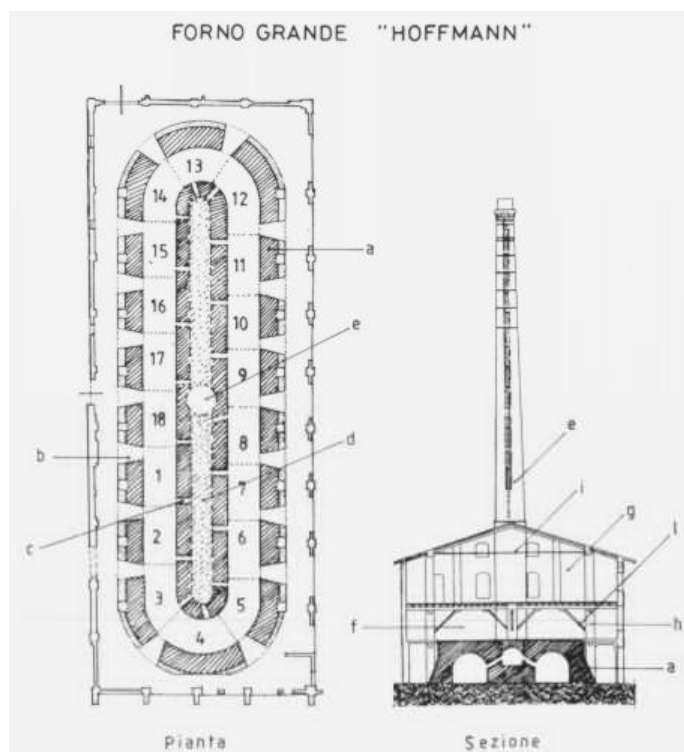
Nelle camere che hanno già terminato la cottura, infatti, viene insufflata aria che raffreddandola acquista calore. Tale aria calda viene poi inviata nella camera di cottura per alimentare e facilitare la combustione. Nello stesso istante i fumi ed i gas prodotti nella camera di combustione vengono convogliati e spediti in camere dove è posto il materiale da cuocere, preriscaldandolo.



**Figura 1.44** – Pianta di una fornace Hoffmann. I settori numerati indicano le celle di cottura comunicanti tra loro, delimitate da un muro esterno e da uno interno. Esse comunicano con un canale unico di scarico dei fumi. Nella pianta del piano superiore (a destra) sono evidenziate le bocchette per l'immissione del combustibile

Per tutta la durata del ciclo di cottura il materiale resta fermo, viene movimentato solo quello interessato alla sfornatura o al caricamento del forno.

Nelle fornaci Hoffmann il combustibile è lasciato cadere in mezzo al materiale da cuocere, da apposite bocchette situate nella volta della camera.



**Figura 1.45** - Sezione della fornace e del forno Hoffmann

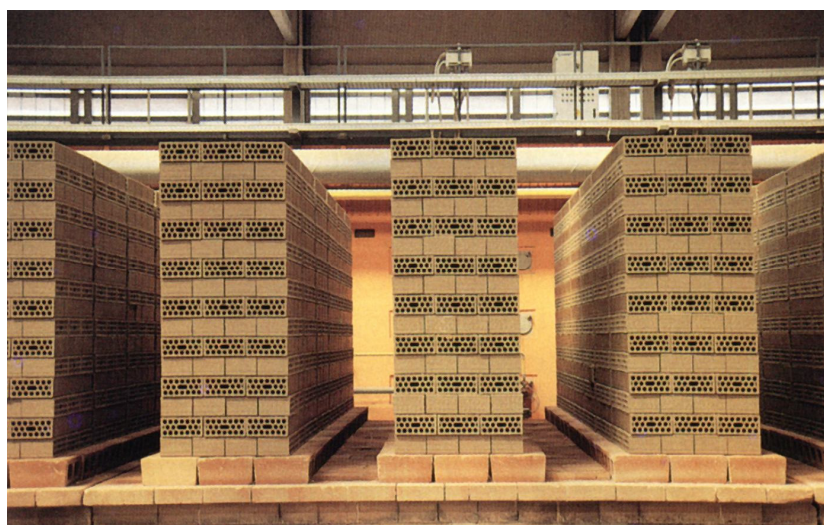
### ***Forni continui a fuoco fisso***

Hanno la forma di un lungo tunnel, nel quale i materiali da cuocere avanzano a velocità costante mediante un apposito sistema di trasporto e infornati secondo determinati criteri. A volte, prima di entrare nel tunnel, i manufatti possono essere inviati in un preformo che accoglie i materiali essiccato per evitare che riassorba umidità.

Il tunnel presenta varie zone a diverse temperature. Quella iniziale di preriscaldamento, quella di cottura, nella quale si raggiungono le temperature più elevate, e quella di raffreddamento. All'uscita del forno, in controcorrente al materiale, appositi ventilatori immettono nel lungo condotto aria che raffredda gli oggetti già cotti, riscaldandosi. Questa aria può essere riutilizzata per ossigenare la zona di cottura, per preriscaldare il materiale infornato o può essere inviata in un essiccatoio attiguo al forno.

Il preriscaldamento del materiale viene effettuato anche ad opera dei gas caldi prodotti dalla combustione. La bocca di aspirazione situata all'ingresso del tunnel, infatti, tira l'aria in controcorrente dalla camera di combustione.

Nella zona di cottura si trova la particolarità di questo forno. Sul carrello, infatti, i blocchi sono sistemati in pile distanziate l'una dall'altra della stessa misura. In tali spazi si inseriscono i bruciatori molto ravvicinati fra loro e disposti su più file che, con le loro fiamme, lambiscono i manufatti e li cuociono.



**Figura 1.46** - Carrello di un forno continuo. Negli spazi vuoti vengono inseriti i bruciatori che cuociono i manufatti

Il raffreddamento avviene in modo più rapido all'uscita della zona di cottura. In questa zona l'aria immessa è a temperatura ambiente e dopo essere entrata in contatto con i manufatti, viene depurata e immessa nell'atmosfera. La differenza di temperatura tra il materiale appena cotto e l'aria insufflata non è dannosa per gli oggetti ceramici, in quanto essi si trovano in uno stato di semipastosità che sopporta bene le tensioni adattandosi ad esse.

Questo tipo di forno può raggiungere temperature che variano in base a quale manufatto deve essere cotto. Per i manufatti che hanno un impasto calcareo come i mattini comuni, i blocchi da solaio, i tavelloni, la temperatura si colloca tra i 900 – 1000 °C, quanto basta per assicurare la decomposizione dei carbonati e la trasformazione in silicati e silicoalluminati stabili che determinano la solidità del manufatto. Per i coppi, le tegole, le piastrelle di cotte per esterni e per i manufatti con impasto povero di calcare o che devono risultare ingelivi, la temperatura si assesta tra i 1000 – 1100 °C, alla quale si ha una certa greificazione della massa che consente ai manufatti di resistere agli agenti atmosferici.

### **1.7.6 Scelta, condizionamento e imballaggio**

A cottura ultimata i manufatti vengono scaricati dai carrelli o rulli vengono eliminati i campioni rotti o fortemente deformati ed in seguito si effettua una selezione per eliminare quei manufatti che presentano difetti di fabbricazione. La valutazione viene effettuata in modo statistico controllando periodicamente dei campioni.

Il condizionamento consiste nel predisporre per alcuni tipi di manufatti alcuni trattamenti per migliorare le loro caratteristiche. Ad esempio i laterizi, soprattutto quelli composti da impasti calcarei, vengono condizionati inserendoli in acqua per spegnere la calce ed evitare il fenomeno del calcinello. Per altri manufatti può essere effettuata la levigatura della superficie, la molatura degli spigoli, oppure l'impregnazione del manufatto con cera per evitare la formazione di macchie dopo la posa.

Come ultima operazione i manufatti vengono confezionati in pacchi e vengono immessi nel mercato.

## **1.8 La normativa dei laterizi**

La qualità della produzione si può definire come possibilità di rispondenza ai requisiti espressi dalle norme di accettazione e come garanzia di mantenimento di tali requisiti nel tempo (*Facincani E., 2001*).

I laterizi, come tutti i materiali ceramici, una volta terminato il processo seguono un iter di controlli per stabilire se sono idonei a rispettare le funzionalità e i parametri per i quali sono stati creati. Per poter tutelare sia i produttori che i consumatori sulla qualità del prodotto, si è avvertita l'esigenza di creare delle norme di riferimento, accessibili a tutti, alle quali tutti i materiali da costruzione, ma più in generale tutti i manufatti utilizzati in edilizia, devono attenersi. Si è partiti dalle norme italiane (UNI) per arrivare a quelle di carattere Europeo (Norme UNI EN) e mondiale (Norme UNI ISO).

I requisiti commerciali del laterizio si possono catalogare come segue:

### *1. Aspetto*

Sotto tale voce generica compaiono severe limitazioni per:

- numero e tipo delle fessurazioni (superficiali, profonde, capillari);



- numero, dimensioni e posizioni delle scagliature degli spigoli e delle faccie di taglio dei pezzi;
- entità per unità di superficie e dimensioni delle scoppiature dovute ai granuli di ossido di calcio, originati da calcare (calcinelli);
- contenuto di sostanze che, emesse come sali solubili, provocano macchie superficiali indesiderate (efflorescenze).

## *2. Resistenza meccanica*

Essa viene definita da valori di limite minimo di sollecitazione a rottura per compressione e per flessione di interi pezzi di laterizio o di parti. Non sono difficili da riscontrare in pratica gamme di valori di rottura a compressione comprese tra 400÷600 Kg/cm<sup>2</sup> su sezioni piene, che superano di gran lunga i valori di sollecitazioni assunti a sicurezza nelle murature.

Per la resistenza meccanica si devono raccogliere parecchi valori, che difficilmente risultano uguali, in modo da determinarne un valore medio. La riduzione del campo di variabilità (dispersione) dei valori di resistenza si ottiene con una buona omogeneizzazione della materia prima.

## *3. Tolleranze dimensionali*

La precisione assoluta nelle dimensioni dei pezzi di laterizio è impossibile. Vengono fissate tuttavia delle tolleranze sulle dimensioni lineari dei vari prodotti, al fine di consentirne un adeguato accoppiamento in opera. In questa voce vengono considerate anche le tolleranze di planarietà delle faccie, in particolare per tegole e tavelloni.

## *4. Comportamento sotto l'azione degli agenti atmosferici*

Si richiamano in questa voce due caratteristiche particolari: non gelività ed impermeabilità. La prima è individuata come resistenza al gelo (mantenimento di integrità e di resistenza meccanica dopo ripetuti cicli di gelo e disgelo, sotto condizioni ben precise di temperature e tempo di permanenza). La seconda definisce i limiti del passaggio di acqua dalla faccia superiore a quella inferiore in un pezzo, in condizioni ben definite di tempo e di spessore del battente.

## *5. Porosità e peso specifico*

La porosità è una delle più importanti doti del laterizio, come mezzo di riequilibrio delle punte di umidità all'interno degli ambienti. Per rispondere ai requisiti di accettazione vi sono limiti minimi e massimi fissati per la porosità, in relazione sia all'assorbimento d'acqua, sia al migliore connubio laterizio-malta. La porosità è inoltre un elemento importante per la determinazione del peso specifico del prodotto.

In Italia è l'UNI che pubblica disposizioni e tabelle che contengono i requisiti ai quali attenersi.

La necessità di giungere ad una regolamentazione che avesse un carattere più ampio possibile ed un riconoscimento internazionale, ha fatto sì che il CEN (Comitato Europeo di

Normalizzazione), al quale aderisce la maggioranza dei paesi europei elaborasse una serie di normative. L'Italia si è uniformata a tali normative pubblicando le norme UNI EN. Tale nome deriva dall'ente italiano che emette le norme (Ente Nazionale Italiano di Unificazione). Per alcuni prodotti esistono delle norme UNI valide anche nel mondo (Norme UNI ISO). Nonostante l'impegno profuso risulta molto dispendioso cercare di conciliare le esigenze di nazioni così diverse.

E' da sottolineare il fatto che queste leggi non sono inderogabili. Tali disposizioni rappresentano gli standard ai quali i manufatti dovrebbero tendere. Per i materiali da costruzione le norme sono delle regole tecniche che, per ogni materiale o prodotto, stabiliscono la classificazione, la specifica tecnica, la qualità e le prestazioni. Le normative riguardano, principalmente, i prodotti e le tecniche di messa in opera, ma sono utili anche come termine di confronto nel caso di contestazioni tra venditore e acquirente.

Si distinguono quelle cogenti (leggi dello stato, delle Regioni, Decreti Ministeriali) che fissano dei limiti che vanno rispettati per legge, dalle certificazioni dichiarate volontariamente dal produttore sotto la sua responsabilità ed effettuate sulla base dei criteri fissati dalle norme UNI (italiane) o UNI EN (europee); tali certificazioni sono obbligatorie solo se previste esplicitamente nei contratti.

Alcuni esempi di norme cogenti riguardanti i laterizi sono il D.M.24.1.86 e il D.M.20.11.87, concernenti le norme tecniche relative alle murature portanti in zone sismiche e non sismiche: vengono fissate la percentuale di foratura degli elementi strutturali, l'area del singolo foro, l'area del foro di presa, la distanza tra il perimetro esterno ed un foro, la resistenza media a compressione nel senso dei carichi verticali ed ortogonalmente ad essi.

Il D.M.24.1.86 fissa i limiti di accettazione per gli elementi in laterizio per solai nell'esecuzione di opere in calcestruzzo normale e precompresso e per le strutture metalliche: viene fissato lo spessore dei setti interni, quello delle pareti perimetrali o delle pareti orizzontali compresse, il raggio di curvatura dei raccordi, l'altezza della soletta rinforzata, la percentuale di foratura, la resistenza a compressione nel senso della foratura ed ortogonalmente ad essa, la resistenza a trazione per flessione, il modulo elastico, la resistenza a punzonamento, il coefficiente di dilatazione per umidità, il coefficiente di dilatazione termica.

Le norme UNI o UNI EN definiscono le caratteristiche fisiche che le diverse tipologie di prodotto devono possedere ed i limiti di accettazione, inoltre fissano i metodi di realizzazione delle prove per la loro valutazione in laboratori autorizzati (qualificazione e certificazione) e in stabilimento (autocontrollo).

Per i laterizi tali norme vengono suddivise in norme per:

- **coperture discontinue** (Codice ICS: 91.060.20-60)
- **murature** (Codice ICS: 91.100.20-30)
- **tavelle e tavelloni** (Codice ICS: 91.100.20-30)

### ***Coperture Discontinue***

**UNI 8625/1 FA 1-93** - 31/01/1993 - Edilizia. Prove di coperture discontinue. Determinazione della permeabilità all'acqua.

Descrive due metodi per la determinazione della permeabilità all'acqua dell'elemento di tenuta per coperture discontinue posto come nelle condizioni reali di utilizzazione e realizzato con prodotti di piccole dimensioni (tegole e assimilati). Provetta, condizionamento, apparecchiatura, procedimento, resoconto di prova.

Appendice: esempio di apparecchi e strumenti per la verifica della permeabilità all'acqua di coperture discontinue. Soppressione della striscia azzurra sperimentale.

**UNI 8626 - 30/11/1984** - Edilizia. Prodotti per coperture discontinue. Caratteristiche, piani di campionamento e limiti di accettazione.

Si applica ai prodotti che vengono impiegati nella realizzazione dell'elemento di tenuta delle coperture discontinue. Termini e definizioni, elenco delle caratteristiche e loro significatività, piani di campionamento, limiti di accettazione. Appendice a: difetti visibili delle tegole di laterizio. Limiti di accettazione. Appendice b: difetti visibili delle tegole di cemento. Limiti di accettazione. Appendice c: difetti visibili delle lastre o rotoli di poliestere armato con fibre di vetro. Limiti di accettazione. Appendice d: difetti visibili delle lastre metalliche protette. Limiti di accettazione. Appendice e: difetti visibili delle tegole bituminose. Appendice f: resistenza a flessione delle lastre di ardesia. Limiti di accettazione.

**UNI 8635-1 - 31/07/1984** - Edilizia. Prove di prodotti per coperture discontinue. Esame dell'aspetto e della confezione. Descrive il procedimento e le caratteristiche da considerare per classificare l'aspetto dei prodotti costituenti l'elemento di tenuta per coperture discontinue. Il principio del metodo si basa sull'osservazione visiva, sulla successiva descrizione dell'aspetto generale del prodotto e della confezione e sulla verifica dell'assenza di difetti. Provini (vedere UNI 8626), condizionamento, apparecchiatura, procedimento, resoconto di prova..

**UNI 8635-10 31/07/1984** Edilizia. Prove di prodotti per coperture discontinue. Determinazione dell'impermeabilità all'acqua. Descrive un metodo di prova per determinare l'impermeabilità all'acqua dei prodotti costituenti l'elemento di tenuta per coperture discontinue. Il principio del metodo si basa sull'osservazione dell'assenza di caduta di gocce d'acqua dall'intradosso del prodotto dopo aver sottoposto il suo estradosso ad un battente d'acqua e per un periodo di tempo determinati. Provini (vedere UNI 8626), condizionamento, apparecchiatura, procedimento, resoconto di prova. Appendice: modalità particolari (tegole di cemento, lastre di fibrocemento, lastre di pietra).

**UNI 8635-11 - 05/07/1984** - Edilizia. Prove di prodotti per coperture discontinue. Determinazione della gelività con cicli alterni.

Descrive un metodo di prova per determinare il comportamento al gelo (gelività) dei prodotti costituenti l'elemento di tenuta per coperture discontinue. Il principio del metodo si basa sull'esame dell'aspetto e/o sul controllo della resistenza a flessione o dell'impermeabilità o permeabilità all'acqua del prodotto dopo che questo è stato sottoposto a cicli alternati di gelo e disgelo. Provini (vedere UNI 8626), condizionamento, apparecchiatura, procedimento, resoconto di prova. Appendice: modalità particolari (tegole e coppi di laterizio, tegole di cemento, lastre di fibrocemento, lastre di pietra, lastre metalliche (protette o no)).

**UNI 8635-12 - 31/07/1984** - Edilizia. Prove di prodotti per coperture discontinue. Determinazione della gelività con porosimetro.

Descrive un metodo di prova per determinare il comportamento al gelo (gelività) dei prodotti costituenti l'elemento di tenuta per coperture discontinue caratterizzati da una struttura a porosità aperta. Il principio del metodo si basa sulla determinazione della distribuzione percentuale del diametro dei pori aperti all'interno del prodotto e conseguentemente del diametro critico definito come il maggiore dei diametri che cumulativamente costituiscono il 90 % della porosità aperta determinata con la prova (vedere UNI 8626; UNI 8635 parte 11). Provini, condizionamento, apparecchiatura, procedimento, resoconto di prova.

**UNI 8635-13 - 31/07/1984** - Edilizia. Prove di prodotti per coperture discontinue. Determinazione del carico di rottura a flessione.

Descrive un metodo di prova per determinare il carico di rottura a flessione dei prodotti costituenti l'elemento di tenuta per coperture discontinue. Il principio del metodo si basa sulla misura del carico che provoca la rottura del prodotto appoggiato ai suoi estremi su due supporti lineari paralleli e caricato sulla mezzera mediante apposito dispositivo. Provini (vedere UNI 8626), condizionamento, apparecchiatura, procedimento, resoconto di prova. Appendice: modalità particolari (tegole e coppi di laterizio, tegole di cemento, lastre di poliestere rinforzato con fibre di vetro, lastre metalliche (protette o no), lastre di fibrocemento, lastre di pietra).

**UNI 8635-14 - 31/10/1986** - Edilizia. Prove dei prodotti per coperture discontinue. Determinazione della resistenza meccanica del dispositivo di ancoraggio. Descrive un metodo di prova per la determinazione della resistenza meccanica del dispositivo di ancoraggio dei prodotti costituenti l'elemento di tenuta per coperture discontinue. Il principio del metodo si basa sulla determinazione del carico di rottura del dispositivo di

ancoraggio del prodotto considerato, mediante l'applicazione al dispositivo stesso di carichi gradualmente crescenti. Provini, condizionamento, apparecchiatura, procedimento, resoconto di prova. Appendice: modalità particolari: tegole di laterizio con nasello (marsigliesi); lastre di poliestere rinforzato con fibre di vetro (vedere UNI 6775).

**UNI 8635-15 - 31/10/1986** - Edilizia. Prove per prodotti di coperture discontinue. Determinazione del numero per unità di area e della massa areica. Descrive i metodi di prova per la determinazione del numero per unità di superficie e della massa areica dei prodotti costituenti l'elemento di tenuta. Principio (determinazione del numero di prodotti per unità di superficie): quantificazione del numero intero di prodotti costituenti l'elemento di tenuta, posti come nelle reali condizioni di posa in opera e formanti una superficie di copertura rettangolare o il più possibile geometricamente regolare e successivamente riferirli all' unità di superficie (m<sup>2</sup>).

**UNI 8635-16 - 31/10/1986** - Edilizia. Prove dei prodotti per coperture discontinue. Determinazioni delle inclusioni calcaree nei prodotti di laterizio. Descrive il metodo di prova per la determinazione delle inclusioni calcaree (calcinelli) nei prodotti di laterizio costituenti l'elemento di tenuta per coperture discontinue. Principio: rilevazione del diametro medio dei crateri eventualmente formatisi sull'estradosso del prodotto a seguito di un determinato trattamento. Provini, apparecchiatura, procedimento, resoconto di prova ed espressione dei risultati.

**UNI 8635-2 - 31/07/1984** - Edilizia. Prove di prodotti per coperture discontinue. Determinazione della lunghezza. Descrive un metodo di prova per determinare la lunghezza dei prodotti costituenti l'elemento di tenuta per coperture discontinue. Il principio del metodo si basa sulla misura della lunghezza del prodotto con idonei strumenti. Provini (vedere UNI 8626), condizionamento, apparecchiatura, procedimento, espressione dei risultati, resoconto di prova. Appendice: modalità particolari (tegole e coppe di laterizio, tegole di cemento, lastre e rotoli di poliestere rinforzata con fibre di vetro, lastre di fibrocemento, lastre di pietra, lastre metalliche (protette o no), tegole bituminose).

**UNI 8635-3 - 31/07/1984** - Edilizia. Prove di prodotti per coperture discontinue. Determinazione della larghezza. Descrive un metodo di prova per determinare la larghezza dei prodotti costituenti l'elemento di tenuta per coperture discontinue. Il principio del metodo si basa sulla misura della larghezza del prodotto con idonei strumenti. Provini (vedere UNI 8626), condizionamento, apparecchiatura procedimento, espressione dei risultati, resoconto di prova. Appendice: modalità particolari (tegole e coppi di laterizio, tegole di cemento, lastre

e rotoli di poliestere rinforzato con fibre di vetro, lastre di fibrocemento, lastre metalliche (protette o no), tegole bituminose).

**UNI 8635-4 - 31/07/1984** - Edilizia. Prove di prodotti per coperture discontinue. Determinazione dello spessore.

Descrive un metodo di prova per determinare lo spessore dei prodotti costituenti l'elemento di tenuta per coperture discontinue. Il principio del metodo si basa sulla misura della distanza fra le due facce del prodotto con idonei strumenti. Provini (vedere UNI 8626), condizionamento, apparecchiatura, procedimento, espressione dei risultati, resoconto di prova. Appendice: modalità particolari (lastre di fibrocemento, lastre e rotoli di poliestere rinforzato con fibre di vetro, lastre di pietra, lastre metalliche (protette o no)).

**UNI 8635-5 - 31/07/1984** - Edilizia. Prove di prodotti per coperture discontinue. Determinazione della planarità.

Descrive un metodo per determinare la planarità dei prodotti costituenti l'elemento di tenuta per coperture discontinue. Il principio del metodo si basa sulla misura degli scostamenti verticali dei punti di appoggio del prodotto rispetto al piano teorico di posa, rilevati con idonei strumenti. Provini (vedere UNI 8626), condizionamento, apparecchiatura, procedimento, espressione dei risultati, resoconto di prova. Appendice: modalità particolari (tegole di laterizio (esclusi coppi), tegole di cemento, lastre di pietra).

**UNI 8635-6 - 31/07/1984** - Edilizia. Prove di prodotti per coperture discontinue. Determinazione dell'ortometria e della rettilineità dei bordi.

Descrive un metodo di prova per determinare l'ortometria e la rettilineità dei bordi dei prodotti costituenti l'elemento di tenuta per coperture discontinue. Il principio del metodo si basa sulla misura dello scostamento orizzontale dei bordi del prodotto rispetto alla sua forma teorica, rilevato con idonei strumenti. Provini (vedere UNI 8626), condizionamento, apparecchiatura, procedimento, espressione dei risultati e resoconto di prova. Appendice: modalità particolari (tegole di laterizio (esclusi i coppi), lastre piane di fibrocemento, lastre di pietra; tegole di cemento, lastre e rotoli di poliestere rinforzato con fibre di vetro; lastre metalliche (protette o no); lastre ondulate e nervate di fibrocemento, tegole bituminose).

**UNI 8635-7 - 31/07/1984** - Edilizia. Prove di prodotti per coperture discontinue. Determinazione del profilo.

Descrive un metodo di prova per determinare il profilo dei prodotti costituenti l'elemento di tenuta per coperture discontinue. Il principio del metodo si basa sulla misura, mediante idonei strumenti, del passo e della profondità delle onde o delle nervature dei prodotti. Provini (vedere UNI 8626), condizionamento, apparecchiatura, procedimento, resoconto di

prova. Appendice: modalità particolari (lastre e rotoli di poliestere rinforzato con fibre di vetro); lastre metalliche (protette o no); lastre di fibrocemento).

**UNI 8635 8 31/07/1984** - Edilizia Prove di prodotti per coperture discontinue. Determinazione della massa convenzionale.

Descrive un metodo di prova per determinare la massa convenzionale dei prodotti costituenti l'elemento di tenuta per coperture discontinue. Il principio del metodo si basa sulla misura della massa convenzionale del prodotto con idonei strumenti. Provini (vedere UNI 8626), condizionamento, apparecchiatura, procedimento, resoconto di prova. Appendice: modalità particolari (tegole e coppi di laterizio, tegole di cemento, lastre di pietra, lastre e rotoli di poliestere rinforzato con fibre di vetro, lastre metalliche (protette e no), tegole bituminose).

**UNI 8635-9 - 31/07/1984** - Edilizia. Prove di prodotti per coperture discontinue. Determinazione della permeabilità all'acqua.

Descrive un metodo di prova per determinare la permeabilità all'acqua dei prodotti costituenti l'elemento di tenuta per coperture discontinue. Il principio del metodo si basa sulla misura della quantità di acqua che attraversa il prodotto totalmente immerso sotto un battente idrostatico per un tempo determinato. Provini (vedere UNI 8626), condizionamento, espressione dei risultati, resoconto di prova. Appendice: modalità particolari (tegole e coppi di laterizio).

**UNI EN 1024 - 30/11/1998** - Tegole di laterizio per coperture discontinue . Determinazione delle caratteristiche geometriche (Codice ICS: 91.100.20)

La presente norma e' la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 1024 (edizione marzo 1997). La norma specifica i metodi per determinare le caratteristiche geometriche delle tegole di laterizio.

**UNI EN 538 - 31/05/1997** - Tegole di laterizio per coperture discontinue. Prova di resistenza alla flessione.

Versione italiana della norma europea EN 538 (edizione maggio 1994). Descrive un metodo di prova utilizzato per valutare la resistenza alla flessione delle tegole di laterizio per coperture discontinue.

**UNI EN 539-1 - 31/05/1997** - Tegole di laterizio per coperture discontinue. Determinazione delle caratteristiche fisiche - Prova di impermeabilità.

Versione italiana della norma europea EN 539-1 (edizione maggio 1994). Descrive due metodi di prova per determinare l'impermeabilità all'acqua delle tegole di laterizio.

### ***Murature***

**UNI 8942-1 - 30/11/1986** - Prodotti di laterizio per murature. Terminologia e sistema di classificazione.

Definisce i prodotti di laterizio, per murature (portanti e non) e quelli per rivestimento. Indica inoltre le caratteristiche da utilizzare per la loro classificazione in base alla morfologia, tecnologia di produzione e posa.

**UNI 8942-2 - 30/11/1986** - Prodotti di laterizio per murature. Limiti di accettazione. Indica le caratteristiche ed i relativi limiti di accettazione dei prodotti di laterizio per murature portanti e non portanti e per rivestimento. La definizione dei limiti è correlata ai piani di campionamento previsti sia per il caso di controllo della fornitura alla consegna, sia per il caso di controlli effettuati durante la fase di produzione. Appendice a: modalità per i controlli effettuati dal produttore. Appendice b: limiti di accettazione dei difetti visibili. Appendice c: modalità d'uso delle carte di controllo.

**UNI 8942-3 - 30/11/1986** - Prodotti di laterizio per murature. Metodi di prova.

Fornisce una serie di metodi di prova allo scopo di unificare le modalità operative per determinare le caratteristiche dei prodotti di laterizio per murature (portanti e non) e per gli elementi di rivestimento.

### ***Tavelle e Tavelloni***

**UNI 2105 - 30/11/1942** - Tavelle. Tipi e dimensioni.

La norma non riguarda le tavelle per solai misti con conglomerato cementizio armato. Esempio e tabelle con designazioni. Tolleranze. Le tavelle sono materiali laterizi composte di argilla, con eventuale aggiunta di adatti elementi correttivi (sabbia, ossido di ferro, ecc) essiccati e cotti in fornace. Nella loro massa presentano fori longitudinali rettangolari a spigoli leggermente arrotondati. Le facce devono essere rigate per assicurare l'aderenza delle malte; gli spigoli longitudinali devono essere leggermente arrotondati. Dimensioni. Frece di incurvamento.

**UNI 2106 - 30/11/1942** - Tavelloni. Tipi e dimensioni.

Esempio e tabella con designazione. Tolleranze. La norma non riguarda i tavelloni per solai misti con conglomerato cementizio armato. I tavelloni sono materiali laterizi composti di argilla, con eventuale aggiunta di adatti elementi correttivi (sabbia, ossido di ferro, ecc.), essiccati e cotti in fornace. Presentano, nella loro massa, fori longitudinali rettangolari a spigoli leggermente arrotondati. Le facce devono essere rigate per assicurare l'aderenza delle malte; gli spigoli longitudinali devono essere leggermente arrotondati.



**UNI 2107 - 30/11/1942** - Tavelle e tavelloni. Requisiti e prove.

Caratteristiche generali. Resistenza alla flessione. La norma si riferisce alle tavelle UNI 2105 e ai tavelloni UNI 2106. Carico totale medio di rottura a flessione. Comportamento al gelo. Potere di imbibizione. Quantità di acqua assorbita. Contenuto in solfati alcalini. Le modalità di prova devono essere in accordo con le vigenti norme di legge per l'accettazione dei materiali laterizi.

## Capitolo 2

### *La gestione dei rifiuti: quadro legislativo europeo e nazionale*

*Il diritto ambientale si pone oggi specifiche finalità legate alla protezione e salvaguardia della qualità della vita, alla gestione razionale delle risorse e alla messa in atto di strategie di prevenzione, dedicando una particolare attenzione al comparto dei rifiuti.*

*La normativa sui rifiuti ha subito notevoli cambiamenti e importanti modifiche di regolamentazione rispetto alla originaria formulazione, grazie anche alle continue evoluzioni avute in campo comunitario.*

*Uno dei più gravi problemi relativi i rifiuti industriali e urbani riguarda il loro impatto con la sicurezza umana e con l'ambiente.*

*La crescente produzione di rifiuti, il loro stoccaggio nell'ambiente e il risparmio delle risorse naturali sono infatti importanti problemi che potrebbero essere risolti, almeno parzialmente, con il riciclaggio.*

*La possibilità di riciclare materiali di scarto risulta vantaggiosa sotto diversi punti di vista.*

*Questo capitolo introduce la normativa vigente in materia di rifiuti, classificandoli e menzionando i principali metodi di smaltimento. L'attenzione è, comunque, focalizzata sulla possibilità di utilizzare scarti, provenienti dalle attività industriali ma anche dalla raccolta differenziata, in impasti ceramici.*

---

#### **2.1 Introduzione** (Amendola G., 1998)

L'aumento dei rifiuti, così come una miriade di altri fenomeni, sono il rovescio di quella medaglia chiamata "progresso", che si traduce concretamente in energia elettrica, in riscaldamento domestico, in prodotti preconfezionati, ecc.

Le problematiche riguardanti la produzione di rifiuti hanno raggiunto, negli ultimi decenni, proporzioni sempre maggiori dovute al miglioramento delle condizioni economiche, al veloce progredire dello sviluppo industriale, all'incremento della popolazione e delle aree urbane. La produzione di rifiuti, infatti, è a poco a poco aumentata in conseguenza del progresso economico e dell'aumento dei consumi. Si stima che la quantità totale di rifiuti generata ogni anno in Europa è pari a circa 1,3 miliardi di tonnellate. La produzione di rifiuti pericolosi si attesta a circa 27 milioni di tonnellate, mentre i rifiuti urbani sono il 14% del totale dei rifiuti prodotti, circa 200 milioni di tonnellate.

L'evidente problema della gestione dei rifiuti è diventato sempre più di rilevanza nazionale. La smodata crescita dei consumi e dell'urbanizzazione hanno, da un lato, aumentato moltissimo la produzione dei rifiuti e, dall'altro, ridotto le zone disabitate in cui trattare o depositare i rifiuti. La società moderna, oggi, si trova costretta a gestire una grande quantità di rifiuti in spazi sempre più limitati. L'uso delle discariche, pur avendo in

sé costi bassi, comporta uno spreco di materiale che sarebbe almeno in parte riciclabile nonché l'uso di vaste aree di territorio e non configura la soluzione ottimale; inoltre crea grandi concentrazioni di rifiuti con possibili conseguenze sull'ambiente. Gli inceneritori, invece, basano il loro funzionamento sull'incenerimento dei rifiuti: gli impianti più recenti sfruttano la combustione così ottenuta recuperando un minimo di energia elettrica e calore ma possono provocare emissioni tossico-nocive (in particolare di polveri sottili e di diossine).

## **2.2 Normativa europea**

La Commissione Europea si è più volte pronunciata con leggi e proposte di direttive a salvaguardia del patrimonio ambientale, considerando estremamente importanti le problematiche inerenti l'ecologia e la natura. La disciplina in materia di rifiuti è volta a rafforzare le responsabilità dei produttori e ad attuare una gerarchia basata innanzitutto sulla prevenzione dei rifiuti, poi sul recupero di materia ed energia e infine, sullo smaltimento sicuro per quelle tipologie di prodotti che non presentano altre possibilità di trattamento.

Un lungo lavoro di consultazione è stato avviato, ed è tuttora in atto, per definire una strategia di prevenzione e riciclo di rifiuti. La Decisione del Parlamento europeo e del Consiglio stabilisce i principali obiettivi che l'Unione europea si propone di perseguire per un periodo di dieci anni a decorrere dal 22 luglio 2002. Gli obiettivi corrispondono alle principali priorità ambientali che la Comunità deve e dovrà affrontare nei settori dei cambiamenti climatici, della natura e biodiversità, dell'ambiente e salute e qualità della vita e, infine, delle risorse naturali e rifiuti. I principi su cui si fonda il programma sono i seguenti:

- Principio “chi inquina paga”
- Principio di precauzione
- Principio dell'azione preventiva
- Principio di riduzione dell'inquinamento alla fonte.

Assume un ruolo strategico il ricorso ad una Politica Integrata di Prodotti (IPP), che integri le considerazioni ambientali in tutto il ciclo di vita dei prodotti stessi, determinando così una più vasta applicazione di processi e prodotti eco-compatibili. Per raggiungere modelli di consumo sostenibile, i consumatori, le imprese e gli enti pubblici, nel loro ruolo di acquirenti, devono essere opportunamente informati sull'impatto ambientale di processi e prodotti. A tal fine è necessario l'impiego di etichettature ambientali, marchi ecologici nonché auto-dichiarazioni ambientali.

A valle delle iniziative di prevenzione deve essere incentivato il riutilizzo e quindi il recupero di materiali; i rifiuti destinati all'eliminazione dovrebbero essere ridotti al minimo ed essere eliminati in modo ambientalmente corretto. Tenendo conto dell'approccio della Politica Integrata di Prodotti e della Strategia comunitaria per la

gestione dei rifiuti, tali obiettivi sono perseguibili attraverso l'elaborazione, a livello comunitario di strategie tematiche e l'attuazione di misure specifiche quali:

- strategia tematica sull'utilizzo e la gestione sostenibili delle risorse;
- misure in materia di prevenzione dei rifiuti;
- strategia tematica sul riciclaggio dei rifiuti;
- elaborazione o revisione della normativa rifiuti.

### **2.3 Normativa nazionale**

Molte sono le novità legislative intervenute nell'ultimo anno e destinate ad incidere profondamente sull'attuale sistema di gestione dei rifiuti, puntando su una politica di prevenzione e recupero che ricorre ad un articolato sistema tecnologico finalizzato al trattamento, al riciclaggio e al recupero energetico.

Il cosiddetto "Decreto Ronchi", D.L. del 5 febbraio 1997, n. 22 e successive modifiche ed integrazioni, riguarda la regolamentazione relativa alla gestione dei rifiuti in Italia. È stato emanato in recepimento delle direttive comunitarie in materia di rifiuti, rifiuti pericolosi, imballaggi e rifiuti di imballaggio. La disciplina si basa sui principi di responsabilizzazione e cooperazione di tutti i soggetti coinvolti, e tende alla riduzione della produzione di rifiuti e all'incentivo del loro recupero e riciclaggio garantendo nel contempo un elevato grado di protezione della salute dell'uomo e dell'ambiente. È dunque vietato abbandonare rifiuti sul suolo, nel sottosuolo e nelle acque superficiali e sotterranee; questi dovranno essere avviati, dai produttori o detentori dei rifiuti stessi, alle procedure di recupero o di smaltimento indicate nel suddetto decreto.

Il legislatore ha operato in modo tale da favorire e incentivare il reimpiego e il riutilizzo dei rifiuti, il recupero dei rifiuti per ottenere materia prima, l'impiego dei materiali recuperati, il mercato dei rifiuti e l'utilizzo dei rifiuti come combustibile o altra fonte di energia.

La disciplina prevede una serie di divieti ed obblighi a carico dei produttori e detentori di rifiuti e dei soggetti che esercitano attività professionali attinenti ai rifiuti:

- l'obbligo di autorizzazione per la gestione di impianti fissi e mobili di gestione rifiuti;
- il divieto di miscelazione dei rifiuti pericolosi (art. 9);
- l'obbligo di tenuta di un formulario di identificazione per il trasporto e di un registro di carico e scarico;
- la compilazione del Modello unico di dichiarazione ambientale (art. 11 e 37)
- iscrizione all'Albo gestori rifiuti.

Sono inoltre stati istituiti consorzi obbligatori per il recupero di particolari tipologie di rifiuti (rifiuti di beni in polietilene, batterie esauste, oli usati) e apposite normative per gli imballaggi e rifiuti di imballaggio.

La normativa introduce divieti specifici per alcune tipologie di rifiuti, contemplando anche, tra i vari rifiuti, quelli a rischio e ad alto rischio e, a partire dal 1° gennaio 2007, anche i rifiuti con potere calorifico inferiore a 13.000 KJ/kg. Per ciò che concerne i rifiuti urbani, la frazione biodegradabile in particolare, il decreto stabilisce degli obiettivi specifici di riduzione del materiale conferito in discarica, in linea con la direttiva europea. In merito a ciò ciascuna regione dovrà redigere, entro il 27 marzo 2007, un apposito programma per la riduzione dei rifiuti biodegradabili da collocare in discarica, prevedendo il ricorso al riciclaggio, al trattamento aerobico e/o anaerobico ed il recupero di materiali o energia.

## **2.4 Gestione rifiuti in Europa e in Italia.**

La gestione dei rifiuti è diventato un problema di stampo ambientale tangibile ovunque, sia nei paesi industrializzati e tanto più in quelli in via di sviluppo, che sono spesso oggetto di importazioni illegali di rifiuti e di tecnologie produttive ad alto impatto sanitario ed ambientale. Negli ultimi trent'anni abbiamo assistito ad una crescente e smisurata produzione di rifiuti indice di una società sempre più orientata verso i consumi e verso la modalità "usa e getta" degli articoli di uso quotidiano. Tutto ciò nonostante le indicazioni della unione europea, che già nella Comunicazione della Commissione europea del 1996 prevedeva che la prevenzione dei rifiuti e la minimizzazione delle sostanze pericolose dovevano essere i target per una strategia sulla gestione dei rifiuti nella unione europea.

In Europa ogni anno si producono circa **1,3 miliardi di tonnellate di rifiuti**, escludendo quelli agricoli. Non si devono comunque confondere i rifiuti in generale con quelli urbani. E' quindi necessario approfondire la loro composizione.

Complessivamente i rifiuti si distinguono in:

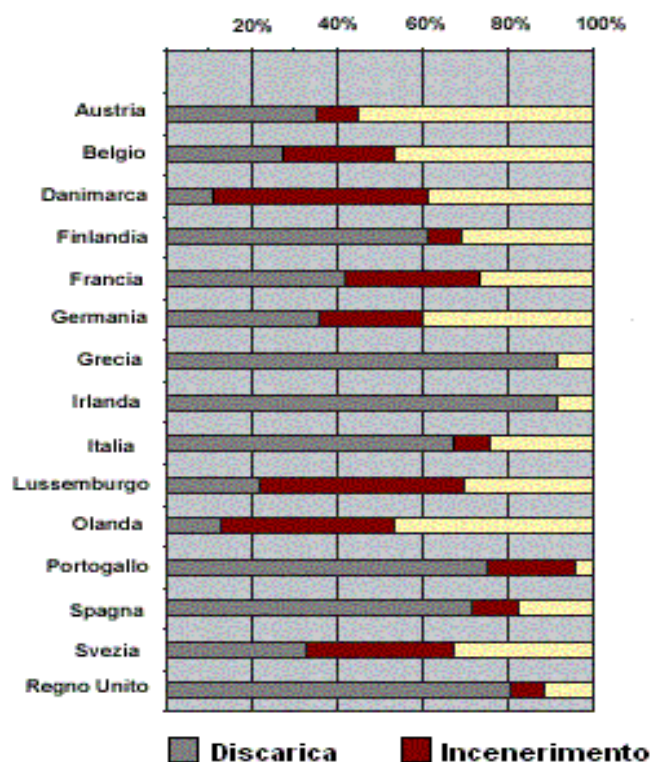
- 29% rifiuti dell'attività estrattiva
- 26% rifiuti dell'attività manifatturiera
- 22% rifiuti dell'attività di costruzione e demolizione
- 14% rifiuti urbani
- 5% rifiuti da varie fonti
- 4% rifiuti dall'attività di produzione dell'energia

La produzione di rifiuti urbani in Europa è pertanto pari a 198 milioni di tonnellate.

Considerando la popolazione UE di 375 milioni di abitanti, ogni abitante in Europa produce ogni anno 527 kg di rifiuti.

Nonostante gli sforzi nel recupero e nel riciclaggio, la discarica resta la soluzione ancora più praticata per il 54% dei casi. Il 27% dei rifiuti urbani entra nella filiera del riciclaggio o del compostaggio. Il 19% restante dei rifiuti è avviato all'incenerimento con o senza recupero di energia (termovalorizzatori).

**Gestione Rifiuti Urbani nella UE**



In Italia, invece, la produzione dei rifiuti urbani continua ancora ad essere in aumento. Secondo dati ufficiali, la produzione di rifiuti urbani si attesta a circa 30 milioni di tonnellate. Non bisogna, però, dimenticare come lo stravolgimento della normativa di settore possa, in qualche modo, aver contribuito ad apportare una variazione dei dati.

Nell'agosto 2002, infatti, è stato emanato una Legge (n. 178), in cui all'art.14 si introduce una "interpretazione autentica della definizione di rifiuto", in aperto contrasto con quella stabilita dalla legislazione europea. In base a questa disposizione di legge vengono sottratti gran parte dei rifiuti recuperabili dalla normativa di settore, pregiudicando fra l'altro la trasposizione delle direttive europee in Italia e quindi l'efficacia della normativa quadro sui rifiuti (il decreto legislativo 22/97, conosciuto come decreto Ronchi).

Secondo Greenpeace è necessario perseguire obiettivi progressivi di:

- prevenzione;
- raccolta differenziata;
- compostaggio;
- riutilizzo e riciclo.

La prevenzione dei rifiuti rimedia allo spreco di risorse naturali e di energia, liberando risorse economiche utilizzabili per scopi sociali. Separare, compostare e riciclare i rifiuti è un approccio più sostenibile rispetto a quello dello smaltimento, in quanto riduce gli impatti ambientali e sanitari, diminuisce i costi di gestione e può creare posti di lavoro. I rifiuti che residuano a valle della raccolta differenziata possono poi essere trattati in un

impianto MBT (Trattamento Meccanico Biologico), che riduce ulteriormente la quantità e la pericolosità dei rifiuti da conferire infine in una discarica controllata. I programmi di riciclaggio andati a buon fine, seguiti dal trattamento meccanico biologico del rifiuto residuale, in città del Canada e dell'Australia hanno portato a ridurre fino al 70% i rifiuti urbani da conferire in discarica.

Anche in Italia, la politica della gestione rifiuti è ancora fortemente orientata alle discariche dove viene stoccato il 67,1%. Il 24,2% dei rifiuti segue altre strade; i rifiuti possono essere riutilizzati, compostati e riciclati in condizioni di sicurezza garantendo, in tal modo, una soluzione sostenibile ad un problema globale; mentre solo il restante 8,7% dei rifiuti viene incenerito tramite gli inceneritori o termovalorizzatori, anche se il processo di incenerimento non è la soluzione migliore per quanto riguarda la crisi dei rifiuti.

## **2.5 Classificazione dei rifiuti**

In base alla normativa vigente (D.lgs. 152/06) i rifiuti vengono classificati:

- secondo l'origine in:
  - *Rifiuti urbani*
  - *Rifiuti speciali*
- secondo le caratteristiche di pericolosità in:
  - *Rifiuti pericolosi e non pericolosi.*

Tutti i rifiuti sono identificati da un codice a sei cifre. L'elenco dei codici identificativi (denominato CER 2002 e allegato alla parte quarta del D.lgs. 152/06) è articolato in 20 classi: ogni classe raggruppa rifiuti che derivano da uno stesso ciclo produttivo. All'interno dell'elenco, i rifiuti pericolosi sono contrassegnati da un asterisco.

### **2.5.1 I rifiuti urbani**

Il comma 2 dell'articolo 184 del D.lgs. 152/06 stabilisce che sono *rifiuti urbani*:

- a) i rifiuti *domestici*, anche ingombranti, provenienti da locali e luoghi adibiti ad uso di civile abitazione;
- b) i rifiuti non pericolosi provenienti da locali e luoghi adibiti ad usi diversi da quelli di cui alla lettera a), assimilati ai rifiuti urbani per qualità e quantità;
- c) i rifiuti provenienti dallo spazzamento delle strade;
- d) i rifiuti di qualunque natura o provenienza, giacenti sulle strade ed aree pubbliche o sulle strade private comunque soggette ad uso pubblico o sulle spiagge marittime e lacuali e sulle rive dei corsi d'acqua;
- e) i rifiuti vegetali provenienti da aree verdi, quali giardini, parchi e aree cimiteriali;
- f) i rifiuti provenienti da esumazioni ed estumulazioni nonché gli altri rifiuti provenienti da attività cimiteriale.

Vanno ricordati, inoltre, i rifiuti urbani pericolosi: costituiti da tutta quella serie di rifiuti che, pur avendo un'origine civile, contengono al loro interno un'elevata dose di sostanze pericolose e che quindi devono essere gestiti diversamente dal flusso dei rifiuti urbani "normali". I principali sono i medicinali scaduti e le pile.

Sapere quale è la composizione dei rifiuti urbani permette di programmare meglio la gestione, quindi lo smaltimento e il riciclaggio. Una consistente presenza di frazioni combustibili con elevato potere calorifico, ad esempio, può orientare verso l'incenerimento con recupero di calore. La percentuale di inerti, invece, permette di orientare la quota di materiali da conferire, comunque in discarica.

### **2.5.2 I rifiuti speciali**

Il comma 3 dell'articolo 184 del D.lgs. 152/06 stabilisce che sono *rifiuti speciali*:

- a) i rifiuti da attività agricole e agro-industriali;
- b) i rifiuti derivanti dalle attività di demolizione, costruzione, nonché i rifiuti pericolosi che derivano dalle attività di scavo, fermo restando quanto disposto dall'articolo 186;
- c) i rifiuti da lavorazioni industriali, fatto salvo quanto previsto dall'articolo 185, comma 1, lettera i);
- d) i rifiuti da lavorazioni artigianali;
- e) i rifiuti da attività commerciali;
- f) i rifiuti da attività di servizio;
- g) i rifiuti derivanti dalla attività di recupero e smaltimento di rifiuti, i fanghi prodotti dalla potabilizzazione e da altri trattamenti delle acque e dalla depurazione delle acque reflue e da abbattimento di fumi;
- h) i rifiuti derivanti da attività sanitarie;
- i) i macchinari e le apparecchiature deteriorati ed obsoleti;
- j) i veicoli a motore, rimorchi e simili fuori uso e loro parti;
- k) il combustibile derivato da rifiuti;
- l) i rifiuti derivati dalle attività di selezione meccanica dei rifiuti solidi urbani.

### **2.5.3 Rifiuti pericolosi e non pericolosi**

Secondo il D.lgs. 152/06 (art. 184, comma 5), sono *rifiuti pericolosi* quelli contrassegnati da apposito asterisco nell'elenco CER2002. Sono da ritenersi pericolosi i rifiuti provenienti dalle seguenti attività:

- a) raffinazione del petrolio
- b) processi chimici



- c) industria fotografica
- d) industria metallurgica
- e) oli esauriti
- f) solventi
- g) produzione conciaria e tessile
- h) impianti di trattamento dei rifiuti
- i) ricerca medica e veterinaria

In tale elenco alcune tipologie di rifiuti sono classificate come pericolose o non pericolose fin dall'origine, mentre per altre la pericolosità dipende dalla concentrazione di sostanze pericolose e/o metalli pesanti presenti nel rifiuto.

I rifiuti speciali pericolosi sono quei rifiuti generati dalle attività produttive che contengono al loro interno un'elevata dose di sostanze inquinanti. Per questo motivo occorre renderli innocui, cioè trattarli in modo da ridurre drasticamente la pericolosità. Nella normativa precedente rispetto a quella in vigore attualmente, tali rifiuti erano definiti come rifiuti tossico nocivi.

Per "*sostanza pericolosa*" si intende qualsiasi sostanza classificata come pericolosa ai sensi della direttiva 67/548/CEE e successive modifiche: questa classificazione è soggetta ad aggiornamenti, in quanto la ricerca e le conoscenze in questo campo sono in continua evoluzione.

I "*metalli pesanti*" sono antimonio, arsenico, cadmio, cromo (VI), rame, piombo, mercurio, nichel, selenio, tellurio, tallio e stagno: possono essere presenti sia puri che, combinati con altri elementi, in composti chimici.

## 2.6 Tecnologie smaltimento rifiuti

Il trattamento dei rifiuti consiste nell'insieme di tecniche volte ad assicurare che i rifiuti, qualunque sia la loro sorte, abbiano il minimo impatto sull'ambiente.

Può riguardare sostanze solide, liquide o gassose, con metodi e campi di ricerca diversi per ciascuno.

La scelta delle tecnologie più appropriate implica una valutazione delle stesse tecnologie nel quadro delle capacità di smaltimento considerate. Una moderna valutazione di tecnologie non può più essere semplicemente economica, ma occorre considerare aspetti prettamente tecnici e di impatto ambientale quest'ultimo molto importante per lo studio di tecnologie per lo smaltimento di rifiuti. Tra le varie tecnologie di smaltimento ricordiamo una serie di tipi di processo già industrializzati o in fase di industrializzazione, impiegate per lo smaltimento di RSU e rifiuti industriali.

A rigore per lo smaltimento del RSU esiste anche un processo basato sulla preselezione del RSU e stabilizzazione della frazione umida separata che, unitamente a

quella secca, viene poi messa in discarica. Il trattamento del RSU con questo processo non cambia praticamente il volume che deve essere messo in discarica

L'eventualità di prendere in considerazione l'utilizzo della parte secca come CDR (Combustibile Derivato dai Rifiuti) per ridurre i volumi da mettere in discarica non è molto interessante per il basso valore di potere calorifico inferiore presentato da questo residuo, poco più di 3000 kcal/kg contro le oltre 4000 kcal/kg presentate da CDR prodotti con moderne tecnologie (*BonomiM., 1996*).

Per queste ragioni questo tipo di smaltimento non è stato considerato in questa memoria. Per i vari processi di smaltimento considerati si dà la seguente breve descrizione:

### **1. Incenerimento**

Questa tecnologia è utilizzata da molti anni e consiste nel bruciare rifiuti in un forno recuperando il calore dei fumi per produrre vapore e quindi energia elettrica ed eventualmente fare del teleriscaldamento. I problemi di questa tecnologia sono i costi di smaltimento, la bassa resa in energia elettrica e un impatto ambientale fortemente negativo, dovuto alla grande quantità di fumi emessi e all'importante quantità di scorie e ceneri che devono essere messi in discarica.

### **2. Pirolisi/Gasificazione**

Questa tecnologia prevede una fase di disidratazione e pirolisi dei rifiuti seguita da una fase di gasificazione del residuo con metano ed ossigeno. Il gas ottenuto è utilizzato in motori per produrre elettricità o bruciato per produrre vapore per teleriscaldamento. Le scorie sono ottenute fuse in basso del reattore di gasificazione in quantità simile a quella dell'inceneritore. Questa tecnologia presenta sulla carta vantaggi riguardo ai costi e all'impatto ambientale rispetto all'inceneritore.

### **3. Compostaggio e produzione di CDR**

In questa tecnologia i rifiuti sono sottoposti a una separazione spinta della frazione umida dal secco con vaglio e idropolpatore. La frazione umida dispersa in acqua è sottoposta a digestione anaerobica con produzione di biogas che alimenta dei motori per la produzione di energia elettrica.. Il secco può essere messo in discarica oppure estruso per produrre CDR. L'economia di questa tecnologia è caratterizzata da investimenti contenuti e costi bassi. Molto rispettosa dell'ambiente per quanto riguarda l'emissione degli odori, questa tecnologia presenta aspetti negativi quanto alla necessità eventuale di mettere in discarica il secco, in caso di difficoltà di vendere il CDR prodotto, e soprattutto presenta l'incognita dello smaltimento della composta prodotta da RSU.

### **4. Produzione di CDR e sua termovalorizzazione**

Questa tecnologia effettua una biodisidratazione dei rifiuti seguita da una separazione a secco dei metalli e degli inerti dalla frazione combustibile (CDR). Questo CDR può essere venduto e anche termovalorizzato direttamente con produzione di energia elettrica con una resa molto superiore a quella ottenibile in un inceneritore. L'economia di questa tecnologia è caratterizzata da investimenti e costi più elevati di quelli della

tecnologia precedente. Anche questa tecnologia è molto rispettosa dell'ambiente e presenta, come la precedente, il problema della vendita del CDR ma non della composta. La termovalorizzazione è efficiente ma economicamente interessante solo se il prezzo di vendita del kWh è alto.

### **5. Compostaggio aerobico**

Il compostaggio aerobico della frazione organica è conosciuto da molto tempo. Il FOR è miscelato con verde e sottoposto a compostaggio con aria, prima in capannoni chiusi e poi all'aperto. Se il trattamento nella fase chiusa ha un buon sistema di depurazione l'emissione di odori è minima. Gli investimenti necessari sono bassi e i costi contenuti.

### **6. Compostaggio anaerobico**

Il compostaggio anaerobico della frazione organica è anch'esso conosciuto da molto tempo. In questo caso i rifiuti organici sono miscelati con acqua ed eventualmente liberati da frazioni leggere e pesanti non fermentabili in un idropolpatore e quindi inviati in un digestore per la produzione di biogas, che alimenta motori per la produzione di energia elettrica. I fanghi ottenuti sono miscelati con verde e compostati all'aria. Come il precedente processo l'emissione di odori è minima. Il processo è vantaggioso economicamente per capacità di smaltimento abbastanza importanti e per prezzi elevati di vendita del kWh. L'uso dell'idropolpatore potrebbe permettere di produrre una composta più pulita rispetto a quella del processo aerobico.

### **7. Riciclaggio e riuso di materiali di scarto**

Il riciclaggio comprende tutte le strategie organizzative e tecnologiche per riutilizzare come materie prime materiali di scarto, altrimenti destinati allo smaltimento in discarica o distruttivo.

In Italia, il tasso di raccolta differenziata sta gradualmente crescendo (è oggi intorno al 22,7% per merito, soprattutto, delle regioni del Nord, dove supera il 35%), ma è ancora inferiore alle potenzialità. Soluzioni particolarmente efficienti come la raccolta differenziata porta a porta, ove adottate, permettono di incrementare notevolmente la percentuale di rifiuti riciclati. A titolo di confronto, si consideri che in Germania il tasso di raccolta differenziata raggiungeva nel 2004 ben il 56% a livello nazionale.

Numerosi sono i materiali che possono essere riciclati: metalli, carta, vetro e plastiche sono alcuni esempi; vi sono tuttavia complessità associate ai materiali cosiddetti "poliacoppiati" (cioè costituiti da più materiali differenti) come ad esempio flaconi di succhi di frutta o latte, nonché per oggetti complessi (per esempio automobili, elettrodomestici ecc): non sono tuttavia problemi insormontabili e possono essere risolti con tecnologie particolari, in parte già adottate anche in Italia.

Particolare è il caso della plastica, che come noto esiste in molte tipologie differenti e può essere costituita da molti materiali differenti (PET, PVC, polietilene ecc.). Tali diversi materiali vanno gestiti separatamente e quindi separati fra loro: questa maggior

complicazione in passato ha reso l'incenerimento economicamente più vantaggioso del riciclo. Oggi tuttavia appositi macchinari possono automaticamente e velocemente separare i diversi tipi di plastica anche se raccolti con un unico cassonetto, pertanto l'adozione di queste tecnologie avanzate permette un vantaggioso riciclo.

I materiali riciclabili sono tutti i rifiuti che possono venire riutilizzati per produrre nuovi oggetti uguali allo scarto (vetro, carta) oppure utilizzati per produrre nuovi materiali.

Le materie prime che possono essere riciclate sono:

- legno;
- vetro;
- carta e cartone;
- tessuti;
- pneumatici;
- alluminio;
- acciaio;
- alcune materie plastiche;
- frazione organica (avanzi di cibi ecc.).

## **2.7 Impiego di materiali da riciclo nell'industria ceramica tradizionale**

La possibilità di riciclare materiali di scarto in prodotti ceramici, è stata ed è tuttora oggetto di studio e risulta vantaggiosa sia per la salvaguardia dell'ambiente, sia per l'industria ceramica, riducendo gli oneri di approvvigionamento delle materie prime.

Nella produzione di laterizi possono essere utilizzate diverse tipologie di scarti (combustibili, ceneri volanti, scarti fondenti, scarti dell'industria mineraria e metallurgica) che, nelle opportune quantità, favoriscono un risparmio energetico e permettono di ottenere prodotti (in verde e/o in cotto) con caratteristiche meccaniche superiori.

Tra le piastrelle per pavimento e rivestimento, il grès porcellanato è il prodotto sul quale la ricerca concentra i maggiori sforzi, sebbene sia più agevole impiegare materiali di scarto in altre tipologie di piastrelle che non devono avere caratteristiche tecniche ed estetiche così elevate. Tuttavia, buoni risultati sono stati raggiunti utilizzando scorie di inceneritori urbani (fly ash), scarti della lavorazione del granito, fritte, vetro da imballaggio e amianto inertizzato per via termica.

Nella porcellana (sanitari e stoviglieria), tra i vari materiali di scarto oggetto di ricerche, è degno di nota il vetro, in quanto è stato riscontrato che il suo utilizzo comporta spesso notevoli risparmi energetici, riducendo la temperatura di sinterizzazione. Lo stesso risultato si è ottenuto anche con la silice micronizzata e con la cenere di pula di riso. Anche nella terracotta l'utilizzo di vetro derivante da fly ash favorisce la sinterizzazione. In materia di rifiuti, un aspetto particolarmente interessante ed attuale, è quello del riciclaggio globale (global recycling), una strategia adottata dalla natura, basata su cicli termodinamici praticamente chiusi. Una recente disciplina, nota sotto il nome di LCA (Life Cycle

Assessment) (Carnimeo G. et al., 2001) si pone, tra i vari obiettivi, la possibilità del riciclaggio integrale di un materiale. Ciò, non solo in vista di un possibile reinserimento in un ciclo naturale, ma anche come possibilità di utilizzare gli scarti derivanti da singole fasi del ciclo vitale del prodotto stesso.

Il riciclaggio integrale è da ritenere perfetto quando gli scarti vengono inseriti in un ciclo naturale geo-biologico. Per realizzare oggetti integralmente riciclabili, sarebbe necessario disporre di materiali in grado di reinserirsi perfettamente nei cicli naturali.

Ad esempio, oggetti in cellulosa, carta, legno, ecc. possono ritornare nel ciclo geo-biologico con chiusura quasi perfetta, mentre, oggetti in plastica, non biodegradabile, non possono reinserirsi nei cicli geo-biologici in modo totale ed in tempi ragionevolmente brevi. Ciò premesso, è possibile stilare una classificazione dei materiali, sulla base della minore o maggiore possibilità di essere riciclati (Tabella 2.1).

Tabella 2.1 – Classificazione dei materiali in base alla possibilità di riciclaggio.

Categoria	Descrizione	Esempi
<b>Riciclabilità integrale</b>	Materie prime rinnovabili e/o minerali presenti in natura, modificati meccanicamente	Tutti i materiali naturali (legno, canne, lana animale, paglia, ecc.), lana di roccia, vetro, argilla, inerti di cava, mattoni crudi
<b>Riciclabilità limitata</b>	Materiali rinnovabili e/o minerali trattati meccanicamente con processi chimici non inquinanti	Mattoni di terracotta, clinker di cemento, calce, colori naturali senza addizione di sostanze organiche
<b>Riciclabilità nulla</b>	Materie plastiche e derivati del petrolio, carbone, combustibili idrocarburici, collanti di sintesi, colori, vernici e lacche sintetiche	Polimeri di sintesi e materie organiche non rinnovabili

Il nostro Paese ha adottato moderni criteri di gestione integrata dei rifiuti che prevedono la raccolta differenziata e trattamenti finalizzati al recupero di materiali e di energia, restringendo il ricorso alla discarica ai soli residui inerti o non ulteriormente recuperabili (Canonico A. et al., 2001).

Numerosi sono gli studi tesi a valutare la possibilità di utilizzare nel ciclo di produzione dei materiali ceramici, differenti tipologie di residui e prodotti di scarto provenienti da attività industriali e dal trattamento di rifiuti urbani, così da inertizzarli e/o valorizzarli. In particolare, le materie prime impiegate nella produzione dei ceramici tradizionali, argille, feldspati e sabbia, favoriscono la formazione, durante la sinterizzazione ad elevata temperatura, generalmente superiore a 1000°C, di fasi silicatiche e matrici vetrose in grado di inglobare, in modo efficiente, il materiale di scarto nel corpo ceramico

I ceramici tradizionali, per l'ampio range composizionale delle materie prime utilizzate, sono caratterizzati da una microstruttura particolarmente disomogenea che ben si presta a tollerare anche percentuali elevate di differenti tipologie di rifiuti (*Warpechowski da Silva N.I. et al., 1998; Couto D.M.S. et al., 1998*)

Per introdurre l'argomento del presente capitolo di tesi, è opportuno delineare il quadro delle attuali conoscenze relative al riciclaggio di rifiuti urbani ed industriali nell'industria dei materiali ceramici tradizionali, quali laterizi (*Almeida M.I.A et al., 1997; Perez J.A. et al., 1996*).

### **2.7.1 Riciclaggio di rifiuti urbani ed industriali nell'industria di laterizi**

Gli impasti utilizzati nell'industria dei laterizi, costituiti da materie prime aventi uno spettro composizionale assai ampio, sono in genere dal punto di vista chimico, particolarmente disomogenei. E' quindi evidente che possono tollerare la presenza di percentuali diverse di differenti materiali di scarto.

Negli ultimi venti anni sono stati pubblicati numerosi lavori riguardanti il reimpiego di un'ampia varietà di rifiuti urbani ed industriali nell'industria dei laterizi. Le ricerche, concentrate in massima parte nell'arco degli anni Ottanta, hanno dimostrato la praticabilità di questa procedura con indubbi vantaggi, sia dal punto di vista ambientale, sia tecnologico. Tali ricerche sono state successivamente allargate a nuove tipologie di scarti ed indirizzate all'approfondimento di aspetti particolari.

L'aggiunta di scarti, oltre ai benefici per l'ambiente, spesso produce effetti positivi anche sulle proprietà dei semilavorati. Risultati incoraggianti provengono dall'utilizzo di rifiuti ricchi in sostanze organiche. La loro combustione, in fase di cottura, permette infatti un significativo risparmio energetico, anche con ridotte percentuali di additivazione, inferiori al 10%. Le caratteristiche dei prodotti finiti mettono in evidenza variazioni generalmente tollerabili e spesso positive. In particolare, la diminuzione in peso dovuto all'aumento della porosità, porta ad ulteriori vantaggi economici ai fini del trasporto e della posa, conferendo inoltre ai prodotti migliori caratteristiche di isolamento termico (*Dondi M. et al., 1997*).

L'utilizzo di altri materiali di scarto provenienti da materiali combustibili (*Dondi M. et al., 1997; Carini A. et al., 1987*) influenza, non sempre positivamente, la plasticità degli impasti e la porosità e la resistenza meccanica dei prodotti cotti. Tali scarti sono, a seguito della combustione dell'elevato contenuto di sostanze organiche, potenziali apportatori di energia durante la cottura dei laterizi. Appartengono a questa categoria i residui degli impianti di trattamento dei rifiuti urbani, gli scarti della lavorazione del carbone, gli scarti dell'industria tessile e conciaria ed i reflui derivanti dalla raffinazione del petrolio, dall'industria cartaria e dall'industria del legno.

L'aggiunta di questi scarti agli impasti per laterizi, non superiore di solito al 10%, oltre al risparmio energetico durante cottura, determina un incremento di porosità ed una diminuzione del ritiro e di resistenza meccanica dei manufatti (*Tabella 2.2*).

L'utilizzo del carbone nelle centrali termoelettriche dà origine a residui solidi inerti, ceneri, contenenti anche piccole quantità di particelle carboniose incombuste. Un 20% circa di residuo si raccoglie nel cinerario, *bottom ash*, mentre il restante 80% è costituito da particelle finissime, *fly ash*, trattenute di norma da appositi filtri (*Benavidez E. et al., 2003*). Una centrale termoelettrica di medie dimensioni produce diverse centinaia di tonnellate di ceneri al giorno (*Dondi M. et al., 1997; Barbieri U., 1987; Gambero F. et al., 1977*).

Il loro impiego non richiede in genere un processo di macinazione e, dal momento che le particelle presentano una geometria approssimativamente sferica, conferiscono agli impasti una buona plasticità (*Gambero F. et al., 1977*). Le loro caratteristiche chimico-fisiche sono estremamente differenziate, funzione del tipo di carbone e del tipo di camera di combustione. Si tratta di materiali in gran parte amorfi, silice vetrosa, con una componente cristallina assai esigua, costituita da finissimi aghi di mullite (*Barbieri U., 1987*). Le ceneri volanti sono state impiegate sia come parziale sostituto dell'argilla, sia come materia prima in grado di ridurre il consumo energetico in fase di cottura, anche se quest'ultimo aspetto dipende da molteplici fattori (*Dondi M. et al., 1997*).

L'aggiunta di ceneri volanti alle materie prime argillose determina un generale miglioramento del comportamento degli impasti sia in fase di formatura, sia di essiccamento (*Dondi M. et al., 1997*). Nei materiali prodotti con miscele di argilla-*fly ash* (*Tabella 2.2*), si è osservato un miglioramento delle proprietà meccaniche (*Dondi M. et al., 1997; Mesaroš R., 1989; Liaw C. T. et al., 1998*). Il ritiro in cottura tende ad aumentare con il contenuto in *fly ash*, mentre la porosità non presenta, causa la diversa composizione chimica e la quantità utilizzata, un andamento univocamente definito (*Dondi M. et al., 1997; Liaw C. T. et al., 1998*). Si è rilevata inoltre, una diminuzione dei fenomeni di efflorescenza (*Dondi M. et al., 1997; Barbieri U., 1987*). Un'altra tipologia di rifiuti è costituita dai fanghi provenienti dalle linee di smaltatura delle industrie delle piastrelle ceramiche, dagli impianti di placcatura e dall'industria metallurgica e metalmeccanica. La composizione di tali fanghi è a base sostanzialmente silico-alluminosa con presenza di percentuali estremamente variabili di metalli pesanti e di elementi alcalini ed alcalino-terrosi (*Dondi M. et al., 1997; Palmonari C., 1985; Stivanakis M.V., 2002*). Questi scarti hanno un prevalente effetto fondente che, a parità di temperatura di cottura, causa negli impasti additivati una significativa diminuzione della porosità. Fra i vantaggi, il possibile risparmio energetico conseguente l'abbassamento della temperatura di cottura. Per quanto riguarda i fanghi delle linee di smaltatura, i quantitativi ottimali utilizzati non superano in genere il 20% (*Dondi M. et al., 1997*). Le miscele argilla-scarto fondente presentano un migliore comportamento sia in fase di estrusione, sia di essiccamento, anche se si è

registrata una diminuzione di resistenza meccanica del prodotto essiccato (Dondi M. et al., 1997). Sui prodotti cotti è stato, invece, rilevato un incremento delle proprietà meccaniche ed una significativa riduzione dell'efflorescenza (Dondi M. et al., 1997; Stivanakis M.V., 2002). L'aggiunta di fanghi provenienti dalle linee di smaltatura dell'industria ceramica ha una positiva ricaduta soprattutto dal punto di vista dell'impatto ambientale, in quanto possono essere inertizzate sostanze tossiche e di difficile smaltimento.

Tra gli scarti fondenti, impiegati nella produzione di laterizi, va citato anche il vetro di scarto proveniente dalla raccolta differenziata. Il vetro, aggiunto in percentuali di circa il 30%, migliora le caratteristiche e le prestazioni del prodotto finito (Mörtel H. et al., 1997) (Pontikes Y. et al., 1997).

Materiali di scarto provenienti dall'industria mineraria e metallurgica possono agire, se additivati ad impasti argillosi, sia in qualità di smagrante, sia di plasticizzante. Il prevalere dell'uno o dell'altro effetto dipende dalla granulometria degli scarti e dal tipo di argilla con cui vengono miscelati (Dondi M. et al., 1997). Gli scarti con distribuzione granulometrica grossolana, scarti smagranti (Dondi M. et al., 1997; Probst M. 1987), sono impiegati per limitare la plasticità delle materie prime argillose. Le quantità variano dal 10 al 60% e provocano in cotto, lievi diminuzioni di resistenza meccanica e di ritiro. Come riportato in *Tabella 2.2*, gli altri parametri non sembrano essere influenzati.

L'inserimento negli impasti di scarti provenienti dell'estrazione del basalto (Sabrah B. A. et al., 1983) porta, per contenuti inferiori al 10%, ad un aumento del ritiro ed ad una diminuzione dell'assorbimento d'acqua. Causa l'elevato contenuto in calcio di alcuni di questi prodotti, sono stati osservati fenomeni di efflorescenza, anche se alcuni autori hanno registrato una loro significativa riduzione (Dondi M. et al., 1997).

Altri scarti provenienti dall'industria mineraria e metallurgica, sono utilizzati in qualità di plasticizzanti. Sono infatti in grado di favorire la formatura del prodotto ceramico, permettendo peraltro un risparmio di materie prime argillose. Tali scarti, provenienti dalla lavorazione di rocce e minerali quali bauxite, feldspato, sabbia quarzosa, fluorite, pirite e ghiaie, presentano una granulometria fine e sono costituiti da minerali argillosi, quarzo, feldspati e carbonati. In genere, vengono addizionati all'impasto in quantità comprese tra il 5 ed il 15% (Dondi M. et al., 1997; Isakovski S. et al., 1983; Khalil A.A. et al., 1996). I prodotti in cotto risultano caratterizzati da un incremento di resistenza meccanica (Isakovski S. et al., 1983). Porosità e ritiro non presentano invece un andamento univocamente definito (Dondi M. et al., 1997). Una aggiunta inferiore al 10% di materiale contenente amianto derivato dai ferodi dei freni (Tamas F.D. et al., 1990), comporta, in fase di cottura, la trasformazione dell'amianto in sostanze non nocive (silicati quali forsterite e pirosseno). Ciò rappresenta un indubbio vantaggio per la salute dell'uomo, evitando l'inquinamento ambientale senza peraltro compromettere la qualità dei prodotti finiti. Si sono infatti registrate una diminuzione del ritiro, un contenuto aumento dell'assorbimento d'acqua ed una lieve diminuzione di resistenza meccanica.



Scarti provenienti dalla lavorazione dell'acciaio introdotti in impasti per laterizi, in percentuale del 2-3%, non alterano le caratteristiche e le prestazioni del prodotto finito. L'introduzione di percentuali superiori al 5-6% sono ancora possibili nonostante la porosità aumenti e peggiorino le caratteristiche meccaniche (Cunico L. et al., 2003).

L'impiego di scarti di argille contenenti minerali di boro, nella produzione di laterizi, in percentuale maggiore del 30%, migliora la qualità dei prodotti in relazione alla resistenza a compressione, all'assorbimento d'acqua e alla densità, senza compromettere le altre caratteristiche (Uslu T. et al., 2004).

Tabella 2.2 – Differenti tipologie di scarti utilizzati nell'industria dei laterizi.

Tipo di materiale aggiunto all'impasto		Risparmio energetico (%)	Quantità aggiunta (%)	Effetti sul prodotto cotto	Effetti indesiderati
COMBUSTIBILI	Scarti degli impianti di trattamento dei rifiuti urbani (Dondi M. et al., 1997; Monteiro S.N. et al., 2005; Mesaroš R. 1989; Sevelius D. 1997)	10÷40	2÷25	Maggiore assorbimento. Minore densità. Maggiore ritiro. Diminuzione di resistenza meccanica, 4÷30%.	Emissione in cottura, di odori sgradevoli. Efflorescenze e cuore nero.
	Fanghi dell'industria cartaria (Dondi M. et al., 1997; Zani A. et al., 1991; Tenaglia A. et al., 1992; Liaw C.T. et al., 1998)	max 18	< 10	Lievi aumenti di assorbimento. Lieve diminuzione di resistenza meccanica.	Maggiore attitudine alle efflorescenze. Aspetto del prodotto finito peggiorato.
	Segatura di legno (Dondi M. et al., 1997; Giordani M. et al., 1986; Isenhour C.T., 1979; Kohler A. 1988)	max 15	4÷5	Maggiore assorbimento. Minore densità. Ritiro invariato. Diminuzione di resistenza meccanica, 10÷30%.	Sviluppo di efflorescenze. Emissione gassosa di elementi nocivi
	Scarti dell'industria tessile (Dondi M. et al., 1997; Basegio T. et al., 2000; Rozzil. Et al., 1987)	max 20	Peluria: < 1,5 Fanghi di lavaggio della lana: ca. 10	Maggiore assorbimento. Minore densità. Diminuzione di resistenza a flessione, ca. 20%.	----
	Scarti dell'industria conciaria (Dondi M. et al., 1997; Pavlova L., 1996)	----	< 10	Minore densità. Minore ritiro. Diminuzione di resistenza a flessione.	Emissione in cottura, di odori sgradevoli. Rilascio di cromo da parte dei prodotti.
	Scarti dell'estrazione e della lavorazione del carbone (Dondi M. et al., 1997)	20÷40 max 60	10÷15	Minore densità. Ritiro funzione della natura dello scarto. Diminuzione di resistenza meccanica	----
	Scarti della raffinazione del petrolio (Dondi M. et al., 1997; Carini A. et al., 1987)	----	< 2,5	Alterazioni non significative nella qualità del prodotto. Diminuzione di resistenza meccanica, max 15%	----

Tipo di materiale aggiunto all'impasto		Risparmio energetico (%)	Quantità aggiunta (%)	Effetti sul prodotto cotto	Effetti indesiderati
CENERI VOLANTI <i>(Dondi M. et al., 1997; Sevelius D., 1997; Liaw C.T. et al., 1998; Barbieri U., 1987; Gambaro F. et al., 1977)</i>		variabile	< 10	Miglioramento delle proprietà meccaniche. Aumento del ritiro con il contenuto in fly ash. Andamento non univoco della porosità.	Riduzione delle efflorescenze
SCARTI FONDENTI <i>(Dondi M. et al., 1997; Palmonari C. et al., 1985; Sivanakis V. M. et al., 2002)</i>		variabile	max 20	Minore assorbimento. Ritiro invariato. Miglioramento delle proprietà meccaniche.	Riduzione delle efflorescenze
SCARTI DELL'INDUSTRIA MINERARIA E METALLURGICA	Scarti smagranti <i>(Dondi M. et al., 1997; Probst M., 1987; Sabrah B. A. et al., 1983)</i>	----	10÷60	minore ritiro. Diminuzione di resistenza meccanica	Insorgere di efflorescenze.
	Scarti plastificanti <i>(Dondi M. et al., 1997; Isakovski S. et al., 1983; Tamas F.D. et al., 1990)</i>	----	5÷15	Porosità e ritiro variabili. Incrementi anche notevoli di resistenza meccanica	----

In conclusione, si può affermare che l'inserimento di rifiuti urbani ed industriali negli impasti per laterizi è redditizio sia per chi direttamente li produce, smaltimento corretto di materiali ingombranti ed inquinanti; sia per gli stessi produttori di laterizi, riduzione degli oneri di approvvigionamento di materie prime, risparmi energetici ed in alcuni casi, migliori prestazioni del prodotto finito.

### 2.7.2 Piastrelle per pavimento e rivestimento

Nell'ultimo decennio, la produzione e la vendita di monocottura e bicottura sono state superate dal grès porcellanato. Questa tipologia di prodotto presenta infatti eccellenti caratteristiche tecniche ed estetiche in grado di soddisfare le esigenze del mercato.

Considerando la sua evoluzione e l'interesse economico che suscita, è certamente il prodotto sul quale si concentrano notevoli sforzi della ricerca in tutti i settori coinvolti. Ciò ha incoraggiato una serie di studi volti ad arricchire i contenuti e le caratteristiche del prodotto, a rinnovare ed ottimizzare la tecnologia produttiva e a ridurre i costi. Con riguardo a quest'ultimo aspetto, molti lavori di ricerca hanno proprio come obiettivo quello di valutare la possibilità di riutilizzare materiali di scarto nella riformulazione di impasti per grès porcellanato, riducendo così l'impiego di materie prime naturali. Nell'ambito di altre tipologie di piastrelle da rivestimento e pavimento, la ricerca è relativamente più agevole in quanto i valori di assorbimento non devono essere contenuti come per il grès porcellanato e non sempre è richiesto il bianco del supporto.

Relativamente al condizionamento di scorie provenienti da un inceneritore urbano in un impasto per grès porcellanato ed in uno a pasta rossa per piastrelle smaltate da rivestimento (*Andreola F. et al., 2002; Andreola F. et al., 2001*), si è rilevata una maggiore compatibilità di quest'ultimo, sia dal punto di vista chimico, sia tecnologico. In tali scorie è infatti presente un'elevata quantità di agenti cromofori quali  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$  e di  $\text{CaO}$ , che di norma, in un impasto per grès porcellanato, deve essere estremamente contenuta. Nella pasta rossa si è osservata una superiore densificazione associata ad una certa costanza se non ad un lieve miglioramento delle proprietà meccaniche e mineralogiche. Nell'impasto per grès porcellanato si è invece notato che causa l'aumento della porosità e cambiamenti microstrutturali, sia il ritiro lineare, sia la densità apparente diminuiscono con l'aggiunta di scorie. Con riguardo alla microstruttura, si è rilevata una diminuzione della fase mullite e, data la rilevante percentuale di ossido di calcio contenuto nelle scorie, la presenza di una fase di neo-formazione a minore densità, l'anortite. Tale effetto è in accordo con diversi studi effettuati su impasti tradizionali contenenti alte percentuali di composti di calcio (*Fiori C. et al., 1974; Lorici L. et al., 1991*). Queste modificazioni strutturali causano una diminuzione significativa delle proprietà meccaniche, in particolare del modulo elastico (50-70 GPa), in quanto viene a mancare la mullite che, come è noto, costituisce lo scheletro del corpo ceramico.

Introducendo scorie di altoforno in parziale sostituzione dell'argilla (*Ghosh S. et al., 2002*) in un impasto per piastrelle ceramiche, si ottiene un prodotto caratterizzato da un minore ritiro lineare in cottura (non molto rilevante), da un superiore assorbimento d'acqua e, per contenuti di scorie superiori al 50%, una maggiore resistenza meccanica. All'aumentare della percentuale di scorie nell'impasto, aumenta nel materiale sinterizzato sia il rapporto calcio/silice, sia il contenuto in wollastonite, mentre diminuisce la formazione di fase liquida. Il valore ottimale del rapporto calcio/silice è compreso nell'intervallo 0,1-0,3. In questo intervallo infatti, le proprietà del prodotto sinterizzato migliorano. Ciò è attribuibile alla formazione di fase liquida in quantità sufficiente a bagnare le diverse fasi cristalline, ad esempio la wollastonite.

L'introduzione di scarti della lavorazione del granito in impasti per piastrelle ceramiche è stata valutata nella percentuale del 50-60%, a seconda del tipo di argilla. In alcuni casi sono stati rilevati buoni valori di resistenza a flessione,  $\sim 75$  MPa (*Ferreira J.M.F. et al., 2002*).

È anche possibile l'utilizzo di scarti della lavorazione del marmo in impasti per piastrelle da rivestimento, previa separazione delle particelle maggiori di 100 mm, al fine di evitare la presenza di grossi grani di carbonato di calcio che potrebbero provocare difetti sulla superficie smaltata (*García-Ten J. Et al., 2003*). Anche gli scarti della lavorazione dell'ardesia sono stati introdotti con successo in impasti per piastrelle ceramiche (*Catarino L. et al., 2003*).

Alcune ricerche hanno dimostrato che è possibile introdurre in impasti da piastrelle ceramiche scarti provenienti dall'industria metallurgica (*Dana K. et al., 2003*), con ottimi risultati.

Aggiungendo all'impasto per grès porcellanato sia le scorie di un inceneritore urbano, *fly ash*, sia i residui della lavorazione del granito (*Hernández-Crespo M.S. et al., 2001*), si è ottenuto un prodotto che, rispetto a quello standard, presenta una minore porosità aperta, un superiore ritiro in fase di cottura e proprietà meccaniche simili a quelle dei vetro-ceramici.

In impasti per piastrelle di grès porcellanato sono state utilizzate anche fritte (*Moreno A. et al, 2000*).

Piccole percentuali, 4-12%, hanno consentito di aumentare la fusibilità e quindi di ridurre la temperatura di sinterizzazione. La quantità di fase liquida aumenta leggermente e cambia la sua composizione. L'inserimento di questi materiali non altera la natura cristallina delle fasi presenti nel prodotto greificato e determina una diminuzione del contenuto in quarzo e mullite. Per una elevata percentuale di aggiunta di fritte aumenta inoltre il contenuto in albite.

La microstruttura del prodotto finito risulta però più porosa, con presenza di pori isolati e di dimensioni superiori.

Aggiungendo ad un impasto per grès porcellanato fritte ottenute dagli scarti di un inceneritore municipale, *bottom ash*, e da vetro di scarto (*Barbieri L. et al., 2002*), si ottiene un prodotto con migliori caratteristiche dal punto di vista dell'assorbimento d'acqua e della resistenza alle macchie. Ciò è dovuto all'assenza di porosità aperta conseguente lo sviluppo durante cottura di una fase vetrosa. Se da un lato, tale fase non modifica significativamente i valori di resistenza a flessione, dall'altro si è però osservata una significativa variazione del colore, generalmente più scuro rispetto al prodotto standard per la presenza di ossido di ferro presente negli scarti.

Diversi studi hanno anche considerato la possibilità di introdurre vetro di scarto da imballaggio, sodico-calcico, in un impasto ceramico. In particolare, in un impasto per grès porcellanato, parte del fondente è stata sostituita con diverse percentuali di vetro (*Carbonchi C. et al., 2004; Abdelkhalki A., 1998*). In particolare, l'introduzione del 10% di questo materiale ha consentito di ridurre la temperatura di sinterizzazione rispetto a quella del materiale di riferimento, senza pregiudicare i valori di resistenza a flessione, prossimi peraltro a quelli del prodotto standard. Oltre al vetro da imballaggio, anche il vetro al piombo, derivante da tubi catodici, è stato introdotto, in basse percentuali (2-3%), in impasti da grès porcellanato (*Rambaldi E. et al, 2003; Rambaldi E. et al, 2004; Souza G.P. et al., 2004*).

Ciò ha dato ottimi risultati in fase di sinterizzazione, abbassando la temperatura di cottura di 20°C, da 1240 a 1220°C, rispetto all'impasto standard di riferimento.

Un altro materiale utilizzato negli impasti ceramici tradizionali, attualmente ancora a livello sperimentale, è l'amianto inertizzato per via termica. L'asbesto, trasformato termicamente in un materiale vetroso a matrice incoerente, è stato inserito in un impasto per grès porcellanato in percentuali comprese nell'intervallo 5-10% (*Gualtieri A.F. et al., 2000; Carani M. et al., 2002*).

L'asbesto in questo stato e le fasi cristalline di neo-formazione non risultano pericolose. Il materiale contenente il 5%, ha evidenziato migliori proprietà tecnologiche rispetto a quello standard.

In particolare, si è registrato un miglioramento della resistenza alle macchie in conseguenza della diminuzione della porosità aperta e dell'aumento della densità apparente. Il riciclo di tale materiale riveste un notevole interesse in quanto, oltre alla salvaguardia ambientale, consente una riduzione dei costi di un fattore 10 rispetto allo stoccaggio sotto forma di materiale tale e quale.

### **2.7.3 Porcellana: sanitari e stoviglieria**

La porcellana è ottenuta dalla greificazione di impasti costituiti da argilla caolinitica, quarzo e feldspati ed è caratterizzata da un alto grado di sinterizzazione e da una bassa porosità. Le materie prime utilizzate per stoviglieria e sanitari sono pregiate in quanto il corpo ceramico deve presentare un elevato punto di bianco.

Relativamente al recupero di rifiuti solidi, alcuni lavori hanno proposto di introdurre nell'impasto scarti ricchi in alluminio derivanti dalla lavorazione di tale metallo, scarti di vetro da imballaggio e scarti dell'industria ceramica, in particolare l'acqua di recupero dell'industria di sanitari (*Martelon E. et al., 2002; Perez J.A. et al., 1996; Couto D.M.S. et al., 1998; Ribeiro M.J. et al., 2002; Pereira D.A. et al., 1999*).

Per quanto riguarda l'utilizzo degli scarti dell'industria ceramica, si è osservato che l'estrusione del corpo ceramico risulta impossibile. I campioni preparati con scarti ricchi in alluminio risultano particolarmente deboli specialmente a basse temperature di cottura, causa la refrattarietà del residuo impiegato. La resistenza a flessione tende in ogni caso ad aumentare con la temperatura di sinterizzazione, suggerendo la necessità di operare a temperature elevate per ottenere un buon consolidamento del materiale. Al contrario, introducendo nell'impasto scarti di vetro, si ha una tendenziale diminuzione della temperatura di greificazione. E' inoltre interessante sottolineare che un materiale costituito esclusivamente da questi tre tipi di scarti, è caratterizzato da proprietà meccaniche migliori rispetto a quelle rilevate su campioni ottenuti con gli impasti descritti in precedenza e comunque, simili o di poco inferiori a quelle del materiale standard di riferimento.

Altri studi riguardano l'inserimento negli impasti da porcellana di silice micronizzata, rifiuto industriale nel processo produttivo di silice molto fine (*Prasad C.S. et al., 2002; Ibrahim D.M. et al., 2001*).

Sostituendo in impasti ceramici per stoviglieria il quarzo con tale materiale di scarto in percentuali del 5-25%, si ottiene una riduzione della temperatura di sinterizzazione di circa 50-100°C rispetto all'impasto standard di riferimento. Inoltre, con il 10% di silice micronizzata si osserva un aumento di resistenza meccanica, circa il 10%, ed una diminuzione dell'espansione termica, circa il 6%. Tali effetti sono attribuibili al minor contenuto in quarzo e all'aumento della fase vetrosa. Il contenuto in mullite non sembra invece essere influenzato dalla presenza di silice micronizzata.

Sono stati anche studiati gli effetti sulla porcellana da stoviglieria, della cenere di pila di riso (*Prasad C.S. et al., 2001; Agrawal B.M., 1989; Borthakur P.C. et al., 1980*).

Tale scarto costituito praticamente da silice fortemente reattiva, è utilizzato quale sostituto del quarzo. La progressiva sostituzione determina una precoce sinterizzazione del corpo ceramico con una riduzione, rispetto al materiale standard di riferimento, di circa 50-100°C della temperatura di greificazione. Si assiste inoltre, ad una significativa diminuzione dell'espansione termica e ad un aumento di resistenza meccanica del prodotto, imputabili al ridotto contenuto in quarzo e all'aumento di fase vetrosa. Anche in questo caso, il contenuto in mullite non sembra essere influenzato dalla presenza di tale tipo di scarto.

#### **2.7.4 Terracotta**

La terracotta, come la porcellana, si ottiene da impasti costituiti da argilla, quarzo e feldspati. La sua sinterizzazione non è completa e il corpo ceramico è caratterizzato da un livello di porosità medio-alta. La smaltatura, ottenuta in seconda cottura, riveste una duplice finalità: estetica e di impermeabilizzazione.

Sono stati effettuati alcuni studi per valutare l'effetto dell'aggiunta di scarti di vetro ad impasti per terracotta. In particolare, la sostituzione di feldspati con vetro derivante da *fly ash* (*Karamanova E. et al., 2001*), ha favorito la sinterizzazione, determinando una diminuzione della temperatura di cottura di 100-120°C. Si è inoltre osservato, un aumento di resistenza a flessione del 40% dovuto alle modifiche verificatesi nelle fasi mineralogiche del corpo ceramico. Durante il processo di greificazione si sono infatti formati pirosseni che hanno determinato una diminuzione della fase amorfa e contribuito a rinforzare il corpo ceramico.

*Il Parte "Sperimentazione"*

## Metadologie e Strumentazione da laboratorio adottate

Nel seguente capitolo vengono illustrate le metodologie adottate per lo svolgimento delle prove da laboratorio su materie prime e prodotto finito, nonché la strumentazione da laboratorio necessaria a tale scopo.

### 3.1 Introduzione

Caratterizzare un materiale equivale a conoscerne la composizione chimica, la microstruttura, nonché le proprietà. Numerose sono oggi le tecniche analitiche e diagnostiche per poter fare ciò; nel caso di materie prime destinate all'industria ceramica, le principali possono essere raggruppate nel seguente modo<sup>1</sup> (Tabella 3.1).

**Tabella 3.1 – Tecniche analitiche per lo studio delle materie prime ceramiche**

Caratterizzazione chimico-fisica e mineralogica	Caratterizzazione tecnologica del crudo	Caratterizzazione tecnologica del cotto
<ul style="list-style-type: none"> <li>• XRD</li> <li>• XRF</li> <li>• microsonda elettronica</li> <li>• calcimetria</li> <li>• capacità di scambio cationica</li> <li>• densità e porosità</li> <li>• pH</li> <li>• umidità</li> <li>• reologia (viscosimetro)</li> <li>• granulometria</li> <li>• colore</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dilatometria</li> <li>• analisi termiche</li> <li>• microscopio riscaldante</li> <li>• umidità e perdita al fuoco</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• microscopia elettronica</li> <li>• ritiro</li> <li>• assorbimento acqua</li> <li>• modulo di rottura</li> <li>• colore</li> </ul>

### 3.2 Analisi mineralogica

Molte proprietà delle argille e delle altre materie prime ceramiche dipendono dal tipo e dalla quantità dei vari minerali da cui sono costituite, cosicché la loro identificazione è di primaria importanza. Si tratta però di un'operazione difficile sia per le dimensioni molto piccole dei minerali argillosi sia perché raramente tali materie prime sono composte da minerali puri e ben cristallizzati.

<sup>1</sup> [www.terra.unimo.it](http://www.terra.unimo.it)



L'analisi mineralogica permette di riscontrare la presenza di singole fasi cristalline in un campione, risalendo, così, alla sua composizione mineralogica, fondamentale per definire le caratteristiche tecnologiche della materia prima stessa.

La diffrazione a raggi X è oggi, un affidabile e rapido metodo per l'identificazione mineralogica.

### 3.2.1 Diffrazione a raggi X

L'analisi diffrattometrica a raggi X (X-Ray Diffraction-XRD) consente determinazioni qualitative e semiquantitative delle fasi cristalline e delle percentuali amorfe, allo stato solido o liquido, presenti nei materiali. L'assorbimento relativo dei raggi X da parte della materia, è funzione del numero atomico medio e della densità della materia stessa. In particolare le sostanze cristalline hanno la proprietà di diffrangere i raggi X con un angolo legato alle dimensioni del reticolo e, quindi, caratteristico della sostanza stessa; misurando tale angolo e l'intensità dei raggi X diffratti è possibile identificare la sostanza e stimarne l'abbondanza nel campione.

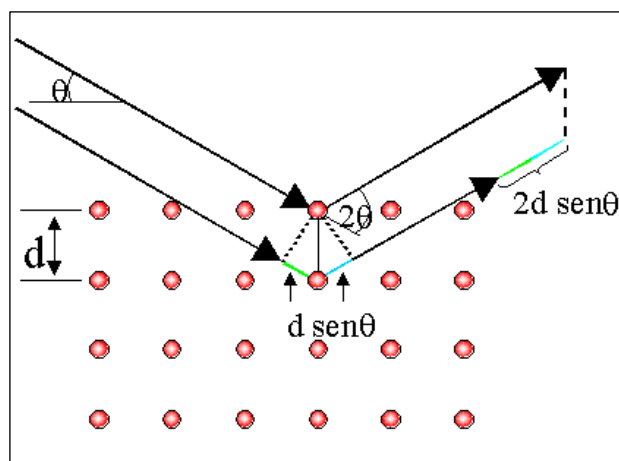
Il diffrattometro utilizza, infatti, un fascio monocromatico di radiazioni che, diretto verso un cristallo, attraversa una serie di piani reticolari con un angolo di incidenza  $\theta$  e viene diffratto dagli atomi, ioni o molecole, che incontra lungo il percorso. Una parte dei raggi è riflessa secondo lo stesso angolo  $\theta$  e, in questo caso, dato che la diffrazione ha luogo su diversi piani reticolari si avranno vari raggi paralleli che hanno compiuto percorsi di lunghezza differente. Se questa differenza corrisponde ad un numero intero di lunghezze d'onda ed i raggi emergono in fase, si ha un aumento dell'intensità radiante. Qualora invece i raggi non siano in fase, ma sfasati di mezza lunghezza d'onda, si assiste ad un loro annullamento reciproco (si tratta del fenomeno dell'estinzione). Il fenomeno dell'irraggiamento viene espresso dalla relazione di Bragg (*Mottana A., 1993*):

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

dove:

- $d$  è la distanza fra due piani adiacenti del cristallo;
- $\theta$  è l'angolo di incidenza e diffrazione;
- $\lambda$  è lunghezza d'onda della radiazione X;
- $n$  è un numero intero (*Figura 3.1*).

Di conseguenza, se si indirizzano dei raggi X di lunghezza nota su un cristallo da identificare, rilevando i valori degli angoli  $\theta$ , è possibile conoscere le distanze interplanari caratteristiche del cristallo e, quindi, individuare l'identità del campione. Poiché non esistono due sostanze chimiche diverse che formino cristalli nei quali la spaziatura dei piani cristallini sia identica in tutte le direzioni, uno studio completo in cui il campione assume tutte le possibili posizioni angolari rispetto al fascio di raggi X darà un risultato caratteristico e unico per ciascuna sostanza.



**Figura 3.1** – Schematizzazione della legge di Bragg

Adoperando raggi X monocromatici per avere informazioni corrispondenti a tutte le facce possibili, l'analisi viene effettuata utilizzando una polvere microcristallina. Questa contiene infatti un così grande numero di particelle cristalline, da essere sicuramente orientate in tutte le possibili direzioni rispetto a quella dei raggi X incidenti e da soddisfare certamente la relazione di Bragg. Con tale metodo, detto di Debye-Scherrer o delle polveri, ci saranno, pertanto, raggi diffratti corrispondenti a tutti i piani cristallini della sostanza esaminata (Bocchi, G, 1991).

Attualmente le identificazioni si avvalgono di uno strumento, un contatore Geiger-Muller (Bonatti S. et al., 1996), che rileva i raggi X diffratti, che soddisfino le condizioni espresse dall'equazione di Bragg, e di un'unità di controllo, collegata con un sofisticato sistema software, che commuta gli impulsi elettrici in meccanici, permettendone la registrazione grafica.

Si ottengono così i cosiddetti diagrammi diffrattometrici caratterizzati da una serie di picchi più o meno intensi, che si ergono al di sopra della linea di fondo; quest'ultima risulta tanto più innalzata, quanto maggiore è la quantità di fase amorfa presente nel materiale esaminato. Per l'identificazione mineralogica ci si avvale di tavole interpretative, che riportano le distanze reticolari dei vari minerali riproducendone anche i caratteristici diffrattogrammi (Pei-Yuan Chen, 1977): ciascun picco è caratteristico di una specie mineralogica; ogni minerale ha comunque più picchi di riflessione e, talvolta, un picco può corrispondere anche a due diverse specie cristalline causando problemi interpretativi, comunque di facile superamento. Gli inconvenienti maggiori che si possono incontrare nell'interpretazione dei diffrattogrammi sono principalmente dovuti al fatto che, nell'analisi di miscele complesse quali sono le ceramiche, è problematico individuare eventuali picchi caratteristici di fasi secondarie. L'analisi diffrattometrica è anche di tipo quantitativo. L'ammontare di una determinata specie mineralogica è fatto attraverso metodi matematici, che si basano sulla proporzionalità tra area dei picchi e quantità di fase

presente (Eberhart J. P., 1991).

Lo strumento per diffrazione a raggi X su polveri, rappresentato in *Figura 4.10*, è costituito essenzialmente da:

- un generatore di raggi X;
- un monocromatore;
- un goniometro ad altissima precisione, che consente di orientare il campione rispetto alla sorgente dei raggi X;
- un portacampione che permette di posizionare la slide contenente le polveri da analizzare;
- un collimatore di uscita, che serve per eliminare i raggi X divergenti dal cammino rettilineo;
- un rivelatore che raccoglie i fasci di emissione dovuti alla diffrazione e li trasforma in segnali definiti, misurabili e archiviabili.



*Figura 3.2 – Diffratometro a raggi X*

### **3.3 Strumenti e metodi per l'analisi termica**

Le analisi termiche si utilizzano diffusamente per caratterizzare prodotti sia naturali che di sintesi, composti organici ed inorganici. Applicate ai materiali ceramici, oltre a rappresentare un ovvio metodo per prevedere il comportamento di una singola materia prima o di un impasto durante l'essiccazione, la cottura o il raffreddamento, le analisi termiche sono un ottimo ausilio per la determinazione mineralogica, essendo i risultati ottenibili strettamente correlabili alla struttura cristallina ed alle trasformazioni di fase dei vari minerali.

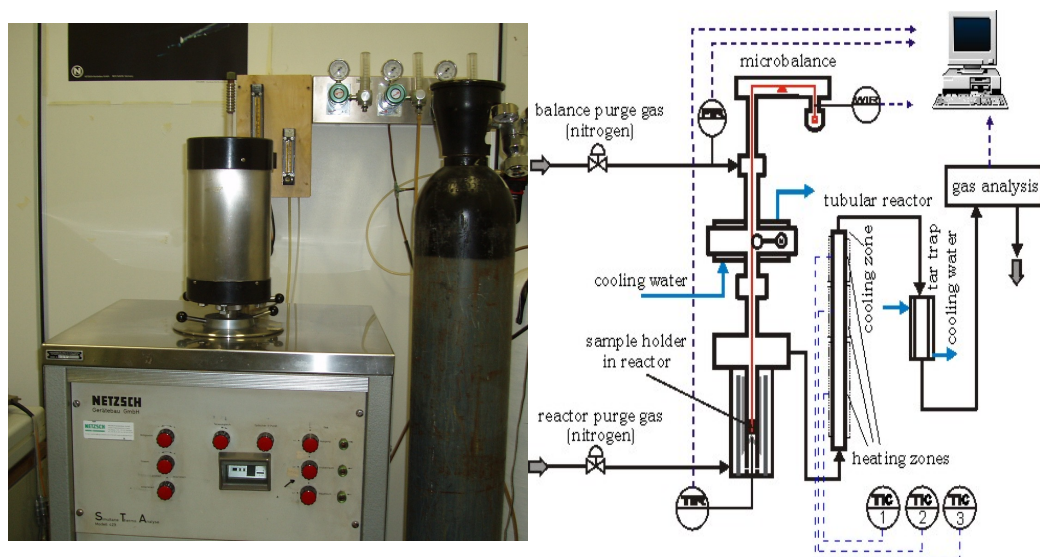
I metodi di analisi termica utilizzati nel presente lavoro sono prospettati nella *Tabella 3.2*:

**Tabella 3.2 – Metodi di analisi termica**

Metodo	Proprietà misurata
Analisi termogravimetrica (TG)	Variazioni di peso
Analisi termogravimetrica differenziale (DTG)	Variazioni di peso
Calorimetria differenziale a scansione (DSC)	Calore assorbito o ceduto

Le analisi TG, DTG e DSC vengono effettuate simultaneamente attraverso la strumentazione schematizzata in *Figura 3.3*. E' costituita essenzialmente da:

- una bilancia;
- un dispositivo di riscaldamento;
- un'unità di controllo e di misura della temperatura;
- un apparecchio di registrazione delle variazioni di massa e di temperatura;
- un sistema di controllo dell'atmosfera intorno al campione.



**Figura 3.3 – Strumento per l'analisi termica e schema di funzionamento**

### 3.3.1 Analisi termogravimetrica (TG)

La termogravimetria è una tecnica di analisi termica che consente di misurare, con continuità, le variazioni di peso conseguenti alle trasformazioni (cambiamenti di fase o reazioni chimiche), che si verificano, quando una sostanza è sottoposta a riscaldamento

programmato. I valori registrati sono riportati in una curva termogravimetrica o termogramma, che mette in relazione le temperature (ascissa) con il peso (espresso anche in percentuale) della sostanza analizzata (ordinata).

I termogrammi sono caratterizzati da una serie di tratti orizzontali continui, (ripiani), corrispondenti ad intervalli di temperatura durante i quali il peso del campione rimane quasi costante e da una serie di gradini verticali corrispondenti a variazioni di peso che avvengono a temperatura costante. L'alzata di ciascun gradino è proporzionale alla quantità di peso perduta dal campione durante la reazione (*Bauer H. H. et al., 1985*).

Poiché il comportamento termico di una sostanza è tipico di questa, il suo termogramma è caratteristico nelle temperature di inizio e fine delle decomposizioni e nelle altezze dei gradini, anche se per prove in campioni diversi si deve tener conto che questi parametri sono influenzati dalla strumentazione e dalla quantità e dalle caratteristiche del campione esaminato. In un campione costituito da più sostanze, il termogramma risulta dalla sovrapposizione di quelli relativi alle sostanze presenti.

### **3.3.2 Analisi termogravimetrica differenziale (DTG)**

L'analisi termica differenziale è una tecnica in cui viene misurata la differenza di temperatura tra una sostanza e un materiale di riferimento durante un programma controllato di temperatura. Generalmente tale programma consiste in un riscaldamento del campione e del materiale di riferimento condotto in modo tale che la temperatura del campione, aumenti linearmente nel tempo. Si può osservare una differenza di temperatura tra il campione e la sostanza di riferimento inerte quando il campione subisce mutamenti dovuti al calore sviluppatosi durante una reazione: se la variazione di entalpia è positiva, (reazione endotermica nella quale è assorbito calore), l'aumento di temperatura del campione sarà più lento rispetto a quello della sostanza di riferimento. Se la variazione di entalpia è negativa, (reazione esotermica nella quale si sviluppa calore), l'aumento di temperatura del campione sarà più veloce rispetto a quello della sostanza di riferimento. La differenza tra la temperatura del campione e quella del riferimento, viene valutata e riportata in un grafico in funzione della temperatura del campione per fornire un termogramma differenziale.

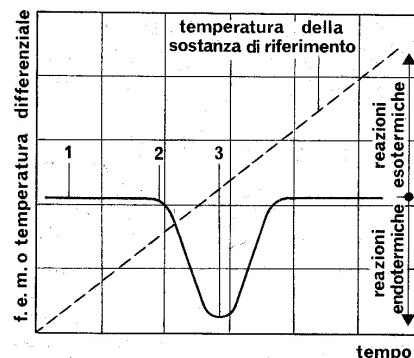
Questa analisi viene eseguita istantaneamente con quella termogravimetrica, in quanto registra la derivata prima della perdita in peso del campione in funzione della temperatura, consentendo di precisare la temperatura alla quale avviene il cambiamento di peso massimo. I punti di flesso nel diagramma TG possono essere facilmente evidenziati dai corrispondenti picchi della curva DTG. Inoltre l'ampiezza di tali picchi definisce l'intervallo di temperatura in cui si sviluppano le trasformazioni.

Le curve di riscaldamento termo-differenziali sono più utili sia qualitativamente che quantitativamente rispetto alle termogravimetriche. Posizioni e forme dei picchi grafici aiutano a determinare la composizione del campione, mentre l'area da essi formata,

essendo proporzionale al calore di reazione e alla quantità di sostanza presente, permette un'analisi quantitativa. L'andamento della curva può essere usato inoltre per una valutazione del processo da un punto di vista cinetico, per la determinazione dei punti di fusione, ebollizione e decomposizione dei composti.

### 3.3.3 Colorimetria differenziale a scansione (DSC)

È un metodo termo-analitico per mezzo del quale si misura la differenza di energia assorbita, o eventualmente liberata, in seguito alle trasformazioni subite dalla sostanza analizzata confrontata con uno standard inerte, quando entrambi sono sottoposti ad un riscaldamento. Il materiale di riferimento deve essere scelto sulla base della stabilità termica, non deve mostrare cambiamenti di fase o decomposizione all'interno del range di temperatura prescelto. Nel momento in cui si effettua la misura, una termocoppia è a contatto con il campione da analizzare e con il materiale termicamente inerte. Entrambi, campione e materiale di riferimento, sono sottoposti allo stesso incremento di temperatura (costante nel tempo): le loro temperature restano coincidenti fino all'istante in cui, ad esempio, si arresta quella del campione (per il verificarsi di una reazione endotermica) mentre quella della sostanza continua a crescere con regolarità (Figura 3.4). Questa differenza di temperatura genera nel circuito una f.e.m. dovuta alla differenza di potenziale registrata ai capi della termocoppia. In corrispondenza dell'insorgere della forza elettromotrice, la curva DSC presenta un picco; altrimenti presenta andamento lineare. Infatti, terminata la trasformazione, la giunzione più fredda si riscalda alla temperatura di quella più calda e la f.e.m. si annulla. Tale rimane per ulteriori aumenti della temperatura, fino a che non sopravvengono ulteriori trasformazioni.



**Figura 3.4** – DSC relativa ad una trasformazione endotermica

L'area del picco di una curva DSC, cioè l'area sottesa dal picco fino alla linea di base (la linea orizzontale che corrisponde alle fasi in cui non c'è praticamente differenza tra le temperature del provino e dell'inerte) è la misura della quantità di calore utilizzata (reazione endotermica) oppure ceduta (reazione esotermica) dal provino (Ciantelli G., 1972).

Sul diagramma DSC, dove le temperature sono riportate in ascissa e le quantità di energia associate al processo in ordinata, ogni reazione indotta termicamente nel campione,

è registrata come un minimo o un massimo. Un processo endotermico sviluppa un voltaggio di un certo segno e, per convenzione, viene registrato con un picco negativo; un processo esotermico invece, sviluppa un voltaggio di segno opposto e corrisponde ad un picco negativo.

### 3.4 Microscopia elettronica a scansione (SEM)

Il microscopio elettronico a scansione (SEM) è uno strumento di ottica elettronica molto usato per la caratterizzazione delle superfici dei materiali e le osservazioni microstrutturali, in grado di fornire ingrandimenti fino a 100.000x. Il microscopio a scansione consente di rilevare informazioni preziose sulle proprietà dei materiali, poiché queste ultime dipendono in buona parte da dimensioni, forma e orientamento delle unità strutturali (Mottana A., 1993). Le parti principali dell' apparato sono rappresentate in *Figura 3.5*.



*Figura 3.5 – Microscopio elettronico a scansione SEM*

#### 3.4.1 Principio di funzionamento SEM

Le immagini della topografia superficiale di campioni in alta risoluzione con eccellente profondità di campo sono prodotte usando un fascio di elettroni (emesso per effetto termoionico da un filamento di tungsteno nel nostro caso) altamente focalizzato e scandito sulla superficie del campione. Il fascio esploratore raggiunge normalmente circa 100 Å di diametro, con una corrente tra  $10^{-10}$  e  $10^{-12}$  A ed una tensione alla sorgente tra 10 e 40 KV. Non è direttamente utilizzato per formare l'immagine, ma fornisce una scansione di essa. Gli elettroni, diffusi all'indietro dalla superficie dell'oggetto investita dal fascio elettronico, sono raccolti da uno scintillatore. Il segnale amplificato da un fotomoltiplicatore è utilizzato in un tubo a raggi catodici, il cui fascio elettronico percorre

per linee lo schermo fluorescente, in sintonia col fascio primario che esplora l'oggetto da osservare. Compare allora sullo schermo del tubo televisivo l'immagine dell'oggetto.

L'emissione degli elettroni secondari è confinata al volume intorno alla superficie di impatto del fascio. Ciò consente di ottenere immagini tridimensionali: la tridimensionalità è dovuta alla profondità alla quale penetra il fascio e all'effetto ombra generato dagli elettroni secondari (SE). L'osservazione al microscopio elettronico effettuata con un detector per gli elettroni retrodiffusi (BSE), permette un facile riconoscimento dei vari minerali presenti: la tonalità di grigio è funzione del peso atomico medio del materiale in esame. Tanto più questo sarà elevato, tanto più il colore tenderà al grigio-chiaro o bianco.

Per le analisi SEM di fondamentale importanza risulta la preparazione del campione. Quest'ultimo può essere tanto spesso quanto sottile, lucidato oppure naturale e, se non è naturalmente conduttore, deve essere ricoperto da un sottilissimo strato d'oro o grafite, prodotti tramite sputtering. Tale metallizzazione superficiale evita l'accumulo di cariche, le quali renderebbero l'immagine SEM brillante e dunque difficilmente interpretabile.

Inoltre durante l'esecuzione dell'analisi, sono prodotti raggi X, che danno informazioni qualitative e quantitative degli elementi che compongono il campione.

Più precisamente l'analisi chimica nel microscopio elettronico a scansione (SEM) viene realizzata misurando l'energia e la distribuzione delle intensità dei raggi X generati dal fascio elettronico sul campione utilizzando un rivelatore a dispersione di energia EDS (spettrometria per dispersione di energia). La microanalisi che si effettua può essere sia di tipo puntuale che areale in base al tipo di materiale e al risultato che si vuole ottenere (Armigliato A. et al., 1980).

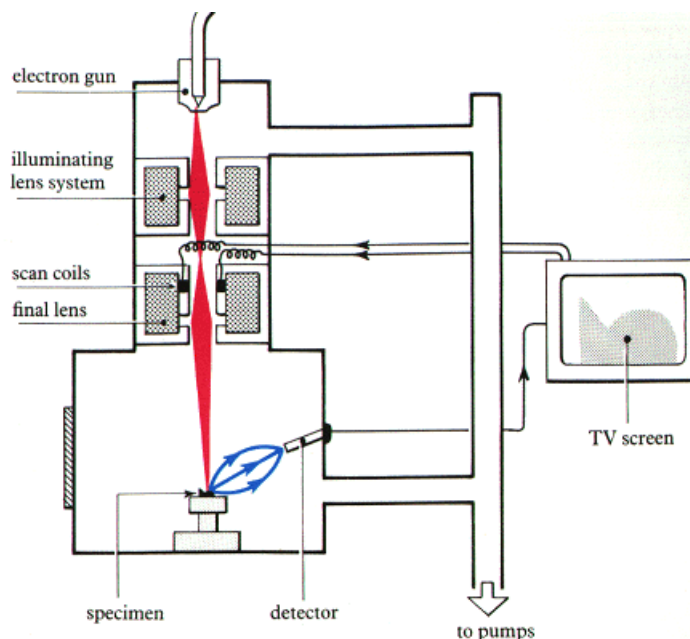


Figura 3.6 – Schema funzionamento SEM



### 3.5 Spettrofotometria di assorbimento atomico

La spettrofotometria di assorbimento atomico si basa sull'assorbimento degli atomi degli elementi di alcune radiazioni di definita lunghezza d'onda. L'assorbimento atomico è seguito da un processo di rilassamento che avviene per via non radiante (termica) o radiante (emissione di radiazioni). Per determinare la quantità di un elemento si può atomizzare il campione in cui è contenuto, eccitare i suoi atomi con radiazioni di opportuna lunghezza d'onda e misurare l'entità della radiazione assorbita (più precisamente, *flusso radiale*). Alle normali temperature di esercizio (che sono relativamente basse) la maggior parte degli atomi si trova nello stato fondamentale e una parte, sia pur minima, può trovarsi in uno stato termicamente eccitato. Questi atomi, perciò, non partecipano al processo di assorbimento che si intende misurare. In particolare, l'entità degli atomi eccitati alla temperatura operativa è data dall'espressione:

$$\%_{\text{atomi eccitati}} = (N_{\text{eccitati}} / N_{\text{stato fondamentale}}) * 100 = (e^{\Delta E/KT}) * 100$$

Tale percentuale è però bassissima. L'assorbimento, che dipende dal numero di atomi nello stato fondamentale, è direttamente proporzionale all'intera popolazione di atomi presenti sul cammino ottico della radiazione e quindi alla concentrazione dell'elemento nel campione (se l'atomizzazione viene ottenuta con una fiamma) oppure alla quantità dell'elemento (se l'atomizzazione viene ottenuta con sistemi senza fiamma). In queste condizioni l'assorbimento atomico sia pure in un intervallo di linearità abbastanza ristretto segue una legge analoga alla legge di Beer. Per un generico elemento eccitato da una radiazione monocromatica i cui atomi siano dispersi in fase gassosa abbiamo che:

$$A = N * b * x$$

Dove:

- x è il coefficiente spettrale di assorbimento atomico
- b lo spessore dello strato assorbente (il cammino ottico)
- N il numero totale di atomi liberi
- $A = \log I_0/I$

Con:

- $I_0$  = radiazione entrante (riferimento)
- I = radiazione uscente

Considerazioni Generali: Gli spettri a righe vengono oggi impiegati non solo per condurre un'*analisi qualitativa*, essendo tali spettri caratteristici per ogni atomo (e questo è dovuto alla specifica distribuzione energetica degli orbitali), ma soprattutto per condurre un'*analisi quantitativa*. Questa tecnica è altamente specifica (e questo è un indubbio vantaggio), ma ha dei limiti:

- è applicabile solo ad elementi metallici;
- ciascun elemento richiede una diversa sorgente di radiazione (lampada a catodo cavo).

### **3.5.1 Spettrometri di assorbimento atomico (AAS)**

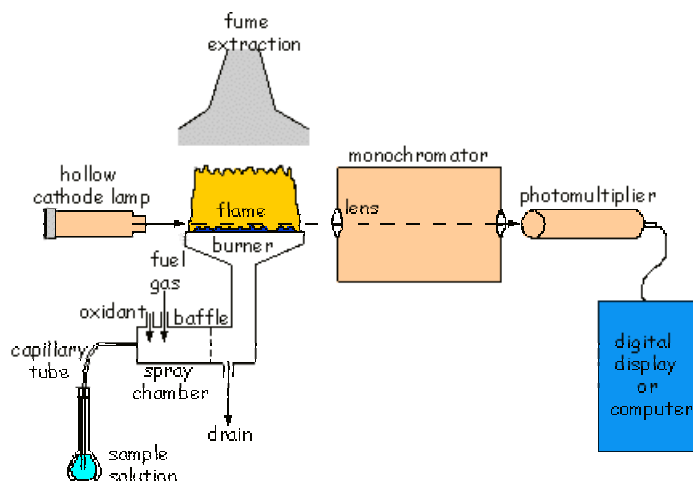
La spettrometria di assorbimento atomico (AAS) è ancora oggi, a più di 40 anni dalla sua introduzione come procedura analitica, una tecnica irrinunciabile per qualunque laboratorio di analisi, nonostante l'introduzione di tecniche alternative basate sull'emissione in plasma (ICP). Questo è dovuto principalmente alla sua elevata specificità e selettività, nonché al fatto che è una strumentazione d'uso relativamente semplice. Nella spettrometria AAS, l'intervallo utile di lunghezze d'onda dipende dalla sorgente della radiazione, dai componenti del cammino ottico e dal rivelatore. In pratica il campo spettrale va da 852,1 nm, la lunghezza d'onda più sensibile per il cesio, a 193,7 nm, la lunghezza d'onda più usata per l'arsenico: lo spettrometro per AAS opera perciò nel campo spettrale degli spettrofotometri UV-vis. L'insieme di tutte le parti ottiche e meccaniche necessarie a generare, guidare, disperdere, selezionare e rivelare l'energia radiante viene definito *spettrometro* (Polesello A. et al., 1995).

Nella versione monoraggio la sorgente emette solo le radiazioni (pressoché monocromatiche) dell'elemento che ci interessa. Nello strumento a doppio raggio le differenze sono limitate alla presenza ed alla funzione del raggio di riferimento. In questo caso il raggio di riferimento non passa attraverso la zona di atomizzazione. Il suo compito, infatti, non è quello di passare attraverso il bianco (il che sarebbe impossibile perché la fiamma non è assolutamente uniforme in ogni suo punto, quanto quello di compensare le variazioni di intensità della sorgente o di sensibilità del rivelatore o, infine, le fluttuazioni del sistema elettronico in genere).

La qualità di uno spettrometro è, in gran parte, funzione del rapporto segnale/rumore (S/N), che dipende principalmente dalla capacità di trasmettere la radiazione; la qualità dipende perciò dalla capacità di adattare il fascio luminoso:

- alle dimensioni della sorgente luminosa;
- al sistema di atomizzazione;
- all'apparato di dispersione spettrale;

nonché dal numero e dalla qualità dei pezzi che compongono il sistema ottico.



**Figura 3.7** – Schema funzionamento AAS

### 3.5.2 Le sorgenti

In AAS la sorgente di radiazioni è un dispositivo in grado di generare radiazione elettromagnetica, generalmente mediante una scarica elettrica nel vuoto o in un plasma a bassa pressione. Le sorgenti poste in contenitori sigillati con un gas di riempimento stazionario sono chiamate lampade. In AAS si preferiscono sorgenti che generano radiazioni a linee discrete in grado di emettere le linee spettrali di uno o più elementi: di questo tipo le più usate sono le lampade a catodo cavo e lampade a scarica senza elettrodi. Le sorgenti a spettro continuo trovano applicazioni, in genere, solo nella correzione del fondo. La predilezione per le sorgenti a spettro discontinuo è essenzialmente dovuto al fatto che con sorgenti a spettro continuo in genere si ottengono bande molto larghe rispetto alle bande di assorbimento atomico.

Se la sorgente è continua l'energia delle radiazioni che raggiungono il rivelatore, in presenza o meno di assorbimento atomico, è praticamente uguale. In queste condizioni risulta difficile misurare con adeguata precisione l'entità dell'assorbimento. Quando invece la sorgente emette uno spettro a righe, la misura dell'assorbimento non comporta problemi. I tipi di sorgente discontinua (o meglio di radiazioni il più monocromatiche possibili) sono tre:

- *Lampade a catodo cavo;*
- *Lampade a scarica elettronica di gas;*
- *Lampada a scarica di radiofrequenza.*

#### 3.5.2.1 Lampade a catodo cavo (HCL)

Da sempre le sorgenti più usate. Esse contengono un catodo cavo, generalmente cilindrico, composto dallo stesso elemento da analizzare, o da una sua lega. L'anodo è in

genere di tungsteno o nichel. Il cilindro di vetro porta una finestra di quarzo trasparente, ed è riempito con un gas inerte (neon o argon) a una pressione di 1 kPa.

Il meccanismo di funzionamento è semplice. Se si applica agli elettrodi una differenza di potenziale di 100-200 V si verifica una parziale ionizzazione del gas di riempimento (ad esempio Argon). Gli ioni positivi  $Ar^+$ , accelerati dal campo elettrico, urtano il catodo e provocano l'espulsione di atomi di metallo allo stato fondamentale: questo fenomeno è detto *sputtering* e porta alla formazione di atomi vaporizzati, i quali collidono successivamente con altri atomi di  $Ar^+$ , eccitandosi.

Nelle moderne lampade HCL si ottiene un aumento di intensità di emissione, separando il processo di sputtering catodico dal processo di eccitazione degli atomi. In commercio esistono due tipi di lampade a catodo cavo:

- *Lampade a singolo elemento*: con queste si possono effettuare analisi di singoli elementi, e per questo sono adatte ad analisi di routine;
- *Lampade a multi elemento*: con queste è possibile analizzare più elementi in successione. Il catodo in questo caso è ricoperto da più elementi (ovviamente compatibili) in lega. Sono più versatili delle prime perché consentono un certo risparmio, ma comportano anche una diminuzione della sensibilità dell'analisi e danno anche origine, talvolta, a problemi di sovrapposizione delle righe spettrali.

L'invecchiamento delle lampade e il loro esaurimento dipendono ovviamente dalla velocità con cui l'elemento vaporizza. Dal punto di vista analitico, è importante che il rivelatore possa leggere soltanto l'intensità luminosa uscente, e non anche quella che si genera inevitabilmente nella fiamma (in seguito alla riemissione energetica di tipo radiante da parte degli atomi o delle molecole eventualmente presenti nella fiamma stessa). Tale emissione indesiderata è ovviamente continua, e rappresenta perciò un problema. Il rivelatore viene messo in condizione di riconoscere solo la radiazione che ci interessa effettuando una modulazione del segnale entrante; questa modulazione può essere ottenuta o per mezzo di un settore rotante (chopper, cioè per via meccanica) o alimentando la sorgente con corrente alternata. In conseguenza di ciò la corrente di alimentazione prevista per ogni lampada è continua per gli strumenti a modulazione meccanica (monoraggio con chopper); alternata nell'altro caso (biraggio).

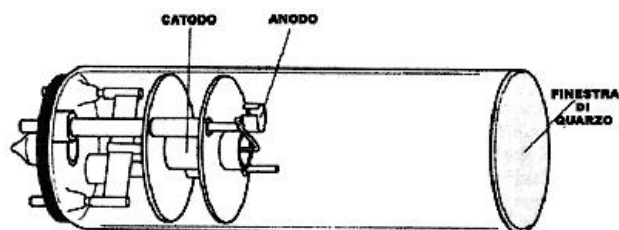


Figura 3.8 – Schema di lampada a catodo cavo

### 3.5.3 Atomizzatori di fiamma

La tecnica di atomizzazione in fiamma è la più antica tra le tecniche AAS ed è ancora indispensabile in qualunque laboratorio di routine. Il dispositivo più utilizzato è un bruciatore a premiscelazione e a flusso laminare. Il processo si basa sulla nebulizzazione di una aliquota di campione (sempre in soluzione) in una fiamma, la quale deve avere abbastanza energia per vaporizzare e atomizzare il campione.

La soluzione viene aspirata attraverso un *nebulizzatore* pneumatico, la cui velocità di aspirazione deve essere regolata ed ottimizzata ogni qualvolta si inizi un'analisi; la velocità non deve superare un certo valore perché altrimenti si avrebbe un abbassamento della temperatura della fiamma, riducendo così l'efficienza dell'atomizzazione e quindi, la sensibilità dell'analisi.

Dal nebulizzatore la soluzione viene introdotta come spray di aerosol fine nella *camera di premiscelazione* dove l'aerosol del campione viene mescolato con una miscela combustibile-comburente. Il gas comburente (rappresentato da aria o protossido di azoto) serve per mantenere viva la fiamma, ma funge anche da gas di trasporto per il nebulizzatore; esso ha quindi due entrate, una nella camera di premiscelazione e una nel nebulizzatore: ciò consente di variare il flusso del nebulizzatore senza variare il flusso alla testata.

Ricordiamo che l'uso di una camera di premiscelazione evita di avere linee che portano il combustibile e l'ossidante insieme; inoltre nella camera di premiscelazione è presente un dispositivo che serve per abbattere le goccioline di soluzione troppo grosse.

La miscela ottenuta viene quindi trasferita nel *bruciatore* vero e proprio dove avviene la volatilizzazione e l'atomizzazione. I materiali con cui sono costruiti i dispositivi del bruciatore sono studiati per essere i più inerti possibili, così il nebulizzatore è di acciaio inox mentre la testata è di titanio. Possono essere usati vari tipi di fiamma a seconda dell'elemento da analizzare: aria-acetilene (2300 °C), aria-idrogeno (2050 °C), protossido d'azoto-acetilene (2800 °C) e aria/argon-idrogeno (300-800 °C).

I requisiti di un bruciatore devono essere i seguenti:

1. sicurezza operativa in un ampio intervallo di rapporto ossidante/combustibile;
2. alta stabilità termica e ridotto tempo di riscaldamento;
3. resistenza alla corrosione;
4. geometria della fiamma stabile e conforme alla geometria del fascio;
5. lunghezza massima possibile per sfruttare al massimo la legge di Lambert-Beer;
6. bassa tendenza a formare incrostazioni anche con soluzioni con solidi sospesi.

Tra i sistemi di atomizzazione senza fiamma citiamo:

- Sistema a fornetto di grafite;
- Sistema a vapori freddi;
- Sistema di campionamento a idruri volatili.

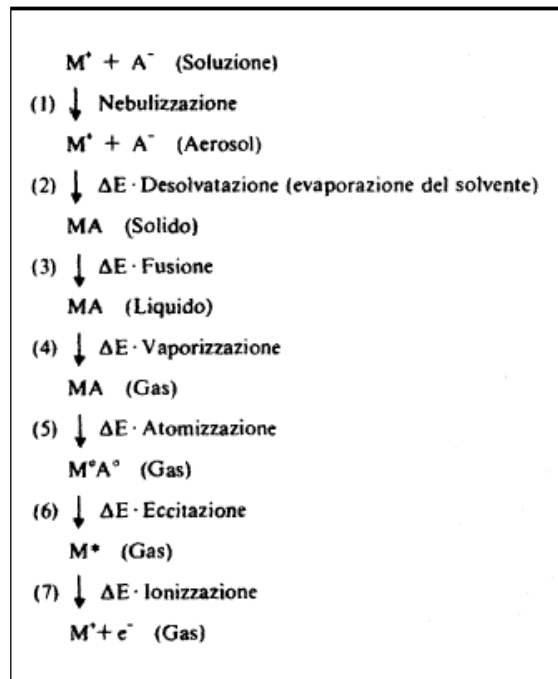


Figura 3.9 – Sistemi di correzione dell'assorbimento di fondo

Come noto, affinché si realizzi il processo di assorbimento atomico è necessario che la specie chimica interessata venga trasformata in atomi individuali, a partire da ioni. Il campione nebulizzato viene aspirato nel bruciatore dove si miscela con il combustibile e il comburente. Sulla fiamma il solvente evapora ed il sale disciolto fonde, evaporando poi a sua volta. Fino a questo punto l'elemento in esame si trova legato ad un anione, risultando una molecola che non presenta il fenomeno dell'assorbimento atomico. L'energia della fiamma (o del fornello) permette però la dissociazione in atomi, e la successiva eccitazione. L'energia termica fornita acquista perciò un'importanza fondamentale. La fiamma aria-acetilene è in genere sufficiente per atomizzare la maggior parte degli elementi determinabili via assorbimento atomico. Fiamme meno calde aumentano le interferenze perché l'energia che forniscono è insufficiente all'atomizzazione completa. Il numero di atomi che si formano nella fiamma determina la quantità di luce assorbita. Se un componente qualsiasi presente nella soluzione modifica il comportamento (e il numero) degli atomi che arrivano alla fiamma, le letture di assorbanza possono risultare anche molto diverse.

È quindi molto importante che le soluzioni standard usate per costruire la retta di taratura siano il più possibile simili alla soluzione da analizzare. Abbiamo capito che durante un'analisi mediante spettrofotometria di assorbimento atomico possono verificarsi numerose interferenze; queste vengono distinte in:

- interferenze spettrali;
- interferenze non spettrali.

### **Preparazione del campione e svolgimento dell'analisi**

Lo strumento adoperato in laboratorio è uno SHIMADZU modello AA-6300, pilotato da un Pentium 2 dotato di software applicativo SHIMADZU per spettrofotometria di assorbimento atomico, dotato di atomizzatore in fiamma (nebulizzatore, camera di premiscelazione e bruciatore), le cui sorgenti di radiazione (lampade) sono del tipo a catodo cavo a singolo elemento.

Una quantità pari a 55 gr di campione di scarto è stata immersa in 850 ml di acqua distillata all'interno di un becher per 10 giorni in condizioni isolate in maniera tale da essere certi che ciò che si trova nella soluzione sia stato rilasciato esclusivamente dallo scarto. A questo punto la soluzione filtrata è stata sottoposta a spettrofotometria di assorbimento atomico secondo le modalità descritte nei paragrafi precedenti.



*Figura 3.10 – Spettrofotometro di assorbimento atomico SHIMADZU modello AA6300*

### **3.6 Porosità dei prodotti finiti**

La porosità totale è definita come il rapporto tra il volume di vuoti, cavità, fessure e spazi intergranulari, presenti all'interno di un materiale, e il suo volume totale.

La porosità è un parametro molto importante per la classificazione dei prodotti ceramici, incide sulla compattezza, sulla capacità di assorbire liquidi e gas e sulle proprietà meccaniche. E' fondamentale nel controllare la resistenza meccanica, dato che le cavità possono diventare siti di concentrazione degli sforzi.

La porosità dipende dalla forma e dalla distribuzione granulometrica delle particelle di un campione e si distingue in aperta e chiusa.

La porosità aperta detta anche apparente, è costituita da spazi vuoti comunicanti tra loro e con la superficie esterna ed è espressa dalla seguente formula:

$$U_a = \frac{V_p}{V_a} \cdot 100$$

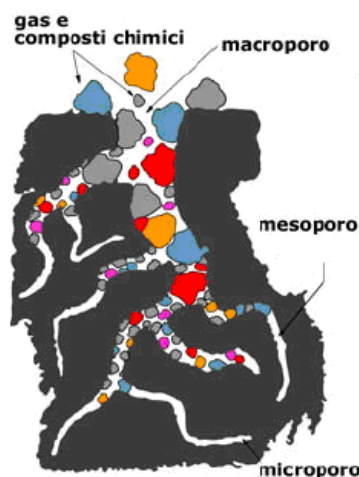
dove:  $V_p$  è il volume corrispondente al peso di acqua assorbita e  $V_a$  è il volume dell'acqua spostata dal corpo immerso (volume apparente). La porosità chiusa è costituita da vuoti che non comunicano con la superficie esterna e si misura tramite la densità del materiale (Kingery W. D. et al., 1976; Emiliani T., 1971).

La dimensione dei pori è un fattore importante nella relazione tra porosità e proprietà dei materiali, perché ha una diretta influenza sul tipo e sull'entità delle interazioni tra le specie permeate e la superficie stessa.

Per questo è importante distinguere la porosità in sottoclassi e classificare i materiali porosi in funzione delle dimensioni dei pori.

Si definisce macroporosità quella che caratterizza la microstruttura ed è diretta conseguenza della tecnologia impiegata nella sua produzione. La microporosità è invece una caratteristica intrinseca delle fasi solide che costituiscono il materiale e dipende dalla loro natura chimica e dalla loro struttura. Una classificazione più rigorosa dei materiali si può effettuare dividendoli in (Figura 3.11):

- microporosi (diametro dei pori fino a 20 Å);
- mesoporosi (diametro dei pori da 20 Å a 500 Å);
- macroporosi (diametro dei pori da 500 Å a 1000 Å)<sup>2</sup>.



**Figura 3.11** – Classificazione della porosità di un materiale

Nel presente lavoro, al fine di avere una valutazione sulla porosità sono stati utilizzati due metodi:

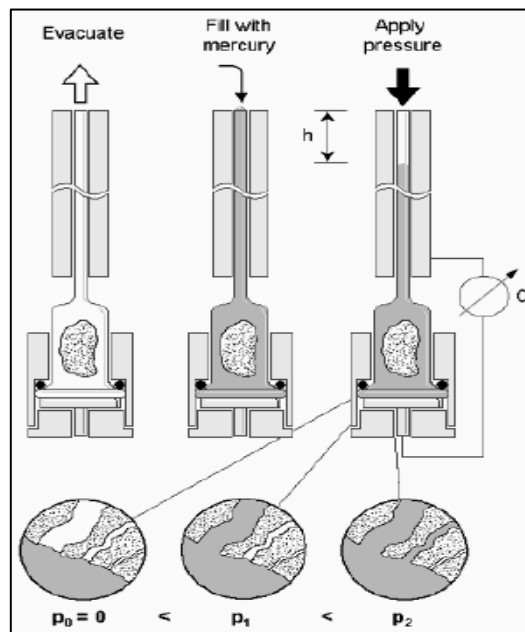
- ❖ Assorbimento d'acqua;
- ❖ Porosimetria a mercurio.

<sup>2</sup> [www.antonio.licciulli.unile.it/didattica\\_2005](http://www.antonio.licciulli.unile.it/didattica_2005)



### 3.6.1 Porosimetria a mercurio

La porosità aperta e le dimensioni dei pori sono misurati tramite porosimetria a intrusione di mercurio. Questa tecnica consente di quantificare e dare una distribuzione della grandezza della porosità, in particolare della macroporosità, di un corpo, avvalendosi della proprietà del mercurio di non bagnare la maggior parte delle sostanze con le quali viene a contatto. La dimensione dei pori e la quantificazione del volume sono calcolate immergendo il campione, di cui si vuole misurare la porosità, sotto una quantità stabilita di mercurio e poi aumentando la pressione idraulicamente allo scopo di forzare l'ingresso di questo liquido nei pori del materiale in analisi. Infatti, aumentando la pressione il raggio dei pori che possono essere riempiti di mercurio diminuisce e conseguentemente il totale ammontare di mercurio intruso aumenta (*Figura 3.12*).



*Figura 3.12 – Schema del funzionamento del porosimetro a mercurio*

Dai dati ottenuti con il porosimetro si ha direttamente la distribuzione pori-volume e, con l'aiuto di un modello fisico, è possibile ricavare la distribuzione della dimensione dei pori stessi.

La porosimetria a mercurio consente di valutare anche altri parametri quali il volume cumulativo e l'area specifica dei pori. Tali parametri, mediante un software applicativo, sono ricavati dall'elaborazione automatica del grado di penetrazione del mercurio in funzione della pressione esercitata e del peso del campione. Il volume cumulativo è direttamente ricavato dalla curva del volume intruso e rappresenta il volume occupato complessivamente da tutti i pori di diametro maggiore o uguale al valore letto in ascissa.

La determinazione della dimensione dei pori mediante la tecnica della penetrazione del mercurio è basata sul comportamento dei liquidi non bagnanti nei capillari (Figura 3.13). Un liquido non può entrare spontaneamente in una piccola cavità che ha un angolo di bagnabilità maggiore di 90 gradi, a causa della tensione superficiale (depressione capillare), tuttavia questa resistenza può essere superata esercitando una certa pressione esterna.

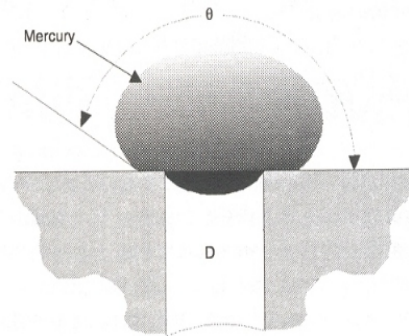


Figura 3.13 – Ingresso del mercurio nei pori del materiale

La pressione richiesta è funzione della dimensione dei pori, e la relazione tra la dimensione dei pori e la pressione esercitata quando il poro è considerato cilindrico è espressa come:

$$pr = 2\gamma \cos \theta$$

dove:

- r è il raggio dei pori;
- $\gamma$  è la tensione superficiale del mercurio;
- $\theta$  è l'angolo di bagnabilità (angolo di contatto);
- p è la pressione assoluta esercitata.

Questa relazione, comunemente conosciuta come l'equazione di Washburn, nasce dall'uguaglianza tra la forza che tende a spingere il liquido nel capillare, legata alla tensione superficiale, e la pressione interna (Emiliani T. et al., 1982). Utilizzando il mercurio, per il quale si assume la tensione superficiale di 480 mN/m<sup>2</sup> e l'angolo di bagnabilità di 141,3° e risolvendo l'equazione precedente rispetto al raggio si ottiene:

$$r = 7500 / p$$

dove:

- r è il raggio dei pori in nm;
- p è la pressione assoluta applicata espressa in kg/cm<sup>2</sup>.

Il porosimetro a mercurio utilizzato è riportato in Figura 3.14.



**Figura 3.14** – Porosimetro a mercurio

Lo strumento è costituito essenzialmente da tre parti:

- la buretta, in cui viene posto il campione precedentemente pesato;
- il sistema di pressurizzazione, che consiste in una pompa a pressione, in un'autoclave e in un moltiplicatore di pressione;
- un sistema capacitivo di monitoraggio dell'intrusione del mercurio nel campione analizzato (*Erba C.; Lucarelli L. et al., 1994*).

### **3.7 Pressa idraulica**

Si tratta di uno strumento utilizzato per testare la resistenza a flessione e compressione dei materiali. In laboratorio è presente una Walter+Bai DB 200/ 10-H.



**Figura 3.15** – Pressa idraulica mod. Walter+Bai DB 200/10-H

La sua progettazione è stata eseguita rispettando gli standard imposti dalle normative EN 196-1, EN 10002, ISO 7500-1, EN 12 390-1.

E' costituita da una parte meccanica e da una parte strumentale.

La parte meccanica si divide in due scomparti: scomparto compressione e scomparto taglio-flessione. Il comparto taglio/flessione è costituito da un basamento sul quale sono fissati due coltelli, posti ad una distanza di 10 cm, aventi superficie arrotondata per attenuare eventuali sforzi di taglio e attrito dovuti agli appoggi. Su di essi viene adagiato il provino. Un terzo coltello, collegato al circuito idraulico della macchina, scende lentamente fino a raggiungere la superficie del campione. Una volta giunto sulla superficie inizia a caricare il centro del campione con una forza concentrata costante che può essere settata da 10 a 200 KN. La velocità di avanzamento del coltello può essere controllata tramite due manovelle poste sul cassone dello strumento. Di queste una regola il sollevamento e l'abbassamento dello stesso, l'altra la velocità di avanzamento.

Lo scomparto a compressione ha un funzionamento molto simile a quello appena visto per il taglio-flessione. L'unica differenza è che non vi sono coltelli ma una semplice base su cui appoggiare il provino. In questa prova il campione non avrà più forma parallelepipedica ma cubica.

Entrambi gli scomparti posseggono un dispositivo di sicurezza che blocca il funzionamento dello strumento, nel caso in cui qualcuno aprisse l'anta della vetrinetta nella quale è inserita la parte funzionale dello strumento.

I dati provenienti da entrambi i macchinari vengono registrati e visualizzati in forma di output su un display dalla parte strumentale della macchina. Esso è costituito da una tastiera con la quale variare i parametri sui quali verranno poi tarati i valori visualizzati sul display. Tramite essa si potrà variare la forza da imprimere al campione, l'espressione dei risultati (KN o N/mm<sup>2</sup>) o avviare le operazioni di taratura o resettare la macchina.

Vi è anche la possibilità di collegare la parte strumentale ad un computer per poter gestire meglio i dati, memorizzarli su supporti magnetici o semplicemente impostarli sottoforma di grafico e stamparli su materiale cartaceo, previa installazione di una stampante al pc.

### **3.8 Macchinari utilizzati per le fasi di formatura e cottura dei laterizi**

In questa categoria si annoverano quelli strumenti utilizzati per la manifattura dei campioni.

#### **3.8.1 Mulino**

L'argilla in natura si presenta sotto forma di grosse pietre abbastanza compatte. Prima di poter effettuare qualsiasi altra operazione su di esse, è necessario ridurla in polvere.

Lo strumento a disposizione del laboratorio atto a svolgere tale compito è un mulino a coltelli della Retsch modello SM-100. La macinazione avviene per forze di taglio e divisione. Il campione passa attraverso la tramoggia ed entra nella camera di macinazione. Qui entra in contatto con il rotore equipaggiato con tre lame taglienti e viene sminuzzato tra queste e le quattro barre taglienti inserite nello strumento. Il tempo necessario al processo è breve. Infatti non appena il campione può passare attraverso le aperture del setaccio, viene scaricato nel ricettacolo di raccolta. La velocità del rotore di 1390 min<sup>-1</sup> a 50 Hz (1690 min<sup>-1</sup> a 60 Hz) assicura una rapida macinazione, senza produzione di polvere. Il prodotto macinato è velocemente scaricato con l'utilizzo di una borsa filtrante o di un filtro ad anello.



*Figura 3.16 – Mulino a coltelli  
mod. Retsch SM-100*



*Figura 3.17 – Rotore del mulino.  
Sono visibili i tre coltelli*

### **3.8.2 Mini betoniera**

Le polveri di argilla e ferrite devono essere miscelate insieme all'acqua per ottenere un impasto compatto e lavorabile. Per facilitare le operazioni di omogeneizzazione si usa una mini-betoniera della Raimondi modello Iperbet. Si tratta di un macchinario molto semplice costituito da un motore rotante che fa girare una piccola piattaforma d'acciaio. Su di essa viene poggiato un secchio di polietilene. Le polveri e l'acqua vengono inserite nel contenitore di materiale plastico. All'interno di esso viene inserito un pettine d'acciaio, fissato al corpo macchina mediante un sistema di viti, per favorire la miscelazione ed evitare accumuli di materiale lungo i bordi del contenitore. Una volta raggiunta la giusta consistenza d'impasto, il materiale viene estratto dalla base e lavorato e foggato della forma e dimensioni volute.



Figura 3.18 – Mini betoniera Raimondi mod. Iperbet

### 3.8.3 Mattoniera tipo MVP/O serie G

La mattoniera ha il compito di dare forma, mediante trafila, al materiale argilloso che ha già subito tutte le precedenti fasi di lavorazione.

L'azione di trafila è espletata da un estrusore a coclea, costituito da un'elica, che accumula e mette in pressione il materiale argilloso nella bocca della mattoniera dalla quale esce formato, sotto forma di filone continuo e con la sagoma della filiera montata sulla bocca stessa.

Mescolatore ed estrusore sono separati da una serie di griglie orizzontali attraverso le quali il materiale è costretto a trafilare sotto l'azione delle pale del mescolatore.

L'ultima pala è sistemata in opposizione, cioè nel senso di far rifluire all'indietro il materiale argilloso, favorendone così la deviazione a 90° necessaria per passare attraverso le griglie. L'avanzamento del materiale nell'estrusore prosegue poi con la stessa direzione che aveva nel mescolatore ma con senso opposto. Sotto le griglie orizzontali o posteriormente alle eliche dell'estrusore, agisce la pompa da vuoto. Anche questa disposizione nella sua estrema semplicità, non permette il completo sfruttamento delle caratteristiche della pompa, la cui azione ed efficacia non può essere molto spinta per non provocare un notevole assorbimento di materiale terroso attraverso il disco di fondo.

In questa macchina, il mescolatore e l'estrusore sono comandati da un unico motore.

La macchina è a struttura monoblocco, cioè con mescolatore ed estrusore ricavati nella stessa fusione ed è costituita dalle seguenti parti:

- *Incastellatura basamento*

Questa è la parte portante della macchina e forma il corpo vero e proprio. Essa è costituita da una fusione monoblocco in ghisa nella quale è ricavata superiormente la conca del mescolatore ed inferiormente la camera dell'estrusore. Fra le due camere trovano posto

le griglie verticali con i relativi supporti. Al basamento sono collegati da un lato la scatola rotismi e dal lato opposto l'accumulatore d'argilla con il porta-filiera.

▪ *Gruppo mescolatore*

Il gruppo mescolatore è ricavato nella parte superiore del basamento ed è costituito da una conca entro cui è contenuto il materiale argilloso durante l'azione di mescolamento e sminuzzamento esercitata dagli alberi a pale e dai coltelli di reazione sistemati nelle sue pareti laterali. Sugli alberi a sezione quadra, montati su cuscinetti a rulli, sono calzate una serie di pale mescolatrici di cui l'ultima ad azione contraria per favorire il passaggio del materiale attraverso le griglie orizzontali sottostanti.

▪ *Gruppo estrusore*

Il gruppo estrusore è ricavato nella parte inferiore del basamento ed è costituito da una camera la cui superficie interna è ricoperta da un apposito rivestimento che ostacola la rotazione dell'argilla sotto la sollecitazione provocata dall'elica durante l'estrusione. Entro questa camera ruota la coclea, costituita da una serie di eliche il cui diametro si riduce progressivamente procedendo verso la bocca della mattoniera. In questo modo si favorisce il riempimento della coclea e si provoca la pressione necessaria per l'estrusione.

Un robusto cuscinetto reggispinga assorbe la spinta assiale. Nella parte posteriore della camera dell'estrusore sono sistemate le bocche di aspirazione della pompa del vuoto che provvede all'estrazione dell'aria del materiale argilloso.

▪ *Gruppo motore*

Il gruppo motore è sistemato all'interno della struttura portante e fornisce il moto sia al mescolatore che all'estrusore. Un motore unico mette in rotazione, tramite cinghie trapezoidali, una puleggia a gole.

Questa trasmette il moto ad un riduttore ad ingranaggi e, con opportune riduzioni, sia all'albero dell'estrusore che, tramite una coppia di gemelli, ad entrambi gli alberi del mescolatore. Una pompa ad olio a pistone provvede alla lubrificazione che è di tipo misto: forzata a sbattimento.





**Figura 3.19** – *Mattoniera da laboratorio.*

Sulla parte superiore è visibile la tramoggia di carico, mentre sulla parte anteriore si nota la trafilata. Di lato è presente il manometro della pompa da vuoto.

### **3.8.4 Essiccatore termoventilato**

Dopo essere stato foggato e prima di venire cotto, i campioni vengono inseriti in un essiccatore per favorire la fuoriuscita d'umidità dal provino nella maniera meno traumatica possibile. Una rapida evaporazione, infatti, porterebbe il campione a screpolarsi e fratturarsi fino a manifestare delle vere e proprie fratture.

L'essiccatore da laboratorio è un Bicasa Mod. BE-6000. Si tratta di una camera di riscaldamento termoventilata abbastanza compatta costituita da acciaio inox. Il riscaldamento avviene per mezzo di resistenze elettriche e l'isolamento termico è assicurato da un adeguato spessore di materiale coibente.

Nella parte posteriore sono presenti due tubi, uno posto in basso, dal quale l'aria ambiente entra nella camera e l'altro, posto in alto, che funge da scarico per l'aria calda.

E' presente inoltre uno scarico dal quale vengono eliminate eventuali esalazioni, vapori o gas che potrebbero risultare sgradevoli, nocivi od inquinanti.

Il carico-scarico del materiale avviene attraverso il portellone anteriore. Nella facciata a vista sono presenti anche un display che aggiorna in tempo reale la temperatura raggiunta e la manopola utilizzata per la regolazione della stessa.



*Figura 3.20 – Stufa da laboratorio Bicasa mod BE-6000.*

### **3.8.5 Forno a camera**

Provenienti dalla fase di essiccazione i campioni vengono poi inseriti nei forni e cotti ad una temperatura adeguata. I forni utilizzati per questa fase della lavorazione sono della Nabertherm mod. LH/15-12. Tali forni sono a camera, capaci di raggiungere temperature pari a 1200°C. Il riscaldamento avviene su cinque lati garantendo un'ottima distribuzione della temperatura. Inoltre possiedono un robusto isolamento in leggeri mattoni refrattari. Nella parte superiore è presente una volta di copertura autoportante per un'elevata stabilità e per massima protezione antipolvere. Lateralmente è presente un tubo per l'aspirazione dei vapori.

Le operazioni di input e la lettura della temperatura, aggiornata in tempo reale, avvengono tramite un piccolo computer attaccato su un supporto laterale del forno.



**Figura 3.21** – Forno a camera Nabertherm mod. LH 15/12

## Capitolo 4

### Caratterizzazione materie prime argillose e materiali di scarto

*Prima di iniziare la trattazione sperimentale sui prodotti finali di produzione, bisogna caratterizzare attraverso le strumentazioni illustrate nel capitolo precedente, argilla e scarti, materie prime per la produzione dei prototipi di laterizi, oggetto del presente lavoro.*

*Studiare le caratteristiche chimico – fisiche delle materie prime e dei materiali da additivare risulta essere, infatti, la base per iniziare una ricerca in modo corretto e coerente.*

*In questo capitolo saranno accennati, dapprima, gli aspetti geologici e strutturali dell'area di campionamento delle materie prime argillose, per poi passare alla vera e propria caratterizzazione degli stessi nonché dei materiali di scarto, con lo scopo di individuarne le caratteristiche mineralogiche e chimico-fisiche peculiari e di stabilire la loro idoneità alla produzione di prodotti ceramici.*

---

#### 4.1 Introduzione

I presupposti di una buona produzione di laterizi sono rappresentati dalla conoscenza approfondita dei materiali impiegati (fase chiamata “*caratterizzazione*”). Infatti, conoscere il materiale “di base” per la costruzione di un manufatto assume particolare importanza per anticipare determinati comportamenti durante le varie fasi di lavorazione. In questo modo si possono predisporre le opportune precauzioni, nel caso in cui essi dovessero rappresentare fonti di alterazioni, tanto da garantire, così, una buona qualità al prodotto finale.

In particolare sui materiali impiegati nella produzione di mattoncini, semplicemente polverizzati, sono state eseguite le seguenti analisi:

- ❖ analisi mineralogica, eseguita mediante *diffrazione XRD*;
- ❖ analisi termica (TG,DTG,DSC);
- ❖ analisi chimica, eseguita mediante *fluorescenza XRF*;
- ❖ analisi chimica, eseguita mediante *microanalisi EDS*.

## **~ CARATTERIZZAZIONE MATERIE PRIME ARGILLOSE ~**

### **4.2 Cenni geologici-strutturali dell'area di campionamento**

Le materie prime argillose, oggetto di studio, sono estratte da una cava sita in località Perrotta nel comune di Rosarno (RC) e ricadente nel foglio 246 IV SO denominato "Limbadi" della Carta Geologica della Calabria (*Cartografia IGM, 1959*). Detto affioramento si trova a coordinate N 38° 30' 19" E 016° 00' 06.7" ad una altitudine di 75 metri s.l.m..

Il territorio comunale di Rosarno, situato nel bacino del Fiume Mesima, presenta una struttura tettonica delimitata dai massicci di granito delle Serre, ad Est, e Monte Poro ad Ovest. Il Bacino del Mesima, che rappresenta un'importante struttura a graben della Calabria centro-orientale, si è andato a formare, come altri bacini sedimentari (Valle del Crati, Bacino Crotonese, Stretta di Catanzaro, ecc) a seguito di una frammentazione causata da un sistema di faglie distensive. Questo sistema di faglie distensive, è probabilmente legato a strutture trascorrenti di grandi dimensioni che si svilupparono a partire dal Tortoniano, con presenza di numerose faglie normali Quaternarie, che hanno dato origine oltre che a bacini sedimentari anche a blocchi crostali sollevati quali la Catena Costiera, il massiccio delle Serre e la penisola di Capo Vaticano (*Tortorici G. et al., 2002*).

Il territorio può essere catalogato secondo due punti di vista:

- *geolitologico*, nel territorio comunale di Rosarno affiorano terreni sedimentari posizionati in modo discordante e trasgressivo sul substrato cristallino-matamorfoico;
- *morfologico*, l'area esaminata è inserita nel settore territoriale subpianeggiante a Nord-Est del comune di Rosarno caratterizzato da pendenze moderate e debolissime.

Sul territorio in esame non sono presenti evidenti fenomeni di dissesto, impaludamento e ristagno idrico tanto meno fenomeni di crollo e abbassamento.

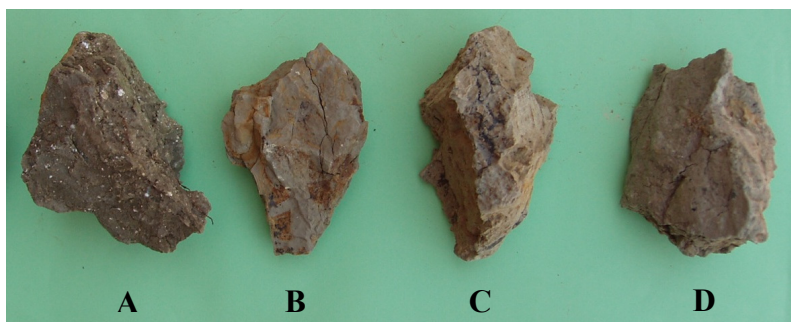
Nell'area di Rosarno si rileva una temperatura media annua tra 16-18°C (*Coloiero D., 1975*); le precipitazioni assumono valori attorno alle isoiete dei 800-900mm, con massimi stagionali in autunno ed in inverno.

L'idrologia è caratterizzata da formazioni superficiali da debolmente a scarsamente permeabili (depositi argillo-limosi e/o argille), sovrapposte a formazioni permeabili-mediate permeabili (sabbie e sabbie limose).

### **4.3 Aspetto e trattamento preliminare dei campioni di argilla**

A seguito del campionamento effettuato in modo sistematico allo scopo di rappresentare l'intera litologia affiorante sul fronte di cava, dal quantitativo totale di materiale disponibile per ogni campione, è stata prelevata una porzione sufficientemente rappresentativa per l'esecuzione delle prove di caratterizzazione previste. In modo da omogeneizzare e rappresentare al meglio ciascun campione, si è proceduto a ripetute suddivisioni e rimescolamenti.

L'argilla (*Figura 4.1*) prelevata in quattro punti diversi della cava (denominati: punto A-B-C-D), si presentava in zolle di colore grigio con tonalità variabili da un campione all'altro, con diffuse striature rossastre, per la presenza di ferro, e di colore nero, dovute alla presenza di sostanza organica.



*Figura 4.1 – Campioni d'argilla*

Da un punto di vista tecnico-scientifico, l'analisi delle singole argille è di fondamentale importanza poiché, per la produzione dei provini, esse vengono miscelate tra loro.

I campioni apparivano piuttosto umidi e dotati di un certo grado di coesione; pertanto si è dovuto procedere ad una prima frantumazione manuale avvalendosi di uno scalpello. Il tutto è avvenuto con adeguata accuratezza per evitare la contaminazione dei campioni.

L'argilla è stata essiccata alla temperatura di circa 100°C, ad eccezione della porzione utilizzata per la fluorescenza, essiccata invece a 50-60 °C.

Il materiale è stato ridotto a dimensioni grossolane utilizzando un mulino di agata (*Figura 4.2*).



*Figura 4.2 – Mulino d'agata*

Il granulato ottenuto è stato dapprima sottoposto a quartatura e successivamente polverizzato. Tale processo è avvenuto secondo modalità variabili in funzione della

dimensione granulometrica di volta in volta desiderata, sia riutilizzando il mulino, sia tramite l'uso di un mortaio e un pestello, allorché è stato necessario ridurre ulteriormente le dimensioni delle particelle.

Per effettuare l'analisi granulometrica, i campioni di argilla sono stati sottoposti al processo di stacciatura.

La stacciatura è stata eseguita a secco secondo normativa ASTM D 421, per determinare la distribuzione dei grani di dimensioni più grandi di 0,075 mm.

Dopo aver essiccato i campioni all'aria, ne è stata prelevata una porzione rappresentativa (circa 150 g), in quantità proporzionale al diametro delle particelle più grandi, come indicato dalle norme ASTM.

I campione sono stati frantumati in modo tale da separare gli aggregati di particelle ed sono stati sottoposti a setacciatura.

L'operazione di stacciatura è stata eseguita utilizzando una serie di stacci conforme alle norme citata, con aperture delle maglie che vanno da 4,75 a 0,075 mm, selezionati in funzione delle dimensioni massime delle particelle del campione in esame (*Figura 4.3*).



**Figura 4.3** - Stacciatura di un campione di argilla

Durante la prova è stato annotato il peso della frazione trattenuta su ciascun setaccio mediante una bilancia di precisione (sensibilità pari a 0,01g), quindi è stato calcolato il peso totale del campione come somma delle varie frazioni trattenute più il peso del passante all'ultimo staccio utilizzato.

Per ogni staccio, inoltre, sono stati calcolati la percentuale del materiale trattenuto (*Venturi V. et al., 1991 e 1994*), come rapporto tra la quantità di trattenuto fino a tale staccio e il peso totale del campione moltiplicato 100:

$$T_i = \frac{\sum_{j=1}^i m_j}{m_{tot}} \cdot 100$$

e la percentuale di passante, ricavata dalla differenza fra 100 e la percentuale di trattenuto fino a quello staccio:

$$P_i = 100 - T_i$$

Nelle *Tabelle A.2, A.3, A.4, A.5* in Appendice A sono riportati rispettivamente i risultati della prova di staccatura eseguita sui campioni d'argilla. In *Tabella 4.1* sono rappresentati i residui ai setacci per i diversi campioni d'argilla:

**Tabella 4.1 - Residui ai setacci per i campioni di argilla**

<b>Residui</b>									
<b>Staccio (n.)</b>	<b>Luce (mm)</b>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>		<b>D</b>	
		<b>(g)</b>	<b>(%)</b>	<b>(g)</b>	<b>(%)</b>	<b>(g)</b>	<b>(%)</b>	<b>(g)</b>	<b>(%)</b>
4	4,75	-	-	0,00	0,00	-	-	-	-
8	2,36	-	-	7,62	3,83	-	-	-	-
16	1,18	-	-	12,75	6,41	0,00	0,00	-	-
20	0,85	0,00	0,00	3,97	2,00	0,29	0,24	-	-
40	0,42	0,63	0,45	28,69	14,43	0,94	0,79	-	-
100	0,15	18,50	13,33	-	-	-	-	0,00	0,00
200	0,075	1,20	2,40	5,28	10,56	1,66	3,32	0,13	0,26

Nella *Tabella 4.2* sono indicati invece i corrispondenti passanti

**Tabella 4.2 - Passante cumulato ai setacci per i campioni di argille**

		<b>Passante cumulato</b>			
<b>Staccio (n.)</b>	<b>Luce (mm)</b>	<b>A (%)</b>	<b>B (%)</b>	<b>C (%)</b>	<b>D (%)</b>
4	4,75	-	100,00	-	-
8	2,36	-	96,17	-	-
16	1,18	-	89,76	100,00	-
20	0,85	100,00	87,76	99,76	-
40	0,42	99,55	73,33	98,96	-
100	0,15	86,22	-	-	100,00
200	0,075	84,15	61,54	95,68	99,74



#### 4.4 Calcinazione delle argille e calcolo delle perdite di peso

La calcinazione è il processo utilizzato per separare la parte volatile di una sostanza da quella fissa. Si realizza cuocendo i campioni polverizzati a diverse temperature in modo da determinare l'espulsione delle sostanze organiche e dell'acqua.

Il processo è stato eseguito al fine di rilevare sia le perdite di peso alle diverse temperature nonché le variazioni cromatiche del materiale esaminato ed eventuali modifiche di fasi mineralogiche. Inoltre le calcinazioni sono state effettuate in modo da osservare il comportamento del materiale alle diverse temperature e quindi avere un'indicazione sulla temperatura ottimale per la cottura dei prototipi di laterizi da realizzare con queste materie prime.

I campioni, polverizzati ed essiccati a circa 100°C, sono stati posti in crogioli di porcellana, di peso noto, per le calcinazioni a 300, 700, 900 e 1000°C, e in crogioli di nickel, per le calcinazioni a 1100 e a 1200°C. La quantità di materiale utilizzato è pari a 20 gr.

Le calcinazioni sono state effettuate in un forno elettrico a muffola, dove i campioni sono stati mantenuti per un'ora alla temperatura prestabilita.

I materiali sono stati lasciati nei crogioli a forno spento per un'intera notte, allo scopo di farli ritornare gradualmente a temperatura ambiente; quindi, completamente raffreddati, sono stati pesati. Determinando la differenza tra il peso totale (crogiuolo+argilla) e il peso del crogiolo vuoto, è stato ricavato il peso del campione calcinato.

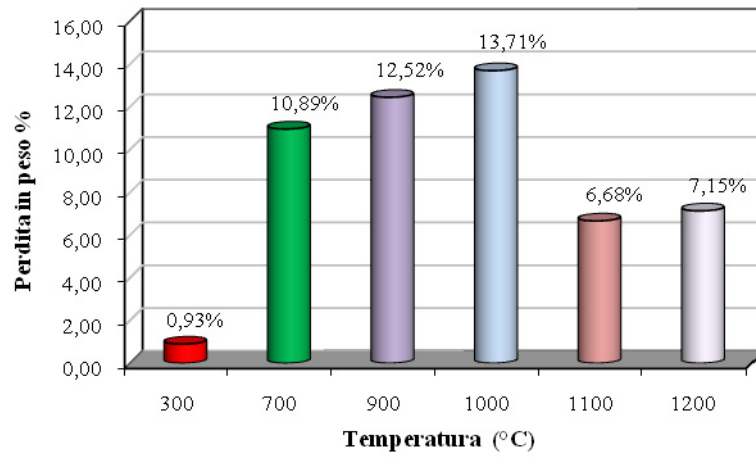
La variazione percentuale di peso di ogni campione, alle diverse temperature, è stata determinata rispetto al peso, a temperatura ambiente, attraverso la seguente relazione:

$$\Delta P = \frac{P_i - P_f}{P_i} \cdot 100$$

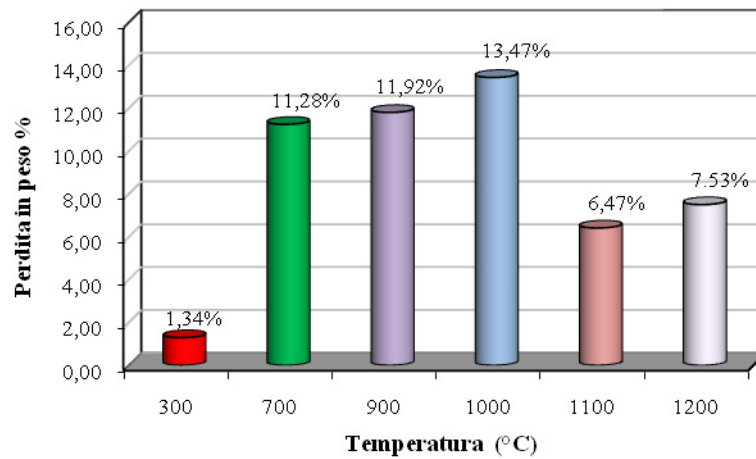
dove:

- $P_i$  è il peso del campione a temperatura ambiente;
- $P_f$  è il peso del campione al termine della calcinazione.

Nelle *Tabella A.1* dell'Appendice sono riportati il peso iniziale e finale e la perdita in peso per ciascun campione d'argilla. I valori medi sono, di seguito, raffigurati (*Figura 4.4-4.5-4.6-4.7*).



*Figura 4.4– Perdite in peso campione argilla A*



*Figura 4.5 – Perdite in peso del campione argilla B*

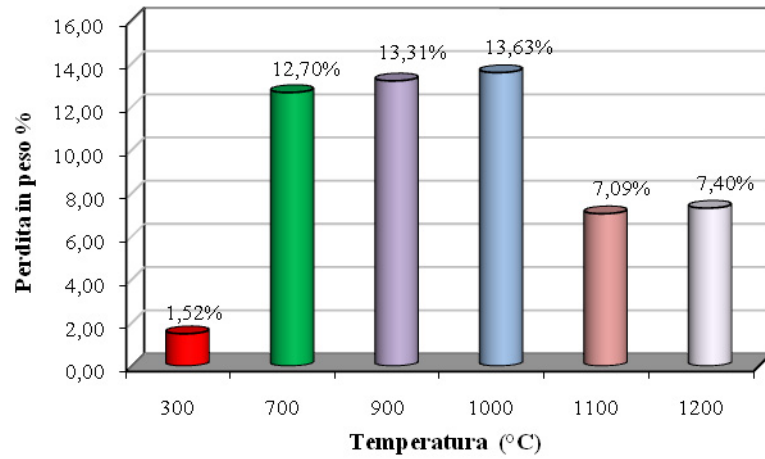


Figura 4.6 – Perdita in peso del campione argilla C

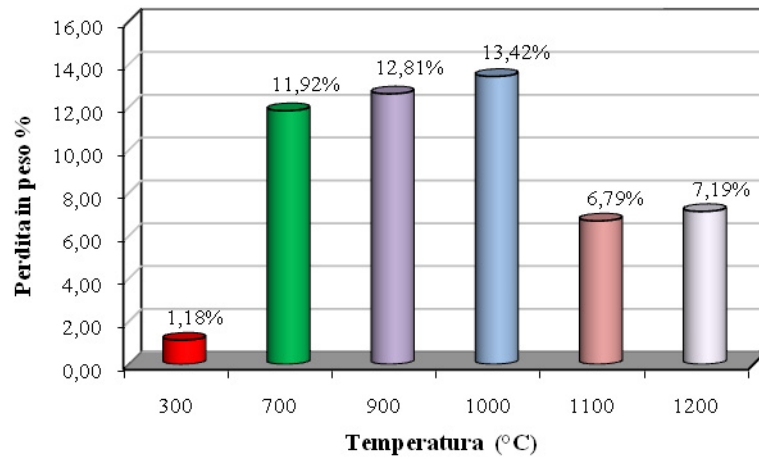
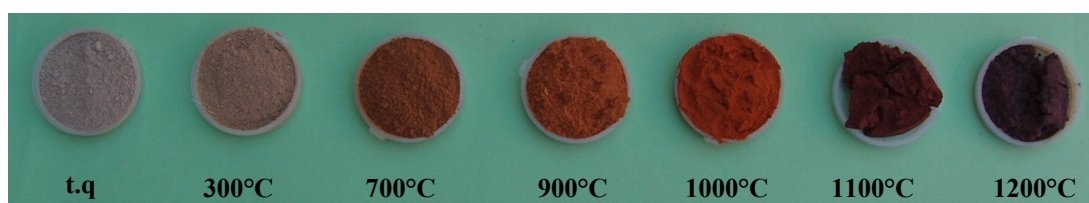


Figura 4.7– Perdita in peso del campione argilla D

Dai risultati ottenuti si osserva un andamento uniforme per i diversi campioni. Fino a 300°C si rileva una perdita in peso dovuta all'eliminazione dell'acqua di reticolo; a 700°C si assiste, invece ad un incremento della perdita in peso, a seguito della combustione delle sostanze organiche. A 1000°C si nota un ulteriore aumento della perdita in peso conseguente alla disgregazione dei minerali argillosi. Tale perdita di peso continua ad aumentare anche a temperature fino a 1200°C.

Un aspetto interessante della calcinazione è rappresentato dalla possibilità di stimare la variazione di colore del materiale al variare della temperatura. Per i prodotti ceramici, vista l'influenza che può avere sulle qualità estetiche dei prodotti finiti, il colore è di fondamentale importanza, infatti viene inserito tra le caratteristiche fisiche e tecnologiche da valutare nella caratterizzazione del materiale.

Dalle calcinazioni effettuate sui campioni di argilla in esame, si nota una variazione cromatica dal grigio dell'argilla cruda, al beige delle polveri cotte alle temperature di 300°C, all'arancio delle polveri a 700°C, fino al rosso chiaro di quelle a 900°C. I campioni cotti a 1000°C presentano il tipico colore rosso mattone; mentre quelli cotti a 1100°C sono caratterizzati da un colore rosso bruno, che diventa ancora più intenso fino a diventare rosso-violaceo alla temperatura di 1200°C. Ovviamente, a parità di temperatura, le tonalità risultano leggermente variabili a seconda dell'argilla di partenza. La presenza di queste tonalità di rosso, molto intense, indicano sicuramente una cospicua presenza di ferro trivalente nel materiale esaminato (Vocke et al. 1992). L'effetto cromatico del ferro è fondamentalmente condizionato dalla struttura cristallina entro la quale si trova l'elemento: quando è sottoforma di ematite ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), ad esempio, esso dà luogo a colorazioni rosse più o meno intense, mentre la sua presenza in silicati di varia natura (mullite, pirosseno, gehlenite, ecc) ne inibisce in buona parte la capacità colorante. Le variazioni cromatiche possono essere apprezzate nella *Figura 4.8*.



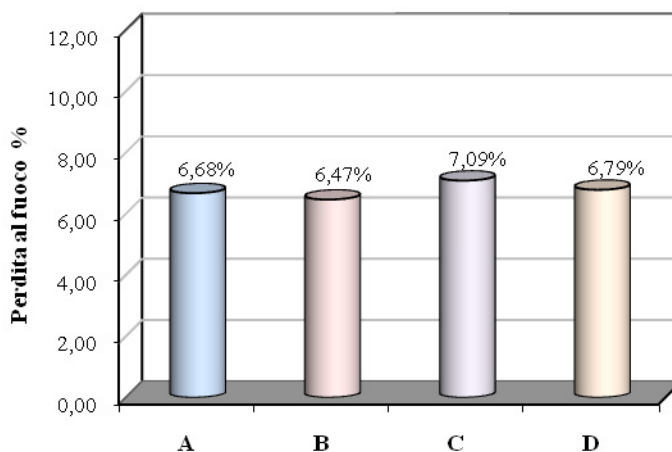
*Figura 4.8 – Variazioni cromatiche del campione di argilla campione argilla A*

#### 4.5 Determinazione della perdita al fuoco

La perdita al fuoco è definita come la perdita di peso ottenuta dalla calcinazione dei campioni di argilla a 1100°C e, rappresenta la somma ponderale di tutte le sostanze volatili a tale temperatura. La determinazione di tale parametro dà informazioni circa la stabilità della materia prima in esame, contribuendo all'identificazione delle specie mineralogiche

presenti. Per la determinazione di tale parametro sono stati pesati 20 g di campione polverizzato ed essiccato e posti, successivamente, in una muffola operante alla temperatura di 1100°C per un tempo di permanenza di circa 1 ora. La perdita al fuoco coincide, infatti, con i valori di perdita di peso delle argille, calcinate a 1100°C.

I risultati trovati per i vari campioni sono rappresentati in *Figura 4.9*.



*Figura 4.9 – Perdita al fuoco dei campioni di argilla*

Come si può osservare il campione C presenta una perdita al fuoco di poco maggiore, probabilmente dovuto ad un contenuto più consistente di sostanze volatili nella struttura a questa temperatura. Il valore più basso è invece relativo al campione di argilla B. Comunque i valori sono da ritenersi molto prossimi fra loro.

#### **4.6 Analisi mineralogica mediante diffrazione a raggi X (XRD)**

Nel presente lavoro l'analisi mineralogica, che fornisce indicazioni sulla natura delle reali fasi cristalline (componenti mineralogici) e non (fasi amorfe) costituenti il materiale, è stata effettuata tramite diffrazione a raggi X (XRD), utilizzando un diffrattometro Philips modello PW 1730/10, dotato di goniometro verticale PW 1830, pilotato da un Pentium II, con software applicativo Philips per diffrazione a raggi X su polveri. I raggi sono generati da un anticatodo di rame, in condizione di tensione e corrente rispettivamente di 40kV e di 30mA.

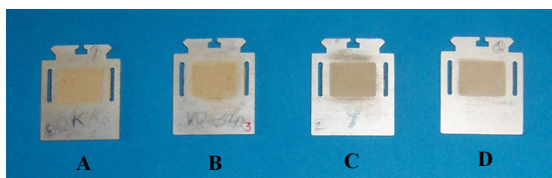
Le analisi sono state condotte sotto le seguenti condizioni:

- ✓ Angolo di scansione compreso tra 5° e 70° 2θ.
- ✓ Velocità di scansione 0.02°/s
- ✓ Radiazione CuKα.

Questa tecnica di indagine si basa sul fatto che ogni materiale cristallino ha un proprio spettro di diffrazione ai raggi X.

I risultati dell'analisi vengono rappresentati in un diffrattogramma, caratterizzato sulle ascisse dai valori della posizione angolare  $2\theta$  e sulle ordinate dall'intensità espressa in "counts per second". Si risale alla composizione di ogni argilla confrontando il diffrattogramma del campione sotto esame con quello di minerali argillosi di riferimento presenti nelle tabelle ASTM americane, di cui sono noti la composizione mineralogica, il rispettivo diffrattogramma e le distanze reticolari.

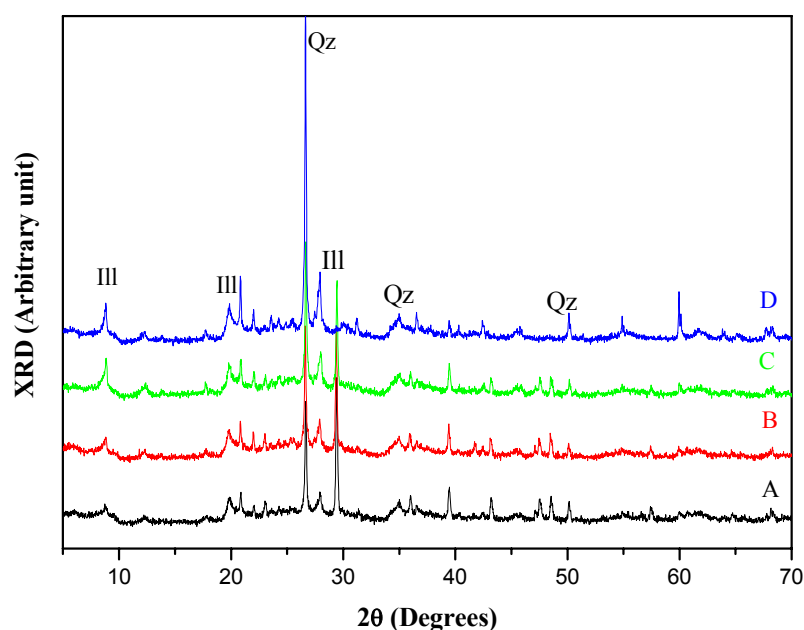
I campioni da sottoporre a prova sono stati sminuzzati dapprima mediante un mulino e in seguito polverizzati il più finemente possibile con un mortaio di agata. Tutti i campioni sono stati introdotti in slides (*Figura 4.10*) e compattati con l'aiuto di un vetrino. Infine le slides sono state introdotte nell'apposito portacampione, che è stato quindi inserito nello strumento, programmato per mezzo del computer.



*Figura 4.10* – Slides per XRD contenenti le 4 argilla esaminate

L'analisi diffrattometrica ha permesso di rilevare la composizione qualitativa dei campioni in esame, attraverso l'individuazione dei picchi associati alle diverse fasi mineralogiche.

Il grafico in *Figura 4.11* mostra lo spettro a Raggi X dei campioni di argilla utilizzati per la realizzazione delle miscele.



*Figura 4.11* – Analisi diffrattometrica a raggi X argille (Punti A-B-C-D)

Lo studio di tale spettro ci porta ad affermare che tutte e quattro le argille, sottoposte ad analisi, sono composte essenzialmente da Illite e Quarzo, caratterizzati rispettivamente dai picchi a circa  $10^\circ$   $20^\circ$   $27^\circ$   $2\theta$  per l'Illite e  $26,9^\circ$   $34^\circ$  e  $49^\circ$   $2\theta$  per il Quarzo. Inoltre sono presenti anche tracce di carbonato di calcio evidenziate dal picco  $29,4^\circ$   $2\theta$ .

#### 4.7 Analisi chimica mediante fluorescenza a raggi X sui campioni di argille

La composizione chimica delle materie prime impiegate in un processo produttivo di materiali ceramici risulta essere di fondamentale importanza, in quanto gli elementi costituenti giocano un ruolo basilare sia sulle temperature da adottare nella fase di cottura, sia sui valori di resistenza meccanica dei prodotti finiti.

Mediante quest'analisi è stato possibile definire le concentrazioni dei principali ossidi presenti nei campioni, espressi come percentuali in peso riferiti alla sostanza secca.

Le analisi chimiche sui campioni d'argilla sono state effettuate mediante fluorescenza a raggi X (XRF), utilizzando uno spettrometro Philips 25 FM.

La preparazione dei campioni, su cui eseguire la prova, è stata effettuata pesando circa 7 g di ogni campione di argilla, precedentemente essiccato ad una temperatura di  $50-60^\circ\text{C}$  e macinato finemente con un mulino d'agata. La polvere così ricavata è stata compattata all'interno di appositi contenitori cilindrici in plastica e inseriti nello strumento con cui si effettua l'analisi.

In *Tabella 4.3* si riporta la composizione chimica dei campioni d'argilla sottoposti a prova.

*Tabella 4.3 – Analisi chimica dei campioni di argilla anidri*

Ossidi Campioni	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{MnO}$	$\text{P}_2\text{O}_5$
<i>A</i>	58,20	22,37	0,98	9,45	1,60	3,09	3,18	0,92	0,11	0,10
<i>B</i>	60,31	22,13	0,92	8,02	1,40	3,01	3,12	0,86	0,09	0,14
<i>C</i>	59,97	22,09	1,12	8,21	1,12	3,20	3,26	0,85	0,06	0,12
<i>D</i>	59,86	21,89	0,95	8,89	1,25	3,06	3,07	0,85	0,04	0,14

Le argille in esame, visto l'elevato contenuto di ossidi cromofori, come  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , non sono certamente consigliate per la produzione di grès porcellanato, stoviglieria e sanitari, per i quali è necessario una bassa quantità di tali ossidi coloranti che comporta una minima formazione di una colorazione nel supporto durante la cottura (*Manfredini T., 2005*).

Le argille in esame si rivelano, invece, più adatte per la produzione di "impasti rossi", quindi per la realizzazione di mattoni (*Sacmi, 2003*).

Confrontando la composizione chimica delle argille analizzate con quella di argille attualmente commercializzate, è possibile notare innanzitutto l'elevata concentrazione di  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Ad eccezione dell'elevato contenuto in ferro, le percentuali trovate per gli altri ossidi si rivelano simili a quelle tipiche di argille illitiche e di argille destinate ad impasti colorati come quelle estratte da alcune formazioni localizzate nell'Appennino tosco-emiliano.

#### 4.8 Analisi chimica mediante microanalisi EDS

Per la caratterizzazione chimica quantitativa dei campioni è stata effettuata anche una microanalisi EDS. Come nella fluorescenza, anche in questo caso la composizione dei materiali ceramici viene solitamente espressa attraverso la percentuale in peso dei seguenti ossidi:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ . Gli ossidi volatili oltre i  $1000^\circ\text{C}$  ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ , ed  $\text{H}_2\text{O}$ ) sono normalmente indicati come Perdita al Fuoco (L.I.). La conoscenza di tali valori permette di formulare correttamente degli impasti evidenziando eventuali anomalie della materia prima analizzata. L'analisi spettrografica a dispersione di energia (EDS) viene eseguita mediante analizzatore EDS ZAF 4/FLS. La composizione chimica ricavata ha fornito i dati riportati in *Tabella 4.4*

*Tabella 4.4 – Composizione chimica dei campioni di argilla mediante EDS*

Campioni	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{SiO}_2$	$\text{MgO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{MnO}_2$	L.I. (*) (%)
Argilla A	2,43	2,22	53,30	2,28	17,43	8,09	6,85	0,72	6,68
Argilla B	2,92	2,11	53,12	2,28	18,44	6,70	7,32	0,64	6,47
Argilla C	2,47	2,37	53,29	2,68	18,72	4,62	8,76	0,00	7,09
Argilla D	2,55	2,94	55,67	2,15	18,10	4,22	6,62	0,96	6,79

(\*) L.I. : Perdita al fuoco (Loss of Ignition)

La miscela argillosa risulta essere costituita prevalentemente da  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; la somma dei due ossidi rappresenta, infatti, circa il 70 % degli ossidi totali. Inoltre si osserva una elevata percentuale in peso di  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , rappresentativa proprio del colore rossiccio caratteristico dei prodotti finiti.

#### 4.9 Analisi termogravimetrica

L'analisi termica, consente di individuare tramite l'imposizione di un programma di temperatura controllato, le proprietà chimico-fisiche dei campioni analizzati, in funzione del tempo e della temperatura. Questi fenomeni sono sempre accompagnati da effetti endotermici (assorbimento di calore) o esotermici (sviluppo di calore) oppure ancora determinano variazioni di peso o di dimensione del campione. Questo tipo di analisi può



essere sfruttata sia a scopo diagnostico, per identificare i minerali presenti nel materiale esaminato, sia a scopo tecnologico, per prevederne il comportamento in cottura.

L'analisi è stata effettuata su un piccolo quantitativo di materiale, dell'ordine di 30 milligrammi. Prima di procedere con la prova, il campione è stato pesato, tramite una bilancia elettronica di precisione, e successivamente introdotto in un crogiuolo di allumina resistente alle alte temperature. Il sistema crogiuolo-campione è stato quindi inserito nello strumento, un analizzatore termico Netzsch, modello 429. La sperimentazione è stata condotta secondo le seguenti modalità:

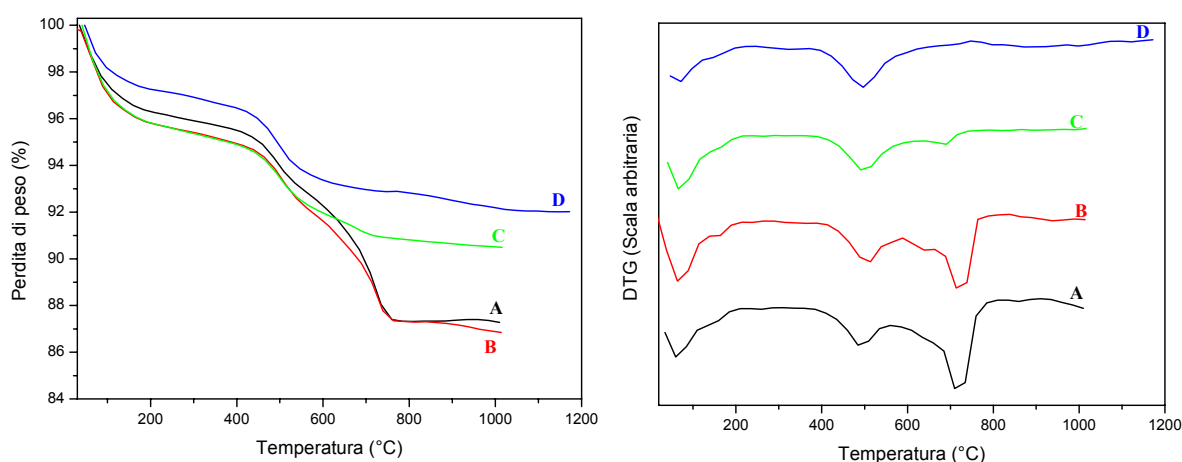
- ✓ Ambiente di reazione: Aria statica;
- ✓ Intervallo di temperatura: 20 – 1000°C;
- ✓ Velocità di riscaldamento: 10 °C min<sup>-1</sup>;

I metodi di analisi termica utilizzati in questo studio sono indicati nella seguente tabella.

**Principali metodi termogravimetrici**

METODO	PROPRIETA' MISURATA
Analisi termogravimetrica (TG)	Variazione di peso
Analisi termogravimetrica differenziale (DTG)	Variazione di peso differenziale
Calorimetria a scansione (DSC)	Calore assorbito o ceduto

In *Figura 4.12* sono rappresentate, rispettivamente, la curve TG che fornisce indicazioni sulla variazione di peso che subisce il campione durante il riscaldamento, e la curva DTG che rappresenta la derivata della prima funzione, in ogni suo punto.



**Figura 4.12** – Analisi termogravimetriche (TG-DTG) materiali argillosi

La Figura 4.13 mostra, invece, la curva DSC, che si basa sulla registrazione del comportamento endotermico o esotermico di un campione di materiale sottoposto a riscaldamento controllato.

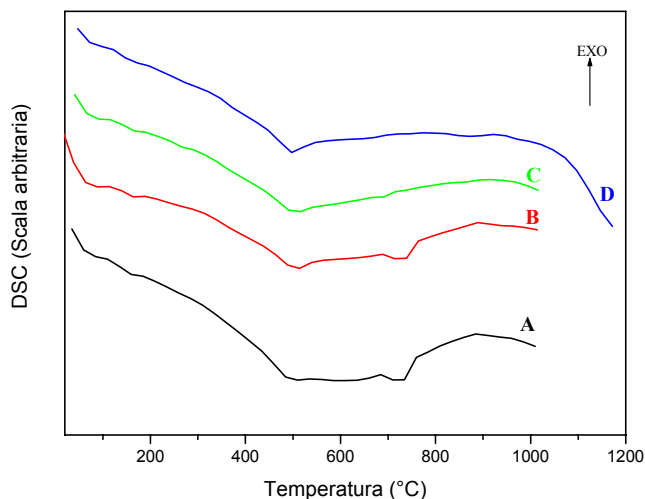
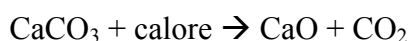


Figura 4.13 – Analisi termogravimetrica (DSC) materiali argillosi

Come si evince le perdite di peso che il materiale subisce sono di tipo endotermiche.

Le perdite di peso relative a tutti e quattro i campioni sono rappresentate rispettivamente dal picco a circa 100°C, legato all’evaporazione dell’acqua propria del materiale e a circa 500°C, caratteristico dell’allontanamento dell’acqua di reticolo. I campioni A e B (e in misura molto minore anche C) presentano, inoltre, un ulteriore picco endotermico a circa 700°C dovuto al degrado del carbonato di calcio, secondo la seguente reazione:



con l’anidride carbonica formatasi che “desorbe” dal campione.

I campioni C e D mostrano una piccola perdita ad elevate temperature. In Tabella 4.5 vengono riportati, infine, i massimi della curva DSC insieme con le perdite di peso corrispondenti.

Tabella 4.5 – Dati Analisi Termica - picco massimo curva DSC e perdita di peso in parentesi – dei quattro campioni di argilla.

Campioni	I DSC max (°C) (Perdita in %) Endo	II DSC max (°C) (Perdita in %) Endo	III DSC max (°C) (Perdita in %) Endo
Argilla A	71,3 (4,04)	492 (3,30)	723,4 (5,31)
Argilla B	75,1 (3,55)	505,9 (3,66)	725,2 (4,53)
Argilla C	80,1 (4,23)	505,7 (2,96)	987 (1,27)
Argilla D	7,1 (3,43)	500,8 (3,68)	930 (0,87)

**~ CARATTERIZZAZIONE MATERIALI DI SCARTO ~**

#### **4.10 Campionamento dei materiali di scarto**

Con il termine campionamento si intende il prelievo di una o più aliquote o elementi di materiale da analizzare, tale che, l'analisi su di esse condotta sia rappresentativa dell'intera massa o dell'insieme.

Nel caso specifico, il campionamento dei vari materiali ha costituito la prima operazione analitica. La scelta dei campioni, eseguita in modo casuale, è stata attuata in modo tale che le prove eseguite sui campioni possano essere ripetute in qualsiasi istante alle stesse condizioni senza alterazione dei risultati. Infatti, nelle prove sperimentali, l'attendibilità dei risultati è commisurata alla scelta dei campioni e alla ripetibilità delle analisi. A tal proposito la Normativa impone precise direttive sulla modalità di campionamento.

In ambito internazionale le Norme per il campionamento dei rifiuti sono stabilite dalla "Americana Society for Testing and Materials (ASTM)", dalla "International Standard Organization (ISO)", sviluppate per campionamenti particolari come materiali industriali, materiali bituminosi, ecc..

In Italia gli standard di riferimento sono le Norme dell'Ente Nazionale Italiano di Unificazione/Consiglio Nazionale delle Ricerche-Istituto di Ricerca sulle Acque (UNI-IRSA). Tali Norme stabiliscono le condizioni per il prelievo dei campioni, indicano le tecniche di prelievo in relazione alle apparecchiature utilizzate e i metodi di confezionamento.

Per quando concerne la caratterizzazione degli scarti, essa è attuata mediante le analisi già ampiamente descritte ed eseguite sulle materie prime argillose.

Si riportano, di seguito, i risultati delle prove per ogni scarto preso in esame.

## **Residui di lavorazione dello zinco proveniente dall'industria idrometallurgica (ferrite di zinco)**

### **4.11 Introduzione**

La crescita del consumo dei beni e della richiesta di servizi determinano un incremento della produzione industriale, con conseguenti effetti negativi causati dalla dissipazione di risorse naturali, di emissioni inquinanti e dal notevole accumulo di residui industriali, provenienti dalle lavorazioni primarie.

Il riutilizzo dei prodotti di scarto, dopo specifici trattamenti, si effettua normalmente, mediante processi chimici e tecnologici (Cheng T.W., 2004; Basegio T. et al., 2002; Vieira M.T. et al., 1999) finalizzati alla soluzione di tre problemi fondamentali:

- *Riduzione* delle sostanze destinate alla discarica o alla distruzione, con conseguente diminuzione di spazi, impianti e servizi necessari al loro smaltimento.
- *Risparmio* sull'impiego di materie prime, riducendo così lo sfruttamento delle risorse disponibili, specialmente quelle non rinnovabili.
- *Realizzazione* di prodotti finiti con materiali di recupero, con conseguente risparmio sui costi.

Il recupero e il reimpiego dei sottoprodotti industriali, possono essere vari in relazione alle loro componenti chimiche, fisiche, ed al loro riutilizzo.

Un coinvolgimento particolare nel recupero dei prodotti secondari è demandato al settore industriale, che può riassorbire nel ciclo produttivo i prodotti di recupero.

In generale, dall'industria metallurgica si ottengono prodotti secondari che contengono metalli pesanti, che possono essere impiegati in maniera economicamente vantaggiosa nei seguenti settori:

- ◆ *Edilizia: laterizi, granito sintetico, cemento, inerti per clinker;*
- ◆ *Pavimentazioni stradali;*
- ◆ *Prodotti vetro-ceramici.*

La riutilizzazione dei prodotti secondari dipende, principalmente, dalle dimensioni dei grani, dalla composizione chimica e mineralogica e dalle proprietà fisiche (porosità, densità, peso specifico, ecc.).

Lo zinco è un metallo di colore bianco-azzurro a struttura esagonale. A temperature ordinarie risulta essere molto fragile, ma la sua lavorazione è possibile nell'intervallo di temperatura compreso tra 100-150°C., invece a temperature superiori ai 200°C risulta essere di nuovo fragile e può essere, quindi, polverizzato.

Per le sue proprietà lo zinco è adoperato per formare vernici, leghe come ottone e argentone, lamiera, nastri ma anche minuterie metalliche, bicchieri per pile a secco, lastre per offset ed incisioni, pigmenti per l'industria della gomma ed in medicina.

Nella crosta terrestre lo zinco è presente in proporzioni di 132 g/t ed i minerali più importanti da cui viene estratto sono la blenda (da cui si ricava un minerale a base di solfuro di zinco ZnS) e la calamina.

In Italia la blenda è presente soprattutto nel territorio alpino e sardo.

Al momento circa l'80% della produzione mondiale dello zinco proviene da processi elettrolitici, il 12% è estratto per fusione, il 6% da processi elettrotermici.

La principale fonte di produzione italiana è rappresentata dalla ENIRISORSE negli stabilimenti di Portovesme in Sardegna. Un'ulteriore produzione si ha nello stabilimento Pertusola Sud di Crotone.

E' noto che prodotti industriali secondari, come i "fanghi" ottenuti dal ciclo di lavorazione dello Zinco (Leclerc N. et al., 2003; Orru` R. et al., 1999; Sanna U. 2002), prodotto dalla Pertusola Sud di Crotone, del Gruppo Enirisorse, dopo specifici trattamenti di inertizzazione, possono essere opportunamente riutilizzati.

#### 4.12 Proprietà organolettiche dei fanghi di zinco (Figura 4.13)

- Aspetto fisico: fango palabile;
- Colore: dal giallo ocra al marrone chiaro;
- Odore: inodore all'olfatto.



Figura 4.13 – Polvere di ferrite di zinco essiccata

#### 4.13 Analisi granulometrica

L'analisi granulometrica sul campione di ferrite di zinco è stata effettuata secondo Norma CNR n.27/1972 per via secca. Sono stati utilizzati, anche in questo caso, una serie di stacci normalizzati della serie UNI 2332, con ampiezza delle maglie rispettivamente pari a: 5mm, 2mm, 0.4mm, 0.18mm, 0.075mm. Per la prova sono stati setacciati circa 750 gr di campione, precedentemente essiccato a 105°C per 12 ore.

Si riportano in *Tabella 4.6* i risultati del passante ai vari stacci, espressi in percentuale.

**Tabella 4.6-** Passante ai setacci per lo scarto di ferrite

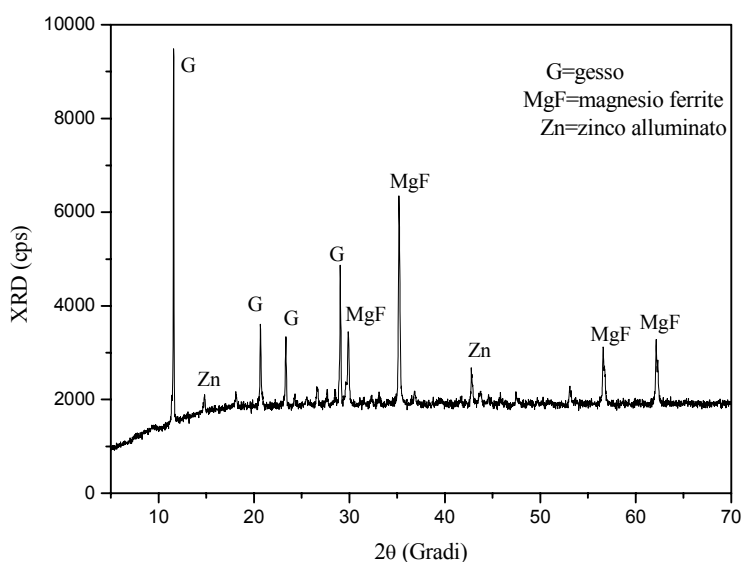
Luce (mm)	Massa campione trattenuto [gr]	Campione passante [%]
5	0	100
2	90	88
0.4	45	82
0.18	60	74
0.075	220	45
<0.075	335	0

#### 4.14 Analisi mineralogica mediante diffrazione a raggi X (XRD)

L'unica diversità sull'analisi di tale materiale, rispetto a quella eseguita sulle argille, è che esso, non essendo lapideo, e appartenendo alla categoria degli scarti industriali, è composto da numerosi elementi di natura metallica e non.

In *Figura 4.14* i numerosi picchi attestano la presenza di un gran numero di sostanze. Le più importanti sono alluminati di zinco e magnesio ferriti, insieme ad una certa quantità di gesso. Sebbene quest'ultimo non risulti particolarmente nocivo, esso potrebbe creare dei problemi in fase di manifattura e dopo essere stato posato in opera.

L'eterogeneità della ferrite viene evidenziata anche dall'elaborato dell'analisi termica (riportato in seguito).



**Figura 4.14** – Analisi diffrattometrica a raggi X ferriti di zinco

#### 4.15 Analisi chimica mediante microanalisi EDS

L'analisi della ferrite, mediante microanalisi EDS, ha messo in evidenza la seguente composizione chimica del materiale (Tabella 4.7).

Tabella 4.7 – Composizione chimica delle polveri di ferriti di zinco

Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO <sub>2</sub>	ZnO	BaO	CuO	PbO	SO <sub>x</sub>
15,48	0,18	6,72	1,39	1,05	1,39	40,24	1,12	20,21	0,66	1,33	6,14	4,09

#### 4.16 Analisi termogravimetrica

L'analisi della ferrite è stata impostata su un range di temperatura più elevato. Infatti, per la presenza di elementi metallici è consigliato raggiungere valori prossimi ai 1100°C. Raggiunta la temperatura finale è stata registrata la perdita totale percentuale che si è assestata a circa 13,46% (Figura 4.15 curva TG).

Sulla curva DTG si possono notare 3 distinte perdite di peso, che avvengono rispettivamente a circa 130 °C, 355 °C e 770 °C.

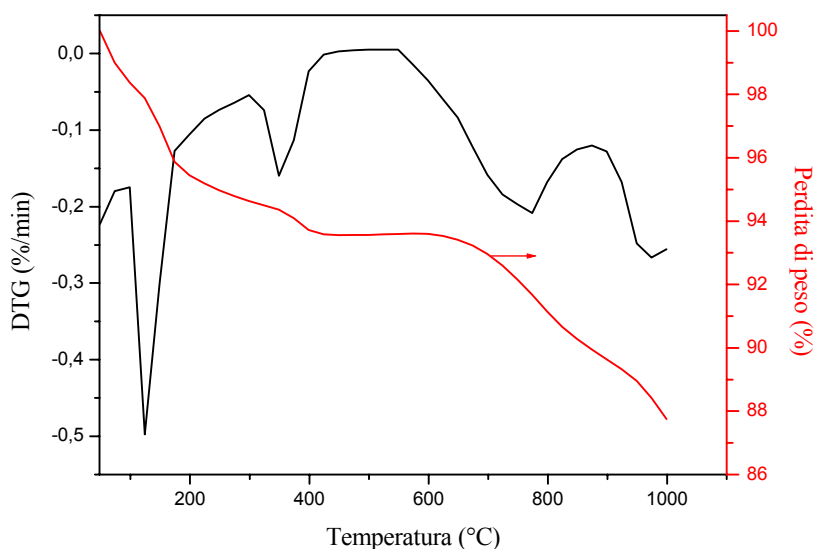
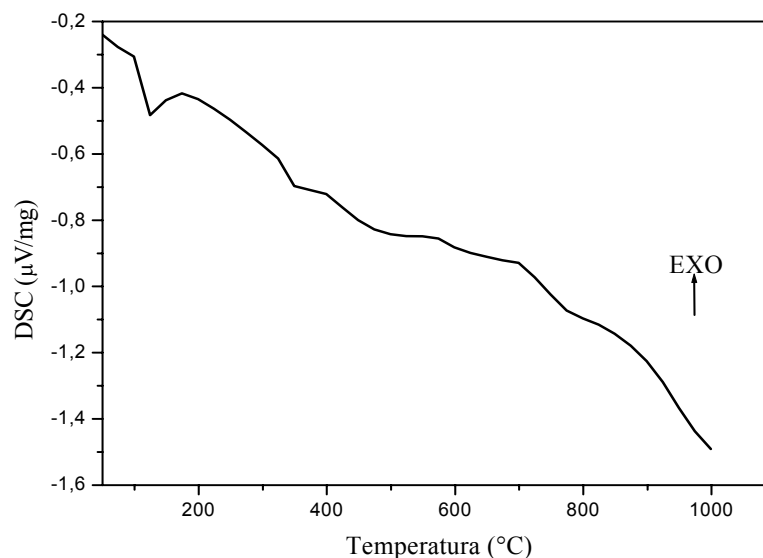


Figura 4.15 – Analisi termogravimetriche (TG-DTG) ferriti di zinco

La curva DSC (Figura 4.16) ci permette di determinare alcuni effetti termici e indirettamente risalire ai composti presenti nel campione.



**Figura 4.16** – Analisi termogrammetrica (DSC) ferriti di zinco

In *Tabella 4.8* si riportano le perdite di peso relative dello scarto di ferrite e i rispettivi massimi della curva DSC.

**Tabella 4.8** – Dati Analisi Termica - picco massimo curva DSC e perdita di peso in parentesi – dello scarto di ferrite di zinco

Campioni	I DSC max ( $^{\circ}\text{C}$ ) (Perdita in %) Endo	II DSC max ( $^{\circ}\text{C}$ ) (Perdita in %) Endo	III DSC max ( $^{\circ}\text{C}$ ) (Perdita in %) Endo	IV DSC max ( $^{\circ}\text{C}$ ) (Perdita in %) Endo
Ferriti di zinco	54,8 (1,87)	132,1 (3,65)	362,6 (0,87)	686,3 (7,07)Exo

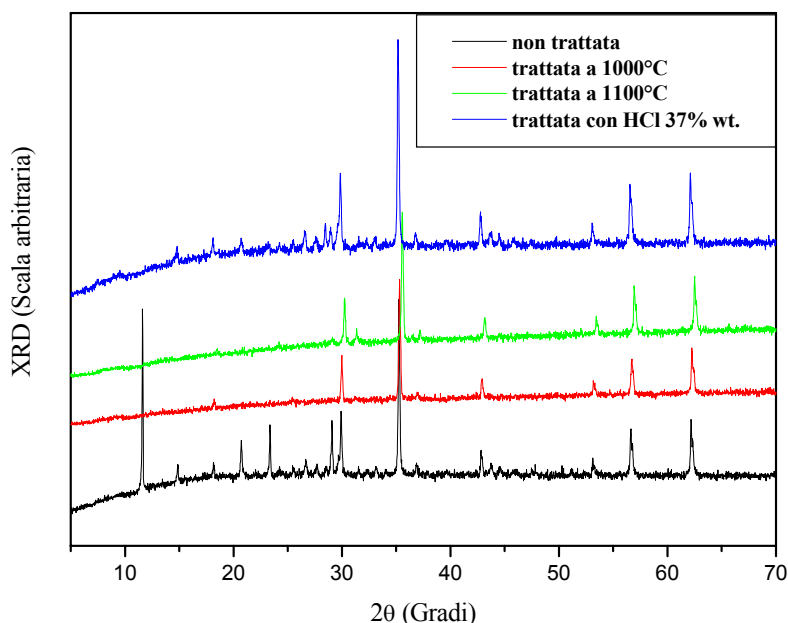
Come si può notare dalla tabella, nella ferrite sono presenti elementi come il piombo, il ferro e lo zinco che sono nocivi per la salute dell'uomo.

Per questo motivo si è cercato di inertizzare, o quantomeno ridurre, le concentrazioni di questi elementi prima di introdurli nella matrice argillosa.

Prima di iniziare la produzione dei campioni, si è provato a trattare la ferrite per via termica e chimica. Il primo trattamento è stato effettuato mantenendo questo materiale di scarto per 1 ora alla temperatura di  $1000^{\circ}\text{C}$ . Successivamente un nuovo campione di ferrite è stato posto nel forno fino a raggiungere la temperatura di  $1100^{\circ}\text{C}$ . Il secondo trattamento è stato effettuato ponendo la ferrite in una soluzione al 37% in peso di acido cloridrico (HCl) per 24 ore.

Per poter verificare se effettivamente tali trattamenti hanno prodotto un certo grado di inertizzazione, i provini sono stati sottoposti a diffrazione a raggi X. Tutti i grafici sono stati riportati nella stessa figura e confrontati con l'andamento tipico delle ferrite di zinco tal quali (*Figura 4.17*) (*Sansosti et al 2007*).





**Figura 4.17** – Analisi diffrattometrica a raggi X ferrite di zinco trattate chimicamente e termicamente

Come si può notare il trattamento più efficace è quello termico che riduce buona parte delle fasi presenti rispetto alla ferrite tal quale. Nel trattamento chimico (quello con HCl) la fase degradata è il gesso, mentre i picchi relativi alle altre sostanze sono praticamente invariati.

Inoltre si verifica che tra gli andamenti XRD ottenuti dal trattamento ad una temperatura di 1000°C e quella a 1100°C non vi sono sostanziali differenze. Per questo si è provato ad inserire la ferrite non trattata nell'impasto dei laterizi. Operando in questo modo, poiché in fase di cottura del manufatto si raggiungono temperature tra i 950 °C e i 1100°C, la ferrite dovrebbe perdere un certo grado di pericolosità. Se così fosse si otterrebbe un vantaggio dal punto di vista economico. Infatti, si eviterebbe il passaggio di una pre-inertizzazione dello scarto con guadagno di tempo e denaro.

## **Trucioli di PVC, provenienti da una piccola industria produttrice di infissi in PVC.**

### **4.18 Introduzione**

Il PVC, derivato dal sale (cloro 57%) e dal petrolio (etilene 43%), è una delle materie plastiche più utilizzate, grazie al costo di produzione contenuto, alle sue elevate prestazioni ed alle ampie possibilità applicative. E' la materia plastica più versatile ed uno dei materiali più conosciuti e studiati, sia in termini di caratteristiche e potenzialità, sia per quanto riguarda la sicurezza e l'impatto ambientale.

Il PVC fu sintetizzato per la prima volta nel 1872, e la sua produzione industriale iniziò solo nel 1936, quando si provò che, mescolato con opportuni plastificanti, poteva sostituire efficacemente la gomma. Negli anni cinquanta cominciò ad essere usato anche per altri impieghi, a partire dalla realizzazione di tubi rigidi per i sistemi di irrigazione. Da allora il suo utilizzo si è diffuso progressivamente, tanto che oggi il PVC è largamente prodotto, in tutte le società industriali più avanzate.

In circa settant'anni di vita industriale, il PVC è stato sottoposto ad una serie approfondita di studi che ne garantiscono la sicurezza e l'affidabilità. Inoltre i processi industriali di produzione sono stati innovati costantemente per aumentarne l'efficienza e la produttività e per minimizzarne l'impatto ambientale.

Il cloruro di vinile monomero (CVM) è il risultato di un processo di produzione che impiega come materie prime acido cloridrico, etilene e ossigeno.

Attraverso processi definiti come "in sospensione" o "in emulsione", il CVM viene trasformato nel polimero PVC.

Prima di essere utilizzato per la produzione di manufatti, la resina di PVC passa attraverso una fase di lavorazione: la "compoundizzazione". Questa consiste nel miscelare e nell'omogeneizzare, ad elevate temperature, il PVC con altri additivi per rendere la miscela adatta ai diversi tipi di impiego. Le sostanze che vengono aggiunte sono stabilizzanti (Sali) per impedirne l'invecchiamento e la degradazione, pigmenti per colorare, plastificanti per conferire una maggiore flessibilità ed elasticità e additivi specifici come lubrificanti per facilitare la lavorazione della miscela nelle macchine trasformatrici o per conferire ai corrispondenti manufatti particolari caratteristiche, ad esempio la resistenza alla luce ed all'atmosfera.

Il PVC è stabile e inerte.

L'estrusione è il procedimento di trasformazione delle materie plastiche attualmente più diffuso e impiegato prevalentemente, ma non esclusivamente, per la produzione di manufatti continui come tubi, profilati, film sottili, rivestimenti continui, cavi e fili, ecc.

I manufatti in PVC sono eccezionalmente durevoli, con una vita utile variabile dai 15 ai 100 anni in applicazioni quali cavi elettrici, tubi per trasporto acque e profilati per finestre.

Il PVC è un materiale di per sé rigido, atto a sopportare carichi a compressione e con buone caratteristiche di resistenza all'usura, agli agenti chimici ed al fuoco.

Il PVC rigido è utilizzato per produrre film, fogli, lastre, tubi e profili, mediante l'uso delle tecnologie ad estrusione o a calandratura. Questi manufatti rigidi sono utilizzati in settori industriali che vanno dall'edilizia ai trasporti, dall'imballaggio all'arredamento. Addizionato di plastificanti, diventa flessibile ed in questa forma viene utilizzato nel settore dei cavi elettrici e delle telecomunicazioni, nelle pavimentazioni e nei rivestimenti murali, nel settore auto, calzaturiero e in quello specialistico dei prodotti medicali. Il PVC è un materiale riciclabile e può essere riciclato su scala industriale per la maggior parte delle sue applicazioni (Buèhl R., 1996).

Attualmente si stanno cercando di sviluppare nuove tecnologie di riciclo in particolare nei seguenti campi:

- i. prevenzione per evitare i rifiuti (riutilizzo degli sfridi di lavorazione e riduzione dei rifiuti provenienti dagli impianti di produzione e trasformazione);
- ii. riciclo meccanico del materiale di rifiuto (quando e ove possibile) nello stesso settore di provenienza;
- iii. riciclo meccanico in settori alternativi (se non possibile quanto al punto precedente);
- iv. recupero come materia prima per altri settori produttivi;
- v. recupero dell'energia (termica e/o elettrica) utilizzabile ed ancora disponibile nei rifiuti di PVC .

#### 4.19 Aspetto del materiale

Il materiale in esame, provenienti da una piccola industria produttrice di infissi in PVC, si presenta sottoforma di trucioli di varie lunghezze (Figura 4.18).

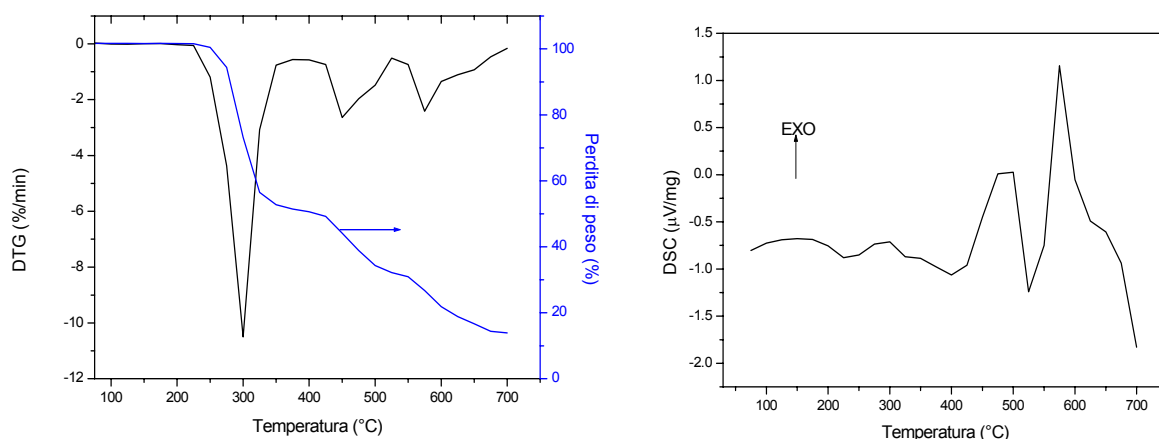


Figura 4.18 – Trucioli di scarto di PVC

Tale scarto al momento non trova nessun impiego come materiale secondario da riutilizzare in un processo produttivo, quindi l'unica alternativa di smaltimento è rappresentata dalla messa in discarica.

## 4.20 Analisi termogravimetrica

Le curve TG, DTG e DSC dello scarto sono rappresentate in *Figura 4.19*, mentre in *Tabella 4.9* sono riportati i massimi della curva DSC insieme con le perdite di peso.



**Figura 4.19** - Analisi termogravimetriche (TG-DTG-DSC) scarto PVC

La curva DSC presenta tre picchi esotermici. Il primo picco a circa 300°C, è dovuto alla combustione del materiale, il secondo e terzo picco, rispettivamente a ca 470°C e 642.9°C, sono probabilmente dovuti alla degradazione dei componenti plastici a più alta resistenza termica. La perdita di peso totale del materiale è di circa 85 %

**Tabella 4.9** – Dati Analisi Termica - picco massimo curva DSC e perdita di peso in parentesi – dello scarto di PVC.

Campioni	I DSC max (°C) (Perdita in %) Exo	II DSC max (°C) (Perdita in %) Exo	III DSC max (°C) (Perdita in %) Exo
Trucioli PVC	297,3 (64,60)	531,4 (10,44)	642,9 (10,11)

## **Fibre di cellulosa “Technocel”, provenienti da una azienda tedesca (CFE GmbH & Co. KG.)**

### **4.21 Introduzione**

Le fibre di cellulosa impiegate in questo studio sono ottenute attraverso uno speciale processo manifatturiero e sono presenti in commercio in un largo range di dimensioni che si estende dalle polveri sottili (25  $\mu\text{m}$ ) alle lunghe fibre (2500  $\mu\text{m}$ ). Le fibre sono impiegate in numerose applicazioni industriali, grazie alla vasta gamma di dimensioni e alle loro universali proprietà. Attualmente sono impiegate come additivi in:

- i. asfalto poroso;
- ii. asfalti ad alta resistenza;
- iii. asfalti modificati per speciali applicazioni.

Tali fibre sono capaci di creare una sorte di scheletro all'interno dei materiali cui sono miscelati, sostenendo la struttura dei prodotti finali in tutte e tre le dimensioni, migliorandone le proprietà di lavorazione e le caratteristiche finali.

In seguito sono riassunte le proprietà di base delle fibre di cellulosa:

- lunghezza delle fibre da 25  $\mu\text{m}$  a 2500  $\mu\text{m}$ ;
- diametri delle fibre ca. 25  $\mu\text{m}$ ;
- densità specifica ca. 1,5 g/ml;
- densità di massa tra 20 e 250 g/l;
- temperatura di resistenza tra 150°C e 200°C ca.;
- alto assorbimento e ritenuta media di liquidi;
- alta resistenza alla trazione;
- insolubili in acqua e oli;
- inerti ad acidi e basi all'interno di valori di pH compresi tra 4 e 12;
- sicuri da un punto di vista fisiologico e tossicologico.

### **4.22 Aspetto del materiale**

Le fibre di cellulosa “Technocel” sono prodotti da una azienda leader per lo sviluppo e la produzione di fibre naturali

In *Figura 4.20* sono rappresentate le fibre e la corrispettiva struttura chimica.

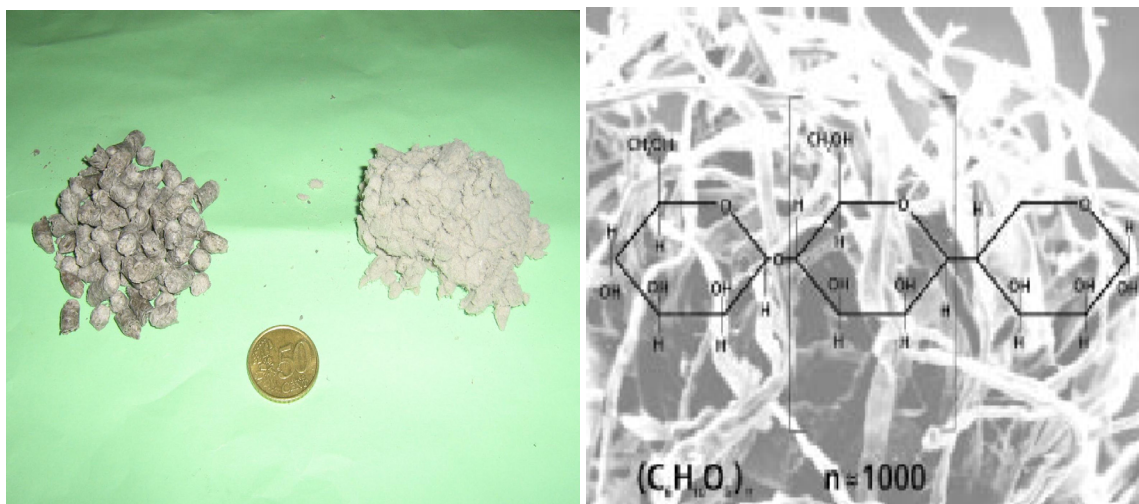


Figura 4.20 – Fibre di cellulosa “Technocel”

### 4.23 Analisi termogravimetrica

Le fibre di cellulosa sono state caratterizzate da un punto di vista termico e morfologico. Di seguito vengono riportate le figure relative a tali parametri.

Le curve TG, DTG e DSC della fibra di cellulosa sono rappresentate in *Figura 4.21*, mentre in *Tabella 4.10* sono riportati i massimi della curva DSC e le relative perdite di peso.

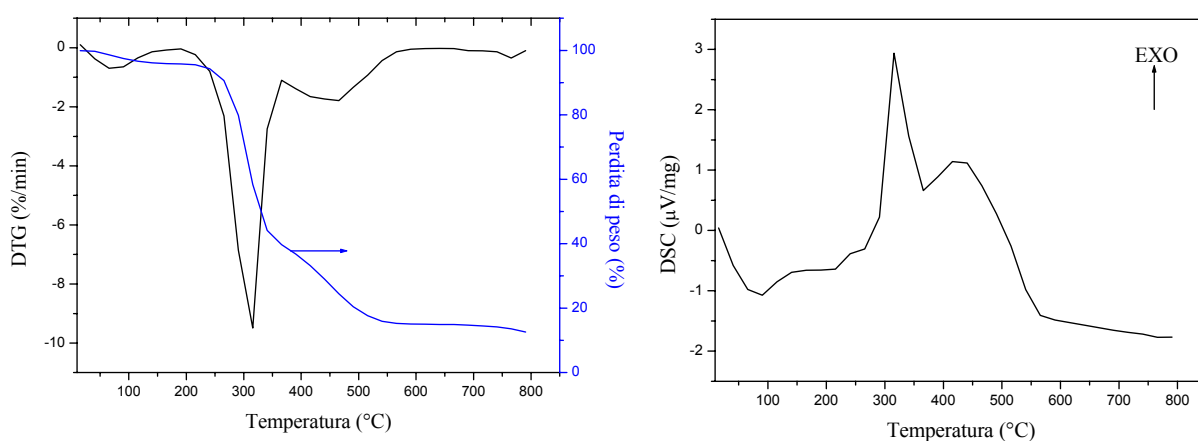


Figura 4.21 - Analisi termogravimetriche (TG-DTG-DSC) della fibra di cellulosa

La curva DSC del campione di fibra di cellulosa presenta due picchi esotermici e uno endotermico. Quest'ultimo, a 87,4°C, è dovuto alla perdita di acqua di umidità. Il secondo picco a 325,2°C (EXO) è da attribuirsi alla combustione di parte della fibra in esame, mentre il terzo picco, anch'esso esotermico a 426,6°C, è probabilmente dovuto alla

degradazione dei componenti più resistenti termicamente presenti nel materiale. La perdita di peso totale è di ca. 90% wt.

**Tabella 4.10** – Dati Analisi Termica - picco massimo curva DSC e perdita di peso in parentesi – della fibra di cellulosa.

Campioni	I DSC max (°C) (Perdita in %) Endo	II DSC max (°C) (Perdita in %) Exo	III DSC max (°C) (Perdita in %) Exo
Fibra cellulosa	87,4 (3,75)	325,2 (49,53)	426,6 (36,28)

#### 4.24 Analisi mediante microscopio elettronico a scansione

In *Figura 4.22* è riportata la micrografia delle fibre di cellulosa, ottenuta mediante microscopio elettronico a scansione. Dall'immagine è possibile risalire alla lunghezza delle fibre.



**Figura 4.22** - Micrografia delle fibre di cellulosa

## Polvere di clorite, scarto proveniente da un'industria mineraria.

### 4.25 Introduzione

L'attività estrattiva ha generato e continua a produrre una enorme quantità di materiali definiti di "scarto" che, nella quasi totalità vengono collocati in discarica. In diversi poli estrattivi l'accumulo di questi sfridi, collocati al margine delle aree in fase di estrazione, può portare a problemi di stabilità e sicurezza, mentre quando ricoprono il giacimento, ostacolano l'ampliamento degli scavi e finiscono per rappresentare un ulteriore onere finanziario costringendo gli imprenditori a cercare altre aree adatte allo stoccaggio non lontano dalla cava (Berry P., 1989; Ciccu R. et al., 1994; Alfano G. et al., 1989).

Le cloriti sono fillosilicati con formula chimica generica  $(\text{Mg,Fe,Al})_{12}(\text{Si,Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_{16}$ . Piuttosto diffuse, sono usualmente prodotti di alterazione di altri minerali costituenti le rocce e si suddividono in **ortocloriti** (o talco-cloriti), ricche di magnesio e **leptocloriti** ricche di ferro.

La struttura di questi minerali è caratterizzata da un susseguirsi alternato di foglietti micacei (T-O-T) e strati ottaedrici brucitici.

Le polveri di clorite, impiegate in questo studio, rappresentano lo scarto derivante dall'estrazione e lavorazione di materiali di cava, di una industria mineraria presente nel territorio calabrese. Per tale scarto, al momento, non è stata trovata nessuna applicazione pratica. Di conseguenza le discariche rappresentano l'unico metodo di smaltimento con possibile inquinamento dell'ambiente, visto l'elevato tenore di ferro presente nella sua composizione chimica.

La caratterizzazione dello scarto è stata effettuata attraverso le metodologie dettate dalla chimica applicata.

### 4.26 Aspetto del materiale

Il materiale in esame, provenienti da una piccola industria mineraria del territorio calabrese, si presenta sottoforma di polvere bianca (Figura 4.23).

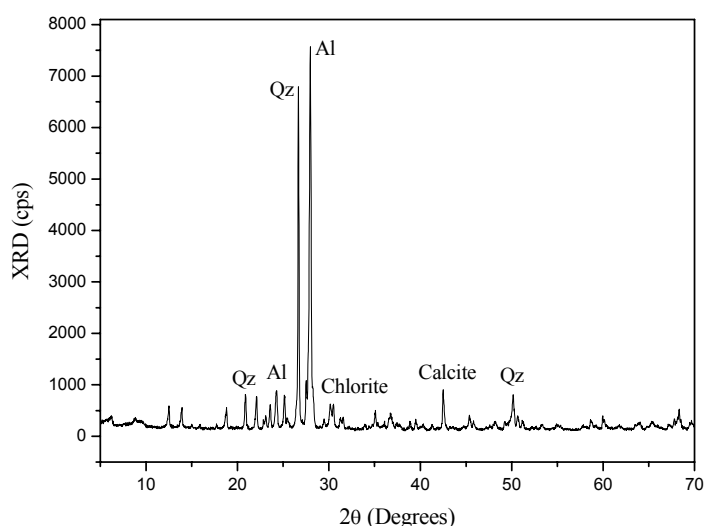




**Figura 4.23** – Polvere dello scarto di clorite

#### 4.27 Analisi mineralogica mediante diffrazione a raggi X (XRD)

In *Figura 4.24* viene riportato il diffrattogramma a raggi X della polvere di clorite. Come si può notare, lo scarto è costituito da diverse fasi cristalline, in particolare: quarzo, albite, calcite e clorite.



**Figura 4.24** – Analisi diffrattometrica a raggi X della polvere di clorite

#### 4.28 Analisi chimica mediante microanalisi EDS

L'analisi della polvere di clorite, mediante microanalisi EDS, ha messo in evidenza la seguente composizione chimica del materiale (*Tabella 4.11*).

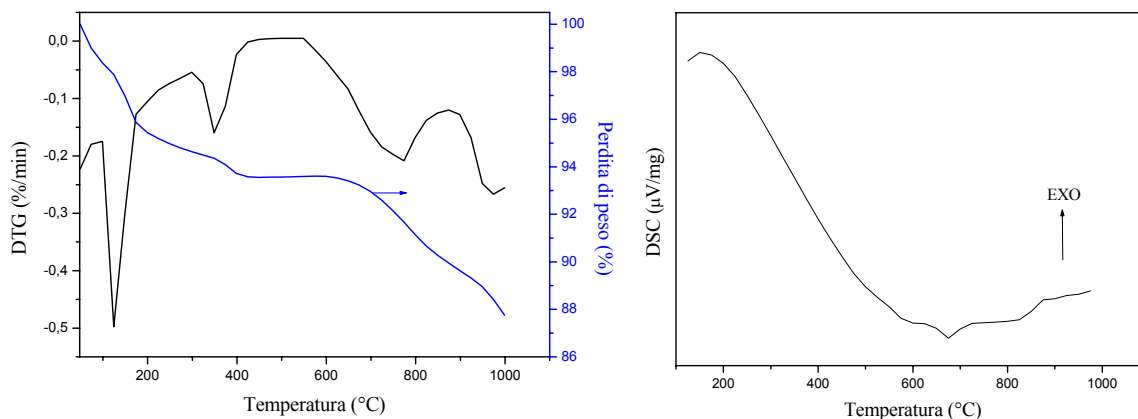
**Tabella 4.11** – Composizione chimica delle polveri di clorite

SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO
40,06	7,15	0,59	2,53	14,64	3,14	30,18	1,71

Come si può notare questo materiale di scarto presenta elevate quantità di ferro, elemento nocivo per la salute umana.

## 4.29 Analisi termogravimetrica

Le curve TG, DTG e DSC dello scarto sono rappresentate in *Figura 4.25*, mentre in *Tabella 4.12* sono riportati i massimi della curva DSC insieme con le perdite di peso.



**Figura 4.25** - Analisi termogravimetriche (TG-DTG-DSC) della polvere di clorite

Lo scarto di clorite è caratterizzato da tre picchi DSC endotermici. Il primo picco a 64,8°C dovuto alla perdita d'acqua di umidità. I due picchi, rispettivamente a 131,1°C e a 368,6°C, sono probabilmente dovuti al degrado dei componenti ferrosi. Il picco esotermico a 785,1°C è rappresentativo dell'avvenuta combustione del materiale.

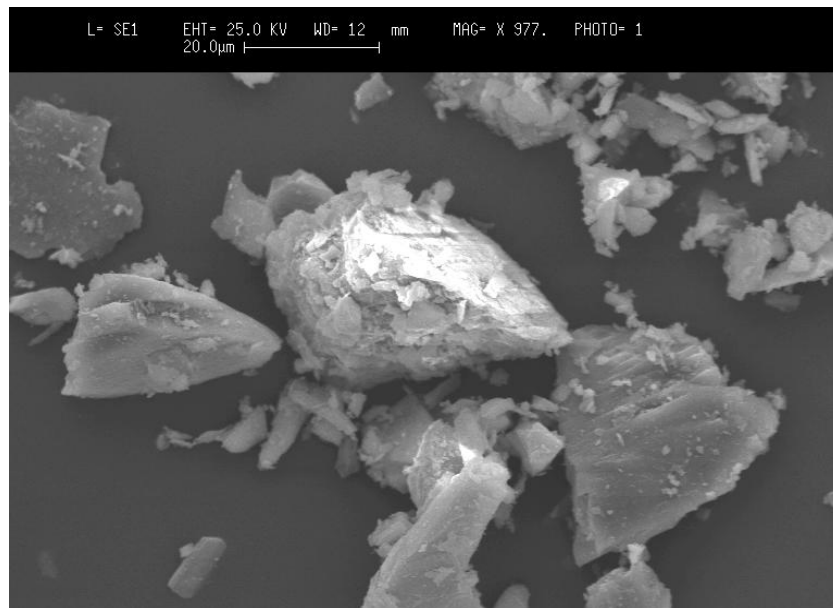
La perdita di peso totale del materiale è di circa 15% wt.

**Tabella 4.12** – Dati Analisi Termica - picco massimo curva DSC e perdita di peso in parentesi – dello scarto di clorite.

Campioni	I DSC max (°C) (Perdita in %) Endo	II DSC max (°C) (Perdita in %) Endo	III DSC max (°C) (Perdita in %) Endo	IV DSC max (°C) (Perdita in %) Exo
Polvere di Clorite	64,8 (3,01)	131,1 (5,96)	368,6 (1,95)	785,1(4,02)

### 4.30 Analisi mediante microscopio elettronico a scansione

In *Figura 4.26* è riportata la micrografia della polvere di clorite, ottenuta mediante analisi al SEM. Il materiale, come si nota, si presenta in forme cristalline ben definite con presenza in superficie di piccole impurità.



*Figura 4.26* – Micrografia della polvere di clorite

## **Polvere di diverse tipologie di vetro proveniente dalla raccolta differenziata**

### **4.31 Introduzione**

L'utilizzo del vetro proveniente dalla raccolta differenziata è ormai la principale fonte di materie prime.

Esso offre un risparmio non solo di energia impiegata nella produzione (meno 20% di fabbisogno di combustibile), ma riduce anche l'utilizzo di materie prime (sabbie silicee, dolomite) con notevole riduzione delle attività d'estrazione delle rispettive cave, tutelando e conservando così il territorio.

Il vetro è riciclabile all'infinito; il suo utilizzo e riciclaggio riduce la massa dei rifiuti solidi urbani con risparmio di costi di smaltimento e di necessità di discariche.

La possibilità di recuperare anche questi scarti è particolarmente interessante, perché permetterebbe di integrare il flusso tradizionalmente avviato al cosiddetto riciclo "chiuso" in vetreria, già ad alta resa, perseguendo anche le alternative di riciclo "aperto" più valide, in settori produttivi diversi da quelli cui originano i rifiuti (*Montel J., 1997*).

Numerose e varie sono ormai le pubblicazioni e gli studi scientifici, completati nel corso degli ultimi anni, con i quali è stata ampiamente dimostrata da diversi autori la possibilità di sviluppare una vasta gamma di validi impieghi del rottame di scarto: dalla sostituzione dei materiali inerti tradizionali in molteplici comparti produttivi, all'inertizzazione dei rifiuti speciali più pericolosi e perfino alla possibile successiva valorizzazione, in sicurezza, del vetro così prodotto (*Mordero A. et al., 2003*).

Questo lavoro preliminare si articola proprio in quest'ottica di recupero di materiali di scarto, come appunto il vetro, per reimpiegarli in materiali idonei. Il vetro, in particolare, grazie alle sue caratteristiche di fondente può trovare impiego negli impasti ceramici che, dovendo subire un processo di cottura ad elevate temperature, necessitano dell'impiego di agenti fondenti. Quindi, il riutilizzo del vetro negli impasti ceramici (*El-Kheshen A.A. et al., 2003*) può risultare una buona fonte di riciclo per questo materiale; nello stesso tempo si hanno dei vantaggi ambientali ed economici dal punto di vista di risparmio di materie prime e energetico.

### 4.32 Analisi chimica mediante microanalisi EDS

Come si evince dalla *Tabella 4.13*, in cui è riportata la composizione chimica dello scarto, la miscela vetrosa è prevalentemente formata da silice.

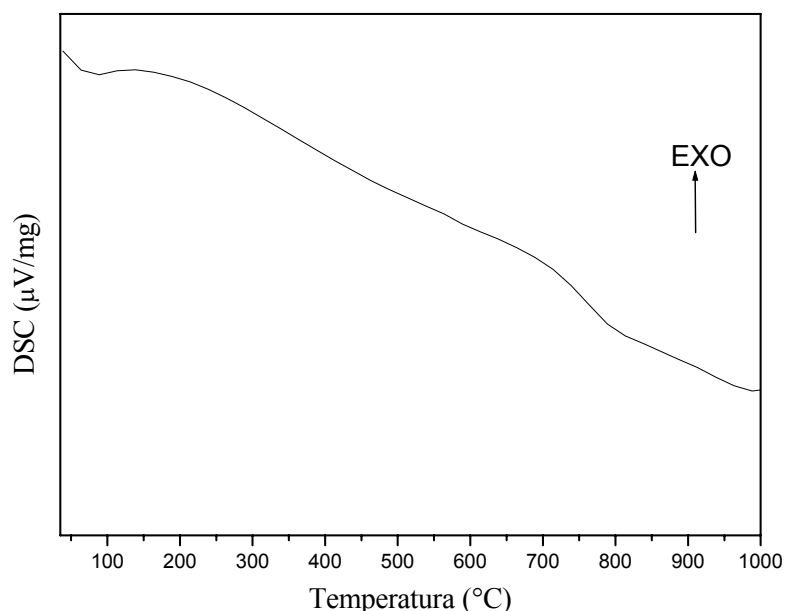
*Tabella 4.13 – Composizione chimica polvere di vetro*

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	BaO
70,85	1,22	0,09	14,40	0,28	3,81	8,98	0,16	0,11	0,10

### 4.33 Analisi termogravimetrica

Dalla curva ricavata dall'analisi termica e riportata in *Figura 4.27* si può evidenziare che lo scarto è caratterizzato da due picchi DSC endotermici. Il primo picco intorno ai 92,3°C è dovuto all'allontanamento dell'acqua di umidità presente nel campione, mentre il secondo picco, a 985,5°C, dovuto alla fusione del materiale durante la prova.

Non si evidenziano perdite di peso del materiale sottoposto ad analisi termogravimetrica.



*Figura 4.27 – Analisi termogravimetrica (DSC) della polvere di vetro*

Il materiale è abbastanza stabile fino a circa 800°C, temperatura di fusione di questo tipo di vetro. Il leggerissimo picco endotermico ne evidenzia il fenomeno.

### *Ottimizzazione dei processi di lavorazione e realizzazione dei prototipi di laterizi*

*Le indagini sulle proprietà chimico-fisiche sia delle materie prime che degli scarti, definite nello studio precedente, sono state utilizzate per ottimizzare al meglio le miscele argilla-scarto con cui si intende realizzare i mattoncini da sottoporre a classificazione; inoltre tali studi hanno permesso di affermare che i materiali sono risultati compatibili per la produzione di mattoncini.*

*In questo capitolo si cercherà di individuare ed ottimizzare le variabili di processo quali: composizione percentuale argilla-scarto, quantità di acqua di impasto da utilizzare per la realizzazione delle miscele, temperatura di essiccamento e di cottura nonché tempo di permanenza in forno; verrà, inoltre, illustrata la procedura adottata per la realizzazione dei prototipi di laterizio.*

---

#### **5.1 Introduzione**

Per quanto riguarda la formulazione degli impasti si riscontra la tendenza a ricorrere a soluzioni piuttosto eterogenee. Questa può essere diversificata sia per quanto concerne il numero delle argille impiegate che in relazione all'eventuale aggiunta di altri materiali (sabbia, scarti, ecc). Inoltre la diversità può essere dettata anche dalla tipologia di laterizio da realizzare, dalla provenienza delle argille, dalle caratteristiche degli scarti e sottoprodotti usati per contribuire al loro smaltimento.

In questa ricerca, la realizzazione dei manufatti ha richiesto delle scelte di produzione alquanto delicate. Dopo aver effettuato la completa caratterizzazione delle materie prime, si è proceduto ad analizzare le variabili che entrano in gioco nel processo lavorativo.

Tra esse vanno annoverate, la massa totale da utilizzare per il singolo impasto, il quantitativo di scarto da miscelare all'argilla, la percentuale di acqua d'impasto, la temperatura ed il tempo di cottura.

A seguito della scelta dei parametri ottimali per la realizzazione dei prodotti finali si è proceduto, nella fase ultima di questo lavoro di ricerca, nella classificazione dei campioni di laterizio seguendo le disposizioni dettate dalla Norma UNI 8942 a cui si è fatto riferimento.

Le prove eseguite hanno lo scopo di poter trarre indicazioni conclusive sulla qualità commerciale e destinazione d'uso dei laterizi realizzati.

## **5.2 Massa totale**

Tale parametro di per sé non rappresenta una scelta difficile da compiere, in quanto, una volta determinate le composizioni (esprese in percentuale in peso di materie prime da utilizzare), si ha la certezza di operare sempre nelle stesse condizioni, indipendentemente dalla quantità totale dell'impasto. Si è così scelto di ottenere una quantità totale di miscela di 5 Kg.

## **5.3 Quantità materiale di scarto**

La seconda scelta da compiere è stata la quantità di scarto da miscelare insieme alle argille (parametro variabile, in base al tipo di materiale di scarto addizionato). In questa operazione si è proceduto per gradi. Innanzitutto si è realizzato un primo impasto di sola argilla/acqua (miscele A - AA), con lo scopo di essere utilizzato come riferimento per i successivi confronti e le caratterizzazioni a norma.

In seguito sono state addizionate, all'impasto argilloso a massa totale costante, piccole dosi in percentuale in peso, dello scarto sottoposto a studio, per poi di volta in volta aumentarne la quantità fino a valori accettabili dalle miscele.

## **5.4 Acqua d'impasto**

La scelta dell'acqua d'impasto non ha richiesto particolare cura e non ha presentato grandi difficoltà, pur operando con miscele formate da materie prime e scarti diversi.

Infatti, nella fase di omogeneizzazione dei materiali grezzi, si è aggiunta prima 1 Kg di acqua (percentuale in peso 20%). Si è notato che l'impasto mostrava ancora ampie zone rimaste asciutte; inoltre al tatto, la miscela risultava difficilmente modellabile, sfaldandosi troppo facilmente. Si è così proceduto per gradi sommando quantità sempre maggiori di acqua finché l'impasto non mostrava, sia visivamente che al tatto, buone caratteristiche. Alla fine è stato accertato che una quantità di acqua pari a 2 Kg. (40 % in peso) bastava ad omogeneizzare al meglio la miscela conferendogli una buona lavorabilità. Si è così scelto di mantenere fisso tale valore per tutti gli impasti formati.

## **5.5 Formatura ed essiccazione dei campioni**

I quattro campioni di argilla, preventivamente essiccati sono stati macinati con un mulino di laboratorio che li ha resi passante ad un pettine di 0.75 mm. Sono stati poi mescolati, in un omogeneizzatore di piccole dimensioni, con diverse percentuali di scarto (per un totale di miscela pari a 5Kg) e con circa 2 Kg d'acqua per ogni impasto così da realizzare 3 miscele.

Per un confronto migliore, inoltre, sono stati realizzati campioni "neutri", ovvero con miscela di argilla tal quale.

I provini sono stati ottenuti per trafilatura utilizzando una mattoniera degassatrice da laboratorio, la quale ha la peculiarità non solo di impastare la massa, ma di migliorarne notevolmente le proprietà plastiche. Infatti, per effetto del vuoto prodotto dall'apparecchio disareatore, si privano gli impasti di buona parte dell'aria intrappolata conferendo loro una maggiore coesione, una migliore lavorabilità, una più favorevole attitudine all'essiccamento.

Il carico di argilla posto nella tramoggia, viene impastato dalle pale, accumulato e messo in pressione dall'estrusore a coclea. In tal modo l'impasto è costretto a passare attraverso un'apertura di profilo determinato, dalla quale esce sottoforma di filone continuo prismatico, che viene poi tagliato in tante parti della lunghezza prestabilita.

La filiera ha una sezione rettangolare, pari alla sezione trasversale del provino, tramite la quale il provino realizzato ha le seguenti dimensioni  $L=150\text{mm}$ ;  $B=25\text{mm}$  e  $H=13\text{mm}$ .

I campioni, una volta formati, hanno determinate proprietà che li caratterizzeranno sia dal punto di vista estetico che tecnologico.

A seguito della formatura del laterizio si rende necessario l'essiccazione come processo preparatorio a quello successivo della cottura. Le quantità d'acqua impiegate nella formatura non vanno però completamente eliminate ed il processo di essiccazione si ritiene concluso, anche se nella massa del prodotto rimangono modeste percentuali di umidità.

Per convenzione tutte le percentuali di umidità si riferiscono al peso del prodotto essiccato ad una temperatura determinata. Nel presente contesto si definisce secco il laterizio, quando permane a peso costante dopo trattamento prolungato alla temperatura di  $100^{\circ}\text{C}$ .

## **5.6 Temperatura e tempo di cottura**

La scelta di temperatura e tempo di cottura risulta molto delicata e impegnativa per la qualità del prodotto finale. Dopo aver effettuato una fase di essiccazione per 24 ore a temperature pari a  $110 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , si è dovuto scegliere a quale condizioni termiche cuocere i provini. In relazione alle caratteristiche termiche studiate per ogni singolo materiale, si può confermare che per i nostri mattoncini, il range di temperatura di cottura consigliato va dai  $1000^{\circ}\text{C}$  ai  $1100^{\circ}\text{C}$ .

Da studi preliminari, infatti, si è notato che per valori inferiori ai  $1000^{\circ}\text{C}$  si può verificare una non totale cottura del manufatto; mentre oltre i  $1100^{\circ}\text{C}$  il materiale comincia a "greificare". In questo caso il materiale acquista una compattazione e una porosità tali da non essere più considerato un laterizio.

Si è così partiti utilizzando una temperatura di  $1100^{\circ}\text{C}$ . A questa temperatura si è verificato un rigonfiamento eccessivo del campione (*Figura 5.1*), dovuto, probabilmente, ad una bassa resistenza termica della matrice argillosa illitica. Il colore è rosso scuro.



Questo fenomeno è dovuto all'ossidazione del ferro che, come affermato nel capitolo precedente, è molto alto nella composizione delle materie prime argillose.



**Figura 5.1** – Campioni di mattoncini cotti a 1100 °C

Si è così provato a diminuire la temperatura a 1000°C, mantenendo tale temperatura per un'ora, utilizzando lo stesso intervallo di tempo di risalita (ovvero il tempo impiegato dal forno per raggiungere la temperatura impostata). Dopo avere effettuato la cottura, il campione è stato rotto al centro per verificare lo stato interno dello stesso.

Si è potuto notare come i campioni in esame siano interessati dal fenomeno noto come “cuore nero”.

Con questo appellativo si definiscono le macchie nere e grigie che rimangono all'interno dello spessore dei setti del prodotto, dopo cottura.

La parte interessata non viene totalmente ossidata a causa della combustione di sostanze organiche, comprese nel materiale argilloso in quantità debole o cospicua.

Nella maggior parte dei casi le macchie scure si spostano molto verso la superficie esterna del prodotto. Per la formazione del cuore nero, concorrono in maniera determinate sia la bassa porosità del materiale, sia la velocità di cottura.

Il cuore nero non rappresenta che un difetto estetico.

È stato riscontrato da prove, che l'ossidazione interna è più facile tra le temperature di 500-600°C e più difficile prima e dopo, per cui è molto importante per i materiali, soggetti a questo fenomeno, una permanenza sufficiente all'interno dei forni in questo intervallo di temperature (Facincani E., 2001).

La temperatura è stata, ulteriormente, diminuita a 1050°C per un'ora, con tempo di risalita di un'ora. Il risultato è stato che la parte scura all'interno del campione era diminuita, ma ne restava presente ancora una significativa percentuale (Figura 5.2).



**Figura 5.2** – Campioni cotti a 1000 °C (a sx) e 1050°C (a dx), tempo di cottura 1h

L'unico modo per ovviare a tale problema è stato quello di mantenere costante la temperatura di cottura a 1000 °C e 1050°C, aumentando il tempo di risalita ad un'ora e mezza, in modo da attuare un riscaldamento meno repentino.

Gli esiti ottenuti sono stati confortanti, infatti il cuore nero era scomparso (Figura 5.3). A parità di risultati si è preferito optare per la temperatura di cottura più bassa, così da garantire anche un risparmio energetico.



**Figura 5.3** – Campioni cotti a 1000 °C (a sx) e 1050°C (a dx), tempo 1h e 30min

## 5.7 Effetti della fase di essiccazione e cottura sui campioni

Dopo aver essiccato e stabilito la corretta temperatura di cottura, si è scelto di classificare e caratterizzare gli effetti della stessa sulle caratteristiche fisiche dei campioni: peso e dimensioni. Inevitabilmente, infatti, la quasi totale evaporazione dell'acqua di

impasto e di quella di struttura o reticolo, comporta la diminuzione di peso ed una compattazione della massa con conseguente accorciamento delle dimensioni.

Questa fase di indagini riguarda la misurazione delle tre dimensioni dei provini crudi e cotti (Altezza H-Lunghezza L-Spessore s) con calibro dalla precisione di 0.05 mm, e pesatura degli stessi mediante bilancia a precisione. Da un primo esame dei laterizi crudi si è osservato che essi presentano una forma abbastanza compatta e regolare di colore grigio scuro (colore classico delle argille tal quali).

Non si notano disomogeneità, a conferma di una buona qualità della fase di polverizzazione e miscelazione delle argilla.

### Normativa di riferimento: UNI 8942

*In Europa le norme tecniche sono uno strumento di grande utilità economica e sociale.*

*Dal 1985, infatti, per i prodotti che richiedono l'applicazione del marchio CE, sono state definite, tramite direttive, i requisiti essenziali relativi alla sicurezza e alla salute dei cittadini, demandando al CEN l'emanazione di norme che ne precisino le caratteristiche prestazionali e i metodi di prova.*

*In questo capitolo viene ampiamente descritta la normativa di riferimento UNI 8942 necessaria per la caratterizzazione e la classificazione di tutti i manufatti ceramici, realizzati nel periodo dedicato alla ricerca in esame.*

---

#### **6.1 Introduzione**

Le norme armonizzate sono un importante supporto per il rispetto delle Direttive Comunitarie, in quanto costituiscono un fondamentale riferimento per progettare e produrre beni e servizi che possano circolare liberamente nel mercato europeo.

Le norme, oltre che da numeri, sono identificate da sigle. Dalla sigla si può capire da chi è stata elaborata la norma e qual è il livello di validità.

Le principali sigle che caratterizzano le norme sono:

- UNI: contraddistingue tutte le norme nazionali italiane e nel caso sia l'unica sigla presente significa che la norma è stata elaborata direttamente dalle Commissioni UNI o dagli Enti Federati;

- EN: identifica le norme elaborate dal CEN (Comité Européen de Normalisation). Le norme EN devono essere obbligatoriamente recepite dai Paesi membri CEN e la loro sigla di riferimento diventa, nel caso dell'Italia, UNI EN. Queste norme servono ad uniformare la normativa tecnica in tutta Europa, quindi non è consentita l'esistenza a livello nazionale di norme che non siano in armonia con il loro contenuto;

- ISO: individua le norme elaborate dall'ISO (International Organization for Standardization). Queste norme sono un riferimento applicabile in tutto il mondo. Ogni Paese può decidere se rafforzarne ulteriormente il ruolo adottandole come proprie norme nazionali, nel qual caso in Italia la sigla diventa UNI ISO (o UNI EN ISO se la norma è stata adottata anche a livello europeo).

È necessario osservare che queste non sono leggi inderogabili ma rappresentano, in linea di massima, le basi ufficiali alle quali fare riferimento. Nel caso specifico di materiali da costruzione, le norme sono delle regole tecniche che, per ogni materiale o prodotto, stabiliscono la classificazione, le proprietà che essi debbono possedere in relazione al loro impiego, i metodi di misura di ciascuna caratteristica e, fissano, per ciascuna classe di

prodotti, i requisiti di accettabilità. Tali norme vengono utilizzate sia per problemi di verifica che di progetto.

La classificazione dei campioni di laterizio segue le disposizioni dettate dalla Norma UNI 8942, a cui si è fatto riferimento.

La norma UNI 8942 è suddivisa in tre parti fondamentali e più precisamente:

*Parte 1°* - Terminologia e sistemi di classificazione;

*Parte 2°* - Limiti di accettazione;

*Parte 3°* - Metodi di prova.

## **6.2 Norma di riferimento prodotti di laterizio per murature**

### ***Terminologia e sistema di classificazione - UNI 8942 parte 1<sup>a</sup>***

#### ***6.2.1 Premessa***

La norma UNI 8942 è divisa in parti che trattano:

- terminologia e sistema di classificazione (UNI8942/1);
- limiti di accettazione (UNI8942/2);
- metodi di prova (UNI8942/3)

#### ***6.2.2 Scopo***

La presente norma definisce i prodotti di laterizio, per murature (portanti e non) e quelli per rivestimento. Indica inoltre le caratteristiche da utilizzare per la loro classificazione in base alla morfologia, tecnologia di produzione e posa.

#### ***6.2.3 Termini e definizioni***

I prodotti di laterizio per murature sono definiti come segue:

- *mattoni*: prodotti di laterizio per muratura di forma generalmente parallelepipedica, con volume  $\leq 5500 \text{ cm}^3$ .
- *blocchi*: prodotti di laterizio per muratura, di forma generalmente parallelepipedica, con volume  $\geq 5500 \text{ cm}^3$ .
- *mattoni e blocchi da rivestimento*: mattoni e blocchi prodotti in modo da poter essere posti in opera a faccia vista (senza intonaco).
- *pezzi complementari, speciali o di corredo*: prodotti di laterizio impiegati per la realizzazione di particolari costruttivi della muratura, quali multipli e sottomultipli, mazzette, architravi, passaggi di impianto, ecc. che consentono di realizzare sistemi murari.

### 6.2.4 Sistema di classificazione

I prodotti di laterizio per murature sono classificati secondo i criteri seguenti

- percentuale di foratura (codice alfanumerico);
- giacitura in opera (1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> cifra);
- tecnologia di produzione (3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> cifra).

#### 6.2.4.1 Percentuale di foratura

Si definisce percentuale di foratura il rapporto  $100 F/A$ , dove:

A = area della superficie del blocco o mattone ortogonale alla direzione dei fori e delimitata dal suo perimetro;

F = somma delle aree dei fori compresi nell'area A, passanti e non passanti.

In relazione alla percentuale di foratura si classificano:

- *mattoni pieni* aventi una % di foratura  $\leq 15\%$  (sigla *MP* oppure *MPR* per rivestimento);
- *mattoni e blocchi semipieni* aventi una % di foratura compresa fra 15% e 55% (sigla *MS(A)* o *BS(B)* oppure *MSR* o *BSR* per rivestimento). Si dividono in due classi: - tipo **A**  $15\% \leq 100 F/A \leq 45\%$ , - tipo **B**  $45\% \leq 100 F/A \leq 55\%$
- *mattoni o blocchi forati* aventi % di foratura  $\geq 55\%$  (sigla *MF* o *BF* oppure *MFR* o *BFR* per rivestimento).

#### 6.2.4.2 Giacitura in opera

In relazione alla posizione di giacitura in opera si classificano:

- *mattoni e blocchi a fori verticali* prodotti destinati ad essere posati con la formatura ortogonale al piano orizzontale di posa -sigla *11*;
- *Mattoni e blocchi a fori orizzontali* prodotti destinati ad essere posati con la foratura parallela al piano orizzontale di posa -sigla *00*.

#### 6.2.4.3 Tecnologia di produzione

In relazione alla tecnologia di produzione si classificano:

- *estrusi* (con massa normale -sigla *21* o con massa alveolata -sigla *31*)
- *pressati* (in pasta -sigla *41* o in polvere -sigla *51*)
- *formati a mano* -sigla *91*.

I prodotti possono, durante o dopo il ciclo di produzione, essere rettificati o calibrati (sigla *R* o *C*).

## **Limiti di accettazione - UNI 8942 parte 2<sup>a</sup>**

### **6.2.5 Scopo**

La presente norma indica le caratteristiche ed i relativi limiti di accettazione dei prodotti di laterizio per murature portanti e non portanti e per rivestimento. La definizione dei limiti è correlata ai piani di campionamento previsti sia per il caso di controllo della fornitura alla consegna, sia per il caso di controlli effettuati durante la fase di produzione (autocontrollo).

### **6.2.6 Campo di applicazione**

La presente norma si applica ai prodotti di laterizio definiti e classificati nella UNI 8942/1.

### **6.2.7 Campionamento**

Si definisce provino ogni singolo prodotto intero di laterizio.

Il campionamento per il collaudo di accettazione della formatura alla consegna, quando richiesto, viene effettuato garantendo la casualità del prelievo dei provini. A tal fine si può considerare sufficiente la suddivisione della fornitura in un numero di parti pari al numero di provini da prelevare, con prelievo casuale di un provino da ogni parte di fornitura così formata.

Tale numero viene determinato sommando le quantità indicate nel prospetto per ogni singola prova. I provini che non superano la prova di aspetto non sono ammessi alle prove successive. I provini utilizzati per il controllo delle dimensioni possono essere utilizzati per altre prove.

Il campionamento per il controllo in stabilimento viene effettuato prelevando le quantità indicate nel seguente prospetto :

Caratteristica	N° Provini	
	Autocontrollo	Collaudo
Aspetto	125	125*
Dimensioni	10	10
Forma	10	10
Massa volumica	10	10
Inclusioni calcaree	4	4
Efflorescenza	4 (3+1)	4 (3+1)
Imbibizione (o assorbimento specifico)	4	4
Porosità**	8 (4+4)	8 (4+4)
Assorbimento d'acqua	4	4
Resistenza a compressione	30	6
Resistenza a trazione per taglio (prova indiretta)	30	10
Resistenza a trazione per flessione su listelli***	3	-

\* Il prelievo deve essere effettuato dal lotto al momento della consegna (presso il fornitore) in modo casuale \*\* E' una prova che può anche servire per stimare il rischio di gelività \*\*\* Prova sostitutiva della resistenza a trazione per taglio

### 6.2.8 Limiti di accettazione

Caratteristica	Prodotti con massa normale	Prodotti con massa alveolata
	Limite e/o tolleranza	
<b>Forma e massa volumica</b>		
Massa volumica	nominale $\pm 8\%$	nominale $\pm 8\%$
Densità apparente	da concordare	$\leq 1450 \text{ Kg/m}^3$
<b>Resistenza meccanica</b>		
Flessione per taglio	da concordare	da concordare
<b>Determinazione delle inclusioni</b>		
Inclusioni calcaree	diametro medio crateri $< 15 \text{ mm}$ ; max 3 crateri $7 < \phi < 15 \text{ mm}$ per $\text{dm}^2$	diametro medio crateri $< 15 \text{ mm}$ ; max 3 crateri $7 < \phi < 15 \text{ mm}$ per $\text{dm}^2$
Efflorescenza	grado medio	grado medio
<b>Comportamento ad azioni igrotermiche</b>		
Imbibizione	8 a $20 \text{ g/dm}^2$	12 a $30 \text{ g/dm}^2$
Assorbimento acqua	10 a $25 \%$	15 a $45 \%$
Rischio gelività	basso per esterni	basso per esterni
Porosità	Tracciare curva porosimetrica con in ascisse il diametro dei pori ed in ordinate il volume dei pori in rapporto al volume apparente del campione	



## Metodi di prova - UNI 8942 parte 3<sup>a</sup>

### 6.2.9 Scopo

La presente norma fornisce una serie di metodi di prova allo scopo di unificare le modalità operative per determinare le caratteristiche dei prodotti di laterizio per murature (portanti e non) e per gli elementi di rivestimento.

### 6.2.10 Generalità per le prove

Quando non è previsto un condizionamento particolare od un trattamento termoigrometrico (bagnatura, essiccamento), le prove possono essere effettuate in ambiente con temperatura compresa tra 15 e 27 °C ed umidità relativa compresa tra 40 e 80%.

### 6.2.11 Dimensioni esterne – Calcolo volume lordo e netto (UNI 8942 parte III - punto 6)

*Metodo approssimato:* È utilizzabile solo per provini aventi sezione quadrata o rettangolare.

Misurare, in centimetri, le lunghezze dei quattro spigoli risultanti  $A'_1$ ,  $A'_2$ ,  $A'_3$ , e  $A'_4$ , paralleli al senso di trafila e calcolare il valore medio:

$$A_m = \frac{A'_1 + A'_2 + A'_3 + A'_4}{4}$$

che rappresenta con sufficiente approssimazione la lunghezza del blocco spianato.

Utilizzare la larghezza  $B_m$  e l'altezza  $C_m$  espresse in centimetri, già misurate per ogni provino (e calcolate allo stesso modo di  $A_m$ ), e determinare il volume lordo  $V_l$  in decimetri cubi, di ogni provino con la formula:

$$V_l = \frac{A_m \cdot B_m \cdot C_m}{1000}$$

Proseguire la prova utilizzando (vedi *Figura 6.1*):

- un recipiente di capacità idonea munito di foro e tubo di scarico;
- un bicchiere graduato per raccogliere l'acqua uscente dal predetto tubo. La graduazione del bicchiere deve permettere di stimare almeno i 100 ml (0,1 l).

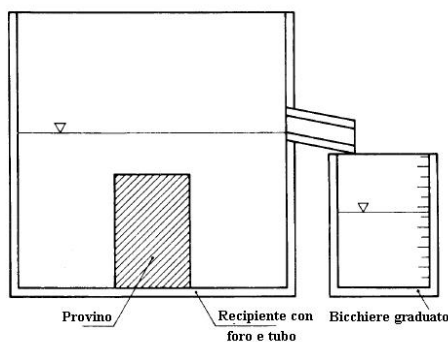
In alternativa, l'acqua fuoruscita può essere pesata ( $1 \text{ kg} = 1 \text{ dm}^3$ ). Procedere come segue:

- immergere totalmente i provini spianati in acqua, fino a completa saturazione;
- togliere i provini dall'acqua e lasciarli sgocciolare per qualche minuto (avendo cura di non esporli a fonti di calore);
- riempire d'acqua il recipiente munito di tubo fino a livello di quest'ultimo;

- quando il livello si è stabilizzato (l'acqua non esce più dal tubo) immergere il provino saturo d'acqua.

Quest'ultima operazione provoca una fuoriuscita d'acqua che deve essere raccolta nel bicchiere graduato, preventivamente svuotato. L'acqua fuoriuscita è pari al volume netto del campione  $V_n$  in litri

Figura 6.1



### 6.2.12 Massa volumica e massa volumica apparente (UNI 8942 parte III - punto 7)

#### Principio

#### Determinazione:

- della massa volumica apparente (vuoto per pieno)  $M_v$ , definita come rapporto tra la massa dell'elemento essiccato a massa costante ( $M_s$ ) ed il volume lordo ( $V_l$ ), comprensivo cioè dei vuoti;
- della massa volumica ( $D_a$ ), definita come rapporto tra la massa dell'elemento essiccato a massa costante ( $M_s$ ) ed il volume netto ( $V_n$ ), cioè esclusi i vuoti

*Procedimento:* Determinare l'area totale  $A_T$ , l'area dei fori  $A_F$  e l'altezza e calcolare il volume lordo ( $V_l$ ) ed il volume netto ( $V_n$ ). Porre in stufa ad essiccare a  $100^\circ\text{C}$  fino a massa costante ( $M_s$ ), (differenze tra pesate 1% max)

Espressione dei risultati: La massa volumica apparente (vuoto per pieno)  $M_v$ , in kilogrammi al metro cubo, è data da

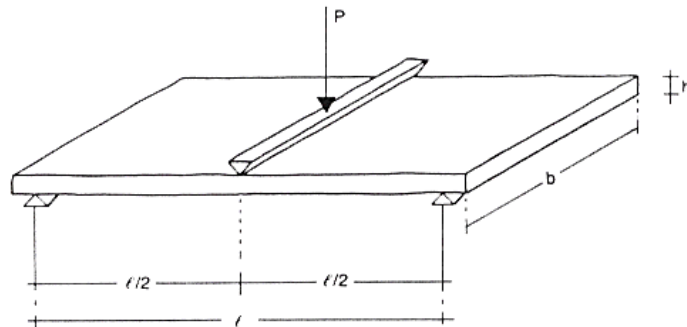
$$M_v = \frac{M_s}{V_l}$$

La massa volumica  $D_a$ , in kilogrammi al metro cubo, è data da

$$D_a = \frac{M_s}{V_n}$$

### 6.2.13 Resistenza a flessione (UNI 8942 parte III - punto 10)

Per la resistenza a flessione non è stata seguita la norma. Il principio sfruttato è quello in *Figura 6.2*.



**Figura 6.2**– Schematizzazione prova a flessione

*Espressione dei risultati:* La resistenza a flessione di ciascuna barra è definita dalla media delle sollecitazioni  $\sigma = M/W$  risultanti dalle prove eseguite sulle due barre, ricavate dal provino dove:

M è il momento flettente a rottura in kilogrammi per centimetro quadrato;

$$M = \frac{P \cdot l}{4}$$

W è il modulo di resistenza in centimetri cubi  $W = \frac{b \cdot h^2}{6}$

Poiché  $\sigma = \frac{M}{W}$  si ha che  $\sigma = \frac{M}{W} = \frac{3Pl}{2bh^2}$

Con  $l = 10 \text{ cm}$

Gli altri parametri per l'espressione dei risultati delle prove sono:

a) valore medio  $f_v = \frac{\sum_{i=1}^n f_{vi}}{n}$

dove  $f_{vi}$  è il risultato delle singole prove ed  $n$  è il numero dei risultati di prova;

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_v - f_{vi})^2}{n-1}}$$

b) stima dello scarto

c) coefficiente di variazione  $c_v = \frac{s}{f_v}$

d) valore caratteristico  $f_{bk} = f_v(1-k \cdot c_v)$  oppure  $f_k = f_v - k \cdot s$

dove k è il coefficiente dipendente dal frattile scelto e dal numero delle prove.

Il prospetto seguente riporta i valori di k in funzione di n.

<b>n</b>	6	8	10	12	16	20	25	≥ 30
<b>k</b>	2,33	2,19	2,10	2,05	1,98	1,93	1,88	1,64

Nel nostro caso sono stati considerati 4 campioni per cui si è effettuata un'interpolazione non lineare ottenendo un valore di  $k = 2,49$ .

#### 6.2.14 Inclusioni calcaree (UNI 8942 parte III - punto 11)

*Principio:* Immissione del provino in acqua bollente per 3 h e successiva verifica del numero di crateri formati ed il loro diametro.

*Definizioni:*

Cratere: mancanza di materiale che si forma a seguito dell'espansione dell'inclusione calcarea.

Diametro del cratere: media della sua dimensione massima e minima, misurate in corrispondenza della superficie esterna del provino. Le misure possono essere effettuate con un calibro.

*Procedimento:* esaminare i provini per controllare se esistono crateri dovuti ad inclusioni calcaree, quindi immergerli in acqua, avente già una temperatura di circa 80°C, portandola poi all'ebollizione per almeno 3 h.

Ultimata questa operazione si estraggono i provini. Quando sono asciutti, in ogni caso non più tardi di 2 h, si esaminano prendendo nota del numero e del diametro dei crateri (il diametro può essere calcolato come media tra dimensione massima e minima).

*Espressione dei risultati:* Prodotti non da rivestimento

Devono essere rilevati:

- il numero totale dei crateri aventi diametro maggiore di 15 mm ( $N_{15}$ )
- il numero dei crateri per ogni decimetro quadrato di superficie esterna aventi diametro compreso tra 7 e 15 mm ( $N_{7,15}$ ), calcolato l'indice di inclusioni e utilizzando il numero totale di crateri aventi il diametro compreso tra 7 e 15 mm (detto  $NT_{7,15}$ ) diviso per la superficie esterna  $S_e$  del provino espressa in centimetri quadrati:

$$N_{7,15} = \frac{NT_{7,15}}{S_e}$$

Nel caso di provini a sezione rettangolare si ha:  $N_{7,15} = \frac{0,50 NT_{7,15}}{A \cdot (B+C)}$  con A,B,C in cm.

*Prodotti da rivestimento:* Il rilevamento dei crateri viene fatto separatamente per le facce in vista. Per le facce non in vista procedere come sopra rilevando  $N_{15}$  e  $NT_{7,15}$  e calcolando  $NT_{7,15}$  riferito alla sola parte di superficie esterna non in vista. Per le facce in vista rilevare  $N_5$  e  $N_{3,5}$  e quindi calcolare il relativo indice di inclusione.

### **6.2.15 Attitudine alle efflorescenze (UNI 8942 parte III - punto 12)**

*Principio:* mettere a bagno, per un quarto della loro altezza nella direzione della lunghezza, e verificare il formarsi di efflorescenze per confronto con un provino di riferimento non immerso.

*Procedimento:* In ambiente a  $20 \pm 2$  °C ed umidità relativa  $50 \pm 5$  %, immergere tre provini nell'acqua in modo che siano immersi per un quarto della loro altezza lungo i fori. Mantenerli nelle stesse condizioni per 4 giorni.

Trascorsi i quattro giorni estrarre i tre provini e farli asciugare, eventualmente con l'ausilio di una fonte di calore moderata. Rilevare per confronto con il quarto provino la presenza di efflorescenze.

*Espressione dei risultati:*

L'attitudine alle efflorescenze viene indicata con una delle seguenti classi:

- efflorescenza nulla: nessun apprezzabile deposito di sali in superficie;
- efflorescenza leggera: apparizione di una sottile patina bianca distribuita non uniformemente;
- efflorescenza media: apparizione di una patina sottile uniforme;
- efflorescenza forte: apparizione di un grosso strato di sale, di spessore e distribuzione uniformi, con cristallizzazioni superficiali che si staccano facilmente.

### **6.2.16 Imbibizione (assorbimento specifico) (UNI 8942 parte III - punto 13)**

*Principio:* Essiccamento del provino e successiva messa in contatto con acqua per un periodo determinato e verifica della variazione di massa.

*Procedimento:* Misurare l'area lorda della superficie di appoggio ( $F_0$ ). Essiccare il provino a  $100 \pm 5$  °C fino a massa costante ( $G_1 \pm 2$  g) e porlo nel recipiente con l'acqua distillata. Estrarlo dopo  $60 \pm 3$  s, lasciarlo gocciolare per  $45 \pm 5$  s e pesarlo con precisione di 2 g definendo con  $G_2$  tale massa.

*Espressione dei risultati:* L'imbibizione (assorbimento specifico) in grammi al decimetro quadrato per minuto, è data dal rapporto fra la differenza in grammi delle due pesate ( $G_2 - G_1$ ) e l'area lorda in decimetri quadrati, della superficie di appoggio ( $F_0$ ):

$$\frac{G_2 - G_1}{F_0}$$

### **6.2.17 Assorbimento d'acqua e stima del rischio di gelività (UNI 8942 parte III - punto 14)**

*Premessa:* Essendo costosa l'esecuzione delle prove, per controlli di routine, con il porosimetro a mercurio, e lunga quella con i cicli di gelo e disgelo, risulta agevole e significativo eseguire la prova di assorbimento d'acqua anche per valutare la resistenza al gelo.

*Principio:* Essiccamento dei provini fino a massa costante, e loro immersione in acqua per 24 h, successiva estrazione e asciugamento con carta bibula e determinazione della nuova massa.

*Procedimento:* Per l'assorbimento d'acqua, essiccare i provini in stufa a  $105 \pm 5$  °C fino a massa costante con precisione di  $\pm 5$  g/dm<sup>3</sup> di provino (massa secca).

Immergere i provini completamente in acqua distillata per 24 h, a temperatura ambiente (15 - 28 °C), estrarli ed asciugarli con carta bibula e pesarli con precisione di  $\pm 5$  g/dm<sup>3</sup> (massa umido).

*Espressione dei risultati:* La quantità di acqua assorbita, espressa in per cento della massa del provino essiccato, è data da:

$$100 \frac{P_{umido} - P_{sec.co}}{P_{sec.co}}$$

Devono inoltre essere calcolate la media di tutte le misure effettuate e la stima dello scarto con le formule indicate ai punti precedenti.

Per la stima qualitativa del rischio di gelività si ricorre ad un diagramma (vedi *Figura 6.3*) con coordinate assorbimento percentuale (ascisse), come indicato sopra, e coefficiente di saturazione (ordinate) definito come segue:

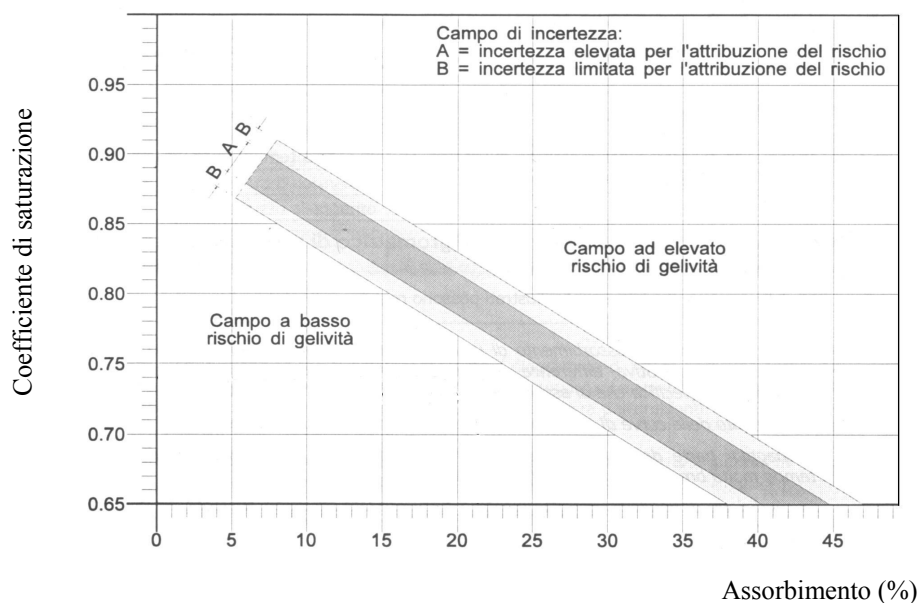
$$s = \frac{P_{umido} - P_{sec.co}}{P_{saturo} - P_{sec.co}}$$

Sul diagramma sono state riportate delle zone ad alto e basso rischio di gelività.

Dato il carattere orientativo del metodo nel diagramma sono riportate zone di incertezza. Si perviene al rischio di gelività come segue:

- sui provini utilizzati per la prova di assorbimento si deve eseguire una bollitura, consistente nell'immergere il provino in acqua bollente per 5 h ed effettuare la pesatura per accertare il cosiddetto peso saturo ( $P_{saturo}$ );

- si calcola il coefficiente di assorbimento e il coefficiente di saturazione con le formule sopra riportate;
- riportare sulle ordinate il valore del coefficiente di saturazione corrispondente ad un dato valore dell'assorbimento percentuale indicato sulle ascisse;
- secondo la posizione sul diagramma del punto di incontro delle ordinate ed ascisse corrispondenti, si determina la classe di rischio del provino;  
quando il punto rappresentativo agli effetti della gelività cade nella zona tratteggiata è necessario determinare la porosità e/o operare con cicli di gelo e disgelo.



**Figura 6.3** – Diagramma utilizzato per la stima del grado di gelività

### 6.2.18 Porosità (UNI 8942 parte III - punto 15)

*Premessa:* La descrizione del metodo (procedimento) di seguito riportato deve essere considerata orientativa. Prima di eseguire la prova è buona norma consultare le istruzioni relative all'apparecchio che viene utilizzato.

*Principio:* Ricerca della distribuzione del volume dei pori in funzione del loro diametro. Si ricavano da ogni provino tre barre che vengono ricoperte di mercurio e sottoposte a pressioni crescenti per favorire la penetrazione del mercurio nei pori esistenti, si rilevano le dimensioni dei pori aperti nell'intervallo tra 0,0015 e 15  $\mu\text{m}$  di diametro.

*Procedimento:* Introdurre insieme le tre barre nel dilatometro dell'apparecchio di misura, dopo disperazione fino ad ottenere un vuoto di almeno 0,02 mm di Hg ricoprire i provini con mercurio. Introdurre il dilatometro nella cella di pressione, produrre la pressione con incrementi di circa 5 bar (atmosfere) al minuto, nell'intervallo 1 - 100 bar, e successivamente con incremento di circa 20 bar min.

**6.2.19 Gelività (cicli gelo-disgelo) (R.D. 2234 16 Novembre 1939)**

Secondo tale decreto, i campioni vanno inseriti in contenitori adatti prima a mantenere una temperatura costante di -10 °C per tre ore e poi in uno a 35°C per altre tre ore. Tale procedura va eseguita venti volte.

Dopodichè la superficie dei provini va esaminata visivamente per verificare se i cicli di gelo e disgelo abbiano provocato fessurazioni, cavillature o degradazioni varie.



# Classificazione di laterizi realizzati mediante l'aggiunta di materiale di scarto

*Negli ultimi venti anni sono stati prodotti parecchi lavori relativi al reimpiego, nell'industria dei laterizi, di un ampio spettro di scarti sia urbani che industriali. La maggior parte delle ricerche è concentrata nell'arco degli anni Ottanta; esse hanno dimostrato la praticabilità di questo tipo di reimpiego con vantaggi ambientali e tecnologici.*

*A causa della variabile composizione delle materie prime, l'utilizzo di scarti di varia natura deve essere comunque supportata da una attenta e ben strutturata ricerca.*

*Ciò porta ad affermare che non è possibile generalizzare l'uso di un particolare scarto, ma questo deve essere studiato nello specifico contesto e in funzione delle caratteristiche chimico – fisiche delle materie prime a cui deve essere additivato.*

*È proprio in questa ottica che si completa l'ultima fase della ricerca, in funzione della natura delle materie prime finora esaminate, si ricercano i sistemi ottimali per utilizzare gli scarti caratterizzati nel capitolo 4.*

*In questo capitolo si riporta in breve lo stato dell'arte relativo alla possibilità di additivare scarti urbani e/o industriali alle miscele di argille per la produzione di laterizi.*

*Inoltre, per ogni singolo scarto seguirà la ricerca dei parametri di processo più favorevoli, per concludere con la classificazione dei prodotti ceramici secondo la Norma UNI 8942, che racchiude le specifiche in merito alla terminologia, sistemi di classificazione, limiti di accettabilità e metodi di prova per "Prodotti di laterizio per murature"*

---

### 7.1 Introduzione

Le attività industriali producono una certa quantità di sostanze non inerenti gli scopi della produzione stessa. Tali sottoprodotti, nella maggior parte dei casi non direttamente riutilizzabili, costituiscono le scorie di produzione e pongono il problema del loro corretto smaltimento.

Gli impasti utilizzati nell'industria dei laterizi sono, di norma, fortemente eterogenei, essendo costituiti da materie prime argillose con uno spettro composizionale complessivamente assai ampio (*Fabbri B. et al., 1995 vol. 1-2*). Per questo motivo, tali impasti sono in grado di tollerare la presenza di materiali di scarto di diverso tipo, anche in percentuali significative. Inglobare tali rifiuti negli impasti per laterizi significa sempre ottenere almeno due vantaggi di tipo ambientale: riciclaggio e inertizzazione di scarti, spesso inquinanti e di difficile collocazione, e risparmio di materie prime argillose. Inoltre, l'aggiunta di scarti industriali ed urbani alle materie prime per laterizi promuove di frequente effetti positivi sulle proprietà dei semilavorati e dei prodotti.

Gli effetti riguardano tutte le fasi di lavorazione (foggiatura, essiccamento e cottura) ed hanno delle ripercussioni su proprietà dei prodotti finiti, quali ritiro, porosità e resistenza meccanica. Infine, si rilevano in molti casi delle variazioni dei consumi energetici, che possono venire ridotti grazie al contributo calorico apportato da molti tipi di scarti.

## **7.2 Stato dell'arte sulle esperienze di riciclaggio di scarti urbani ed industriali nella produzione di laterizi**

Lo scopo del presente lavoro è quello di tracciare, attraverso una ricerca bibliografica, il quadro delle conoscenze attuali sul riciclaggio di scarti industriali ed urbani nell'industria dei laterizi, ma fondamentale realizzare nuovi prodotti a partire da materie prime e scarti reperibili sul territorio calabrese.

E' stata studiata la letteratura scientifica dal periodo in cui le emergenze energetico-ambientali hanno dato un forte impulso agli studi riguardanti l'impiego di materiali di scarto altrimenti inutilizzati, ritrovando molti articoli specifici sulla problematica dello smaltimento degli scarti nella produzione ceramica (*Ristic M.M., 1985; Stefanov S., 1991; Fabbri B. et al., 1989; Hauck D., 1995; Fumarola G., 1995*).

Gli scarti sono stati suddivisi in quattro principali categorie, sulla base del loro effetto principale:

- combustibili;
- scarti ceneri volanti;
- scarti fondenti;
- scarti dimagranti e plastificanti.

La tipologia degli scarti combustibili è quella trattata dal maggior numero di articoli (*Luque F.J., 1995*). Trattasi di residui provenienti da un vasto spettro di produzioni industriali, che sono accomunati soprattutto dall'elevato contenuto di sostanze organiche e/o carboniose che gli conferisce un significativo potere calorico.

L'interesse per le ceneri volanti degli impianti termoelettrici è testimoniato da 17 articoli, in gran parte pubblicati negli anni '80. Gli scarti con un prevalente effetto fondente sono rappresentati da reflui — ricchi di metalli pesanti — delle industrie ceramiche, metallurgiche e metalmeccaniche. Essi sono stati studiati in una dozzina di lavori.

L'ultima categoria include scarti di composizione silicatica che svolgono prevalentemente effetti dimagranti o plastificanti negli impasti per laterizi. Molti sono gli studi effettuati che trattano questo tipo di scarti:

**A. SCARTI COMBUSTIBILI:** a questa categoria appartengono: residui degli impianti di trattamento dei rifiuti urbani, scarti della lavorazione del carbone, scarti dell'industria tessile e conciaria, reflui derivanti dalle lavorazioni del petrolio, della carta, del legno.

In linea di massima, le aggiunte di scarti praticabili agli impasti ceramici risultano quantitativamente assai modeste (quasi mai maggiori del 10%) e gli effetti principali (oltre al risparmio energetico in fase di cottura) sono rappresentati da un aumento di porosità (con conseguente alleggerimento in pasta) e da una diminuzione di ritiro e di resistenza meccanica dei manufatti.

*A.1 Scarti degli impianti di trattamento dei rifiuti urbani:* tali scarti presentano ovviamente una composizione assai variabile per via della diversa origine dei rifiuti e dei differenti processi di trattamento a cui sono sottoposti. Un carattere comune è il rilevante contenuto di sostanza organica: si va dal 10-20% in peso nelle ceneri degli inceneritori dei rifiuti solidi urbani (*Osman Ahmed B., 1994*) a valori oscillanti fra il 30 e il 60% ed oltre per fanghi fognari (*Mesaros R., 1989*).

Questi scarti sono spesso preventivamente trattati tramite essiccamento ed in certi casi cottura a 450°C (*Osman Ahmed B., 1994; Brosnan D.A. et al., 1992*). Hanno una struttura chimica essenzialmente silicatica con non trascurabili tenori di metalli pesanti quali Pb, Zn, Cr, Cu, ecc. (*Mesaros R., 1989; Brosnan D.A. et al., 1992; Boesmans B. et al., 1983*).

Relativamente alla quantità di scarto aggiunto alle argille, si va da valori non superiori al 2% in peso (*Osman Ahmed B., 1994*) fino a valori del 25-30% (*Alleman J.E., 1987-1989*). Quantità superiori inficiano irrimediabilmente le proprietà tecnologiche dei laterizi (*Mesaros R., 1989; Boesmans B. et al., 1983*).

Da segnalare, infine, i vantaggi ambientali legati al risparmio di materie prime ed allo smaltimento di sostanze potenzialmente inquinanti (*Churchill M., 1994; Slim J.A. et al., 1991*).

Gli effetti riscontrati sugli impasti crudi sono rappresentati prevalentemente da un incremento della plasticità, con un miglioramento delle proprietà reologiche e conseguentemente una più facile foggatura (*Mesaros R., 1989; Alleman J.E., 1987*).

Le ragioni di tale comportamento sono da ricercarsi nella struttura fibrosa di buona parte della frazione organica aggiunta.

Nei manufatti cotti si riscontra un generale incremento dell'assorbimento d'acqua e una conseguente diminuzione di densità del laterizio. Il ritiro in cottura tende ad aumentare spesso anche considerevolmente. Tali variazioni strutturali si riflettono sulla resistenza meccanica (*Tay J. H., 1987*).

Un aspetto negativo da rilevare è lo sviluppo, in fase di cottura, di odori sgradevoli, per cui è necessario prestare notevole attenzione alle condizioni dei cicli di cottura. Inoltre è possibile l'insorgere di fenomeni efflorescenti e di cuore nero (*Brosnan D.A., 1992; Alleman J.E., 1989*).

*A.2 Fanghi dell'industria cartaria:* i fanghi derivanti dalla depurazione delle acque reflue di cartiera sono caratterizzati da un contenuto in sostanze organiche di circa il 20%

del peso secco (Frosini C., 1991; Zani A. et al., 1991; Tenaglia A. et al., 1992; Marchetti N. et al., 1995) e da un potere calorico attestato attorno a 2000 kcal·kg<sup>-1</sup>.

Un semplice essiccamento a 100°C produce generalmente una perdita di peso superiore al 50% (Zani A. et al., 1991; Tenaglia A. et al., 1992; Marchetti N. et al., 1995). La componente inorganica è data principalmente da SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e, in taluni casi, MgO e CaO.

Sono state sperimentate aggiunte di tali fanghi essiccati agli impasti in quantità sempre inferiori al 10%; la quantità ottimale è indicata fra 3% e 8% (Frosini C., 1991; Zani A. et al., 1991; Tenaglia A. et al., 1992; Marchetti N. et al., 1995). Queste aggiunte producono sulla barbottina un lieve aumento dell'acqua di impasto e del ritiro in secco.

Nelle fasi di estrusione ed essiccamento non si nota l'insorgere di particolari problemi,

Le proprietà dei cotti non vengono particolarmente influenzate dalle modeste aggiunte di fanghi dell'industria cartaria (Kutassy L., 1982). Per ciò che concerne il risparmio di combustibile si va da valori trascurabili (Frosini C., 1991; Kutassy L., 1982) sino a risparmi del 18% circa (Zani A. et al., 1991; Tenaglia A. et al., 1992; Marchetti N. et al., 1995). Il riciclaggio di questi scarti è divenuto ormai una realtà in una serie di laterifici italiani (Fabbri B. et al., 1995 vol.1).

*A.3 Segatura di legno:* l'impiego della segatura derivante dall'industria della lavorazione del legno, in aggiunta alla materia prima argillosa, permette la produzione di laterizio alleggerito in pasta e contemporaneamente un risparmio energetico, che può giungere fino al 15% del fabbisogno globale (Zani A., 1986).

Le quantità di segatura aggiunte all'argilla sono sempre limitate: i valori ottimali si aggirano infatti sul 4-5% in peso; la granulometria della segatura deve essere il più possibile equilibrata tra le varie frazioni e comunque la dimensione massima delle particelle non deve superare i 2 mm, se si vuole evitare una sua macinazione preventiva (Giordani M. et al., 1986). L'uso di questi scarti migliora la lavorabilità delle argille e diminuisce i tempi di essiccamento (Zani A., 1986; Giordani M. et al., 1986).

Il prodotto cotto risulta alleggerito, con conseguente miglioramento delle prestazioni termiche ed acustiche. L'assorbimento d'acqua tende a crescere anche notevolmente, mentre il ritiro rimane invariato, presentando tutt'al più lievi diminuzioni.

La resistenza meccanica subisce dei decrementi valutabili tra il 10 ed il 30%, ma ciò non rappresenta un inconveniente, se l'obiettivo è l'ottenimento di un prodotto alleggerito in pasta.

Complessivamente, l'introduzione di piccole quantità di segatura negli impasti per laterizi risulta praticabile sia del punto di vista economico che tecnologico (Zani A., 1986; Giordani M. et al., 1986; Isenhour C.T., 1979). Gli aspetti sfavorevoli possono essere dati dall'insorgenza di efflorescenze o dall'emissione, sotto forma gassosa, di elementi nocivi (Kohler A., 1988; Mortel H. et al., 1991).

La segatura di legno è attualmente utilizzata da un piccolo numero di stabilimenti italiani, sia aggiunta all'impasto argilloso che come combustibile del forno (*Fabbri B. et al., 1995 vol.1*)

*A.4 Scarti derivanti dall'industria tessile:* l'utilizzo di scarti dell'industria tessile (peluria di scarto e fanghi di trattamento delle acque di lavaggio della lana) nella produzione di laterizi fornisce effetti positivi per ciò che riguarda il risparmio di carburante.

Nel caso della peluria, le aggiunte di scarto all'impasto non sono superiori a 1,5% (*Zani A., 1986; Rozzi I. et al., 1987*), mentre nel caso dei fanghi di lavaggio della lana sono indicate quantità del 10

Per la peluria di scarto esistono problemi legati alle dimensioni dei filamenti tanto da rendersi necessaria una macinazione preliminare.

La presenza degli "scarti tessili" nelle quantità suddette mantiene sostanzialmente inalterate le proprietà in crudo del laterizio.

*A.5 Scarti dell'industria conciaria:* il riciclaggio degli scarti provenienti da conerie, siano essi fanghi di smaltimento (*Baudone M., 1991; Rocchi F., 1991; Komissarov S.A. et al., 1994; Pavlova L., 1996*) o residui di pelli conciate (*Orgiles Barcelo A.C. et al., 1990*) appare problematico per via del loro contenuto in elementi inquinanti, in primis cromo. Infatti, tali fanghi sono potenzialmente utilizzabili come combustibili in funzione del loro non trascurabile potere calorico, ma dovrebbero essere sottoposti a continui controlli tossicologici ed ambientali.

Il loro dosaggio negli impasti per laterizi, pertanto, è principalmente condizionato dal contenuto in cromo. Le aggiunte non eccedono il 10% di scarto e producono, in genere, effetti di alleggerimento in pasta dei cotti, con miglioramento delle caratteristiche termoisolanti. In particolare, i residui di pelli conciate al cromo producono effetti dimagranti sull'impasto, cioè maggiore facilità di essiccamento, diminuzione di ritiro e di resistenza a flessione, aumento di porosità (*Baudone M., 1991; Rocchi F., 1991; Orgiles Barcelo A.C. et al., 1990*).

In definitiva, il riciclaggio dei reflui conciari è possibile da un punto di vista tecnologico, ma devono essere tenuti sotto stretto controllo l'emissione di cattivi odori durante la cottura e il rilascio di cromo dai prodotti.

*A.6 Scarti dell'estrazione e della produzione di carbonio:* le indagini volte a verificare il possibile reimpiego di questi scarti sono numerose (*Lemaire M., 1983; GonzalesCañibano J. Et al., 1983; Gomez Cañibano J., 1985; Fernandez Valcarce J.A. et al., 1983; Andrade G. et al., 1994; Vimini C., 1988; Boldyrev A.S., 1989; Caligaris R.E. et al., 1990; Mikhailov V.I., 1990; Kapustin A.P. et al., 1991; Polach P., 1990; Siefke C., 1997*).

I prodotti di scarto derivanti dall'estrazione e dalla raffinazione del carbone possiedono, di norma, un potere calorico significativo, ma assai variabile che

permetterebbe comunque un forte risparmio energetico, stimato tra il 20 ed il 40%, con punte anche del 60% (Lemaire M., 1983; Boldyrev A.S., 1989).

La componente inorganica di tali scarti è costituita in prevalenza da minerali argillosi e quarzo; la composizione chimica è pertanto ricca di silice, allumina e ossido di ferro, con tenori generalmente ridotti di elementi alcalini ed alcalino-terrosi. Questi materiali sono molto eterogenei, tanto che per alcuni viene consigliato un pretrattamento di raffinazione e/o macinazione, per altri l'utilizzo tal quale. Di conseguenza, la quantità di scarto aggiunto alle argille è molto variabile: il contenuto più frequente è dell'ordine del 10-15% (Rocchi F., 1991; Komissarov S.A. et al., 1994; Pavlova L., 1996; Orgiles Barcelo A.C. et al., 1990; Lemaire M., 1983), ma alcuni autori ritengono praticabile un loro utilizzo pressoché totale come materia prima alternativa all'argilla nella produzione di laterizi (Fernandez Valcarce J.A., 1983; Caligaris R.E., 1990).

I caratteri tecnologici dei prodotti ottenuti con questi materiali variano in funzione dell'azione ora plastificante ora dimagrante esercitata dagli stessi: tendono comunque a migliorare il comportamento in essiccamento e, in linea di massima, la resistenza meccanica dei semilavorati. Si denota anche un aumento di porosità nei cotti.

L'utilizzo degli scarti di carbone, sia in miscela con argille sia come materia prima in toto, fornisce risposte abbastanza positive da un punto di vista tecnologico e soprattutto economico. In alcuni casi è stato possibile ottenere prodotti di elevata qualità a basso costo (Lemaire M., 1983).

*A.7 Scarti della raffinazione del petrolio:* i residui della raffinazione del petrolio possiedono un elevato potere calorico, quindi la loro introduzione negli impasti permette significativi risparmi di combustibile. Il coke di petrolio, ottenuto dalle frazioni più pesanti della distillazione del petrolio (catrami), viene utilizzato allo stato di polverino macinato (diametro delle particelle <100  $\mu$ m) anche da un piccolo numero di stabilimenti italiani (Fabbri B. et al., 1995 vol.1).

Esso è aggiunto ad impasti da laterizi in percentuali sempre inferiori al 2,5% (Carini A. et al., 1987). In queste sperimentazioni non sono state notate significative alterazioni nella qualità del prodotto finale.

Addizioni di cere di petrolio dell'1-2% all'impasto consentono di fabbricare laterizi con buone proprietà termoisolanti. La presenza di cere di petrolio determina effetti positivi sul ritiro, con diminuzione sia in secco che in cotto (Almeida Valente J.J.R.C. et al., 1991).

*A.8 Altri scarti combustibili:* si tratta di scarti di varia provenienza, accomunati da notevoli contenuti di sostanze combustibili, che consentono fondamentalmente di ridurre i consumi in cottura.

Alcune esperienze sono state condotte su olii minerali esausti. Una loro aggiunta all'impasto in percentuali non superiori al 5% facilita l'estrusione e permette di ottenere cotti con caratteristiche tecnologiche inalterate, o addirittura lievemente migliorate, e con buone proprietà termoacustiche a seguito del considerevole aumento di porosità.

L'uso di residui di noci di cocco in miscela con argille, permette di produrre blocchi alleggeriti in pasta e di avere un considerevole vantaggio energetico. Per aggiunte del 20% di scarto è stato stimato un risparmio di combustibile del 17% grazie al discreto potere calorico. I prodotti così ottenuti mostrano un ritiro minore, ma anche resistenza meccanica notevolmente inferiore a quella dei laterizi privi di residui di noce di cocco (*Mukundan P. Et al, 1984*) La lolla di riso è composta quasi esclusivamente da silice e componenti volatili; una sua aggiunta negli impasti per mattoni consente un certo risparmio di combustibile e di materia prima e l'ottenimento di laterizi alleggeriti in pasta di discreta qualità. Tali scarti sembrano diminuire anche considerevolmente le proprietà meccaniche dei cotti, anche se in qualche caso se ne è evidenziato un lieve miglioramento (*Rahman M., 1988*).

L'utilizzazione negli impasti per laterizi della sansa di oliva e di fogliame macinato è in atto in alcune zone di intensa coltivazione dell'ulivo in Italia e in Spagna. Prodotti contenenti questi scarti denotano un miglioramento del comportamento in essiccazione, mentre i cotti presentano porosità più alta e resistenza meccanica leggermente inferiore (*Fabbri et al., 1995 vol.1; Luque F.J., 1995*).

Infine, vi sono ulteriori esempi inerenti il polistirolo riciclato dagli imballaggi (*Koniger R., 1995*), gli scarti della lavorazione dell'olio di palma (*Abdullah C.S. et al., 1995*) e la gomma dei pneumatici preventivamente macinata (*Pavlova L., 1996*)

**B. CENERI VOLANTI:** l'utilizzo del carbone come combustibile nelle centrali termoelettriche dà luogo a residui solidi inerti detti "ceneri", che contengono anche piccole quantità di particelle carboniose incombuste. Mediamente si può assumere che da 1 kg di carbone si ottengano 150 g di ceneri, nelle quali sono contenuti da 6 a 24 g di carbone incombusto (*Barbieri U., 1986*).

Le loro caratteristiche fisiche e chimiche sono estremamente differenziate in funzione soprattutto del tipo di carbone e di forno utilizzati. Da uno sguardo d'insieme dei lavori considerati, risulta che la composizione granulometrica delle ceneri volanti varia generalmente da 5 a 200  $\mu$ m, con dimensione media attestata attorno a 30-50  $\mu$ m. Di conseguenza, l'utilizzazione delle ceneri volanti non richiede in genere una macinazione; inoltre, le particelle tendono ad avere una forma sferica conferendo, con ciò, una buona fluidità agli impasti (*Gambaro F. et al, 1977*). Si tratta di materiali in gran parte amorfi (silice vetrosa), con una scarsissima componente cristallina costituita da aghi finissimi di mullite (*Barbieri U., 1986*). Molto variabile risulta essere anche la composizione chimica: silice (30-55%), allumina (15-40%), ferro (5-14%), calcio (1-15%), sodio (0,1-1,5%), potassio (0,2-3,6%), magnesio (1-5%). Le ceneri volanti sono state usate sia come materiale parzialmente sostitutivo dell'argilla sia come materia prima in grado di fornire un contributo energetico in fase di cottura.

L'aggiunta di ceneri volanti alle materie prime argillose produce un generalizzato miglioramento del comportamento degli impasti tanto in fase di formatura quanto in fase di

essiccamento. L'effetto delle ceneri volanti negli impasti è generalmente dimagrante e favorisce l'essiccamento riducendo la formazione di screpolature e fessurazioni (Zani A., 1986; Barbieri U., 1986; Giordani M. et al., 1986; Anderson M. et al., 1983; De Gutierrez R.M. et al., 1996; Sajbulatow S.Š. et al., 1980; Šrbek F., 1982).

Tuttavia, il loro uso in stato finemente suddiviso può anche conferire plasticità agli impasti (Stefanov S., 1986-1989) Si può registrare, invece, un lieve calo della resistenza a flessione in secco, che comunque non inficia le caratteristiche del prodotto (Zani A., 1986).

Riguardo alle caratteristiche dei materiali prodotti con miscele argilla/fly ash, si nota una frequente tendenza al miglioramento delle proprietà meccaniche dei manufatti, imputabile a formazione in cottura di fasi tipo mullite (Usai G., 1985; Nastro A. et al., 1994).

Il ritiro in cottura tende ad aumentare con il contenuto di fly ash, mentre per la porosità non manifesta un andamento univoco. Questa circostanza è dovuta all'utilizzo di fly ash di composizione diversa e in quantità variabili nell'impasto (Lemaire M. 1983; Nastro A. et al., 1994; Anderson M. et al., 1983; Usai G., 1989 ). L'utilizzo di ceneri volanti pare favorire inoltre una diminuzione dei fenomeni efflorescenti (Barbieri U., 1986; Zani A., 1986; Mortel H. et al., 1991).

In conclusione, sono state provate aggiunte di questi materiali alle argille in quantità estremamente variabili a seconda della principale funzione delle ceneri volanti nell'impasto per laterizi. Relativamente all'economicità del loro utilizzo, si va da giudizi estremamente positivi (Nastro A. et al., 1994; Sajbulatow S.Š., 1980; Yilmaz S. et al., 1997) o comunque favorevoli (Mortel H. et al., 1991; Gambero F. et al., 1977; Anderson M. et al., 1983; Šrbek F., 1982; Usai G., 1985; Cabrera J. G. et al., 1983, Usai G., 1989) fino a giudizi negativi (Zani A. 1986; Anonimo G., 1979). Tali valutazioni economiche sono peraltro influenzate da aspetti estranei al processo tecnologico, quali quelli riferibili agli elevati costi di trasporto (Barbieri U., 1986).

**C. SCARTI FONDENTI**: un altro gruppo di scarti è quello rappresentato dai fanghi provenienti dalle linee di smaltatura dei piastrellifici ceramici, dagli impianti di placcatura e da lavorazioni metallurgiche e metalmeccaniche. L

a composizione di questi scarti è sostanzialmente a base silico-alluminosa con contenuti molto variabili di metalli pesanti e di elementi alcalini ed alcalino-terrosi (Palmonari C. et al., 1985).

Questi scarti hanno un prevalente effetto "fondente", che si manifesta con una sostanziale diminuzione della porosità a parità di temperatura di cottura degli impasti. Uno dei vantaggi di tale effetto fondente è il possibile risparmio energetico conseguente all'abbassamento delle temperature di cottura dei manufatti.

Le miscele argilla-scarto "fondente" esercitano degli effetti positivi sugli impasti sia in fase di estrusione, sia durante l'essiccamento. Il ritiro in secco rimane invariato o tende a diminuire leggermente, mentre si ha una riduzione di laminazioni e



fessurazioni. Il principale punto a sfavore, in queste fasi del processo di lavorazione, è rappresentato da un decremento della resistenza meccanica del secco (*Facincani E. et al., 1987*).

Sui prodotti cotti è stato rilevato un incremento delle proprietà meccaniche; peraltro si ha una lieve diminuzione dell'assorbimento d'acqua all'aumentare del contenuto in fanghi ed un ritiro sostanzialmente invariato o lievemente aumentato. Inoltre, è stata constatata una forte riduzione delle manifestazioni efflorescenti (*Facincani E. et al., 1987*; Vincenzini P. et al., 1983; Ortelli G. et al., 1983).

L'aggiunta di fanghi provenienti dalle linee di smaltatura dei piastrellifici ceramici risulterebbe positiva soprattutto dal punto di vista dell'impatto ambientale; perchè verrebbero così resi innocui fanghi potenzialmente tossici e di difficile smaltimento.

Per ciò che concerne i fanghi da impianti di galvanizzazione, è stato proposto un loro utilizzo in percentuali inferiori al 5% dell'impasto. L'impiego di tali scarti richiede però un trattamento preventivo di inertizzazione a causa degli elevati contenuti in metalli pesanti. Le prove effettuate hanno mostrato un miglioramento sia delle proprietà meccaniche, sia della resistenza al gelo dei laterizi (*Kutassy L., 1982*; *Daunoravitchiute D.S., 1989*; *Stanaitis V. et al., 1995*; *Manns W. Et al., 1977*).

Risultati incoraggianti sono stati ottenuti impiegando gli scarti delle fornaci ad arco elettrico per la fusione dell'acciaio (*Boltyanskii A.V. et al., 1995*; *Perez J.A. et al., 1996*; *Domínguez E.A. et al., 1996*).

Blocchi fabbricati con miscele di argilla più 20% di scarto hanno mostrato buone caratteristiche tecnologiche e cessioni di elementi tossici entro la norma, sia come eluati che come emissioni gassose (*Domínguez E.A. et al., 1996*).

**D. SCARTI DIMAGRANTI E PLASTIFICANTI:** materiali di scarto dell'industria mineraria e metallurgica possono svolgere, durante il processo di lavorazione della materia prima argillosa, una funzione "dimagrante" o "plastificante". Una distinzione netta è comunque difficoltosa, in quanto il manifestarsi dell'uno o dell'altro effetto è di sovente in relazione con la distribuzione granulometrica degli scarti stessi e/o con le caratteristiche delle argille con cui vengono miscelati (*Fabbri B. et al., 1986*). Questi scarti presentano composizioni chimiche nel complesso assai variabili, in relazione alla loro provenienza da diversi tipi di lavorazioni dell'industria mineraria, dei cementifici o di impianti termoelettrici (*Fabbri B. et al., 1986*; *Mikhalkovich L.N., et al., 1976*; *Bowman R., 1979*; *Khalil A.A. et al., 1996*).

Alcuni materiali vengono utilizzati, a causa della loro distribuzione granulometrica tendenzialmente grossolana, per attenuare la plasticità delle materie prime argillose (scarti dimagranti). Gli impasti risultanti richiedono pertanto una minore quantità di acqua per assumere una buona lavorabilità e sono caratterizzati da lievi diminuzioni di ritiro e una minore sensibilità all'essiccamento.

Le quantità di scarti utilizzate sono del 10-60% ; tali apporti provocano, come effetto sui cotti, lievi diminuzioni di resistenza meccanica e di ritiro, mentre gli altri parametri non paiono influenzati.

In conclusione, pare accertata la possibilità di utilizzo di questi materiali di scarto come materia prima dimagrante parzialmente sostitutiva dell'argilla, per la produzione dei laterizi.

Altri scarti dell'industria mineraria e metallurgica sono utilizzabili come plastificanti in quanto essi sono in grado di conferire plasticità all'impasto facilitandone la formatura e permettendo pertanto un "risparmio" di materia prima argillosa. Tali materiali sono costituiti prevalentemente da minerali argillosi più quarzo, feldspati e carbonati; provengono in genere dalla lavorazione di rocce e minerali, quali bauxite, feldspato, sabbia quarzosa, fluorite, pirite e ghiaie. Essi vengono comunemente addizionati in quantità comprese fra il 5 ed il 15%, con punte però anche del 60-100% (*Prakash S. et al., 1987; Kara M. et al., 1995*).

L'effetto più rilevante di tali aggiunte si concretizza in un aumento di plasticità, con conseguente lieve incremento del ritiro in fase di essiccamento.

I prodotti cotti risultano caratterizzati da generalizzati incrementi, anche notevoli, di resistenza agli stress meccanici (*Isakovski S. et al., 1983*). Porosità e ritiro, invece, sembrano variare a seconda dei casi.

Infine, è stata proposta l'aggiunta, inferiore al 10%, di materiali contenenti amianto derivanti dalla demolizione di guarnizioni dei freni. La cottura, provocando la trasformazione dell'amianto in sostanze innocue — quali la forsterite — apporta forti vantaggi per la salute dell'uomo, evitando l'inquinamento ambientale, e non pregiudica la qualità dei prodotti finiti. Si hanno infatti una diminuzione di ritiro e un leggero incremento di assorbimento d'acqua, con un parallelo calo di resistenza meccanica; è dichiarato anche un debole risparmio energetico (*Tamas F.D. et al., 1990*).

In seguito a quanto finora esposto si può affermare che le proprietà tecnologiche dei prodotti, realizzati mediante aggiunta alle argille di scarti urbani e/o industriali, subiscono variazioni generalmente tollerabili, e di sovente positive, quali un alleggerimento in pasta che permette ulteriori vantaggi economici in fase di trasporto e di posa e conferisce al prodotto migliori proprietà di isolamento termico.

La grande variabilità composizionale dei rifiuti impone sempre la realizzazione, in ciascun caso, di una serie di sperimentazioni specifiche, preliminari all'uso industriale di un determinato tipo di rifiuto. Inoltre, è necessaria una frequente verifica delle caratteristiche di scarti già inseriti nel processo produttivo, allo scopo di prevenire i negativi effetti connessi con una eccessiva variabilità.

**~ CLASSIFICAZIONE DEI PROVINI SECONDO NORMATIVA ~**

**7.3 PROVINI REALIZZATI CON ARGILLA E SCARTO DI FERRITE DI ZINCO**

La possibilità di utilizzare scarti provenienti da industrie metallurgiche di zinco è stata studiata attentamente, vista la pericolosità degli stessi sia per l'uomo che per l'ambiente e, messa in atto dopo esser stati certi che altri studi avevano riportato in letteratura risultati soddisfacenti in questo campo (*Pelino M., 2000; Dominguez et al., 1996; R. Orru et al., 1999*).

La miscela argilla-ferrite di zinco è stata preventivamente essiccata e macinata uniformemente con un mulino da laboratorio sino alle dimensioni minime di 0.75 mm.

Le argille vengono sempre lavorate ad umido, seguendo il processo già descritto nel paragrafo precedente.

La foggatura viene eseguita, come già definito, per estrusione allo stato plastico, con un contenuto di acqua per lo più compreso tra 20%. A tal proposito la miscela di argille è stata mescolata, in un omogeneizzatore di piccole dimensioni, con diverse percentuali di scarto rispetto al peso totale e con il 20% d'acqua, così da realizzare 3 miscele diverse da caratterizzare. Per uniformare i risultati, tali miscele sono stati confrontati con prodotti preparati con impasti di solo argilla e acqua.

La normativa a cui si fa riferimento per la classificazione dei manufatti è la UNI 8942 per "Prodotti di laterizio per murature".

Secondo la norma, i campioni presi in esame sono **mattoni pieni da rivestimento, estrusi con massa normale**. La nomenclatura tecnica è **MPR 21**.

Per facilità di individuazione nel seguito verrà indicato con:

1. *AA* campioni realizzati con 100% (5 Kg) di miscela argillosa e 1 Kg di acqua di impasto;
2. *BB* campioni realizzati con 98% (4.9 Kg) di miscela argillosa, il 2% in peso (cioè 100 gr) di ferriti di zinco e 1 Kg (20%) di acqua di impasto;
3. *CC* campioni realizzati con 96% (4.8 Kg) di miscela argillosa, il 4% in peso (cioè 200 gr) di ferriti di zinco e 1 Kg (20%) di acqua di impasto;
4. *DD* campioni realizzati con 92% (4.6 Kg) di miscela argillosa, l' 8% in peso (cioè 400 gr) di ferriti di zinco e 1 Kg (20%) di acqua di impasto;

**7.4 Classificazione a norma**

**7.4.1 Ritiro**

Seppur non richiesto dalla normativa, è stato effettuato un'analisi sull'accorciamento delle dimensioni del campione dopo la fase di cottura.

In questo modo è possibile studiare il comportamento delle miscele di argilla e/o argilla+ferrite. Perciò, conoscendo il ritiro medio, è possibile prevedere le possibili

dimensioni finali per manufatti di forma diversa da quella studiata o, in maniera inversa, da che misura partire per avere un prodotto finito delle dimensioni finali note.

Si deve tener presente che sono stati analizzati campioni, aventi dimensioni ben precise a crudo ( $15\text{ cm} \times 2,5\text{ cm} \times 1,3\text{ cm}$ ). I dati seguenti si riferiscono al ritiro avvenuto lungo la dimensione maggiore. Considerando la lunghezza di riferimento  $L_0 = 15\text{ cm}$ , quella dopo essiccamento  $L_E$ , e quella dopo cottura  $L_C$ , per il calcolo del ritiro in essiccamento si utilizza questa formula:

$$\text{Rit.Essic.(\%)} = \frac{L_0 - L_E}{L_0} \times 100$$

Per la formula del ritiro dopo cottura si utilizza invece:

$$\text{Rit.cott.(\%)} = \frac{L_0 - L_C}{L_0} \times 100$$

Come si può notare dai dati, il ritiro in essiccamento diminuisce per tenore di ferrite al 2%, e poi aumenta per contenuto di ferrite crescenti, fino ad arrivare a valori molto simili a quelli della sola argilla. Identico discorso per il ritiro a cottura. Ancora una volta si può osservare una diminuzione per la miscela al 2%, poi si mantiene pressoché costante per la miscela al 4% e ritorna ai valori della sola argilla per la miscela all' 8%.

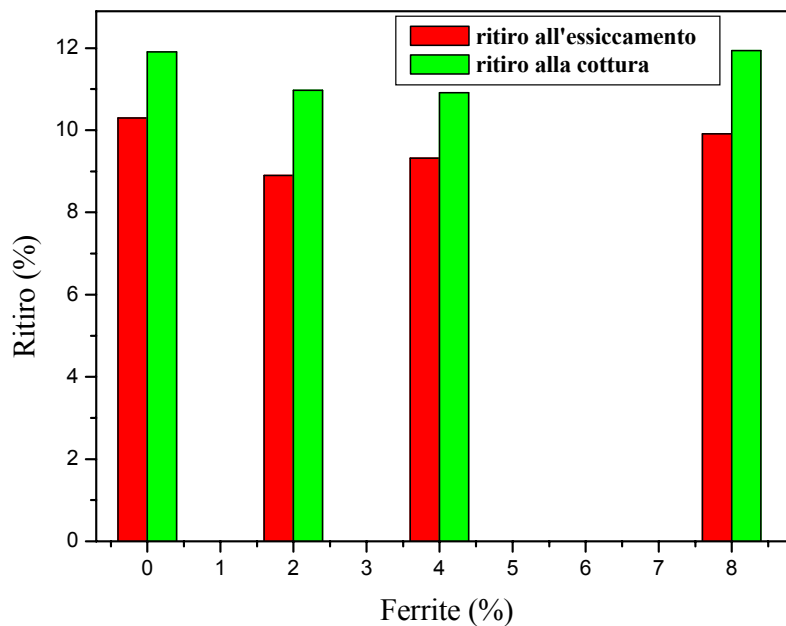


Figura 7.1 – Valori dei ritiri medi in essiccazione e cottura

### 7.4.2 Peso

Un altro parametro interessante riguarda la perdita di peso in essiccamento e cottura. Tale valore può farci capire quanta acqua si perda in fase di essiccamento e se ci sono variazioni, qualitative, di tipo chimico ad alta temperatura in fase di cottura.

Anche per questi valori denominando il peso iniziale  $P_0$ , quello in essiccamento  $P_E$ , e quello in cottura  $P_C$  si ha che:

$$\text{Perdita Essic.(\%)} = \frac{P_0 - P_E}{P_0} \times 100$$

Mentre per la perdita a cottura si ha:

$$\text{Perdita Cottura(\%)} = \frac{P_0 - P_C}{P_0} \times 100$$

Si nota subito che i valori medi si mantengono molto vicini fra loro. In essiccamento si ha l'andamento già visto per il ritiro medio; diminuisce per tenore di ferrite al 2%, e lentamente aumenta fino a raggiungere gli stessi valori della sola argilla. In cottura, invece si verifica che prima scende (Ferrite 2%) e poi ritorna a valori poco superiori a quelli della nuova argilla per le altre miscele. In generale possiamo parlare di una sostanziale costanza dei due andamenti. Naturalmente, quello relativo alla perdita di peso dopo essiccamento è minore di quello dopo cottura.

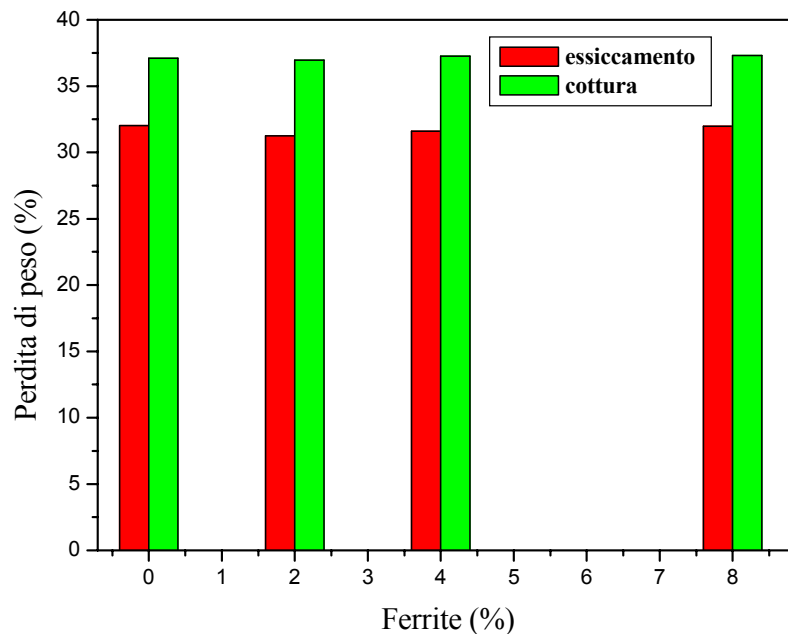


Figura 7.2 – Valori delle perdite di peso medie in essiccazione e cottura

**7.4.3 Dimensioni esterne – Calcolo volume lordo e netto (UNI 8942 parte III - punto 6)**

*Resoconto di prova:* Per il calcolo del volume lordo si è proceduto secondo normativa. Le misure sono state effettuate con calibro a precisione 0,5 millimetri e riassunte nelle *Tabella A.6* e *A.7* dell'Appendice A.

Per quanto riguarda il calcolo del volume netto, diversamente dalla norma sono state effettuate 3 misure, utilizzando un recipiente adatto alla dimensione dei campioni.

I risultati ottenuti sono riassunti in *Tabella A.8* in Appendice A.

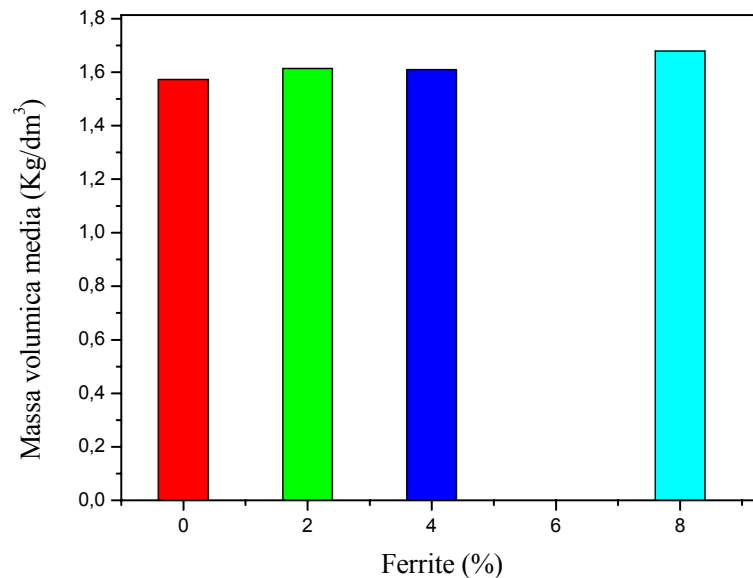
In *Tabella 7.1* si riportano i valori medi delle misurazioni delle tre dimensioni e i relativi valori di volume lordo e netto.

**Tabella 7.1 - Calcolo Volume lordo ( $V_l$ ) e netto ( $V_n$ )**

Campioni	Misurazioni (cm)			Misurazioni (dm <sup>3</sup> )			Volume lordo e netto	
	A <sub>m</sub>	B <sub>m</sub>	C <sub>m</sub>	V <sub>n1</sub>	V <sub>n2</sub>	V <sub>n3</sub>	V <sub>l</sub> (dm <sup>3</sup> )	V <sub>n</sub> (dm <sup>3</sup> )
<i>AA</i>	12,83	2,19	1,10	0,0327	0,0325	0,0327	0,0161	0,0326
<i>BB</i>	13,38	2,17	1,07	0,0333	0,0334	0,0337	0,0166	0,0335
<i>CC</i>	13,29	2,17	1,09	0,0329	0,0328	0,0327	0,0166	0,0328
<i>DD</i>	13,11	2,16	1,10	0,0320	0,0320	0,0319	0,0164	0,0319

**7.4.4 Massa volumica e massa volumica apparente (UNI 8942 parte III - punto 7)**

*Sperimentazione in laboratorio:* Calcolato il volume netto e lordo si è proceduto come da normativa. In *Figura 7.3* è mostrato l'andamento della massa volumica relativa ad ogni miscela argilla-scarto.



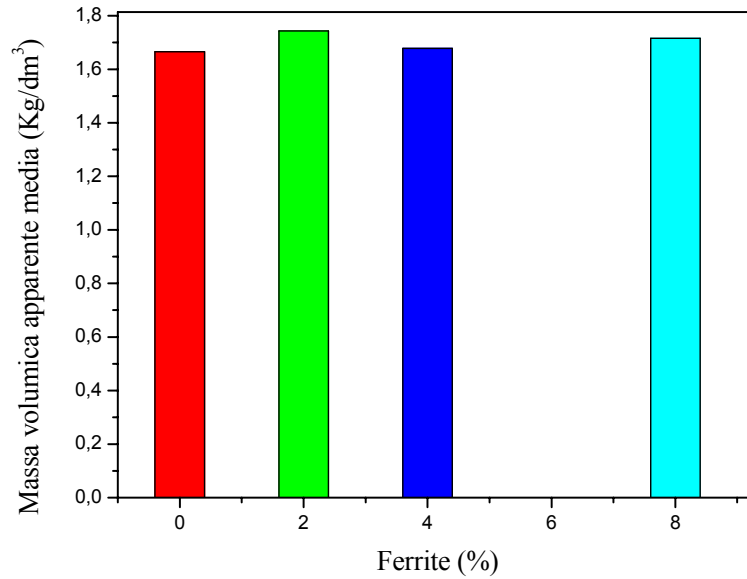
**Figura 7.3** – Massa volumica (Da) media per i campioni a diversa percentuale di ferrite

*Resoconto di prova:* Come si può notare dal grafico un aumento della percentuale di ferrite provoca un aumento della massa volumica media. Ciò potrebbe indicare che vi sia una sostanziale differenza nella dimensione dei pori. La ferrite, infatti, in fase di cottura potrebbe, per effetto del calore, far evaporare sostanze (la CO<sub>2</sub> della degradazione dei carbonati, per esempio), lasciando una maggiore percentuale di pori. Si è poi deciso di considerare il valore medio della massa volumica del campione con percentuale di ferrite nulla come standard di riferimento. I restanti mattoncini verranno confrontati con esso per valutare il rispetto della norma (differenza max  $\pm 8\%$ ). Da questo confronto, risulta che maggiore è la percentuale di ferrite inserita nell'impasto maggiore è la possibilità di superare il limite consentito.

C'è da considerare che numerosi fattori potrebbero influenzare questa grandezza. Già in fase di miscelazione, grumi di ferrite potrebbero aggregarsi microscopicamente, non garantendo la perfetta omogeneità dei vari manufatti.

Tale ipotesi potrebbe essere avvalorata dal calcolo della massa volumica apparente.

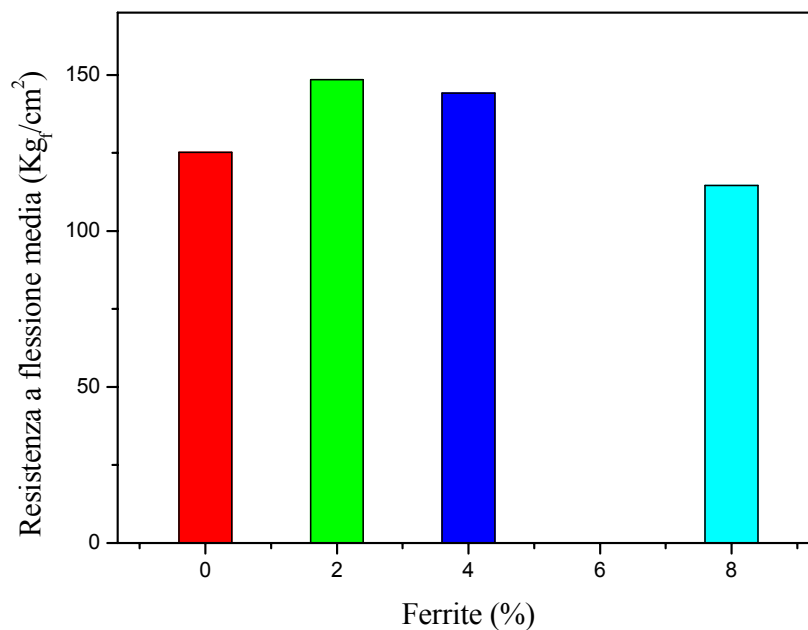
Sebbene non siano richiesti limiti di accettabilità, si può notare che i campioni che più si discostano dallo standard sono quelli al 2% di ferrite (*Figura 7.4*). La loro variazione è minima e quasi trascurabile.



**Figura 7.4** – Massa volumica apparente ( $M_v$ ) media per i campioni a diversa percentuale di ferrite

#### **7.4.5 Resistenza a flessione (UNI 8942 parte III - punto 10)**

*Resoconto di prova:* In base ai risultati ottenuti si assiste ad un miglioramento della resistenza meccanica a flessione media per percentuali di ferrite fino al 4%. Con ferrite all'8 % la media della resistenza scende al di sotto del valore dei campioni senza ferrite. Si deve però notare che considerando i singoli campioni dell'impasto a 8 % si ottengono risultati altalenanti. Questo potrebbe confermare l'ipotesi di un miscelamento disomogeneo che crea alcuni grumi di ferrite che potrebbero influenzare le caratteristiche meccaniche del campione (*Figura 7.5*).



**Figura 7.5** – Resistenza a flessione media per i campioni a diversa percentuale di ferrite



Si riportano in Appendice A (*Tabella A.9*), i valori degli altri parametri caratteristici della prova di resistenza a flessione.

Una volta calcolato il valore medio della resistenza a flessione ( $f_{ff}$ ) è stato possibile determinare, tramite apposite formule di correlazione, la resistenza a compressione e trazione, la resistenza cilindrica, il modulo elastico a trazione e compressione e l'accorciamento a rottura.

- Resistenza media a trazione per flessione  $f_{ff}$
- Resistenza media a trazione  $f_t = 0.5 f_{ff}$
- Resistenza media a compressione su blocco  $f_m = 6.1 \cdot f_{ff}^{0.83}$
- Resistenza cilindrica  $f_c = 3.7 \cdot f_{ff}^{1.245}$
- Modulo elastico a compressione  $E_c = 3500 \cdot f_{ff}^{0.62}$
- Modulo elastico a trazione  $E_t = 3200 \cdot f_{ff}^{0.62}$
- Accorciamento a rottura  $\varepsilon_r = 10^{-3} \cdot f_{ff}^{0.62}$

I valori attenuati vengono riportati di seguito (*Tabella 7.2*)

**Tabella 7.2 – Valori ottenuti dalle formule di correlazione**

Miscele	Flessione media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Trazione media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Compressione (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistenza Cilindrica (Kg/cm <sup>2</sup> )	E compress. (Kg/cm <sup>2</sup> )	E trazione (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\varepsilon_r$ accorc. a rottura (Kg/cm <sup>2</sup> )
AA	125,23	62,61	336,07	1513,01	69926,87	63933,13	0,0200
BB	148,53	74,27	387,20	1871,16	77730,86	71068,21	0,0222
CC	144,17	72,09	377,74	1803,03	76308,29	69767,58	0,0218
DD	114,55	57,28	312,11	1354,17	66169,26	60497,60	0,0189

#### **7.4.6 Inclusioni calcaree (UNI 8942 parte III - punto 11)**

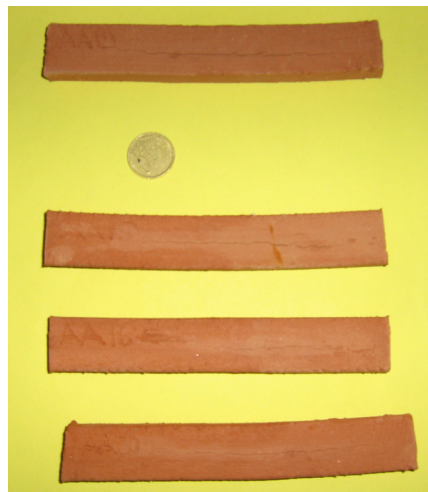
*Resoconto di prova:* Dopo aver effettuato la prova secondo norma si rivelano crateri pressoché nulli.

Dopo aver effettuato l'esame visivo sono stati determinati gli indici richiesti da normativa. Considerando che il campione è a sezione rettangolare si ha che  $N_{7,15} = 0,002$ .

Anche da quest'ultimo valore, le inclusioni calcaree non sono da considerarsi importanti, come effetto.

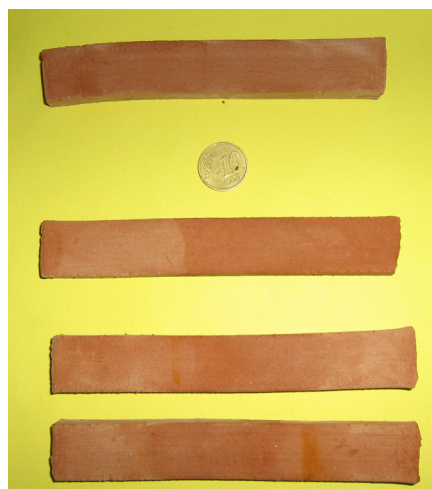
#### **7.4.7 Attitudine alle efflorescenze (UNI 8942 parte III - punto 12)**

*Resoconto di prova:* Si è proceduto secondo norma, ed una volta estratti i provini dall'acqua si è potuto verificare che quelli con miscela con contenuto di argilla pari allo 0-2 % presentano una efflorescenza nulla, poiché non si evince nessun apprezzabile deposito di sali in superficie. Discorso diverso per le altre due miscele. Nelle miscele contenenti il 4-8% di ferrite iniziano a manifestarsi delle sottili patine bianche non uniformi che risultano più evidenti in presenza di lievi fessurazioni superficiali. Questi ultimi presentano, dunque, una efflorescenza leggera.



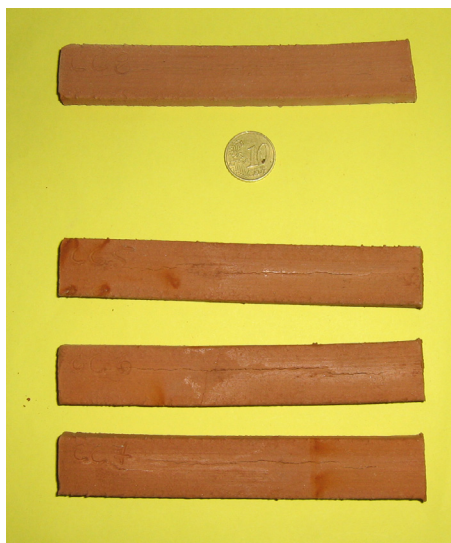
**Figura 7.6** – Efflorescenza per lamiscela di solo argilla

Effettuando il confronto con il campione in alto non inserito in acqua (*Figura 7.6*) si può notare che nei manufatti con sola argilla non vi sono patine. Le macchie più scure sono dovute all'umidità presente ancora nel campione.



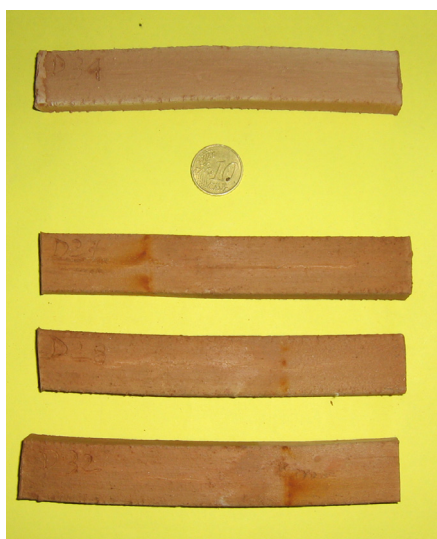
**Figura 7.7** – Campione argilla+2%ferrite

Anche per la miscela al 2% di ferrite (*Figura 7.7*) non si notano patine ma solo le macchie di umidità.



**Figura 7.8** – Campione argilla+4%ferrite

Nella miscela con il 4% di ferrite (*Figura 7.8*), compaiono i primi effetti di efflorescenza, macchie biancastre lungo la fessurazione longitudinale centrale.

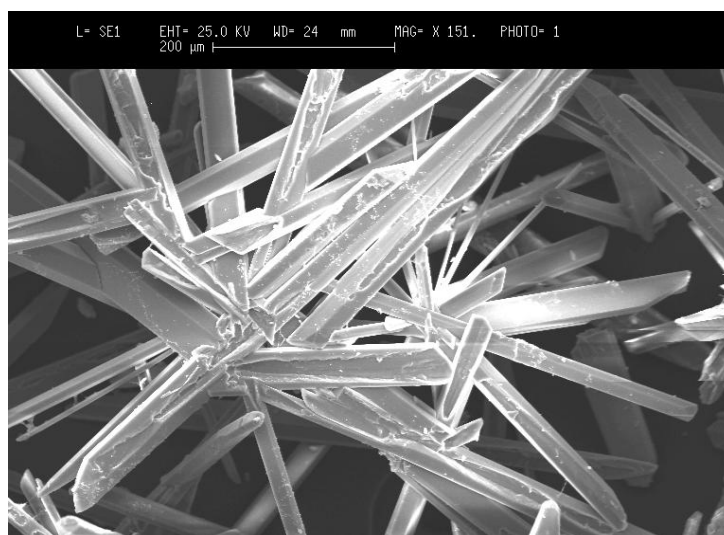


**Figura 7.9** – Campione argilla+8%ferrite

Nella miscela con l'8% di ferrite (*Figura 7.9*) le patine sono più estese, soprattutto nella parte centrale dei campioni. In base ai risultati ottenuti si può dedurre che un aumento della percentuale di ferrite dentro l'impasto favorisce la formazione di sali insolubili. Essi, risalendo, si manifestano sulla superficie dando vita al fenomeno dell'efflorescenza.

Diversamente dalla norma è stata effettuata una ulteriore prova. Il campione è stato tenuto in un contenitore pieno d'acqua per 30 giorni fino a completa essiccazione della stessa. Al termine della prova si è osservata una deposizione di numerosi cristalli formanti una sottile patina bianca sulla superficie dei campioni, esclusivamente in corrispondenza dei manufatti contenenti una maggiore percentuale di ferrite. Tale patina è stata grattata dalla superficie ed analizzata tramite SEM ed EDS (*Figura 7.10*). Quest'ultima ha evidenziato che l'incrostazione è formata da solfato di calcio ( $\text{Ca}_2\text{SO}_4$ ) (comunemente denominato gesso).

L'analisi al SEM ha evidenziato, infine, la struttura tipica dei cristalli di gesso. Si tratta di una struttura filiforme con cristalli intrecciati fra loro. Tali risultati porterebbero a sconsigliare l'uso dei mattoncini contenenti una maggiore percentuale di ferrite per rivestimenti esterni. Infatti le reazioni del gesso con l'acqua potrebbero indurre una degradazione, inizialmente della superficie e poi dell'interno del manufatto, con possibili ripercussioni sull'estetica dell'intera struttura.



*Figura 7.10 – Immagine ottenuta al SEM della patina biancastra*

#### **7.4.8 Imbibizione (assorbimento specifico) (UNI 8942 parte III - punto 13)**

*Resoconto di prova:* Si procede come specificato nella normativa. Si è effettuata una doppia pesata del campione prima di immergerlo in acqua. La prima, riferita al campione posto a temperatura ambiente e la seconda, dopo 15 minuti a 105 °C. I valori ricavati sono riportati in Appendice A (*Tabella A.10*). In *Figura 7.11* è rappresentato l'andamento medio della prova in esame. Come si evince l'imbibizione risulta crescente all'aumentare del contenuto di ferrite. Per la miscela a percentuale bassa (2%) si verifica un miglioramento del valore di imbibizione, sintomo di una maggiore compattezza superficiale dei campioni. I provini con percentuali di ferrite > del 2% presentano dei

valori medi più elevati rispetto ai manufatti composti da sola argilla. Per i campioni a 8 % la differenza con quelli senza ferrite risulta più evidente. Tutte le miscele, comunque, non superano il limite massimo di accettabilità previsto dalla normativa.

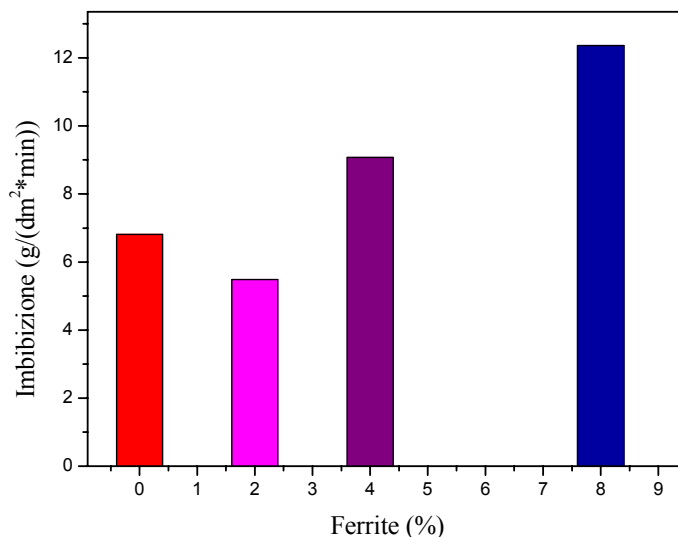
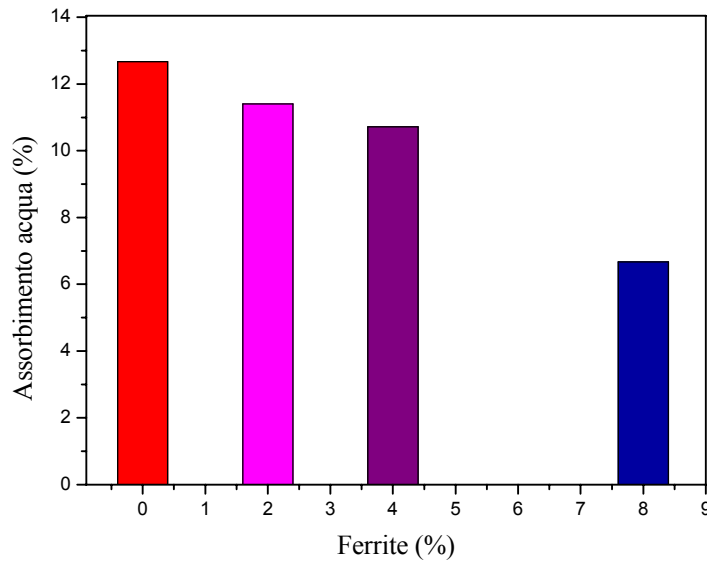


Figura 7.11 – Imbibizione media per i campioni a diversa percentuale di ferrite

#### 7.4.9 Assorbimento d'acqua e stima del rischio di gelività (UNI 8942 parte III - punto 14)

*Resoconto di prova:* Si è proceduto come da normativa. I risultati ottenuti (Figura 7.12) mostrano una tendenza a diminuire dell'assorbimento d'acqua inversamente proporzionale alla percentuale di ferrite presente nella miscela. I manufatti di sola argilla presentano un valore di assorbimento molto elevato (12,67 %). I campioni BB e CC (contenuto di argilla = 2% e 4%) hanno un comportamento molto simile tra loro e non molto differente rispetto all'argilla semplice. Discorso differente per i provini contenenti l'8% di ferrite. In questo caso, infatti, si assiste ad un sensibile decremento (quasi la metà rispetto alla sola argilla) dell'assorbimento d'acqua. Questo comportamento può essere giustificato, ipotizzando che una maggiore quantità di ferrite renda molto più compatto l'interno del campione riducendo la porosità e contrastando, quindi, il fenomeno dell'assorbimento. Questa netta diminuzione può avere aspetti positivi e negativi. Essa, infatti, potrebbe migliorare le caratteristiche di resistenza del campione ma, nello stesso tempo, renderlo maggiormente sensibile alla gelività. Tutti i campioni, tranne quelli all'8%, sottoposti a tale prova mostrano valori medi ampiamente all'interno degli estremi imposti dalla normativa ( 10-25 %).



**Figura 7.12** – Assorbimento medio per i campioni a diversa percentuale di ferrite

In *Tabella A.11* dell'Appendice sono riportati i calcoli eseguiti per la determinazione dell'assorbimento medio dei campioni in esame.

Per quanto riguarda la stima del rischio di gelività, sono stati calcolati tutti i parametri e utilizzando il grafico fornito dalla normativa sono stati visualizzati in figura i risultati ottenuti. Considerando l'incrocio del valore del coefficiente di saturazione con il corrispettivo valore dell'assorbimento si ottengono dei punti diversi per ogni miscela. Di essi soltanto quello al più alto contenuto di ferrite (8%) ricadrebbe all'interno del *campo ad alto rischio di gelività*, ma, comunque, molto prossimo alla *zona di incertezza limitata*. Quella al 4% risulterebbe a *basso rischio di gelività*, mentre quella al 2% ricadrebbe nella *zona ad incertezza elevata per l'attribuzione del rischio*. Discorso diverso per i provini composti da sola argilla che ricadrebbero, però, all'interno della fascia considerata ad *incertezza elevata per l'attribuzione del rischio* (*Figura 7.13*).

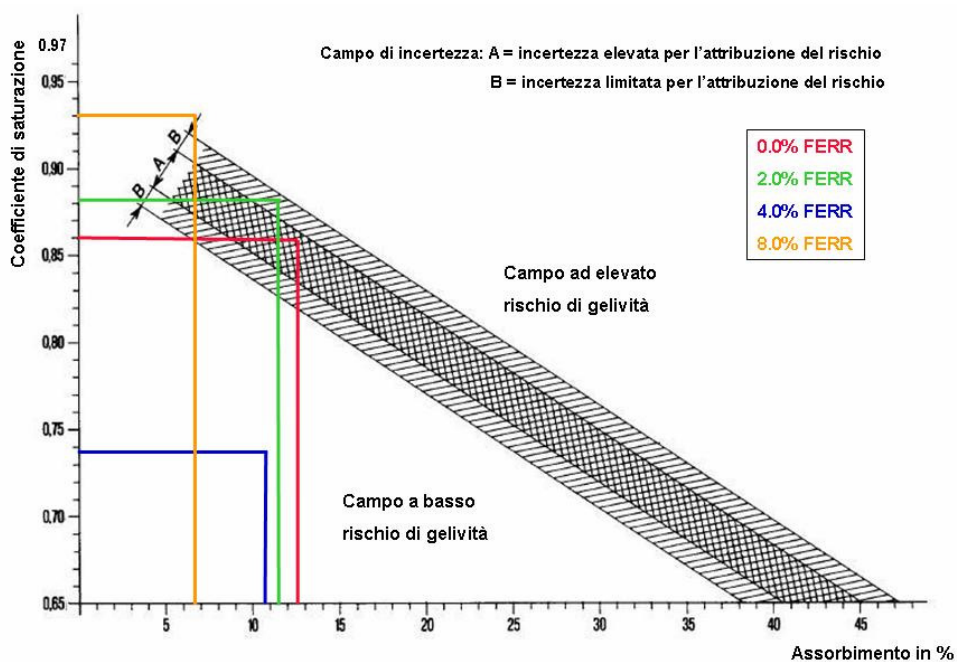


Figura 7.13 – Diagramma utilizzato per la stima del grado di gelività

In Tabella 7.3 sono riportati i valori del coefficiente di saturazione e della % di assorbimento medio della 4 miscele, necessari per la costruzione del diagramma di Figura 7.13.

Tabella 7.3 – Calcolo del coefficiente di saturazione per le 4 miscele

Campione	Peso saturo	Saturaz.	Saturaz. media	% assorb. media
AA10	61,44	0,847	0,86	12,67
AA12	62,12	0,872		
AA13	60,42	0,866		
AA21	61,71	0,852		
BB7	60,13	0,875	0,88	11,40
BB8	60,39	0,874		
BB9	59,75	0,910		
BB25	61,55	0,870		
CC24	65,05	0,778	0,74	10,72
CC25	60,60	0,574		
CC28	64,75	0,808		
CC34	64,97	0,774		
DD4	59,05	0,907	0,93	6,66
DD11	57,47	0,964		
DD12	57,02	0,959		
DD22	58,09	0,905		

I risultati ottenuti sembrerebbero molto discordanti e soprattutto molto incerti. C'è da ricordare, però, che sono stati ottenuti con un metodo piuttosto empirico e per questo poco affidabile. Per questo per avere valori maggiormente attendibili si è deciso di effettuare altri due test per la gelività. Il primo sfrutta la misura della porosità effettuata con il porosimetro a mercurio. Il secondo le variazioni repentine della temperatura (cicli gelo e disgelo).

#### **7.4.10 Porosità (UNI 8942 parte III - punto 15)**

*Resoconto di prova:* Diversamente dalla normativa, a causa dell'eccessivo costo della prova, si è potuto analizzare un solo campione per miscela e non tre. La porosità media (Tabella 7.4), per percentuali di ferrite crescenti, presenta un andamento "fluttuante", fino ad assestarsi a valori molto simili a quelli iniziali (Ferrite = 0%). L'andamento altalenante della porosità potrebbe essere causato da una non perfetta miscelazione dell'impasto

*Tabella 7.4 – Valori medi della porosità*

<b>Campione</b>	<b>Porosità</b>
<b>AA</b>	30,4166
<b>BB</b>	27,4313
<b>CC</b>	31,7242
<b>DD</b>	30,0594

#### **7.4.11 Gelività (cicli gelo-disgelo) (R.D. 2234 16 Novembre 1939)**

Secondo tale decreto, i campioni vanno inseriti in contenitori adatti prima a mantenere una temperatura costante di -10 °C per tre ore e poi in uno a 35°C per altre tre ore. Tale procedura va eseguita venti volte.

Dopodiché la superficie dei provini va esaminata visivamente per verificare se i cicli di gelo e disgelo abbiano provocato fessurazioni, cavillature o degradazioni varie.

*Resoconto di prova:* Tutti i materiali non presentano in superficie alcuna degradazione o fessurazione e quindi secondo normativa i provini possono essere considerati non gelivi. Tuttavia prima di poter affermare ciò, si è scelto di effettuare ulteriori prove sui campioni. Infatti, alcuni studiosi considerano significativo sottoporre i campioni appena estratti dai cicli gelo-disgelo, a resistenza a flessione. Inoltre va effettuata una pesatura per verificare sensibili variazioni di peso. Variazioni significative di peso e di resistenza a flessione, potrebbero essere sintomo di un'avvenuta modificazione all'interno del campione. In caso fossero accertati valori molto diversi rispetto ai provini della stessa miscela, si potrebbe affermare che essi hanno un comportamento gelivo, ragion per cui sarebbe più indicato usare tali manufatti non come rivestimento da esterno ma per un uso



interno. In base ai risultati ottenuti, non si apprezzano modificazioni di peso o di resistenza a flessione. Questo ci permette di ipotizzare che il campione risulta non gelivo. Tale risultato potrebbe risultare soddisfacente ai fini della classificazione dei campioni, ma va considerato il fatto che esso, nonostante le numerose prove effettuate, non può essere considerato certo. Infatti, la gelività e non gelività dipende dalla combinazione di numerosi fattori intrinseci alla natura stessa del materiale (distribuzione granulometrica delle argille, tenore di carbonati e quarzo contenuti, resistenza meccanica del cotto, potere di assorbimento d'acqua, presenza di sali o calcinazioni, distribuzione dei pori), di fattori ambientali (esposizione eccessive a calore o a continue variazioni di temperatura sotto gli 0°C, condizioni di umidità eccessive), o di cattiva posa dei manufatti. La resistenza al gelo è anche condizionata dalla resistenza che il corpo ceramico oppone alle forze generate dall'espansione del ghiaccio e questa è legata al grado di cottura del prodotto che condiziona direttamente la porosità.

#### **7.4.12 Prove di rilascio**

Superate le prove a norma i mattoncini sarebbero pronti ad essere immessi sul mercato. Però, poiché essi non sono composti da sola argilla ma anche da ferrite, contenente elementi che potrebbero risultare nocivi per la salute dell'uomo, prima di essere commercializzati devono sostenere un'ulteriore controllo.

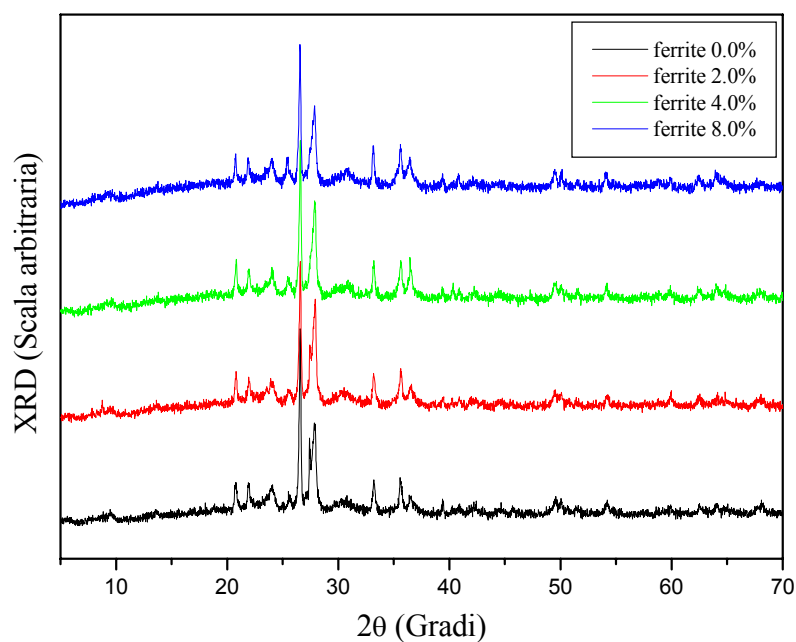
I campioni, infatti, potrebbero entrare in contatto con acqua, anche per periodi di tempo abbastanza lunghi. Per questo, si deve verificare, in modo altamente qualitativo, che essi non rilascino in soluzione alcun elemento di natura pericolosa.

Per far ciò sono stati selezionati 12 provini, 3 per ogni miscela. Ognuno di essi è stato inserito in 850 ml di acqua distillata per 10 giorni. Trascorso questo periodo di tempo, i campioni sono stati estratti e l'acqua rimanente è stata filtrata. Dopo filtraggio è stata poi sottoposta ad analisi all'assorbimento atomico, per valutare e quantificare la presenza di eventuali elementi nocivi. Infine nello stesso quantitativo di acqua sono stati inseriti 55 gr di ferrite, ipotizzando che sia stato fatto un eventuale campione costituito da sola ferrite. In *Tabella 7.5* si riportano i risultati della prova di rilascio eseguita sulle varie soluzioni.

Tabella 7.5 – Valori di rilascio in acqua dei campioni (espressi in ppm)

Camp.	Elementi			
	Ferro	Nichel	Piombo	Zinco
AA24	0,0818	0	0	0
AA26	0,0895	0	0	0
AA27	0,108	0	0	0
BB14	0,0802	0	0	0,253
BB21	0,1003	0	0	0,0171
BB30	0,1111	0	0	0
CC17	0,0879	0	0	0,0169
CC21	0,1234	0	0	0,0049
CC31	0,0987	0	0	0,0047
DD21	0,1219	0	0	0,0262
DD23	0,1003	0	0	0,0608
DD34	0,1157	0	0	0,0486
Ferrite	0,1219	0,3725	1,0841	5,1635

I risultati dicono che la sola ferrite presenta un rilascio in acqua molto basso. Soltanto il valore dello zinco e del piombo raggiungono un livello elevato e abbastanza pericoloso per la salute umana. Concentrazioni ancora più basse sono state ottenute analizzando le soluzioni contenenti i vari provini. Per essi nessun elemento nocivo presenta valori tali da contaminare il suolo ma soprattutto le falde acquifere. Secondo il decreto legislativo N.152 del 11 Maggio 1999, infatti, i limiti di accettabilità per le acque superficiali sono per il ferro  $\leq 2$  ppm, per il nichel  $\leq 2$  ppm, per il piombo  $\leq 0,2$  ppm e per lo zinco  $\leq 0,5$  ppm. Il rispetto di tali limiti rappresenta un ottimo risultato considerato che la sola argilla essendo di natura illitica possiede di per sé un buon quantitativo di ferro. La Tabella 7.5 permette di affermare che la ferrite si combina bene con la matrice argillosa che la ingloba riducendo il suo potenziale inquinante. A conferma di ciò basta osservare la Figura 7.14.



**Figura 7.14** – Analisi diffrattometrica a raggi X dei provini sottoposti a rilascio

Come si può vedere gli XRD dei campioni contenenti la ferrite, coincidono esattamente con quello del provino costituito da sola argilla. Il valore più significativo è sicuramente quello della miscela all'8% di ferrite perché permette allo strumento dell'analisi diffrattometrica di rilevare meglio la presenza di qualunque elemento. Anche in questo caso il solo spettro visibile è quello riconducibile all'argilla cotta. Questo potrebbe allontanare la prospettiva di reazioni chimiche indesiderate tra l'argilla e la ferrite durante la cottura. Ma in virtù del fenomeno di amorfizzazione trattato precedentemente, si può affermare che la ferrite, pur essendo inglobata perfettamente nella matrice argillosa, si comporta da inerte.

## 7.5 PROVINI REALIZZATI CON ARGILLA E POLVERE DI CLORITE

La possibilità di utilizzare scarti provenienti dalle industrie minerarie ed estrattive è stata confermata dagli studi scientifici come riportati nei capitoli già illustrati (Berry P., 1989; Ciccu R. et al., 1994; Alfano G. et al., 1989).

In questa fase della ricerca la preparazione, essiccazione e cottura dei provini viene eseguita allo stesso modo descritto precedentemente.

Per facilità di individuazione le nuove miscele verranno indicate con segue:

1. *IA* campioni (di riferimento) realizzati con 100% (5 Kg) di miscela argillosa e 20% di acqua di impasto.
2. *IB* campioni realizzati con 95% di miscela argillosa, il 5% in peso di clorite e 20% di acqua di impasto
3. *IC* campioni realizzati con 90% di miscela argillosa, il 10% in peso di clorite e 20% di acqua di impasto.
4. *ID* campioni realizzati con 85% di miscela argillosa, il 15% in peso di clorite e 20% di acqua di impasto.

I campioni, una volta formati per estrusione, saranno caratterizzati e classificati prendendo come norma di riferimento la UNI 8942 per “Prodotti di laterizio per murature”; secondo questa legge tali provini sono da classificarsi come **mattoni pieni da rivestimento, estrusi con massa normale**. La nomenclatura tecnica è **MPR 21**.

Il numero di provini, da sottoporre a prova, è dettato dalla norma UNI8942 parte II.

## 7.6 Classificazione a norma

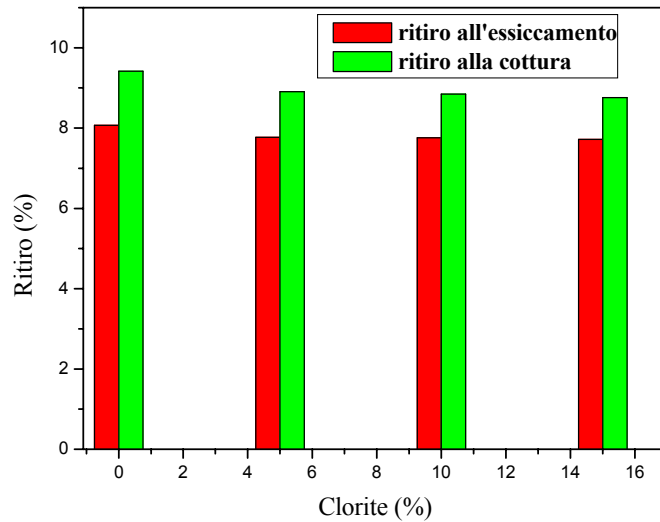
### 7.6.1 Ritiro

Per questa prova sono stati analizzati campioni, aventi dimensioni ben precise a crudo (15 cm × 2,5 cm × 1,3 cm). I dati seguenti si riferiscono al ritiro avvenuto lungo la dimensione maggiore. Considerando la lunghezza di riferimento  $L_0 = 15$  cm, quella dopo essiccamento  $L_E$ , e quella dopo cottura  $L_C$ , per il calcolo del ritiro in essiccamento si utilizza seguente formula:

$$\text{Rit.Essic.(\%)} = \frac{L_0 - L_E}{L_0} \times 100$$

Per la formula del ritiro dopo cottura si utilizza invece:

$$\text{Rit.cott.(\%)} = \frac{L_0 - L_C}{L_0} \times 100$$



**Figura 7.15** – Valori dei ritiri medi in essiccazione e cottura

Come si può notare dai dati, sia il ritiro in essiccamento che in fase di cottura si mantiene pressoché costante rispetto al valore di riferimento. Ciò è dovuto alla omogeneità con cui lo scarto viene inglobato dalla matrice argillosa.

### 7.6.2 Peso

La perdita di peso in essiccamento e cottura viene calcolata come segue:  
definendo il peso iniziale  $P_0$ , quello in essiccamento  $P_E$ , e quello in cottura  $P_C$  si ha che:

$$\text{Perdita Essic.(\%)} = \frac{P_0 - P_E}{P_0} \times 100$$

Mentre per la perdita in cottura si ha:

$$\text{Perdita Cottura(\%)} = \frac{P_0 - P_C}{P_0} \times 100$$

In *Figura 7.16* sono rappresentati i risultati ottenuti.

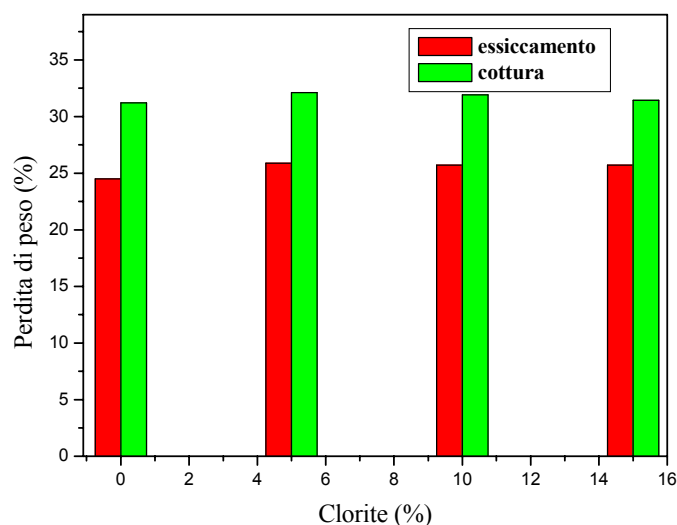


Figura 7.16 – Valori delle perdite di peso medie in essiccazione e cottura

I valori medi relativi alle perdite di peso, che i campioni subiscono durante la fase di essiccazione e cottura, si mantengono molto vicini fra loro.

Come per il ritiro anche per le perdite di peso i relativi valori, dopo essiccamento, sono minore rispetto a quelli dopo cottura. Ciò è dovuto al fatto che, a temperatura di cottura, si verifica la combustione di sostanze presenti nelle materie di partenza.

### 7.6.3 Dimensioni esterne – Calcolo volume lordo e netto (UNI 8942 parte III - punto 6)

*Resoconto di prova:* Per il calcolo del volume lordo e netto si è proceduto secondo normativa. Le misure relative alle dimensioni dei provini sono state effettuate con calibro a precisione 0,5 millimetri e riassunte nelle *Tabella A.12*.

Si riportano inoltre in Appendice *Tabella A.12* e *A.13* i valori di volume lordo e volume netto ricavati dall'analisi.

In *Tabella 7.6* sono riportati i risultati medi dei parametri suddetti.

Tabella 7.6 - Calcolo Volume lordo ( $V_l$ ) e netto ( $V_n$ )

Campioni	Misurazioni (cm)			Volume lordo e netto	
	$A_m$	$B_m$	$C_m$	$V_l$ (dm <sup>3</sup> )	$V_n$ (dm <sup>3</sup> )
IA	13,624	2,220	1,13	0,03427	0,033894
IB	13,669	2,219	1,11	0,03351	0,033885
IC	13,611	2,213	1,10	0,03301	0,032767
ID	13,458	2,204	1,09	0,03245	0,032060

Anche in questo caso, il calcolo dei volumi lordo e netto, ci porta ad affermare che i campioni additivati sono più compatti.

### 7.6.4 Massa volumica ( $D_a$ ) e massa volumica apparente ( $M_v$ ) (UNI 8942 parte III - punto 7)

*Sperimentazione in laboratorio:* Calcolato il volume netto e lordo si è proceduto come da normativa. Nelle Figure 7.17 e 7.18 sono riportati gli andamenti relativi ai parametri  $D_a$  ed  $M_v$ , di ciascuna miscela sottoposta a test.

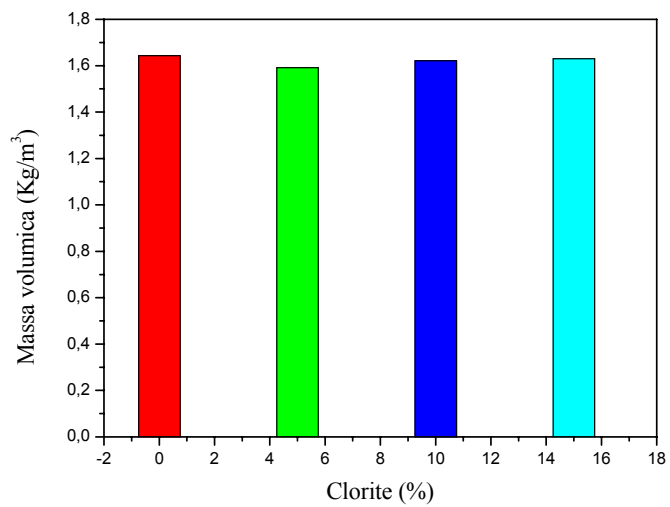


Figura 7.17 – Massa volumica media per i campioni a diversa percentuale di clorite

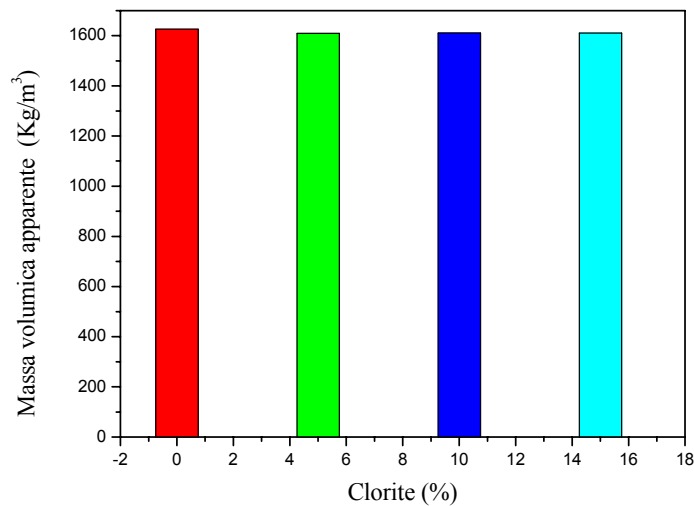


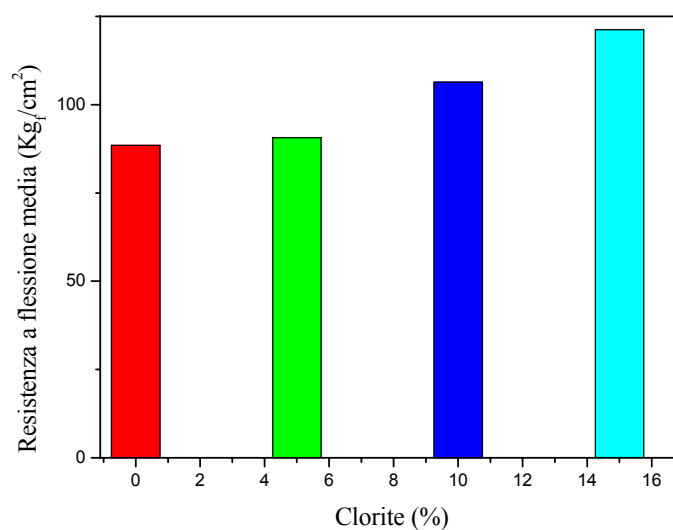
Figura 7.18 – Massa volumica apparente media per i campioni a diversa percentuale di clorite

*Resoconto di prova:* Come si può notare dal grafico un aumento della percentuale di clorite provoca un aumento lievissimo della massa volumica media. I dati di  $D_a$ , relativi ai campioni additivati con scarto, sono stati calcolati per confronto con il valore medio della massa volumica del campione di riferimento (formato da sola argilla). Tali valori soddisfano i limiti di accettazione della norma (differenza max  $\pm 8\%$ ).

I fattori che influenzano questa grandezza sono molteplici; tra questi va ricordata la non perfetta omogeneità dell'impasto, dovuta a una probabile aggregazione microscopica delle polveri di clorite. Tale ipotesi potrebbe essere avvalorata dal calcolo della massa volumica apparente. In seguito a tale calcolo, come si evince dalla *Figura 7.18*, la variazione di tale parametro, rispetto al provino di riferimento, è quasi trascurabile.

### 7.6.5 Resistenza a flessione (UNI 8942 parte III - punto 10)

*Resoconto di prova:* Come si può notare dai risultati riportati in *Figura 7.19*, la resistenza a flessione dei campioni contenenti solo il 5% di scarto è molto prossima ai valori di resistenza dei campioni di riferimento. Col crescere del contenuto di scarto, all'interno dell'impasto, si assiste ad un miglioramento sostanziale della resistenza meccanica a flessione, fino a raggiungere valori dell'ordine di  $122 \text{ Kg/cm}^2$ .



**Figura 7.19** – Resistenza a flessione media dei campioni con diverso contenuto di clorite

In *Tabella A.14* dell'Appendice si riportano i valori degli altri parametri caratteristici della prova di resistenza a flessione.

A seguito del calcolo del valore medio della resistenza a flessione ( $f_{tf}$ ) è stato possibile determinare, altri parametri quali:



- Resistenza media a trazione per flessione  $f_{tf}$
- Resistenza media a trazione  $f_t = 0.5 f_{tf}$
- Resistenza media a compressione su blocco  $f_m = 6.1 \cdot f_{tf}^{0.83}$
- Resistenza cilindrica  $f_c = 3.7 \cdot f_{tf}^{1.245}$
- Modulo elastico a compressione  $E_c = 3500 \cdot f_{tf}^{0.62}$
- Modulo elastico a trazione  $E_t = 3200 \cdot f_{tf}^{0.62}$
- Accorciamento a rottura  $\varepsilon_r = 10^{-3} \cdot f_{tf}^{0.62}$

I valori attenuti vengono riportati di seguito (Tabella 7.7)

**Tabella 7.7 – Valori ottenuti dalle formule di correlazione)**

Miscele	Flessione media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Trazione media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Compress (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resist Cilindrica (Kg/cm <sup>2</sup> )	E compres. (Kg/cm <sup>2</sup> )	E trazione (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\varepsilon_r$ accorc. a rottura (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>IA</b>	88,44	44,22	251,78	981,18	56360,53	51529,62	0,0161
<b>IB</b>	90,63	45,31	256,95	1011,52	57221,84	52317,11	0,0163
<b>IC</b>	106,35	53,17	293,44	1234,46	63188,63	57772,46	0,0181
<b>ID</b>	121,25	60,63	327,18	1453,44	68541,92	62666,90	0,0196

### 7.6.6 Inclusioni calcaree (UNI 8942 parte III - punto 11)

*Resoconto di prova:* Dopo aver effettuato il test secondo norma, si può affermare che non si rivelano crateri su provini sottoposti a prova.

I provini sono da ritenersi non soggetti a inclusioni calcaree, ciò dovuto a una compattezza della superficie esterna.

### 7.6.7 Attitudine alle efflorescenze (UNI 8942 parte III - punto 12)

*Resoconto di prova:* Analizzando visivamente i provini con contenuto di scarto tra 0 - 10% si può notare che questi non presentano nessun apprezzabile deposito di sali in superficie. Per questi campioni l'attitudine all'efflorescenza è da considerarsi nulla. Discorso diverso deve essere fatto su campioni contenenti il 15% di polvere di clorite; infatti sulla superficie di questi provini iniziano a comparire delle sottili patine saline bianche e discontinue. Secondo la scala di valutazione a norma questi campioni sono caratterizzati da una efflorescenza debole (Figura 7.20).



**Figura 7.20** – Campioni contenenti percentuali differenti di scarto

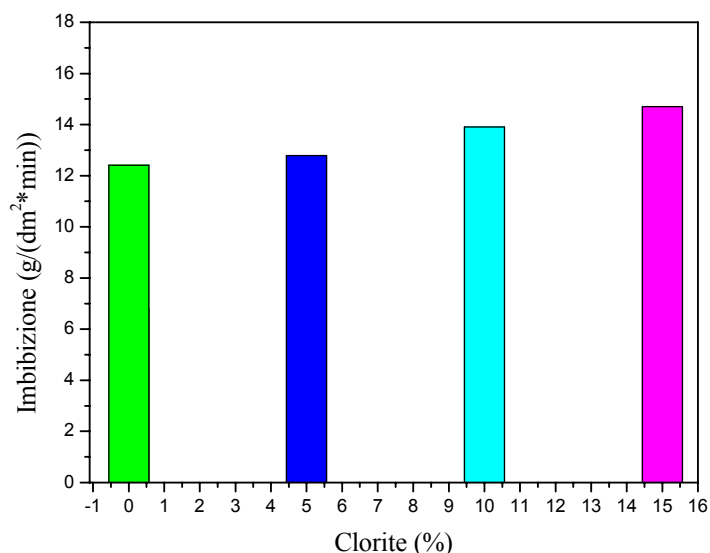
Anche in questo caso, dal esame al SEM, eseguito sulla sottile patina presente sulla superficie dei provini, si evince che la fase cristallina esaminata è caratteristica del solfato di calcio bi-idrato (comune gesso *Figura 7.21*).



**Figura 7.21** – Immagine ottenuta al SEM della patina biancastra

### 7.6.8 Imbibizione (assorbimento specifico) (UNI 8942 parte III - punto 13)

*Resoconto di prova:* Il resoconto di prova, relativo al calcolo dell'imbibizione (o assorbimento specifico) è illustrato in *Figura 7.22*, mentre in *Appendice Tabella A.15* si riportano i valori ricavati dall'esperienza in laboratori.



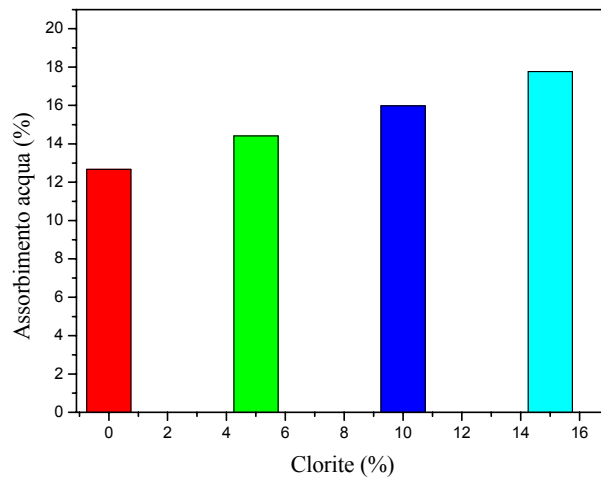
*Figura 7.22 – Imbibizione media per i campioni sottoposti a prova*

Come si evince dalla figura i valori di imbibizione sono leggermente crescenti rispetto ai valori di riferimento. Il materiale di scarto, durante la cottura, probabilmente non rilascia eccessive sostanze volatili capaci di creare dei micropori all'interno della struttura.

### 7.6.9 Assorbimento d'acqua e stima del rischio di gelività (UNI 8942 parte III - punto 14)

*Resoconto di prova:* I risultati ottenuti, riportati in *Figura 7.23*, mostrano una lieve diminuzione dell'assorbimento d'acqua inversamente proporzionale alla percentuale di clorite presente nella miscela. I manufatti di sola argilla presentano un valore di assorbimento dell'ordine del 12,67 %.

Il tenore d'acqua assorbita dai campioni additivati con scarto tendono ad aumentare rispetto i valori del campione di riferimento. Questo fenomeno potrebbe essere influenzato dalla presenza di "grandi" pori, dislocati molto vicino alla superficie esterna.

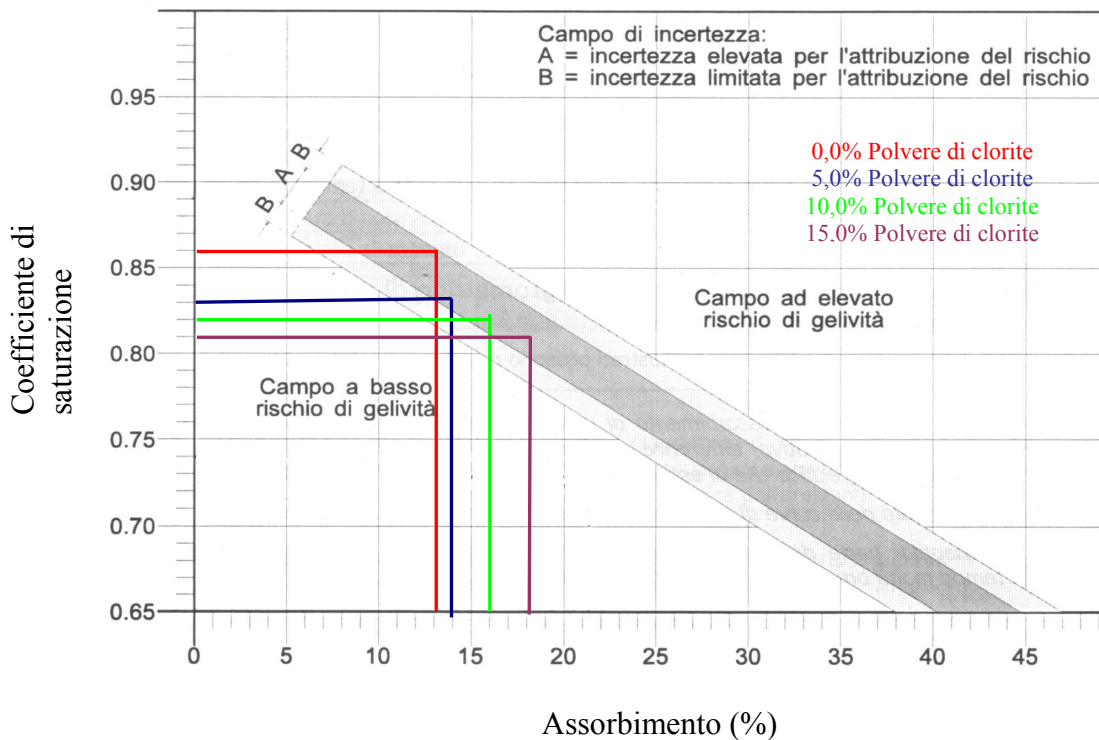


**Figura 7.23** – Assorbimento medio d'acqua, in %, dei provini sottoposti a test

In *Tabella A.16* dell'Appendice sono riportati i calcoli eseguiti per la determinazione dell'assorbimento medio dei campioni in esame.

La stima del rischio di gelività viene ricavata con lo stesso metodo utilizzato negli studi precedenti, mediante cioè il diagramma presente nella legge UNI 8942.

Di seguito viene riportato il resoconto di prova (*Figura 7.24*):



**Figura 7.24** – Diagramma utilizzato per la stima del grado di gelività

In *Tabella 7.8* sono riportati i valori del coefficiente di saturazione e della % di assorbimento medie riferite a ogni miscela argilla-scarto.

**Tabella 7.8** – Calcolo del coefficiente di saturazione per le 4 miscele in esame

<b>Campioni</b>	<b>P secco</b>	<b>P umid</b>	<b>% ass</b>	<b>P sat</b>	<b>Coeff. sat.</b>
<i>IA</i>	53,53	60,31	13	61,42	0,86
<i>IB</i>	58,57	67,00	14	68,72	0,83
<i>IC</i>	57,12	66,25	16	68,31	0,82
<i>ID</i>	55,72	65,62	18	67,88	0,81

Per quanto riguarda la stima di gelività per i campioni contenenti 5%, 10% e 15% di polveri di clorite, questi ricadono nella zona incertezza elevata per l'attribuzione del rischio (*Figura 7.24*).

I provini, i cui valori di rischio risultano incerti, necessitano l'esecuzione della prova di cicli gelo-disgelo secondo **R.D. 2234 16 Novembre 1939**. Questi materiali sottoposti a tale test risultano non gelivi.

#### **7.6.10 Porosità (UNI 8942 parte III - punto 15)**

*Resoconto di prova:* In base ai risultati ottenuti si può notare che la porosità media (*Tabella 7.9*), per percentuali di clorite crescenti, presenta un andamento "oscillante", con valori molto prossimi a quelli del campione di riferimento. Tale fattore giustifica i valori di assorbimento d'acqua, anch'essi molto prossimi tra loro.

Una possibile causa dell'andamento instabile dei valori di porosità, può essere attribuita anche in questo studio a una scarsa miscelazione della polvere di clorite all'interno dell'impasto.

**Tabella 7.9** – Porosità media dei provini (%)

<b>Campioni</b>	<b>Porosità</b>
<i>IA</i>	27,8945
<i>IB</i>	27,4298
<i>IC</i>	26,9287
<i>ID</i>	27,1945

### 7.6.11 Prove di rilascio

I provini finora analizzati potrebbero essere impiegati in edilizia per la realizzazione di murature per esterni e, quindi, essere sottoposti a lunghi periodi di contatto con acqua. Per tale ragione i campioni, in esame, devono essere sottoposti a prove di rilascio di tipo qualitativo, essendo formati da una miscela di argille e scarto contenente elementi come il ferro, nocivo per la salute umana. Si deve, cioè verificare che essi non rilascino in soluzione alcun elemento di natura pericolosa.

Tutte le categorie di provini vengono immersi in acqua per un certo periodo di tempo. In seguito la soluzione ottenuta è stata sottoposta a spettrometria di assorbimento atomico, così da quantificare eventuali elementi nocivi presenti. Per confronto è stata preparata e analizzata una soluzione, in cui è stata disciolta una quantità prestabilita di polvere di clorite

Si riportano in *Tabella 7.10* i valori ricavati dal test di rilascio.

*Tabella 7.10 – Valori di rilascio in acqua dei campioni (espressi in ppm)*

	Elementi				
Camp.	Ferro	Nichel	Piombo	Zinco	Cromo
<b>IA</b>	0,0723	0,0032	0,0082	0	0
<b>IB</b>	0,0911	0,0045	0,0093	0	0
<b>IC</b>	0,1121	0,0062	0,0102	0	0
<b>ID</b>	0,1173	0,0121	0,0143	0	0
<b>Clorite</b>	0,5949	0,0363	0,0255	0	0

Dalla tabella si nota come, rispetto alla concentrazione degli elementi nocivi caratteristici della sola polvere di clorite, le soluzioni in cui sono stati immersi i provini, presentano concentrazioni quasi nulle di elementi dannosi. Per essi nessun elemento analizzato presenta valori tali da contaminare il suolo ma soprattutto le falde acquifere (Decreto legislativo N.152 del 11 Maggio 1999).

La prova di rilascio ci permette di affermare che, la polvere di clorite miscelata negli impasti viene perfettamente inglobata dalla matrice argillosa, riducendone la sua potenziale pericolosità.

## **7.7 PROVINI REALIZZATI CON ARGILLA E TRUCIOLI DI PVC**

Anche per questo materiale, la letteratura riporta informazioni circa il loro possibile riciclo in materiali ceramici (*Carvalho S. et al., 1998*).

La miscela argilla-trucioli in PVC è stata preventivamente essiccata ed macinata uniformemente con un mulino da laboratorio sino alle dimensioni massime di 0.75 mm.

Le argille vengono sempre lavorate ad umido, seguendo il processo già descritto.

La foggatura viene eseguita, come già definito, per estrusione allo stato plastico, con un contenuto di acqua per lo più compreso tra 20%. A tal proposito la miscela di argille è stata mescolata, in un omogeneizzatore di piccole dimensioni, con diverse percentuali di trucioli di PVC rispetto al peso totale e con il 20% d'acqua, così da realizzare 3 miscele diverse da caratterizzare. Per uniformare i risultati, tali miscele sono stati confrontati con prodotti preparati con impasti di solo argilla e acqua.

La normativa a cui si fa riferimento per la classificazione dei manufatti è la UNI 8942 per "Prodotti di laterizio per murature".

Secondo la norma, i campioni presi in esame sono **mattoni pieni, estrusi con massa alveolata**. La nomenclatura tecnica è **MP 31**.

Essa si riferisce in generale a tutti i tipi di laterizi che trovano impiego nelle strutture murarie, sia portanti che non portanti.

Per facilità di individuazione delle miscele nel seguito verrà indicato con:

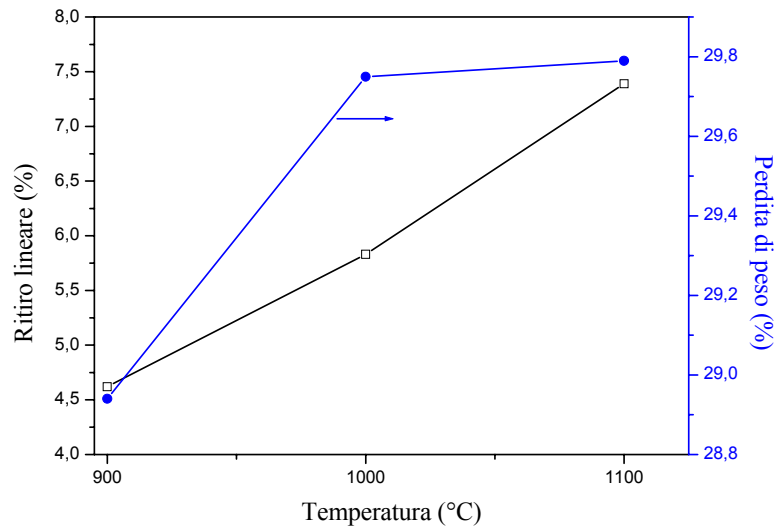
1. *PA* campioni (di riferimento) realizzati con 100% di miscela argillosa e 20% di acqua di impasto.
2. *PB* campioni realizzati con 97% di miscela argillosa, il 3% in peso di trucioli di PVC e 20% di acqua di impasto.
3. *PC* campioni realizzati con 95% di miscela argillosa, il 5% in peso di trucioli di PVC e 20% di acqua di impasto.
4. *PD* campioni realizzati con 93% di miscela argillosa, il 7% in peso di trucioli di PVC e 20% di acqua di impasto.

Realizzati i campioni da sottoporre a prova, si è proseguito nel caratterizzare i nuovi lavorati ottenuti. In seguito a una fase di essiccazione di 24 ore ad una temperatura di  $110 \pm 3^\circ\text{C}$ , si è dovuto scegliere a quale condizioni termiche e di tempo cuocere i provini.

In questa prima fase di studio si è scelto di mantenere costante il tempo di cottura a 120 minuti, mentre si è deciso di far variare la temperatura di cottura nel range  $900^\circ\text{C}$ - $1100^\circ\text{C}$ , valori in cui l'argilla assume buone caratteristiche chimico-fisiche e meccaniche dopo cottura. Tale valutazione è stata necessaria per capire quale valore di temperatura conferisce caratteristiche migliori ai nuovi campioni additivati e per arrivare a ciò si è scelto di procedere allo studio con i soli provini contenenti il 5% in peso di scarto. Valore da considerarsi medio e, quindi, rappresentativo.

I provini contenenti una percentuale media di scarto pari al 5% in peso sono stati sottoposti a tale variazione di temperatura. Su ogni serie di campione le prove sono state ripetute per tre volte mediando il valore finale.

Si riportano in *Figura 7.25* e *Tabella 7.11*, i risultati ottenuti dalle prove:



**Figura 7.25** – Ritiro lineare (%) e Perdita di peso (%) dei provini contenenti 5% in peso di PVC

**Tabella 7.11** – Proprietà meccaniche dei provini in esame cotti a diverse temperature

Temperature - Time	Assorbimento d'acqua (%)	Resistenza a flessione (Kg/cm <sup>2</sup> )
900°C-2h	17	70,52
1000°C-2h	24	49,38
1100°C-2h	25	44,48

Dal grafico si evince che i valori di ritiro lineare tendono ad aumentare al crescere della temperatura. Ciò è legato al fatto che il materiale additivato, bruciando aumenta la percentuale di vuoto che viene poi “riempita” dagli elementi bassofondenti contenuti nella matrice argillosa.

I valori di perdita di peso, invece, aumentano in funzione della temperatura di cottura a causa della perfetta combustione del materiale di spreco all’interno dei provini. Si può quindi affermare che i mattoni così ottenuti sono più leggeri e quindi il loro trasporto è più facile ed economico.

Per quando riguarda l’assorbimento d’acqua si ha un aumento del parametro in funzione della temperatura, poiché come già accennato il pvc bruciando lascia dei pori,



all'interno della struttura, capaci di essere in seguito occupati dall'acqua durante la prova; tali pori inoltre rendono la struttura più fragile e di conseguenza si verificano valori di resistenza inversamente proporzionali alla temperatura.

Questi primi dati permettono di ipotizzare che i manufatti ottenuti possono considerarsi dei laterizi alveolati.

Per poter avvalorare tale ipotesi sono state eseguite tutte le prove necessarie secondo norma. Analizzando i campioni finora sottoposti a prove si è visto che, i provini cotti ad una temperatura di 1000°C sono migliori sia dal punto di vista estetico che meccanico. Di conseguenza è stata adottata tale temperatura per cuocere le altre miscele additivate con quantità differenti di trucioli di PVC; si è passati in seguito alla caratterizzazione dei nuovi manufatti.

Anche per questo studio, il numero di provini da sottoporre a prova è ricavato dalla norma UNI8942 parte II.

## 7.8 Classificazione a norma

### 7.8.1 Ritiro

Per studiare il comportamento delle miscele di argilla e/o argilla+PVC, in funzione della temperatura di cottura, si esegue la prova di ritiro dei materiali; anche in questo caso conoscendo il ritiro medio, è possibile prevedere le dimensioni finali dei laterizi.

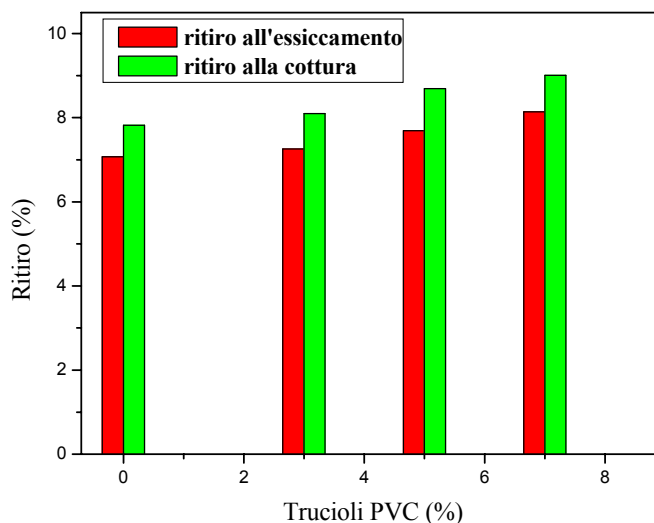


Figura 7.26 – Valori dei ritiri medi dei provini in essiccazione e cottura

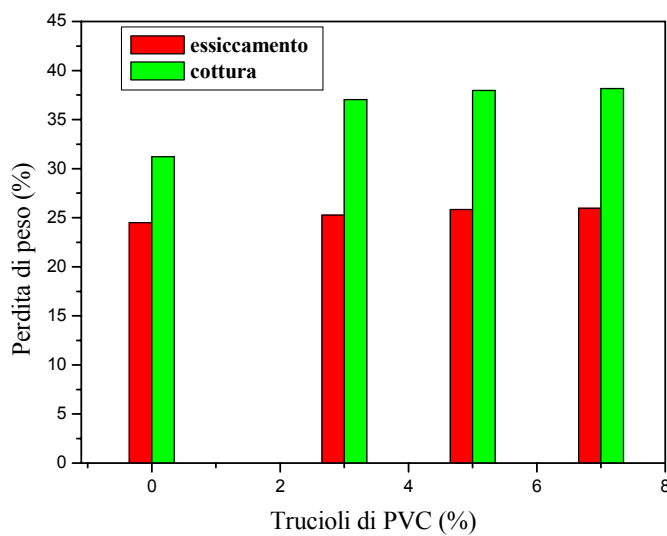
Come si può notare dai dati, il ritiro in essiccazione subisce un aumento per contenuti di PVC crescenti, mantenendo comunque valori molto simili a quelli della sola

argilla. Identico discorso vale per i valori dei ritiro a cottura, si può osservare infatti un aumento di tale parametro per provini contenenti scarto via via crescendo.

### 7.8.2 Peso

Il calcolo della perdita di peso dei provini ci permette di capire quanta acqua si perde in fase di essiccamento e se ci sono variazioni ad alta temperatura in fase di cottura.

Le perdite di peso ricavate per i provini in esame sono rappresentati in *Figura 7.27*.



*Figura 7.27*– Valori delle perdite di peso medie dei provini essiccati e cotti

Analizzando la figura, come ci si poteva aspettare, le perdite di peso aumentano in funzione del tenore di PVC contenuto nei campioni, questo dovuto al completo disfacimento, all'interno dei mattoncini, dello scarto additivato.

### 7.8.3 Dimensioni esterne – Calcolo volume lordo e netto (UNI 8942 parte III - punto 6)

*Resoconto di prova:* I campioni sottoposti a prova sono dieci per ogni miscela preparata.

Si riporta in Appendice *Tabella A.17-A.18* il dettaglio dei valori ricavati dalla prova.

In *Tabella 7.12* si riportano i valori medi delle misurazioni delle tre dimensioni e i relativi valori di volume lordo e netto.

Tabella 7.12 - Calcolo Volume lordo ( $V_l$ ) e netto ( $V_n$ )

Campioni	Misurazioni (cm)			Volume lordo e netto	
	$A_m$	$B_m$	$C_m$	$V_l$ (dm <sup>3</sup> )	$V_n$ (dm <sup>3</sup> )
PA	13,93	2,27	1,13	0,0347	0,0333
PB	13,92	2,19	1,10	0,0335	0,0311
PC	13,89	2,18	1,09	0,0331	0,0309
PD	13,77	2,18	1,07	0,0320	0,0293

I dati ottenuti dai calcoli del volume lordo e netto portano a pensare che i campioni, dopo cottura, siano diventati più compatti.

#### 7.8.4 Massa volumica ( $D_a$ ) e massa volumica apparente ( $M_v$ ) (UNI 8942 parte III - punto 7)

##### Principio

*Sperimentazione in laboratorio:* Calcolato il volume netto e lordo si è proceduto come da normativa.

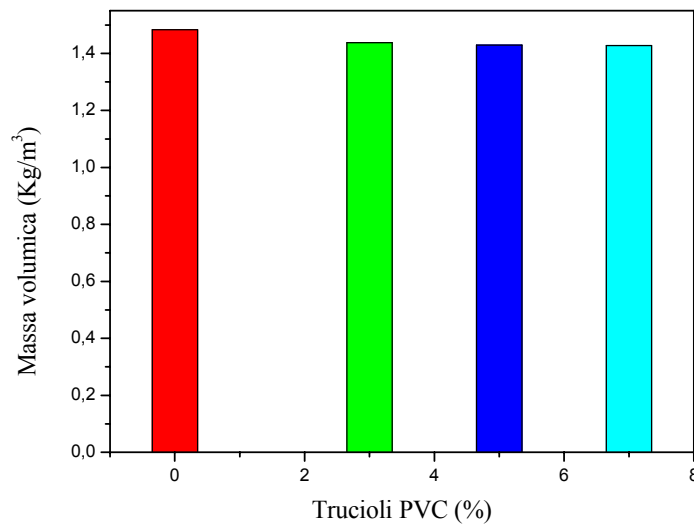
Vengono di seguito riportati i grafici relativi alla massa volumica  $D_a$  (Figura 7.28) e massa volumica apparente  $M_v$  (Figura 7.29) dei provini analizzati.

Si ricordano le definizioni di:

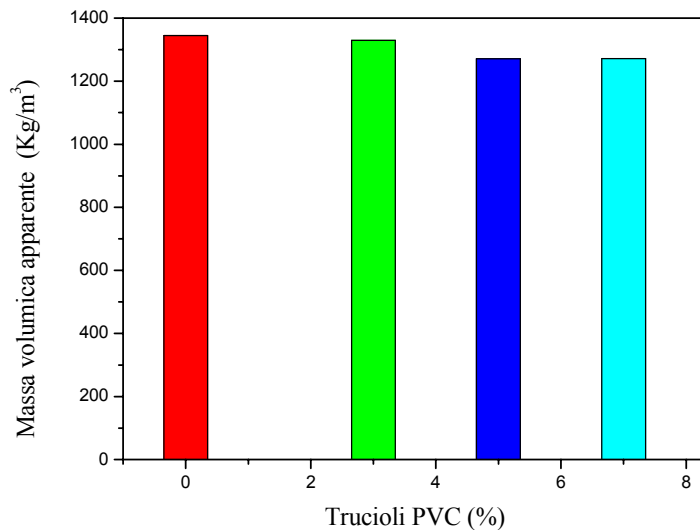
- massa volumica ( $D_a$ ) : definita come rapporto tra la massa dell'elemento essiccato a massa costante ( $M_S$ ) ed il volume netto ( $V_n$ ), cioè esclusi i vuoti.
- massa volumica apparente (vuoto per pieno)  $M_v$  : definita come rapporto tra la massa dell'elemento essiccato a massa costante ( $M_S$ ) ed il volume lordo ( $V_l$ ), comprensivo cioè dei vuoti.

I valori di  $D_a$  ed  $M_v$  sono stati calcolati attraverso formule dettate dalla Norma di riferimento. Inoltre sono state determinate, per ciascuna miscela, i valori di alcune variabili necessarie per il calcoli quali:

- l'area totale AT
- l'area dei fori AF
- l'altezza dei provini
- il volume lordo ( $V_l$ ) e netto ( $V_n$ )



**Figura 7.28** – Massa volumica media dei campioni esaminati



**Figura 7.29** – Massa volumica apparente media dei campioni esaminati

*Resoconto di prova:* La valutazione della massa volumica rispettando la norma (differenza max  $\pm 8\%$ ) è stata effettuata considerando come standard di riferimento il valore medio della massa volumica del campione formato da sola argilla. Come si evince dal grafico tale parametro diminuisce in funzione del contenuto di scarto additivato.

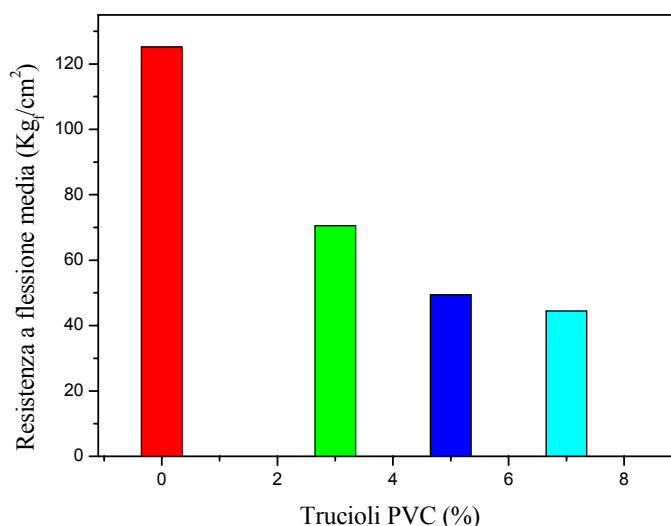
Per quanto concerne i valori di massa volumica apparente anche questi subiscono una diminuzione all'aumentare della quantità di scarto. Ciò potrebbe indicare la formazione di pori all'interno dei campioni esaminati. I valori rispettano, comunque, i limiti di accettazione per prodotti a massa alveolata ( $\leq 1450 \text{ Kg/m}^3$ ).

### 7.8.5 Resistenza a flessione (UNI 8942 parte III - punto 10)

*Resoconto di prova:* In Figura 7.30 sono riportati i risultati della prova di resistenza a flessione media dei manufatti. Dall'analisi dei dati risulta che i laterizi additivati sono meno resistenti dei corrispondenti prodotti privi di alveolatura.

Una minore resistenza meccanica degli alveolati è da attribuirsi essenzialmente all'aumento di porosità conseguente all'alleggerimento dopo cottura. Una certa influenza può avere anche il fatto che i pori generati dai trucioli di PVC sono abbastanza grandi e possono, quindi, costituire un punto di debolezza del materiale.

Tali dati non risultano un fattore negativo per questi nuovi materiali in quanto, essi possono essere impiegati per murature di tamponamento, tramezzature, divisori o murature tagliafuoco essendo sinonimo di risparmio energetico, isolamento termico e acustico, resistenza a fuoco e nello stesso tempo elementi più leggeri.



**Figura 7.30** – Resistenza a flessione media dei campioni a diverso contenuto di PVC

In *Tabella A.19* dell'Appendice si riportano i valori degli altri parametri caratteristici della prova di resistenza a flessione.

A seguito del calcolo del valore medio della resistenza a flessione ( $f_{ff}$ ) è stato possibile determinare i seguenti parametri:

- Resistenza media a trazione per flessione  $f_{ff}$
- Resistenza media a trazione  $f_t = 0.5 f_{ff}$
- Resistenza media a compressione su blocco  $f_m = 6.1 \cdot f_{ff}^{0.83}$
- Resistenza cilindrica  $f_c = 3.7 \cdot f_{ff}^{1.245}$

- Modulo elastico a compressione  $E_c = 3500 \cdot f_{tf}^{0.62}$

- Modulo elastico a trazione  $E_t = 3200 \cdot f_{tf}^{0.62}$

- Accorciamento a rottura  $\varepsilon_r = 10^{-3} \cdot f_{tf}^{0.62}$

I valori attenuati vengono riportati di seguito (Tabella 6.13)

Tabella 7.13 – Valori dei parametri sopra illustrati

Miscele	Flessione media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Trazione media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Compress (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resist Cilindrica (Kg/cm <sup>2</sup> )	E compres. (Kg/cm <sup>2</sup> )	E trazione (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\varepsilon_r$ accorc. a rottura (Kg/cm <sup>2</sup> )
PA	125,23	62,61	336,07	1513,01	69926,87	63933,13	0,0200
PB	70,52	35,26	208,64	740,14	48978,17	44780,04	0,0140
PC	49,38	24,69	155,23	474,98	39270,80	35904,73	0,0112
PD	44,48	22,24	142,33	417,03	36806,98	33652,10	0,0105

### 7.8.6 Inclusioni calcaree (UNI 8942 parte III - punto 11)

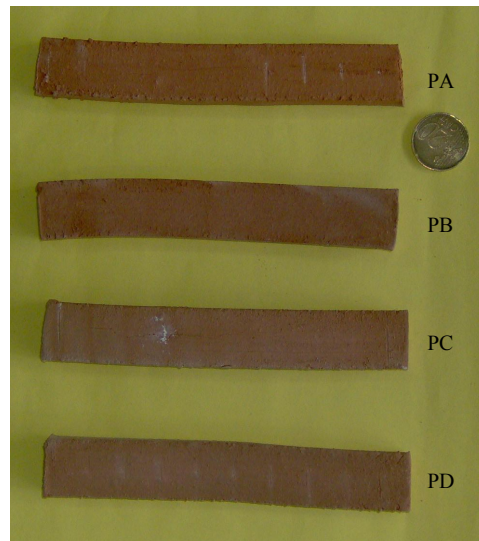
*Resoconto di prova:* I dati relativi a questo test ci portano ad affermare che i campioni sottoposti a prova non rivelano crateri sulla superficie esterna. Quindi si può affermare che i provini in esame non sono soggetti a inclusioni calcaree.

### 7.8.7 Attitudine alle efflorescenze (UNI 8942 parte III - punto 12)

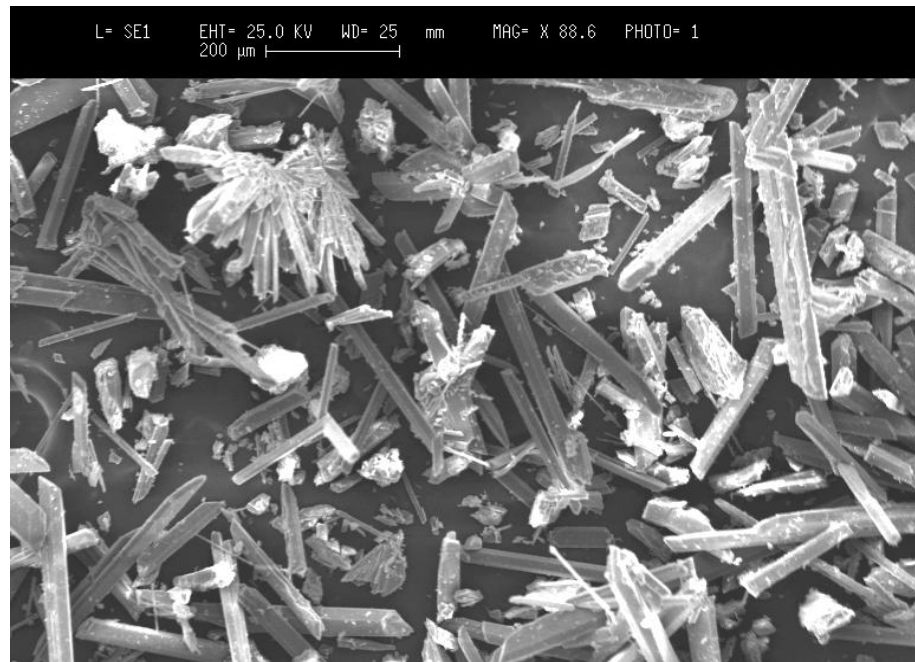
*Resoconto di prova:* Per la determinazione dell'efflorescenza si è adottato, anche in questo caso, il metodo di prova dettato dalla legge. I listelli sono stati immersi in acqua distillata per circa ¼ della loro lunghezza per 48 ore a temperatura ambiente e umidità relativa fra 45 e 55%. La stima dell'attitudine è stata effettuata visivamente, per confronto con un provino non trattato preso a riferimento, adottando la seguente scala di valutazione:

- *efflorescenza debole:* presenza di patine saline sottili e discontinue.

Tale valutazione è stata riscontrata su ogni miscela analizzata (Figura 7.31) e anche in questo caso l'analisi al SEM ha confermato il deposito di gesso sulla superficie dei campioni (Figura 7.32).



*Figura 7.31 – Campioni sottoposti a prova di efflorescenza*

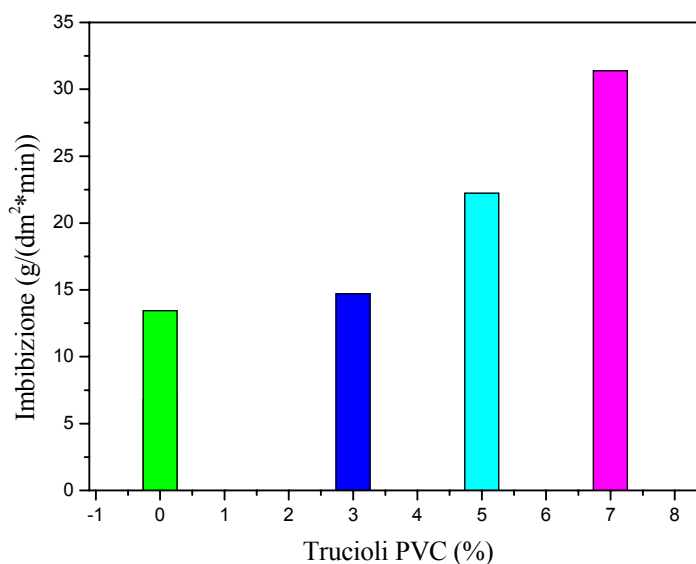


*Figura 7.32 – Immagine al SEM del deposito di gesso presente sui campioni*

### 7.8.8 Imbibizione (assorbimento specifico) (UNI 8942 parte III - punto 13)

*Resoconto di prova:* L'imbibizione (o assorbimento specifico) viene calcolata su provini essiccati fino a massa costante e successiva immersione in acqua per un tempo prestabilito. I valori sono stati ricavati come rapporto fra differenza di due pesate ( $G_2 - G_1$ ) e l'area lorda della superficie di appoggio ( $F_0$ ).

Si riporta in *Figura 7.33* il resoconto di prova.



**Figura 7.33** – Imbibizione media dei campioni contenenti diverse % di PVC

Si riportano, per esteso, in Appendice *Tabella A.20* i risultati ricavati dall'esperienza in laboratori.

I valori di imbibizione confermano l'ipotesi di formazione di alveoli/pori che aumentano in funzione della % di PVC utilizzata. Da notare la piccola variazione di imbibizione tra 0% di PVC e il 5%.

Questo modesto aumento porta a far pensare alla presenza di un numero limitato di alveoli dovuta all'azione "riempiente" dei fondenti della matrice argillosa, che riescono ad ammortizzare i pori creati dalla combustione del polimero.

### 7.8.9 Assorbimento d'acqua e stima del rischio di gelività (UNI 8942 parte III - punto 14)

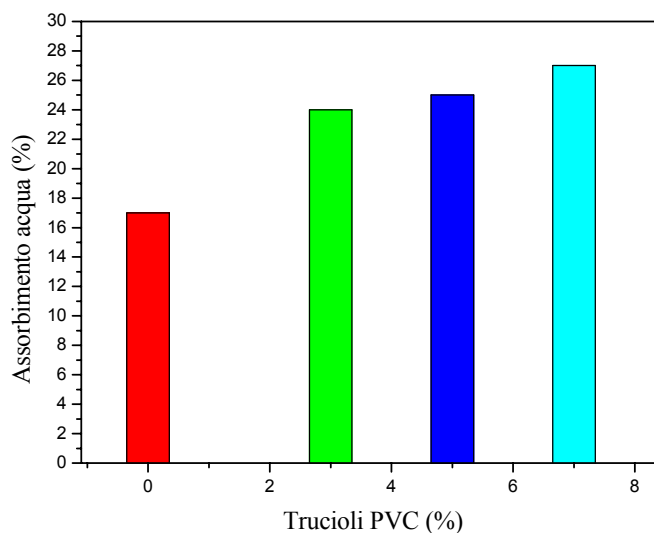
*Resoconto di prova:* I risultati ottenuti dalla prova, riportati in *Figura 7.34*, mostrano un sostanziale aumento dell'assorbimento d'acqua, rispetto al campione di riferimento, proporzionale al contenuto di scarto nella miscela.



Questo comportamento può essere giustificato dal fatto che i trucioli di PVC, sottoposti a cottura, vengono del tutto bruciati facendone aumentare quella che è la porosità del materiale, e di conseguenza, il fenomeno dell'assorbimento.

I valori ottenuti, comunque, rispettano i limiti di accettazione della Norma (Uni 8942-parte II).

In *Tabella A.21* dell'Appendice sono riportati i calcoli eseguiti per la determinazione dell'assorbimento medio dei campioni in esame.



**Figura 7.34** – Assorbimento medio d'acqua su provini contenenti trucioli di PVC

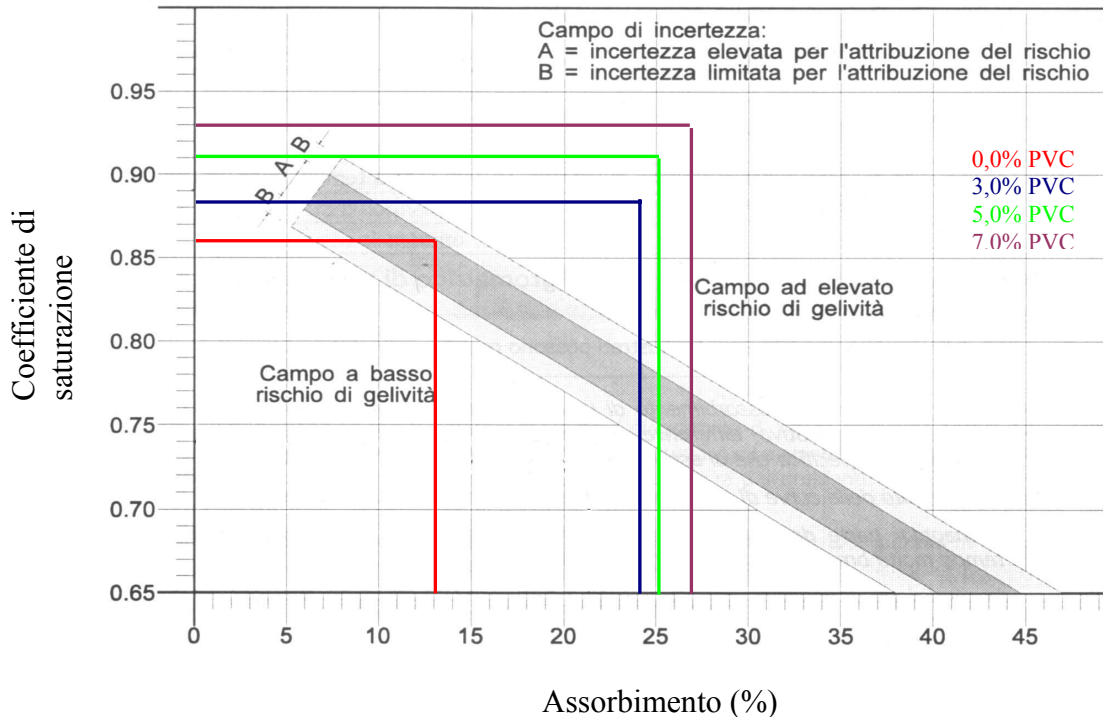
La stima del rischio di gelività è stata calcolata mediante un diagramma fornito dalla normativa. L'analisi cui sono sottoposti i provini è qualitativa in quanto non si ottengono dei dati numerici veri e propri. Da tale analisi infatti si può specificare, per ogni campione sottoposto a prova, in quale campo di rischio ricadono.

I dati si ottengono dalla costruzione grafica tra i valori di assorbimento d'acqua e il coefficiente di saturazione relativi a ogni miscela (*Tabella 7.14*).

**Tabella 7.14**– Coefficiente saturazione s-Assorbimento d'acqua provini

Campioni	% ass	Coeff. sat.
PA	13	0,86
PB	24	0,88
PC	25	0,91
PD	27	0,93

Come si evince dal grafico di *Figura 7.35*, il campione di riferimento (PA= 100% argilla) ricade nella zona di incertezza elevata per l'attribuzione del rischio. Mentre tutti i campioni additivati con trucioli di PVC ricadono all'interno del *campo ad alto rischio di gelività*, fattore causato dall'elevata quantità di acqua assorbita e trattenuta dai pori, presenti nel materiale.



*Figura 7.35 – Diagramma utilizzato per la stima del grado di gelività*

### 7.8.10 Porosità (UNI 8942 parte III - punto 15)

*Resoconto di prova:* In base ai risultati ottenuti (*Tabella 7.15*) si può notare che, per quantità di scarto di PVC crescente, la porosità del materiale aumenta, per la formazione di macropori all'interno dei campioni durante la loro cottura e la conseguente combustione del polimero. Questi valori non sono da considerarsi dei fattori negativi in quanto, come già detto, ci troviamo a studiare dei manufatti alveolati, caratterizzati proprio dalla presenza di pori che conferiscono leggerezza al materiale

*Tabella 7.15– Porosità media (%) dei provini*

Campioni	Porosità
PA	30,4166
PB	33,1428
PC	34,0230
PD	37,5711

## **7.9 PROVINI REALIZZATI CON ARGILLA E FIBRE DI CELULOSA**

Le fibre di cellulosa impiegate in questo studio sono ottenute attraverso uno speciale processo manifatturiero. Provengono da una Azienda Tedesca e attualmente sono impiegate da un'azienda leader, presente sul territorio calabrese, per la progettazione e produzione di additivi nel settore delle costruzioni stradali.

Prima di procedere nella ricerca, anche per questo materiale si è investigato in letteratura circa la loro possibile applicazione in materiali ceramici. Confortanti sono state le indagini, si è appreso che fibre, anche di diverso genere ma molto simili, trovano un largo impiego soprattutto come fibro-rinforzanti (*Bledzki A.K. et al., 1999; Mohantya A. K. et al., 2000*), ma anche nella realizzazione di materiali termoisolanti (*Binici H. et al., 2007; Delira I. et al., 2005*).

La fase di preparazione, essiccazione e cottura dei provini viene eseguita allo stesso modo descritto per i provini contenenti trucioli di pvc.

Per facilità di individuazione le nuove miscele verranno indicate con segue:

1. *FA* campioni (di riferimento) realizzati con 100% (5 Kg) di miscela argillosa e 20% di acqua di impasto.
2. *FB* campioni realizzati con 99% di miscela argillosa, il 1% in peso di fibre di cellulosa e 20% di acqua di impasto.
3. *FC* campioni realizzati con 97% di miscela argillosa, il 3% in peso di fibre di cellulosa e 20% di acqua di impasto.
4. *FD* campioni realizzati con 95% di miscela argillosa, il 5% in peso di fibre di cellulosa e 20% di acqua di impasto.

Anche per questo studio il numero di provini da sottoporre a prova e i metodi di analisi sono dettati dalla norma UNI8942 parte II.

## **7.10 Classificazione a norma**

### **7.10.1 Ritiro**

Come già indicato, per questa prova sono stati analizzati campioni, aventi dimensioni ben precise a crudo (15 cm × 2,5 cm × 1,3 cm). I dati seguenti si riferiscono al ritiro avvenuto lungo la dimensione maggiore. Considerando la lunghezza di riferimento  $L_0 = 15$  cm, quella dopo essiccamento  $L_E$ , e quella dopo cottura  $L_C$ , per il calcolo del ritiro in essiccamento si utilizza la seguente formula:

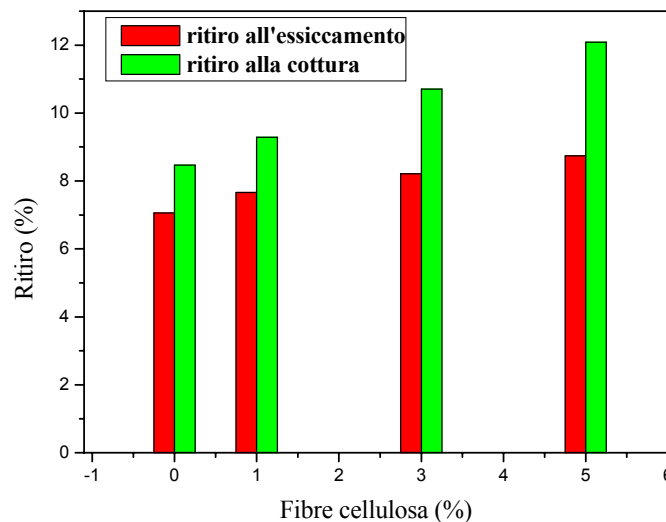
$$\text{Rit.Essic.(\%)} = \frac{L_0 - L_E}{L_0} \times 100$$

Per il calcolo del ritiro dopo cottura si utilizza invece la formula :

$$\text{Rit.cott.(\%)} = \frac{L_0 - L_C}{L_0} \times 100$$

*Resoconto di prova:* Come si può notare dai dati in *Figura 7.36*, il ritiro in essiccamento aumenta per contenuto di fibre crescenti fino a valori di circa 9%.

Analoga cosa subiscono i valori di ritiro su provini sottoposti a cottura con picco massimo di circa 12%.



*Figura 7.36 – Valori dei ritiri medi in essiccazione e cottura*

### 7.10.2 Peso

Anche per questo materiale si prevede un calcolo di perdita di peso in essiccamento e cottura. Tali valori danno indicazioni sulla quantità di acqua evaporata in fase di essiccamento, ma anche sulle variazioni di peso, che i provini subiscono in fase di cottura, dovute all'allontanamento dei prodotti di combustione.

Anche in questo si determinano il peso iniziale  $P_0$ , quello in essiccamento  $P_E$ , e quello in cottura  $P_C$  da impiegare nelle seguenti formule:

$$\text{Perdita Essic.(\%)} = \frac{P_0 - P_E}{P_0} \times 100$$

$$\text{Perdita Cottura(\%)} = \frac{P_0 - P_C}{P_0} \times 100$$

*Resoconto di prova:* Dalla *Figura 7.37* si nota subito che i valori medi in fase di essiccazione si mantengono molto vicini fra loro.

In cottura, si verifica un aumento abbastanza cospicuo di perdita di peso rispetto a quella che subiscono i provini di sola argilla.

Con ciò è possibile affermare che, per provini contenenti cellulosa, si constata la combustione del materiale addizionato a temperature di circa 150-200 °C (temperatura di resistenza caratteristica delle fibre in esame.)

Come ci si poteva aspettare i valori medi della perdita di peso dopo essiccamento sono minori di quelli dopo cottura.

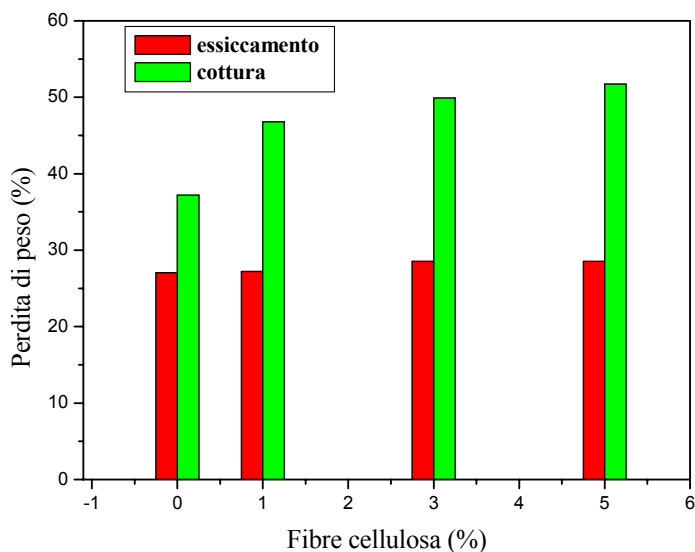


Figura 7.37 – Valori delle perdite di peso medie in essiccazione e cottura

### 7.10.3 Dimensioni esterne – Calcolo volume lordo e netto (UNI 8942 parte III - punto 6)

*Resoconto di prova:* Il calcolo del volume lordo e netto ha seguito le disposizioni stabilite dalla normativa.

I risultati per esteso ottenuti sono riportati in *Tabella A.22 e A.23* dell' Appendice A; mentre di seguito (*Tabella 7.16*) si riportano i valori medi delle misure effettuate in laboratorio. La valutazione dei volumi lordo e netto porta a pensare ad una compattazione del prodotto finito all'aumentare della quantità di cellulosa.

Tabella 7.16 - Calcolo Volume lordo ( $V_l$ ) e netto ( $V_n$ )

Campioni	Misurazioni (cm)			Misurazioni ( $\text{dm}^3$ )	
	$A_m$	$B_m$	$C_m$	$V_l$ ( $\text{dm}^3$ )	$V_n$ ( $\text{dm}^3$ )
FA	13,698	2,181	1,101	0,0329	0,0337
FB	13,669	2,169	1,093	0,0324	0,0326
FC	13,551	2,163	1,082	0,0317	0,0325
FD	13,019	2,155	1,067	0,0299	0,0319

#### 7.10.4 Massa volumica e massa volumica apparente (UNI 8942 parte III - punto 7)

*Resoconto di prova:* Come si evince dalle Figure 7.38-7.39 sia i valori di massa volumica che quelli di massa volumica apparente diminuiscono con l'aumentare del contenuto di fibra di cellulosa.

Anche in questo caso i parametri analizzati ci indicano la formazione di pori, seppur in modo contenuto. Non appare evidente, però, un aumento di percentuale di porosità in funzione della cellulosa inserita nell'impasto. Si noti infatti, che i valori del volume apparente diminuiscono sì appena si aggiunge lo scarto, ma poi non lo influenzano più di tanto, rimanendo pressoché costante. Rispetto alla norma, i valori ricadono nei limiti di accettazione  $\leq 1450 \text{ Kg/m}^3$ .

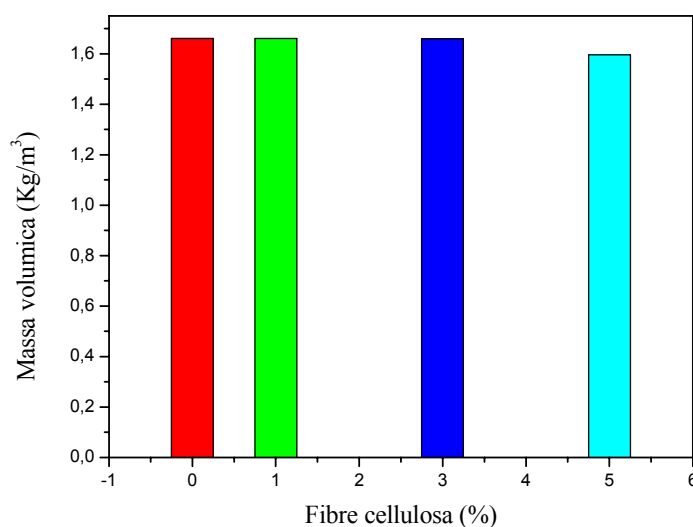
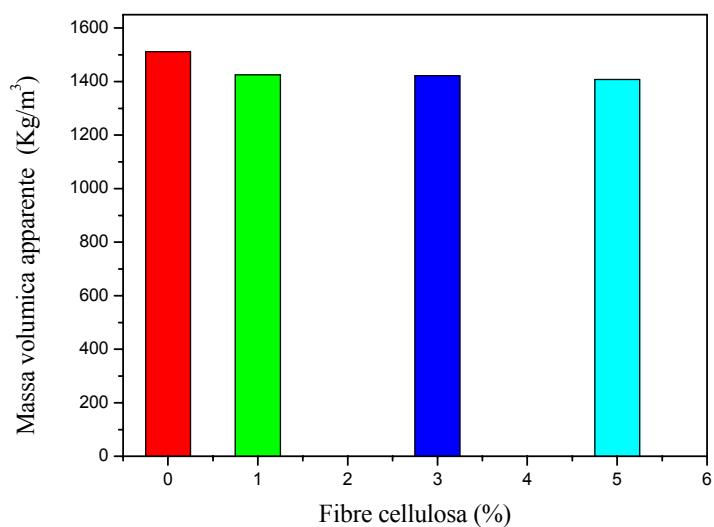


Figura 7.38 – Massa volumica (Da) media campioni a diversa % fibre cellulosa



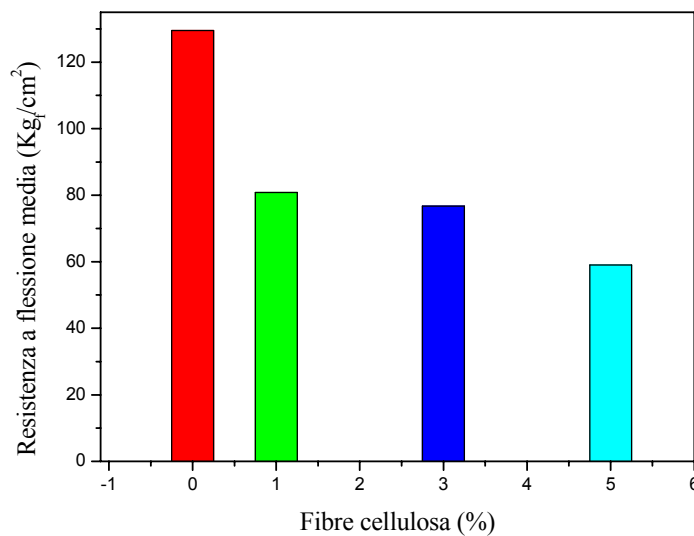
**Figura 7.39** – Massa volumica apparente ( $M_v$ ) media campioni a diversa % fibre cellulosa

#### **7.10.5 Resistenza a flessione (UNI 8942 parte III - punto 10)**

*Resoconto di prova:* I risultati della prova di resistenza a flessione sono riportati in *Figura 7.40*.

Per tali provini valgono le stesse considerazioni fatte per i campioni additivati con trucioli di pvc.

Anche in questo caso, infatti, le fibre di cellulosa subiscono la presumibile completa distruzione durante la fase di cottura dei provini; ciò comporta, di conseguenza, una diminuzione delle proprietà meccaniche dei campioni sottoposti a prova. Questi nuovi materiali possono essere utilizzati in diverse applicazioni, come già esposto precedentemente.



**Figura 7.40** – Resistenza a flessione media di provini additi vati con fibre di cellulosa

Anche per questa prova in Appendice A, *Tabella A.24*, sono pubblicati i valori dei parametri ricavati dalla prova.

Calcolato il valore medio della resistenza a flessione ( $f_{ff}$ ) sono stati ricavati i valori di resistenza a compressione e trazione, resistenza cilindrica, modulo elastico a trazione e compressione e accorciamento a rottura, tramite le consuete formule di correlazione.

- Resistenza media a trazione per flessione  $f_{ff}$
- Resistenza media a trazione  $f_t = 0.5 f_{ff}$
- Resistenza media a compressione su blocco  $f_m = 6.1 \cdot f_{ff}^{0.83}$
- Resistenza cilindrica  $f_c = 3.7 \cdot f_{ff}^{1.245}$
- Modulo elastico a compressione  $E_c = 3500 \cdot f_{ff}^{0.62}$
- Modulo elastico a trazione  $E_t = 3200 \cdot f_{ff}^{0.62}$
- Accorciamento a rottura  $\varepsilon_r = 10^{-3} \cdot f_{ff}^{0.62}$

I risultati sono raccolti nella *Tabella 7.17*



Tabella 7.17 – Valori calcolati mediante le formule di correlazione

Miscela	Flessione media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Trazione media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistenza Compress (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistenza Cilindrica (Kg/cm <sup>2</sup> )	E compress. (Kg/cm <sup>2</sup> )	E trazione (Kg/cm <sup>2</sup> )	ε <sub>r</sub> accorc. a rottura (Kg/cm <sup>2</sup> )
FA	129,54	64,77	345,65	1578,21	71411,51	65290,52	0,0204
FB	80,84	40,42	233,71	877,45	53310,06	48740,63	0,0152
FC	76,74	38,37	223,81	822,29	51613,90	47189,85	0,0147
FD	59,04	29,52	180,04	593,29	43870,39	40110,07	0,0125

### 7.10.6 Inclusioni calcaree (UNI 8942 parte III - punto 11)

*Principio:* Immissione del provino in acqua bollente per 3 h e successiva verifica

*Resoconto di prova:* Dopo aver effettuato la prova secondo norma Si può affermare che i provini in esame non sono soggetti a inclusioni calcaree, in quanto dalla prova non si evidenziano crateri sulla superficie esterna dei campioni.

### 7.10.7 Attitudine alle efflorescenze (UNI 8942 parte III - punto 12)

*Resoconto di prova:* Si è proceduto secondo norma, una volta estratti i provini dall'acqua, da test visivo si può affermare che ogni miscela è soggetta, anche in questo caso, a una *efflorescenza debole*, in quanto sulla superficie si evidenziano patine saline sottili e discontinue di gesso (immagini non riportate).

### 7.10.8 Imbibizione (assorbimento specifico) (UNI 8942 parte III - punto 13)

*Resoconto di prova:* Si riporta di seguito, il resoconto di prova relativo al calcolo dei valori di imbibizione (o assorbimento specifico) di ogni miscela (Figura 7.41):

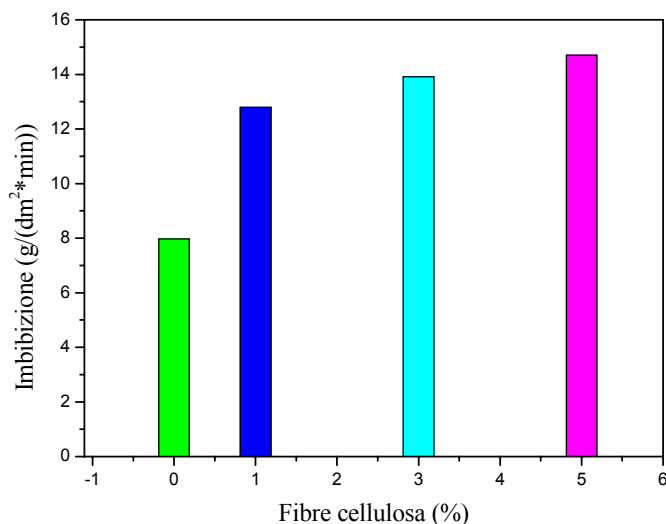


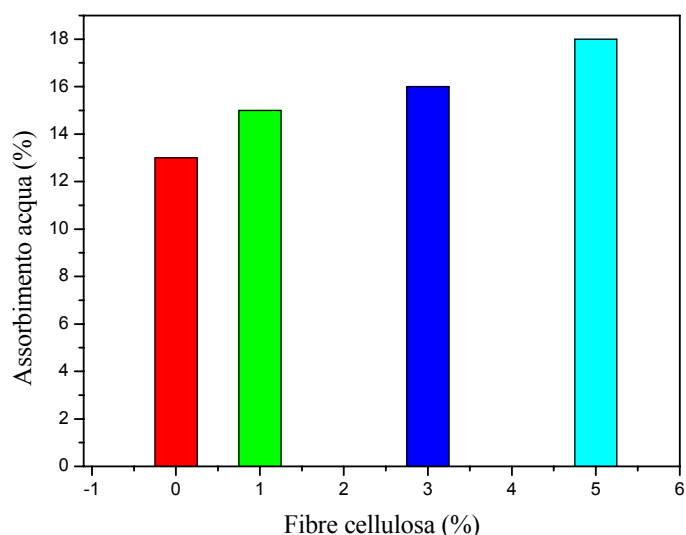
Figura 7.41 – Imbibizione media per i campioni a diversa percentuale di fibre

Come si può desumere dalla figura, la presenza di pori, all'interno della struttura, crea un aumento dell'assorbimento specifico proporzionale alla quantità di fibre presenti nella miscela.

La *Tabella A.25* in Appendice A riporta il resoconto totale della prova, cui sono stati sottoposti i provini in esame.

### 7.10.9 Assorbimento d'acqua e stima del rischio di gelività (UNI 8942 parte III - punto 14)

*Resoconto di prova:* Lo studio relativo all'assorbimento d'acqua ci porta ad affermare che, per percentuali di fibre crescenti, si ha un aumento del tenore di acqua assorbita (*Figura 7.42*); tali valori si mantengono nei limiti di accettazione della norma di riferimento.



**Figura 7.42** – Assorbimento medio dei campioni a diversa percentuale di fibre

In merito a questa prova, anche per queste miscele, ci si può avvalere delle considerazioni espresse precedentemente; le fibre di cellulosa, sottoposti a cottura, vengono del tutto incenerite, tale fenomeno implica un aumento della porosità del materiale, e di conseguenza, valori di assorbimento maggiori.

In *Tabella 7.18* sono riportati i valori medi delle variabili necessarie per la stima del rischio di gelività. Tale parametro viene ricavato diagrammando i dati di assorbimento d'acqua e il coefficiente di saturazione, come dettato dalla legge.

Tabella 7.18– Coefficiente saturazione s-Assorbimento d'acqua provini

Campioni	% ass	Coeff. sat.
FA	13	0,86
FB	15	0,87
FC	16	0,90
FD	18	0,93

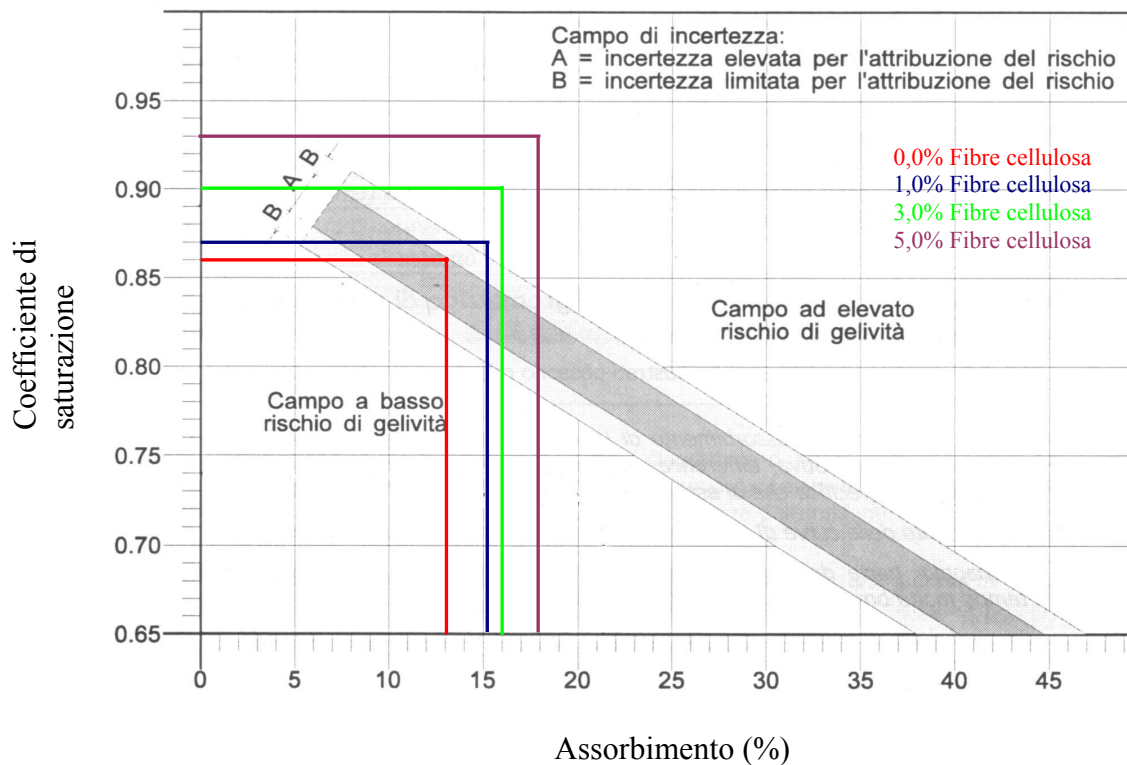


Figura 7.43 – Diagramma impiegato per la stima del rischio gelività

Dalla Figura 7.43 si può notare che il campione preparato con sola argilla ricade nel campo ad incertezza elevata di rischio gelività. Tutti i campioni contenenti fibra di cellulosa, invece, risultano ad *alto rischio di gelività*. La grande quantità di pori presenti nella struttura dei provini additivati di fibra li rende soggetti al tale rischio.

I risultati di laboratorio sono riportati, per esteso, in Appendice A Tabella A.26.

### **7.10.10 Porosità (UNI 8942 parte III - punto 15)**

*Resoconto di prova:* Dai risultati della prova porosimetrica, come si evince dalla *Tabella 7.19*, i provini contenenti fibra di cellulosa presentano valori di porosità media maggiore rispetto al campione di riferimento. Questo risultato, come già detto, rientra nella norma in quanto ci troviamo ad esaminare elementi alveolati; la presenza di pori, infatti, per questi manufatti, risulta essere una caratteristica propria dei materiali.

**Tabella 7.19** – *Valori medi della porosità*

<b>Campione</b>	<b>Porosità</b>
<b>FA</b>	30,4166
<b>FB</b>	33,0144
<b>FC</b>	33,7102
<b>FD</b>	34,7527

## **7.11 PROVINI REALIZZATI CON ARGILLA E POLVERE DI VETRO**

La raccolta differenziata del vetro è la realtà italiana più consolidata.

Ancora oggi, l'operazione di riciclo vede al primo posto il recupero e la spedizione dei materiali vetrosi nelle vetrerie, affinché possano subire delle lavorazioni idonee per la produzione di nuove bottiglie. Per quanto riguarda il riuso, dal rottame del vetro si ricavano contenitori per uso alimentare che differiscono da quelli ottenuti da materie prime solo per la minore trasparenza.

Un eventuale utilizzo di scarti di vetro, in materiali argillosi è stata avvalorata da alcuni ricerche scientifiche che hanno dimostrato la validità di tale operazione (*El-Kheshen A.A. et al., 2003*).

Le polveri di vetro sono usate come agente dimagrante e come ausilio alla sinterizzazione nella produzione di laterizi. I tipi di vetro usati per questo scopo sono quelli dell'industria alimentare oppure quelli che non presentano impurità dovute ad altre cause.

Polveri di vetro di tipo industriale, per esempio quelle derivanti dai tubi catodici, per via della loro contaminazione specifica non sono certo adatte all'industria dei laterizi.

Le fasi di preparazione, essiccazione e cottura dei provini seguono quanto già ampiamente descritto negli studi precedenti.

Per facilità di riconoscimento le nuove miscele verranno indicate, nel seguito, come segue:

1. *VA* campioni (di riferimento) realizzati con 100% di miscela argillosa e 20% di acqua di impasto.
2. *VB* campioni realizzati con 95% di miscela argillosa, il 5% in peso di polvere di vetro e 20% di acqua di impasto.
3. *VC* campioni realizzati con 90% di miscela argillosa, il 10% in peso di polvere di vetro e 20% di acqua di impasto.
4. *VD* campioni realizzati con 85% di miscela argillosa, il 15% in peso di polvere di vetro e 20% di acqua di impasto.

I provini così realizzati sono stati cotti alla temperatura di 1090°C. Tali valori sono stati resi possibili dalla presenza di vetro nelle miscele di argilla. Lo scarto, infatti agendo da fondente, ha accelerato la formazione della fase liquida, nel corpo ceramico, durante il processo di sinterizzazione. Di conseguenza è stato possibile operare a temperature minori rispetto a quella ottimale di cottura.

La caratterizzazione dei prodotti finiti segue la stessa normativa adottata per i **mattoni pieni, estrusi con massa normale**, poiché anche questi nuovi materiali ricadono nella categoria citata. Nomenclatura tecnica **MPR 21**.

## 7.12 Classificazione a norma

### 7.12.1 Ritiro

I provini a diverso contenuto di scarto vetroso sono stati sottoposti ad un'analisi statistica sull'accorciamento delle dimensioni di base.

Considerando che i campioni realizzati presentano delle dimensioni ben precise a crudo (15 cm × 2,5 cm × 1,3 cm); a partire da questi valori e attraverso formule empiriche si è studiato il loro ritiro in fase di essiccazione e dopo cottura.

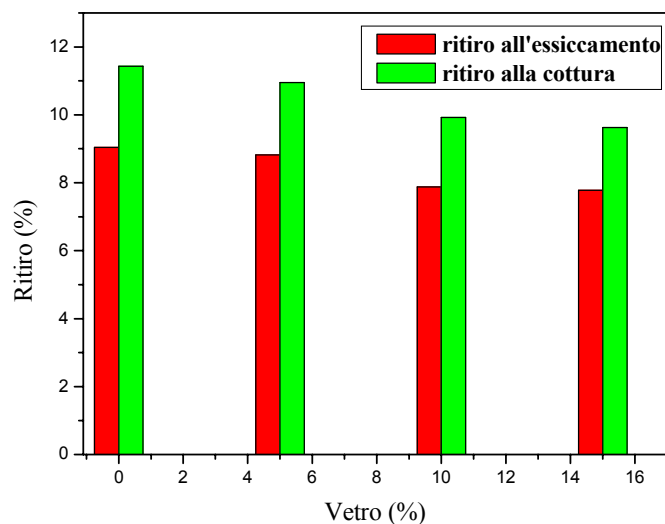
I dati seguenti si riferiscono al ritiro avvenuto lungo la dimensione maggiore. Considerando la lunghezza di riferimento  $L_0 = 15$  cm, quella dopo essiccamento  $L_E$ , e quella dopo cottura  $L_C$ , per il calcolo del ritiro in essiccazione si utilizza la formula:

$$\text{Rit.Essic.(\%)} = \frac{L_0 - L_E}{L_0} \times 100$$

Per il calcolo del ritiro dopo cottura, si utilizza invece:

$$\text{Rit.cott.(\%)} = \frac{L_0 - L_C}{L_0} \times 100$$

*Resoconto di prova:* Come si evince dalla *Figura 7.44*, il ritiro sia in essiccazione che dopo cottura tende a diminuire per tenore di vetro crescenti.



**Figura 7.44** – Valori dei ritiri medi in essiccazione e cottura

### 7.12.2 Peso

Il calcolo delle perdite di peso, che i provini subiscono a seguito di essiccazione e cottura, viene effettuato attraverso le seguenti formule empiriche :

$$\text{Perdita Essic.(\%)} = \frac{P_0 - P_E}{P_0} \times 100$$

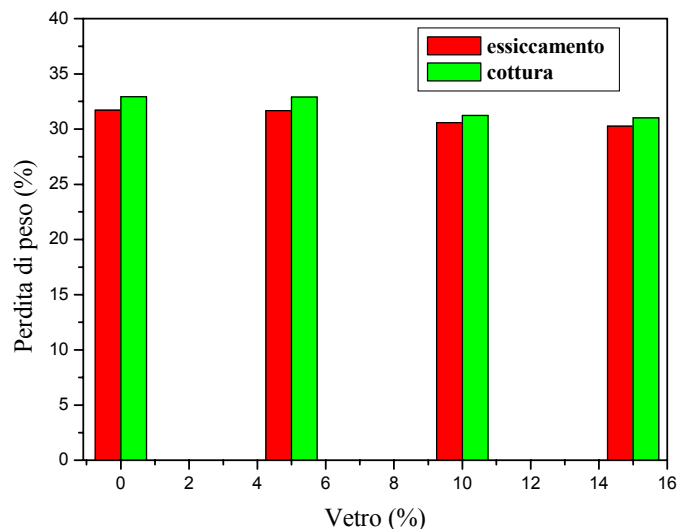
Mentre per la perdita in cottura si ha:

$$\text{Perdita Cottura(\%)} = \frac{P_0 - P_C}{P_0} \times 100$$

dove si indica con:  $P_0$  il peso iniziale,  $P_E$  quello in essiccamento e  $P_C$  quello dopo cottura.

*Resoconto di prova:* Come si può notare, in *Figura 7.45*, i valori medi si mantengono molto vicini fra loro.

È naturale assistere a una perdita di peso maggiore dopo cottura rispetto a quella dopo essiccamento, considerato che alle alte temperature si verificano trasformazioni chimiche che causano l'allontanamento di alcuni, anche se in modo contenuto, elementi per lo più gassosi.



*Figura 7.45 – Valori delle perdite di peso medie in essiccazione e cottura*

### 7.12.3 Dimensioni esterne – Calcolo volume lordo e netto (UNI 8942 parte III - punto 6)

*Resoconto di prova:* Anche per questo materiale di scarto, il calcolo del volume lordo è stato effettuato seguendo la normativa e i valori riassunti nelle *Tabella A.27* dell'Appendice A.

Per quanto riguarda il calcolo del volume netto, diversamente dalla norma sono state effettuate 3 misure, utilizzando un recipiente adatto alla dimensione dei campioni.

I risultati ottenuti sono riassunti in Appendice *Tabella A.28*.

Di seguito si riportano i valori medi delle misurazioni delle tre dimensioni e i relativi valori di volume lordo e netto (*Tabella 7.20*).

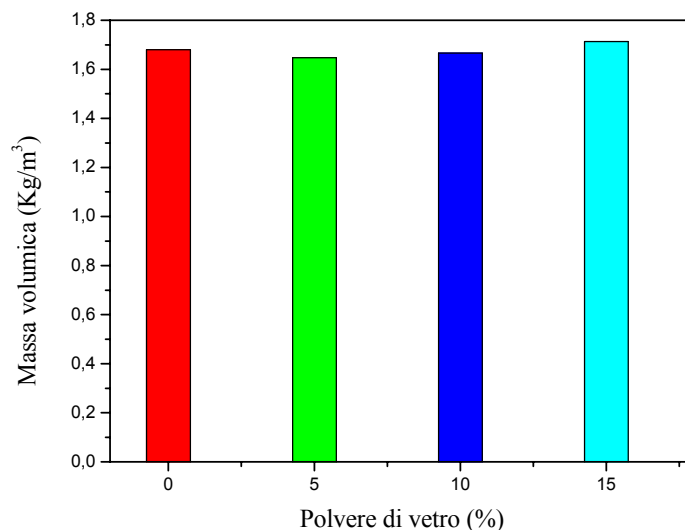
**Tabella 7.20 - Calcolo Volume lordo ( $V_l$ ) e netto ( $V_n$ )**

Campioni	Misurazioni (cm)			Volume lordo e netto	
	$A_m$	$B_m$	$C_m$	$V_l$ (dm <sup>3</sup> )	$V_n$ (dm <sup>3</sup> )
VA	13,568	2,218	1,12	0,03382	0,033889
VB	13,565	2,218	1,12	0,03372	0,033835
VC	13,563	2,213	1,11	0,03316	0,033212
VD	13,458	2,214	1,09	0,03260	0,032180

I valori volumetrici indicano una sostanziale compattezza dei campioni all'aumentare del vetro nell'impasto originario

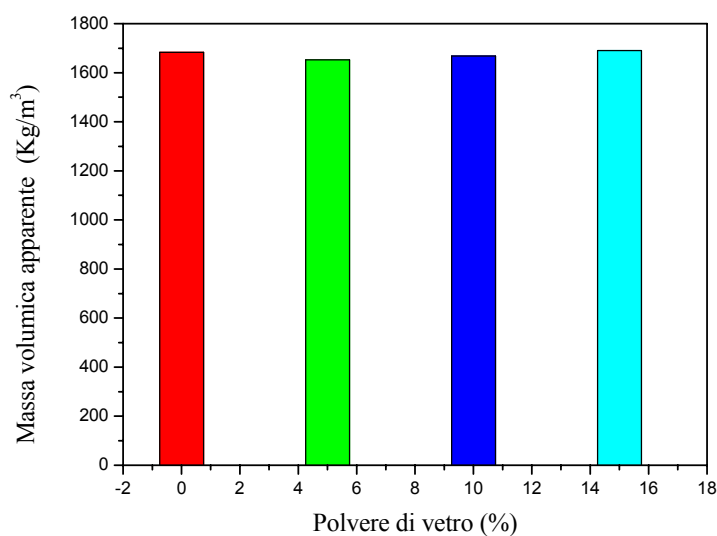
#### 7.12.4 Massa volumica e massa volumica apparente (UNI 8942 parte III - punto 7)

*Sperimentazione in laboratorio:* Calcolato il volume netto e lordo si è proceduto come da normativa. In *Figura 7.46-7.47* sono mostrati gli andamenti dei due parametri calcolati, relativi ad ogni miscela argilla-scarto.



**Figura 7.46 – Massa volumica (Da) media per i campioni in esame**





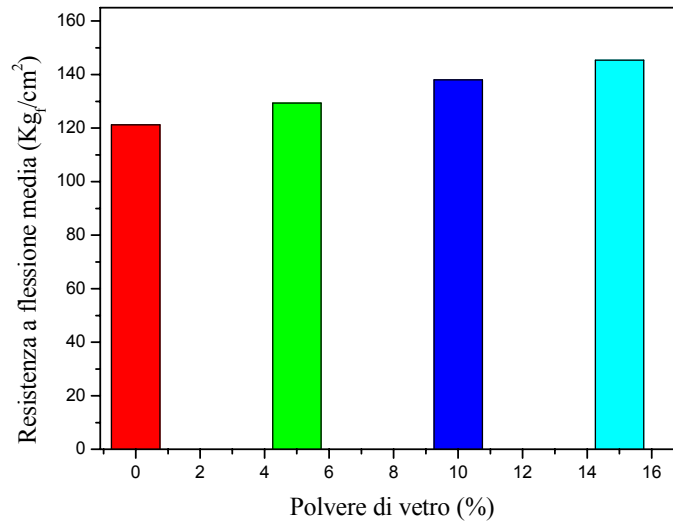
**Figura 7.47** – Massa volumica apparente ( $M_v$ ) media per i campioni in esame

*Resoconto di prova:* Come si può notare dagli elaborati i valori calcolati, relativi ai due parametri in esame, subiscono delle fluttuazioni non direttamente riconducibili alla quantità di scarto inserita.

#### **7.12.5 Resistenza a flessione (UNI 8942 parte III - punto 10)**

*Resoconto di prova:* la Figura 7.48 riassume i risultati relativi al calcolo della resistenza a flessione dei campioni in esame.

Rispetto al campione di riferimento, le caratteristiche meccaniche dei materiali contenenti vetro sono risultate migliori. Questo è dovuto probabilmente all'azione compattante dello scarto. Tale fenomeno incide positivamente sulla resistenza dei prodotti finiti.



**Figura 7.48** – Resistenza a flessione media dei campioni in esame

I valori relativi ai parametri caratteristici della prova di resistenza a flessione sono riportati in Appendice, *Tabella A.29*.

Di seguito, invece, sono raccolti in *Tabella 7.21* i risultati ottenuti dalle seguenti formule di correlazione:

- Resistenza media a trazione per flessione  $f_{tf}$
- Resistenza media a trazione  $f_t = 0.5 f_{tf}$
- Resistenza media a compressione su blocco  $f_m = 6.1 \cdot f_{tf}^{0.83}$
- Resistenza cilindrica  $f_c = 3.7 \cdot f_{tf}^{1.245}$
- Modulo elastico a compressione  $E_c = 3500 \cdot f_{tf}^{0.62}$
- Modulo elastico a trazione  $E_t = 3200 \cdot f_{tf}^{0.62}$
- Accorciamento a rottura  $\varepsilon_r = 10^{-3} \cdot f_{tf}^{0.62}$

**Tabella 7.21** – Valori ottenuti dalle formule di correlazione

Miscela	Flessione media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Trazione media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistenza Compress (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistenza Cilindrica (Kg/cm <sup>2</sup> )	E compress. (Kg/cm <sup>2</sup> )	E trazione (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\varepsilon_r$ accorc. a rottura (Kg/cm <sup>2</sup> )
VA	121,26	60,63	327,21	1453,58	68545,36	62670,05	0,0196
VB	129,44	64,72	345,42	1576,60	71375,21	65257,33	0,0204
VC	138,04	69,02	364,36	1708,07	74279,67	67912,84	0,0212
VD	145,37	72,68	380,34	1821,66	76699,98	70125,69	0,0219

### 7.12.6 Inclusioni calcaree (UNI 8942 parte III - punto 11)

*Resoconto di prova:* Procedendo come da normativa, dopo aver eseguito il test sui provini e conseguente analisi visiva, si può dedurre che nessuna miscela è soggetta a inclusioni calcaree.

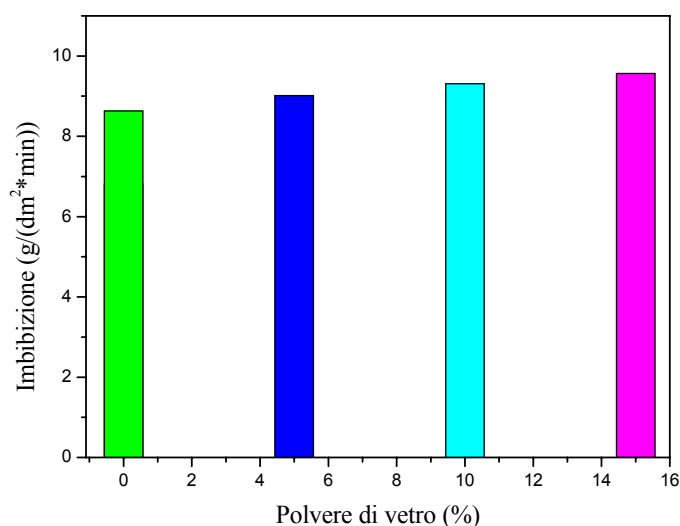
### 7.12.7 Attitudine alle efflorescenze (UNI 8942 parte III - punto 12)

*Resoconto di prova:* Si è proceduto secondo norma, analizzando i campioni visivamente è possibile affermare che la presenza di vetro nella miscela argillosa non genera fenomeni di efflorescenza sulla superficie dei prodotti finali.

### 7.12.8 Imbibizione (assorbimento specifico) (UNI 8942 parte III - punto 13)

*Resoconto di prova:* Si procede come specificato dalla normativa. Si è effettuata una doppia pesata del campione prima di immergerlo in acqua. La prima pesata si effettua su campione a temperatura ambiente e la seconda, dopo 15 minuti su provino posto in stufa a 105 °C. I valori ricavati sono riportati in Appendice *Tabella A.30*.

La *Figura 7.49* rappresenta l'andamento medio dei valori di imbibizione per i provini in esame.



**Figura 7.49**– Imbibizione media per i campioni sottoposti a test

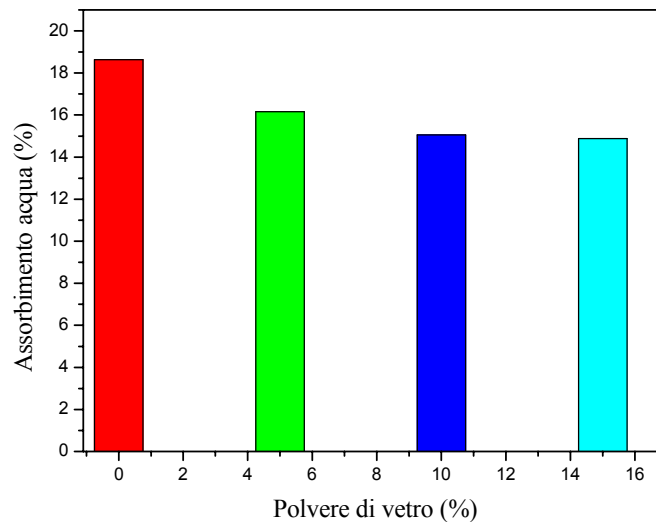
I valori di imbibizione, dei provini additivati con polveri di vetro, sono maggiori rispetto ai valori di riferimento. Durante la cottura, probabilmente, vengono rilasciate in superficie o nelle immediate vicinanze sostanze volatili che portano alla formazione di macrocavità all'interno dei prodotti finiti. Di conseguenza si hanno degli aumenti di questo parametro.

### 7.12.9 Assorbimento d'acqua e stima del rischio di gelività (UNI 8942 parte III - punto 14)

*Resoconto di prova:* Dalla Figura 7.50 relativa all'assorbimento d'acqua si può notare come al crescere del contenuto di scarto, nell'impasto ceramico, si verifica una sostanziale diminuzione del tenore di acqua assorbita.

Probabilmente, il vetro durante la sua fusione e successiva solidificazione va ad occupare i pori presenti nella struttura ceramica, rendendo il materiale meno assorbente e meno adatto alla formazione di micropori.

Tutti i campioni sottoposti a tale prova mostrano valori medi ampiamente all'interno degli estremi imposti dalla normativa ( 10-25 %).



**Figura 7.50** – Assorbimento medio per i campioni a diversa percentuale di vetro

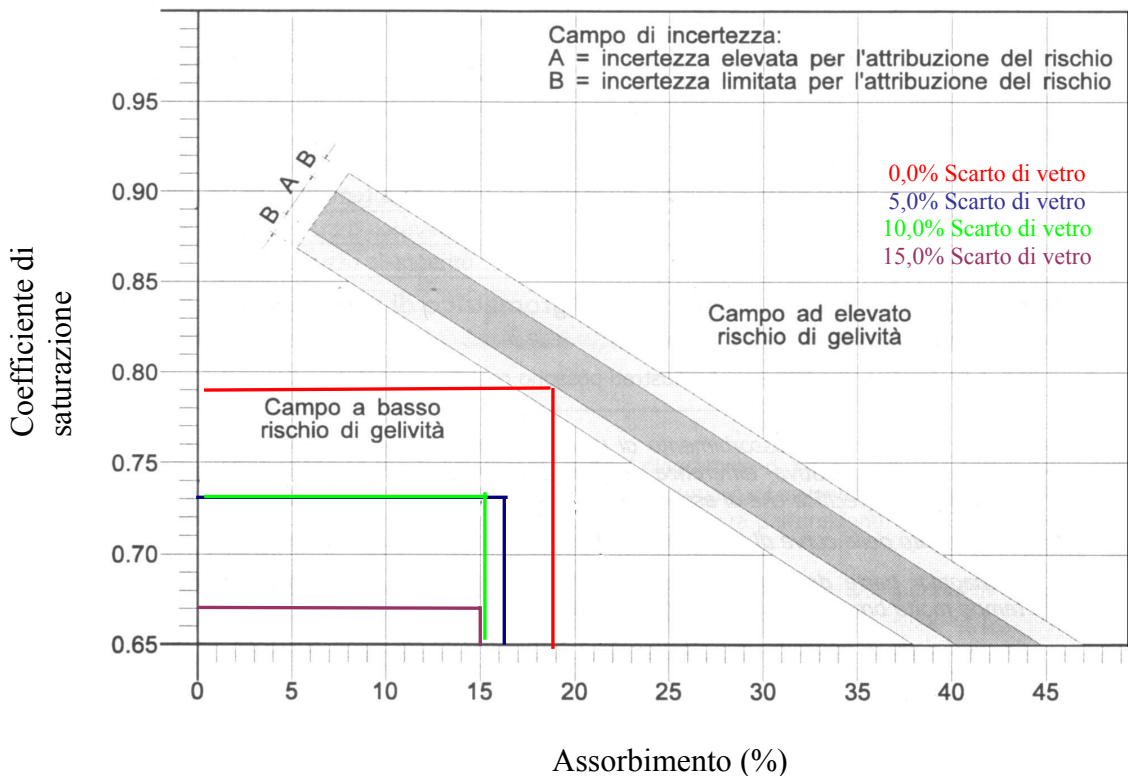
In *Tabella A.31* dell'Appendice sono riportati i calcoli eseguiti per la determinazione dell'assorbimento medio, dei campioni in esame.

La stima del rischio di gelività viene ricavata come negli studi precedenti.

Si procede diagrammando, su apposito schema contenuto nella normativa, i valori del coefficiente di saturazione con i corrispettivi valori di assorbimento d'acqua riportati in *Tabella 7.22*:

**Tabella 7.22** – Coefficiente saturazione s-Assorbimento d’acqua

Campioni	% ass	Coeff. sat.
FA	18,6	0,79
FB	16,1	0,73
FC	15,0	0,73
FD	14,9	0,67



**Figura 7.51** – Stima del rischio di gelività

Come si evince dalla Fig. 7.51 tutti i campioni additivati di scarto risultano essere non gelivi. Tale parametro può far ipotizzare una possibile applicazione di questi nuovi manufatti anche per la realizzazione di murature per esterni, in quanto essi presentano una elevata resistenza ai cambiamenti climatici.

### 7.12.10 Porosità (UNI 8942 parte III - punto 15)

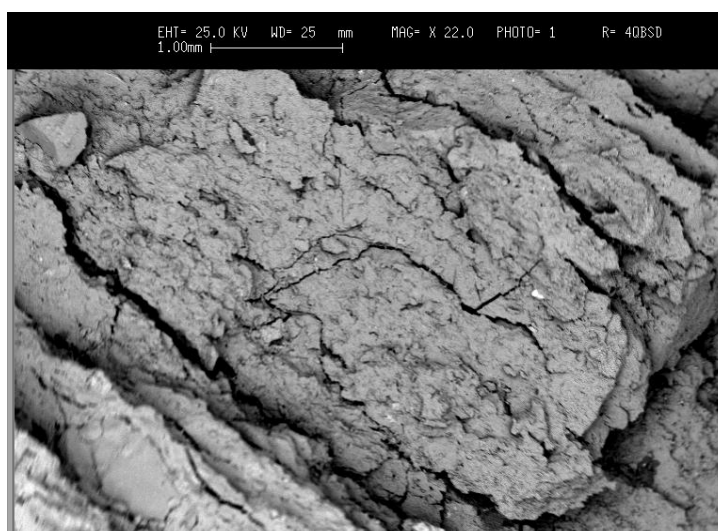
*Resoconto di prova:* In base ai risultati ottenuti si può notare che la porosità media (Tabella 7.23), per percentuali di polvere di vetro crescenti, presenta un andamento “costante”, con valori molto prossimi a quelli del campione di riferimento. Tale fattore giustifica i valori di assorbimento d’acqua, anch’essi molto prossimi tra loro.

**Tabella 7.23** – Porosità media dei provini

Campioni	Porosità
VA	27,6521
VB	27,2157
VC	26,9854
VD	26,9456

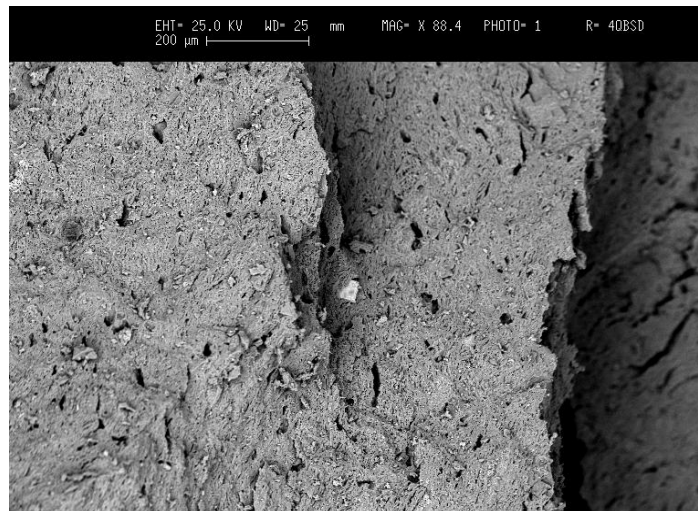
### 7.13 ESAME MORFOLOGICO SU PROVINI TAL QUALI E CONTENENTI SCARTI

I campioni sono stati sottoposti ad analisi morfologica tramite l'utilizzo di elettroni retrodiffusi. Questa tecnica sperimentale permette di definire il grado di omogeneità dei provini ottenuti. Naturalmente il campione di sola argilla di *Figura 7.52* risulta essere altamente omogeneizzato. Basta vedere la uniformità di colore della superficie analizzata, segno di una miscelazione ottimale sia delle diverse fasi cristalline che delle composizioni chimiche del provino stesso.



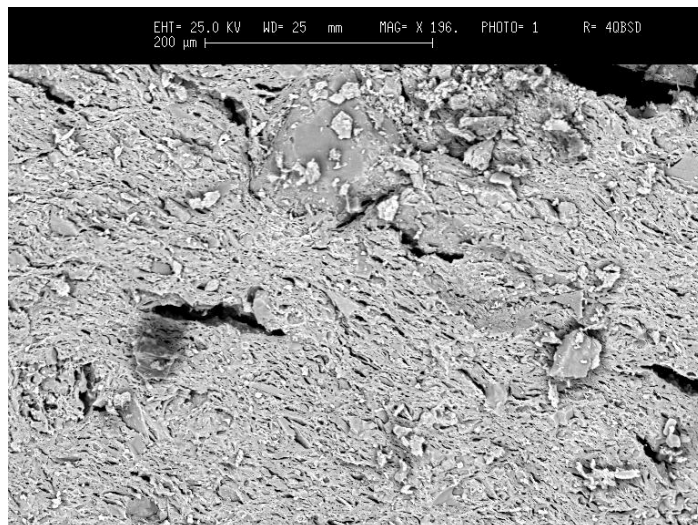
**Figura 7.52** – Micrografia provino formato da solo argilla

La superficie relativa al campione ottenuto con l'aggiunta di ferrite (*Figura 7.53*) invece, pur dimostrando una notevole omogeneizzazione presenta degli sporadici agglomerati di ferro o zinco puri. La loro dimensione è però totalmente trascurabile ai fini produttivi, rispetto alle dimensioni totali del provino.



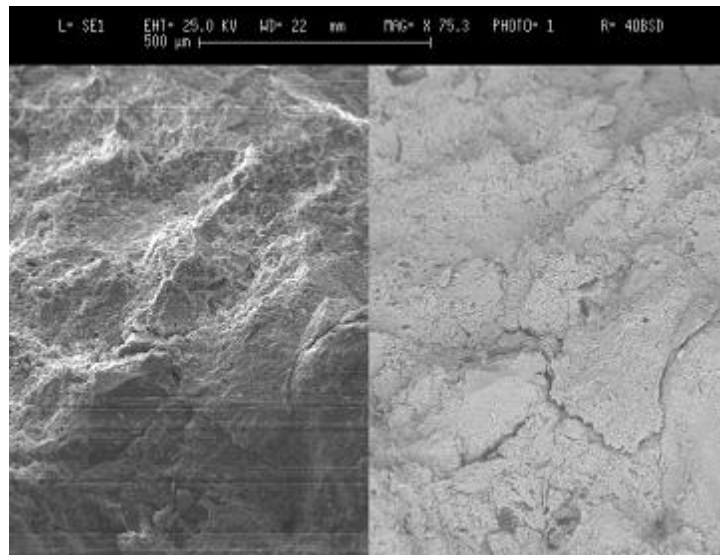
**Figura 7.53** – Micrografia provino formato da argilla+ferrite

Un prodotto altamente omogeneizzato è sicuramente quello ottenuto con l'inserimento di clorite (*Figura 7.54*). Come del resto era prevedibile, uno scarto a base sostanzialmente di Si e Al offre di per sé una alta capacità di omogeneizzazione con una materia prima argillosa composta dagli stessi elementi.



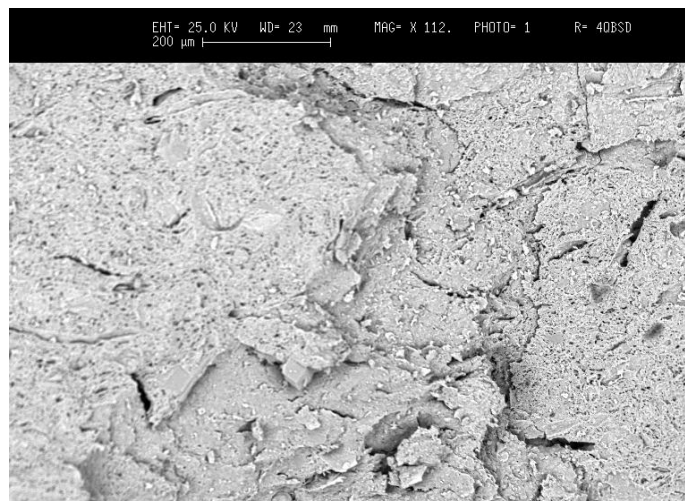
**Figura 7.54** – Micrografia provino formato da argilla+clorite

La stessa cosa può essere affermata per quanto riguarda il campione ottenuto con scarti di vetro (*Figura 7.55*).



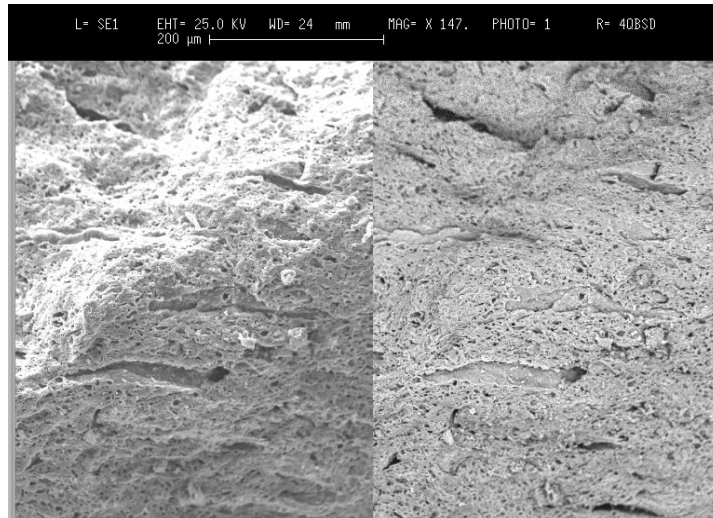
**Figura 7.55** – Micrografia provino formato da argilla+polvere di vetro

Invece, i due provini ottenuti con scarti di PVC e cellulosa (Figure 7.56-7.57) presentano una forte presenza di pori prodotti dalla combustione completa dei due rifiuti industriali. Naturalmente l'omogeneità della matrice piena è totale, visto che l'argilla è la sola fase rimasta integra dopo cottura.



**Figura 7.56** – Micrografia provino formato da argilla+scarto di PVC





**Figura 7.57** – Micrografia provino formato da argilla+fibre di cellulosa

## Conclusioni

Lo studio riguardante la possibilità di produrre materiali ceramici, e in particolar modo laterizi, a partire da materie prime e scarti di origine calabrese ha condotto ai seguenti risultati.

### Materie prime :

Le analisi chimiche eseguite sui campioni di argilla hanno confermato che, esse possono essere adottate come materie prime per la realizzazione di laterizi. L'elevato contenuto di  $Fe_2O_3$  non crea nessun problema in fase di cottura dei materiali, determina solo nei prodotti finiti una colorazione più intensa.

Dall'analisi mineralogica si è osservato come la miscela argillosa è costituita prevalentemente da illite, quarzo e tracce di calcite.

Le analisi termiche hanno evidenziato un comportamento pressoché tipico delle argille, con presenza di reazioni endotermiche relative all'evaporazione dell'acqua superficiale, all'allontanamento dell'acqua strutturale e infine alla degradazione completa della percentuale di calcite presente nelle argille.

### Produzione di laterizi mediante l'aggiunta di scarti industriali:

L'impiego di materiali di scarto nel ciclo produttivo di laterizi è finalizzato prevalentemente alla soluzione di tre problemi fondamentali:

- riduzione delle sostanze destinate alla discarica;
- risparmio sull'impiego di materie prime;
- realizzazione di nuovi manufatti con materiali di recupero.

In questa ricerca gli scarti oggetto di studio sono stati cinque:

- ✓ Ferrite di zinco (residui di lavorazione dello zinco proveniente della ex Pertusola Sud di Crotona);
- ✓ Clorite (scarto proveniente dalla lavorazione di prodotti di cava di un'industria mineraria);
- ✓ Trucioli di PVC (provenienti da una piccola industria produttrice di infissi in PVC);
- ✓ Fibre di cellulosa (provenienti da una azienda leader nella produzione di fibre naturali);
- ✓ Vetro (proveniente dalla raccolta differenziata effettuata sul territorio calabrese).

I parametri ottimali del processo ceramico non sono stati variati; per favorire l'introduzione degli scarti, è stata sostituita una porzione crescente di argilla con lo scarto sottoposto a studio in modo da realizzare comunque un prodotto finito, caratterizzato da una matrice ceramica compatta.

### ***1. Produzione di laterizi contenenti ferrite di zinco:***

- ✚ Dalla prova di massa volumica è emerso che un aumento del tenore di ferrite all'interno dei provini determina un accrescimento di questa grandezza. La massa volumica apparente, invece, presenta un andamento quasi costante.
- ✚ Le prove di inclusioni calcaree sono risultate tutte negative, sintomo di una quasi totale assenza di grumi carbonatici.
- ✚ I test di verifica per l'attitudine all'efflorescenza hanno messo in evidenza che la maggiore presenza di ferrite favorisce la formazioni di una sottile patina bianca che rende il campione più idoneo ad essere utilizzato per rivestimenti interni che non esterni. Tramite analisi EDS e microscopia elettronica a scansione (SEM) si è potuto confermare che tale incrostazione esterna non è altro che gesso.
- ✚ La prova di imbibizione ha mostrato un aumento direttamente proporzionale al tenore di ferrite presente nei provini.
- ✚ La verifica ad assorbimento, invece, mostra un andamento opposto al precedente. Ciò vuol dire che probabilmente la ferrite superficialmente rende i provini più porosi, mentre internamente li rende più compatti. A partire dai risultati di tale prova si può presumere che i campioni siano non gelivi.
- ✚ L'analisi porosimetrica mostra una percentuale media pari al 30% per tutte le miscele, ma quelle a maggior contenuto di ferrite presentano un diametro dei pori leggermente più elevato rispetto alle altre. Ciò potrebbe confermare i dati emersi nelle prove precedenti (imbibizione e assorbimento d'acqua).
- ✚ I cicli di gelo e disgelo hanno confermato che i campioni risultano tutti non gelivi.
- ✚ Nella prova a flessione, si assiste ad un comportamento non regolare in funzione della quantità ferrite impiegata nella produzione dei provini. Si può osservare che, nei mattoncini con contenuto di ferriti di zinco alto le resistenze siano quasi pari a quelle del provino senza alcun additivo. Questi risultati ci portano ad affermare che lo scarto non causa nessun peggioramento dal punto di vista di resistenza meccanica dei materiali additivati.
- ✚ La prova di rilascio, infine, ha stabilito che tutti i campioni immersi completamente in acqua rilasciano percentuali bassissime o talvolta nulle di sostanze nocive per l'ambiente e per l'uomo. Il risultato è notevole considerando che è molto bassa la probabilità che un evento atmosferico possa bagnare per così tanto tempo una mattonella da esterno.

Con certezza si può quindi affermare che la matrice ceramica rappresenta una ottima metodologia di smaltimento per la ferrite di zinco. Essa, infatti, riesce ad inglobare perfettamente la sostanza di scarto dell'industria metallurgica. In questo modo sebbene le analisi mostrino una parziale inertizzazione della ferrite, il processo di ceramizzazione la rende innocua. L'unica precauzione è quella di utilizzarli per un uso interno. Infatti,

sebbene siano resistenti al gelo, un loro impiego da esterno risulta sconsigliato a causa della molto probabile formazione di efflorescenze.

## **2. Produzione di laterizi contenenti polvere di clorite:**

✚ La prova per la determinazione della massa volumica ha messo in evidenza che un aumento del tenore di polvere di clorite all'interno dei provini determina un accrescimento di questa grandezza. La massa volumica apparente, invece, presenta un andamento quasi costante, la sua variazione è trascurabile

✚ La resistenza a flessione dei campioni contenenti solo il 5% di scarto è molto prossima ai valori di resistenza dei campioni di riferimento. Miglioramenti di tale parametro si possono notare nei campioni in cui il contenuto di scarto è maggiore, raggiungendo valori dell'ordine di 122 Kg/cm<sup>2</sup>.

✚ La prova per la determinazione di inclusioni calcaree risulta negativa.

✚ Per provini a basso contenuto di clorite l'attitudine all'efflorescenza è nulla; si evidenzia una efflorescenza debole, invece sui campioni contenente il 15% di clorite. In questo caso si verifica una lieve migrazione dei sali disciolti sulla superficie del materiale.

✚ Lo studio relativo alle prove di imbibizione (o assorbimento specifico) e assorbimento d'acqua ci porta ad affermare che, i valori di tali parametri non si discostano molto dai valori del campione di riferimento. Tale fenomeno è probabilmente dovuto al fatto che il materiale additivato si amalgama bene con la matrice argillosa e non permette la formazione di pori durante la fase di cottura dei campioni.

✚ Dopo una attenta analisi, effettuata attraverso l'impiego di diverse metodologie, possiamo affermare con certezza che i campioni studiati risultano non gelivi. Anche questi risultati, si possono attribuire a una scarsa quantità di pori all'interno della struttura.

✚ In base ai risultati ottenuti la prova porosimetrica conferma i dati finora esposti. La porosità media dei provini contenenti percentuali di clorite crescenti, presenta un andamento "oscillante", con valori molto prossimi a quelli del campione di riferimento. L'instabilità dei valori è da attribuirsi alla non completa miscelazione dello scarto negli impasti argillosi.

✚ La prova di rilascio, infine, ha evidenziato che tutti i campioni immersi in acqua rilasciano percentuali quasi nulle di sostanze nocive per l'ambiente e per l'uomo. Gli impasti argillosi, quindi sono capaci di legare e trattenere elementi dannosi presenti negli scarti additivati. Il materiale di scarto viene così reso inerte.

## **3. Produzione di laterizi contenenti trucioli di PVC:**

✚ La prova per il calcolo della massa volumica e della massa volumica apparente ha evidenziato che aumentando il contenuto di trucioli di PVC all'interno dei provini si ha un lieve aumento di queste grandezze. Si può affermare, quindi, che la variazione di queste

due variabili è pressoché nulla. I valori ottenuti rientrano nei limiti di accettazione per prodotti a massa alveolata.

✚ I laterizi additivati sono meno resistenti dei prodotti privi di alveolatura. La diminuzione della resistenza meccanica a flessione degli alveolati è da attribuirsi all'aumento di porosità proveniente da una diminuzione di densità dopo cottura.

✚ I provini in esame non presentano inclusioni calcaree.

✚ La stima dell'attitudine effettuata visivamente ci permette di affermare che i provini presentano una efflorescenza debole: presenza di patine saline sottili e discontinue. Tale valutazione è stata riscontrata su ogni miscela analizzata.

✚ Come si poteva già presupporre la prova di imbibizione ha mostrato un aumento direttamente proporzionale alla quantità di PVC presente nei provini.

✚ Analoga considerazione può essere espressa per i valori assorbimento d'acqua. Infatti la presenza di pori fa crescere il valore di tale variabile rispetto al campione di riferimento, privo di alveolatura.

✚ L'analisi porosimetrica mostra, anch'essa, un aumento in funzione della % di scarto contenuta nei provini; ciò a conferma dei dati emersi dalle prove precedenti (imbibizione e assorbimento d'acqua).

#### **4. Produzione di laterizi contenenti fibre di cellulosa:**

✚ I valori di massa volumica e massa volumica apparente diminuiscono con l'aumentare del contenuto di fibra di cellulosa. I parametri analizzati sono funzione delle diverse dimensioni dei pori della struttura, lasciati dalla completa degradazione della fibra di cellulosa. I risultati calcolati ricadono nei limiti di accettazione della norma per mattoni pieni, estrusi con massa alveolata.

✚ Come già enunciato, nei campioni additivati le proprietà meccaniche a flessione risultano minori rispetto ai campioni di riferimento. Le fibre di cellulosa, infatti, subiscono la completa combustione durante la fase di cottura con formazione di pori, che rendono la struttura più fragile.

✚ I provini in esame non presentano inclusioni calcaree, mentre risultano soggetti a una *debole efflorescenza*

✚ Lo studio relativo alle prove di imbibizione (o assorbimento specifico) e assorbimento d'acqua ci porta ad affermare che, come già previsto, i valori relativi ai due parametri aumentano in funzione delle percentuali di fibre additate; pur rispettando i limiti imposti dalla legge.

✚ Con la prova porosimetrica viene confermato quanto finora esposto. L'analisi al porosimetro, infatti, mostra una percentuale media di porosità compresa tra 30%-35%. I provini contenenti fibre di cellulosa presentano un diametro dei pori più elevato rispetto ai tal quali, generato dalla combustione degli additivi.

### **5. Produzione di laterizi contenenti scarto di vetro:**

- ✚ I valori relativi al calcolo della massa volumica e massa volumica apparente subiscono degli aumenti rispetto al campione di riferimento. Tale aumento è proporzionale al contenuto di polvere di vetro presente nell'impasto.
- ✚ Rispetto al campione di riferimento, le proprietà meccaniche dei materiali contenenti scarto sono risultate migliori. Questo è dovuto probabilmente alla vetrificazione dello scarto nella matrice ceramica.
- ✚ I provini analizzati non sono soggetti né a inclusioni calcaree, né a fenomeni di efflorescenza.
- ✚ I dati relativi alla prova di imbibizione (o assorbimento specifico) aumentano in funzione della percentuale di vetro miscelata. Probabilmente, durante la cottura dei materiali si ha un rilascio di sostanze volatili che generano delle macrocavità superficiali.
- ✚ I campioni risultano poco porosi, di conseguenza i valori di assorbimento d'acqua subiscono una sostanziale diminuzione nei provini con contenuto di materiale di scarto elevato.
- ✚ Dalla stima di rischio di gelività, visto il basso tenore di acqua assorbito, i campioni sono da considerarsi non gelivi. Questi nuovi manufatti possono essere, quindi, impiegati in edilizia per la realizzazione di murature esterne; essi, infatti non subiscono nessun tipo di degrado, se soggetti a cambiamenti climatici.

In conclusione, si può affermare che l'inserimento di rifiuti urbani ed industriali negli impasti per laterizi è redditizio sia per chi direttamente li produce, smaltimento corretto di materiali ingombranti ed inquinanti, sia per gli stessi produttori di laterizi, riduzione degli oneri di approvvigionamento di materie prime, risparmi energetici ed in alcuni casi, migliori prestazioni del prodotto finito.

Le materie prime esaminate risultano essere idonee per la produzione di prodotti ceramici come laterizi

A dimostrazione di quanto studiato, inoltre, si può confermare che la matrice ceramica rappresenta una ottima soluzione per lo smaltimento degli scarti industriali e urbani analizzati in questa ricerca. Essa, infatti, riesce ad inglobare perfettamente i materiali riciclati rendendo possibile la loro inertizzazione e nello stesso tempo conferendo ai prodotti finiti delle buone proprietà fisico-meccaniche.

# BIBLIOGRAFIA

AA. VV., (1997).

ABDELKHALKI A. (1998) - Il vetro di recupero per la riformulazione di impasti ceramici. *Tesi di Laurea, Facoltà di Ingegneria, Università di Modena e Reggio Emilia.*

ABDULLAH C.S., ANANG R., YASSIN M.S. (1995) - Clay bricks with rice husk and palm oil ashes. *Proc. 4th Int. Masonry Conf., London 63-66.*

ACOCELLA A. (2005) - L'architettura del mattone faccia a vista, *Edizione Laterconsult.*

AGRAWAL B.M. (1989) - Utilization of rice husk ash. *Trans. Indian Ceramic Soc., 36 (1-2), 1-5.*

ALBONETTI S. (2003) – Materiali ceramici tradizionali: le materie prime. *Università di Bologna.*

ALFANO G., CICCU R., GHIANI M. (1989) - Problemi di utilizzazione degli scarti delle cave di granito. *Atti ANIM Convegno internazionale su: Situazione e prospettive dell'industria lapidea, Cagliari aprile 1989, pp.339-342.*

ALIPRANDI G.(1982) - L'evoluzione dei materiali refrattari nell'Europa occidentale, *La Ceramica.*

ALIPRANDI G. (2003) - Evoluzione dei forni metallurgici nell'antichità e relativi rivestimenti refrattari, *Atti Congresso Intern. Archeometallurgy, Milano.*

ALLEMAN J.E. (1987) - Beneficial use of sludge in building components. Concept review and technical background. *Interbrick 3,14-18.*

ALLEMAN J.E. (1989) - Beneficial use of sludge in building components. Full-scale production of sludge-amended bricks. *Interbrick 5,28-32.*

ALMEIDA M.I.A., AMARAL M.R., SOUSA CORREIRA A.M., FONSECA ALMEIDA M.(1997) – Ceramic building materials: an alternative in disposal of sewage sludge. *Key Engineering Materials, 132-136, 2280.*

ALMEIDA VALENTE J.J.R.C., LUCAS DE CARVALHO J.A (1991) - Incorporation of petroleum waxes in clay bricks. *Ceramics Today-Tomorrow's Ceramics, P. Vincenzini (ed.), Elsevier Science Publishers B.V., 399-407 and Ind. Ceram. 11 194-197.*

AMENDOLA G. (1998) - “Rifiuto”, “disfarsi” e “smaltimento”: problemi vecchi e nuovi del recente decreto sui rifiuti, in *Rivista giuridica ambiente*, pp. 193.

AMERIO C., CANAVESIO G., (1996) - Materiali per l'edilizia, vol.2°, fa parte di *Strumenti per la tecnologia delle costruzioni e la progettazione edilizia, collana a cura di C. Amerio, Società editrice internazionale, Torino.*

ANDERSON M., JACKSON G. (1983) - The beneficiation of power station coal ash and its use in heavy clay ceramics. *Trans. Br. Ceram. Soc.* 82 50-55. Ceneri polverizzate da combustibile nella fabbricazione di laterizi. *Proc. 5th CERP Conference.*

ANDIL (1993) - Il laterizio e la qualità del costruire, *Ed. LATERCONSULT.*

ANDRADE G., BASTO R., VAZ SERRA A. (1994) - Introduction of carboniferous schists in heavy-clay products - exigencies of additives and products. *Industrie Céramique* 890 107-111.

ANDREOLA F., BARBIERI L., CORRADINI A., LANCELLOTTI I., MANFREDINI T. (2002) - Utilisation of municipal incinerator grate slag for manufacturing porcelanized stoneware tiles manufacturing. *Journal of the European Ceramic Society*, 22, 1457-1462.

ANDREOLA F., BARBIERI L., LANCELLOTTI I., F. (2001)- Problematiche e prospettive di valorizzazione di inceneritore urbano nel settore ceramico. *Ceramica Informazione*, 408, 2001, 649-652.

ANONIMO G. (1979) - Prospective uses of Scotland's by-products. *J. Ind. Ceram.* 88, 21-23.

APAT, (2004) - *Rapporto rifiuti 2004* elaborato nell'ambito delle attività della Convenzione con L'osservatorio Nazionale dei Rifiuti (ONR).

ARMIGLIATO A., VALDRÈ U. (1980) – Microscopia Elettronica a scansione e microanalisi. *Università degli Studi di Bologna.*

BARBIERI L., CORRADI A., LANCELLOTTI I., MANFREDINI T. (2002) - Use of incinerator bottom ash as sintering promoter in industrial ceramics. *Waste Management*, 22, 859-863.

BARBIERI U. (1986) - Analisi delle possibilità di impiego delle ceneri volanti di carbone. Disponibilità e studio delle loro caratteristiche. *Industria Ital. Laterizi*, 4 153-159.

BARBIERI U. (1987) - Analisi delle possibilità d'impiego delle ceneri volanti di carbone. Nella produzione dei laterizi. *Ceramurgia Anno XVII* 17 numero 6, 246-250.



- BASEGIO T., BERUTTI F., BERNARDES A., BERGMANN C. (2002) Environmental and technical aspects of the utilisation of tannery sludge as a raw material for clay products. *Journal of the European Ceramic Society* 22, 2251–2259.
- BAUDONE M. (1991) - Utilizzo di matrici a contenuto organico nella industria dei laterizi: l'esperienza toscana. In: Laterizi, cotto e terrecotte: impatto ambientale, *Monduzzi Editore* 125-131.
- BAUER H. H., CHRISTIAN G. D., O'REILLY J. E. (1985) – Analisi strumentale. *Piccin, Padova*.
- BENAVIDEZ E., GRASSELLI C., QUARANTA N. (2003) - Densification of ashes from a thermal power plant. *Ceramics Int.*, 29, 61-68.
- BERRY P. (1989) - Problemi tecnico-economici a valle della fase di estrazione- *Atti ANIM Convegno internazionale su: Situazione e prospettive dell'industria lapidea, Cagliari, pp.307-320*
- BINICI H., AKSOGAN O., BODUR M. N., AKCA E., KAPU S. (2007) - Thermal isolation and mechanical properties of fiber reinforced mud bricks as wall materials. *Construction and Building Materials* 21, 901–906.
- BLEDZKI A.K., GASSAN J. (1999) - Composites reinforced with cellulose based fibres. *Prog. Polym. Sci.* 24 221–274.
- BOCCHI G. (1991) – I raggi X. *L'Ufficio Forli*.
- BOESMANS B., COLON F.J., VAN DER VELDEN J.H. (1983) - Laterizi prodotti con argilla e rifiuti urbani. *Proc. 5th CERP Conference* 26-29.
- BOLDYREV A.S. (1989) - Utilization of wastes and secondary materials in building products (russo). *Stroit. Mater.* 7, 5-7.
- BOLTYANSKII A.V., BULAKH V.L., FEDOROVA L.S. (1995) - Use of industrial waste for the production of building materials. *Refractories* 36, 252-254.
- BONATTI S., FRANZINI M. (1996) – Cristallografia mineralogica. *Bollati Boringhieri*.
- BONOMI M. (1996) - Le tecnologie di smaltimento del rifiuto solido urbano nell'era della raccolta differenziata, *Instar Libri, Torino, pp. 30-31*.
- BORTHAKUR P.C., SAIKIA P.C., DUTTA S.N. (1980) - Physico chemical characteristics of silica from paddy husk, its reactivity and probably field of application, *Indian Ceramics*, 23 (2), 25-29.
- BOWMAN R. (1979) - An evaluation of sand washing wastes as a plastic additive for the heavy clay industry. *J. Aust. Ceram. Soc.* 15, 9-13.

BROSNAN D.A., HOCHLREITNER W. (1992) - Additions of oxidized sewage sludge in brick manufacture as a means of revenue generation. *Canad. Ceram. Q.* 61, 128-134.

BUCHNER W., SCHLIEBS R., WINTER G., BUCHEL K. H., (1996) – Chimica inorganica industriale. *Piccini*, 459-508.

CABRERA J.G., STENTIFORD E.I. (1983) - Le proprietà dei mattoni fabbricati con cenere di combustibile solido polverizzato e depositi di fognatura. *Proc. 5th CERP Conference* 130-135.

CALIGARIS R.E., ZAMBONI L.A., ORTIZ C.D., CALIGARIS M.G. (1990) - Bricks from coal tailings. *Tile & Brick Int.* 6, 41-42.

CALOIERO D. (1975) -. Idrologia del Bacino del Crati. *CNR*.

CARBONCHI C., DANASINO P., RIVERITI R. (2004) - Impiego del feldspato GS60 addizionato con vetro in una produzione industriale di grès porcellanato. *Ceramica Informazione*, 436-442.

CASATI, P. (1996) - Scienze della Terra, *Città Studi Ed.*

CANONICO A., CAVALIERE S., DINOI A., GALVAGNO S., PORTOFINOS.(2001) - Inervet: Inertizzazione di fanghi industriali ad alto contenuto di metalli pesanti per sinterizzazione. Una valida opportunità di smaltimento, *Varirei*.

CARANI M., GUALTIERI A.F. (2002) - Proposta di impianto per il trattamento di lastre in cemento-amianto (*eternet*) e riciclo come materia prima per pigmenti ceramici. *Ceramurgia*, 32 (3-4), 97-112.

CARINI A., TRONDOLI G., ZANI A. (1987) - Esperienze sull'utilizzo del coke di petrolio miscelato con l'argilla. *Industria Italiana dei Laterizi*, 1, 9-15.

CARINI A., TRONDOLI G., ZANI A. (1987)- Esperienze sull'utilizzo del coke di petrolio miscelato con l'argilla. *Industria Ital. Laterizi* 1, 9-15.

CARNIMEO G., IRALDO F.(2001) - LCA and environmental policy from the product perspective, *CeramicaActa*, 13 (3),pp. 40-47.

CARTOGRAFIA IGM, 1959.

CARVALHO S., MURR L.E., ARROWOOD R. M. (1998) - Glastic Composite Prototypes: A Materials Alternative for Recycling Plastic and Glass Waste. *Advanced Performance Materials* 5, 159–169.

CATARINO L., SOUSA J., MARTINS I.M., VIEIRA M.T., OLIVEIRA M.M. (2003) - Ceramic products obtained from rock wastes. *Journal of Materials Processing Technology*, 143-144, 843-845.

CHENG T.W. (2004) - Effect of additional materials on the properties of glass-ceramic produced from incinerator fly ashes. *Chemosphere* 56, 127–131.

CHURCHILL M. (1994) - Aspects of sewage sludge utilization and its impact on brickmaking. *Global Ceram. Rev.* 1 18-21.

CIANTELLI G. (1972) – Analisi tecniche con metodi chimici e strumentali. *Edizioni Atlas*.

CICCU R., MANCA P.P. (1994) - Recupero degli scarti dell'attività di estrazione e lavorazione dei lapidei. *Atti ANIM, III Congresso Italo Brasiliano di Ingegneria Mineraria, Verona, pp. 355-359*.

COUTO D.M.S., SILVA R.F., CASTRO F., LABRINCHA J.A. (1998) - Inertization of metallurgical sludges in caly-based ceramics. *Proceedings of the 2nd Mediterranean Clay Meeting, 2, C.S. Gomes ed., Aveiro, pp.208*.

CUNICO L., DIRCETTI G., DONDI M., ERCOLANI G., GUARINI G., MAZZANTI F., RAIMONDO M., RUFFINI A., VENTURI I. (2003) - Steel slag recycling in clay brick production, *Tile & Brick International, 19 (4), 230-238*.

DANA K., DAS S.K. (2003) - High strength ceramic floor tile compositions containing Indian metallurgical slags. *Journal of Materials Science Letters, 22, 387-389*.

DAUNORAVITCHIUTE D.S. (1989) - Utilization of wastes from the metal-working industry in bricks (russo). *Stroit. Mater.* 6, 11.

DE GUTIERREZ R.M., DELVASTO S. (1996) - Scorie di carbone: una materia prima alternativa per mattoni in laterizio. *Ceramurgia* 26,11-13.

DEMIRA I., BASPINARA M. S., ORHANB M. (2005) - Utilization of kraft pulp production residues in clay brick production. *Building and Environment* 40,1533–1537.

DOMÌNGUEZ E.A., ULLMANN R. (1996) - Ecological bricks made with clays and steel dust pollutants. *Applied Clay Science* 11, 237-249.

DONDI M., MARSIGLI M., FABBRI F. (1997) - Recycling of industrial and urban waste brick production: a review. *Tile & Brick Int., 13 (3-4), 302*.

EBERHART J. P. (1991) – Structural and chemical analysis of materials. *John Wiley & Sons, 165-202*.

EL-KHESHEN A.A., ZAWRAH M.F. (2003) - Sinterability, microstructure and properties of glass / ceramic composites. *Ceramics International* 29, 251–257.

EMILIANI G., CORBARA F. (2001) – Tecnologia Ceramica: Le materie prime. *Gruppo Editoriale Faenza Editrice S.p.A 2ª Ed. Vol. I*.

EMILIANI G., CORBARA F. (2001) – Tecnologia Ceramica: La lavorazione. *Gruppo Editoriale Faenza Editrice S.p.A 2<sup>a</sup> Ed. Vol. II.*

EMILIANI G., CORBARA F. (2001) – Tecnologia Ceramica: Le tipologie. *Gruppo Editoriale Faenza Editrice S.p.A 2<sup>a</sup> Ed. Vol. III.*

EMILIANI T. (1971) - La tecnologia della ceramica. *Fratelli Lega Editori, Faenza.*

EMILIANI T., EMILIANI E. (1982) – Tecnologia dei processi ceramici. *Ceramurgica Editrice, Faenza.*

ENCICLOPEDIA ITALIANA GROLIER, (1994).

ERBA C. – Porosimeter 2000 Series. *Instruction manual.*

ESPOSITO L., TUCCI A., NALDI D. (2000) – Le superfici del grès porcellanato. *Ceramica Acta 12, Numero 1-2, 40-52.*

FABBRI B., FIORI C., (1983) – Contributo per una classificazione chimica degli impasti da grès rosso e grès bianco. *Ceramurgia, Anno XIII, Numero 5, 205-210.*

FABBRI B., DONDI M. (1995) - La produzione del laterizio in Italia vol.1. Faenza Editrice pp.160.

FABBRI B., DONDI M. (1995) - Caratteristiche e difetti del laterizio vol. 2. Faenza Editrice pp.144.

FABBRI B., FIORI C., RAVAGLIOLI A. (1989) - Fanghi, scarti e scorie industriali. *Materie prime ceramiche, Faenza Editrice 1, 107-118.*

FABBRI B., VENTURI I., CARTA G.P. (1986) - Smaltimento di fanghi di perforazione di pozzi per ricerca di idrocarburi mediante introduzione in impasti da laterizi. *Refrattari e Laterizi 82, 171-175.*

FACINCANI E., BORRONI M. (1987) - Impiego di fanghi provenienti da impianti ceramici di smaltatura per il miglioramento qualitativo di prodotti di laterizio. *Proc. 7th CERP Conference.*

FACINCANI E. (2001) - Tecnologia ceramica. I laterizi, *Gruppo Editoriale Faenza Editrice.*

FERNANDEZ VALCARCE J.A., GONZALES CAÑIBANO J. (1983) - Los esteriles hulleros como materia prima para la fabricación de productos cerámicos. *Bol. Soc. Esp. Ceram. y Vidrio 22 261-265.*

FERREIRA J.M.F., TORRES P.M.C., SILVA M.S., LABRINCHA J.A. (2002) - Recycling of granite sludges in brick-type and floor tile-type ceramic formulations. *Euroceram News, 14, 1- 4.*

FIORI C., RAVAGLIOLI A. (1974) - Studio delle trasformazioni chimico-mineralogiche e delle tessiture porose in cottura di alcuni impasti. *Ceramica Informazione*, 96, 505-509.

FRIGIONE G., MAIRO N. (2006) – Materiali per l'edilizia. Ed. *Ulrico Hoepli Milano*.

FROSINI C. (1991) - Esperienze d'impiego in fornace di materie prime seconde. Laterizi, cotto e terrecotte: impatto ambientale, *Monduzzi Editore* 151-152.

FUMAROLA G. (1995) - Utilizzo dei residui nell'industria dei laterizi: il quadro politico e legislativo. *Industria dei Laterizi* 35, 361-365.

GAMBARO F., GIORDANI M., FERRAILOLO G. (1977) - L'impiego delle ceneri volanti in utilizzazioni industriali. *La Ceramica* 1, 7-10.

GARCÍA-TEN J., MALLON G., BOU E., SILVA G., FERNÁNDEZ J., MOLINA A., ROMERA J. (2003) - Recycling marble working wastes in manufacturing ceramic products – Part II: Ceramic wall tile manufacture. *Cfi/Ber.DKG*, 80 (10), E30-E32.

GHOSH S., DAS M., CHAKRABARTI S., GHATAK S. (2002) - Development of ceramic tiles from common clay and blast furnace slag. *Ceramics International*, 28, 393-400.

GIORDANI M., FRINGUELLI S., ZANI A. (1986) - Utilizzo della farina di legno nella cottura dei laterizi. *Industria Ital. Laterizi* 3, 103-111.

GOMEZ CAÑIBANO J. (1985) - Pruebas de laboratorio con los estériles de menudos del carbón para la fabricación de productos cerámicos. *Bol. Soc. Esp. Ceram. y Vidrio* 25, 243-248.

GONZALES CAÑIBANO J., GARCIA GARCIA M. (1983) - Impiego industriale degli scarti dei fini di carbone nella manifattura dei mattoni. *Proc. 5th CERP Conference* 160-164.

GUALTIERI A.F., TARTAGLIA A. (2000) - Thermal decomposition of asbestos and recycling in traditional ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 20, 1409-1418.

HAUCK D. (1995) - Lo stato dell'arte del riutilizzo: aspetti qualitativi ed energetici. *Industria dei Laterizi* 35, 358-360.

HAUSSONNE M. (1969) “Technologie Cèramique”, *B.Baillièrè et fils 2°ed. Parigi*.

HERNÁNDEZ-CRESPO M.S., RINCÓN J.M.A. (2001) - New porcelanized stoneware materials obtained by recycling of MSW incinerator fly ashes and granite sawing residues. *Ceramics International*, 27, 713-720.

INDUSTRIA LATERIZI GIAVARINI

IBRAHIM D.M., MOSTAFA A.A. (2001) - Two-step firing of phosphate-modified ceramic composition. *Interceram*, 51 (1), 6-12.

ISAKOVSKI S., KOVACEVIC S. (1983) - Application of pyritic ash as an additive to clay for the improvement of its mechanical characteristics. *Ziegelindustrie Int.*, 9, 452-455.

ISENHOUR C.T. (1979) - Sawdust addition to a shale body. *Am. Ceram. Soc. Bull.* 58, 1197-1198.

KAPUSTIN A.P., KALMYKOVA L.F., STANEVICH V.T. (1991) - Ceramic brick production making use of coal mining wastes of Ekibastuzsky basin (russo). *Stroit. Mater.* 10, 13-14.

KARAMANOVA E., KARAMANOV A. (2001) - Addition of glass from industrial waste in earthenware production. *III Congresso VARIREI, Facoltà di Ingegneria, L'Aquila*.

KHALIL A.A., HAMMAD E.M., MOHAMED I. (1996) - Effect of firing temperature on phase composition and physical properties of high dam lake sediments. *Tile & Brick Int.*, 12, (1), 16-19.

KINGERY W. D., BOWEN H. K., UHLMANN D.R. (1976) - Introduction to ceramics. *2nd Ed. Wiley Interscience*.

KOHLER A. (1988) - Use of industrial wastes with combustible components in the brick and tile industry. *Ziegelindustrie Int.* 9 441-445.

KOMISSAROV S.A., KORCHUGANOVA T.M., BELYAKOV A.V. (1994) - Construction materials using tanning industry wastes. *Glass & Ceramics* 51, 32-34.

KONIGER R. (1995) - Riutilizzo del polistirolo espanso da imballaggio per la produzione di laterizi alleggeriti. *Industria dei Laterizi* 35, 366-369.

KORACH M., (1949) - Definizione tecnologica del termine ceramica, *boll. Museo Internazionale della Ceramica, fasc.IV-VI, Faenza*.

KARA M., EMRULLAHOGLU Ö. (1995) - The utilization of red mud as a construction material. *Tile & Brick Int.* 11, 185-187.

KUTASSY L. (1982) - Utilization of special wastes in the brick and tile industry (hungarian). *Epitoanyag* 34, 332-335.

LECLERC N., MEUX E., LECUIRE J.M. (2003) - Hydrometallurgical extraction of zinc from zinc ferrites. *Hydrometallurgy* 70 175-183.

LEMAIRE M. (1983) - L'incorporation de schlamms et de schistes houillers dans les masses pour briques. *Proc. 5th CERP Conference* 151-153; *Industrie Céramique* 806, 381-385.

LIAW C. T., CHANG H. L., HSU W. C., HUANG C. R. (1998) - A novel method to reuse paper sludge and co-generation ashes from paper mill. *Journal of Hazardous Materials*, 58, 93-102.

LITZOW K., (1982)- History of Ceramic Technology". *Ceramic Monographs Verlag Schmid GmbH Freiburg*.

LORICI L., BRUSA A. (1991) - Porous and vitrified single- fired tiles. *Ceram. Eng. Sci. Proc.*, 12 (1-2), 183-221.

LUCARELLI L., VENTURI V. (1994) – Il porosimetro a mercurio: utilizzo nell'indagine strutturale del gres porcellanato. *Ceramurgia*, vol.5, 215-220.

LUQUE F.J. (1995) - Utilizzo dei noccioli d'oliva come combustibile in una fabbrica di laterizi. *Industria dei Laterizi* 35, 370-372.

MANFREDINI T. (2005) – Argille per applicazioni ceramiche e nella produzione degli smalti. *Ceramica informazione N. 440*, 154-161.

MANN S., SCHNEIDER H., EICHLER W. (1977) - Potentialities for the utilization of metal hydroxide slurry for masonry brick production. *Ziegelindustrie Int.* 3, 110-126.

MARCHETTI N., PANIGADA A. (1995) - Riutilizzo dei fanghi di cartiera nell'industria dei laterizi. *Industria dei Laterizi* 34 279-283.

MARIANI E. (1974) – Chimica applicata e industriale. *Utet*, vol. 2, 216-354.

MARTELON E., JARRIGE J., RIBEIRO M.J., FERREIRA J.M., LABRINCHA J.A. (2000) - New clay-based ceramic formulations containing different solid wastes. *Industrial Ceramics*, 20 (2), 71- 75.

MERIANI S., NEGRO A. (1996) – Materiali ceramici avanzati da Manuale dei materiali per l'ingegneria. *McGraw-Hill*.

MESAROS R. (1989) - Use of sludge from the municipal sewage system for brickmaking. New life for an obsolescent brickworks. *Ziegelindustrie Int.* 5, 251-254.

MIKHAILOV V.I. (1990) - Ceramic brick production from coal wastes and new technological processes (russo). *Stroit. Mater.* 9, 5-6.

MIKHAILOVICH L.N., GOLTSOV Y.I., CHERPILLO V.P., KONSTANTINOV E.G. (1976) - Improving brick quality by adding waste products from the crushing of argillaceous schists (russo). *Stroit. Mater.* 8, 8-9.

MOHANTYA A. K., MISRA M., HINRICHSEN G. (2000) - Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview. *Macromol. Mater. Eng.* 276/277, 1–24.

- MONTEIRO S.N., VIEIRA C.M.F. (2005) - Effect of oily waste addition to clay ceramic. *Ceramics International*, 31, 353-358.
- MONTEL J. (1997) - Key. Eng. Mat., 121-126.
- MORDERO A., CAVERO H. (2003) - *Qualicer 2003*, 118-221.
- MORENO A., GARCÍA-TEN J., SANZ V., GOZALBO A. (2000) - Feasibility of using frits as raw materials in porcelain tile compositions. *Qualicer*, 237-251.
- MORSELLI L., BATOLI M., GESSI G., (2004) - Analisi di rischio per la salute umana associato all'emissione di un impianto di incenerimento. *Convegno "La prevenzione primaria dei tumori di origine industriale e ambientale in una società moderna"*.
- MORSELLI L., BATOLI M., (2005) - Tools for evaluation of impact associated to MSW incinerator: LCA and Integrated Environmental Monitoring System, *Waste Management*, 25, 191-196.
- MORSELLI L., MARASI R., (2003) - La chimica, il ciclo di vita, la valorizzazione, lo smaltimento, il controllo ambientale, *I Rifiuti*.
- MORTEL H., DISTLER P. (1991) - Use of fly ash in the production and process optimization of backing bricks. *Ziegelindustrie Int.* 8, 424-428.
- MÖRTEL H., FUCHS F. (1997) - Recycling of windshield glasses in fired brick industry. *Key Engineering Materials*, 132-136, 2268-2271.
- MOTTANA A. (1993) - Fondamenti di mineralogia geologica. *Zanichelli*.
- MOTTANA A., CRESPI, R., LIBORIO G. (1987) - Minerali e rocce, *Mondadori Ed.*
- MUKUNDAN P., WARRIER K.G.K., REDDY S.R. (1984) - Light-weight bricks with coconut pith. *Interceram 2*, 35-38.
- NASTRO A., GATTUSO C. (1994) - Nuove prospettive per il mercato dei laterizi offerte dall'uso dei fly ash. *Industria dei Laterizi* 27, 185-189.
- NICODEMI W. (2004) - La civiltà del ferro *Olivares, Milano*.
- NORTON F.H. (1974) - Elements of ceramics, *Addison- Wesler ubblishing company, Massachusetts-USA*.
- ONIDA F., MALAMEN R., (1989) - Industria italiana e alte tecnologie. Biotecnologie e nuovi materiali ceramici, polimerici e compositi. *Franco Angeli*, 132-140.
- ORGILES BARCELO A.C., MARTINEZ SANCHEZ M.A., RODRIGUEZ REINOSO F., MARTIN MARTINEZ J.M., SANCHEZ VILCHES E., JARQUE FONFRIA J.C. (1990) - Adicion de residuos de piel curtida al cromo a pastas ceramicas. *Tecnica Ceramica* 187, 600-610.



- ORTELLI G., VINCENZINI P. (1983) Influenza di aggiunte di fanghi ceramici sull'attitudine alle efflorescenze di una argilla da laterizi. *Ceramurgia* 13, 241-246.
- ORRU' R., SANNIA M., CINCOTTI A., CAO G.. (1999) - Treatment and recycling of zinc hydrometallurgical wastes by self-propagating reactions. *Chemical Engineering Science* 54, 3053-3061.
- OSMAN AHMED B. (1994) - Utilizzazione delle ceneri degli inceneritori dei R.S.U. per scopi ceramici. *Industria dei Laterizi* 26, 103-108.
- PAVLOVA L. (1996) - Use of industrial waste in brick manufacture. *Tile & Brick Int.* 12, 224-225.
- PALMONARI C., TENAGLIA A. (1985) -Manufacture of heavy-clay products with the addition of residual sludges from other ceramic industries. *Miner. Petrogr. Acta* 29/A, 547-562.
- PEI-YUAN CHEN (1977) – Table of key Lines in X-ray powered diffraction patterns of minerals in clays and associated rocks. *Department of natural resources geological survey occasional paper* 21.
- PELINO M. (2000) - Recycling of zinc-hydrometallurgy wastes in glass and glass ceramic materials. *Waste Management* 20, 561-568.
- PELINO M., CANALINI C., BOATINI P.P., ABBRUZZESE C., MA RINCON J., HERNANDEZ J., GARCIA E., (1994) - *Resources Conserv. Recycling* 10, 171.
- PEREZ J.A., TERRADAS R., MANENT M.R., SEIJAS M., MARTINEZ S. (1996) - Inertization of industrial wastes in ceramic materials. *Ind. Ceram.* 16, 7-10.
- PEREIRA D.A., SILVA R.F., BÒIA C.M., RIBEIRO M.J, LABRINCHA J.A. (1999) - Inertization of Alrich sludges from anodising processes in clay-based ceramics. *Extended Abstract of the VI Materials Spanish Society Reunion, pp.145, ed. M. Elizegi, I. Garuz, F. Penalba, Fundaciòn INASMET, San Sebastian.*
- POLACH P. (1990) - Effect of combustible additions on the properties of brick bodies. *Proc. 8th. Silichem Conference* 157-158.
- PONTIKES Y., CHRISTOGEROU A., ANGELOPOULOS G., RAMBALDI E., ESPOSITO L., TUCCI A. (1997) - Use of soda-lime scrap glass in the traditional ceramic industry. *Glass Technology, in press.*
- PRAKASH S., AHMAD F.U.(1987) - Utilization of mineral and mining wastes in building materials. *Ind. Ceram.* 7, 195-199.
- PRASAD C.S., MAITI K.N., VENUGOPAL R. (2001) - Effect of rice husk ash in whiteware composition. *Ceramics International*, 27, 2001, 629-635.

PRASAD C.S., MAITI K.N., VENUGOPAL R. (2002) - Effect of silica fume addition on the properties of whiteware compositions. *Ceramics International*, 28, 9-15.

PROBST M. (1987) - Gravel mud - an additive raw material for structural ceramic products. *Ziegelindustrie Int.*, 4, 155-159.

RAHMAN M. (1988) - Effect of rice husk ash on the properties of bricks made from fired lateritic soil-clay mix. *Materials and Structures* 21.

RAMBALDI E., TUCCI A., ESPOSITO L. (2004) - Glass recycling in porcelain stoneware tiles: firing behaviour. *cfi/Ber. DKG*, 81, (1-2).

RAMBALDI E., TUCCI A., RASTELLI E., ESPOSITO L. (2003) - The use of waste glass as a raw material in porcelain stoneware tiles. *Varirei*.

RAVAGLIOLI A., KRAIEWSKI A., NATALONI A., MARTINETTI R., ZANETTI D., FRANCAVIGLIA N., CASTELLANI G., (2000) – I biomateriali ceramici: classificazione e risposte tissutali. *Ceramica Acta*, 3, 14-16.

REH H., (1988) - Passi fondamentali nello sviluppo della tecnologia dei processi ceramici, *Ceramica Informazione- 4 n°265*.

RIBEIRO M.J., FERREIRA J.M., LABRINCHA L.A. (2002) - Incorporation of clay-based ceramic formulations containing different solid wastes. *Euroceram News*, 14, 4-7.

RISTIC M.M. (1985) - Verso un totale reimpiego del proprio scarto nell'industria ceramica ed utilizzo di altri rifiuti, compreso quello solido urbano. *Ceram. Inf.* 226, 28-30.

ROCCHI F. (1991) - Utilizzo dei fanghi conciarli nella produzione di laterizi. In: Laterizi, cotto e terrecotte: impatto ambientale, *Monduzzi Editore* 133-143.

ROZZI I., ZANI A. (1987) - Esperienze nel campo dell'utilizzazione degli scarti dell'industria tessile come combustibile alternativo nei forni da laterizio. *Industria Ital. Laterizi* 3, 134-138.

SABRAH B. A., EBIED E. A.(1983) - Effetti dei materiali di scarto delle cave basaltiche sulle proprietà dei mattoni di argilla-sabbia. *Proc. 5th CERP Conference*, 32-36.

SACMI (2003) – Tecnologia ceramica applicata. *La Mandragora vol. 1-2*.

SAJBULATOW S.Š., KUATHAEW K.K., RONTSCHINSKIJ E.M. (1980) - The production of bricks from generating station ash. *Ziegelindustrie Int.* 9 579-581.

SANNA U., (2002) - Valutazione dell'impiego delle scorie derivanti dalla metallurgia del piombo e dello zinco nell'industria del cemento, *Quaderni d'Archimede* 33-37.

- SANSOSTI R., NASTRO A. (2007) - Evaluation of environmental impact utilizing raw materials and industrial waste for production of bricks. *International Multi Conference on System, Signals & Devices*, pp. 403
- SCHULLER K.H., HENNICKE H.W., (1985) – *Ber. dt. Keram. Ges. Numero 62*, 259-263.
- SEVELIUS D. (1997) - Bricks by recycling – Product design based on waste. *Key Engineering Material*, 132-136, 2272-2275.
- SIEFKE C. (1997) - Production of ceramic building materials in Russia from coal tailings. *Tile & Brick Int.* 13, 116-131.
- SLADEK M., (1986) – Moderne tecniche di cottura della stoviglieria domestica e per alberghi e delle ceramiche decorate per oggettistica. Identificazione e valutazione dei componenti silicatici ceramici mediante analisi termica. *Ceramurgia, Anno XVI, Numero 5*, 156-164.
- SLIM J.A., WAKEFIELD R.W. (1991) - The utilization of sewage sludge in the manufacture of clay bricks. *Water S.A.* 17, 3.
- SOUZA G.P., RAMBALDI E., TUCCI A., ESPOSITO L., LEE W.E. (2004) - Microstructural variation in porcelain stoneware as a function of flux system. *Journal of the American Ceramic Society*, 87 (10), 1959-1966.
- SRBEK F. (1982) - Possibilities of power station ash use: fly ash as correcting admixture or fundamental raw material at brickworks (ceco). *Stavivo* 60,314-320.
- STANAITIS V., JARULATITIS V., LASYS A. (1995) - The use of waste from the metalworking industry in ceramic products. *Tile & Brick Int.* 11, 450-452.
- STEFANOV S. (1986) - The use of industrial wastes in the brick and tile industry. *Ziegelindustrie Int.* 3, 137-141.
- STEFANOV S. (1989) - L'impiego degli scarti industriali nella produzione del laterizio. *Ceramurgia* 19, 236-239.
- STEFANOV S. (1991) - Use of industrial wastes in the brick manufacture. *Ind. Ceram.* 11, 12-15.
- STIVANAKIS M.V., PONTIKES Y.T., ANGELOPOULOS G. N., BOUFOUNOS D., FAFOUTIS D. (2002) - On the utilization of red mud in the heavy clay industry in Greece. *10th Int. Ceramics Congress & 3rd Forum on New Materials, Florence, Italy, July 14-18.*
- TAMAS F.D., AMRICH L. (1990) - Disposal of asbestos waste in the heavy clay industries. *Tile & Brick Int.*, 6 (4), 51-53.
- TAY J. H. (1987) - Bricks manufactured from sludge. *J. Envir. Eng.* 113, 278.

- TENAGLIA A., ZANI A., PANIGADA A. (1992)- Reimpiego dei fanghi dell'industria cartaria nella produzione di laterizi. *Industria dei Laterizi* 17 326-332.
- TORTORICI G., BIANCA M., MONACO C., TORTORICI L., TANSI C., DE GUIDI G., CATALANO S. (2002) – Quaternary Normal Faulting and marine terracing in the area of Capo Vaticano and S. Eufemia plain (Southern Calabria). *Studi geologici Camerti nuova serie I*; 155-171.
- USAI G. (1985) - Utilization of Sulcis coal ash in the production of masonry bricks. *Ziegelindustrie Int.* 9, 512-515.
- USAI G. (1989) - Materie prime alternative nella produzione dei laterizi. *Industria Ital. Laterizi* 2, 88-90.
- USLU T., AROL A.I. (2004) - Use of boron waste as an additive in red bricks, *Waste Management*, 24, 217-220.
- UTET, (1986).
- VENTURI V., (1992) - Tecnologia Ceramica 2° edizione, Gruppo Editoriale Faenza Editrice.
- VENTURI V., CARRIERI S. (1994) - Comportamento tecnologico di argille appenniniche macinate per via secca. *Ceramurgia, Anno XXIV Numero 1*, 1-8.
- VENTURI V., FIORI C. (1991) - Caratterizzazione chimico-mineralogica e tecnologica di una miscela per la produzione di vasellame pirofilo in pasta rossa. *Ceramurgia, Anno XXI Numero 5*, 223-225.
- VIEIRA M.T., CATARINO L., OLIVEIRA M., SOUSA J., TORRALBA J.M., CAMBRONERO L.E.G., GONZALEZ-MESONES F.L., VICTORIA A. (1999) - Optimization of the sintering process of raw material wastes. *Journal of Materials Processing Technology* 92-93 97-101.
- VIMINI C. (1988) - Alcune note sulla recente evoluzione dell'industria dei laterizi e sulla additivazione della materia prima con sostanze carboniose. *Industria Ital. Laterizi* 1, 3-10.
- VINCENZINI P., ORTELLI G. (1983) - Proposte per il riutilizzo dei fanghi dei piastrellifici ceramici sulla base di sperimentazioni di laboratorio. *Ceramurgia* 13, 47-56.
- VOCKE P., HENNICKE H.W. & MASCH L. (1992) Practical experiments on the development of yellow coloration in stonewares. Part III: The influence of iron and titanium: Hints for the practitioner. *Tile & Brick International*, 8/5, 354-356.
- WACHTMAN J. B., (1999) - Mechanical properties of ceramics, *John Wiley & Sons, inc.*

WARPECHOWSKI DA SILVA N.I., ZWONOK O., CHIES F. (1998) - Use of solid waste in clay mixtures to prepare building ceramic materials. *Tile & Brick Int.*, 14 (4), 310.

YILMAZ S., SEN S., GÜNAY V., ÖZKAN T.O. (1997) - Utilisation of power plant fly ash as building material. *Tile & Brick Int.* 13, 297-300.

ZANI A. (1986) - Utilizzo diretto e/o indiretto di combustibili non convenzionali nel processo di cottura dei laterizi. *Seminario generale delle Unità Operative. Pisa, Palazzo dei Congressi.*

ZANI A., TENAGLIA A., PANIGADA A. (1991) - Re-use of papermaking sludge in brick production. *Ziegelindustrie Int.* 12 682-690, 13-16.

#### **SITI WEB CONSULTATI**

[www.governo.it/GovernoInforma/Dossier/rifiuti\\_apat2007](http://www.governo.it/GovernoInforma/Dossier/rifiuti_apat2007)

[www.ecoage.it](http://www.ecoage.it)

[www.greenpeace.it](http://www.greenpeace.it)

[www.legambiente.com](http://www.legambiente.com)

[www.apat.gov.it](http://www.apat.gov.it)

[www.ambientesicurezza.ilsole24ore.com](http://www.ambientesicurezza.ilsole24ore.com)

[www.borsarifiuti.com](http://www.borsarifiuti.com)

[www.federambiente.it](http://www.federambiente.it)

[www.reteambiente.it](http://www.reteambiente.it)

[www.ambiente.it](http://www.ambiente.it)

[www.osservatorionazionaleirifiuti.it](http://www.osservatorionazionaleirifiuti.it)

[www.rifiutinforma.it](http://www.rifiutinforma.it)

[www.reciclat.it](http://www.reciclat.it)

APPENDICE

**Tabella A.1 – Perdite in peso per i campioni di argilla**

<b>Campione</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>T = 300°C</b>				
<i>Peso crogiolo (g)</i>	49,73	35,10	36,54	35,28
<i>Peso iniziale campione (g)</i>	30,00	30,00	30,00	30,00
<i>Peso finale crogiolo+campione (g)</i>	79,46	64,71	66,09	64,94
<i>Peso finale campione (g)</i>	29,73	29,61	29,55	29,66
<i>Perdita di peso (%)</i>	0,90	1,30	1,50	1,13
<b>T = 700°C</b>				
<i>Peso crogiolo (g)</i>	14,98	16,56	16,30	13,17
<i>Peso iniziale campione (g)</i>	5,76	5,75	5,76	5,76
<i>Peso finale crogiolo+campione (g)</i>	20,11	21,67	21,33	18,24
<i>Peso finale campione (g)</i>	5,12	5,11	5,03	5,07
<i>Perdita di peso (%)</i>	10,96	11,25	12,67	11,84
<b>T = 900°C</b>				
<i>Peso crogiolo (g)</i>	17,21	13,95	12,24	16,70
<i>Peso iniziale campione (g)</i>	5,76	5,76	5,76	5,76
<i>Peso finale crogiolo+campione (g)</i>	22,25	19,02	17,23	21,73
<i>Peso finale campione (g)</i>	5,04	5,08	5,00	5,03
<i>Perdita di peso (%)</i>	12,45	11,81	13,21	12,63
<b>T = 1000°C</b>				
<i>Peso crogiolo (g)</i>	12,37	13,30	13,95	14,99
<i>Peso iniziale campione (g)</i>	5,76	5,76	5,76	5,76
<i>Peso finale crogiolo+campione (g)</i>	17,34	18,29	18,92	19,97
<i>Peso finale campione (g)</i>	4,97	4,98	4,97	4,98
<i>Perdita di peso (%)</i>	13,69	13,44	13,59	13,44
<b>T = 1100°C</b>				
<i>Peso crogiolo (g)</i>	49,94	49,97	50,18	49,85
<i>Peso iniziale campione (g)</i>	20,00	20,00	20,00	20,00
<i>Peso finale crogiolo+campione (g)</i>	68,61	68,69	68,77	68,52
<i>Peso finale campione (g)</i>	18,67	18,72	18,59	18,66
<i>Perdita di peso (%)</i>	6,66	6,42	7,06	6,70
<b>T = 1200°C</b>				
<i>Peso crogiolo (g)</i>	51,24	51,24	50,23	49,81
<i>Peso iniziale campione (g)</i>	20,00	20,00	20,01	20,01
<i>Peso finale crogiolo+campione (g)</i>	69,82	69,74	68,77	68,39
<i>Peso finale campione (g)</i>	18,58	18,50	18,54	18,58
<i>Perdita di peso (%)</i>	7,13	7,51	7,32	7,14

**Tabella A.2 - Analisi per stacciatura del campione A**

Peso iniziale del campione, $P_s = 138,83$ g				
Staccio ASTM n.	Apertura (mm)	Trattenuto		Passante cumulado (%)
		(g)	(%)	
20	0,85	0,00	0,00	100,00
40	0,42	0,63	0,45	99,55
100	0,15	18,50	13,33	86,22
Passante allo staccio 100		119,70		
200	0,075	1,20	2,40	84,15

**Tabella A.3 - Analisi per stacciatura del campione B**

Peso iniziale del campione, $P_s = 198,83$ g				
Staccio ASTM n.	Apertura (mm)	Trattenuto		Passante cumulado (%)
		(g)	(%)	
4	4,75	0,00	0,00	100,00
8	2,36	7,62	3,83	96,17
16	1,18	12,75	6,41	89,76
20	0,85	3,97	2,00	87,76
40	0,42	28,69	14,43	73,33
Passante allo staccio 40		145,80		
200	0,075	5,28	10,56	61,54

**Tabella A.4 - Analisi per stacciatura del campione C**

Peso iniziale del campione, $P_s = 118,76$ g				
Staccio ASTM n.	Apertura (mm)	Trattenuto		Passante cumulado (%)
		(g)	(%)	
16	1,18	0,00	0,00	100,00
20	0,85	0,29	0,24	99,76
40	0,42	0,94	0,79	98,96
Passante allo staccio 40		117,53		
200	0,075	1,66	3,32	95,68

**Tabella A.5 - Analisi per stacciatura del campione D**

Peso iniziale del campione, $P_s = 130,20$ g				
Staccio ASTM n.	Apertura (mm)	Trattenuto		Passante cumulado (%)
		(g)	(%)	
100	0,15	0,00	0,00	100,00
Passante allo staccio 100		130,20		
200	0,075	0,13	0,26	99,74



Tabella A.6 – Valori delle misure delle tre dimensioni

Campione	Misurazioni (cm)											
	A'₁	A'₂	A'₃	A'₄	B'₁	B'₂	B'₃	B'₄	C'₁	C'₂	C'₃	C'₄
AA7	13,855	13,800	13,670	13,640	2,160	2,245	2,215	2,200	1,090	1,115	1,100	1,110
AA8	13,415	13,470	13,620	13,665	2,170	2,190	2,210	2,230	1,080	1,035	1,085	1,135
AA11	13,395	13,485	13,330	13,175	2,195	2,180	2,270	2,185	1,130	1,115	1,135	1,095
AA28	13,580	13,615	13,595	13,585	2,225	2,165	2,255	2,180	1,120	1,095	1,130	1,120
AA29	12,230	12,330	12,195	12,180	2,245	2,190	2,270	2,245	1,120	1,150	1,090	1,035
AA30	12,110	12,135	12,500	12,295	2,220	2,140	2,245	2,175	1,130	1,090	1,140	1,135
AA31	12,385	12,210	12,260	12,490	2,135	2,130	2,250	2,160	1,060	1,085	1,090	1,080
AA32	12,460	12,365	12,560	12,345	2,270	2,140	2,135	2,125	1,090	1,080	1,060	1,075
AA34	12,525	12,330	12,435	12,585	2,135	2,125	2,135	2,155	1,050	1,110	1,080	1,055
AA35	12,315	12,310	12,390	12,300	2,200	2,140	2,160	2,135	1,085	1,065	1,085	1,095
BB3	13,285	13,280	13,460	13,370	2,155	2,185	2,210	2,190	1,070	1,075	1,045	1,025
BB5	13,455	13,390	13,270	13,290	2,110	2,145	2,160	2,170	1,090	1,085	1,090	1,065
BB6	13,270	13,305	13,255	13,235	2,140	2,135	2,150	2,175	1,090	1,100	1,075	1,080
BB17	13,425	13,380	13,160	13,120	2,175	2,260	2,155	2,220	1,135	1,060	1,070	1,080
BB19	13,225	13,260	13,320	13,260	2,160	2,160	2,155	2,125	1,075	1,075	1,060	0,985
BB22	13,520	13,510	13,350	13,300	2,135	2,170	2,085	2,160	1,095	1,070	1,045	1,060
BB23	13,300	13,355	13,540	13,545	2,255	2,165	2,135	2,130	1,065	0,990	1,085	1,075
BB24	13,335	13,190	13,470	13,480	2,190	2,095	2,200	2,165	1,075	1,060	1,040	1,115
BB27	13,295	13,380	13,615	13,525	2,265	2,235	2,175	2,160	1,000	1,035	1,090	1,100
BB28	13,515	13,515	13,635	13,645	2,300	2,215	2,165	2,160	1,030	1,060	1,065	1,055
CC11	13,335	13,170	13,365	13,270	2,155	2,140	2,210	2,135	1,070	1,055	1,075	1,065
CC12	13,270	13,160	13,330	13,365	2,130	2,120	2,245	2,140	1,095	1,075	1,080	1,055
CC14	13,275	13,155	13,345	13,440	2,155	2,135	2,195	2,140	1,105	1,090	1,120	1,100
CC15	13,120	13,150	13,555	13,455	2,260	2,150	2,240	2,185	1,035	1,050	1,095	1,115
CC19	13,200	13,155	13,210	13,290	2,145	2,115	2,160	2,135	1,100	1,085	1,110	1,095
CC23	13,130	13,010	13,150	13,195	2,135	2,140	2,195	2,175	0,999	1,170	1,100	1,120
CC25	13,220	13,310	13,400	13,535	2,155	2,160	2,185	2,170	1,100	1,090	1,165	1,110
CC26	13,725	13,125	13,235	13,600	2,155	2,135	2,175	2,135	1,120	1,065	1,110	1,130
CC28	13,095	13,275	13,460	13,225	2,230	2,170	2,135	2,115	1,120	1,080	1,090	1,110
CC29	13,220	13,115	13,420	13,665	2,150	2,200	2,135	2,280	1,100	1,055	1,100	1,090
DD3	13,100	12,940	13,275	13,440	2,135	2,135	2,265	2,185	1,110	1,120	1,125	1,100
DD7	12,990	12,890	12,945	13,040	2,115	2,135	2,245	2,195	1,100	1,115	1,140	1,090
DD9	13,045	12,885	13,035	13,225	2,155	2,165	2,120	2,130	1,070	1,095	1,080	1,085
DD10	13,130	13,015	13,230	13,270	2,200	2,215	2,140	2,095	1,065	1,080	1,100	1,100
DD11	13,010	13,020	13,165	13,275	2,135	2,140	2,200	2,225	1,100	1,140	1,080	1,250
DD13	13,110	13,075	13,340	13,380	2,250	2,140	2,200	2,135	1,080	1,100	1,115	1,090
DD14	13,080	13,115	13,245	13,120	2,115	2,135	2,200	2,150	1,080	1,085	1,110	1,120
DD15	12,900	12,930	13,155	13,150	2,135	2,120	2,185	2,135	1,050	1,050	1,075	1,080
DD17	13,130	13,050	13,170	13,195	2,140	2,100	2,255	2,165	1,080	1,090	1,095	1,120
DD18	13,040	12,980	13,125	13,115	2,160	2,125	2,200	2,185	1,100	1,135	1,100	1,090

N.B. Campioni AA = 0,0 % Ferrite; BB = 2,0 % Ferrite, CC = 4,0 % Ferrite, DD = 8,0 % Ferrite

*Tabella A.7 - Misurazioni effettuate per il calcolo del volume lordo*

Campioni	Misurazioni (cm)			
	A <sub>m</sub>	B <sub>m</sub>	C <sub>m</sub>	V <sub>l</sub> (dm <sup>3</sup> )
AA7	13,741	2,205	1,104	0,03344
AA8	13,543	2,200	1,084	0,03229
AA11	13,346	2,208	1,119	0,03296
AA28	13,594	2,206	1,116	0,03348
AA29	12,234	2,238	1,099	0,03008
AA30	12,260	2,195	1,124	0,03024
AA31	12,336	2,169	1,079	0,02886
AA32	12,433	2,168	1,076	0,02900
AA34	12,469	2,138	1,074	0,02862
AA35	12,329	2,159	1,083	0,02881
BB3	13,349	2,185	1,054	0,03073
BB5	13,351	2,146	1,083	0,03102
BB6	13,266	2,150	1,086	0,03098
BB17	13,271	2,203	1,086	0,03175
BB19	13,266	2,150	1,049	0,02991
BB22	13,420	2,138	1,068	0,03062
BB23	13,435	2,171	1,054	0,03074
BB24	13,369	2,163	1,073	0,03101
BB27	13,454	2,209	1,056	0,03139
BB28	13,578	2,210	1,053	0,03158
CC11	13,285	2,160	1,066	0,03060
CC12	13,281	2,159	1,076	0,03086
CC14	13,304	2,156	1,104	0,03166
CC15	13,320	2,209	1,074	0,03159
CC19	13,214	2,139	1,098	0,03102
CC23	13,121	2,161	1,097	0,03111
CC25	13,366	2,168	1,116	0,03234
CC26	13,421	2,150	1,106	0,03192
CC28	13,264	2,163	1,100	0,03155
CC29	13,355	2,191	1,086	0,03179
DD3	13,189	2,180	1,114	0,03202
DD7	12,966	2,173	1,111	0,03130
DD9	13,048	2,143	1,083	0,03026
DD10	13,161	2,163	1,086	0,03092
DD11	13,118	2,175	1,143	0,03260
DD13	13,226	2,181	1,096	0,03163
DD14	13,140	2,150	1,099	0,03104
DD15	13,034	2,144	1,064	0,02972
DD17	13,136	2,165	1,096	0,03118
DD18	13,065	2,168	1,106	0,03133

*N.B.* Campioni AA = 0,0 % Ferrite; BB = 2,0 % Ferrite; CC = 4,0 % Ferrite; DD = 8,0 % Ferrite

Tabella A.8 - Misure effettuate per il calcolo del volume netto

Campioni	Misurazioni (dm <sup>3</sup> )			
	Vn1	Vn2	Vn3	Vn medio
AA7	0,03550	0,03582	0,03533	0,03555
AA8	0,03582	0,03437	0,03427	0,03482
AA11	0,03332	0,03394	0,03438	0,03388
AA28	0,03576	0,03523	0,03236	0,03445
AA29	0,03095	0,02904	0,03258	0,03086
AA30	0,03166	0,03047	0,03233	0,03149
AA31	0,03025	0,03169	0,03184	0,03126
AA32	0,03108	0,03123	0,03209	0,03147
AA34	0,03053	0,03137	0,03104	0,03098
AA35	0,03119	0,03151	0,03050	0,03107
BB3	0,03108	0,03151	0,03566	0,03275
BB5	0,03289	0,03377	0,03374	0,03347
BB6	0,03253	0,03375	0,03365	0,03331
BB17	0,03607	0,03405	0,03342	0,03451
BB19	0,03137	0,03285	0,03295	0,03239
BB22	0,03319	0,03371	0,03220	0,03303
BB23	0,03390	0,03296	0,03372	0,03353
BB24	0,03353	0,03324	0,03386	0,03354
BB27	0,03391	0,03426	0,03372	0,03396
BB28	0,03482	0,03397	0,03404	0,03428
CC11	0,03440	0,03310	0,03264	0,03338
CC12	0,03402	0,03310	0,03328	0,03347
CC14	0,03515	0,03380	0,03404	0,03433
CC15	0,03363	0,03366	0,03530	0,03420
CC19	0,03253	0,03345	0,03353	0,03317
CC23	0,03173	0,03306	0,03192	0,03224
CC25	0,03207	0,03309	0,03264	0,03260
CC26	0,03315	0,03186	0,03127	0,03209
CC28	0,03158	0,03180	0,03197	0,03178
CC29	0,03075	0,03075	0,03086	0,03079
DD3	0,03083	0,03051	0,02906	0,03013
DD7	0,02870	0,02853	0,03061	0,02928
DD9	0,03142	0,03193	0,03135	0,03157
DD10	0,03121	0,03197	0,03138	0,03152
DD11	0,03475	0,03356	0,03361	0,03397
DD13	0,03343	0,03329	0,03255	0,03309
DD14	0,03218	0,03369	0,03413	0,03333
DD15	0,03225	0,03169	0,03149	0,03181
DD17	0,03266	0,03209	0,03203	0,03226
DD18	0,03236	0,03242	0,03242	0,03240

N.B. Campioni AA = 0,0 % Ferrite; BB = 2,0 % Ferrite; CC = 4,0 % Ferrite; DD = 8,0 % Ferrite

**Tabella A.9 – Calcolo dei parametri caratteristici per le 4 miscele**

Campione	$\sigma=M/W$	Fv	s	cv	fbk
AA9	97,42				
AA17	129,29	125,23	19,95	0,1593	75,55
AA22	129,29				
AA37	144,92				
BB12	141,31				
BB13	144,92	148,53	21,13	0,1423	95,92
BB18	129,29				
BB31	178,60				
CC10	143,12				
CC16	147,93	144,17	13,25	0,0919	111,18
CC18	126,88				
CC20	158,75				
DD20	101,63				
DD24	124,48	114,55	17,44	0,1523	71,12
DD30	99,22				
DD22	130,49				

N.B. Campioni AA = 0,0 % Ferrite; BB = 2,0 % Ferrite; CC = 4,0 % Ferrite; DD = 8,0 % Ferrite

**Tabella A.10 – Calcolo dei valori di imbibizione per le 4 miscele**

Campione	Base (cm)	Altezza (cm)	Area di base Fo (dm <sup>2</sup> )	G0 <sup>1</sup> (g)	G1 <sup>2</sup> (g)	G2 <sup>3</sup> (g)	Imbibizione (g/(dm <sup>2</sup> *min))
A14	13,350	2,135	0,2850	57,06	57,00	58,69	5,7188
A15	13,465	2,220	0,2989	56,77	56,72	59,07	7,6943
A16	13,365	2,195	0,2934	55,54	55,48	57,60	7,0220
BB14	13,355	2,140	0,2858	54,80	54,80	55,65	2,9741
BB21	13,180	2,210	0,2913	53,80	53,80	55,77	6,7633
BB25	13,285	2,155	0,2863	54,03	54,02	54,98	3,3532
BB30	13,280	2,160	0,2868	54,08	54,08	56,62	8,8549
C29	13,140	2,195	0,2884	55,47	55,47	57,07	5,5474
C35	13,350	2,165	0,2890	56,11	56,11	60,06	13,6665
C37	13,345	2,225	0,2969	55,61	55,62	57,97	7,9144
C38	13,440	2,165	0,2910	56,36	56,35	59,02	9,1760
D37	13,330	2,215	0,2953	54,13	54,13	57,91	12,8023
D38	13,280	2,190	0,2908	53,91	53,89	56,18	7,8740
D39	13,415	2,200	0,2951	54,44	54,46	58,67	14,2649
D40	13,295	2,200	0,2925	54,13	54,14	58,39	14,5304

N.B. Campioni AA = 0,0 % Ferrite; BB = 2,0 % Ferrite; CC = 4,0 % Ferrite; DD = 8,0 % Ferrite

<sup>1</sup> Peso a temperatura ambiente  
<sup>2</sup> Peso dopo aver infornato i campioni a 105°C per 15 min  
<sup>3</sup> Peso dopo imbibizione

**Tabella A.11 – Calcolo dei valori di assorbimento medio per le 4 miscele**

Camp	L	B	H	V	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	δP <sub>1</sub>	δP <sub>2</sub>	ΔP	P <sub>umid</sub>	% ass	sc
AA10	13,6	2,1	1,06	0,03	53,	53,	1691,	1691,	0,0	60,23	12,495	0,336
AA12	13,4	2,1	1,13	0,03	54,	54,	1648,	1648,	0,3	61,12	12,560	
AA13	13,2	2,1	1,06	0,03	52,	52,	1726,	1726,	0,0	59,40	12,457	
AA21	13,4	2,1	1,09	0,03	53,	53,	1691,	1691,	0,0	60,49	13,171	
BB7	13,2	2,1	1,07	0,03	53,	53,	1745,	1746,	1,3	59,26	11,454	0,350
BB8	13,3	2,2	1,08	0,03	53,	53,	1669,	1670,	1,5	59,52	11,294	
BB9	12,9	2,2	1,07	0,03	53,	53,	1698,	1700,	1,2	59,17	11,013	
BB25	13,1	2,1	1,03	0,02	54,	54,	1863,	1866,	3,1	60,59	11,852	
CC24	13,4	2,1	1,09	0,03	56,	56,	1776,	1777,	0,3	63,10	12,158	3,778
CC25	12,9	2,1	1,07	0,02	55,	55,	1901,	1902,	0,6	58,50	5,084	
CC28	13,2	2,1	1,09	0,03	55,	55,	1805,	1807,	1,6	63,02	13,081	
CC34	13,4	2,1	1,10	0,03	55,	55,	1760,	1761,	0,3	62,92	12,558	
DD4	13,3	2,0	1,06	0,02	55,	55,	1872,	1872,	0,3	58,69	6,380	0,288
DD11	13,1	2,1	1,06	0,03	53,	53,	1769,	1768,	0,3	57,34	6,560	
DD12	12,9	2,0	1,04	0,02	53,	53,	1900,	1900,	0,0	56,86	7,061	
DD22	13,1	2,0	1,06	0,02	54,	54,	1863,	1863,	0,6	57,71	6,673	

N.B. Campioni AA = 0,0 % Ferrite; BB = 2,0 % Ferrite; CC = 4,0 % Ferrite; DD = 8,0 % Ferrite

Dove: **L, B, H** espresse in cm rappresentano le misure esterne del campione; **V** in dm<sup>3</sup> il volume; **δP<sub>1</sub>**, **δP<sub>2</sub>** e **ΔP** in g/dm<sup>3</sup> rispettivamente i valori della prima pesata (temperatura ambiente), della seconda (a 105 °C per 25 min) e la differenza tra le due pesate; **P<sub>1</sub>** e **P<sub>2</sub>**, in grammi le pesate. Inoltre **P<sub>umid</sub>** rappresenta il peso del campione tenuto in acqua per 24 h, **% ass** la percentuale di acqua assorbita e **sc** lo scarto quadratico medio

**Tabella A.12 - Misurazioni effettuate per il calcolo del volume lordo**

Campioni	Misurazioni (cm)			
	A <sub>m</sub>	B <sub>m</sub>	C <sub>m</sub>	V <sub>l</sub> (dm <sup>3</sup> )
IA1	13,740	2,245	1,130	0,03486
IA2	13,745	2,235	1,145	0,03517
IA3	13,540	2,195	1,140	0,03388
IA4	13,625	2,190	1,145	0,03417
IA5	13,715	2,185	1,135	0,03401
IA6	13,620	2,260	1,130	0,03478
IA7	13,540	2,225	1,125	0,03389
IA8	13,535	2,215	1,110	0,03328
IA9	13,535	2,235	1,145	0,03464
IA10	13,645	2,215	1,125	0,03400
IB1	13,685	2,225	1,120	0,03410
IB2	13,595	2,255	1,100	0,03372
IB3	13,635	2,235	1,100	0,03352
IB4	13,570	2,215	1,105	0,03321
IB5	13,855	2,205	1,100	0,03361
IB6	13,565	2,210	1,115	0,03343
IB7	13,545	2,195	1,110	0,03300
IB8	13,725	2,200	1,105	0,03337
IB9	13,805	2,205	1,100	0,03348
IB10	13,710	2,245	1,095	0,03370
IC11	13,670	2,245	1,085	0,03330
IC12	13,600	2,210	1,080	0,03246
IC13	13,585	2,215	1,085	0,03265
IC14	13,665	2,255	1,075	0,03313
IC15	13,525	2,210	1,115	0,03333
IC16	13,665	2,200	1,090	0,03277
IC17	13,545	2,195	1,095	0,03256
IC18	13,595	2,205	1,115	0,03342
IC19	13,635	2,195	1,135	0,03397
IC20	13,620	2,200	1,085	0,03251
ID3	13,870	2,200	1,090	0,03326
ID4	13,525	2,195	1,130	0,03355
ID5	13,535	2,225	1,130	0,03403
ID6	13,540	2,220	1,090	0,03276
ID7	13,510	2,210	1,070	0,03195
ID8	13,485	2,205	1,090	0,03241
ID9	12,525	2,215	1,075	0,02982
ID10	13,455	2,195	1,090	0,03219
ID11	13,545	2,210	1,090	0,03263
ID12	13,590	2,165	1,085	0,03192

N.B. Campioni IA = 0,0 % Clorite; IB = 5,0 % Clorite, IC = 10,0 % Clorite, ID = 15,0 % Clorite

**Tabella A.13 - Misure effettuate per il calcolo del volume netto**

Campioni	Misurazioni (dm <sup>3</sup> )	
	Vn1	Vn medio
IA1	0,03566	0,033894
IA2	0,03374	
IA3	0,03365	
IA4	0,0336	
IA5	0,03375	
IA6	0,03372	
IA7	0,03386	
IA8	0,03320	
IA9	0,03372	
IA10	0,03404	
IB1	0,0355	0,033885
IB2	0,03582	
IB3	0,03532	
IB4	0,03576	
IB5	0,03295	
IB6	0,03366	
IB7	0,03325	
IB8	0,03208	
IB9	0,03253	
IB10	0,03198	
IC11	0,03282	0,032767
IC12	0,03437	
IC13	0,03394	
IC14	0,03523	
IC15	0,03204	
IC16	0,03247	
IC17	0,03269	
IC18	0,03123	
IC19	0,03137	
IC20	0,03151	
ID3	0,03006	0,032063
ID4	0,03061	
ID5	0,03235	
ID6	0,03238	
ID7	0,03361	
ID8	0,03255	
ID9	0,03313	
ID10	0,03149	
ID11	0,03203	
ID12	0,03242	

*N.B.* Campioni IA = 0,0 % Clorite; IB = 5,0 % Clorite, IC = 10,0 % Clorite, ID = 15,0 % Clorite

**Tabella A.14 – Calcolo dei parametri caratteristici per le 4 miscele contenenti clorite**

Campione	$\sigma=M/W$	Fv	s	cv	fbk
IA9	91,75	88,44	3,93	0,0444	78,66
IA17	86,00				
IA27	91,80				
IA32	84,19				
IB15	90,15	90,63	4,54	0,0501	79,33
IB19	86,22				
IB26	96,95				
IB32	89,19				
IC10	110,07	106,35	3,25	0,0305	98,26
IC18	103,10				
IC19	108,00				
IC20	104,22				
ID20	135,93	121,25	12,16	0,1002	91,07
ID24	124,65				
ID26	99,18				
ID30	125,25				

N.B. Campioni IA = 0,0 % Clorite; IB = 5,0 % Clorite, IC = 10,0 % Clorite, ID = 15,0 % Clorite

**Tabella A.15 – Calcolo dei valori di imbibizione per le 4 miscele esaminate**

Campione	Base (cm)	Altezza (cm)	Area di base Fo (dm <sup>2</sup> )	G1(g)	G2(g)	Imbibizione (g/(dm <sup>2</sup> *min))
IA4	13,300	2,235	0,297	57,06	59,65	12,077
IA5	13,335	2,220	0,296	56,77	59,07	11,147
IA6	13,280	2,195	0,291	55,54	57,60	12,041
IA7	13,315	2,230	0,300	54,80	57,3	14,388
IB5	13,800	2,245	0,310	57,53	61,84	13,912
IB17	13,840	2,260	0,313	57,05	61,31	13,619
IB20	13,635	2,255	0,307	56,36	60,22	12,554
IB25	13,725	2,255	0,309	57,49	60,92	11,082
IC1	13,500	2,255	0,305	59,36	63,62	13,963
IC3	13,565	2,260	0,307	59,37	63,70	14,124
IC4	13,535	2,25	0,305	58,42	62,56	13,594
IC7	13,625	2,255	0,307	59,47	63,76	13,963
ID5	13,535	2,255	0,305	55,24	59,84	15,071
ID22	13,635	2,245	0,306	56,52	61,03	14,733
ID25	13,655	2,245	0,307	55,50	59,98	14,614
ID28	13,780	2,255	0,311	56,35	60,82	14,385

N.B. Campioni IA = 0,0 % Clorite; IB = 5,0 % Clorite, IC = 10,0 % Clorite, ID = 15,0 % Clorite

<sup>1</sup> Peso a temperatura ambiente

<sup>2</sup> Peso dopo aver infornato i campioni a 105°C per 15 min

<sup>3</sup> Peso dopo imbibizione



**Tabella A.16** – Calcolo dei valori di assorbimento medio per le 4 miscele argilla-clorite analizzate

<b>Camp</b>	<b>P secco</b>	<b>P umid</b>	<b>% ass</b>	<b>P sat</b>	<b>Coeff. sat.</b>
<b>IA10</b>	53,54	60,23	12,50	61,22	0,87
<b>IA12</b>	54,31	61,12	12,54	62,35	0,85
<b>IA13</b>	52,82	59,40	12,46	61,55	0,75
<b>IA21</b>	53,45	60,49	13,17	60,56	0,99
<b>IB6</b>	57,98	66,02	13,87	69,55	0,69
<b>IB11</b>	58,87	66,78	13,44	68,89	0,79
<b>IB19</b>	58,00	67,23	15,91	69,21	0,82
<b>IB22</b>	59,41	67,98	14,43	67,23	1,10
<b>IC14</b>	57,24	66,06	15,41	68,76	0,77
<b>IC18</b>	56,79	67,09	18,14	67,85	0,93
<b>IC19</b>	57,43	66,28	15,41	68,52	0,80
<b>IC26</b>	57,02	65,56	14,98	68,12	0,77
<b>ID20</b>	55,72	65,45	17,46	67,78	0,81
<b>ID22</b>	56,13	65,32	16,37	67,92	0,78
<b>ID23</b>	55,59	65,48	17,79	68,15	0,79
<b>ID29</b>	55,44	66,22	19,44	67,67	0,88

N.B. Campioni IA = 0,0 % Clorite; IB = 5,0 % Clorite, IC = 10,0 % Clorite, ID = 15,0 % Clorite

*Tabella A.17 - Misurazioni effettuate per il calcolo del volume lordo*

Campioni	Misurazioni (cm)			
	A <sub>m</sub>	B <sub>m</sub>	C <sub>m</sub>	V <sub>l</sub> (dm <sup>3</sup> )
PA1	13,92	2,21	1,10	0,033866
PA3	13,83	2,22	1,15	0,035216
PA5	13,99	2,08	1,16	0,033517
PA7	13,98	2,22	1,13	0,034915
PA9	14,02	2,24	1,12	0,034926
PA13	14,12	2,23	1,12	0,035292
PA15	14,23	2,22	1,17	0,036707
PA21	14,02	2,23	1,17	0,036410
PA22	13,83	2,24	1,07	0,033178
PA23	13,42	2,24	1,08	0,032529
PB1	14,13	2,19	1,07	0,032908
PB5	14,24	2,20	1,08	0,033705
PB8	14,13	2,25	1,10	0,035079
PB13	14,36	2,20	1,15	0,036359
PB20	13,75	2,15	1,10	0,032445
PB23	13,76	2,14	1,10	0,032257
PB25	13,86	2,17	1,12	0,033580
PB28	13,66	2,16	1,11	0,032666
PB29	13,53	2,21	1,10	0,032861
PB30	13,83	2,21	1,09	0,033188
PC2	13,79	2,16	1,05	0,031376
PC3	13,76	2,16	1,08	0,032143
PC4	13,97	2,20	1,15	0,035251
PC5	13,86	2,21	1,10	0,033662
PC16	13,90	2,22	1,10	0,033701
PC17	13,91	2,16	1,25	0,037565
PC18	13,95	2,17	1,05	0,031737
PC21	14,00	2,15	1,05	0,031594
PC23	13,89	2,16	1,06	0,031727
PC25	13,89	2,19	1,05	0,032023
PD1	13,46	2,18	1,01	0,029479
PD12	13,59	2,17	1,05	0,030989
PD13	13,70	2,20	1,06	0,031714
PD15	13,85	2,20	1,05	0,031757
PD21	13,92	2,18	1,06	0,031930
PD22	13,93	2,18	1,10	0,033297
PD23	14,02	2,17	1,10	0,033339
PD25	14,12	2,16	1,06	0,032357
PD29	14,11	2,17	1,10	0,033477
PD30	13,07	2,17	1,11	0,031327

N.B. Campioni PA = 0,0 % PVC; PB = 3,0 % PVC, PC = 5,0 % PVC, PD = 7,0 % PVC

*Tabella A.18 - Misure effettuate per il calcolo del volume netto*

Campioni	Misurazioni (dm <sup>3</sup> )			
	Vn1	Vn2	Vn3	Vn medio
PA1	0,03545	0,03582	0,03533	0,0356
PA3	0,03385	0,03437	0,03427	0,0342
PA5	0,03332	0,03394	0,03438	0,0339
PA7	0,03576	0,03523	0,03236	0,0345
PA9	0,03528	0,02904	0,03258	0,0323
PA13	0,03466	0,03047	0,03233	0,0325
PA15	0,03321	0,03169	0,03184	0,0323
PA21	0,03422	0,03123	0,03209	0,0325
PA22	0,03458	0,03137	0,03104	0,0324
PA23	0,03652	0,03151	0,03050	0,0329
PB1	0,03108	0,03151	0,03166	0,0314
PB5	0,03122	0,03115	0,03115	0,0312
PB8	0,03120	0,03154	0,03115	0,0313
PB13	0,03215	0,03122	0,03132	0,0316
PB20	0,03137	0,03115	0,03295	0,0318
PB23	0,03112	0,03155	0,03058	0,0311
PB25	0,03010	0,03019	0,03029	0,0302
PB28	0,03111	0,03112	0,03085	0,0310
PB29	0,03122	0,03128	0,03141	0,0313
PB30	0,03114	0,03001	0,03019	0,0305
PC2	0,03212	0,03215	0,03264	0,0323
PC3	0,03315	0,03310	0,03328	0,0332
PC4	0,03131	0,03089	0,03101	0,0311
PC5	0,03018	0,03001	0,02902	0,0298
PC16	0,03021	0,03125	0,03100	0,0308
PC17	0,03015	0,03019	0,03011	0,0302
PC18	0,03058	0,03065	0,03045	0,0306
PC21	0,03025	0,03026	0,02995	0,0302
PC23	0,03058	0,03180	0,03197	0,0315
PC25	0,03075	0,02915	0,02911	0,0297
PD1	0,02915	0,03051	0,02906	0,0296
PD12	0,02870	0,02853	0,03061	0,0293
PD13	0,02872	0,02911	0,02942	0,0291
PD15	0,02815	0,02965	0,02978	0,0292
PD21	0,02944	0,02945	0,02933	0,0294
PD22	0,03015	0,02565	0,02912	0,0283
PD23	0,03071	0,02915	0,02945	0,0298
PD25	0,02900	0,02915	0,02949	0,0292
PD29	0,02915	0,03019	0,02985	0,0297
PD30	0,02945	0,02915	0,02912	0,0293

*N.B.* Campioni PA = 0,0 % PVC; PB = 3,0 % PVC, PC = 5,0 % PVC, PD = 7,0 % PVC

**Tabella A.19 – Calcolo dei parametri caratteristici per le miscele contenenti trucioli di PVC**

Campione	$\sigma=M/W$	Fv	s	cv	fbk
PA9	97,42	125,33	19,95	0,1593	75,55
PA12	129,29				
PA22	129,29				
PA30	144,92				
PB5	70,12	70,52	0,44	0,0063	69,41
PB8	70,42				
PB12	70,37				
PB 15	71,15				
PC10	53,15	49,38	2,65	0,0537	42,78
PC11	47,55				
PC17	49,32				
PC19	47,50				
PD12	42,15	44,48	1,35	0,0303	41,13
PD16	45,20				
PD20	46,24				
PD23	44,33				

N.B. Campioni PA = 0,0 % PVC; PB = 3,0 % PVC, PC = 5,0 % PVC, PD = 7,0 % PVC

**Tabella A.20 – Calcolo dei valori di imbibizione per le miscele contenenti PVC**

Campione	Base (cm)	Altezza (cm)	Area di base Fo (dm <sup>2</sup> )	G1(g)	G2(g)	Imbibizione (g/(dm <sup>2</sup> *min))
PA4	13,945	2,25	0,3138	72,01	76,02	12,780
PA7	13,885	2,30	0,3194	72,25	76,78	14,185
PA13	13,875	2,40	0,3330	72,45	76,89	13,333
PB15	13,775	2,20	0,3031	71,77	75,98	13,892
PB21	13,925	2,25	0,3133	72,10	76,69	14,650
PB24	13,885	2,15	0,2985	72,24	76,90	15,610
PC9	14,185	2,05	0,2908	72,94	79,65	23,075
PC14	14,180	2,05	0,2907	72,17	78,33	21,191
PC17	14,235	2,10	0,2989	72,21	78,92	22,446
PD5	14,300	2,00	0,2860	73,25	83,06	34,301
PD12	14,280	2,00	0,2856	72,15	80,92	30,707
PD13	14,290	2,05	0,2929	72,61	81,15	29,152

N.B. Campioni PA = 0,0 % PVC; PB = 3,0 % PVC, PC = 5,0 % PVC, PD = 7,0 % PVC

<sup>1</sup> Peso a temperatura ambiente  
<sup>2</sup> Peso dopo aver infornato i campioni a 105°C per 15 min  
<sup>3</sup> Peso dopo imbibizione

**Tabella A.21** – Calcolo dei valori di assorbimento medio per le 4 miscele argilla-PVC analizzate

<b>Camp</b>	<b>L (cm)</b>	<b>B (cm)</b>	<b>H (cm)</b>	<b>V (dm<sup>3</sup>)</b>	<b>P<sub>1</sub> (gr)</b>	<b>P<sub>2</sub> umid (gr)</b>	<b>% ass</b>	<b>P sat (g)</b>	<b>Coeff satur medio [s]</b>
<b>PA1</b>	13,93	2,5	1,2	0,0417	72,02	84,01	16,65	85,22	0,91
<b>PA4</b>	13,89	2,5	1,2	0,0416	71,01	82,83	16,65	84,11	
<b>PA5</b>	13,94	2,5	1,2	0,0418	71,71	83,46	16,39	84,29	
<b>PB7</b>	13,87	2,5	1,2	0,0416	72,42	90,41	24,84	92,89	0,88
<b>PB8</b>	13,99	2,5	1,2	0,0419	70,91	88,43	24,71	91,14	
<b>PB11</b>	14,28	2,5	1,2	0,0428	73,01	90,16	23,49	92,15	
<b>PC13</b>	14,27	2,5	1,2	0,0428	73,21	91,03	24,34	92,99	0,91
<b>PC14</b>	14,37	2,5	1,2	0,0431	73,79	91,33	23,77	93,03	
<b>PC15</b>	14,32	2,5	1,2	0,0429	72,68	91,57	25,99	93,19	
<b>PD19</b>	14,30	2,5	1,2	0,0429	73,25	91,78	25,30	92,89	0,93
<b>PD20</b>	14,28	2,5	1,2	0,0428	72,15	92,04	27,57	93,78	
<b>PD21</b>	14,29	2,5	1,2	0,0428	72,61	92,09	26,83	93,85	

N.B. Campioni PA = 0,0 % PVC; PB = 3,0 % PVC, PC = 5,0 % PVC, PD = 7,0 % PVC

**Tabella A.22 - Misurazioni effettuate per il calcolo del volume lordo**

Campioni	Misurazioni (cm)			
	A <sub>m</sub>	B <sub>m</sub>	C <sub>m</sub>	V <sub>l</sub> (dm <sup>3</sup> )
FA7	13,640	2,245	1,130	0,03460
FA8	13,555	2,190	1,090	0,03236
FA11	13,645	2,165	1,140	0,03368
FA28	13,725	2,130	1,090	0,03187
FA29	13,715	2,185	1,085	0,03251
FA30	13,745	2,260	1,070	0,03324
FA31	13,650	2,165	1,075	0,03177
FA32	13,535	2,215	1,110	0,03328
FA34	13,625	2,135	1,090	0,03171
FA35	14,145	2,115	1,125	0,03366
FB3	13,685	2,125	1,120	0,03257
FB5	13,595	2,255	1,100	0,03372
FB6	13,635	2,135	1,100	0,03202
FB17	13,570	2,160	1,080	0,03166
FB19	13,855	2,085	1,100	0,03178
FB22	13,565	2,165	1,115	0,03275
FB23	13,545	2,195	1,095	0,03256
FB24	13,725	2,185	1,080	0,03239
FB27	13,805	2,135	1,075	0,03168
FB28	13,710	2,245	1,060	0,03263
FC11	13,670	2,200	1,060	0,03188
FC12	13,500	2,180	1,055	0,03105
FC14	13,485	2,125	1,085	0,03109
FC15	13,565	2,220	1,065	0,03207
FC19	13,525	2,160	1,115	0,03257
FC22	13,565	2,135	1,040	0,03012
FC25	13,545	2,115	1,085	0,03108
FC26	13,495	2,195	1,090	0,03229
FC28	13,535	2,135	1,135	0,03280
FC29	13,620	2,165	1,085	0,03199
FD3	13,870	2,145	1,090	0,03243
FD7	13,525	2,100	1,130	0,03209
FD9	13,335	2,190	1,130	0,03300
FD10	13,540	2,155	1,050	0,03064
FD11	12,510	2,190	1,070	0,02931
FD13	13,485	2,140	1,090	0,03146
FD14	12,425	2,095	1,075	0,02798
FD15	12,450	2,170	1,000	0,02702
FD17	12,455	2,160	1,035	0,02784
FD18	12,590	2,200	0,999	0,02766

*N.B.* Campioni FA = 0,0 % Fibre; FB = 1,0 % Fibre; FC = 3,0 % Fibre; FD = 5,0 % Fibre

**Tabella A.23 - Misure effettuate per il calcolo del volume netto**

Campioni	Misurazioni (dm <sup>3</sup> )	
	Vn1	Vn medio
<b>FA7</b>	0,03566	0,033696
<b>FA8</b>	0,03374	
<b>FA11</b>	0,03365	
<b>FA28</b>	0,03342	
<b>FA29</b>	0,03295	
<b>FA30</b>	0,0322	
<b>FA31</b>	0,03372	
<b>FA32</b>	0,03386	
<b>FA34</b>	0,03372	
<b>FA35</b>	0,03404	
<b>FB3</b>	0,0355	
<b>FB5</b>	0,03582	
<b>FB6</b>	0,03332	
<b>FB17</b>	0,03576	
<b>FB19</b>	0,03095	
<b>FB22</b>	0,03166	
<b>FB23</b>	0,03025	
<b>FB24</b>	0,03108	
<b>FB27</b>	0,03053	
<b>FB28</b>	0,03119	
<b>FC11</b>	0,03582	0,032467
<b>FC12</b>	0,03437	
<b>FC14</b>	0,03394	
<b>FC15</b>	0,03523	
<b>FC19</b>	0,02904	
<b>FC22</b>	0,03047	
<b>FC25</b>	0,03169	
<b>FC26</b>	0,03123	
<b>FC28</b>	0,03137	
<b>FC29</b>	0,03151	
<b>FD3</b>	0,02906	0,031863
<b>FD7</b>	0,03061	
<b>FD9</b>	0,03135	
<b>FD10</b>	0,03138	
<b>FD11</b>	0,03361	
<b>FD13</b>	0,03255	
<b>FD14</b>	0,03413	
<b>FD15</b>	0,03149	
<b>FD17</b>	0,03203	
<b>FD18</b>	0,03242	

N.B. Campioni FA = 0,0 % Fibre; FB = 1,0 % Fibre, FC = 3,0 % Fibre, FD = 5,0 % Fibre

**Tabella A.24 – Risultati dei parametri caratteristici per le miscele contenenti fibre cellulosa**

Campione	$\sigma=M/W$	Fv	s	cv	fbk
FA9	150,78	125,30	22,07	0,1761	70,34
FA17	112,56				
FA18	112,56				
FA22	125,30				
FB11	95,99	95,85	1,49	0,0156	92,13
FB23	94,29				
FB27	97,26				
FB31	95,99				
FC3	76,45	76,81	2,88	0,0375	69,63
FC5	79,85				
FC27	74,12				
FC29	76,45				
FD9	57,34	59,18	1,30	0,0219	55,95
FD11	60,31				
FD33	59,46				
FD37	57,76				

N.B. Campioni FA = 0,0 % Fibre; FB = 1,0 % Fibre, FC = 3,0 % Fibre, FD = 5,0 % Fibre

**Tabella A.25 – Calcolo dei valori di imbibizione per le miscele contenenti fibre cellulosa**

Campione	Base (cm)	Altezza (cm)	Area di base Fo (dm <sup>2</sup> )	G1(g)	G2(g)	Imbibizione (g/(dm <sup>2</sup> *min))
FA14	13,300	2,235	0,297	57,06	59,65	8,713
FA15	13,335	2,220	0,296	56,77	59,07	7,769
FA16	13,280	2,195	0,291	55,54	57,60	7,067
FA17	13,315	2,230	0,300	54,80	57,3	8,326
FB5	13,800	2,245	0,310	57,53	61,84	13,912
FB17	13,840	2,260	0,313	57,05	61,31	13,620
FB20	13,635	2,255	0,307	56,36	60,22	12,554
FB25	13,725	2,255	0,309	57,49	60,92	11,082
FC13	13,500	2,255	0,305	59,36	63,62	13,963
FC33	13,565	2,260	0,307	59,37	63,70	14,124
FC34	13,535	2,25	0,305	58,42	62,56	13,594
FC37	13,625	2,255	0,307	59,47	63,76	13,963
FD15	13,535	2,255	0,305	55,24	59,84	15,071
FD22	13,635	2,245	0,306	56,52	61,03	14,733
FD25	13,655	2,245	0,307	55,50	59,98	14,614
FD28	13,780	2,255	0,311	56,35	60,82	14,385

N.B. Campioni FA = 0,0 % Fibre; FB = 1,0 % Fibre, FC = 3,0 % Fibre, FD = 5,0 % Fibre

<sup>1</sup> Peso a temperatura ambiente  
<sup>2</sup> Peso dopo aver infornato i campioni a 105°C per 15 min  
<sup>3</sup> Peso dopo imbibizione



*Tabella A.26 – Calcolo dei valori di assorbimento medio per le 4 miscele di argilla-fibre cellulosa*

<b>Campioni</b>	<b>P<sub>1</sub> secco (gr)</b>	<b>P<sub>2</sub> umid (gr)</b>	<b>% ass</b>	<b>P sat (g)</b>	<b>Coeff satur medio [s]</b>
<b>FA10</b>	53,54	60,23	12,5	62,44	0,86
<b>FA12</b>	54,31	61,12	12,5	61,08	
<b>FA13</b>	52,82	59,40	12,5	61,05	
<b>FA21</b>	53,45	60,49	13,2	61,32	
<b>FB6</b>	57,98	66,02	13,9	67,89	0,87
<b>FB11</b>	58,87	66,78	14,1	68,11	
<b>FB19</b>	58,00	67,23	15,9	68,21	
<b>FB22</b>	59,41	67,98	14,4	68,76	
<b>FC14</b>	57,24	66,06	15,4	68,76	0,90
<b>FC18</b>	56,79	67,09	18,1	68,01	
<b>FC19</b>	57,43	66,28	15,4	66,35	
<b>FC26</b>	57,02	65,56	15,0	66,22	
<b>FD19</b>	55,72	65,45	17,5	66,78	0,93
<b>FD20</b>	56,13	65,32	16,4	65,92	
<b>FD23</b>	55,59	65,48	17,8	66,07	
<b>FD29</b>	55,44	66,22	19,4	66,67	
<i>N.B. Campioni FA = 0,0 % Fibre; FB = 1,0 % Fibre, FC = 3,0 % Fibre, FD = 5,0 % Fibre</i>					

Tabella A.27 - Misurazioni effettuate per il calcolo del volume lordo

Campioni	Misurazioni (cm)			
	A <sub>m</sub>	B <sub>m</sub>	C <sub>m</sub>	V <sub>l</sub> (dm <sup>3</sup> )
VA1	13,654	2,230	1,130	0,03441
VA2	13,565	2,225	1,125	0,03395
VA3	13,540	2,195	1,135	0,03373
VA4	13,564	2,190	1,110	0,03297
VA5	13,570	2,185	1,120	0,03321
VA6	13,535	2,260	1,115	0,03411
VA7	13,540	2,225	1,125	0,03389
VA8	13,535	2,215	1,110	0,03328
VA9	13,535	2,235	1,145	0,03464
VA10	13,645	2,215	1,125	0,03400
VB1	13,565	2,225	1,120	0,03380
VB2	13,595	2,255	1,100	0,03372
VB3	13,455	2,235	1,100	0,03308
VB4	13,570	2,215	1,120	0,03366
VB5	13,465	2,205	1,100	0,03266
VB6	13,565	2,210	1,115	0,03343
VB7	13,545	2,195	1,110	0,03300
VB8	13,655	2,200	1,125	0,03380
VB9	13,690	2,205	1,225	0,03698
VB10	13,545	2,230	1,095	0,03307
VC1	13,670	2,245	1,085	0,03330
VC2	13,765	2,210	1,080	0,03285
VC3	13,655	2,215	1,085	0,03282
VC4	13,555	2,245	1,115	0,03393
VC5	13,525	2,210	1,115	0,03333
VC6	13,455	2,200	1,110	0,03286
VC7	13,460	2,205	1,125	0,03339
VC8	13,465	2,205	1,115	0,03310
VC9	13,450	2,195	1,135	0,03351
VC10	13,625	2,200	1,085	0,03252
VD1	13,870	2,200	1,090	0,03326
VD2	13,525	2,215	1,130	0,03385
VD3	13,535	2,225	1,130	0,03403
VD4	13,540	2,220	1,090	0,03276
VD5	13,510	2,210	1,070	0,03195
VD6	13,485	2,205	1,090	0,03241
VD7	12,525	2,215	1,075	0,02982
VD8	13,455	2,195	1,090	0,03219
VD9	13,545	2,210	1,090	0,03263
VD10	13,590	2,245	1,085	0,03310

N.B. Campioni VA = 0,0 % Vetro; VB = 5,0 % Vetro, VC = 10,0 % Vetro, VD = 15,0 % Vetro

**Tabella A.28 - Misure effettuate per il calcolo del volume netto**

Campioni	Misurazioni (dm <sup>3</sup> )	
	Vn1	Vn medio
VA1	0,03566	0,033889
VA2	0,03374	
VA3	0,03365	
VA4	0,03355	
VA5	0,03375	
VA6	0,03372	
VA7	0,03386	
VA8	0,03320	
VA9	0,03372	
VA10	0,03404	
VB1	0,03500	0,033835
VB2	0,03576	
VB3	0,03208	
VB4	0,03253	
VB5	0,03295	
VB6	0,03582	
VB7	0,03532	
VB8	0,03366	
VB9	0,03325	
VB10	0,03198	
VC1	0,03321	0,033212
VC2	0,03396	
VC3	0,03394	
VC4	0,03247	
VC5	0,03248	
VC6	0,03250	
VC7	0,03123	
VC8	0,03204	
VC9	0,03137	
VC10	0,03269	
VD1	0,03238	0,03218
VD2	0,03138	
VD3	0,03235	
VD4	0,03313	
VD5	0,03149	
VD6	0,03203	
VD7	0,03226	
VD8	0,03242	
VD9	0,03361	
VD10	0,03255	

N.B. Campioni VA = 0,0 % Vetro; VB = 5,0 % Vetro, VC = 10,0 % Vetro, VD = 15,0 % Vetro

**Tabella A.29 – Risultati dei parametri caratteristici per le miscele contenenti polvere di vetro**

Campione	$\sigma=M/W$	Fv	s	cv	fbk
VA11	120,20	121,26	0,97	0,0080	118,84
VA12	122,75				
VA13	121,47				
VA14	120,63				
VB11	128,27	129,44	1,51	0,0121	125,53
VB12	129,12				
VB13	132,09				
VB14	128,27				
VC11	138,46	138,04	0,79	0,0058	136,06
VC12	138,89				
VC13	136,77				
VC14	138,04				
VD11	149,08	145,37	4,47	0,0307	134,24
VD12	142,29				
VD13	150,36				
VD14	139,74				

N.B. Campioni VA = 0,0 % Vetro; VB = 5,0 % Vetro, VC = 10,0 % Vetro, VD = 15,0 % Vetro

**Tabella A.30 – Calcolo dei valori di imbibizione per le miscele contenenti scarto di vetro**

Campione	Base (cm)	Altezza (cm)	Area di base Fo (dm <sup>2</sup> )	G1(g)	G2(g)	Imbibizione (g/(dm <sup>2</sup> *min))
VA15	13,670	2,300	0,3144	54,70	56,52	5,789
VA16	13,595	2,285	0,3106	53,12	56,21	9,947
VA17	13,655	2,285	0,3120	55,79	57,97	6,987
VA18	13,675	2,290	0,3132	54,40	58,10	11,815
VB15	13,575	2,225	0,3020	63,60	65,21	5,330
VB16	13,565	2,215	0,3005	63,29	66,15	9,519
VB17	13,565	2,195	0,2978	63,59	66,56	9,975
VB18	13,625	2,205	0,3004	63,58	66,96	11,250
VC15	13,495	2,195	0,2962	65,28	67,85	8,676
VC16	13,490	2,190	0,2954	64,22	67,14	9,884
VC17	13,505	2,190	0,2958	63,71	66,45	9,264
VC18	13,515	2,185	0,2953	65,05	67,83	9,414
VD15	13,445	2,180	0,2931	65,68	68,28	8,871
VD16	13,440	2,180	0,2930	66,02	68,98	10,103
VD17	13,455	2,185	0,2940	65,98	68,45	8,402
VD18	13,495	2,180	0,2942	66,13	69,33	10,877

N.B. Campioni VA = 0,0 % Vetro; VB = 5,0 % Vetro, VC = 10,0 % Vetro, VD = 15,0 % Vetro

<sup>1</sup> Peso a temperatura ambiente  
<sup>2</sup> Peso dopo aver infornato i campioni a 105°C per 15 min  
<sup>3</sup> Peso dopo imbibizione

*Tabella A.31 – Calcolo dei valori di assorbimento medio per le 4 miscele di argilla-polvere vetro*

Campioni	P <sub>1</sub> secco (gr)	P <sub>2</sub> umid (gr)	% ass	P sat (g)	Coeff saturaz. medio [s]
VA19	53,54	60,23	12,5	62,44	0,86
VA20	54,31	61,12	12,5	61,08	
VA21	52,82	59,40	12,5	61,05	
VA22	53,45	60,49	13,2	61,32	
VB19	57,98	66,02	13,9	67,89	0,87
VB20	58,87	66,78	14,1	68,11	
VB21	58,00	67,23	15,9	68,21	
VB22	59,41	67,98	14,4	68,76	
VC19	57,24	66,06	15,4	68,76	0,90
VC20	56,79	67,09	18,1	68,01	
VC21	57,43	66,28	15,4	66,35	
VC22	57,02	65,56	15,0	66,22	
VD19	55,72	65,45	17,5	66,78	0,93
VD20	56,13	65,32	16,4	65,92	
VD21	55,59	65,48	17,8	66,07	
VD22	55,44	66,22	19,4	66,67	

*N.B.* Campioni VA = 0,0 % Vetro; VB = 5,0 % Vetro, VC = 10,0 % Vetro, VD = 15,0 % Vetro