

POLITECNICO DI TORINO  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA

TESI DI LAUREA

**MATERIALI LAPIDEI  
E RICICLAGGIO:  
I FANGHI DI SEGAGIONE**

**RELATORE**

Prof. Arch. GIOVANNI CANAVESIO

**CANDIDATO**

DAVIDE BASILIO

ANNO ACCADEMICO 1998/99

***Ringrazio tutti coloro che con la propria disponibilità hanno reso possibile la realizzazione di questa Tesi di Laurea:***

- ✓ ***Prof. Stelvio Celsi*** (docente nei corsi di D.U. - Ingegneria Meccanica - Industria del Marmo, presso l'Università di Pisa), per la collaborazione fornita durante la realizzazione della parte conoscitiva;
- ✓ ***Dott.ssa Paola Blasi*** (Internazionale Marmi e Macchine - Carrara), per l'interessamento dimostrato nei confronti della mia ricerca;
- ✓ ***Sig. Pierluigi Carena*** (Fornace Carena - Cambiano), per la sperimentazione nel ciclo produttivo dei laterizi;
- ✓ ***Sig. Guido Galeotti*** (Consorzio per lo Sviluppo Marmifero della Versilia), per l'estrema cordialità e sollecitudine mostrata nei miei confronti.

## **Indice**

<b>Introduzione.....</b>	<b>1</b>
<b>1 I prodotti lapidei.....</b>	<b>5</b>
1.1 Classificazione delle rocce.....	5
1.1.1 Classificazione commerciale e petrografica.....	6
1.1.1.1 Marmo (termine commerciale).....	6
1.1.1.2 Granito (termine commerciale).....	7
1.1.1.3 Travertino.....	7
1.1.1.4 Pietra (termine commerciale).....	8
1.1.2 Classificazione dei gruppi scientifici delle rocce.....	9
1.1.2.1 Rocce magmatiche.....	10
1.1.2.2 Rocce sedimentarie.....	10
1.1.2.3 Rocce metamorfiche.....	11
1.2 Coltivazione delle rocce ornamentali.....	12
1.2.1 Tecniche di coltivazione.....	12
1.2.1.1 Sistema a filo elicoidale.....	13
1.2.1.2 Sistema a filo diamantato.....	15
1.2.1.3 Taglio continuo con tagliatrici a catena.....	16
1.2.1.4 Splitting dinamico.....	17
1.2.1.5 Taglio fiamma (Flame-Jet).....	17
1.2.2 Ribaltamento dei blocchi.....	18
1.2.3 Riquadratura dei blocchi.....	18
1.3 Lavorazioni dei materiali lapidei.....	19

1.3.1	Lavorazioni a grosso spessore .....	23
1.3.2	Lavorazioni in lastre di grandi dimensioni .....	24
1.3.3	Segagione per la fabbricazione diretta di manufatti .....	26
1.3.4	Finitura superficiale .....	28
1.3.5	Lavorazioni sulle coste .....	29
<b>2</b>	<b>I sottoprodotti della lavorazione lapidea nel comprensorio Apuo-</b>	
	<b>Versiliese.....</b>	<b>31</b>
2.1	Scarti solidi.....	32
2.1.1	I ravaneti .....	32
2.1.2	Il cocciame .....	33
2.2	Fanghi.....	34
2.2.1	Marmettola derivante dalla segagione dei marmi con utensili diamantati.....	35
2.2.2	Marmettola derivante dalla segagione dei marmi con telai a sabbia silicea .....	37
2.2.3	Marmettola derivante dalla segagione dei graniti con telai a graniglia metallica .....	37
2.2.4	Marmettola prodotta dal taglio del granito con dischi diamantati.....	38
2.2.5	Marmettola di levigatura e di lucidatura .....	39
<b>3</b>	<b>Caratteristiche della marmettola.....</b>	<b>40</b>
3.1	L'innovazione tecnologica .....	41
3.1.1	Dal telaio a sabbia al telaio diamantato .....	41
3.1.2	Il problema del piombo nei fanghi.....	42
3.1.3	Prospettive future nel taglio del granito .....	43
3.1.4	Disidratazione dei fanghi.....	45

3.2	Classificazione dei fanghi .....	49
3.3	Impatto ambientale della marmettola .....	51
3.3.1	Entità degli scarichi .....	52
3.3.2	Il ricorso alla magistratura .....	53
3.3.3	Conseguenze dovute alla marmettola nei corsi d'acqua .....	54
3.3.4	Situazione odierna.....	57
3.4	Quantità di marmettola .....	58
3.4.1	La produzione annua di marmettola .....	58
3.4.2	Indagine sulla marmettola prodotta nel 1997 .....	60
3.4.3	Analisi dei dati .....	62
<b>4</b>	<b>Il recupero della marmettola .....</b>	<b>65</b>
4.1	Norme tecniche per il recupero con procedura semplificata .....	65
4.1.1	Attività di recupero previste per fanghi di Classe 1 (marmettola di marmo).....	68
4.1.1.1	Produzione di cemento .....	68
4.1.1.2	Utilizzo della marmettola come carica per la produzione di carta .....	70
4.1.1.3	Cariche per la produzione di idropitture .....	73
4.1.1.4	Utilizzo per la produzione di gesso in seguito ad abbattimento di sostanze reflue acide.....	75
4.1.1.5	Utilizzo per produzione di gesso in seguito a desolforazione dei fumi delle centrali termoelettriche .....	76
4.1.2	Attività di recupero previste per fanghi di Classe 2 (marmettola mista) .....	77
4.1.2.1	Realizzazione di manufatti compressi per l'edilizia industriale e l'arredo urbano.....	77

5.1	Ipotesi di recupero delle marmettole come componenti per la fabbricazione dei laterizi .....	111
5.1.1	Composizione mineralogica descrittiva della materia prima per la produzione del laterizio .....	112
5.1.1.1	Argille vere e proprie.....	113
5.1.1.2	Scheletro a granulometria più grossolana .....	115
5.1.1.3	Impurità grossolane .....	117
5.1.1.4	Sostanze chimiche diverse.....	117
5.1.2	Realizzazione e sperimentazione di provini composti da materiale argilloso e marmettole di vari tipi .....	118
5.1.2.1	Preparazione degli impasti.....	119
5.1.2.2	Confezionamento dei provini.....	121
5.1.2.3	Caratteristiche dei provini essiccati .....	122
5.1.2.4	Cottura dei provini.....	123
5.1.2.5	Caratteristiche dei provini dopo la cottura .....	123
5.1.2.6	Determinazione del valore di assorbimento e del coefficiente d'imbibizione.....	125
5.1.2.7	Considerazioni su valore di assorbimento e coefficiente d'imbibizione dei provini .....	129
5.1.2.8	Massa volumica apparente.....	131
5.1.2.9	Determinazione della resistenza a compressione e a flessione .....	131
5.1.2.10	Considerazioni su resistenza a flessione e a compressione dei provini .....	137
5.1.2.11	Valutazioni finali sulla sperimentazione nei laterizi.....	138
5.2	Ipotesi di recupero delle marmettole in miscela con leganti.....	142

5.2.1	Realizzazione e sperimentazione di provini composti da gesso e marmettole.....	143
5.2.1.1	Preparazione degli impasti.....	143
5.2.1.2	Caratteristiche e prestazioni dei provini.....	145
5.2.1.3	Osservazioni conclusive .....	148
5.2.2	Realizzazione e sperimentazione di provini composti da calce viva, ceneri volanti e marmettole.....	149
5.2.2.1	Preparazione degli impasti.....	151
5.2.2.2	Trattamento d'immersione e umidificazione in acqua.....	153
5.2.2.3	Valutazione dei risultati delle prove a flessione e compressione.....	154
5.2.2.4	Confronto delle variazioni di peso nei provini.....	156
5.2.2.5	Verifica dei risultati ottenuti.....	157
5.2.2.6	Valori di assorbimento e coefficienti d'imbibizione.....	158
5.2.2.7	Prova pratica di utilizzo come malta da intonaco.....	160
5.2.2.8	Valutazioni finali sulla sperimentazione della miscela marmettola-cenere volante-calce viva.....	161
5.2.3	Ipotesi di sperimentazione finalizzata all'utilizzo della marmettola di granito nella realizzazione di blocchi di silicalcite (calcium-silicate).....	162
5.2.3.1	La silicalcite .....	163
5.2.3.2	Idoneità del fango di granito in sostituzione della sabbia silicea .....	166
<b>6</b>	<b>Conclusioni.....</b>	<b>168</b>
6.1	Sviluppo delle elaborazioni e problemi incontrati .....	168
6.2	Risultati emergenti.....	169

**7 Schede allegate.....171**  
    7.1 Contenuto delle schede ..... 171  
**Bibliografia.....191**



## ***Introduzione***

L'attenzione che sempre più spesso le direttive europee dedicano al recupero dei rifiuti delle lavorazioni industriali, dimostra che il tema del riciclaggio gode di una spiccata attualità, legittimata dalla necessità di un'adeguata salvaguardia ambientale. Operazioni di recupero che solo pochi anni fa potevano sembrare finanziariamente insostenibili, oggi iniziano a diventare realtà e possono alimentare con le proprie forze nuove opportunità di lavoro e di mercato. L'intento è quello di sfruttare al massimo ogni risorsa, sia essa materiale o energetica, al fine di azzerare gli sprechi e minimizzare i rifiuti, con il conseguente beneficio concretizzato nella riduzione delle problematiche sullo smaltimento.

Il comparto lapideo risente, da questo punto di vista, di una certa arretratezza, per cui non sempre la notevole quantità di sottoprodotti da esso generata, viene adeguatamente valorizzata, e non sempre la mentalità imprenditoriale di questo settore contribuisce a rendere agevole tale operazione.

Una situazione molto rappresentativa è rintracciabile nel comprensorio Apuo-Versiliese, sito sulla fascia costiera a cavallo tra le province di Massa Carrara e Lucca, che ha sviluppato tecniche sia di estrazione che di lavorazione, diventando il "crocevia" mondiale per le lavorazioni del settore lapideo. Ciò ha comportato una grande produzione di scarti che, soprattutto per quanto riguarda i fanghi, si è rivelata negli anni passati una pericolosa "spina nel fianco" per imprenditori ed amministrazioni locali. La scelta di tale area è quindi dettata dalla necessità di studiare un contesto

emblematico, in grado di consentire un'analisi e di fornire risposte non solo per lo stesso comprensorio, ma anche nei confronti di altri poli dell'industria lapidea, siano essi di grandi o piccole dimensioni.

Il lavoro di sviluppo della tesi è stato realizzato in due fasi distinte che si rispecchiano nella seguente articolazione:

- la prima, svoltasi durante la permanenza a Massa Carrara, era finalizzata ad inquadrare ed approfondire il problema da ogni suo punto di vista e a ricavare i dati necessari;
- la seconda ha avuto come oggetto una serie di sperimentazioni finalizzate al riutilizzo dei fanghi provenienti dalla segagione e dalla lavorazione dei marmi e dei graniti nelle realizzazioni di necessari materiali per l'edilizia e si è svolta nel Laboratorio Tecnologico della Facoltà di Architettura del Politecnico di Torino.

I periodi trascorsi nell'area di produzione, hanno permesso di stabilire un rapporto diretto con le aziende e gli enti, dando l'opportunità di calarsi nella realtà locale e consentendo l'acquisizione di quelle conoscenze indispensabili per avviare la sperimentazione. Si è così constatato che i fanghi generati da segagione e lavorazione di marmi e graniti, rappresentano uno dei prodotti di scarto più bisognosi di nuovi riutilizzi, per cui su di essi si sono concentrate tutte le attenzioni.

Lo studio delle tecniche di lavorazione, delle caratteristiche fisiche e chimiche del materiale da riciclare, degli attuali metodi di smaltimento e delle ipotesi di riutilizzo già esistenti, costituiscono, infatti, la base di partenza per orientarsi sulle scelte successive. Di grande utilità si è rivelato il confronto con le normative vigenti in tema di rifiuti, mentre una serie di

colloqui con personale operante nel settore, sono serviti ad aggiornare e implementare tutte le informazioni raccolte in precedenza.

Come si è detto, il passo successivo ha riguardato le sperimentazioni in laboratorio: la raccolta di molti campioni di fanghi ha permesso di studiare più da vicino questo materiale e di effettuare le prime prove per valutarne il comportamento in miscela con leganti o con altri componenti. L'intento era di fare alcune ricerche finalizzate al riciclaggio a basso costo nell'ambito dell'industria dei laterizi, nella realizzazione di malte per intonaci oppure di blocchi per muratura.

Ciò ha richiesto numerose ore di lavoro in laboratorio, in un susseguirsi di tentativi finalizzati alla ricerca dei componenti e dei dosaggi più adeguati per gli impasti, al fine di ottenere un materiale con caratteristiche confacenti. I provini così ottenuti sono stati dunque sottoposti ad alcuni test che ne hanno individuato le caratteristiche. Il confronto con le proprietà di materiali comuni e di equivalente destinazione, ha determinato un'ulteriore selezione.

I principi fondamentali posti alla base di questo lavoro di ricerca sono stati i seguenti:

- a) Necessità di valorizzare il prodotto di scarto con ipotesi mirate di riciclaggio, nell'ottica di una trasformazione dei fanghi da rifiuto a risorsa.
- b) Sfruttamento di caratteristiche latenti nei rifiuti per il miglioramento e l'ottimizzazione delle caratteristiche fisico-chimiche, viste come mezzo per apportare migliorie a determinati materiali. Tutto ciò nella convinzione che è necessario porre in secondo piano l'utilizzo dei fanghi come semplice inerte.

- c) Sfruttamento di possibili sinergie esistenti tra rifiuti diversi (nel nostro caso fanghi e ceneri volanti), al fine di ottenere dalla loro miscelazione componenti capaci di migliorare le caratteristiche di leganti a scarse prestazioni.
- d) Creazione di nuovi materiali basati sull'impiego, ad esempio, di calce viva, perciò dotati di basso costo energetico e derivati da cicli produttivi a più basso contenuto tecnologico.

Al termine della campagna di sperimentazioni si sono ottenuti alcuni risultati interessanti sia nelle applicazioni riferite ai laterizi che in quelle relative alle malte. Ciò permette di mantenere un relativo ottimismo sull'eventualità che questi studi possano avere un seguito in termini di reale fattibilità, soprattutto nell'ambito dei paesi in via di sviluppo. Ciò non toglie che questo lavoro, specialmente per quanto contiene nella prima parte, si identifichi anche nel tentativo (si può dire abbastanza riuscito) di costituire un documento attuale, capace di fornire indicazioni utili a chiunque voglia intraprendere nuove attività di ricerca in questo settore.

## **1 I prodotti lapidei**

La descrizione dei sottoprodotti della lavorazione lapidea è subordinata ad un insieme di fattori, ognuno dei quali contribuisce ad identificare e differenziare gli elementi che li caratterizzano.

I sottoprodotti scaturiscono dall'escavazione e dalle lavorazioni di qualsiasi roccia, ed il problema della loro eliminazione si manifesta prevalentemente nelle aree di coltivazione delle cave e nelle immediate adiacenze, dove sono concentrati gli stabilimenti di trasformazione. Hanno caratteristiche petrografiche e chimiche che dipendono dalle rocce di origine, ed assumono aspetti diversi in funzione del tipo di lavorazione e del ciclo produttivo che li genera.

Per meglio comprendere tali distinzioni è necessario dedicare alcuni cenni alla classificazione, alla coltivazione e alla lavorazione delle rocce ornamentali.

### **1.1 Classificazione delle rocce**

I Romani indicavano con il termine *marmor* (parola di origine greca, che significava risplendere) qualsiasi pietra suscettibile di assumere pulimento speculare, cioè di essere lucidata con gli utensili e le tecniche allora conosciute. Essi non consideravano la natura della roccia della quale era costituito il materiale lucidato: chiamavano quindi marmo vari tipi di rocce, come, ad esempio, calcari cristallini, alabastri calcarei, brecce, ecc., oltre ai marmi propriamente detti. Per lo stesso motivo, sembra che fossero

considerati *lapis*, cioè pietre, (e non marmi) altre rocce, come graniti, porfidi, sieniti, ecc., a causa della difficoltà di lucidarle con i metodi di allora.

In tempi recenti entrò in uso una classificazione più precisa, basata sulle conoscenze tecniche acquisite dalla petrografia, e man mano si affermò la distinzione delle rocce in marmi, graniti, travertini e pietre.

Al momento attuale, però, non si può dire che sia completamente superata l'abitudine di denominare le pietre ornamentali con termini tradizionali risalenti ad un passato anche remoto oppure con termini che nulla hanno a che vedere con la natura o con l'origine della roccia (quando non sono addirittura nomi di fantasia). Si può addirittura verificare che uno stesso materiale lapideo venga presentato con nomi diversi.

### 1.1.1 Classificazione commerciale e petrografica<sup>1</sup>

In relazione alle applicazioni in edilizia, le rocce ornamentali e da costruzione vengono suddivise in quattro categorie commerciali:

- *Marmo*;
- *Granito*;
- *Travertino*;
- *Pietra*.

#### 1.1.1.1 Marmo (termine commerciale)

Roccia cristallina, compatta, lucidabile, da decorazione e da costruzione, prevalentemente costituita da minerali di durezza Mohs dell'ordine 3-4 (quali calcite, dolomite, serpentino).

---

<sup>1</sup> La seguente classificazione è tratta da: G. CANAVESIO, *Marmi* in *MD 1990*, 56-58, op. cit. in bibliografia.

A questa categoria appartengono:

- i marmi propriamente detti (calcari metamorfici ricristallizzati), i calcefiri ed i cipollini;
- i calcari, le dolomie e le brecce calcaree lucidabili;
- gli alabastri calcarei;
- le serpentiniti;
- le oficalciti.

#### 1.1.1.2 Granito (termine commerciale)

Roccia fanero-cristallina, compatta, lucidabile, da costruzione e da decorazione, prevalentemente costituita da minerali di durezza Mohs dell'ordine di 6-7 (quali quarzo, feldspati, feldspatoidi).

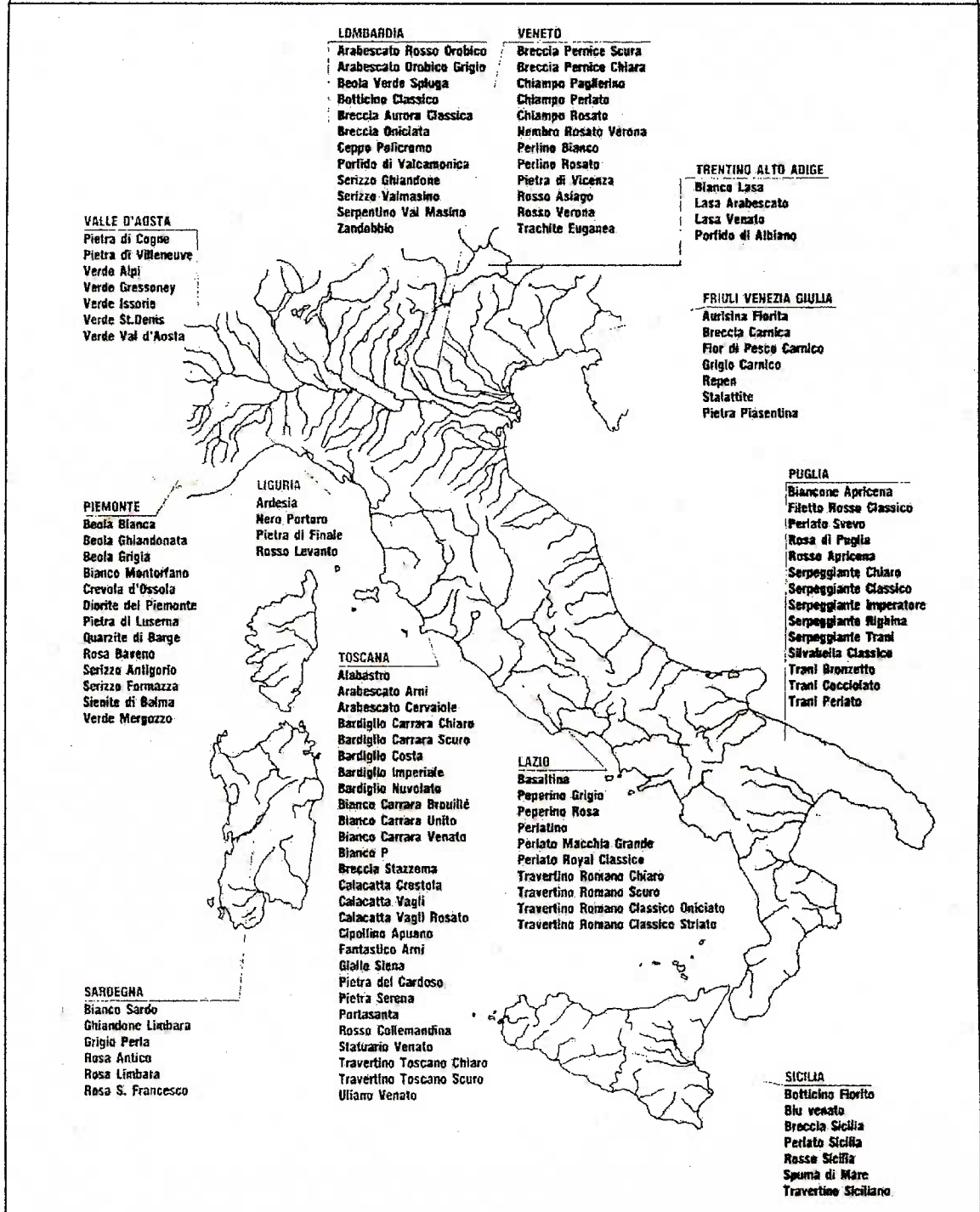
A questa categoria appartengono:

- i graniti propriamente detti (rocce magmatiche intrusive acide fanero-cristalline, costituite da quarzo, feldspati sodico-potassici e miche);
- altre rocce magmatiche intrusive (dioriti, granodioriti, sieniti, gabbri, ecc.);
- le corrispondenti rocce magmatiche effusive, a struttura porfirica;
- alcune rocce metamorfiche di analoga composizione, come gneiss e serizzi.

#### 1.1.1.3 Travertino

Roccia calcarea sedimentaria di deposito chimico con caratteristica struttura vacuolare, da decorazione e da costruzione; alcune varietà sono lucidabili.

Figura 1 - Marmi e pietre naturali delle regioni italiane (dall'articolo di G. Canavesio in Marmomacchine Directory 1990-91).



#### 1.1.1.4 Pietra (termine commerciale)

Roccia da costruzione e/o da decorazione, di norma non lucidabile.



A questa categoria appartengono rocce di composizione mineralogica svariatissima, non inseribili in alcuna classificazione. Esse sono riconducibili ad uno dei due gruppi seguenti:

- rocce tenere e/o poco compatte;
- rocce dure e/o compatte.

Esempi di pietre del primo gruppo sono:

- varie rocce sedimentarie (calcareniti, arenarie a cemento calcareo, ecc.);
- varie rocce piroclastiche (peperini, tufi, ecc.).

Al secondo gruppo appartengono:

- le pietre a spacco naturale (quarziti, micascisti, gneiss lastroidi, ardesie, ecc.);
- talune vulcaniti (basalti, trachiti, leuciti, ecc.).

### 1.1.2 Classificazione dei gruppi scientifici delle rocce<sup>2</sup>

Senza entrare nel dettaglio di una pedissequa e, per i presenti scopi, inutile classificazione scientifica delle rocce, ci si limiterà ad inquadrare per sommi capi i gruppi scientifici di rocce indicandone solo le caratteristiche generali che hanno un risvolto pratico nell'identificazione dei corrispondenti gruppi commerciali. Dal punto di vista scientifico tutte le rocce vengono suddivise per tipo di genesi in tre grandi gruppi:

- *Rocce magmatiche;*
- *Rocce sedimentarie;*
- *Rocce metamorfiche.*

---

<sup>2</sup> La seguente classificazione è tratta da: F. BRADLEY, *Criteri in MD 1998*, 80-82, op. cit. in bibliografia.

### 1.1.2.1 Rocce magmatiche

Sono rocce formatesi a seguito del raffreddamento di un magma preesistente. Le rocce appartenenti a questo gruppo variano sensibilmente di disegno e di colore a seconda rispettivamente delle caratteristiche genetiche e della composizione chimica del magma di origine.

In particolare le rocce magmatiche si definiscono:

- *intrusive* quando il magma si è raffreddato a grandi profondità nella crosta terrestre,
- *filoniane o subvulcaniche* quando il magma si è raffreddato in zone prossime alla superficie terrestre,
- *effusive o vulcaniche* quando il magma è fuoriuscito dalla crosta terrestre e si è raffreddato in ambiente subaereo o subacqueo; queste rocce comprendono tutte le lave. È importante citare anche l'esistenza, in questo gruppo, di rocce formatesi per accumulo di materiale detritico di origine vulcanica e per questo definite *rocce piroclastiche*.

Dal punto di vista chimico un magma può avere composizione acida, intermedia o basica, ma in ogni caso sono rocce composte in prevalenza da minerali che contengono silicio e pertanto vengono anche definite *silicatiche*.

### 1.1.2.2 Rocce sedimentarie

Sono rocce formatesi o per accumulo di materiale detritico preesistente e consolidamento dello stesso a seguito di un fenomeno detto di diagenesi (origine *clastica*), o per precipitazione chimica diretta dei minerali che le compongono (origine *chimica*).

Le rocce del primo tipo si possono suddividere per la diversa composizione mineralogica che varia a seconda dei minerali o materiali che le hanno generate: questa può essere di vario tipo, ma la grande maggioranza delle rocce sedimentarie di origine clastica sono sostanzialmente di due tipi:

- *carbonatiche* quando sono formate in prevalenza da minerali e/o elementi litoidi di natura carbonatica (calcite, dolomite, magnesite, ecc.),
- *silicatiche* quando sono formate da minerali e/o elementi litoidi di natura silicatica (feldspati, miche, minerali argillosi, ecc.).

Le rocce sedimentarie di origine chimica possono aver origine o per precipitazione da soluzioni sature a chimismo vario, o precipitazione causata da organismi viventi (ad esempio le formazioni madreporiche delle scogliere coralline); in entrambi i casi la composizione mineralogica tra le rocce utilizzate nel settore lapideo è praticamente sempre di tipo *carbonatico* (rocce derivate da un analogo processo chimico ma a composizione silicea sono comunque largamente utilizzate come pietre dure, come ad esempio l'agata).

### 1.1.2.3 Rocce metamorfiche

Sono rocce formatesi da variazioni di tessitura e composizione mineralogica di rocce preesistenti, di tipo magmatico o sedimentario, quando sottoposte a particolari condizioni di pressione e temperatura diverse da quelle dell'originario ambiente formazionale. Scientificamente queste rocce sono suddivise secondo il grado ed il tipo di metamorfismo che le ha generate e secondo la loro composizione chimico-mineralogica; ai fini del presente volume è sufficiente operare una suddivisione che tenga

conto della diversa composizione mineralogica dei litotipi impiegati più di frequente per scopi ornamentali; questi possono avere una composizione:

- *carbonatica* quando sono formati prevalentemente da minerali di natura carbonatica (calcite, dolomite, magnesite, ecc.),
- *silicatica* quando sono formati da minerali di natura silicatica (feldspati, miche, minerali argillosi, ecc.),
- *silicea* quando sono formati in netta prevalenza da cristalli di quarzo ( $\text{SiO}_2$ ).

## 1.2 Coltivazione delle rocce ornamentali

L'insieme delle operazioni che permettono di estrarre dalle cave i materiali lapidei viene detto *coltivazione delle rocce*. In questa fase si forma un primo tipo di sottoprodotto costituito dagli scarti d'escavazione. Questi hanno aspetto irregolare e danno origine a vasti cumuli di frammenti lapidei il cui concentrarsi sui pendii sottostanti le cave, è spesso causa di frane e dissesti, che rendono sempre più impegnativo e pericoloso il protrarsi dei lavori.

### 1.2.1 Tecniche di coltivazione

Un cenno alle tecniche di estrazione può essere utile per comprendere come si vengono a costituire i detriti.

Il materiale viene staccato dalla sua posizione fino al ricorso a mezzi meccanici sempre più sofisticati come il taglio mediante filo diamantato e mediante catene dentate.

I sistemi tradizionali più antichi producevano il distacco del blocco dalla cava mediante l'impiego di cunei di acciaio, inseriti in solchi allineati

secondo le dimensioni del masso da ricavare oppure insinuati nelle spaccature naturali della roccia, battuti a fondo con pesanti mazze, fino a ottenere la fenditura; si aumentava quindi il distacco del blocco, mediante la manovra di leve, binde, rulli, ecc., producendone infine il ribaltamento per avviarlo alle successive lavorazioni.

Esistono inoltre varianti e miglioramenti successivamente introdotti a questo sistema, escogitati ad esempio per ricavare blocchi di maggiori dimensioni; ed anche altre tecniche, come quella che fa ricorso agli esplosivi, applicata per rocce molto dure, usando opportune cautele per non danneggiare la struttura dei giacimenti: in complesso, sistemi e tecniche della cui progressiva riduzione sono ovvie le ragioni.

Un altro sistema di taglio che merita di essere menzionato, anche se il suo impiego è ormai quasi ovunque superato dai nuovi mezzi tecnici, è quello detto *a filo elicoidale*.

In sintesi, i principali sistemi di taglio al monte attualmente impiegati sono distinguibili in:

- taglio con filo diamantato;
- taglio continuo con tagliatrici a catena;
- splitting dinamico tra fori complanari e paralleli;
- taglio a fiamma (Flame-Jet).

#### 1.2.1.1 Sistema a filo elicoidale

Il sistema a *filo elicoidale*, che si vuole citare per primo, data la particolare importanza che ha rivestito nell'arte dell'estrazione delle rocce di media durezza come marmi e serpentine, si diffuse in Italia a partire dal 1897 grazie a particolari perfezionamenti allora introdotti. Esso consisteva di una

fune metallica, formata da tre fili di acciaio avvolti ad elica, montata su un sistema di pulegge di rinvio e di orientamento, in modo da costituire un circuito chiuso, talvolta anche di centinaia di metri di lunghezza.

Il filo elicoidale veniva fatto scorrere sul materiale da tagliare ad una determinata velocità di traslazione

**Figura 2 - Rappresentazione di cava con impianto a filo elicoidale** (dall'articolo di G. Canavesio in Marmomacchine Directory 1990-91).



impressa da un gruppo motore, versando nel contempo all'imboccatura del taglio una miscela di acqua e sabbia silicea: il filo elicoidale svolgeva così la funzione di trasportare la sabbia, la quale, a sua volta, produceva l'azione abrasiva contro la superficie da tagliare.

Il materiale veniva quindi staccato dal monte in quanto il filo, che poteva penetrare in profondità per decine di metri grazie ad accorgimenti ed attrezzature particolari, produceva il taglio in corrispondenza delle facce del blocco a contatto del giacimento.

Il sistema a filo elicoidale consentiva quindi di realizzare migliori condizioni di lavoro e di sfruttare in modo più razionale le cave, aumentando l'economicità dell'estrazione e limitando al minimo lo spreco

di materiale, tipico di altri metodi, soprattutto nel caso del taglio di estese superfici.

### 1.2.1.2 Sistema a filo diamantato

Il *filo diamantato* è un sistema che, grazie ai perfezionamenti apportati negli ultimi anni, ha segnato un sempre maggior sviluppo nell'estrazione delle rocce metamorfiche a struttura cristallina (come, ad esempio, i marmi di Carrara) e delle rocce metamorfiche silicatiche (serpentini della Valmalenco); si sta affermando anche sui graniti la sua economicità di applicazione.

Il filo diamantato è costituito da un cavetto di acciaio a trefoli sul quale sono infilate e intervallate con distanziatori varie *perline*, dotate di un rivestimento superficiale ottenuto per elettrodeposizione o per sinterizzazione di diamante sintetico.

Il taglio dei materiali avviene ovviamente per trascinamento del filo diamantato che, disposto ad anello chiuso (a cappio) attorno alla sezione da tagliare e irrorato di acqua per il raffreddamento, produce una solcatura sempre più estesa fino al

**Figura 3 - Taglio con filo diamantato** (da Marmomacchine Directory 1997-98: Lochtmans).



distacco di tutta una faccia del blocco dal giacimento.

Tale trascinamento viene operato da apposite macchine a puleggia, dette appunto tagliatrici a filo diamantato, che hanno cominciato ad operare con alcuni prototipi nel 1977 e che segnano gli ultimi notevoli progressi nella tecnica del taglio.

Esse mettono infatti a disposizione una completa gamma di attrezzature, munite di accessori, dotate di grande versatilità e relativa sicurezza di applicazione, che consentono sia l'esecuzione dei tagli al monte che la riquadratura dei blocchi.

**Figura 4 - Tagliatrice a catena in funzione** (da Marmomacchine Directory 1996-97: Benetti Macchine).



### 1.2.1.3 Taglio continuo con tagliatrici a catena

Il taglio al monte viene eseguito mediante macchine apposite, originariamente impiegate nel carbone e poi nelle ardesie, le *tagliatrici a catena* (fig. 4), che azionano una catena dotata di denti con placchette di widia o di utensili diamantati, producendo solchi di circa 40 mm di larghezza con una notevole velocità areale di taglio: si sono avuti, ad esempio, risultati interessanti per il travertino, per i marmi di Carrara e per le oficalciti.



#### 1.2.1.4 Splitting dinamico

Questa tecnica di taglio, applicata nella coltivazione dei marmi e dei graniti, consiste nell'uso controllato delle cariche esplosive lineari (in genere di miccia detonante) poste in fori complanari e paralleli opportunamente distanziati, e brillate simultaneamente. La cooperazione degli impulsi causati nella roccia dall'esplosione provoca la formazione di una netta spaccatura nel piano di giacitura nei fori, successivamente regolarizzabile mediante sistemi manuali con mazza e scalpello.

Il metodo (detto anche *finlandese*) è ancora oggi molto usato per le rocce dure e sostituisce in certi casi il taglio continuo con perforazione affiancata (fori paralleli interferenti) caratterizzato da maggiore onerosità.

#### 1.2.1.5 Taglio fiamma (Flame-Jet)

Questo tipo di taglio viene eseguito mediante una fiamma ad alta temperatura, emessa (insieme ad un forte flusso gassoso) da uno speciale cannello, che causa un'azione disgregatrice localizzata, quasi una polverizzazione della roccia, producendo un taglio di circa 8 cm di larghezza; nel contempo, appositi dispositivi di raffreddamento delle pareti della tagliata evitano che il calore si propaghi nella massa del materiale, creando pericolose dilatazioni.

Il taglio a fiamma può essere convenientemente impiegato per i graniti e le sieniti, nonché per altre rocce eruttive a struttura cristallina eterogenea che non formino scorie sotto l'azione della fiamma.

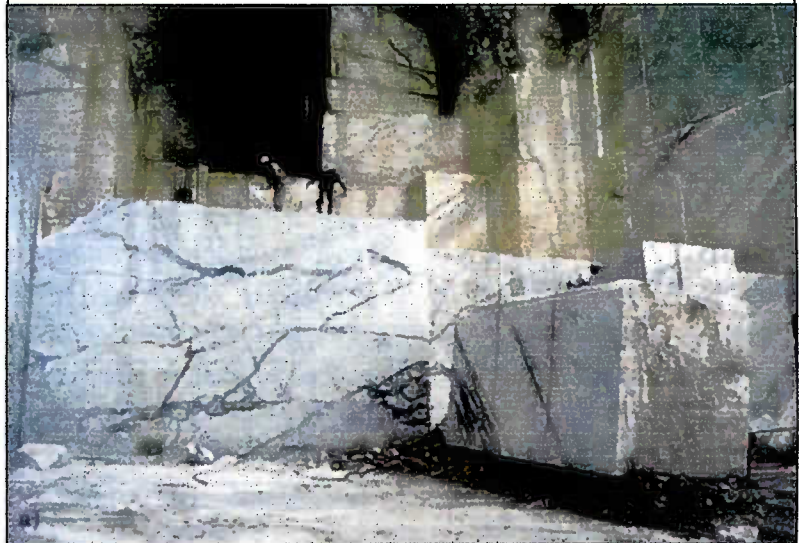
### 1.2.2 Ribaltamento dei blocchi

Dopo il distacco dal monte, il blocco deve essere spostato e ribaltato per poterlo sottoporre al ciclo di lavorazioni previsto nella cava. Anche questa operazione, che nel passato era svolta con sistemi manuali (con il sussidio di verricelli, binde, paranchi, ecc.), è ora affidato a mezzi meccanici di

adeguata potenza, come i martinetti idraulici e i cuscini pneumatici.

I primi, cioè i martinetti idraulici, producono il divaricamento agendo con una spinta di intensità adeguata, applicata

**Figura 5 - Fronte di scavo con blocco ribaltato, in una cava di Bianco Statuario Carrara** (dall'articolo di F. Bradley in MarmomacchineDirectory 1997-98).



alla sommità del blocco, fino a causare il suo ribaltamento sul piazzale di cava.

I cuscini pneumatici, costituiti di un materiale resistente e impermeabile all'aria, ottengono lo stesso risultato finale per mezzo di un gonfiaggio con aria compressa, eseguito dopo il loro inserimento nel taglio della bancata.

### 1.2.3 Riquadratura dei blocchi

Le lavorazioni di cava si concludono con la riquadratura: operazione con la quale il materiale estratto viene ridotto in blocchi di dimensioni commerciali. Per questo, si considerano ottimali i blocchi aventi un peso

massimo di 24 tonnellate, che rappresentando in genere il carico di un autocarro, possono essere convenientemente trasportati alle successive lavorazioni in laboratorio.

A questo punto i blocchi si distinguono in:

- *blocchi informi*, se la loro conformazione non è stata resa geometricamente regolare;
- *blocchi squadrati*, se la loro conformazione è stata ridotta ad una forma geometrica tendenzialmente parallelepipedica;
- *blocchi squadrati standard da telaio*, se sono stati squadrati in dimensioni ottimali per essere lavorati (segati) al telaio con un buon rendimento.

Esistono svariati modi di eseguire la riquadratura, alcuni dei quali ricorrono ancora al filo elicoidale e a quello diamantato, mentre altri si servono di telai monolama, di tagliablocchi con dischi diamantati a grande diametro, di spaccarocce pneumatici, ecc.: lavorazioni che richiedono attrezzi e macchine particolari.

### 1.3 Lavorazioni dei materiali lapidei

I blocchi di materiali lapidei, tagliati dal monte, vengono avviati ai cicli successivi di lavorazione, che possono essere raggruppati in:

**Figura 6 - Telaio monolama durante la riquadratura (foto eseguita da D. Basilio a Carrara).**



- lavorazioni per la realizzazione di elementi a grosso spessore da impiegare in opere artistiche o monumentali (colonne, masselli, lapidi, pietre tombali);
- segazione dei blocchi in lastre di grandi dimensione e di piccolo e medio spessore (da 1,5 a 6 cm), da impiegare per la produzione di svariati manufatti per l'edilizia (pavimenti, rivestimenti, ecc.) nelle

Figura 7 - Ciclo di lavorazione dei graniti (dal testo di A.Mignani e S. Quadrelli).

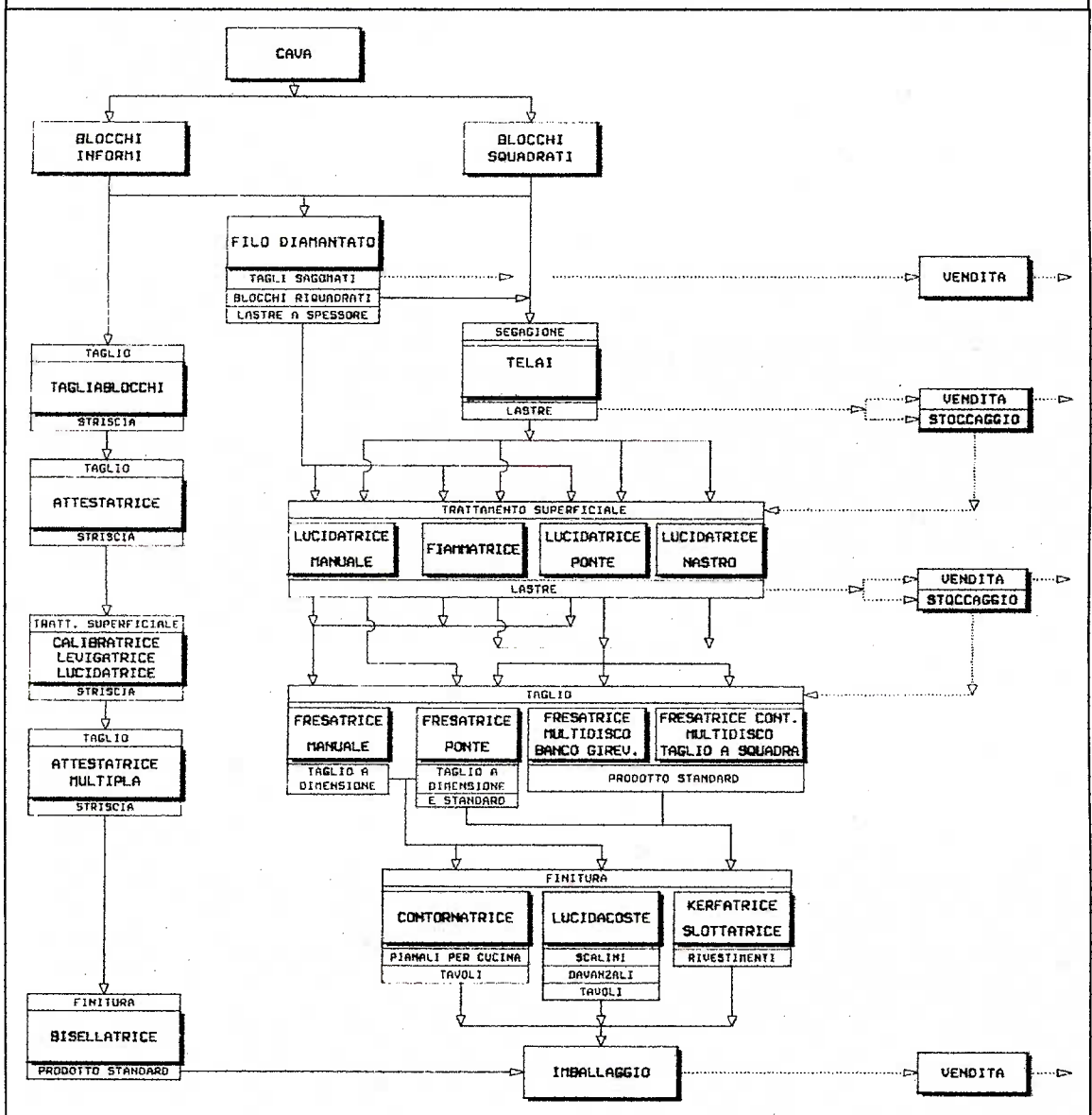
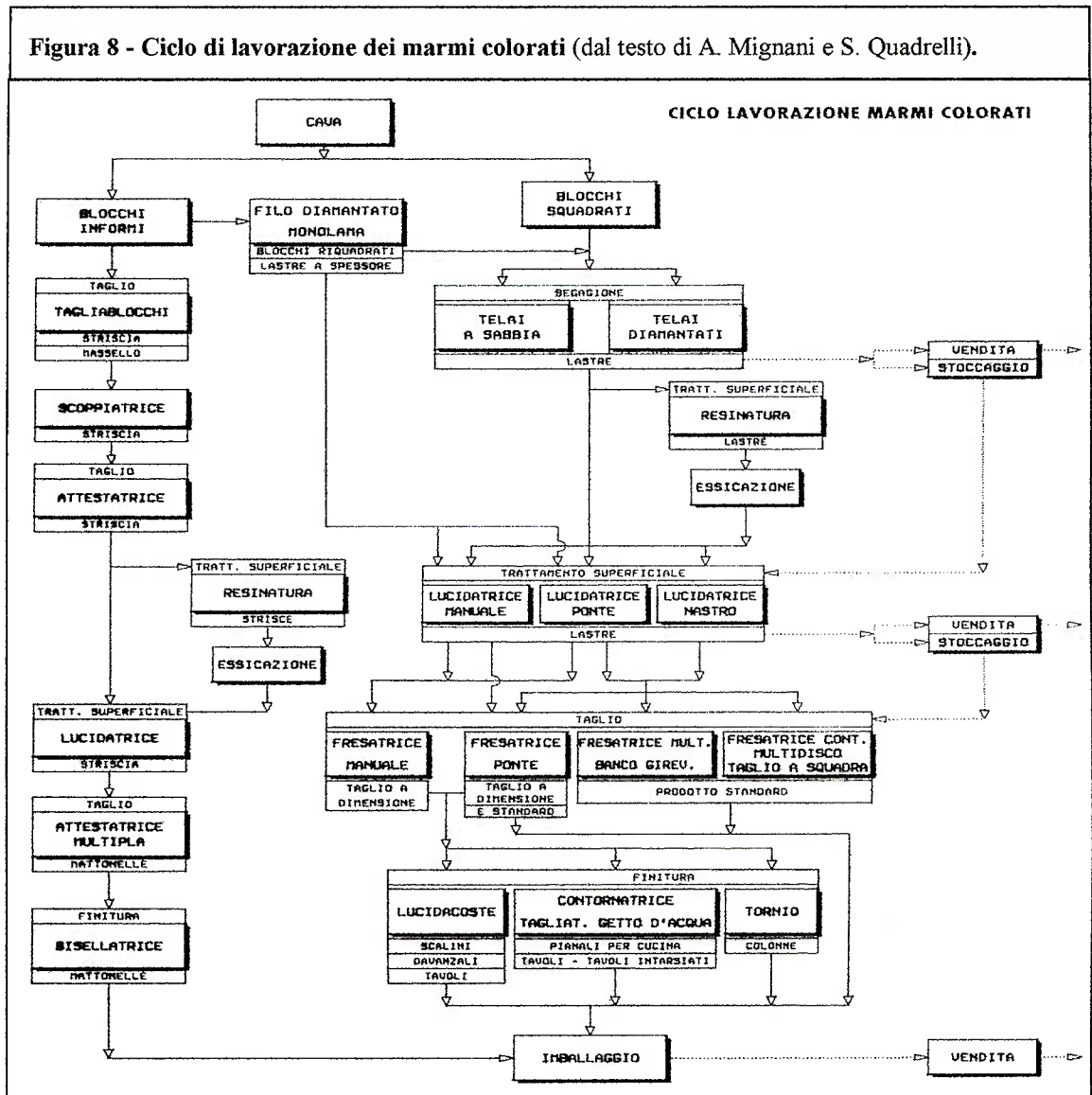


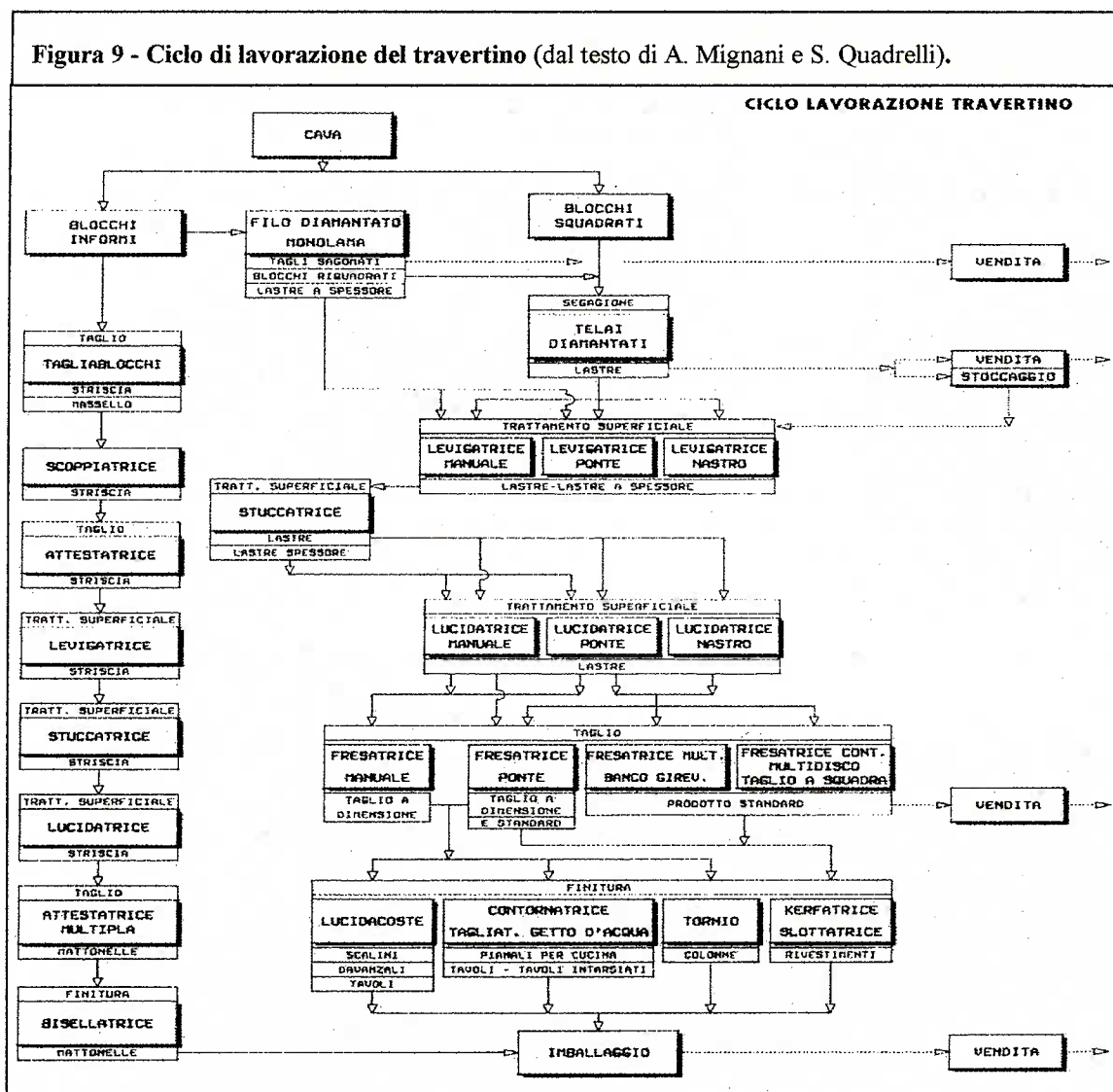
Figura 8 - Ciclo di lavorazione dei marmi colorati (dal testo di A. Mignani e S. Quadrelli).



lavorazioni *non di serie* le quali comportano progettazione e scelte dimensionali in relazione alle dimensioni degli ambienti edilizi (a casellario);

- *segazione per la produzione di manufatti con dimensioni standardizzate* (costanti o variabili solo per grandi quantità o grandi ordinazioni), partendo direttamente dal blocco senza passare attraverso la produzione di grandi lastre, cioè dei semilavorati indicati nella categoria precedente.

Figura 9 - Ciclo di lavorazione del travertino (dal testo di A. Mignani e S. Quadrelli).

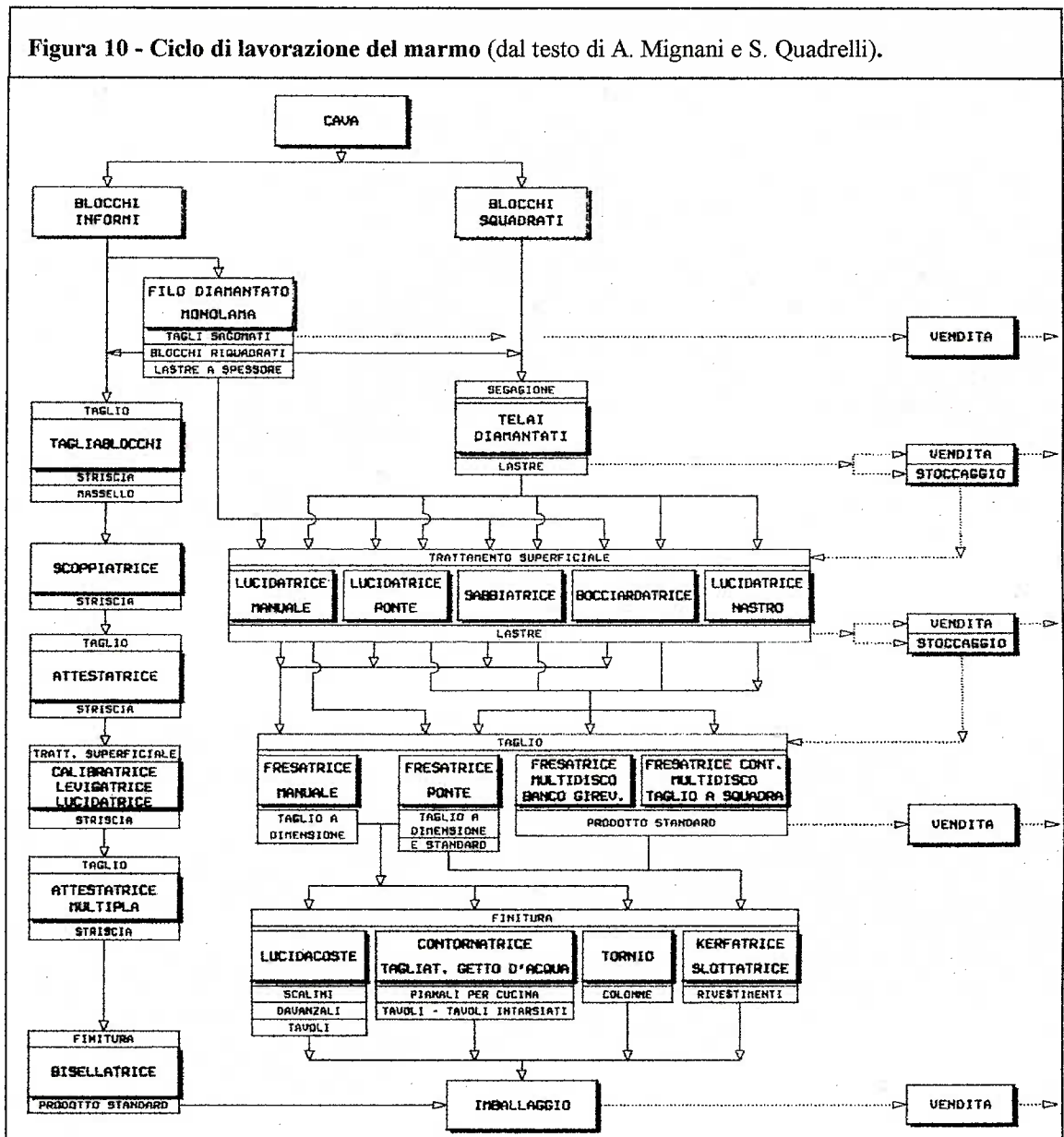


I trattamenti previsti da tali cicli di lavorazione, comportano la produzione di scarti sotto forma di cocciame e fanghi.

Il *cocciame* è costituito dai frammenti di materiale che vengono scartati nel corso del ciclo di lavorazione.

I *fanghi* sono dovuti alle diverse macchine utensili, che operano asportazioni di materiale sottoponendo la zona di taglio ad un getto continuo di acqua atto a raffreddare l'utensile e ad asportare la polvere prodotta.

Figura 10 - Ciclo di lavorazione del marmo (dal testo di A. Mignani e S. Quadrelli).

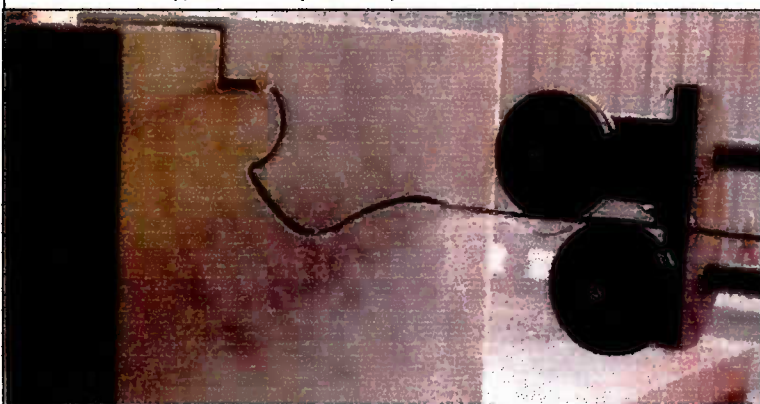


### 1.3.1 Lavorazioni a grosso spessore

Dato che il prodotto finale è caratterizzato da un elevato valore intrinseco, per la funzione che dovrà svolgere e per l'abilità che richiede agli artigiani (ed agli altri artefici creativi), la scelta del blocco di partenza dev'essere particolarmente oculata. Occorre individuare la cava in grado di fornire il materiale con le caratteristiche fisiche e geometriche più adatte (soprattutto

in relazione a eventuali dimensioni fuori norma dell'opera da realizzare) e verificare la presenza di possibili alterazioni della roccia e di variazioni cromatiche

**Figura 11 - Macchina sagomatrice con filo diamantato** (dal testo di A. Mignani e S. Quadrelli).



che possono pregiudicare i risultati desiderati.

Le lavorazioni procedono, in genere, alla conformazione del solido circoscritto alla forma finale dell'oggetto da realizzare, mediante varie operazioni di taglio con macchine e attrezzature specifiche (ad esempio, fresatrici-sagomatrici).

Le lavorazioni finali da scalpellino vengono fatte con una serie di attrezzi, tra i quali trapani, frese sonde normali o meccaniche, bocciardatrici, e di macchine per la riproduzione di motivi ornamentali, torni meccanici, pantografi, sabbiatrici, ecc.

### 1.3.2 Lavorazioni in lastre di grandi dimensioni

Con queste lavorazioni si trasforma il blocco staccato dal monte in lastre grezze, cioè in semilavorati di grandi dimensioni, che per diventare applicabili nelle opere edili dovranno ancora subire ulteriori operazioni di finitura superficiale e di rifilatura, eseguite in diverse sequenze, per ricavare gli elementi finiti con le dimensioni richieste.

Per ottenere le lastre grezze sono attualmente impiegati i telai alternativi multilame appartenenti a due tipologie specifiche:

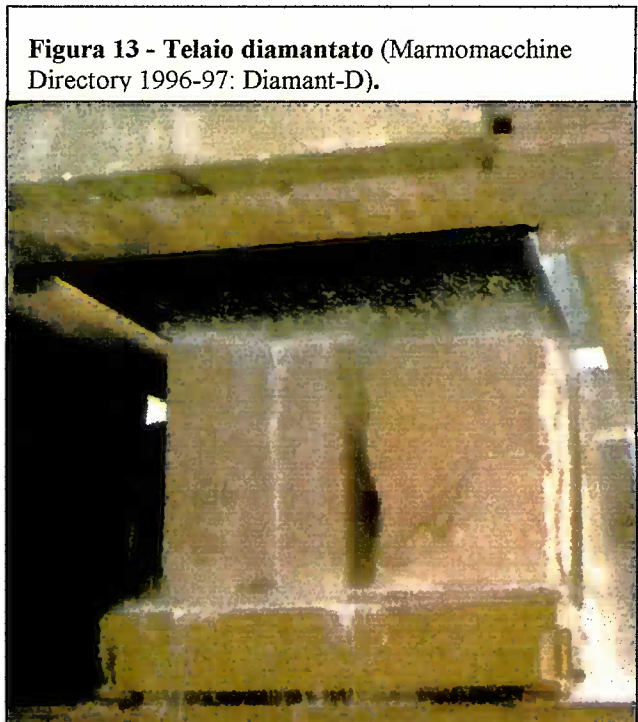


- tipo “tradizionale”, in cui l’effetto di abrasione che produce il taglio è dovuto ad una torbida abrasiva, costituita da acqua, limaia di ghisa o di acciaio e calce, immessa tra le lame ed il blocco in corso di segagione. Sono dotati di cinematica pendolare del quadro portalame;



**Figura 12 - Telaio tradizionale** (dal testo di A. Mignani e S. Quadrelli).

- tipo “diamantato”, in cui il taglio è prodotto da utensili con segmenti a concrezione diamantata, saldati al bordo inferiore della lama. Sono dotati di cinematica rettilinea del quadro portalame e di sistema di raffreddamento mediante irrorazione d’acqua.



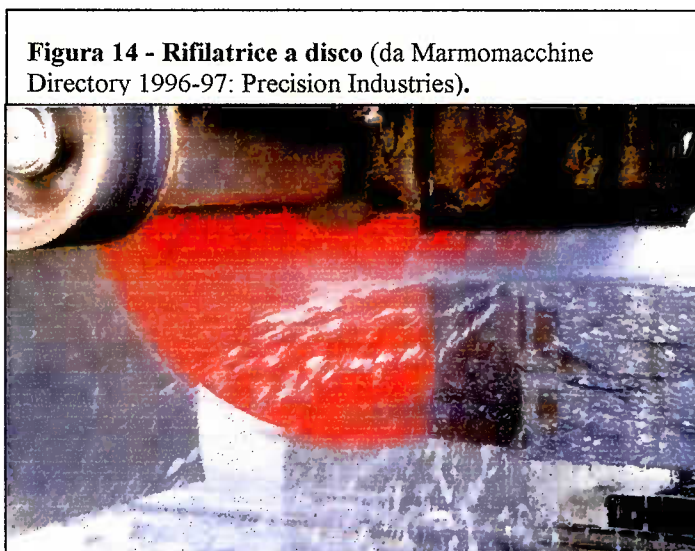
**Figura 13 - Telaio diamantato** (Marmomacchine Directory 1996-97: Diamant-D).

I telai funzionanti con torbida abrasiva sono applicati alla segagione dei graniti e di altre rocce di durezza analoga; i telai a lame diamantate vengono usati su rocce meno dure, di origine sedimentaria o metamorfica.

Le successive operazioni di trasformazione delle lastre grezze in manufatti, adatti alla

realizzazione di elementi architettonici e costruttivi degli edifici, si articolano in varie lavorazioni:

- *taglio delle lastre grezze nelle forme e nelle misure previste da una precisa progettazione di dettaglio, mediante*



- macchine rifilatrici dotate di sega a disco diamantato;*
- *rifinitura superficiale delle lastre, al fine di conferire le caratteristiche d'aspetto previste dal progetto, mediante vari trattamenti (lavorazioni a urto, fiammatura, levigatura, lucidatura);*
- *lavorazione sulle coste delle lastre, per conferire i profili (smussi, bisellature, ecc.) e le finiture in relazione alle applicazioni.*

### 1.3.3 Segagione per la fabbricazione diretta di manufatti

Si tratta di un ciclo di lavorazione, il cui impiego si è consolidato nell'ultimo ventennio, che permette di ottenere manufatti di misure standardizzate, aventi forma quadrata o rettangolare (e, in genere, piccolo spessore), direttamente dal taglio dei blocchi provenienti dalla cava, senza passare attraverso le lastre grezze. Questa operazione è diventata possibile grazie all'introduzione di macchine tagliablocchi dotate di dischi diamantati di grande diametro, in grado di tagliare lastre di marmo aventi un'altezza massima pari ad oltre un terzo del diametro del disco. Nel contempo si è sviluppato un ciclo produttivo completo che ha acquisito al

**Figura 15 - Segatrice a disco gigante** (da Marmomacchine Directory 1997-98: DELLAS SpA).

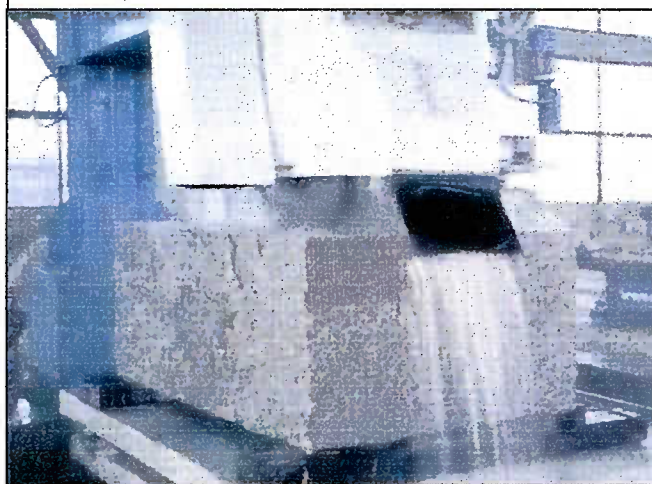


suo interno  
apparecchiature  
automatiche di scarico  
delle lastre e di  
alimentazione del  
successivo treno di  
lavorazione,  
arricchendosi anche con  
nuove macchine  
automatiche per il  
trattamento delle  
superfici (come ad  
esempio, le  
levilucidatrici a nastro)

e per realizzare eventuali linee di sagomatura o di lucidatura delle coste.

L'introduzione di questo processo produttivo, basato in sostanza sulla  
segazione mediante  
tagliablocchi (fig. 16), permette  
di utilizzare anche blocchi di  
minori dimensioni, che in  
precedenza venivano scartati ed  
avviati alle discariche, non  
essendo suscettibili di  
segazione al telaio con costi  
accettabili.

**Figura 16 - Tagliablocchi** (da Marmomacchine Directory 1996-97: Bremor).



### 1.3.4 Finitura superficiale

La finitura superficiale è una lavorazione fondamentale per lo sfruttamento delle possibilità espressive dei prodotti lapidei: possibilità espressive messe in luce dalla rugosità o, all'opposto, dalla lucentezza superficiale.

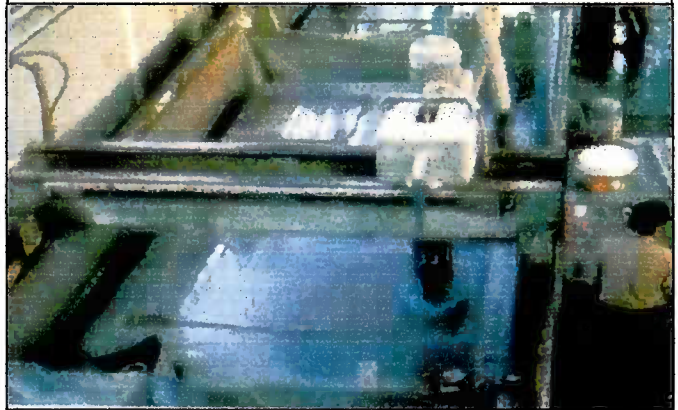
Il materiale grezzo, così come può essere ottenuto dalla segagione, presenta già caratteristiche cromatiche definite, conferite dalla natura della roccia, ma la percezione precisa del colore è smorzata dallo stato di rugosità della superficie, che tende a uniformare le distinzioni tra le diverse tonalità.

Variazioni cromatiche importanti sono ottenibili con la levigatura e la lucidatura (fig. 17): la prima determina in genere un primo effetto di maggior definizione del colore della roccia, pur mantenendolo ancora su gradazioni chiare e opache; la seconda esalta invece al massimo le tonalità,

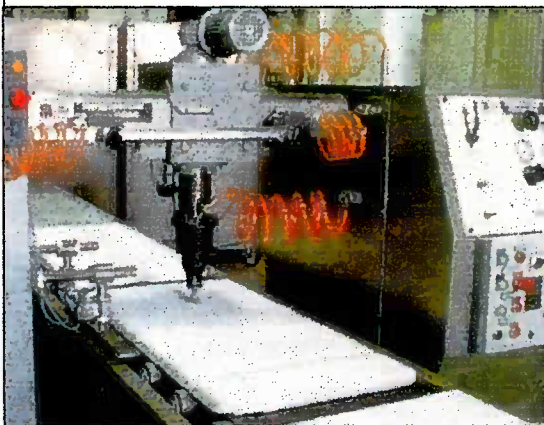
facendo emergere specialmente i colori scuri ed i contrasti dovuti alle venature, e conferisce la lucentezza superficiale tipica e la specularità.

Un diverso risultato si ottiene con la fiammatura e le lavorazioni ad urto: trattamenti che non agiscono tanto sul colore ma sulla "tessitura" superficiale degli oggetti. La

**Figura 17 - Lucidatura** (dal testo di A. Mignani e S. Quadrelli).

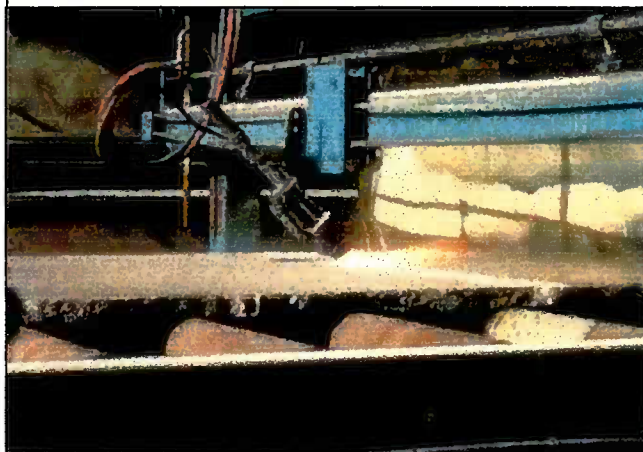


**Figura 18 - Bocciardatura** (dal testo di A. Mignani e S. Quadrelli).



fiammatura (fig. 19) conferisce una sorta di “morbidezza” alla superficie del materiale, mentre i trattamenti ad urto, cioè la bocciardatura (fig. 18), la martellinatura, ecc., tendono a creare, in modo più o meno marcato, degli elementi di contrasto superficiale e di

**Figura 19 - Fiammatura** (dal testo di A. Mignani e S. Quadrelli).



chiaroscuro (soprattutto evidenziati dalla luce radente), in relazione al grado di irregolarità che gli urti determinano sulla superficie.

Altre caratteristiche superficiali, che mettono spesso in luce nuove valenze espressive di taluni materiali, sono inoltre ottenute con un sapiente impiego delle macchine in uso nel settore lapideo, che producono ad esempio particolari effetti di rigatura o di contrasto chiaroscurale, con solcature regolari più o meno fitte ed eventualmente incrociate.

Per le rocce dotate di piani di divisibilità preferenziale (gneiss, quarziti, porfidi, calcari lastroidi, ecc.) esiste la possibilità di ottenere un particolare tipo di finitura, detto a spacco, che si genera in corrispondenza dei suddetti piani di divisibilità del materiale e che è molto apprezzato per il suo aspetto rustico.

### 1.3.5 Lavorazioni sulle coste

Un'altra fase molto importante di finitura dei prodotti lapidei è quella che conferisce alle coste delle lastre il profilo e la regolarità superficiali richiesti.

La lavorazione sulle coste, aggiungendosi alla finitura superficiale, completa infatti le caratteristiche d'aspetto determinando la percezione complessiva della forma di elementi ornamentali o di elementi d'arredo; altre volte, essa realizza la sezione dei bordi per formare la giunzione tra lastre complanari oppure d'angolo facenti parte di rivestimenti.

È chiaro quindi che la varietà di queste lavorazioni è molto marcata, comprendendo anche eventuali operazioni accessorie (ritagli, molature dei fili, applicazione di listelli, inserimento di dispositivi di fissaggio, ecc.): ogni manufatto, in sostanza, richiede operazioni specifiche da eseguire in relazione all'impiego previsto.

Molto variata è anche la serie delle attrezzature e delle tecniche manuali e meccanizzate che possono essere impiegate, come pure degli utensili (ad esempio, mole sinterizzate) per lavorazioni specifiche.

## 2 I sottoprodotti della lavorazione lapidea nel comprensorio Apuo-Versiliese

Dall'osservazione di un'indagine sul settore lapideo realizzata dall'I.M.M. (Internazionale Marmi e Macchine) di Carrara<sup>3</sup>, si deduce che le categorie dei marmi e dei graniti, rappresentano le rocce ornamentali più utilizzate nel mondo. Per tale motivo è possibile circoscrivere l'argomentazione del presente studio, facendo riferimento all'attuale situazione del comprensorio Apuo-Versiliese.

Situato a cavallo tra le province di Massa Carrara e Lucca, il *comprensorio Apuo-Versiliese* rappresenta il crocevia dell'industria lapidea mondiale, caratterizzato dalla lavorazione non solo dei pregiati marmi locali (estratti dal più vasto bacino marmifero del mondo), ma anche di tutti i marmi e graniti italiani ed esteri.

L'evolversi delle tecniche estrattive e dei metodi di segagione, hanno determinato, parallelamente ai notevoli incrementi produttivi in un'area geografica relativamente ristretta, una situazione ambientale sempre più insostenibile a causa dell'ingente quantità di sottoprodotti generati dai cicli di produzione.

Figura 20 - Comprensorio Apuo-Versiliese.



Gli scarti in questione, cui già si è genericamente accennato nel precedente capitolo, si differenziano in due tipologie: scarti solidi e fanghi.

## 2.1 Scarti solidi

Sono costituiti dai blocchi informi grossolani e minuti derivanti dall'estrazione del marmo e dalla lavorazione di marmi e/o graniti: nel primo caso costituiscono i cosiddetti *ravaneti*, nel secondo prendono il nome di *cocciame*.

### 2.1.1 I ravaneti

Nella prima metà del secolo le tecniche d'escavazione, basate sulla varata con esplosivi, determinano lo spreco di grosse quantità di marmo<sup>4</sup> che, sotto forma di detriti, si accumulano in grandi quantità sui pendii sottostanti le cave. Tali cumuli di frammenti lapidei vengono chiamati *ravaneti* e sono ormai caratteristici dei monti soprastanti Carrara (fig. 21).

I ravaneti però, ancor oggi soggetti a continui scarichi di materiale determinato dall'escavazione e dalla riquadratura dei blocchi, rappresentano anche vere e proprie discariche abusive che, con il loro ingrandirsi, incrementano il pericolo di frane ed ostacolano lo sfruttamento di altri giacimenti marmiferi. L'aumento della produzione e della produttività conseguente all'aumento della domanda e alla diffusione negli anni '80 delle tagliatrici a filo diamantato e a catena diamantata, conduce tuttavia ad

---

<sup>3</sup> S. NAPOLI, *Settore*, 1998, op. cit. in bibliografia.

<sup>4</sup> Oltre l'85% del marmo estratto veniva posto in discarica, al ritmo di oltre tre milioni di tonnellate l'anno.



una nuova impennata degli scarti, che nel 1981 superano il milione di tonnellate e nel 1991 i 2 milioni di tonnellate annue.<sup>5</sup>

Attualmente la gravità della situazione sembra

Figura 21 - Ravaneto nei pressi del Monte Altissimo (foto eseguita da D. Basilio).



concretamente ridimensionata in seguito all'intervento, dettato da nuove opportunità di mercato, di aziende di frantumazione e macinazione. L'enorme accumulo che si è avuto nel tempo, non sembra più essere un problema ed il mercato mondiale del carbonato di calcio in polvere fine e micronizzato assorbe grandissime quantità di questo prodotto.<sup>6</sup>

### 2.1.2 Il cocciame

Con questo termine si identificano gli scarti solidi della lavorazione di marmi e graniti. Si differenziano dai precedenti per una serie di fattori quali il luogo di produzione, il loro aspetto, la disomogeneità.

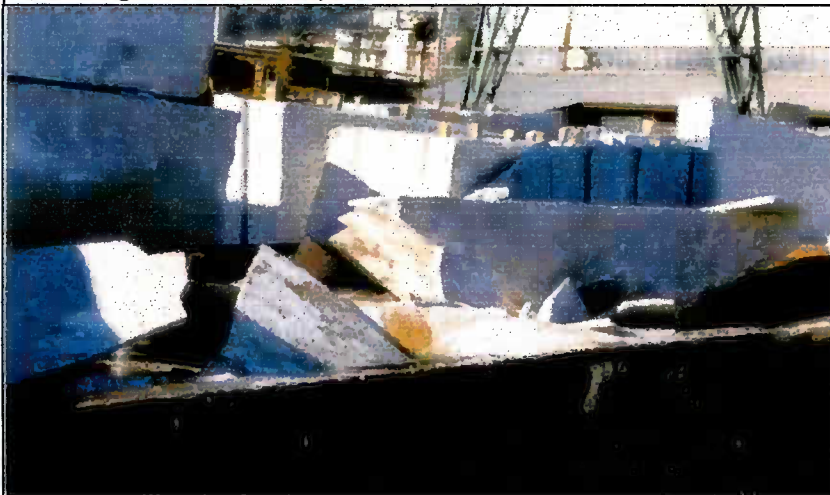
Il *cocciame* si genera in segheria ed in laboratorio e rappresenta sia gli scarti del blocco che viene trasformato in lastre, sia quelli delle lastre stesse in seguito alla loro rifinitura. La forma di conseguenza è quasi sempre più frammentata e spigolosa rispetto al materiale di ravaneto (fig. 22), mentre il marmo non è più il solo costituente. Ciò sarà in stretta dipendenza dai tipi

<sup>5</sup> G. SANSONI, *Impatto*, 1991, 5-6, op. cit. in bibliografia.

<sup>6</sup> Fonte I.M.M.

di lavorazione e dai lapidei trattati nello stabilimento in questione ma, facendo un'analisi generale, ci si rende conto che il cocciame può essere costituito da

**Figura 22 - Cocciame nel piazzale di una segheria presso Carrara** (foto eseguita da D. Basilio).



solo marmo, da solo granito o da entrambi.

Queste disomogeneità rendono più difficile il riciclaggio rispetto ad un ravaneto dove il materiale è quasi sempre identico in quanto proveniente dalla stessa cava. In effetti, per anni questi scarti sono finiti abusivamente nei fiumi accompagnati dai fanghi di segagione, dove hanno causato un forte impatto ambientale. Attualmente in parte vengono frantumati ed utilizzati come materiale inerte per riempimenti, in massima parte finiscono in discarica.<sup>7</sup>

## 2.2 Fanghi

Per la miscela acqua-polvere di marmo prodotta dalla segagione è stato coniato un neologismo noto in tutta la nazione italiana col nome di *marmettola* (fig. 23). Lo stesso termine si usa

**Figura 23 Marmettola di marmo** (foto eseguita da D. Basilio).



<sup>7</sup> Fonte I.M.M.

comunemente per indicare i fanghi di granito, determinati dalla segazione di quest'ultimo.

Un'analisi delle tecnologie impiegate può indicare quali altri costituenti possono accompagnare in piccole o piccolissime proporzioni lo sfrido della pietra, distinguendo alcuni tipi di marmettola.

Nel caso specifico i processi da considerare sono: la segazione al telaio, il taglio con dischi a concrezione diamantata, la levigatura e la lucidatura con mole abrasive e additivi lucidanti.<sup>8</sup>

### 2.2.1 Marmettola derivante dalla segazione dei marmi con utensili diamantati

La composizione mineralogica di questi materiali rispecchia quella dei marmi da cui derivano. Il costituente principale, in tenori fino ad oltre il 99% nei termini più puri, è sempre la calcite; tra gli altri carbonati può essere presente la dolomite, in tenori che vanno dalle tracce fino a valori relativamente alti nei marmi dolomitici; gli accessori, sempre presenti in quantità ridotte o in tracce sono per lo più le miche (muscovite o biotite), il quarzo, i silicati magnesiaci (prevalentemente cloriti), i feldspati, il rutilo.

**Tabella 1 - Esempi di composizione chimica di campioni di fanghi di segazione di marmi.**

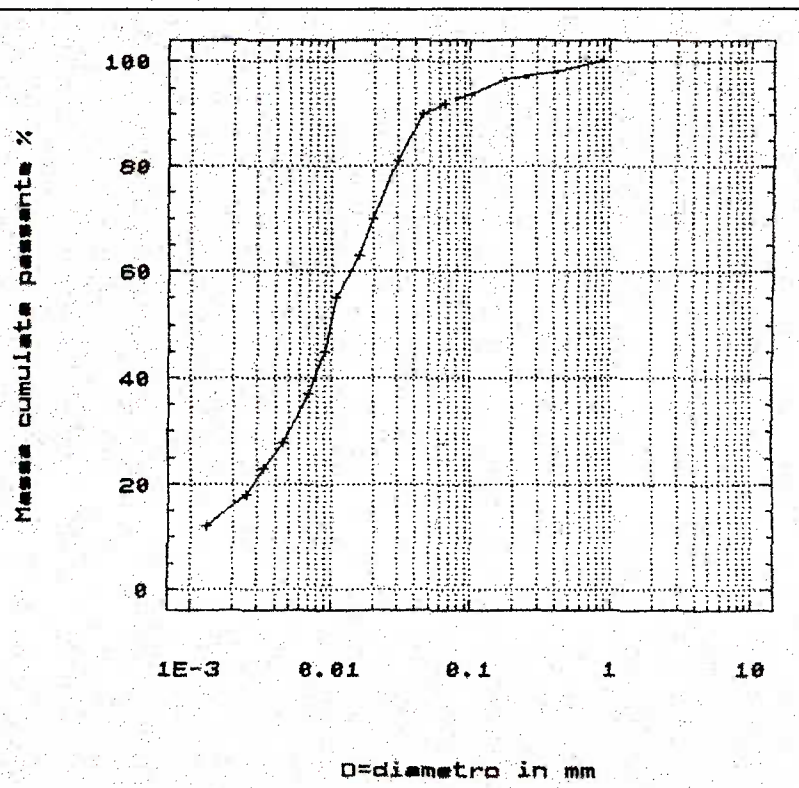
Camp.	P.C.	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO
1	42,64	55,12	1,27	0,00	0,04	0,68	0,17	0,01	0,01	0,06
2	43,25	55,17	1,23	0,00	0,02	0,21	0,07	0,00	0,00	0,06
3	42,10	54,77	0,76	0,00	0,10	1,82	0,40	0,48	0,01	0,06

P.C. = perdita di calcinazione.

<sup>8</sup> A. FRISA MORANDINI - G. VERGA, *Problemi*, in *BdAMS 1990*, n. 1-2, 247, op. cit. in bibliografia.

Nella tabella 1 vengono riportati i risultati delle analisi chimiche su alcuni campioni. Si osserva che la composizione è molto uniforme tra i vari campioni; in particolare si ha inoltre la presenza di modeste ma non trascurabili quantità di magnesio (intorno all'1% di

Figura 24 - Analisi granulometrica polvere da taglio marmi (da Situazione e prospettive dell'industria lapidea).



MgO) e l'assenza di elementi coloranti quali il ferro e il titanio.

Riguardo alla granulometria si ha dall'esempio che ben il 70% del materiale è presente in particelle inferiori a 20 micron, mentre il minore di 5 micron è il 15% circa, a dimostrazione dell'estrema finezza di questi prodotti.

Un'altra proprietà fisica di grande importanza è la concentrazione di solido: mediamente essa è del 20-30% circa. Trattasi però di una proprietà modificabile con opportuni trattamenti (addensamento, filtrazione).<sup>9</sup>

<sup>9</sup> C. CLERICI - A. FRISA MORANDINI, *Problematiche*, in *MGP 1987*, n. 36, 39-40, op. cit. in bibliografia.

## 2.2.2 Marmettola derivante dalla segagione dei marmi con telai a sabbia silicea

Questo metodo di segagione è ormai sostituito dai più efficaci telai a lame diamantate. Tuttavia certe varietà di marmi particolarmente delicati come il “Verde Alpi” vengono ridotte in lastre con i vecchi telai a sabbia silicea.<sup>10</sup> I fanghi derivanti da telai a sabbia silicea sono pertanto costituiti da detriti a composizione carbonatica mescolati a sfridi quarzosi.

## 2.2.3 Marmettola derivante dalla segagione dei graniti con telai a graniglia metallica

Questi materiali sono costituiti da una miscela dei detriti di taglio e degli sfridi della *torbida abrasiva*<sup>11</sup>. Al contrario del caso precedente, non è possibile effettuare una generalizzazione della composizione dei residui in conseguenza della varietà di rocce silicotiche che vengono lavorate, anche presso il medesimo impianto; tuttavia questi fanghi hanno una caratteristica composizionale in comune: l'elevato tenore in graniglia metallica.

I fanghi di segagione saranno perciò composti, oltre che dai detriti di pietra (quarzo e silicati vari) anche da sfridi di graniglia di acciaio la cui proporzione è valutabile, sulla base dei consumi di graniglia, intorno al 10-15% del rifiuto secco. Essi avranno inoltre un pH fortemente basico (11-

**Tabella 2 - Esempio di composizione chimica di un fango derivante da segagione di granito.**

Ossidi	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO
Tenore in massa %	2,8	3,4	1,1	11,6	61,6	5,5	12,5	0,2

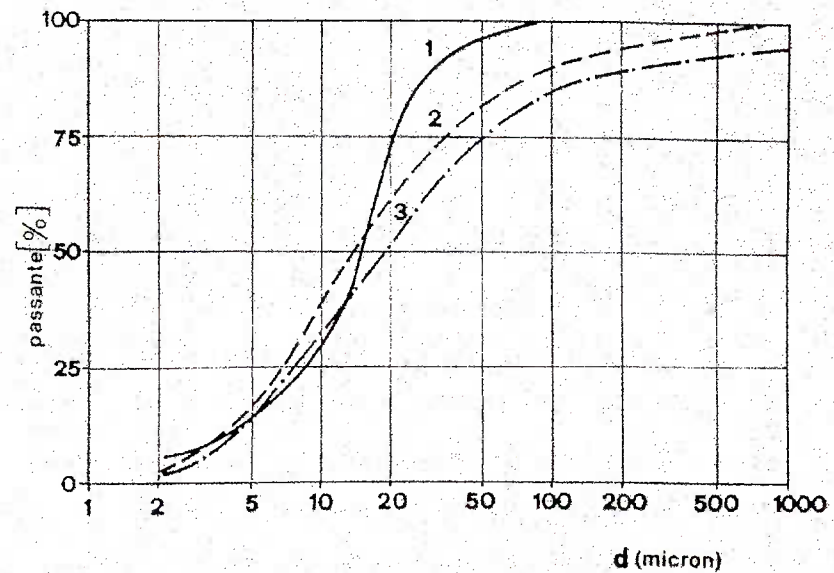
<sup>10</sup> Informazioni ottenute il 28/05/1998 in seguito a colloquio con personale della M.G.I.

<sup>11</sup> La torbida abrasiva è confezionata con graniglia di acciaio additivata con calce per evitare l'ossidazione della graniglia stessa.

12) per la presenza di calce.<sup>12</sup>

Dall'esame di alcune curve granulometriche di questi fanghi, si può vedere che la quantità minore di 20 micron rappresenta il 60-70%, mentre

Figura 25 - Esempi di curve granulometriche cumulative di fanghi residuati di lavorazione di graniti commerciali: 1-fango di taglio con dischi diamantati; 2 e 3-fanghi di segagione al telaio (dall'articolo di A. Frisa Morandini e G. Verga).



la frazione minore di 5 micron è il 10-15%; rispetto al caso precedente si osserva una maggior estensione granulometrica, con quantità non trascurabile di grani a dimensioni maggiori di 0,5 mm.

La concentrazione di solido di questi prodotti, misurata allo scarico dei depuratori inseriti nei circuiti della torbida abrasiva, è pari al 45-55%; anche in questo caso trattasi di caratteristica che può essere modificata.<sup>13</sup>

#### 2.2.4 Marmettola prodotta dal taglio del granito con dischi diamantati

Nel taglio con dischi di lastre e masselli per la produzione di manufatti di diverse dimensioni, l'azione di demolizione della pietra è operata da denti di concrezione diamantata costituiti per l'1-2% da diamante e per il resto da legante. Lo sfrido della concrezione diamantata finirà nei residui di

<sup>12</sup> A. FRISA MORANDINI - G. VERGA, *Problemi*, in *BdAMS 1990*, n. 1-2, 247, op. cit. in bibliografia.

lavorazione ma, trattandosi di un abrasivo estremamente duro, i suoi consumi sono ridotti di molti ordini di grandezza. Di conseguenza i fanghi di taglio con dischi saranno totalmente costituiti da detriti di pietra con tracce minime dei metalli costituenti il legante della concrezione diamantata.<sup>14</sup>

### 2.2.5 Marmettola di levigatura e di lucidatura

Nelle operazioni di levigatura e di lucidatura la superficie della lastra viene resa piana mediante l'asportazione delle asperità ad opera dell'azione successiva di una serie di mole a granulometria dell'abrasivo decrescente. Le mole sono costituite da grani di *carborundum* con un legante di solito a base di ossido di magnesio.

Le marmettole di questo tipo sono quindi assimilabili, sia per i marmi che per i graniti, a quelle prodotte con utensili diamantati e si differenziano per il solo fatto di essere più fluide.

---

<sup>13</sup> C. CLERICI – A. FRISA MORANDINI, *Problematiche*, in *MGP 1987*, n. 35, 40, op. cit. in bibliografia.

<sup>14</sup> A. FRISA MORANDINI – G. VERGA, *Problemi*, in *BdAMS 1990*, n. 1-2, 247, op. cit. in bibliografia.

### 3 Caratteristiche della marmettola

Volendo fornire una generica descrizione di questo materiale, va ricordato che l'impianto di raccolta convoglia al decantatore verticale e poi al filtropressa, tutta la marmettola proveniente dal ciclo di produzione. Qui essa viene disidratata ed esce con un contenuto d'acqua pari al 20÷30 %.

Si presenta abbastanza compatta, di colore bianco se di marmo, grigio se di granito (fig. 26). Inoltre, i fanghi che la compongono, sono in massima parte generati dalla segagione, la cui incidenza è superiore a tutte le successive lavorazioni (ad esempio solo l'8% dei fanghi residuati vengono prodotti dall'operazione di lucidatura<sup>15</sup>). Ha la caratteristica di non riassorbire l'acqua ceduta e di non cedere quella percentuale che possiede.<sup>16</sup>

Talvolta le marmettole di marmo e di granito vengono mescolate: tale pratica però è sempre meno frequente e dipende dal tipo d'azienda e dalla sua organizzazione.

Le caratteristiche della



<sup>15</sup> G. BELARDI – M. MANETTA – S. MASSIMILLA, *Il riutilizzo*, in *Inq.* 1998, n. 2, 44, op. cit. in bibliografia.

<sup>16</sup> R. CAPACCIOLI - S. NICCOLAI, *Recupero*, 1989, 8, op. cit. in bibliografia.



marmettola possono essere analizzate da diversi punti di vista, ognuno dei quali contribuisce a mettere in luce un nuovo aspetto di questo materiale. È così possibile osservarne i cambiamenti imposti dall'evoluzione tecnologica, farne una classificazione, o valutare i problemi creati dall'impatto ambientale e dal gran quantitativo di fanghi prodotti nel comprensorio Apuo-Versiliese.

### 3.1 L'innovazione tecnologica

Nel corso degli anni si sono verificati nei componenti della marmettola una serie di cambiamenti lenti ma significativi, dovuti a migliorie tecnologiche quasi sempre rivolte all'evoluzione di macchinari per la segazione e la lavorazione dei marmi e dei graniti.

Tali migliorie tecnologiche hanno sempre avuto una ripercussione positiva sui fanghi, determinando un sottoprodotto di “qualità” migliore, caratterizzato da un sempre minor numero di impurezze, e che tuttora continua ad evolversi a vantaggio di eventuali possibilità di riciclaggio.

#### 3.1.1 Dal telaio a sabbia al telaio diamantato

I vecchi telai a sabbia segavano il marmo sfruttando le capacità abrasive di una miscela di sabbia e acqua, il cui attrito col materiale era causato dal movimento pendolare alternativo del quadro portalame. Negli ultimi anni il telaio a lame diamantate ha sostituito, completamente, i telai tradizionali, con un notevole aumento della produttività, se si considera che i telai diamantati effettuano una produzione di circa dieci volte superiore a quella

dei telai tradizionali.<sup>17</sup> Il taglio è prodotto da utensili con segmenti a concrezione diamantata, saldati al bordo inferiore della lama.

La marmettola prodotta assume anch'essa una diversa composizione: scompaiono gli sfridi quarzosi generati dalla sabbia e si genera un fango quasi totalmente di carbonato di calcio. Ciò, inoltre, comporta una diminuzione enorme della quantità globale dei reflui di lavorazione. La sabbia, infatti, costituisce il 62% dello scarico complessivo dei telai tradizionali.<sup>18</sup>

### 3.1.2 Il problema del piombo nei fanghi

Fino a pochi anni fa nella lucidatura del granito venivano impiegati ossidi di piombo e stagno e piombo metallico. Le mole, costituite da grani di carborundum con un legante di solito a base di ossido di magnesio, nella fase finale venivano sostituite con un piatto a fogli alternati di piombo e feltro, che agiva in presenza di additivi lucidanti in polvere (potè, miscela di stagno con il suo biossido).

I fanghi derivanti da tali lavorazioni erano caratterizzati da un certo tenore di metalli pesanti che, anche se insolubili,

**Figura 27 - Feltro con piombo e additivi lucidanti per marmi e graniti** (da Marmomacchine Directory 1996-97: CEA Abrasivi).



<sup>17</sup> A. CONTI, *Il marmo*, 1996, 43-44, op. cit. in bibliografia.

<sup>18</sup> Fonte COSMAVE.

potavano preoccupare in caso di contatto con piogge acide.

Successivamente il processo tradizionale di lucidatura è stato sostituito da un nuovo metodo, basato sull'impiego di particolari mole lucidanti: esse sono costituite da grani molto fini di additivi lucidanti (biossido di stagno e allumina) incorporati in un legante a base di resina poliestere. In tal modo si evita la presenza di tracce di metalli pesanti nei residui in quanto il piombo non viene più usato e lo stagno è presente soltanto sotto forma di biossido.<sup>19</sup>

Gli utensili attualmente impiegati per il granito possono essere di tipo tradizionale (magnesiaci) oppure diamantati.

Negli ultimi mesi si stanno sperimentando con successo nuovi tipi di utensili diamantati per il marmo; questi consentono un risparmio economico nei confronti degli abrasivi magnesiaci ora utilizzati ed inoltre hanno il vantaggio di allungare infinitamente il tempo di usura.<sup>20</sup>

### 3.1.3 Prospettive future nel taglio del granito

Da qualche anno si sta tentando di mettere a punto un telaio diamantato per la segazione del granito. L'eliminazione della torbida abrasiva potrebbe rappresentare un interessante vantaggio economico e, da un altro punto di vista, il miglioramento nella composizione dei fanghi.

Il disco diamantato riesce a tagliare il granito grazie al fatto che nel momento dell'impatto con il materiale, la velocità relativa raggiunge il valore di 30-40 m/sec, velocità che non si raggiunge nel caso delle lame.<sup>21</sup>

Per ovviare a tale problema occorre sviluppare l'impiego di utensili rotanti

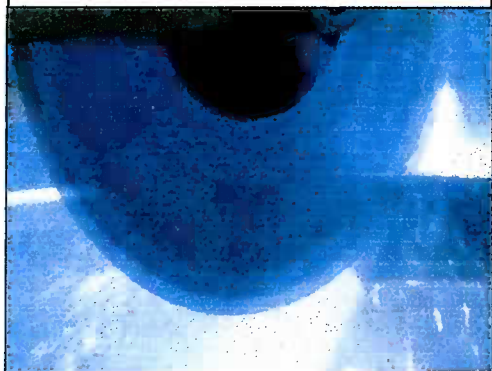
---

<sup>19</sup> A. FRISA MORANDINI – G. VERGA, *Problemi*, in *BdAMS 1990*, n. 1-2, 248, op. cit. in bibliografia.

<sup>20</sup> P. POGGIANA, *Trattamento*, in *MD 1998*, 202-203, op. cit. in bibliografia.

<sup>21</sup> REGIONE TOSCANA – PROVINCIA DI MASSA CARRARA, *Settore*, 1996, 72, op. cit. in bibliografia.

**Figura 28 - Taglio del granito con disco diamantato** (da Marmomacchine Directory 1997-98: Said).



come il filo: sul mercato, infatti, è già possibile trovare impianti a filo diamantato, proposti come alternativa al telaio tradizionale a moto alternato.

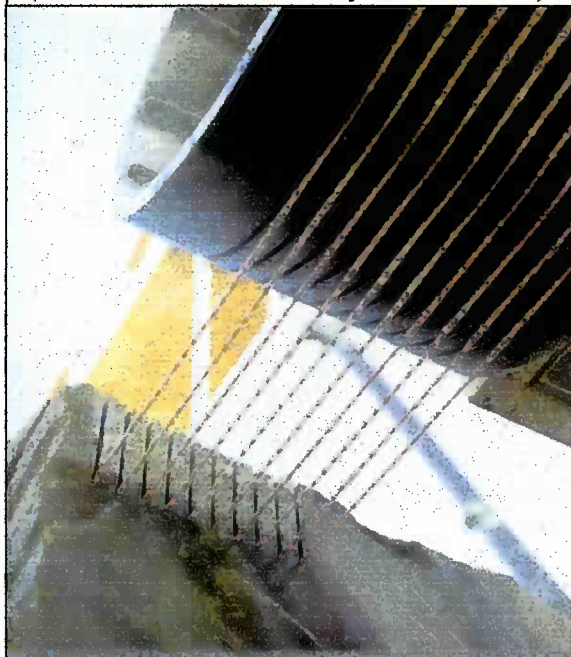
Gli *impianti multifilo* sono concepiti e realizzati per il taglio dei blocchi in lastre utilizzando simultaneamente fili diamantati multipli (fig. 29).

Essi rappresentano l'ultima rivoluzionaria applicazione del filo diamantato.

Il sistema multifilo si propone per la segagione dei blocchi di ogni tipo di pietra naturale, in alternativa, e, in qualche caso, in sostituzione del tradizionale telaio a lame. Il sistema di funzionamento è sostanzialmente quello di allestire un circuito equipaggiato con più fili diamantati, in posizione affiancata l'uno all'altro. Il gruppo di fili, per progressivo abbassamento opera il taglio sul blocco posizionato, come di consueto su un carrello.

L'impianto multifilo costituisce una macchina fortemente innovativa, con molteplici punti di grande interesse; innanzi tutto è possibile tagliare indifferentemente marmi e graniti semplicemente cambiando il tipo di filo diamantato e non ricorrendo a tutte quelle operazioni di preparazione ed armatura come

**Figura 29 - Segagione con impianto multifilo** (da Marmomacchine Directory 1996-97: Wires).



avviene nei telai tradizionali. Si intuisce facilmente il grosso vantaggio di poter ottenere simultaneamente lastre di spessore differente, semplicemente agendo sulla posizione dei fili ovvero rendersi indipendenti dagli elementi che, tipicamente, accompagnano un telaio tradizionale (impianto idraulico, calce, graniglia, fermi macchina, lavaggi, ecc.).

Va poi considerata una composizione dei fanghi a scarsissima nocività e il conseguente trattamento facilitato degli stessi.<sup>22</sup>

### 3.1.4 Disidratazione dei fanghi

L'esigenza di ridurre i costi di trasporto della marmettola e di riciclare l'acqua negli impianti della segheria, ha imposto l'utilizzo di *decantatori statici* e *filtropresse*. Questi riducono notevolmente la percentuale di umidità



**Figura 31 - Filtropressa in funzione (E)** (foto eseguita da D. Basilio presso Carrara).

dei fanghi portandola fino a valori prossimi al 25% e consentono di risparmiare sui consumi di acqua, compensando complessivamente i costi degli stessi impianti di compattazione.

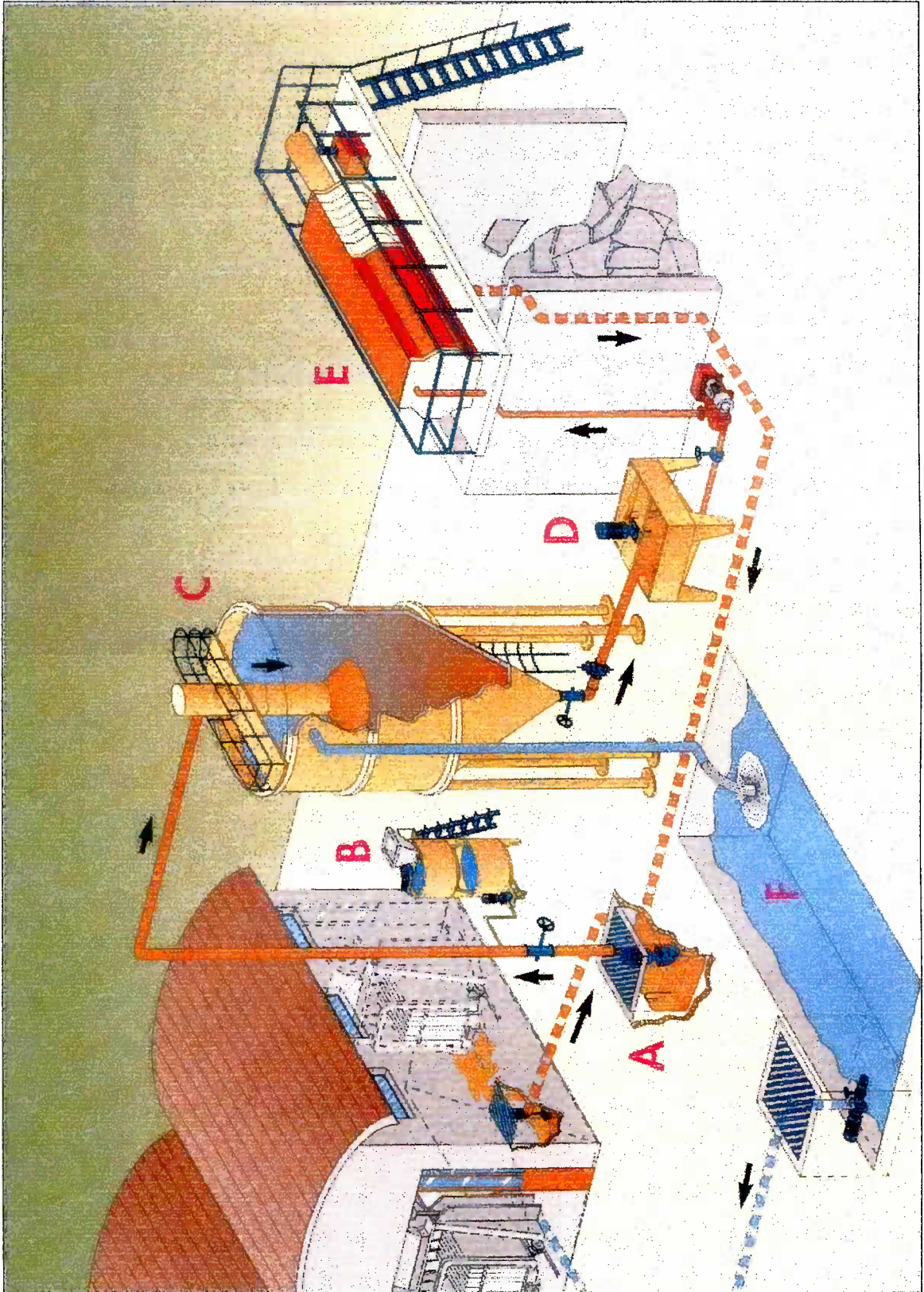
Le acque reflue provenienti dai processi di lavorazione vengono convogliate attraverso una tubazione nel pozzetto di raccolta dove,



**Figura 30 - Decantatore statico (C)** (foto eseguita da D. Basilio presso Carrara).

<sup>22</sup> P. PRIMAVERI, *20 anni*, in *MM* 1998, n. 141, 262-263, op. cit. in bibliografia.

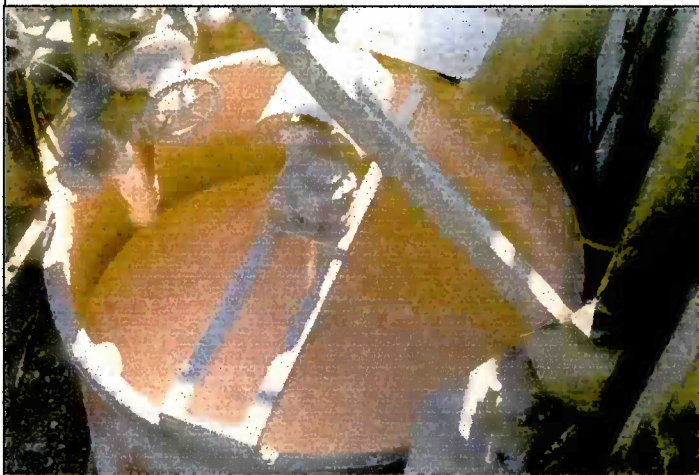
Figura 32 - Schema di impianto per la disidratazione dei fanghi (Fraccaroli & Balzan).



**Figura 33 - Pozzetto di raccolta dei reflui (A)** (foto eseguita da D. Basilio in una segheria a Carrara).



**Figura 34 - Fanghi di marmo decantati (D)** (foto eseguita da D. Basilio in una segheria presso Carrara).

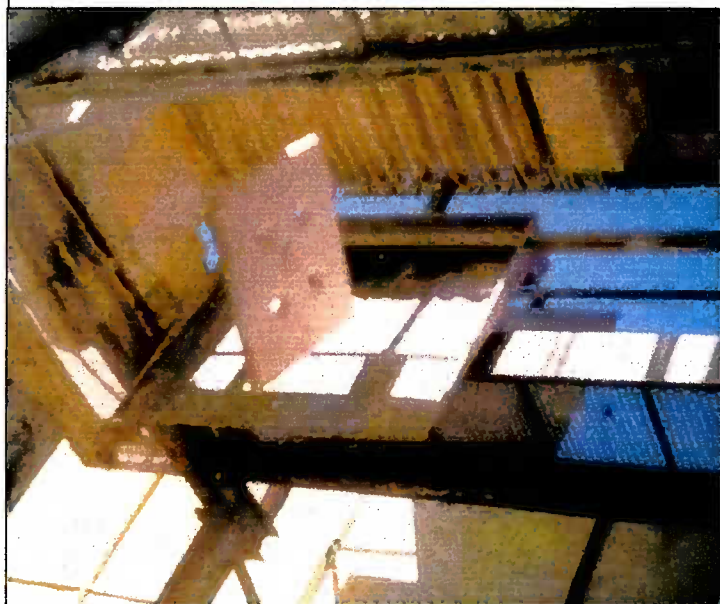


**Figura 35 - Vasca di raccolta marmettola filtropressata** (foto eseguita da D. Basilio in una segheria presso Carrara).



l'elettropompa sommersa provvede ad inviare le acque al decantatore statico. Durante il percorso dal pozzetto di raccolta al decantatore, le acque torbide ricevono la soluzione di polielettrolita (flocculante) ottenuta nella stazione di miscelazione. Il flocculante viene solubilizzato nel contenitore superiore della stazione per mezzo di un elettroagitatore; il prodotto viene quindi scaricato nel contenitore inferiore, dove una pompa dosatrice regolabile inietta il flocculante nella tubazione di mandata. Si ottiene in tal modo un'agglomerazione delle particelle di fango in sospensione e quindi un aumento della velocità di sedimentazione. La torbida

**Figura 36 - Al termine della disidratazione, il filtropressa si apre e lascia cadere la marmettola nella vasca (foto eseguita da D. Basilio in una segheria presso Carrara).**

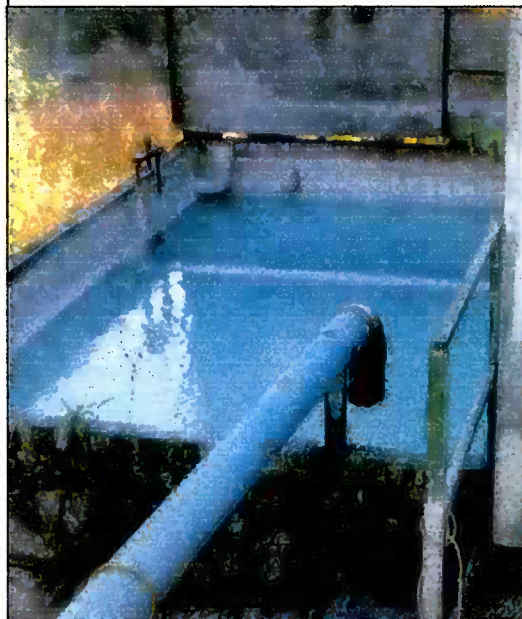


entra quindi nel decantatore attraverso il canale cilindrico interno e subisce una variazione di velocità in corrispondenza della parte conica provvista di stramazzi laterali, mentre l'acqua limpida risale lungo la corona circolare del decantatore e tracima nel canale superiore, che

provvede a convogliarla nell'apposita vasca di raccolta (fig. 37); da qui l'acqua limpida sarà nuovamente immessa nei processi di lavorazione.

I fanghi si depositano sul cono di fondo del decantatore e sono estratti per gravità in modo discontinuo, tramite una valvola pneumatica alimentata dal compressore. Quindi vengono inviati nella vasca di raccolta fanghi (fig. 34), dotata di un gruppo di sonde per il controllo del livello; un elettroagitatore impedisce la precipitazione dei solidi. In seguito una pompa ad alta portata antiabrasiva invia i fanghi alla filtropressa.

**Figura 37 - Acqua recuperata (F) (foto eseguita da D. Basilio in segheria a Carrara)**





Nella filtropressa, del tipo a piastre con camere, avviene la separazione del liquido ancora trattenuto nei fanghi, mentre la parte solida, trattenuta dalle tele filtranti, rimane all'interno delle piastre (fig. 36). I fanghi disidratati sono raccolti in forma palabile alla base del filtro.<sup>23</sup>

Il flocculante non incide sulle caratteristiche della marmettola: viene utilizzato in quantità pari a circa 100 g su 80 Kg di secco e non lascia tracce nei fanghi.<sup>24</sup>

### 3.2 Classificazione dei fanghi

La necessità di dare alle marmettole una caratterizzazione merceologica, indispensabile nel caso di eventuali possibilità di riutilizzo, ha imposto la suddivisione dei fanghi in tre classi principali di provenienza, che si basano su analisi di laboratorio effettuate su una serie di campioni di fango raccolti nel 1987 da personale tecnico specializzato (tab. 3).<sup>25</sup>

Ciò che caratterizza questi valori è il bassissimo contenuto di metalli contaminanti, sebbene le analisi chimiche risalgano ad un periodo in cui la lucidatura si eseguiva con utensili di tipo tradizionale. Questo dimostra la bassissima incidenza dei fanghi di lucidatura su quelli di segazione e la conseguente non pericolosità della marmettola, fin dai tempi in cui veniva utilizzato il piombo per lucidare le lastre.

Una notazione particolare va riservata al contenuto d'acqua presente nei fanghi, dipendente dal sistema di depurazione adottato dalle singole aziende produttrici. Inizialmente i valori riportati per le diverse classi erano il risultato di una media standard dei prelievi effettuati con minimi del 20%

---

<sup>23</sup> Tratto da un depliant della ditta Fraccaroli & Balzan.

<sup>24</sup> Colloquio avvenuto il 29/5/98 con personale della Galligani Filtri.

<sup>25</sup> COOPERATIVA AMBIENTE, *Reflui*, 1989, 73-78, op. cit. in bibliografia.

di umidità riscontrati sui fanghi trattati con filtropressa e massimi del 97-98% di umidità negli altri casi. Nel 1994, constatata una quasi totale adozione da parte delle aziende di impianti di filtropressa, si è ritenuto opportuno assumere un tenore d'umidità pari al 25%. Tale aggiornamento ha avuto conseguenze anche sul peso specifico, aumentato del 12% circa

**Tabella 3 - Classificazione dei fanghi.**

<b>CLASSE 1: fanghi provenienti dalla lavorazione e dalla segazione di marmi bianchi e colorati</b>			
Descrizione	% in peso	Descrizione	% in peso
Umidità	25	Metalli contaminanti	0,02
Sost. org. e acqua di crist.	3	Silice, silicati, diamante	3,7
CaCO <sub>3</sub>	89,5		
MgCO <sub>3</sub>	3,4	pH	8,57
FeO	0,4	Peso specifico (Kg/mc)	1901,2
<b>CLASSE 2: fanghi provenienti dalla lavorazione e dalla segazione di marmi bianchi, colorati e graniti</b>			
Descrizione	% in peso	Descrizione	% in peso
Umidità	25	MnO	0,07
Sost. org. e acqua di crist.	6,6	Pb, Zn, Cu, Ni	0,07
CaCO <sub>3</sub>	11,3	Silice, silicati, carburi	67,5
CaO	4,5		
MgCO <sub>3</sub>	4,1	pH	9,47
FeO	5,86	Peso specifico (Kg/mc)	1722,6
<b>CLASSE 3: fanghi provenienti dalla lavorazione e dalla segazione di granito</b>			
Descrizione	% in peso	Descrizione	% in peso
Umidità	25	Cu	0,015
Sost. org. e acqua di crist.	13	Cr	0,01
CaO	4,1	Ni	0,001
MgO	1	Silice, silicati, carburi	68,0
FeO + Fe <sub>3</sub> C	13,8		
MnO	0,09	pH	10,45
Zn	0,003	Peso specifico (Kg/mc)	1691,7

per i fanghi di classe 1 e del 16÷17% per i fanghi di classe 2 e di classe 3.<sup>26</sup> La tabella 3 è riferita a quest'ultima versione: peso specifico e tenore d'umidità sono stati modificati, mentre gli altri dati sono imputati al fango secco.

Un'ulteriore precisazione sulla classificazione dei fanghi, riguarda le marmettole di *classe 2*. Tale tipologia di fanghi viene oggi prodotta in quantità molto ridotte rispetto a qualche anno fa, in quanto l'acqua di ricircolo ottenuta dalla marmettola di granito contiene tracce di calce provenienti dai residui della torbida abrasiva. Il suo contatto con i marmi colorati produce effetti negativi che si manifestano sotto forma di evidenti aloni bianchi sulle superfici delle lastre. Per questo motivo vi è la tendenza da parte degli stabilimenti, di tenere separati i reflui, convogliandoli in due impianti di disidratazione differenziati.<sup>27</sup>

### 3.3 Impatto ambientale della marmettola

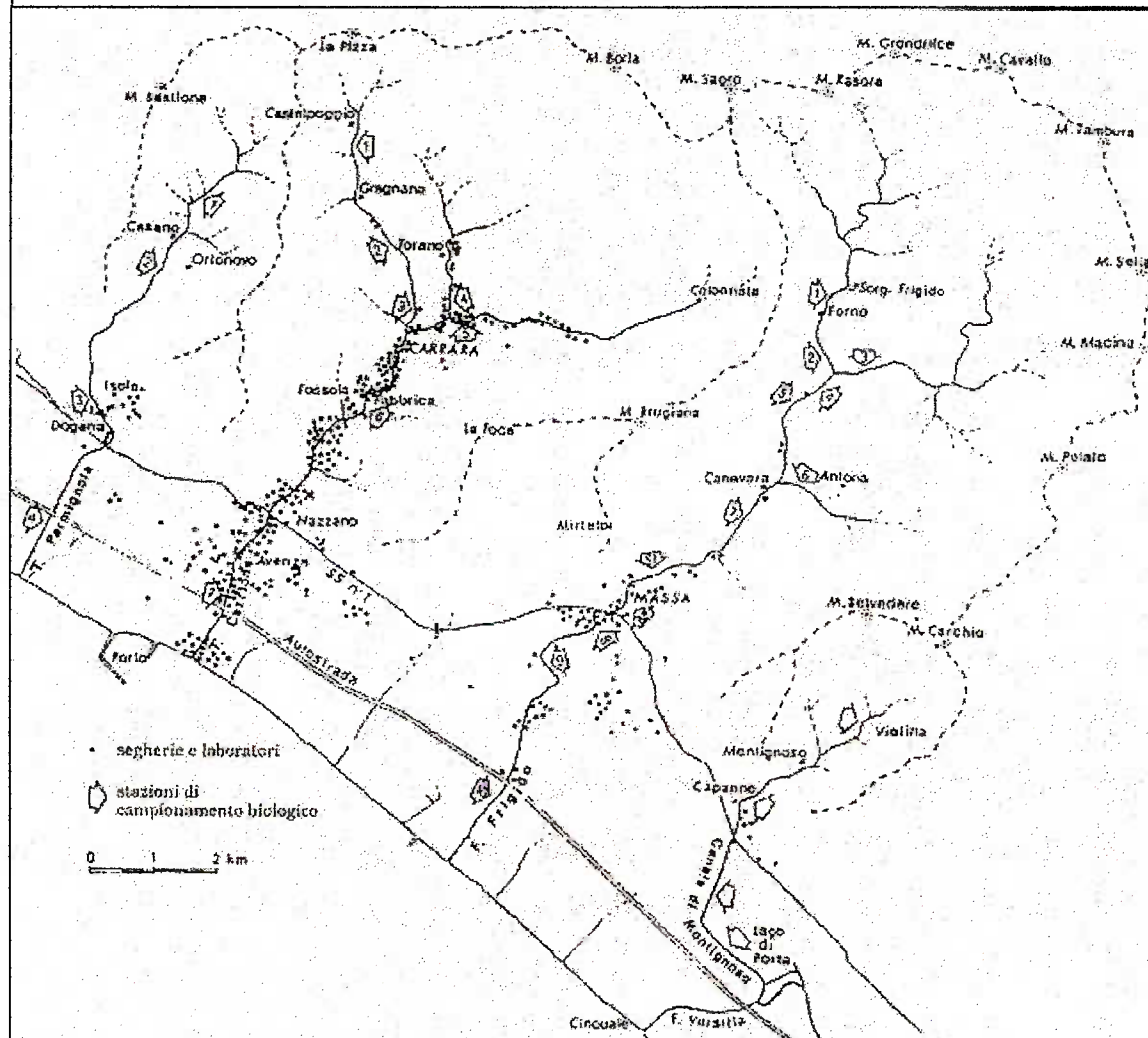
L'impatto degli scarichi fluidi delle segherie ha sollevato negli anni passati ripetute ed accese critiche da parte di ampi strati di popolazione, in particolare nel mondo ambientalista, e una più decisa iniziativa pubblica.

La fig. 38 mostra la distribuzione delle segherie e dei laboratori lapidei. L'evidente forza attrattiva esercitata dai corsi d'acqua è dovuta sia a motivi storici ormai venuti meno, come la facilità da parte delle aziende, di soddisfacimento dei rilevanti consumi idrici, fino a non molti anni fa attinti direttamente dai fiumi (finché il livello di inquinamento delle acque, causato dalle stesse aziende lapidee, le ha rese inutilizzabili), sia alla comodità di scaricarvi i reflui della lavorazione.

---

<sup>26</sup> AMBIENTE S.C.R.L., *Studio*, 1994, 10-11, op. cit. in bibliografia.

**Figura 38 - Mappa delle segherie e dei laboratori nell'area di Massa Carrara (dalla relazione di G. Sansoni).**



### 3.3.1 Entità degli scarichi

Di fronte al carico inquinante fino ai primi anni '90 riversato nei corsi d'acqua dalle segherie (tab. 4), nessun aggettivo appare esagerato: i solidi sospesi totali negli scarichi si aggiravano mediamente attorno ai 10.000 mg/l a Massa e ai 45.000 mg/l a Carrara, superando di centinaia di volte il limite (80 mg/l) fissato dalla tab. A della legge 319/76<sup>28</sup>; non erano rari gli scarichi che superavano i 100.000 mg/l. Se si tiene conto delle ingenti

<sup>27</sup> Informazioni ottenute il 28/11/98 in seguito a colloquio con il Dott. S. Celsi.

**Tabella 4 – Numero di aziende lapidee denunciate nei comuni di Carrara e di Massa e contenuto medio di solidi sospesi totali negli scarichi (limite di legge = 80 mg/l).**

Anno	CARRARA		MASSA	
	Aziende denunciate	Solidi sospesi totali (mg/l)	Aziende denunciate	Solidi sospesi totali (mg/l)
1980	0	-	3	14.000
1981	0	-	49	16.000
1982	98	50.000	0	-
1983	15	23.000	0	-
1984	12	52.000	1	8.000
1985	12	70.000	10	2.500
1986	4	6.000	50	5.500
1987	16	40.000	20	6.500
1988	86	39.000	1	1.000
1989	1	1.000	5	12.000
1990	33	48.000	31	11.000
<b>Totale</b>	<b>277</b>	<b>45.000</b>	<b>170</b>	<b>10.000</b>

portate degli scarichi e dell'elevato numero di aziende, il drammatico impatto sui popolamenti acquatici e il degrado dei fiumi e del litorale non destano più alcuna sorpresa.

### 3.3.2 Il ricorso alla magistratura

La linea d'intervento inizialmente adottata dall'USL fu di tipo legale: negli anni successivi al 1976, dopo un primo periodo "concesso" inutilmente agli imprenditori per consentire l'adeguamento alle disposizioni della legge 319, si procedette all'analisi degli scarichi delle aziende lapidee e, a partire dal 1980, alle denunce alla magistratura (447 denunce nel decennio 1980-90).

Divenne ben presto palese, tuttavia, la subalternità culturale della magistratura agli imprenditori del marmo: i procedimenti venivano rinviati di anno in anno, mentre nel vicino comprensorio marmifero versiliese gli imprenditori venivano assolti con le discutibili motivazioni dell'interesse

<sup>28</sup> Legge emanata nel 1976, che fissa i limiti di accettabilità degli scarichi idrici.

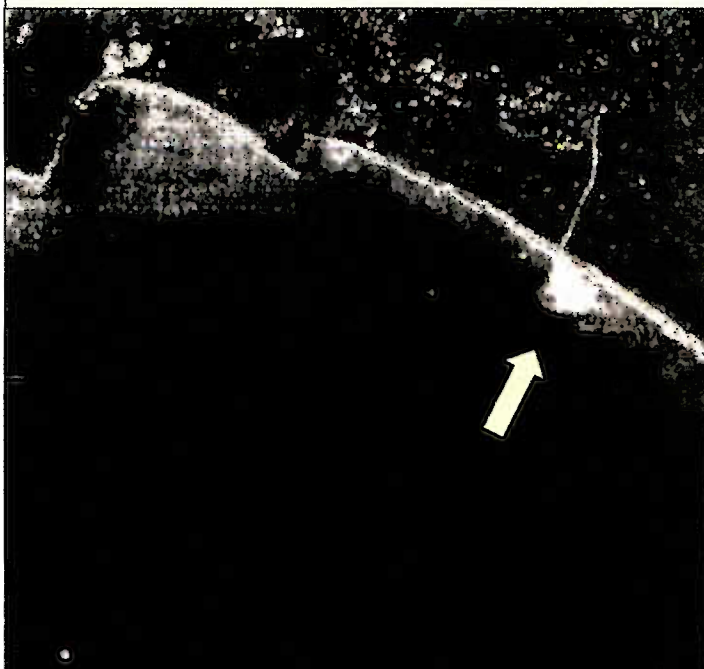
preminente del lavoro sull'ambiente e della presunta responsabilità degli enti locali che non avrebbero provveduto ad allestire siti per la discarica dei reflui compattati. D'altronde l'impatto ambientale della marmettola, considerata una polvere minerale inerte, era allora ritenuto dai più di natura sostanzialmente estetica e la tutela dell'ambiente non rientrava certo tra gli obiettivi prioritari dei sindacati di settore, delle forze sociali e delle amministrazioni locali.

### 3.3.3 Conseguenze dovute alla marmettola nei corsi d'acqua

Di fronte a questo quadro desolante il Servizio Multizonale di Prevenzione dell'USL intraprese un'operazione culturale di più ampio respiro avviando uno studio approfondito che, partendo dal mappaggio biologico dei corsi d'acqua (utilizzando i macroinvertebrati acquatici come indicatori di qualità), giunse ad una sintesi esauriente dell'impatto ambientale della marmettola.

Si stabilisce così che la marmettola, pur essendo priva di una propria tossicità, esplica un impatto drammatico sui popolamenti acquatici (fino alla loro totale scomparsa),

**Figura 39 - Immagine ripresa da satellite nei primi anni '90, rappresentante la zona costiera tra La Spezia e Marina di Massa. Risultano evidenti le correnti bianche lungo la costa, a partire dalla foce del torrente Frigido** (dal testo realizzato da Regione Toscana e Provincia di Massa Carrara).



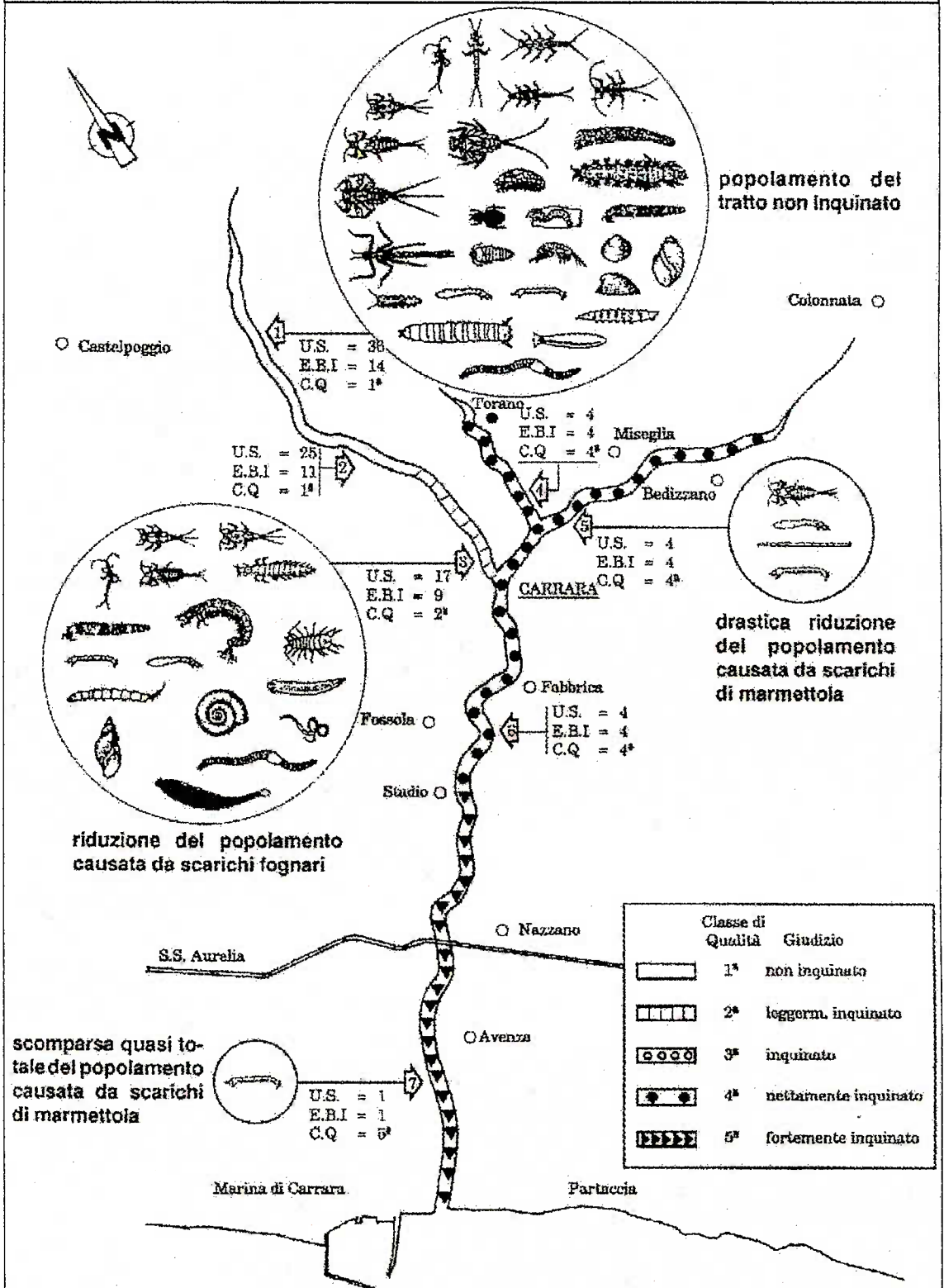
di gran lunga superiore a quello degli scarichi fognari e di altri inquinanti chimici. I principali meccanismi d'azione sono individuabili nella distruzione dei microambienti (la marmettola, sedimentando, ricopre il fondo con un uniforme strato melmoso, che ostacola la colonizzazione), nel danno diretto ai macroinvertebrati (abrasione corporea, occlusione branchie), nella diminuzione delle disponibilità alimentari (ridotta fotosintesi per la torbidità dell'acqua) e nel danno riproduttivo (seppellimento di uova e di stadi vitali fissati al substrato).

L'impatto, contenuto finché la polvere di marmo resta in sospensione e non raggiunge elevate concentrazioni, si esplica in tutta la sua drammaticità laddove, per la diminuita pendenza, si verifica la sedimentazione della marmettola.

I corsi d'acqua, privati delle comunità animali responsabili del potere autodepurante, trasportano al mare inalterato anche gran parte del carico inquinante organico: ne derivano ripetuti divieti di balneazione per il superamento dei parametri batteriologici, con le immaginabili conseguenze sull'economia turistica; altri divieti vengono emessi per la sola torbidità determinata dalla marmettola.

Oltre a quelli ricreativi, vengono progressivamente abbandonati anche gli usi produttivi delle acque fluviali, innescando un potente, seppure indiretto, meccanismo moltiplicatore dell'impatto e di diseconomie a carico dei settori agricolo e industriale e dell'intera società. Ne consegue, infatti, un abnorme ricorso all'emungimento dalla falda della pianura alluvionale che, ridotta ad un colabrodo da pozzi spesso mal eseguiti, diviene più vulnerabile agli inquinanti.

Figura 40 - Torrente Carrione: impatto biologico degli scarichi delle aziende lapidee (dalla relazione di G. Sansoni).





I sedimenti di marmettola, compattandosi, impermeabilizzano gli alvei, interrompendo gli scambi acquifero-fiume: ne risultano una netta riduzione della ricarica degli acquiferi planiziali (che favorisce l'ulteriore intrusione salina), un'accentuazione della torrenzialità del regime idrologico (piene più frequenti e violente; magre più spinte e prolungate), e un accresciuto rischio idraulico da esondazioni. I danni da straripamento, accentuati anche dall'innalzamento dell'alveo dei fiumi (per la cementazione dei sedimenti di marmettola intimamente compenetrati con gli scarichi di cocciame di marmo), forniscono l'alibi per una ulteriore canalizzazione e cementificazione dei corsi d'acqua, che ne esaspera il degrado.<sup>29</sup>

#### 3.3.4 Situazione odierna

Lo smaltimento abusivo della marmettola attraverso i corsi d'acqua, sembra oggi debellato. Corsi d'acqua come il Carrione nel comune di Carrara o come il Frigido nel territorio di Massa, hanno mutato colore, tornando ad assumere un aspetto più naturale.

I fanghi di marmo e granito, dopo le opportune operazioni di disidratazione, vengono prelevati dalle segherie con appositi automezzi e condotti in discarica o avviati ad alcune forme di riciclaggio.

Resta il problema della marmettola prodotta in cava in seguito ad estrazione e riquadratura dei blocchi: nella maggior parte dei casi viene riversata nei ravaneti, ma la sua quantità è talmente ridotta da non destare preoccupazioni.<sup>30</sup>

---

<sup>29</sup> G. SANSONI, *Impatto*, 1991, 6-11, op. cit. in bibliografia.

<sup>30</sup> Colloquio avvenuto il 26/10/1998 con il Dott. Crisquoro dell'Uff. Cave del Comune di Carrara.

### 3.4 Quantità di marmettola

Determinare con precisione le tonnellate di marmettola che annualmente vengono prodotte nel comprensorio Apuo-Versiliese, è praticamente impossibile. Le aziende del marmo sono sparse su tutto il territorio e ad esse vanno aggiunti una miriade di laboratori ancora più difficili da controllare.

Le denunce dei rifiuti (MUD), che per legge ogni singola ditta deve far pervenire alle camere di commercio locali, sono gestite da un software che, a detta degli operatori delle stesse camere di commercio di Carrara e di Lucca, non consente il calcolo della produzione totale dei fanghi.

Ad aggravare la situazione vi è la mancanza di stime ufficiali: le poche valutazioni esistenti, ormai troppo vecchie, sono ottenute con metodi di dubbia precisione, il cui margine d'errore sembra essere molto elevato.

#### 3.4.1 La produzione annua di marmettola

Da una stima teorica del 1986 effettuata dalla Cooperativa Ambiente di Massa per conto della Regione Toscana, risulta una produzione annua di marmettola pari ad un massimo di 1.617.000 t (tab.5). Essa è stata ottenuta considerando il numero dei macchinari per la segazione e la lavorazione

**Tabella 5 - Anno 1986: produzione fanghi nell'intero comprensorio Apuo-Versiliese.**

Provenienza fango	mc/anno	t/anno
Levigatrici - lucidatrici	115.000 ÷ 155.000	165.000 ÷ 220.000
Telai a granito	260.000 ÷ 302.000	325.000 ÷ 430.000
Lavorazione granito	18.000 ÷ 23.000	28.000 ÷ 32.000
Lav. e seg. marmi bianchi e col.	414.500 ÷ 506.500	765.000 ÷ 935.000
<b>TOTALE</b>	<b>807.500 ÷ 986.500</b>	<b>1.283.000 ÷ 1.617.000</b>

del marmo installati nelle aziende dei comuni apuoversiliesi, la produzione media mensile in mq di prodotto segato e

**Tabella 6 - Anno 1990: fanghi di segazione e lucidatura (al 30% circa di umidità) prodotti nel comprensorio Apuano.**

Fanghi	mc/anno	t/anno	%
Marmo bianco e colorato	198.250	325.000	25
Misti (marmo + granito)	158.600	260.000	20
Granito	436.150	715.000	55
<b>TOTALE</b>	<b>793.000</b>	<b>1.300.000</b>	<b>100</b>

lavorato prevista per ogni tipo di macchinario, il contenuto medio di umidità ed il peso specifico dei fanghi.<sup>31</sup>

Valutazioni di larga massima risalenti al 1990, tratte da fonti varie (prevalentemente verbali), assegnano alle marmettole prodotte sul territorio di Massa Carrara, un valore globale di 1.300.000 t/anno (tab. 6).<sup>32</sup>

Nel 1991 l'Ing. F. Del Mancino scrive: "Si può tuttavia considerare che la produzione media di marmettola nel comprensorio sia di circa 1.000.000÷1.200.000 t l'anno, così ripartita: 450.000÷500.000 t di marmettola derivante dalla lavorazione del marmo, 550.000÷650.000 t provenienti dalla lavorazione del granito".<sup>33</sup> Il comprensorio cui si fa riferimento, anche in questo caso è quello Apuano.

Nel 1994 si ottengono nuovi dati riguardanti tutta l'area, basati sulla produzione annua di ogni macchina per la lavorazione di marmo e granito (tab. 7). Il valore finale è di 2.055.700 t/anno, suddivise in 1.473.000 t dalla lavorazione del marmo e 582.700 t dalla trasformazione del granito.<sup>34</sup>

Osservando i valori corrispondenti alle relative annate si notano discordanze soprattutto riguardo al rapporto tra fanghi di marmo e fanghi di

<sup>31</sup> COOPERATIVA AMBIENTE, *Reflui*, 1989, 78-82, op. cit. in bibliografia.

<sup>32</sup> G. SANSONI, *Impatto*, 1991, 6, op. cit. in bibliografia.

<sup>33</sup> Fonte di tali dati è un documento dattiloscritto, reperito presso la I.M.M., recante il nome di F. Del Mancino, intitolato "Marmettola stato dell'arte dello smaltimento" e datato 06/07/1991.

granito: è probabile che l'utilizzo di diversi metodi di calcolo abbia influenzato i risultati finali, che difettano di quella maggior precisione e credibilità di cui godrebbe un'analisi basata sul censimento di ogni azienda.

### 3.4.2 Indagine sulla marmettola prodotta nel 1997

Secondo dichiarazioni di tipo verbale, la zona compresa tra la bassa

**Tabella 7 - Anno 1994: determinazione della quantità di marmettola prodotta da ogni tipo di lavorazione.**

Tipo di macchina	n.	Prodiz. specifica (mq/h)	Prodiz. annua (mq/anno)	Consumi acqua		Fanghi (t/anno)
				Spec. (l/mq)	mc/anno	
Tagliatrici a filo diam.	347	30	500.000	80	40.000	
Tagliatrici a catena	106	5	172.000	480	82.500	30.000
Tagliabl. a disco diam. (marmo)	144	25	53.000	240	13.000	158.000
Tagliabl. a disco diam. (granito)	4	15	30.000	3.600	108.000	2.700
Telai multilame (marmo)	501	50	105.600	720	76.000	1.285.000
Telai multilame (granito)	562	5	30.000	1.200	36.000	580.000
Lucidatrici a nastro (marmo)	n.d.	55	?	650	?	0
Lucidatrici a nastro (granito)	n.d.	40	?	900	?	0
Fiammatrici	n.d.	25	?	12	?	0
<b>TOTALE</b>						<b>2.055.700</b>

<sup>34</sup> Fonte I.M.M.

provincia di La Spezia e l'area versiliese, produce attualmente marmettola nella quantità di circa 1.500.000 t/anno. Sempre dalla stessa fonte si apprende che

**Tabella 8 - Quantità di marmettola smaltita nel 1997 presso la discarica del Brentino, gestita dal consorzio Nuova COSMAVE.**

Tipo di fango	Tonnellate
Marmettola di marmo bianco	60.964
Marmettola di granito	105.971
Marmettola di marmo colorato e granito	79.024
Marmettola mista e/o di marmo, granito	1.077
<b>TOTALE</b>	<b>247.036</b>

il 30% è destinata alla discarica, mentre la parte rimanente trova reimpiego prevalentemente in sottofondi stradali, riempimenti e riciclaggi vari.<sup>35</sup>

L'esigenza di dati certi, finalizzati a valutare la situazione odierna, ha reso necessaria una breve indagine presso i principali centri di raccolta dei residui lapidei, allo scopo di determinare la quantità di marmettola assorbita nel 1997 da ognuno di essi.

I più importanti sono rappresentati dalle due uniche discariche, gestite rispettivamente dalla Ecobonifiche e dalla COSMAVE. Una terza azienda, la Tioxide, ricicla 160.000-170.000 t/anno di fanghi di marmo per la

neutralizzazione dei propri reflui industriali.<sup>36</sup>

Seguono poi società locali, quali la EMA (100.000 t/anno per sottofondi stradali), la Ti.Elle (30.000-40.000 t/anno), la

**Tabella 9 - Marmettola smaltita nella discarica della Cava Filippi, gestita dalla Ecobonifiche.**

Tipo di fango	Tonnellate il giorno	Tonnellate annue
Marmettola di marmo	100 ÷ 150	32.500
Marmettola di granito	400	104.000
<b>TOTALE</b>		<b>136.500</b>

<sup>35</sup> Colloquio tenuto il 28/8/97 con il Sig. Del Carratore del consorzio CORES.

<sup>36</sup> G. BELARDI - M. MANETTA - S. MASSIMILLA, *Il riutilizzo*, in *Inq.* 1998, n. 2, 47, op. cit. in bibliografia.

Pucciarelli, che trattano altri quantitativi di materiale destinato al riutilizzo. Per quanto riguarda l'area versiliese, la Nuova COSMAVE ha fornito valori dettagliati, dai quali si deduce lo smaltimento di 247.036 t di fanghi (tab. 8). Meno precisi i dati sulla zona apuana in quanto presso la Ecobonifiche si sono ottenuti dati approssimativi, comunque sufficienti a stabilire un valore medio di 136.500 t/anno (tab. 9).

Sommando questi due valori si ottiene una cifra che effettivamente si avvicina a quel 30% di cui si parlava in precedenza, tuttavia restano seri dubbi riguardanti la destinazione dei fanghi rimanenti. Considerando nel conteggio anche quanto dichiarato dalle ditte che si occupano di riciclaggio, ci si viene a trovare con un quantitativo di marmettola pari a circa 800.000 t la cui destinazione è ignota.

Altre dichiarazioni verbali, più credibili delle precedenti, tendono invece a confermare una produzione di marmettola annua equivalente alla somma dei valori dichiarati dalle aziende intervistate, comprensiva di un margine d'errore del 10÷15%. La quantità totale di marmettola è in questo caso di circa 800.000 t.<sup>37</sup>

### 3.4.3 Analisi dei dati

Confrontando i dati che rappresentano l'andamento della produzione di marmettola in questi ultimi anni, è subito evidente un forte calo imputabile a due cause principali:

- sempre più aziende si sono dotate di impianti di decantazione e filtripresse che, riducendo l'acqua contenuta nella massa fangosa, fanno calare di molto peso e volume della marmettola;

---

<sup>37</sup> Informazioni ottenute il 17/11/1998 in seguito a colloquio con il Dott. S. Celsi.

- si è registrata una forte diminuzione dei telai a granito in quanto sempre più spesso il materiale viene segato e lavorato nei luoghi d'estrazione, e allo stesso modo aumenta la richiesta di blocchi di marmo grezzi, a scapito dei lavorati e semilavorati.

Per quanto concerne i filtripressa, la riduzione di marmettola è solo fittizia perché riguarda esclusivamente la parte liquida del fango. La quantità stimata nel 1986, pari a 1.617.000 t, può così essere equiparata a circa 1.000.000 di tonnellate attuali, mentre 2.055.700 t calcolate nel 1994 dovrebbero corrispondere a circa 1.300.000 t di fango parzialmente disidratato.

Diversa è la situazione per i telai a granito: circa dieci anni fa, in tutto il comprensorio Apuo-Versiliese se ne poteva contare circa 650; ora sono pressappoco 400.<sup>38</sup>

Tale evento potrebbe dare ragione alla stima che indica la quantità corrispondente a 800.000 t, come attuale produzione annua di marmettola. Essa coincide con i valori forniti dalle aziende che si occupano della raccolta, e testimonia l'inversione di tendenza rispetto ai dati di qualche anno fa.

In questo caso la diminuzione

**Determinazione della marmettola secca prodotta da 1 mq di segazione.**

Conoscendo lo spessore di taglio, è possibile calcolare la quantità di marmettola secca prodotta da 1 mq di segazione.

Procedimento: superficie × spessore lama × peso specifico = quantità di marmettola secca rapportata alla superficie

Materiale	Sup. [mq]	Spessore lama [m]	Peso specifico [kg/mc]	Marmettola secca [kg]
Marmo	1	0,005	2.700	13,5
Granito	1	0,008	2.600	20,8

Alla marmettola di granito vanno aggiunti 1 kg di calce e 3 kg di graniglia metallica, per cui il valore effettivo sarà di 24,8 kg.

<sup>38</sup> Dati ottenuti il 17/11/1998 in seguito a colloquio con il Dott. S. Celsi.

dei fanghi è reale ma ovviamente non spariscono nel nulla: il problema inizia evidentemente ad interessare anche altre nazioni, le quali hanno da poco intrapreso l'attività di segagione e lavorazione dei lapidei.



## 4 Il recupero della marmettola

Con il Decreto Legislativo 5 febbraio 1997, n.22 (Decreto "Ronchi"), si attua anche in Italia il passaggio dalla politica di gestione dei rifiuti finalizzata allo smaltimento corretto, a una politica centrata sulla valorizzazione economica dei rifiuti come materia prima o fonte di energia:

- viene fissato un preciso *ordine gerarchico* tra le tecnologie di gestione dei rifiuti, mettendo al primo posto riutilizzo, riciclaggio e recupero di materia prima;
- come specificato al quarto comma dell'art. 4, vi è la possibilità che siano stabilite *agevolazioni* in materia di adempimenti amministrativi nel rispetto delle norme comunitarie ed il ricorso a strumenti economici;
- per il recupero dei rifiuti è prevista una *procedura semplificata*: le attività indicate possono essere intraprese dopo 90 giorni dalla semplice comunicazione alla Provincia competente;
- in armonia con la normativa CEE, si introduce una *nozione unitaria di rifiuto*, confermando la distinzione, quanto a provenienza, tra rifiuti urbani e speciali, e introducendo la nuova categoria dei rifiuti pericolosi, al posto di quella più ristretta dei rifiuti tossici e nocivi.

### 4.1 Norme tecniche per il recupero con procedura semplificata

In base al Dlgs 22/1997 un rifiuto può essere recuperato con procedura semplificata solo se individuato da precise norme tecniche. Tali norme, per quanto riguarda i rifiuti non pericolosi (come la marmettola), fanno capo al

*Decreto Ministeriale 5 febbraio 1998* e prevedono attività di recupero anche per i fanghi da segazione e lavorazione dei materiali lapidei. Questi sono differenziati secondo la loro natura calcarea oppure silicea.

❖ FANGHI E POLVERI DA SEGAGIONE E LAVORAZIONE PIETRE, MARMI E ARDESIE

- *Provenienza:* lavorazione materiali lapidei di natura calcarea.
- *Caratteristiche del rifiuto:* fanghi contenenti oltre l'85% di carbonato di calcio sul secco.
- *Attività di recupero:* previa eventuale disidratazione, essiccamento, vagliatura, frantumazione, micronizzazione:
  - a) produzione conglomerati cementizi;
  - b) cementifici;
  - c) industria cartaria;
  - d) produzione idropitture;
  - e) realizzazione di rilevati e sottofondi stradali;
  - f) attività di recuperi ambientali;
  - g) neutralizzazione di rifiuti acidi;
  - h) utilizzo come reagente per la desolforazione fumi di combustione;
  - i) utilizzo per copertura di discariche per RSU.
- *Caratteristiche delle materie prime e/o dei prodotti ottenuti:*
  - a) conglomerati cementizi nelle forme usualmente commercializzate;
  - b) cemento nelle forme usualmente commercializzate;
  - c) prodotti cartari nelle forme usualmente commercializzate;
  - d) idropitture.

## ❖ FANGHI E POLVERI DA SEGAGIONE, MOLATURA E LAVORAZIONE GRANITO

- *Provenienza*: lavorazione materiali lapidei di natura silicea.
- *Caratteristiche del rifiuto*: fanghi filtropressati palabili contenenti oltre il 50% di silicati.
- *Attività di recupero*: previa eventuale disidratazione, essiccazione, vagliatura, micronizzazione, compattazione, deferrizzazione:
  - a) cementifici;
  - b) produzione di conglomerati cementizi;
  - c) industria dei laterizi in aggiunta all'impasto con impiego limitato al 5% sul secco;
  - d) industria della ceramica;
  - e) realizzazione di rilevati e sottofondi stradali;
  - f) utilizzo per recuperi ambientali;
  - g) utilizzo per copertura di discariche per RSU.
- *Caratteristiche delle materie prime e/o dei prodotti ottenuti*:
  - a) cemento nelle forme usualmente commercializzate;
  - b) conglomerati cementizi nelle forme usualmente commercializzate;
  - c) laterizi nelle forme usualmente commercializzate;
  - d) prodotti ceramici nelle forme usualmente commercializzate.

Saranno ora descritti i procedimenti che consentono di eseguire i recuperi previsti dalle norme tecniche. Occorre precisare che, facendo riferimento alla situazione del comprensorio Apuo-Versiliese, ci si baserà sulla classificazione dei fanghi riportata nella tabella 3; di conseguenza le attività

di recupero sopra elencate verranno suddivise tra le tre classi di marmettola da essa definite.

#### 4.1.1 Attività di recupero previste per fanghi di Classe 1 (marmettola di marmo)

Il gran numero d'impieghi cui è soggetto il carbonato di calcio, fornisce ai fanghi di marmo diverse opportunità di riciclaggio, molte delle quali però funestate da vincoli di tipo economico, in seguito al basso valore che tale materiale ha sul mercato.

##### 4.1.1.1 Produzione di cemento

L'utilizzazione dei fanghi derivanti dalla lavorazione dei marmi (sia bianchi, sia colorati) nel processo produttivo del cemento nasce dalla semplice constatazione che una delle principali materie prime utilizzate è rappresentata dal calcare.

Com'è noto il cemento è prodotto tramite cottura, in appositi forni, di miscele costituite da calcare più argille o da calcare più marne (le marne sono calcari con inclusioni argillose). A questi elementi possono essere aggiunte quantità variabili di pirite, bauxite e sabbia silicea per ottenere equilibri ottimali tra le componenti base del processo produttivo:  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Ottenute le componenti base sopra menzionate, si possono avere due tipi di procedimento industriale: a secco e ad umido.

Nel procedimento a secco il calcare subisce una prima frantumazione che lo riduce a dimensione di pietrame, dopo di che viene omogeneizzato con le argille (o marne) e gli altri eventuali materiali. Poi viene sottoposto ad un processo di essiccazione e viene frantumato e ridotto in farina fine. In

questa forma passa al processo di cottura dal quale uscirà il clinker che successivamente diverrà cemento

Il procedimento ad umido prevede che il materiale di base venga combinato in una miscela che, con le opportune aggiunte d'acqua, raggiunga un tenore di umidità di circa il 35%. In questo modo le miscele possono essere dosate con più esattezza, risultano più omogenee e le eventuali aggiunte e correzioni riescono più facili. In compenso sono decisamente più alti i costi di combustione nel forno (circa del 20%).

Un'ulteriore differenza tra impianti a secco ed impianti ad umido riguarda i sistemi di movimentazione delle miscele che, nel primo caso, sono di tipo meccanico a trazione (nastri rotanti, cole ecc.) e nel secondo caso sono a pompa.

I fanghi derivati da produzioni di solo marmo hanno un tenore di  $\text{CaCO}_3$  ottimale ed una buona percentuale di  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Gli altri elementi sono presenti in quantità talmente irrilevanti da non costituire un problema ad eccezione del  $\text{MgCO}_3$ . Il magnesio non deve, infatti, essere presente nel clinker in quantità superiori al 2,5% altrimenti incide sulle prestazioni tecniche del cemento prodotto. Una tale percentuale nel prodotto finale significa un vincolo del 2,5% di Mg nel calcare iniziale.

Non risultano grossi problemi dal punto di vista granulometrico. Le caratteristiche di granulometria dei fanghi infatti rientrano nelle esigenze in tal senso dei cicli tecnologici di produzione del cemento. Neppure il caso di presenza nei fanghi di diversi ranges granulometrici solleva particolari problemi.

Nei processi a secco il tenore di umidità dei fanghi è decisamente intollerabile per il processo produttivo in quanto il materiale va al forno del cementificio con un tenore di umidità che non supera generalmente il 7%.<sup>39</sup> Il tenore di umidità dei fanghi è adatto ai processi a umido ma l'unico cementificio che lavora ad umido si trova a Ravenna e sembra essere il solo consumatore di marmettola in quest'ambito. La distanza da percorrere è notevole e non vi sarebbe convenienza se gli automezzi adibiti al trasporto non dovessero comunque recarsi da quelle parti a caricare altra merce.<sup>40</sup>

#### 4.1.1.2 Utilizzo della marmettola come carica per la produzione di carta

L'utilizzazione del  $\text{CaCO}_3$  nelle industrie produttrici di carta dell'area nazionale, è strettamente legato alle necessità imposte dal ciclo produttivo più diffuso in Italia il quale non prevede l'utilizzazione di materiali legnosi come materia prima bensì "carta straccia".

Va da sé come la carta straccia, per le inevitabili disomogeneità cromatiche e di composizione, abbia la necessità di essere addizionata con prodotti inerti che favoriscono la compattazione finale della carta conferendole colorazione omogenea.

La carta di recupero, viene immessa, assieme ad una certa quantità di acqua, in uno spappolatore che la trita finemente e ne fa una pasta. Dallo spappolatore questa pasta densa viene fatta affluire verso un primo depuratore in cui vengono asportate le maggiori e più grossolane impurità (metalli, plastica ecc.). Tanto minore dovrà essere lo spessore della carta, tanti più depuratori saranno necessari.

---

<sup>39</sup> COOPERATIVA AMBIENTE, *Reflui*, 1989, 83-87, op. cit. in bibliografia.

<sup>40</sup> Informazioni ottenute il 29/11/1997 in seguito a colloquio con il Dott. S. Celsi.

L'ultimo stadio di questo processo di depurazione e omogeneizzazione dell'impasto, è costituito dalla raffinazione, dove il prodotto viene reso "pulito" e finemente triturato per essere immesso nella tina di miscelazione assieme ai materiali di carica ed ai pigmenti. Qui avviene la definitiva preparazione dell'impasto cui viene aggiunta una notevole quantità d'acqua. L'impasto così preparato e ben diluito viene fatto affluire con una pompa in un cassone; da qui viene fatto cadere, dopo un'ulteriore miscelazione con acqua (che a questo punto rappresenta il 59% dell'impasto), con una pompa regolata, verso la cassa, che a sua volta ne regola l'afflusso alla "tavola piana" o tela di fabbricazione.

Sino a questo punto tutto il processo produttivo è servito solo a preparare la materia prima nella miscelazione voluta. Da qui in poi inizierà la vera fase di fabbricazione della carta, fase che consisterà essenzialmente in un processo di asciugatura dell'impasto. La grande quantità di acqua presente nell'impasto che corre sulla tavola piana, sarà persa in una prima fase per caduta, con l'aiuto di uno scolmatore, filtrando dal telo di fabbricazione; una seconda quantità verrà persa per l'azione di casse aspiranti. Successivamente la tavola sarà fatta passare da presse che, frenando su dei filtri per non schiacciare l'impasto, ridurranno notevolmente il grado di umidità dell'impasto.

L'ultima fase di essiccazione avviene quando la tela viene fatta passare attraverso dei cilindri caldi che asciugheranno la carta con il vapore. A questo punto il prodotto, ormai asciutto, passa attraverso un monolucido per essere stirato prima di essere arrotolato. Dopo questa fase la carta è pronta per le diverse tipologie di trasformazione. Una di queste prime

trasformazioni è rappresentata dalla patinatura che però appartiene più propriamente ad uno dei processi di "nobilitazione della carta".

La carta patinata è una carta speciale capace di assorbire inchiostri ed altri tipi di manipolazione per cui deve presentare una superficie omogenea e compatta.

È nella fase di miscelazione, quando l'impasto viene unito ai prodotti di carica e pigmenti, che avviene una prima utilizzazione del carbonato di calcio. La seconda utilizzazione di  $\text{CaCO}_3$  avviene (o può avvenire) nella fase di patinatura quando la carta deve assorbire un processo di inchiostrazione.

A seconda del tipo di carta più o meno fine, la percentuale di  $\text{CaCO}_3$  nel materiale di carica, varia dal 10% fino al 4%. Ciò avviene anche nella patinatura.

L'uso di caolino come pigmento di carica e di patina, era fino a qualche tempo fa assai più diffuso ma l'alto costo del materiale (causa dei costi di escavazione e di trasporto) ha convinto l'industria della carta ad utilizzare, in misura sempre maggiore, altri minerali (primo fra tutti il  $\text{CaCO}_3$ ), che hanno un minor costo sia di produzione che di trasporto. I prodotti cartari che utilizzano o possono utilizzare carbonato di calcio come pigmento da carica e/o da patina, sono: carta e cartone per usi grafici, carta per giornali quotidiani in rotolo, carta da scrivere e da stampa, cartoni e cartoncini esclusi i Kraft, carta e cartone per imballo.

L'utilizzo dei fanghi per la produzione di cariche per la carta appare però fortemente problematico per almeno tre fattori: la presenza d'impurità (silice, silicato di alluminio e magnesio, ossido di ferro ecc.) che possono avere effetti dannosi sia sull'abrasione della tela che sulla colorazione



bianca del prodotto finale (il tenore di carbonato di calcio dovrebbe comunque essere del 95%, percentuale alla quale si avvicinano i soli fanghi da marmo bianco); la granulometria dovrebbe collocarsi al di sotto dei due micron per percentuali che possono variare dal 50% al 90%.

Per quanto concerne i requisiti di bianchezza della carica, le cariche per carte grezze possono contenere solo un 40÷50% di grani il cui diametro equivalente sia inferiore a due micron, mentre è sufficiente avere il 90÷100% sotto i venti micron. Relativamente al tenore d'umidità, inoltre, possono non presentarsi particolari problemi nel caso ci si orienti verso la realizzazione di un prodotto ad umido.<sup>41</sup>

Il processo industriale per ridurre la marmettola bianca in forma micronizzata ad umido (slurry), sta prendendo il via in uno stabilimento di Massa (Ti.Elle), che si servirà di una serie di mulini a sabbia silicea. Tuttavia la quantità di marmettola che può esser lavorata in questi impianti non è molto alta (inferiore a 100.000 t/anno) a causa del *punto di bianco*: tale vincolo è dovuto alla necessità di ottenere un prodotto bianchissimo per poter conferire alla carta patinata il *bianco assoluto*. Solo i fanghi di marmo bianco di Carrara hanno questi requisiti, ma le segherie che trattano esclusivamente questo materiale sono poche.<sup>42</sup>

#### 4.1.1.3 Cariche per la produzione di idropitture

Tra le varie tipologie produttive delle vernici utilizzando cariche inerti a base di  $\text{CaCO}_3$ , quella delle idropitture murarie (soprattutto utilizzate per gli interni) è forse la più idonea all'uso del carbonato di calcio derivante dai fanghi del marmo. Il  $\text{CaCO}_3$  viene utilizzato come carica e pigmentante del

<sup>41</sup> COOPERATIVA AMBIENTE, *Reflui*, 1989, 87-91, op. cit. in bibliografia.

<sup>42</sup> Informazioni ottenute il 28/11/1998 in seguito a colloquio con il Dott. S. Celsi.

prodotto. Le cariche sono unite a resine e pigmenti e poi disperse finemente con diverse e successive emulsioni. Il  $\text{CaCO}_3$  viene utilizzato come amorfo per le idropitture e come cristallino per i prodotti di fondo (es. antiruggine). Nelle idropitture (che rappresentano il 90% circa delle produzioni in vernici che utilizza il  $\text{CaCO}_3$ ) la carica di carbonato di calcio varia a seconda del tipo di prodotto finito, con una percentuale che va dal 10% al 50% per i prodotti per interni. Nei prodotti per esterni è generalmente preferibile il talco ed il caolino.

La granulometria del  $\text{CaCO}_3$  viene scrupolosamente controllata perché particelle superiori ai  $60\mu$  creerebbero grossi problemi nella miscelazione. Il carbonato di calcio utilizzato ha di norma una granulometria inferiore ai  $2\mu$  per il 50%.

La composizione del materiale di carica è del 98% di carbonato di calcio, dell'1% di umidità ed il restante 1% di impurità quali silicati e minerali.

Un tenore di  $\text{CaCO}_3$  oltre il 90% del materiale di carica è considerato sufficiente. È importante però che la presenza di minerali (Fe, Pb, ecc.) non sia in quantità tale da dare un "viraggio" alla bianchezza del prodotto, indispensabile nelle idropitture.

Il carbonato di calcio viene utilizzato in polvere, ma nelle idropitture viene aggiunta una soluzione acquosa fino al 40%. Perciò un prodotto contenente umidità fino al 25÷30% non costituisce alcun ostacolo.

Il vincolo del tenore di umidità è invece presente per i prodotti solventi che non consentono un'umidità oltre l'1÷2%.<sup>43</sup>

---

<sup>43</sup> COOPERATIVA AMBIENTE, *Reflui*, 1989, 91-92, op. cit. in bibliografia.

#### 4.1.1.4 Utilizzo per la produzione di gesso in seguito ad abbattimento di sostanze reflue acide

Il problema dell'abbattimento di sostanze reflue acide interessa molte industrie chimiche italiane che, per vincoli legislativi e talvolta anche produttivi, hanno necessità di neutralizzare il pH fortemente acido delle acque reflue dei processi produttivi.

Lo stabilimento Tioxide di Scarlino in provincia di Grosseto, produce pigmenti di biossido di titanio utilizzabili in diversi settori (vernici, plastiche, carta, inchiostri da stampa, fibre artificiali ecc.).

Il processo di produzione del biossido di titanio ( $\text{TiO}_2$ ) prevede l'utilizzo come materia prima di scorie d'ilmenite (anziché ilmenite pura). Ad un certo punto della lavorazione è necessaria una filtrazione del  $\text{TiO}_2$ , già formato ma impuro, che porta alla produzione di reflui acidi al 15-22%.

Il refluo viene trattato con calcare in appositi reattori e dà origine a fanghi gessosi non tossici.<sup>44</sup>

La Tioxide dal 1994 utilizza per questo procedimento il  $\text{CaCO}_3$  della marmettola di marmo bianco e colorato, la cui granulometria molto fine rende più veloce la reazione di neutralizzazione. La marmettola si è rivelata idonea anche per composizione chimica, mentre il tenore d'umidità non è sottoposto a vincoli particolari in quanto la lavorazione avviene in soluzione.

Il solfato di calcio biidrato in cristalli, ottenuto alla fine del processo messo a punto dalla Soc. Tioxide, trova utilizzo nell'industria della carta, con costi competitivi di circa 80 Lire a kg.<sup>45</sup>

---

<sup>44</sup> COOPERATIVA AMBIENTE, *Reflui*, 1989, 99-100, op. cit. in bibliografia.

<sup>45</sup> Informazioni ottenute in seguito a colloquio con il Dott. Celsi S., il 13/12/1997.

Un settore della linea di trattamento è invece mirato alla produzione di gesso bianco da edilizia. Prove condotte presso il laboratorio della società, hanno consentito di verificare la bontà del concentrato ottenuto dalle prove mineralurgiche nella produzione di gesso bianco.<sup>46</sup>

#### 4.1.1.5 Utilizzo per produzione di gesso in seguito a desolforazione dei fumi delle centrali termoelettriche

I fumi delle centrali elettriche alimentate a carbone sono una, non trascurabile, fonte di inquinamento per quanto riguarda il problema delle piogge acide. L'uso di combustibili fossili e loro derivati è una delle principali cause di tali piogge.

Sono stati realizzati impianti di abbattimento dell'anidride solforosa sia ad umido che a secco usando calcare.<sup>47</sup>

L'ipotesi di utilizzo di marmettola proveniente dalla lavorazione e segazione di marmo bianco e colorato in impianti di desolforazione in centrali termoelettriche con alimentazione a carbone, è stata presa in considerazione dalla Termomeccanica Italiana di La Spezia, per la realizzazione di un impianto di desolforazione per l'abbattimento dei fumi di due generatori presso la stessa centrale termoelettrica di La Spezia.<sup>48</sup>

Studi successivi hanno però sollevato dubbi, dovuti alla rigidità delle specifiche del carbonato di calcio necessario all'eliminazione dello zolfo (SO<sub>2</sub>) dai fumi: CaCO<sub>3</sub> non inferiore a 95%, MgCO<sub>3</sub> non superiore a 1%, residuo insolubile in acido cloridrico non superiore al 5%, assenza di

---

<sup>46</sup> G. BELARDI – M. MANETTA – S. MASSIMILLA, *Il riutilizzo*, in *Inq.* 1998, n. 2, 47, op. cit. in bibliografia.

<sup>47</sup> MATERIE SECONDE: NORMATIVA, RICERCA, ESPERIENZA, Firenze, 1988, *Ipotesi di riutilizzo*, 1989, 123, op. cit. in bibliografia.

<sup>48</sup> COOPERATIVA AMBIENTE, *Reflui*, 1989, 142, op. cit. in bibliografia.

metalli pesanti (piombo, arsenico, zinco, ecc.), granulometria compresa tra 20 e 40 micron.

In particolare esso deve reagire con l'acido cloridrico (HCl) in maniera tale che una sospensione di  $\text{CaCO}_3$  non impieghi più di 8 minuti a consumare il 30% di carbonato. Se la reattività del calcare è bassa, il reattore dovrà avere dimensioni maggiori perché è necessario un tempo di contatto più lungo. Questo non è economicamente conveniente.

La marmettola è idonea per quanto riguarda la composizione, ma altrettanto non si può dire riguardo alla reattività. Si tratta di un carbonato proveniente da marmo e quindi da aragonite, perciò la sua struttura cristallina ne rallenta notevolmente i tempi di reazione con l'acido cloridrico.<sup>49</sup>

#### 4.1.2 Attività di recupero previste per fanghi di Classe 2 (marmettola mista)

La Classe 2 definisce la marmettola mista di marmo e granito, ma in questo caso raccoglierà anche quelle attività di recupero dove le tre classi di marmettola possono essere usate indistintamente.

##### 4.1.2.1 Realizzazione di manufatti compressi per l'edilizia industriale e l'arredo urbano

La marmettola di marmo, di granito o mista (in varie proporzioni), miscelata con impasto cementizio, leganti e coloranti e pressata in stampi, può essere utilizzata per produrre una vasta gamma di manufatti di aspetto gradevole e, a detta dei proponenti, di ottima resistenza. La gamma dei prodotti, ulteriormente ampliabile con l'aggiunta di macinati medi o fini di granito e/o di marmo, comprende pannelli e mattoni con faccia a vista,

tegole di elevata impermeabilità e durata, pavimentazioni industriali e urbane, oggetti di arredo urbano. Per il materiale finale è stato coniato il nome "Martone" per richiamare la materia prima (marmettola) e il mattone, inteso come simbolo dei materiali da costruzione. Il maggior costo dei manufatti rispetto ai materiali tradizionali da costruzione sarebbe compensato dalle migliori proprietà idroisolanti e termoisolanti e dal fatto che tali manufatti non necessitano di rivestimento con intonaco.<sup>50</sup>

Tale prodotto è stato ideato, realizzato e brevettato dal consorzio CORES Marmi nel 1989, tuttavia non è ancora stata avviata alcuna produzione.

#### 4.1.2.2 Barriere frangiflutti e tetrapodi

La protezione della costa è affidata a barriere artificiali che frangendo i flutti e frenando le correnti, limitano l'azione dell'abrasione marina.

Inoltre la costruzione di queste barriere protettive ad una distanza di almeno tre miglia dalla riva, impedisce il degrado della situazione bioittologica delle zone marine antistanti le coste, dovuto allo sfruttamento irrazionale della pesca.

I massi naturali, costituenti le barriere, già sostituiti in altri paesi europei ed in altre parti d'Italia dai tetrapodi (una specie di stella a quattro punte) in calcestruzzo, potrebbero essere sostituiti nell'area facente capo ai due comprensori da tetrapodi costituiti da una miscela di marmettola, cementi pozzolanici, spessori di marmo e granito.

I blocchi, che non richiedono particolari caratteristiche fisico-chimiche, ma soltanto una continuità di compattazione, dovrebbero essere sottoposti ad accurate prove di laboratorio che ne verifichino le qualità. La realizzazione

---

<sup>49</sup> Informazioni ottenute il 29/11/1997 in seguito a colloquio con il Dott. S. Celsi.

<sup>50</sup> G. SANSONI, *Impatto*, 1991, 18, op. cit. in bibliografia.

dei tetrapodi dovrebbe passare attraverso un'organizzazione dello smaltimento della marmettola a partire dalla costruzione di grossi piazzali di deposito e della centrale di betonaggio, dalla costruzione dello stampo metallico fino alla formazione del getto e del successivo disarmo.

Una volta verificati gli esatti valori percentuali degli inerti e del cemento, il nuovo impasto cementizio potrebbe essere utilizzato anche per interventi di riassetto del territorio. Si possono studiare blocchi di forma e dimensioni adeguate alla protezione delle sponde dei fiumi ed alla ricostruzione e riempimento delle parti delle colline che sono state asportate dall'attività estrattiva.<sup>51</sup>

Per quanto riguarda la proposta di cementare la marmettola ottenendone scogli artificiali, i maggiori costi del trattamento verrebbero recuperati con l'utilizzo turistico delle isole artificiali progettate. L'idea, pur non essendo da scartare in partenza, necessita di una valutazione di impatto ambientale per stimare sia l'interferenza delle isole con la dinamica del moto ondoso e con gli equilibri del litorale, sia le modifiche territoriali e sociali indotte dal presumibile incremento di imbarcazioni e di porti turistici costieri.

La proposta di realizzare tetrapodi in marmettola cementata da disseminare sui fondali per fornire habitat agli animali marini e per impedire la pesca a strascico, difetta della mancanza di un ritorno economico diretto. I costi della cementazione e della posa a mare, da considerarsi "a fondo perduto", dovrebbero, infatti, essere sostenuti da diversi quanto improbabili partner pubblici.<sup>52</sup>

---

<sup>51</sup> COOPERATIVA AMBIENTE, *Reflui*, 1989, 106-107, op. cit. in bibliografia.

<sup>52</sup> G. SANSONI, *Impatto*, 1991, 14, op. cit. in bibliografia.

#### 4.1.2.3 Sottofondo di piazzali

I fanghi di marmo e granito possono essere utilizzati come materiale inerte da riempimento senza correre il rischio di incombere in cedimenti.

Strati di circa un metro di marmettola bianca sono stati utilizzati per il riempimento di ampi scavi rettangolari, al fine di realizzare il sottofondo dei piazzali (successivamente asfaltati) di depositi lapidei. La diffusione di tale impiego ha dimostrato la capacità della marmettola di sopportare senza deformazioni carichi molto elevati.<sup>53</sup>

##### Test di cessione.

Per alcune attività di recupero, la normativa tecnica impone l'esecuzione del test di cessione sul rifiuto tal quale. Nel caso delle marmettole ciò sarà necessario per la realizzazione di *rilevati e sottofondi stradali*, per *attività di recuperi ambientali*, per l'utilizzo nella *copertura di discariche*. Ciò si spiega con la necessità di tutelare suolo e falde acquifere da eventuali contaminazioni, che, tuttavia, nel caso in considerazione, è stato ampiamente dimostrato quanto siano improbabili.

Parametri	Unità di misura	Concentrazioni limite
Rame	mg/l Cu	0,05
Zinco	mg/l Zn	3
Nichel	µg/l Ni	10
Cromo totale	µg/l Cr	50
Piombo	µg/l Pb	50

#### 4.1.2.4 Utilizzo dei fanghi di granito e marmo per l'impermeabilizzazione dei bacini di discarica

Da prove sperimentali, eseguite presso il Laboratorio di Meccanica dei Fluidi del Dipartimento di Georisorse e Territorio del Politecnico di Torino, è risultato che i fanghi provenienti dagli impianti di lavorazione di pietre ornamentali possiedono buone capacità di autoimpermeabilizzazione.

<sup>53</sup> G. SANSONI, *Impatto*, 1991, 20, op. cit. in bibliografia.



Questa tendenza aumenta rapidamente, come logico, all'aumentare del grado di addensamento del fango, fino a raggiungere valori di conducibilità idraulica pari a  $K=10^{-7}$  m/s, per valori di umidità inferiori al 20%. Successive prove di laboratorio hanno evidenziato come l'aggiunta ai fanghi di modeste percentuali di bentonite, intorno al 2÷3%, riducano ulteriormente la conducibilità idraulica di almeno due ordini di grandezza. Ancora attraverso prove sperimentali, si è inoltre rilevato che un'eventuale compattazione meccanica dei fanghi, preventivamente disidratati, produce solo modesti ulteriori benefici.

Da quanto sino ad ora detto, appare pertanto opportuno procedere alla preparazione del fondo delle discariche nel seguente modo. Sul fondo della futura discarica si riportano cinque strati successivi, dello spessore di circa 20 cm, di fanghi disidratati; per ogni strato si procede alla miscelazione di circa il 3%, in massa, di comune bentonite commerciale, attraverso semplici operazioni di spandimento, fresatura e leggera compattazione con mezzo cingolato. Alla fine dell'operazione si ottiene la creazione di un fondo dello spessore di circa un metro con una conducibilità idraulica inferiore a  $10^{-9}$  m/s.

Questo modo di procedere permette di mettere in assoluta sicurezza le discariche per fanghi provenienti dalla lavorazione delle rocce ornamentali; tale sicurezza risulta inoltre essere intrinseca, in quanto sfrutta, oltre alla capacità impermeabilizzante della miscela, anche l'elevata attività di scambio ionico delle argille bentonitiche, che sono in grado di adsorbire, e quindi trattenere, grandi quantità di cationi metallici.

Non si ritiene di poter consigliare l'uso di questi fanghi come materiale di infrastrato nelle discariche di prima categoria sia per le scarse

caratteristiche geotecniche, sia per insufficiente permeabilità che non consentirebbe la realizzazione di una iniziale maturazione aerobica dei rifiuti e il loro dilavamento per percolazione.<sup>54</sup>

Altri studi svoltisi a Massa Carrara per conto della società Scaviter (Brevetto Europeo riconosciuto al Dott. S. Celsi e all'Ing. O. Donelli nel 1991), hanno dimostrato le proprietà disinquinanti della miscela marmettola-bentonite nei confronti del percolato, ipotizzandone l'uso per la costruzione di sottofondi impermeabilizzanti per le discariche di rifiuti solidi urbani o tossici e nocivi.

La granulometria molto fine e la presenza di silicati, calce e carbonati, hanno fatto pensare alla possibilità di usare la miscela marmettola-bentonite come materiale ad alto potere assorbente e quindi disinquinante per quanto riguarda i metalli pesanti presenti sia nei percolati dei rifiuti solidi urbani che in quelli derivanti dalle discariche dei rifiuti tossici e nocivi.

Questo filone di ricerca è stato seguito operando nel modo seguente: in una colonna di vetro di 50 cm con diametro di 4 cm è stato fatto uno strato di 20 cm che appoggia nella parte inferiore su un setto poroso in grado di far passare i liquidi; sopra lo strato di marmettola e bentonite preparato a secco, è stato fatto un battente di acqua di 30 cm contenente tre ppm di Pb da piombo cloruro. Sono stati necessari 20 giorni per raccogliere nel palloncino 100 ml di eluato con velocità di efflusso pari a 5 ml/giorno ( $5,7 \cdot 10^{-5}$  ml/sec). Il risultato ottenuto è il seguente:

	prima	dopo
Piombo	3 mg/l	<0,01 mg/l

<sup>54</sup> A. FRISA MORANDINI - G. VERGA, *Problemi*, in *BdAMS 1990*, n. 1-2, 252-253, op. cit. in bibliografia.

Questo dato ha aperto nuove prospettive nel campo del riutilizzo della marmettola in quanto le ricerche effettuate dal Prof. Cancelli del Politecnico di Milano dimostrano che la miscela sabbia e bentonite, normalmente usata nei sottofondi delle discariche, non è in grado di trattenere i metalli pesanti. Ciò è evidente nella tabella pubblicata dal Politecnico e presentata a Cagliari nel 1987, al Simposio sullo scarico controllato:

	prima (mg/l)	dopo (mg/l)
Zinco	6,8	4,4
Piombo	1	0,8
Nickel	1,6	1,6
Cromo	0,2	0,2
Rame	0,2	0,2
Cadmio	0,1	0,1

Con una metodologia simile a quella seguita per il piombo è stata impostata una ricerca per gli altri metalli pesanti, preparando la colonna con la stessa miscela di marmettola e bentonite:

	prima (mg/l)	dopo (mg/l)
Piombo	3,0	0,01
Rame	1,50	0,01
Zinco	1,50	0,01
Cromo	4,0	0,0008
Cadmio	1,35	0,00015
Mercurio	5,6	0,0069

Questi risultati potrebbero avere delle ripercussioni decisamente positive sotto il profilo ambientale in quanto si troverebbe una destinazione per rilevanti quantità di fanghi, nel contempo si eviterebbe di scavare migliaia

di metri cubi di sabbia necessarie per la costruzione delle discariche e, soprattutto, si migliorerebbe la qualità delle discariche stesse.<sup>55</sup>

#### 4.1.2.5 Recupero ambientale

Le attività di recupero ambientale sono definite dall'*Art. 5 del Decreto Ministeriale 5 febbraio 1998*. Esse consistono nella restituzione di aree degradate ad usi produttivi o sociali attraverso rimodellamenti morfologici.

Le discariche per residui lapidei che attualmente servono il comprensorio Apuo-Versiliese sono due: la Cava del Brentino nell'entroterra di Viareggio e la Cava Filippi in provincia di La Spezia. Estremamente diverse per caratteristiche e dimensioni, sorgono entrambe su terreni profondamente segnati da attività estrattive e la loro impostazione le rende vere e proprie opere di recupero ambientale dove, le appurate caratteristiche di non pericolosità del "rifiuto" marmettola, ne consentono un riutilizzo come materiale da riempimento in aree deturpate da attività industriali.

Il termine *discarica*, solitamente richiama alla memoria luoghi inquinati, maleodoranti, dove l'intervento umano agisce a scapito della natura. Nei casi che si analizzeranno di seguito, nulla di tutto ciò è presente. Al contrario, l'opera dell'uomo è improntata al duplice obiettivo di risanare luoghi inutilizzabili, e di dare una giusta destinazione a migliaia di tonnellate di residui lapidei prodotti.

#### ❖ LA DISCARICA DEL BRENTINO

La discarica del Brentino entra in esercizio nell'aprile del 1993, ad opera della COSMAVE.

---

<sup>55</sup> MATERIE SECONDE: NORMATIVA, RICERCA, ESPERIENZA, Firenze, 1988, *Ipotesi di riutilizzo*, 1989, 128-132, op. cit. in bibliografia.

COSMAVE, il consorzio per lo sviluppo dell'attività marmifera della Versilia, è stato fondato nel 1982 con l'iniziale obiettivo di dare soluzione allo smaltimento dei residui della lavorazione del marmo e del granito.

Nella primavera del 1992 è nata Nuova COSMAVE, con il principale scopo di studiare il problema dello smaltimento e del deposito degli scarti di lavorazione del settore marmifero, ricercando possibili riusi delle cosiddette "materie prime seconde".

Il primo risultato è stata la realizzazione e la gestione di una discarica autorizzata dalla pubblica amministrazione e da essa controllata.<sup>56</sup>

L'area individuata con il nome *Il Brentino*, delimita una zona di escavazione artificiale della piana costiera nell'entroterra di Viareggio, circondata da campi coltivati e composta da quattro corpi idrici sede di cave di sabbia esaurite.

I punti che seguono sono finalizzati a sottolineare i criteri con cui viene gestito questo progetto di riqualificazione ambientale.

➤ *Sperimentazione* - La Cava 1 per le sue caratteristiche risulta fin da subito la più adatta ad una sperimentazione che comporta la necessità di controlli e quindi perimetri limitati, nonché la verifica costante delle modalità esecutive di messa a discarica.

Le valutazioni e le incertezze dell'impianto della discarica sperimentale in tale area erano principalmente le seguenti:

- a) inserimento ambientale;
- b) valutazione del carico inquinante dei residui;
- c) cambiamenti nella circolazione sotterranea delle acque;

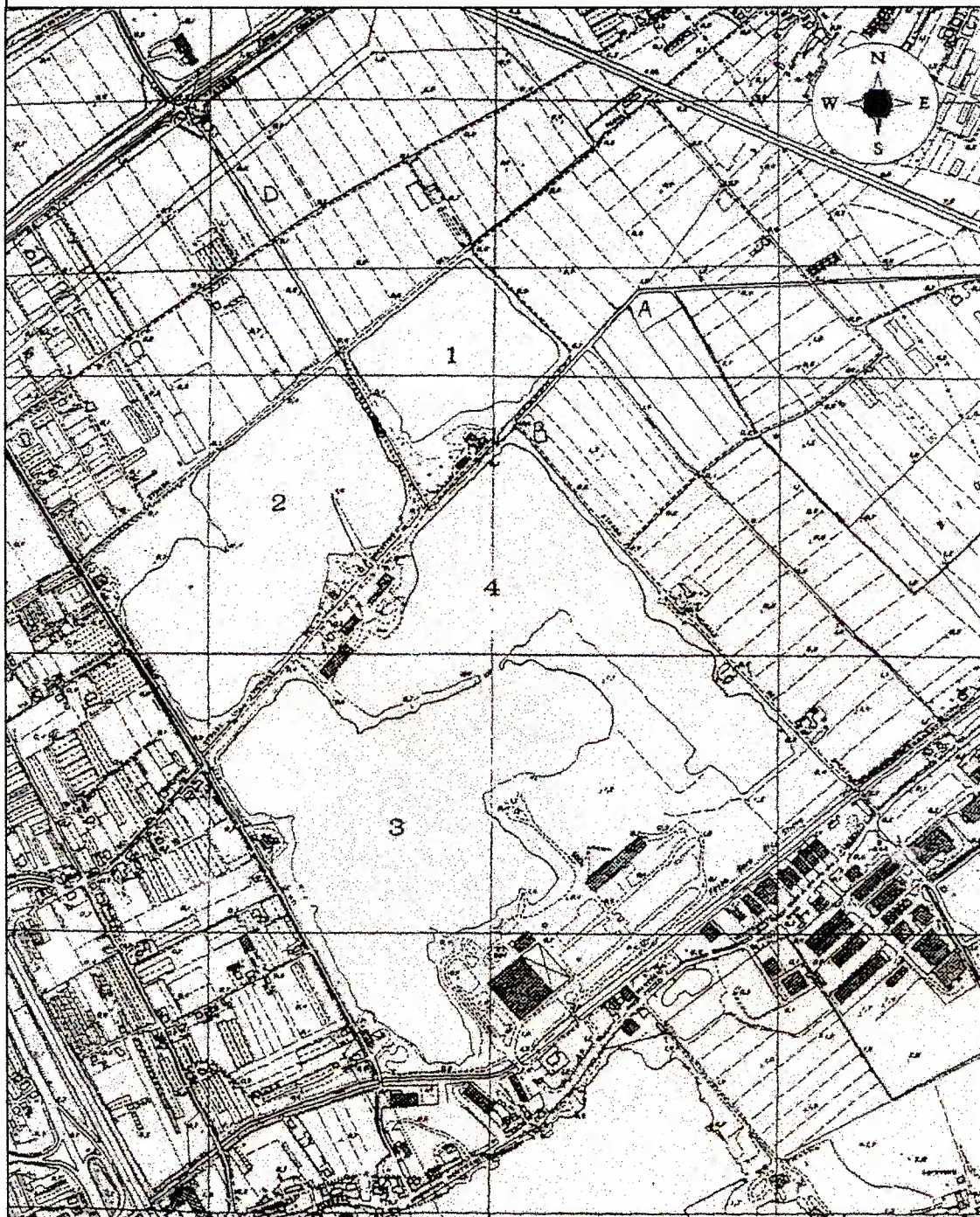
---

<sup>56</sup> Informazioni tratte il 10/09/1997 dall'omonimo sito internet del COSMAVE.

d) comportamento geomeccanico dei residui una volta gettati in discarica.

Un lungo ed accurato studio preliminare ed il controllo eseguito

Figura 41 - Pianta della discarica del Brentino.



pedissequamente sul primo lotto della discarica sperimentale, hanno fornito risposte chiarificatrici su questi dubbi.

- a) La discarica, come verificato con analisi chimiche, sia sui materiali sia sulle acque di falda, non ha prodotto anomalie sui parametri guida da un punto di vista chimico. Inoltre la localizzazione del sito, che prima della discarica era riconosciuto come area marginale su cui aveva pesantemente agito l'opera dell'uomo, si prestava, dopo la colmatazione della discarica, ad un possibile recupero.
- b) L'opera di continuo monitoraggio ambientale ha consentito di seguire passo passo lo svilupparsi della coltivazione e di sincerarsi del bassissimo carico inquinante dei residui.
- c) Il rilevamento continuo di dati sul livello della falda in un intorno significativo della zona e nel corpo di discarica, ha fornito i seguenti risultati: la discarica non ha prodotto alcun tipo di "blocco fisico" alla falda della piana costiera; all'interno della discarica, nonostante il tentativo fatto con l'utilizzo di bentonite, si instaura una falda in diretta comunicazione con quella esterna di cui ne assume all'incirca il livello; il confronto fra i dati rilevati nel 1982 e quelli attuali del livello medio della falda nella zona conferma che la zona della discarica, insieme agli altri tre laghi è in un punto di depressione naturale del livello freatico; l'influenza della discarica dal punto di vista dell'equilibrio idrico della zona è allo stato attuale insignificante, in quanto tutta l'area è sottoposta ad un'opera di bonifica continua e ad un'elevata evapotraspirazione che regolano automaticamente i livelli idrici.

d) Le analisi geotecniche eseguite sul corpo di discarica, forniscono dati che consentono di affermare che i livelli superficiali sono dotati di buona resistenza alla punta e, complessivamente, presentano discreti valori dal punto di vista della portanza. La parte centrale della discarica fino ad una profondità di circa 7-8 m dal piano di campagna, assume valori di resistenza sensibilmente più bassi, in quanto non sottoposta all'intensa evaporazione e compattazione della parte superficiale. La parte sul fondo ha iniziato subito a consolidarsi, come testimoniato dalle prove penetrometriche.<sup>57</sup>

➤ *Verifica* - La continua opera di monitoraggio della discarica è stato l'aspetto più importante della sperimentazione poiché, oltre ad aver fornito dati confortanti sotto il profilo chimico-geologico-ambientale, continua a fornire dati integrativi da utilizzare per successive esperienze.

Sulla scia dei buoni risultati ottenuti, Nuova COSMAVE ha potuto ottenere delibera per iniziare il riempimento di un altro laghetto denominato "Cava 4" che, suddiviso in due vasche, garantisce volumetrie di 427.809 mc per la vasca A e 942.800 mc per la vasca B.

➤ *Ricerca* - Gli studi di cui Nuova COSMAVE si sta attualmente occupando riguardano il ripristino naturalistico dell'intera area. La sperimentazione interesserà in un primo tempo una superficie limitata del Settore 1 della Cava del Brentino, ponendosi una duplice finalità: valutare le possibilità di coltivazione e di crescita di essenze arboree destinate all'arboricoltura da legno, da cui ottenere assortimenti legnosi

---

<sup>57</sup> AMBIENTE S.C.R.L., *Studio*, 1994, 5-6, op. cit. in bibliografia.



da industria; consentire un possibile recupero produttivo e paesaggistico di detta area.

Pertanto in questa prima fase è necessario migliorare le condizioni del suolo, distribuendo sostanza organica sotto forma di compost e aggiungendo sabbia silicea.<sup>58</sup>

Un altro filone di ricerca è finalizzato a dimostrare la validità della riutilizzazione delle marmettole come materiale naturale per il riempimento delle ex-cave di sabbia silicea dell'area palustre del Lago di Massaciuccoli. Si prevede quindi, dopo il riempimento della vasca A della Cava 4, l'allestimento di una piccola area pilota sperimentale finalizzata a testare la conservazione dell'ambiente acquatico che la cava stessa aveva in origine.<sup>59</sup>

- *Progressi futuri* - Uno degli ostacoli che crea più problemi in ambito gestionale, riguarda l'eccesso di burocrazia ed i continui controlli cui è sottoposta la discarica.<sup>60</sup>

Una riflessione più attenta ed aggiornata, dovrà essere effettuata di concerto con le pubbliche amministrazioni, sul ruolo degli uffici di controllo, nella fase di approvazione dei progetti, e nella fase di gestione dell'impianto del Brentino.

Si tratterà di valutare quali sono stati gli elementi che la Nuova COSMAVE ha dovuto affrontare per rispondere agli interventi prescrittivi ed ai controlli, in gran parte ritenuti di scarsa utilità.

---

<sup>58</sup> STUDIO TECNICO AGRO-BIO-AMBIENTALE, *Censimento*, 1998, 2 ss., op. cit. in bibliografia.

<sup>59</sup> STUDIO TECNICO AGRO-BIO-AMBIENTALE, *Proposta*, 1998, 1-2, op. cit. in bibliografia.

<sup>60</sup> Colloquio con il Sig. G. Galeotti della Nuova Cosmave.

Questa azienda è in grado di proseguire la sua attività nei prossimi 10 anni, secondo gli accordi stipulati con il Comune di Massarosa, accordi in fase di perfezionamento e che comprendono, fra l'altro la cessione dell'area recuperata al Comune.

#### ❖ LA DISCARICA DELLA CAVA FILIPPI

Il 30 dicembre 1986 la Giunta Regionale della Liguria ha approvato il "Piano territoriale di coordinamento paesistico". Esso prevede nell'ex Cava Filippi (un tempo utilizzata per l'estrazione dell'argilla) la realizzazione di una discarica controllata.

Viste le prospettive e le problematiche a livello comunale e intercomunale, alcune industrie marmifere presenti nella zona, consociatesi nella Ecobonifiche S.p.A., in data 7 maggio 1987 hanno acquistato i lotti pertinenti al compendio fallimentare della S.p.A. Giuseppe Filippi che hanno ravvisato

#### Considerazioni sul riutilizzo della marmettola in attività di recupero ambientale.

Progetti di questo genere non possono nascere ovunque. Nei due casi esistenti, gli impianti si trovano in aree adiacenti a grandi vie di comunicazione, facilmente raggiungibili dai mezzi adibiti al trasporto degli scarti, a distanza ragionevole dalle segherie che se ne servono. Tutto ciò è riferito ai costi di conferimento.

Altri problemi possono sorgere con i centri abitati circostanti l'area, quindi è necessario valutare l'incremento di traffico dovuto ai mezzi pesanti e gli eventuali svantaggi causati agli abitanti della zona.

Inconvenienti di questo genere non sempre rendono possibile la realizzazione di discariche per scarti lapidei in aree degradate. Lo dimostra il fatto che, dopo anni di tentativi, i comuni di Massa e Carrara non sono ancora riusciti a realizzare una discarica nel proprio territorio.

In questo caso è lecito pensare a utilizzi diversi della marmettola che, parallelamente alle discariche, ne consentano lo smaltimento di determinati quantitativi.

come idonei alla realizzazione di una nuova discarica controllata dei loro residui.<sup>61</sup>

L'utilizzo della marmettola come materiale da riempimento è a sua volta finalizzato al recupero e alla riqualificazione ambientale di un'area inizialmente costituita da un profondo ed ampio invaso artificiale (residuo dell'attività di cava) occupato da un lago (diviso in due bacini comunicanti, detti *Lago Piccolo* e *Lago Grande*).

Attualmente, sono stati completati il riempimento e la copertura finale dell'area del Lago Piccolo ed è in atto il riempimento del Lago Grande, quasi totalmente prosciugato.

I lavori di recupero ambientale e riqualificazione dell'area nota come *ex Cava Filippi*, sono stati preceduti da una serie di indagini, eseguite nel 1989, che hanno integrato il progetto con un preciso quadro idrogeologico e litostratigrafico.<sup>62</sup>

La coltivazione della discarica ha avuto inizio nel 1992. Il bacino del Lago Piccolo è stato riempito fino alla quota di 6 m s.l.m. Sopra la marmettola a tale quota è stata stesa una geomembrana opportunamente fissata, e sopra questa la terra vegetale. A questo punto è iniziata la coltivazione della discarica nel bacino del Lago Grande, dotato, tra l'altro, di una maggior profondità rispetto al Lago Piccolo.

Per le operazioni successive, il progetto prevede l'impermeabilizzazione della parte superficiale della discarica, al fine di ripristinare il lago con dimensioni leggermente ridotte rispetto a quello inizialmente esistente alla quota di 9 m s.l.m.<sup>63</sup>

---

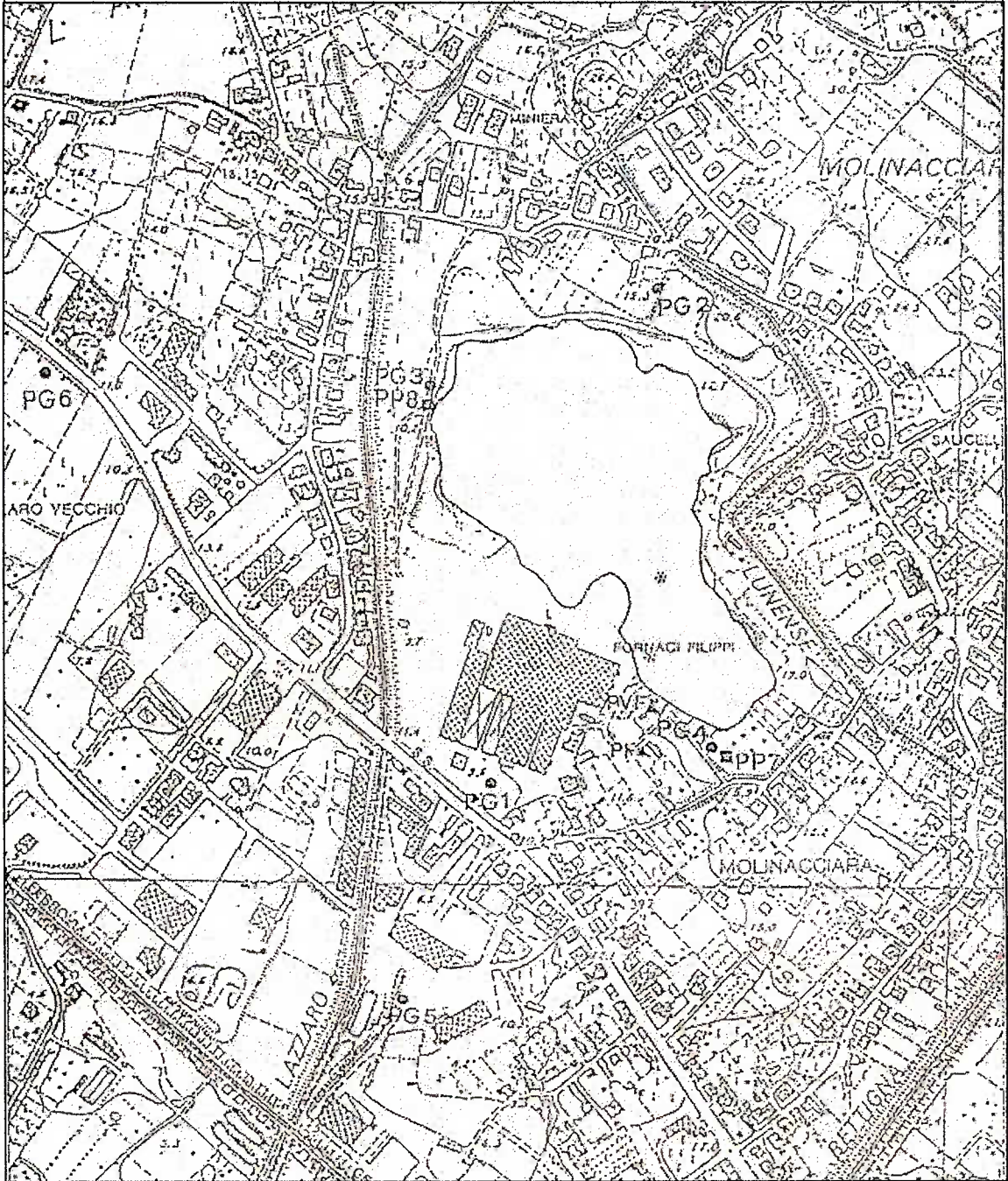
<sup>61</sup> P. FRIGERIO, *Studio*, 1988, 4-5, op. cit. in bibliografia.

<sup>62</sup> R. CAPACCIOLI - A. DORO, *Recupero*, 1996, 1, op. cit. in bibliografia.

<sup>63</sup> R. CAPACCIOLI - S. NICCOLAI, *Relazione*, 1989, 7-9, op. cit. in bibliografia.

Una soluzione di particolare interesse riguarda proprio la geomembrana che dovrà dividere il fondo del lago dal cumulo di marmettola sottostante. La Ecobonifiche è intenzionata a realizzare tale opera utilizzando la

Figura 42 - Discarica della ex Cava Filippi.



marmettola stessa che, opportunamente miscelata con bentonite, verrebbe riciclata in una vasta opera di impermeabilizzazione.<sup>64</sup>

#### 4.1.3 Attività di recupero previste per fanghi di Classe 3 (marmettola di granito)

Le possibilità di riciclaggio che riguardano esclusivamente i fanghi di granito, si scontrano con l'estrema eterogeneità di questo materiale. Ciò rende quasi impossibile l'impiego come carica minerale, ed è causa di maggiori difficoltà nella ricerca. Tuttavia le proposte che seguono non sono prive di un certo interesse.

##### 4.1.3.1 Fabbricazione di masselli per pavimentazione

Un tipo di riutilizzo riguardante esclusivamente la marmettola di granito, è stato sperimentato presso la Toscana Precast.

Date le quantità potenzialmente riciclabili nel settore dell'edilizia, è stato impostato un programma di ricerca con una serie di prove eseguite presso una fabbrica che produce 600 mq al giorno di masselli per pavimentazione.

Il fango, filtropressato e lasciato essiccare all'aria, è stato ridotto in polvere facendolo passare in setaccio con maglie da 1 mm. Nel mixer dell'impianto di vibropressa sono stati introdotti la marmettola, cemento Portland 42,5, sabbia e additivo fluidificante D.B.M. della Grace. La quantità di acqua impiegata è minima (23 litri su 600 kg di impasto) e i tempi di presa sono risultati regolari. Il ferro in polvere contenuto nei fanghi non ha creato

---

<sup>64</sup> Informazioni ottenute il 10/10/1997 in seguito a colloquio con personale della Ecobonifiche.

problemi di ruggine perché l'additivo messo a punto ha esplicato in maniera adeguata l'azione di antiossidante.<sup>65</sup>

I risultati ottenuti riguardano la buona resistenza meccanica, la qualità del faccia a vista e la lavorabilità del materiale; tuttavia tale impiego della marmettola di granito non ha avuto seguito oltre la fase sperimentale.

#### 4.1.3.2 Produzione di cemento

Dopo i fanghi di marmo, pare anche quelli di granito possano entrare a far parte delle materie prime per la produzione del cemento. Le quantità in gioco questa volta sono notevolmente inferiori e non si ha notizia di applicazioni pratiche.

In sostanza, è possibile aggiungere una modesta quantità di marmettola di granito, al fine di garantire il giusto apporto in silice.<sup>66</sup>

Anche in questo caso ci si scontra con la maggior economicità dei procedimenti a secco, nei quali il fango potrebbe accedere solo dopo un costoso processo d'essiccazione, che ne renderebbe sconveniente l'utilizzo.

#### 4.1.3.3 Produzione di laterizi

Dall'esame della composizione chimica della marmettola di granito scaturisce una stretta affinità con i materiali argillosi, pur trattandosi di materiali diversi.

La possibilità di recupero del fango di granito nell'ambito dell'industria dei laterizi, è però limitata dalle norme tecniche ad una percentuale massima del 5% sul secco. Esso dovrebbe svolgere un'azione smagrente nei

---

<sup>65</sup> MATERIE SECONDE: NORMATIVA, RICERCA, ESPERIENZA, Firenze, 1988, *Ipotesi di riutilizzo*, 1989, 126-127, op. cit. in bibliografia.

<sup>66</sup> G. BELARDI – M. MANETTA – S. MASSIMILLA, *Il riutilizzo*, in *Inq.* 1998, n. 2, 46, op. cit. in bibliografia.

confronti dell'argilla, ma la possibilità che contemporaneamente si verifichi un indebolimento del laterizio è alla base di tale limitazione.

#### 4.1.3.4 Produzione di materie prime per l'industria ceramica

La valorizzazione mineralurgica dei fanghi di granito al fine di ottenere feldspati utilizzabili nei vari settori dell'industria ceramica (monocottura, grès porcellanato, smalti, ecc.), è teoricamente ottenibile mediante processi di separazione magnetica, integrata o meno con metodi di flottazione selettiva.<sup>67</sup>

I concentrati feldspatici e quarzosi sono prodotti estremamente importanti nell'industria della ceramica ed hanno un valore di mercato relativamente elevato; si presentano tuttavia tantissime incognite, a partire dalla fattibilità del procedimento per giungere al problema della disomogeneità dei fanghi. Non ultimo va poi considerato il costo, elemento fondamentale nell'ambito della competitività del prodotto.

## 4.2 Recupero dei fanghi non previsto dalle norme tecniche

Se l'attività di recupero che si vuole intraprendere, non figura negli elenchi delle norme tecniche, questa non può avvalersi della procedura semplificata per il riciclaggio. Di conseguenza dovrà necessariamente seguire l'iter previsto dal Dlgs 22/1997.<sup>68</sup>

---

<sup>67</sup> M. GHIANI - M.OI - R. PERETTI - A. ZUCCA, *Produzione*, in *CA* 1997, n. 2-3, 5-6, op. cit. in bibliografia.

<sup>68</sup> *Testo aggiornato del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, recante: «Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggi»*, in *Gazzetta ufficiale della Repubblica Italiana* 28.11.1997.

#### 4.2.1 Attività di recupero

Le seguenti attività di recupero riguardano nella maggior parte dei casi proposte teoriche, la cui praticabilità è spesso messa in discussione a causa dei costosi trattamenti che richiederebbero i fanghi prima del riutilizzo. Non sono però da sottovalutare, come si dirà in altra parte del presente lavoro, le possibilità di riciclo in contesti diversi dal nostro, in particolare nei cosiddetti Paesi in via di sviluppo, nei quali incidono in misura assolutamente inferiore molti fattori del costo, primo fra tutti la mano d'opera.<sup>69</sup>

Tuttavia verranno subito descritti due procedimenti che vanno controcorrente, tant'è vero che il primo viene tuttora applicato ed il secondo non prevede modificazioni nelle caratteristiche della marmettola.

Il materiale cui si riferiscono, è quasi esclusivamente marmettola di marmo, di conseguenza diventa inutile servirsi della classificazione utilizzata in precedenza.

##### 4.2.1.1 Realizzazione di masselli

La realizzazione di masselli utilizzabili in edilizia per la posa in opera di pavimentazioni ed in campo industriale per la produzione di contrappesi, si basa sull'utilizzo della marmettola di marmo nelle operazioni di smaltimento tramite riciclaggio delle batterie al piombo esaurite.

Da molti anni alcune ditte specializzate recuperano il piombo delle batterie usando nel processo, come fondente, la soda Solvay. In una ditta di Arcola in provincia di La Spezia, la soda è stata sostituita con marmo in polvere

---

<sup>69</sup> Naturalmente in contesti, ormai non tanto rari, nei quali avvenga la lavorazione dei graniti: cosa sempre più frequente, come si può dedurre dallo spostamento di segherie dal bacino apuo-versiliese ai paesi dove si trovano i giacimenti.



proveniente dalla segazione. I vantaggi ottenuti sono principalmente due: riduzione dei costi di produzione e possibilità di smaltimento delle scorie prodotte nella lavorazione avviandole ad un nuovo ciclo produttivo. Il carbonato di calcio, in miscela con gli altri componenti della carica (sabbia silicea, ferro in trucioli, carbone ed i composti di piombo delle batterie), rende possibile il recupero del piombo producendo nel contempo una scoria che contiene: ossido di calcio, silicati, ossidi di ferro e ferro metallico, piombo al 2-3%.

Queste scorie, inutilizzabili fino a poco tempo fa perché contenenti soda e destinate ad essere avviate in una discarica per rifiuti tossici e nocivi, con l'introduzione della marmettola contengono invece calce che non impedisce il processo di inertizzazione con cemento, sabbia e un additivo messo a punto per impedire la formazione di ruggine nella superficie dei masselli ottenuti con una vibropressa.<sup>70</sup>

#### 4.2.1.2 La marmettola in agricoltura

L'uso dei composti del calcio ( $\text{CaO}$ ;  $\text{Ca(OH)}_2$ ;  $\text{CaCO}_3$ ) nelle colture agricole come correttore del pH di un terreno troppo acido è largamente diffuso nei paesi subtropicali ed equatoriali (ad esempio in Brasile, Ecuador, Kenya). La presenza anche in Italia ed in Europa, sia pur in minor misura, di terreni acidi che debbono periodicamente essere coretti per consentire la coltivazione, rende plausibile una valutazione degli aspetti sia tecnici che geografici ed economici che caratterizzerebbero l'eventuale utilizzazione di fanghi di marmo bianco e colorato in questo campo d'impiego.

---

<sup>70</sup> MATERIE SECONDE: NORMATIVA, RICERCA, ESPERIENZA, Firenze, 1988, *Ipotesi di riutilizzo*, 1989, 122-123, op. cit. in bibliografia.

La misura dell'acidità di un terreno si ottiene mediante misurazione del suo pH. I terreni più acidi hanno un pH= 3÷3,5 mentre i più alcalini un pH= 9÷10. In genere gli estremi variano tra 4,5 e 8,5. Ogni coltivazione ha bisogno di un pH adatto e di una relativa quantità di elementi e sostanze utili per l'accrescimento delle colture. Se per una coltivazione esiste un pH inferiore a quello estremo sopra indicato (4,5), si procede alla correzione dell'eccessiva aggressività del terreno (calcinazione). La pratica della calcinazione è attualmente molto comune nelle regioni umide quali quelle temperate alle nostre latitudini e quelle equatoriali e subtropicali, dove l'acidità è determinata dalla lisciviazione dei terreni da parte dell'acqua piovana.

La riduzione dell'acidità di un terreno si ottiene con l'aggiunta di calce viva (CaO), con idrossido di calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) o con carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

La reazione di neutralizzazione con  $\text{CaCO}_3$  è più lenta, ma l'utilizzo del fango derivante dalla lavorazione dei marmi sia bianchi che colorati sarebbe favorito dalla granulometria sufficientemente fine ( $\leq 300\mu\text{m}$ ) per l'uso cui sarebbe destinato e che ne favorisce l'assimilazione. La correzione dell'acidità si fa in terreni che hanno un pH 4,5 altrimenti è redditizio scegliere una coltura che si adatti a pH leggermente acidi. Per neutralizzare l'acidità occorrono circa 50 quintali di  $\text{CaCO}_3$  per ettaro e l'operazione è periodica (ogni 4-5 anni) poiché un terreno neutralizzato (con pH= 6,5 circa) tende a riacquistare la sua acidità. Esso tende in altre parole a tornare spontaneamente alle condizioni di partenza.

Per quanto riguarda la composizione, i fanghi reflui delle lavorazioni lapidee sono qualitativamente idonei per la deacidificazione di terreni

agricoli. I fanghi possono essere impiegati allo stato naturale previa nastropressatura o sotto forma di granulato. In ogni caso, anche se non correttivi, possono essere tranquillamente sparsi sul terreno senza provocare danni, rappresentando un arricchimento del terreno stesso.<sup>71</sup>

#### 4.2.1.3 Cariche per materie plastiche in polipropilene

Il propilene è una resina termoplastica ad elevata temperatura di rammollimento e buone caratteristiche di elasticità e resistenza meccanica, ottenuta dalla polimerizzazione del propilene (gas derivante da processi petrolchimici) che interviene in presenza di particolari catalizzatori (denominati appunto Ziegler-Natta dal nome dei suoi scopritori), per poliaddizione radicalica.

Al propilene vengono aggiunti, in fase di formulazione, quantitativi variabili di cariche inerti prevalentemente costituiti da inerti di tipo minerale.

I tipi di carica minerale utilizzati per il propilene si differenziano soprattutto per il grado di resistenza meccanica che riescono a dare al prodotto finito. È in particolare la forma dei grani delle cariche a determinare la resistenza meccanica del polipropilene.

Il carbonato di calcio, come carica, è usato per materiali più rigidi e meno resistenti: ad esempio negli estetici (arredamenti), nei films (per imballaggi e confezionamenti), o nelle cassette per merci varie.

Le caratteristiche e le percentuali di carbonato di calcio utilizzate per la produzione del polipropilene a bassa resistenza meccanica, variano in funzione dei manufatti cui è destinato. Ad esempio il  $\text{CaCO}_3$ , utilizzato per

---

<sup>71</sup> COOPERATIVA AMBIENTE, *Reflui*, 1989, 100-102, op. cit. in bibliografia.

il polipropilene destinato alla produzione di films da imballaggio, ha granulometria molto fine ( $< 2\mu$ ) mentre per i materiali più grezzi (cassette da imballaggio) la granulometria può essere più grossolana ( $< 10\mu$ ). In quest'ultimo esempio la percentuale di carica in carbonato può arrivare anche al 60%, mentre normalmente è in media 30÷40 %.

Per l'utilizzo dei fanghi di marmo in sostituzione del carbonato di calcio, va segnalata la presenza assai limitante del ferro in percentuali superiori alla media di quanto tollerato dal processo produttivo del polipropilene (0,02÷0,04%). Va, infatti, segnalato che esiste un vincolo chimico legato ai fenomeni di termossidazione che, in presenza dei catalizzatori, utilizzati per la reazione di polimerizzazione (generalmente perossidi), potrebbero compromettere la buona riuscita della formulazione chimica del polimero. L'eccesso di ferro potrebbe inoltre compromettere la bianchezza e la brillantezza del materiale escludendo l'uso dei fanghi per la produzione di materiali con colorazioni estetiche chiare, confinando la possibilità di riuso alla produzione di materiali più grezzi (cassette per merci varie).

Risulta infine evidente che la natura delle cariche è quella asciutta e che esiste comunque anche il vincolo del tenore di umidità che dovrebbe mantenersi al di sotto dello 0,1% in peso.<sup>72</sup>

#### 4.2.1.4 Cariche per materiali in PVC

Il polivinil cloruro, abitualmente denominato con la sigla abbreviata PVC, è una materia plastica della "seconda generazione" (come il polietilene, il polipropilene, il poliuretano ecc.) derivante dal processo di poliaddizione radicale del monomero cloruro di vinile che, in presenza di agenti fisici e

---

<sup>72</sup> COOPERATIVA AMBIENTE, *Reflui*, 1989, 92-94, op. cit. in bibliografia.

chimici (temperatura, pressione, catalizzatori chimici), polimerizza in lunghe catene macromolecolari a sviluppo monodimensionale (cioè con gli atomi degli elementi costituenti il monomero disposti preferenzialmente, con legami forti, in una direzione).

Il PVC è pertanto, come il polipropilene, una resina termoplastica, cioè stabile a temperatura ambiente ma in grado di rammollire reversibilmente con un innalzamento della temperatura al di sopra della temperatura di rammollimento. Il PVC viene utilizzato in due principali stati fisici: rigido e flessibile. Il PVC rigido trova applicazione nelle opere di idraulica (tubazioni per acque bianche, piovane, nere, canale pluviali, autoclavi ecc.), elettrotecnica ed elettromeccanica (giranti ed altre parti meccaniche per ventilatori; carpi e giranti per pompe di sollevamento; tubazioni e quadri di protezione delle linee elettriche ecc.). Il PVC flessibile viene invece utilizzato: in fogli e rotoli per guaine e tele di impermeabilizzazione sia civile che industriale; estruso per realizzare guaine isolanti per i cavi elettrici.

Le cariche in  $\text{CaCO}_3$  per PVC sono prodotti a secco (umidità inferiore all'1%) che vengono aggiunti al materiale base, non per dare caratteristiche tecniche particolari, ma come puro inerte che consente risparmi sui costi della materia prima. La presenza di impurità è maggiormente tollerata di quanto visto nelle cariche per materie plastiche polipropilene, per vernici e per carta, che devono dare al prodotto finito attributi di resistenza e di colorazione.

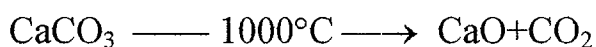
La granulometria può subire sensibili variazioni a seconda del prodotto finale costruito in PVC. Se generalmente il tetto granulometrico è di  $40\mu$ , le

particelle inferiori ai  $2\mu$  possono essere del 20% nel PVC per tappeti o in una fascia che va dal 50% al 90% nel PVC per cavi.

Il tenore di  $\text{CaCO}_3$  presente nei fanghi di solo marmo bianco dovrebbe essere compatibile con quanto richiesto dal PVC. Il materiale va comunque portato ad essiccazione e a granulometrie interne ai valori indicati.<sup>73</sup>

#### 4.2.1.5 Produzione di soda (processo Solvay)

Il carbonato di calcio all'inizio del processo Solvay viene sottoposto a calcinazione (decomposizione a  $1000^\circ\text{C}$ ) per la produzione di  $\text{CO}_2$ , che si unisce ad acqua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ) e cloruro di sodio ( $\text{NaCl}$ ) per dare carbonato di sodio idrato ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ) che calcinato a  $200^\circ\text{C}$  dà il carbonato di sodio anidro altrimenti noto come soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) che rappresenta il prodotto finale del processo. L'apporto e la calcinazione del calcare nel processo produttivo Solvay rappresenta una delle operazioni fondamentali del ciclo tecnologico, sia perché la calcinazione del  $\text{CaCO}_3$  contenuto nel calcare serve per produrre il  $\text{CO}_2$  necessario per la produzione intermedia di  $\text{NaHCO}_3$ , sia perché il  $\text{CaO}$  ottenuto dalla calcinazione, secondo la nota reazione:



serve a produrre, durante il processo di spegnimento che avviene con reazione fortemente esotermica, calore necessario al processo produttivo e calce spenta da utilizzare come prodotto finito.

L'utilizzo del fango derivante dalle lavorazioni di solo marmo è teoricamente possibile. Il grado di umidità non rappresenta un problema dovendo il  $\text{CaCO}_3$  subire all'inizio un processo di calcinazione.

<sup>73</sup> COOPERATIVA AMBIENTE, *Reflui*, 1989, 94-96, op. cit. in bibliografia.

Un primo vincolo riguarda però la composizione che deve essere determinata e fissa nel tempo.

La granulometria rappresenta il vero problema per l'utilizzo della marmettola nel processo Solvay. Attualmente alla Solvay si utilizza un carbonato di calcio di pezzatura di 10÷15cm di diametro (maggiore è il diametro dei pezzi, minore è il tempo di calcinazione quindi maggiore è la produttività). La possibilità che il fango di marmo entri nel processo Solvay dipende quindi dalla possibilità di rendere questo materiale compatto mediante processi di lavorazione quali, ad esempio, la pellettizzazione o il bricchettaggio.<sup>74</sup>

#### 4.2.1.6 Utilizzo nel settore metallurgico

La produzione dei materiali siderurgici avviene in due fasi distinte: la riduzione per contemporanea carburazione di minerali di ferro nell'altoforno, con produzione della ghisa; l'affinazione della ghisa, cioè l'eliminazione da essa del carbonio ed altri elementi presenti, per trasformarla in acciaio.

Le due fasi sopra descritte vengono operate in impianti (altoforni, convertitori) che, per il principio di funzionamento e materie prime utilizzate, sono tra di loro fundamentalmente differenti tanto da trovare spesso anche diversa ubicazione geografica.

Il principio di funzionamento dell'altoforno è quello di scaldare il minerale di ferro (ematite, limonite, siderite ecc.) insieme ad un agente riducente (carbone, coke metallurgico) a temperature elevate, tali che possano avvenire le reazioni di riduzione degli ossidi di ferro a ferro metallico.

---

<sup>74</sup> COOPERATIVA AMBIENTE, *Reflui*, 1989, 96-97, op. cit. in bibliografia.

Oltre al minerale ed al combustibile si carica nell'altoforno anche un fondente, la cui funzione è quella di facilitare la fusione della ganga e delle ceneri del combustibile, per formare le cosiddette scorie o loppe.

La ghisa dall'altoforno può essere successivamente convertita in acciaio attraverso processi di decarburazione a caldo in forni ad insufflazione di miscele di gas, a percentuale prevalente di ossigeno, chiamati appunto convertitori che, tramite ossidazione parziale o totale del carbonio contenuto nella ghisa trasformano la lega ad elevato tenore di carbonio in leghe a basso tenore di carbonio od in ferro dolce.

Anche nel processo di conversione della ghisa in acciaio, vengono aggiunti scorificanti a base calcarea in grado di affinare ulteriormente la lega dagli eventuali elementi o composti indesiderati (piombo, zolfo, anidride silicea ecc.).

La composizione chimica dei fanghi derivanti dalle lavorazioni lapidee è compatibile, come fondente, sia nei processi dell'altoforno sia in quelli di vari settori della conversione della ghisa in acciaio, mentre non sono adatti il tenore di umidità e la granulometria.

I reflui delle lavorazioni lapidee potrebbero essere utilizzati in altoforno dopo aver subito dei processi di compattazione. Un certo interesse per l'inserimento in questo processo produttivo riveste anche il fango proveniente dalla sola segagione del granito che contiene un 3% di CaO ed un 8% di Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e che quindi, opportunamente liberato dai silicati (68%) che infragilirebbero la ghisa, e addizionato ai fanghi di solo marmo, garantirebbe, dopo bricchettaggio, oltre all'apporto di calcare, anche l'apporto di Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> da ridurre a ferro metallico.<sup>75</sup>

---

<sup>75</sup> COOPERATIVA AMBIENTE, *Reflui*, 1989, 97-98, op. cit. in bibliografia.



#### 4.2.1.7 Realizzazione di lastre in marmoresina

La tecnologia "Bretonstone" è stata concepita per riciclare gli scarti del marmo, derivanti dalla fase estrattiva in sede di cava, attraverso un processo produttivo di agglomerazione con resine poliestere che consente di ottenere, quale prodotto finito, piastrelle di vario colore e formato la cui qualità è garantita dalla completa automatizzazione impiantistica.

Il manufatto che ne deriva è costituito per il 93% da marmo naturale e per il 7% da resina poliestere.

Il suo aspetto è quello del granito naturale con la caratteristica conformazione granulare a tinte variegata, risultante dalla combinazione di granulati di diverso colore, opportunamente selezionati, frantumati e miscelati a resina poliestere che funge da legante durante il processo di agglomerazione.

Le sue caratteristiche fisico-meccaniche lo pongono ad un livello intermedio fra il marmo ed il granito. Per quanto concerne infatti la resistenza all'abrasione e all'attaccabilità da agenti chimici ed atmosferici, esso conserva le stesse caratteristiche del marmo naturale, mentre risultano sensibilmente migliori la resistenza a flessione, alla trazione, all'urto e alla compressione, determinate dalla componente "resina" che conferisce maggiore elasticità al manufatto.

Presupposto indispensabile per la produzione è la scelta delle materie prime, con particolare riferimento all'inerte, al ventilato e alla resina.

Il primo è sotto forma di granulato, del colore desiderato, con pezzatura variabile fra i 20 ed i 30 mm, dimensioni indispensabili per ottenere, a seguito della frantumazione impiantistica, una curva granulometrica idonea alle esigenze del ciclo produttivo.

Il secondo è costituito, invece, da polveri di carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) frantumate a 16.000 maglie ( $40 \mu$ ) avente funzione di "filler", ovvero di materiale di riempimento nel processo di agglomerazione.

La resina, infine, del tipo poliestere insaturo, è un prodotto di sintesi organica che, opportunamente additivata a catalizzatore perossidico e accelerante a base di sali di cobalto, polimerizza a caldo passando dallo stato liquido a quello solido.

In questo processo di reticolazione, essendo mescolata ai granuli di inerte e al ventilato con cui va a formare un impasto, esplica un'azione di cementazione nei loro confronti, per cui il risultato finale è l'ottenimento di una struttura solida e perfettamente amalgamata.<sup>76</sup>

Le possibilità per la marmettola di marmo (e forse anche di granito) di entrare nel ciclo produttivo di tale materiale, sono legate a due fattori che la differenziano dal filler attualmente utilizzato.

L'umidità in essa contenuta richiede un trattamento di essiccazione, in quanto il procedimento di mescolazione inerte-ventilato-resina avviene a secco; la granulometria della marmettola è, oltre che variabile, sensibilmente inferiore a quella del ventilato, per cui solo attraverso una sperimentazione è possibile ottenere dati certi.

#### 4.3 Eventuali trattamenti delle marmettole

Come constatato nei precedenti paragrafi, in molti casi non è possibile riciclare i fanghi nelle medesime condizioni in cui si trovano all'uscita dai filtripressa. Spesso necessitano di trattamenti finalizzati a modificare determinate caratteristiche che sono d'impedimento per l'inserimento nel

---

<sup>76</sup> SARO S.P.A., *La rigenerazione*, in *ET* 1985, n. 4, 179-181, op. cit. in bibliografia.

ciclo produttivo. Le stesse norme tecniche citano, prima di elencare le attività di recupero, una serie di trattamenti che potrebbero essere necessari per determinati riutilizzi. Di seguito verranno descritti quelli ritenuti più utili.

#### 4.3.1 Essiccamento

Partendo da un fango con un contenuto di umidità pari al 25% e volendo ottenere un contenuto di umidità medio dello 0,5%, occorre prelevare dal fango 245 g di acqua per Kg di fango. Inoltre è noto che il calore latente di evaporazione dell'acqua, alla pressione prossima a quella atmosferica ed alla temperatura di 100°C, è di circa 530 Kcal/Kg a cui vanno sommate circa 90 Kcal/Kg di calore sensibile.

Tenuto poi conto della natura della miscela da essiccare (costituita non da sola acqua ma anche da polveri che ostacolano l'evaporazione oltre ad avere un loro calore sensibile) e dei rendimenti di combustione e di trasmissione del calore si può ritenere che ogni Kg di acqua che debba evaporare dal fango abbisogni di 1200÷1400 Kcal.

Il quantitativo di acqua da prelevare per tonnellate di fango umido al 25% è di 245 Kg che, moltiplicato per le Kcal necessarie per l'evaporazione di 1 Kg di acqua nel fango, da una spesa di calorie pari a 294.000÷343.000 Kcal a tonnellata.<sup>77</sup>

La realizzazione di un essiccatoio per marmettola è tecnicamente possibile (si può ipotizzare un sistema a carrelli o nastri trasportatori che si muovono all'interno di un essiccatoio simile a quelli per l'industria dei laterizi) ma pone il problema delle spese da sostenere per la sua alimentazione, che

---

<sup>77</sup> COOPERATIVA AMBIENTE, *Reflui*, 1989, 137, op. cit. in bibliografia.

andrebbero automaticamente a gravare sul prodotto essiccato. Un'ipotesi per ridurre i costi potrebbe riguardare sistemi di cogenerazione, realizzando, per esempio, un essiccatoio collegato ad impianti d'incenerimento per rifiuti.

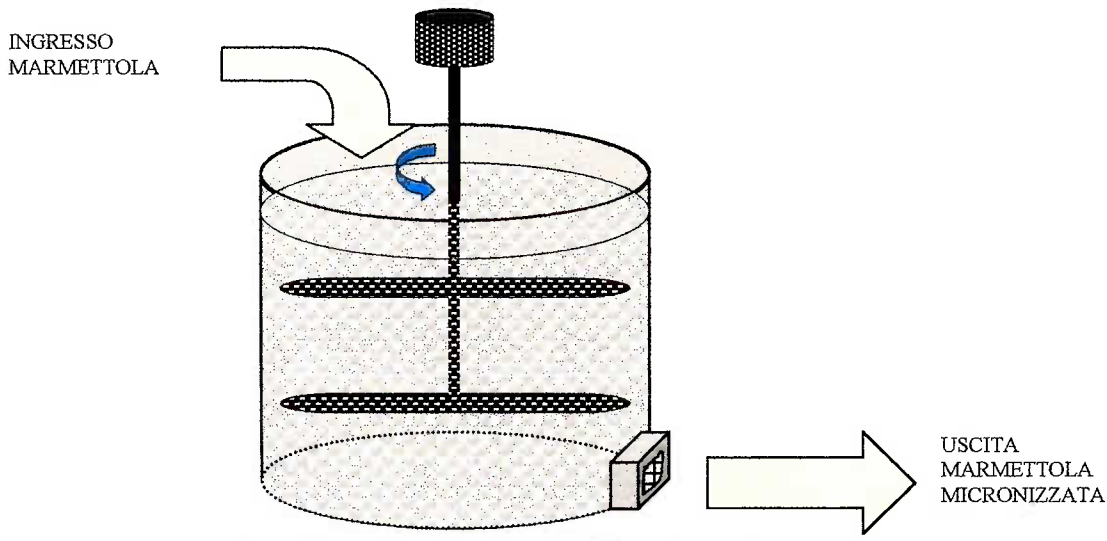
Tuttavia soluzioni troppo complesse rischiano di soccombere o di creare a loro volta nuovi problemi da risolvere.

#### 4.3.2 Micronizzazione

Il processo industriale per micronizzare la marmettola, avviene attraverso la macinazione in mulini che possono essere a sfere di zirconio (con diametro di 2 mm) o a sabbia silicea molto pura di colore bianco.

In entrambi i casi il processo consiste nel far passare la marmettola a umido attraverso i mulini disposti in serie fino ad ottenere la granulometria voluta. All'uscita dal mulino il fango passerà attraverso un vaglio che consentirà l'accesso al mulino successivo solamente alla marmettola adeguatamente fine.

**Figura 43 - Schema di mulino per la micronizzazione della marmettola.**



L'utilizzo di tale tecnologia sta per avere inizio presso una ditta di Massa (Ti.Elle) di cui si è già parlato nell'ambito del riciclaggio dei fanghi di marmo nell'industria della carta. Tale ditta produrrà uno *slurry* di adeguata finezza ( $2\mu$ ) utilizzando una serie di otto mulini a sabbia silicea.

#### 4.3.3 Pellettizzazione

Tale processo è rivolto a quelle attività nelle quali la marmettola non si può usare perché troppo fine.

Si può ottenere un'agglomerazione in grani del fango mediante impianti di pellettizzazione, i quali portano alla formazione di "palline" (*pellets*) da 2÷3 mm di diametro fino a 20÷25 mm. In tale processo si adoperano materiali con una percentuale di umidità ottimale compresa fra il 9% e il 13%, ma sono consentite anche percentuali maggiori a seconda del tipo di materiale.

La lavorazione consiste nell'immissione in un cilindro rotante del materiale miscelato con un legante. Dall'azione combinata di rotazione e rotolamento si formano le pellets delle dimensioni volute, in funzione della lunghezza del percorso che compiono all'interno del cilindro rotante. Sono poi raccolte in un setaccio, dove quelle con granulometria idonea vengono smistate.<sup>78</sup>

---

<sup>78</sup> COOPERATIVA AMBIENTE, *Reflui*, 1989, 98, op. cit. in bibliografia.

## **5 *Sperimentazioni finalizzate alla ricerca di nuove soluzioni per il recupero delle marmettole nei materiali da costruzione***

Conclusasi la parte conoscitiva, la quale ha fornito tutte le informazioni necessarie ad inquadrare il "problema" marmettola, si è ritenuto opportuno intraprendere una serie di sperimentazioni finalizzate al recupero dei fanghi in alcuni materiali da costruzione. Di conseguenza, sono stati presi in considerazione i laterizi, le malte per intonaco ed i blocchi da muratura, e sono stati realizzati alcuni campioni da sottoporre a prove che ne hanno determinato i parametri più indicativi.

I principi fondamentali che hanno condizionato scelte e sperimentazioni si basano sull'intento di sfruttare le caratteristiche fisico-chimiche dei fanghi, evitando la necessità di trattamenti come essiccazione, micronizzazione o pellettizzazione, e scartando l'impiego di prodotti resinosi. Tali decisioni sono motivate dall'estrema necessità di semplificare le tecniche di realizzazione e soprattutto di minimizzare i costi.

È bene sottolineare che:

A. Un recupero più incisivo (e anche più conveniente) potrebbe essere tentato con una "riprogettazione tecnologico-produttiva" di alcuni materiali utilizzati in edilizia, seguita con l'obiettivo primario di sfruttare le caratteristiche "latenti" dei fanghi di lavorazione dei marmi e dei graniti. Tutto ciò considerando diversi contesti socio-produttivi, quali:

- *Contesti industrializzati*. In questo caso la riprogettazione potrebbe avvalersi anche di particolari incentivazioni governative aventi lo scopo di ridurre il problema dei rifiuti e di puntare allo sfruttamento più razionale delle risorse;
- *Contesti non industrializzati (o terzomondisti)*. In questo caso la riprogettazione potrebbe puntare alla individuazione di nuovi materiali con funzioni specifiche (quali leganti per malte o leganti per produzione di elementi edilizi a basso costo), applicabili in relazione a richieste prestazionali meno impegnative.

B. La strategia indicata in A non vuole prevalere sulle tecniche attualmente praticate per lo smaltimento dei fanghi, ma si affiancherebbe ad esse, diventando una proposta alternativa, eventualmente confrontabile per ottimizzazioni. Potrebbe poi stimolare iniziative sia per un maggior reimpiego che per scoprire (e reimpiegare) la quota di rifiuti difficilmente controllabile allo stato attuale.

### 5.1 Ipotesi di recupero delle marmettole come componenti per la fabbricazione dei laterizi

Il riciclaggio della marmettola di marmo e granito attraverso la miscelazione con i materiali argillosi per la fabbricazione dei laterizi, è suggerito da alcune considerazioni basate sulle caratteristiche degli elementi in oggetto:

- nelle operazioni di prelaborazione ad umido i materiali argillosi sono caratterizzati da una percentuale d'umidità simile a quella della marmettola;
- la granulometria molto fine dei fanghi può essere paragonata a quella dell'argilla;
- le caratteristiche chimico-fisiche delle marmettole dovrebbero essere compatibili con la materia prima e le reazioni che scaturiscono durante la sua cottura;
- le norme tecniche già prevedono per la marmettola di granito, la possibilità di essere usata in piccole percentuali come smagrente dei materiali argillosi.

La possibilità di utilizzare la marmettola in miscela con l'argilla, senza alcun pretrattamento d'essiccazione e separazione granulometrica, è un notevole vantaggio in quanto consente di evitare molti di quei pregiudizi economici che sorgono in gran parte delle occasioni di riciclaggio finora analizzate.

Inoltre, l'ipotesi che tali fanghi possano contribuire a migliorare la qualità del laterizio, sia dal punto di vista del ritiro, sia in riferimento alle caratteristiche di resistenza meccanica, è un motivo molto importante per avviare una sperimentazione in questa direzione.

#### 5.1.1 Composizione mineralogica descrittiva della materia prima per la produzione del laterizio<sup>79</sup>

Una prima suddivisione dei componenti della materia prima per la produzione del laterizio è la seguente:

- a) argilla propriamente detta;



- b) scheletro di materiale a dimensione granulometrica più grossolana, che nel processo tecnologico di produzione si comporta più o meno come inerte;
- c) impurità di maggiori dimensioni (sabbie grosse, sassi, fossili, legno ecc.);
- d) sostanze chimiche diverse.

#### 5.1.1.1 Argille vere e proprie

Sono costituite di composti complessi di silice, allumina e acqua.

Le argille sono responsabili delle caratteristiche tipiche dei materiali per laterizi, quali la coesione, la plasticità, la lavorabilità e la resistenza meccanica del secco e del cotto.

Si può parlare di azioni reciproche delle argille con acqua che, difficilmente riscontrabili in altri materiali, sono caratterizzate sostanzialmente da:

- deformabilità di un composto di acqua e argilla sotto l'azione di una forza, con la possibilità di assumere e mantenere una forma qualsiasi;
- irrigidimento e sviluppo di una notevole forza di coesione dopo che l'impasto è stato essiccato; la compattezza aumenta se si aumenta la temperatura, fino ad assumere una consistenza rocciosa a circa  $900\div 1000^{\circ}\text{C}$ ;
- possibilità di reversibilità completa del fenomeno di umidificazione dell'impasto se la temperatura di trattamento termico non ha superato i  $400^{\circ}\text{C}$  circa.

---

<sup>79</sup> Il seguente paragrafo è tratto da: E. FACINCANI, *Tecnologia*, 1986, 27-29, op. cit. in bibliografia.

I tipi di argilla sono numerosi ed hanno molti punti in comune e comportamenti analoghi in presenza di acqua, tuttavia ognuno di essi allo stato puro si differenzia dagli altri principalmente per:

- associazione di elementi chimici di varia natura;
- ripartizione granulometrica.

Sia la prima che la seconda condizione sono causa dei diversi legami tra l'argilla e l'acqua, e suddividono le argille in molte famiglie delle quali le più importanti sono:

- caoliniti;
- illiti (halloysiti idromiche, cloriti);
- montmorilloniti.

A causa del sovrapporsi di fenomeni di disgregazione, di trasporto e di reazioni chimiche è difficile ritrovare tali tipi in natura allo stato puro.

Nei materiali per laterizi, la frazione propriamente argillosa è costituita da miscugli di svariate famiglie. Le argille sono caratterizzate dall'estrema finezza delle particelle, che non sono mai superiori ai 20 micron e per la massima parte inferiori a 2 micron.

Per la produzione di laterizio le quantità di argilla all'interno della materia prima impiegata possono variare (per la sola frazione granulometrica minore di 2 micron) dal 15% al 45% in peso.

L'affinità delle argille con l'acqua comporta dei rigonfiamenti caratteristici delle argille umide rispetto alle argille secche. L'acqua avvolge le particelle di argilla e si fissa alla loro superficie distanziandole, mentre consente il loro reciproco spostamento.

L'aumento di volume conseguente all'assorbimento d'acqua e la contrazione che segue la perdita d'acqua, costituiscono un fenomeno che interessa in maniera notevole i processi di produzione del laterizio.

L'acqua che esce dall'argilla sopra 180°C, si chiama «zeolitica», quella che deriva dagli ossidrili (OH), che fan parte del reticolo cristallino delle argille ed esce tra 450 e 600°C, si denomina «di cristallizzazione».

#### 5.1.1.2 Scheletro a granulometria più grossolana

È costituito da vari materiali:

- Quarzo, chiamato anche silice libera con formula chimica  $\text{SiO}_2$ , comunemente conosciuto come sabbia silicea. Le percentuali in peso di questo componente nelle normali materie prime usate nella produzione di laterizio possono variare dal 15% al 30% circa. La sua granulometria è per la massima parte superiore ai 20 micron e può arrivare oltre i 200 micron. Il quarzo è uno dei materiali più duri che si conoscono, come si può desumere dalla scala delle durezza Mohs.
- Carbonati di calcio e magnesio, con formula chimica  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ . Normalmente i carbonati che si trovano nei materiali argillosi per il laterizio sono prevalentemente costituiti da carbonato di calcio ed in minore misura di  $\text{MgCO}_3$ . I carbonati si possono trovare in granulometria molto fine e suddivisa nella massa, o qualche volta in forma grossolana con caratteristiche protuberanze (calcinelli), altre volte invece come resti di fossili con forma tondeggiante e spessore sottile (conchigliette). I carbonati di calcio e di magnesio durante la cottura dissociano e liberano anidride carbonica nell'atmosfera gassosa del forno, mentre i rispettivi ossidi rimangono all'interno del prodotto e

possono reagire con altre sostanze presenti. La dissociazione del carbonato di calcio avviene al di sopra degli 800°C, quella del carbonato di magnesio a temperatura più bassa (circa 600°C) con notevole assorbimento di calore. Mediamente le percentuali di carbonati nel materiale argilloso variano dal 5% al 25%.

- Ossidi metallici: escludendo gli ossidi di Ca e Mg di cui si è già parlato, i più comunemente presenti sono l'ossido ferrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e ferroso ( $\text{FeO}$ ), riscontrabili nei comuni materiali per laterizi in percentuali variabili fino ad un massimo di circa il 10%. Altri ossidi, (di sodio  $\text{Na}_2\text{O}$ , di potassio  $\text{K}_2\text{O}$  ecc.) sono presenti in quantità minime e complessivamente non raggiungono di solito il 5%. Oltre che in forma libera, gli ossidi derivano da trasformazioni in fase di cottura; se potassio e sodio si liberano dalla materia prima durante la cottura, possono provocare gravi inconvenienti.
- Feldspati: sono composti a base silico-alluminosa, presenti nell'argilla con granulometria finissima. Si comportano come inerti, e solo in cottura reagiscono con le particelle argillose, entrando a far parte della struttura cristallina del materiale cotto.
- Miche: sono composti di struttura e composizione assai complessa, generalmente presenti sotto forma di lamelle dorate e lucenti visibili ad occhio nudo. Le miche si comportano come inerti ma sono responsabili della presenza di fluoro nel materiale argilloso.

### 5.1.1.3 Impurità grossolane

Nel materiale proveniente direttamente dalla cava sono spesso presenti ghiaia e sassi che vanno eliminati per non compromettere il funzionamento dei macchinari.

Legno, fossili ed altre impurezze possono creare fastidi al prodotto in fase di fabbricazione.

Il legno, le radici e le parti più piccole vengono eliminate durante la prelavazione a mezzo di griglie filtranti.

### 5.1.1.4 Sostanze chimiche diverse

- Solfati e solfuri (piriti): viene fatto riferimento ai soli composti facilmente solubili come solfato di sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), di potassio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), di magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ), di calcio ( $\text{CaSO}_4$ ). La presenza di piriti in un materiale argilloso può provocare la formazione di solfati durante la cottura, specie se è inizialmente presente un notevole contenuto di carbonato di calcio.
- Cloro e fluoro: non sempre sono presenti nei materiali per laterizi, ma anche piccolissime quantità possono destare preoccupazione.
- Composti organici: sono presenti in quantità apprezzabili nello strato superficiale dei giacimenti, che però non dovrebbe essere mai utilizzato; nel materiale per laterizi la percentuale di composti organici è solitamente trascurabile. Se presenti, diminuiscono la porosità del materiale e provocano più frequenti rotture in essiccamento. In casi rari, possono trovarsi argille con contenuti di composti carboniosi anche relativamente elevati.

## 5.1.2 Realizzazione e sperimentazione di provini composti da materiale argilloso e marmettole di vari tipi

I provini, realizzati in laboratorio, sono stati preparati miscelando argilla e marmettola in diverse percentuali (tab. 10). La marmettola proviene dalla segagione del marmo e del granito ed è stata prelevata da aziende localizzate presso Carrara (fig. 44). L'argilla è la stessa che viene utilizzata



**Figura 44 - Due campioni di marmettole utilizzati in laboratorio** (foto eseguite da D. Basilio).

Le prime osservazioni "dal vivo" su questo materiale permettono di costatare che le marmettole di marmo hanno una forza di coesione maggiore rispetto a quelle di granito. Le prime, infatti, lasciate essiccare all'aria mostrano la tendenza ad indurire senza sfarinarsi; i fanghi di granito, al contrario, induriscono anch'essi ma si frantumano molto più facilmente delle precedenti.



per la fabbricazione di laterizi, nella fornace Carena, a Cambiano in provincia di Torino. Ne derivano tre tipi di impasti, dove i fanghi utilizzati si avvicinano alle tre classi di marmettola di cui si è trattato in precedenza. La prima fase, finalizzata alla realizzazione dei provini, si è svolta in più momenti che vanno dalla preparazione degli impasti alla

**Tabella 10 - Denominazione e composizione dei provini (percentuali riferite al secco).**

Nome	Argilla	Marmettola di marmo	Marmettola di granito
ARG	100 %	-	-
G10	90 %	-	10 %
G20	80 %	-	20 %
G30	70 %	-	30 %
G40	60 %	-	40 %
M10	90 %	10 %	-
M20	80 %	20 %	-
M30	70 %	30 %	-
M40	60 %	40 %	-
MG5	90 %	5 %	5 %
MG10	80 %	10 %	10 %
MG15	70 %	15 %	15 %
MG20	60 %	20 %	20 %
MG10/5	85 %	10 %	5 %
MG15/5	80 %	15 %	5 %

loro cottura in fornace. Successivamente si è passati alla fase di valutazione, nella quale i campioni sono stati sottoposti alle prove di flessione, compressione, assorbimento e imbibizione.

**Figura 45 - Fango di marmo essiccato e frantumato** (foto eseguita da D. Basilio).



#### 5.1.2.1 Preparazione degli impasti

Determinata la quantità in peso dei componenti da miscelare nei vari impasti (tab. 11), è stato possibile procedere nella preparazione delle materie prime in quanto l'utilizzo di una macchina mescolatrice di piccole dimensioni, ha imposto una preventiva miscelazione a secco dei componenti. I fanghi sono quindi stati essiccati all'aria e poi sminuzzati (figg. 45 e 46), mentre il materiale argilloso era già disponibile sotto forma di polvere. In seguito si è aggiunta l'acqua, continuando a mescolare fino al raggiungimento di un impasto sufficientemente plastico.

**Figura 46 - Fango di granito essiccato e frantumato** (foto eseguita da D. Basilio).



Osservazioni fatte durante la preparazione

**Tabella 11 - Composizione degli impasti (dati riferiti all'utilizzo di marmettola essiccata).**

Nome della terna di provini	Componenti dell'impasto	Quantità per 3 provini (4×4×16 cm) [g]	Quantità per 3 provini (1×5×10 cm) [g]	Quantità per 1 mc di impasto [kg]
ARG	Argilla	1206	236	1570
	Acqua	289	56	376
G10	Argilla	1115	217	1452
	Polvere di granito	124	24	161
	Acqua	296	58	385
G20	Argilla	991	194	1290
	Polvere di granito	248	48	323
	Acqua	296	58	385
G30	Argilla	873	171	1137
	Polvere di granito	374	73	487
	Acqua	298	58	388
G40	Argilla	758	148	987
	Polvere di granito	505	99	658
	Acqua	302	59	393
M10	Argilla	1100	215	1432
	Polvere di marmo	122	24	159
	Acqua	293	57	382
M20	Argilla	972	190	1266
	Polvere di marmo	243	47	316
	Acqua	291	57	379
M30	Argilla	850	166	1107
	Polvere di marmo	366	71	477
	Acqua	290	57	378
M40	Argilla	730	143	951
	Polvere di marmo	486	95	633
	Acqua	290	57	378
MG5	Argilla	1100	215	1432
	Polvere di granito	61	12	79
	Polvere di marmo	61	12	79
	Acqua	293	57	382
MG10	Argilla	991	194	1290
	Polvere di granito	124	24	161
	Polvere di marmo	124	24	161
	Acqua	296	58	385
MG15	Argilla	867	169	1129
	Polvere di granito	186	36	242
	Polvere di marmo	186	36	242
	Acqua	296	58	385
MG20	Argilla	743	145	967
	Polvere di granito	248	48	323
	Polvere di marmo	248	48	323
	Acqua	296	58	385
MG10/5	Argilla	1032	202	1344
	Polvere di granito	61	12	79
	Polvere di marmo	121	24	158
	Acqua	291	57	379
MG15/5	Argilla	1120	219	1458
	Polvere di granito	70	14	91
	Polvere di marmo	210	41	273
	Acqua	335	65	436



degli impasti, consentono di affermare che la plasticità pare variare in seguito alla quantità e al tipo di marmettola che, a parità di contenuto d'acqua, si utilizza:

- *marmettola di granito (classe 3)*: si nota una riduzione della plasticità con l'aumentare della percentuale del fango;
- *marmettola di marmo (classe 1)*: la sensazione è che l'incremento della percentuale nell'argilla, provochi un lieve aumento di plasticità;
- *marmettola mista (classe 2)*: l'effetto è simile a quello della marmettola di granito, ma meno marcato.

#### 5.1.2.2 Confezionamento dei provini

Le forme per la realizzazione dei provini sono di due tipi:

- 1×5×10 cm: utilizzate per il confezionamento dei provini destinati alle prove di assorbimento e imbibizione;
- 4×4×16 cm: campioni destinati alle prove di rottura a flessione e schiacciamento.

In entrambi i casi, i provini sono stati formati a mano, pressando il materiale nelle forme per impedire che si originassero strati disomogenei, e realizzando tre campioni uguali per ogni tipo di impasto. Il risultato è che

**Figura 47 - Miscelazione e preparazione degli impasti avvengono con l'utilizzo di un mescolatore da laboratorio che, per merito delle ridotte dimensioni, consente il confezionamento dei provini senza sprechi di materiale (foto eseguita da D. Basilio).**

Caratteristiche:

- albero con movimento planetario che garantisce una miscelazione completa ed uniforme;
- velocità di rotazione regolabile;
- bacinella d'acciaio da 5 litri.



ad ogni sigla indicata nella prima colonna di tab. 11, corrispondono sei provini suddivisi in due terne di dimensioni diverse.

Un importante accorgimento adottato durante la realizzazione dei provini, serve ad impedire che questi si fratturino

**Figura 48 - Provini di argilla e marmettola appena confezionati con forme da 4×4×16 cm (foto eseguita da D. Basilio).**



durante l'essiccazione. In tale fase avviene un notevole ritiro che è causa di un forte attrito dovuto all'aderenza tra la base dei casseri ed il materiale; il problema è stato risolto dopo i primi casi di rotture, interponendo una pellicola di nylon tra il cassero ed il materiale stesso (fig. 48). Ciò ha permesso lo scorrimento tra le due superfici, evitando il rischio di rotture, ed ha consentito di togliere le pareti laterali dei casseri subito dopo il confezionamento, rendendo così più rapida ed omogenea l'essiccazione.

### 5.1.2.3 Caratteristiche dei provini essiccati

I provini secchi si presentano con determinate caratteristiche che variano in funzione della quantità e del tipo di marmettola impiegato.

Il ritiro tende a ridursi con l'aumentare della percentuale di fango di granito: misurando la dimensione maggiore, avviene una riduzione di 1,1 cm nel caso dei provini con sola argilla, mentre aggiungendo granito, il ritiro cala di circa 1 mm ad ogni salto di percentuale.<sup>80</sup> Meno evidenti sono

<sup>80</sup> Valori rilevati nelle terne di provini realizzati con le forme da 1×5×10 cm.

invece le differenze dimensionali negli elementi con marmettola di marmo e marmettole miste.

Le variazioni cromatiche si manifestano di provino in provino con tonalità sempre più chiare all'aumentare della percentuale dei fanghi e passando dai fanghi di granito a quelli di marmo.

#### 5.1.2.4 Cottura dei provini

Questa operazione è avvenuta presso la fornace Carena, già fornitrice della materia prima argillosa utilizzata per la realizzazione dei blocchetti.

Il forno arriva ad una temperatura massima di 850°C ed i mattoni che vi si cuociono, danno seri problemi quando l'argilla contiene  $\text{CaCO}_3$ .<sup>81</sup>

Il tempo trascorso dalla sformatura e le piccole dimensioni dei provini, hanno consentito l'esclusione dell'essiccatoio. Si è così arrivati direttamente alla cottura con un passaggio in forno di circa ventiquattr'ore.

#### 5.1.2.5 Caratteristiche dei provini dopo la cottura

##### ❖ *Provini granito-argilla:*

- Imbarcamento quasi nullo.
- Sensibile diminuzione del ritiro con l'incremento delle percentuali di granito.

**Figura 49 - I pesi dei campioni sono stati misurati con una bilancia analitica digitale da 480 g x 1 mg di sensibilità, avente le seguenti caratteristiche (foto eseguita da D. Basilio):**

- Azzeramento tara per mezzo di tasto per tutta l'ampiezza della scala, con visualizzatore percentuale della stessa.
- Taratura automatica del fondo scala.
- Accessibilità attraverso tre sportelli scorrevoli.



<sup>81</sup> Colloquio avvenuto il 16/03/1998 con il Sig. P. Carena.

- Il ritiro è quasi identico in G10 e G20, mentre passando a G30, questo è notevolmente inferiore. G40 è uguale a G30.

❖ *Provini marmo-argilla:*

- Maggior ritiro rispetto a quelli con granito.
- Imbarcamento ridotto.
- Evidenti fratture in M40 (fig. 50) e successivamente anche in M30.
- M10 e M30 hanno quasi le stesse dimensioni. M20 e M40 sono leggermente più grandi.
- Il provino con meno ritiro è uguale a quello avente il ritiro maggiore fra quelli a base di granito.

Figura 50 - Provino confezionato con forme da 1×5×10 cm, fessuratosi dopo la cottura (foto eseguita da D. Basilio).



❖ *Provini marmo-granito-argilla:*

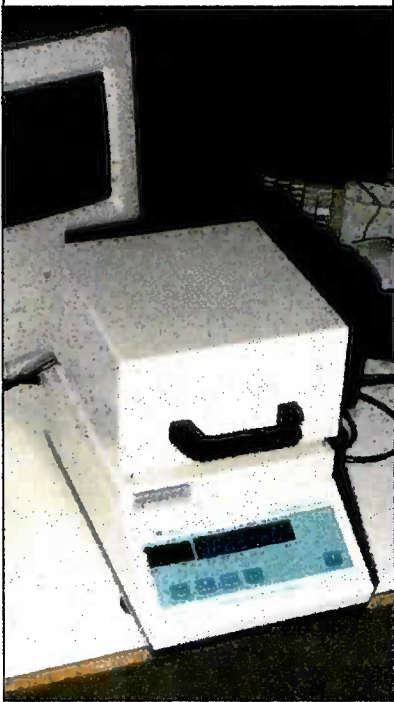
- Graduale diminuzione del ritiro con l'aumentare delle percentuali.
- Lieve imbarcamento.
- Caratteristiche di ritiro intermedie tra G e M.

Le vistose fratture comparse in M30 e M40, vanno attribuite all'elevata percentuale di marmettola di marmo (carbonato di calcio) la quale, durante la cottura, si è trasformata in ossido di calcio (CaO) che si è poi idratato con l'umidità contenuta nell'aria, formando idrossido di calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) e aumentando di volume.

M30 e M40 saranno pertanto esclusi dalle successive prove cui verranno sottoposti gli altri blocchetti.

**Figura 51 - Le misure del residuo secco e del contenuto d'umidità si determinano con una termibilancia elettronica a raggi infrarossi avente una portata di 160 g ed una sensibilità di g 0,001 (foto eseguita da D. Basilio).**

Il funzionamento di tale strumento è basato sul riscaldamento del provino il quale diminuisce di peso in rapporto all'evaporazione dell'umidità in esso contenuta. Trovandosi il provino sul piattino della bilancia, le variazioni di peso, fornite sotto forma di percentuale, vengono misurate istante per istante. La programmazione può avvenire secondo due metodi di misura: temperatura-tempo e autostop. Nel primo caso, impostata la temperatura, è necessario inserire il tempo d'essiccazione, trascorso il quale termina la prova. Il secondo prevede il bloccaggio della bilancia al raggiungimento del valore di soglia minima prescelto.



Tuttavia il raggiungimento del 20% di marmettola di marmo senza rilevare danneggiamenti nel provino, è un ragguardevole traguardo in quanto il carbonato di calcio nell'argilla è dannoso se supera il 10%.<sup>82</sup>

#### 5.1.2.6 Determinazione del valore di assorbimento e del coefficiente d'imbibizione

Per queste prove si utilizzano le terne confezionate con le forme da 1×5×10 cm, le cui dimensioni sono adatte alla portata della termobilancia utilizzata per la determinazione della massa secca.

La determinazione del valore di assorbimento si esegue mediante un recipiente riempito di acqua distillata per un'altezza di 10 mm, mantenuta a livello costante. Il provino viene essiccato a  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  e pesato per determinare

#### Osservazione

Durante l'essiccazione con la termobilancia da laboratorio si è osservato un diverso comportamento dei provini, in funzione del tipo di marmettola in essi contenuta. I campioni con fanghi di marmo, pur avendo un contenuto d'umidità simile a quelli con fanghi di granito, hanno raggiunto il valore minimo in un tempo più breve.

<sup>82</sup> M. A. ROSA, *Tecnologie*, 1992, 223, op. cit. in bibliografia.

**Tabella 12 - Determinazione dei valori di assorbimento.**

Nome del campione	Sigle dei provini	Area della faccia bagnata (dm <sup>2</sup> )	Massa secca dei provini (g)	Massa imbibita dei provini (g)	Coefficiente di assorbimento dei provini (g/(dm <sup>2</sup> ·min))	Coefficiente di assorbimento medio del campione
G10	A	0,046	77,62	78,623	21,804	21,206
	B	0,048	81,322	82,385	22,146	
	C	0,048	78,149	79,093	19,667	
G20	A	0,047	80,607	81,828	25,979	25,736
	B	0,0475	81,334	82,67	28,126	
	C	0,048	82,156	83,265	23,104	
G30	A	0,0475	80,87	82,22	28,421	31,321
	B	0,048	82,227	83,942	35,729	
	C	0,048	84,524	85,955	29,812	
G40	A	0,0539	84,355	86,605	41,744	47,609
	B	0,049	83,446	85,689	45,776	
	C	0,049	80,515	83,225	55,306	
M10	A	0,047	76,255	76,723	9,957	16,800
	B	0,0475	80,114	80,957	17,747	
	C	0,046	76,843	77,887	22,696	
M20	A	0,047	74,92	75,474	11,787	21,700
	B	0,0509	78,143	79,856	33,654	
	C	0,047	80,169	81,093	19,660	
MG5	A	0,048	76,525	77,072	11,396	18,312
	B	0,047	77,55	78,529	20,830	
	C	0,0465	81,3	82,356	22,710	
MG10	A	0,0475	78,405	78,908	10,589	20,268
	B	0,048	78,241	79,393	24,000	
	C	0,0494	79,015	80,31	26,215	
MG15	A	0,048	78,171	78,693	10,875	24,525
	B	0,048	80,803	82,299	31,167	
	C	0,047	78,513	79,995	31,532	
MG20	A	0,048	78,235	79,124	18,521	30,864
	B	0,0509	79,537	81,538	39,312	
	C	0,0475	79,851	81,502	34,758	

la sua massa  $M_0$  a secco (in grammi). Viene quindi messo nel recipiente, misurando l'area lorda  $F_0$  (in dm<sup>2</sup>) della sua faccia che viene a contatto con l'acqua distillata. Dopo  $60 \pm 3$  s il provino viene estratto, lasciato gocciolare per  $45 \pm 5$  s e quindi pesato per ricavare la sua massa  $M_f$  (in grammi).

Il valore di assorbimento  $A_s$ , espresso in g/(dm<sup>2</sup>·min), è dato dalla formula:

$$A_s = \frac{M_f - M_0}{F_0}$$

**Tabella 13 - Determinazione del coeff. di imbibizione.**

Nome del campione	Sigle dei provini	Massa secca dei provini (g)	Massa imbibita dei provini (g)	Coefficiente di imbibizione dei provini (%)	Coefficiente di imbibizione medio del campione (%)
G10	A	77,62	89,35	15,112	14,763
	B	81,322	93,062	14,436	
	C	78,149	89,669	14,741	
G20	A	80,607	93,204	15,628	15,577
	B	81,334	94,075	15,665	
	C	82,156	94,84	15,439	
G30	A	80,87	94,235	16,527	16,610
	B	82,227	96,15	16,932	
	C	84,524	98,362	16,372	
G40	A	84,355	101,577	20,416	20,347
	B	83,446	100,538	20,483	
	C	80,515	96,732	20,142	
M10	A	76,255	87,615	14,897	14,274
	B	80,114	91,212	13,853	
	C	76,843	87,657	14,073	
M20	A	74,92	86,778	15,828	15,228
	B	78,143	90,271	15,520	
	C	80,169	91,661	14,335	
MG5	A	76,525	87,676	14,572	14,375
	B	77,55	88,536	14,166	
	C	81,3	92,996	14,386	
MG10	A	78,405	90,446	15,357	14,940
	B	78,241	89,533	14,432	
	C	79,015	90,892	15,031	
MG15	A	78,171	90,495	15,765	15,639
	B	80,803	92,992	15,085	
	C	78,513	91,127	16,066	
MG20	A	78,235	91,666	17,168	16,675
	B	79,537	92,486	16,280	
	C	79,851	93,087	16,576	

La prova di imbibizione viene eseguita misurando la massa  $M_0$  (in grammi) dei provini essiccati a  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  fino a massa costante. Successivamente i provini vengono immersi per 24 ore in acqua distillata a temperatura ambiente e nuovamente pesati, dopo averli asciugati con carta bibula, per ricavare la massa  $M_i$  (in grammi).

Il coefficiente di imbibizione  $C_i$  (espresso in percentuale) è dato dalla formula:<sup>83</sup>

$$C_i = \frac{M_i - M_0}{M_0} \cdot 100$$

I risultati delle prove di assorbimento e di imbibizione sono raccolti in tabella 12 e tabella 13. Qui si può notare come la misura dell'area della faccia bagnata sia variabile da provino a provino, in quanto suscettibile delle lievi differenze dimensionali causate dai ritiri e dalle imperfezioni di confezionamento.

Nelle figure 52 e 53 è riassunto l'andamento dei campioni in tali prove.

Figura 52 - Grafico dei valori di assorbimento.

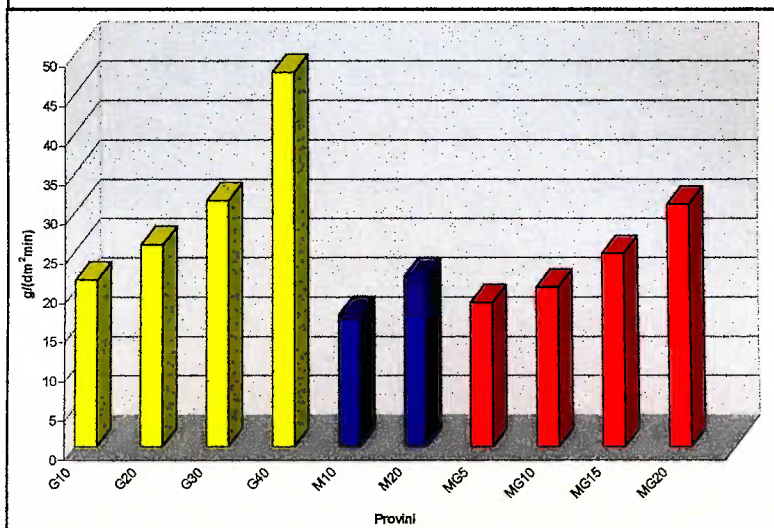
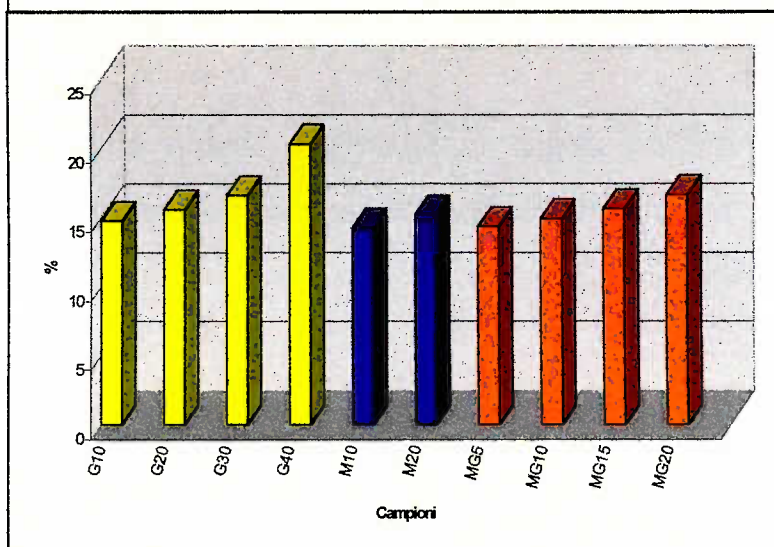


Figura 53 - Grafico dei coefficienti d'imbibizione.



<sup>83</sup> C. AMERIO - G. CANAVESIO, *Materiali*, 1993, 104-105, op. cit. in bibliografia.



### 5.1.2.7 Considerazioni su valore di assorbimento e coefficiente d'imbibizione dei provini

In tab. 14 sono riportati i limiti di assorbimento e di coefficiente di imbibizione relativi alle principali categorie di laterizi.

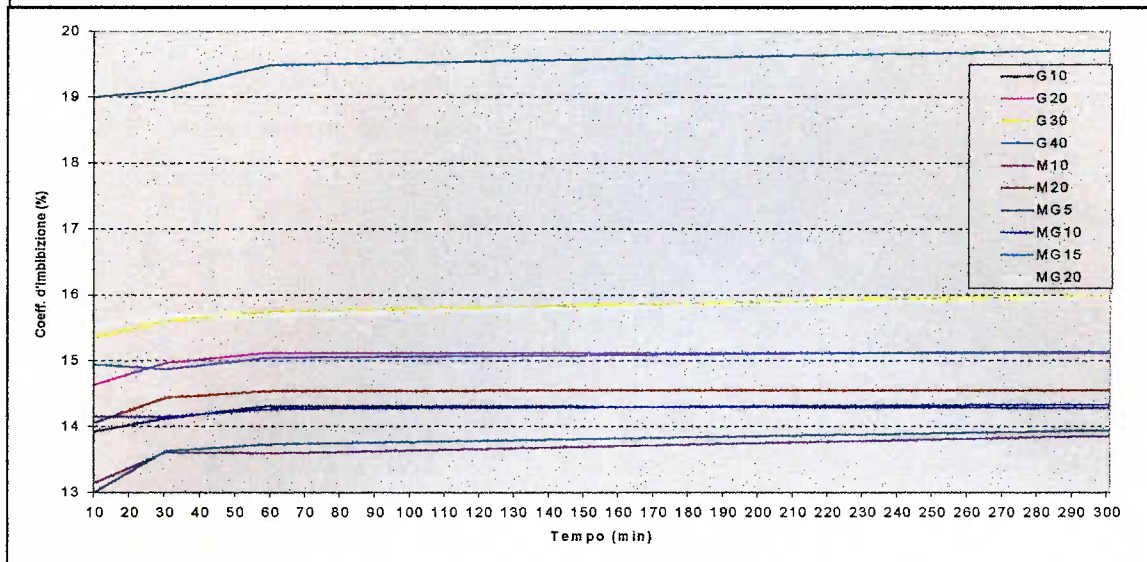
Il confronto di questi valori con i dati ottenuti sperimentalmente (figg. 52 e 53), permette di compiere una prima selezione tra i campioni e di stabilire quali di essi hanno un miglior comportamento alle azioni igrometriche. Per quanto riguarda il coefficiente d'imbibizione, tutti i valori sono molto simili e spaziano tra il 14,2% e il 16,6%, con l'eccezione di G40 che supera il 20%, ma resta comunque al di sotto dei valori limite più restrittivi. Ben diversa è la situazione del valore di assorbimento:

- il rapporto aumenta sensibilmente con l'aumentare (nelle diverse categorie di provini) delle percentuali di marmettola, per cui alcuni campioni rientrano solo nella più permissiva categoria dei prodotti con massa alveolata;
- G40 non supera la prova in quanto raggiunge un valore eccessivo, troppo alto perché sia accettato anche nei laterizi a massa alveolata;

**Tabella 14 - Requisiti di accettazione dei laterizi: assorbimento e coeff. di imbibizione.**

Caratteristica	Prodotti con massa normale	Prodotti da rivestimento	Prodotti rettificati, calibrati o pressati a secco	Prodotti con massa alveolata
Valore di assorbimento	8÷20 g/dm <sup>2</sup>	8÷20 g/dm <sup>2</sup>	8÷20 g/dm <sup>2</sup>	12÷30 g/dm <sup>2</sup>
Coeff. di imbibizione	10÷25%	10÷25%	10÷25%	15÷40%

Figura 54 - Imbibizione dopo 5 ore d'immersione.



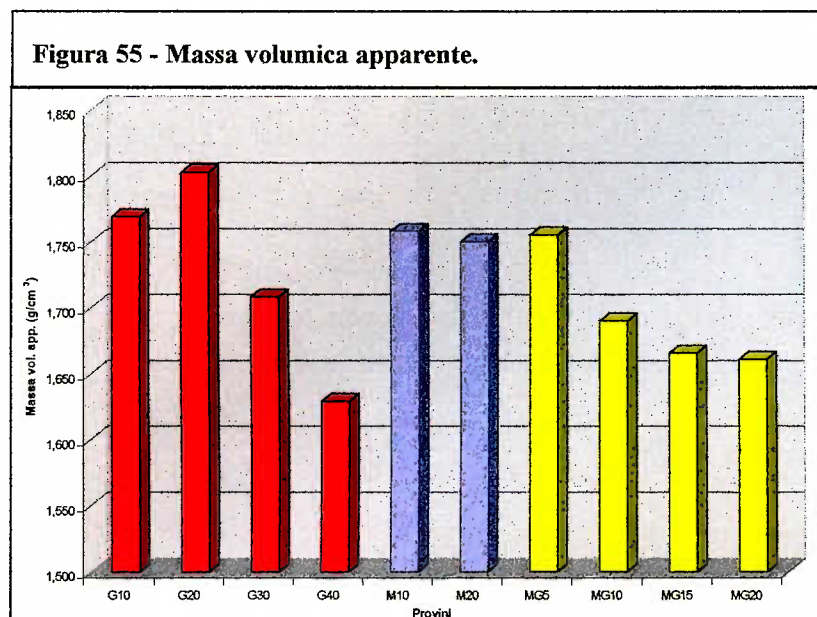
➤ le terne della serie M e MG con percentuali di marmetola non superiori al 20%, hanno il comportamento migliore ed il loro valore di assorbimento può essere comparato con quello dei prodotti a massa normale, da rivestimento, ecc.

Altre interessanti osservazioni riguardano l'andamento del coefficiente d'imbibizione in funzione del tempo.

Nel grafico di fig.54 è stata realizzata tale rappresentazione dove le diverse spezzate raffigurano i provini mentre gli assi delle ascisse e delle ordinate misurano rispettivamente il tempo ed i coefficienti d'imbibizione. Andamento e inclinazione delle linee sono molto simili: ciò rappresenta un comportamento abbastanza omogeneo dei campioni che, dopo la forte impennata iniziale, stabilizzano la propria velocità di imbibizione su incrementi quasi corrispondenti.

### 5.1.2.8 Massa volumica apparente

La determinazione viene fatta con gli stessi campioni già utilizzati nelle



prove di assorbimento e imbibizione, calcolando il volume lordo  $V_l$  (in  $\text{cm}^3$ ) in base alla misura degli spigoli dell'involuppo esterno. Viene poi misurata la massa

$M$  (in g) del provino, dopo averlo essiccato fino a massa costante.

Il valore della massa volumica apparente  $Mv_a$  (in  $\text{g/cm}^3$ ) è dato dalla formula:

$$Mv_a = \frac{M}{V_l}$$

### 5.1.2.9 Determinazione della resistenza a compressione e a flessione

I provini utilizzati in queste prove hanno dimensioni maggiori dei precedenti, in quanto ricavati da forme che misurano  $4 \times 4 \times 16$  cm. Essi vengono prima spezzati in mezzeria durante la prova di resistenza a flessione; le due parti in cui il campione viene diviso durante questa prova, vengono entrambe utilizzate per determinare la resistenza a compressione.

La prova di resistenza a flessione viene eseguita poggiando i provini su un apposito dispositivo costituito da due supporti distanti 120 mm,

nell'apposita macchina di prova. Questa applicherà in mezzeria un carico  $P_r$  crescente, che provocherà la rottura.

La resistenza a flessione  $R_f$  (in  $N/mm^2$ ) viene calcolata in base alla relazione:

$$R_f = \frac{M}{W}$$

Dove:

$$M = \frac{1}{4} \cdot P_r \cdot 120 \quad \text{e} \quad W = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2$$

La prova di resistenza a compressione consiste nel sottoporre ad un carico gradualmente crescente fino a rottura un determinato numero di provini e nel calcolo della dispersione dei valori ottenuti rispetto alla media.

Per ciascun provino il valore della resistenza a rottura per compressione  $f_{bi}$  in  $N/mm^2$  è dato dalla formula:

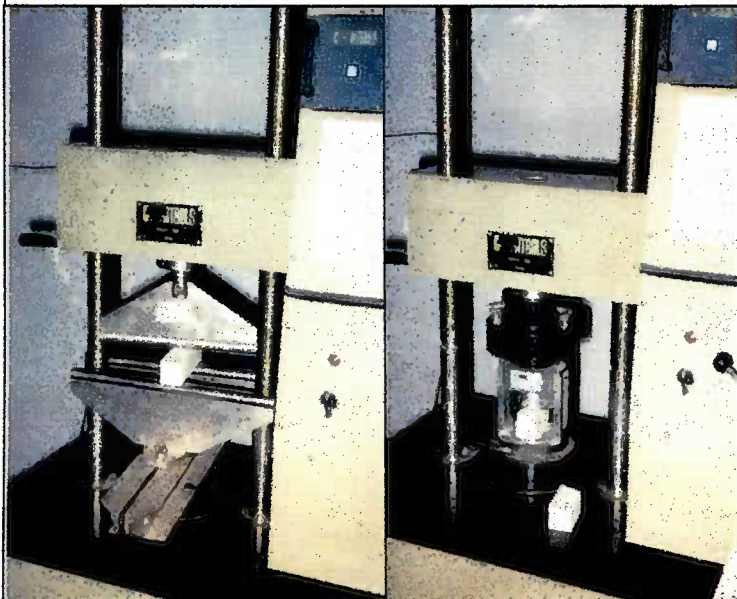
$$f_{bi} = \frac{P}{A}$$

In cui:

$P$  = carico che ha prodotto la rottura, espresso in N;

**Figura 56 - I valori di resistenza a flessione e compressione dei provini si ottengono con l'utilizzo di una macchina di prova universale, dotata di un sistema idraulico a controllo automatico (foto eseguite da D. Basilio).**

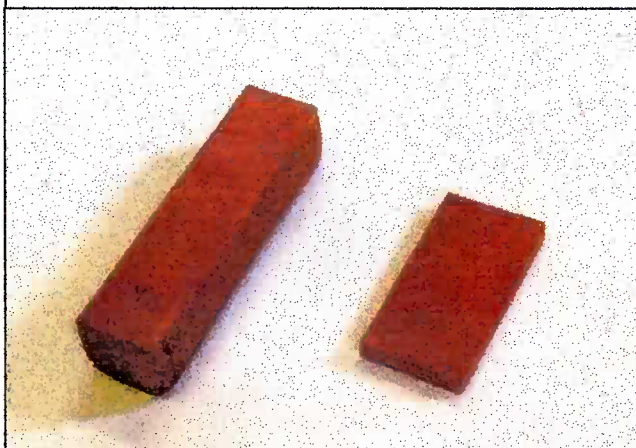
Al termine di ogni prova è possibile leggere su un visualizzatore a cristalli liquidi il carico di rottura in kg.



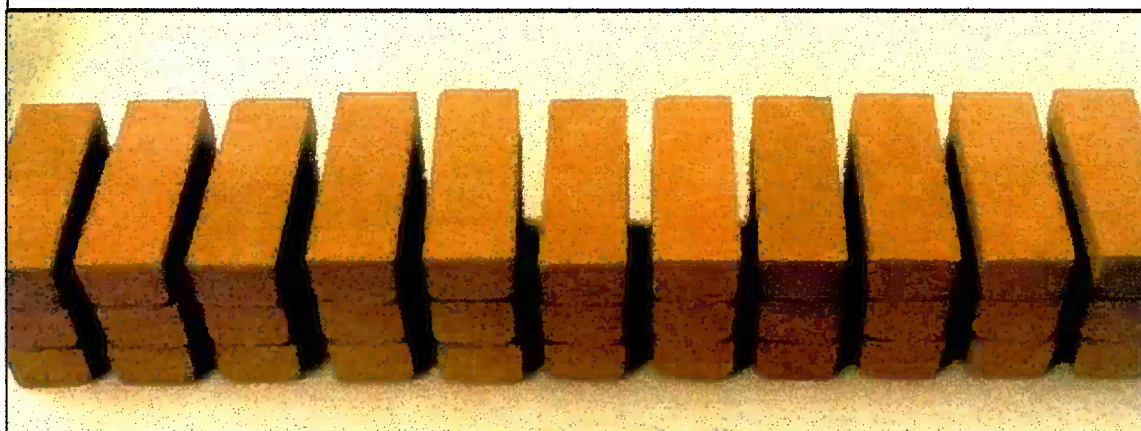
$A$  = area lorda della faccia del provino sottoposta al carico, espressa in  $\text{mm}^2$ .

Le tabelle 15, 16 e 17 contengono i valori di rottura a compressione e flessione, ottenuti con i metodi appena descritti. Le variazioni di misura dell'area compressa,

**Figura 57 - Provini a confronto dopo la cottura** (foto eseguita da D. Basilio).



**Figura 58 - Terne di provini da rompere a flessione e compressione** (foto eseguita da D. Basilio).



**Figura 59 - Alcuni provini dopo le prove di rottura** (foto eseguita da D. Basilio).



presenti in tab. 15 e 16 sono, anche in questo caso, dovute al ritiro ed alle imperfezioni di confezionamento, che determinano lievi differenze nelle dimensioni dei blocchetti.

**Tabella 15 - Calcolo della resistenza a compressione dei provini.**

Nome del campione	Sigle dei provini	Area della zona compressa (mm <sup>2</sup> )	Carico di rottura a compressione dei provini (N)	Resistenza a compressione dei provini (N/mm <sup>2</sup> )	Resistenza a compressione media del campione (N/mm <sup>2</sup> )
ARG	A1	1520	22330	14,7	15,7
	A2		23910	15,7	
	B1		20930	13,8	
	B2		25920	17,1	
	C1		23620	15,5	
	C2		26880	17,7	
G10	A1	1520	18960	12,5	13,2
	A2		18140	11,9	
	B1		18800	12,4	
	B2		19470	12,8	
	C1		25510	16,8	
	C2		19920	13,1	
G20	A1	1520	19190	12,6	13,5
	A2		18380	12,1	
	B1		23200	15,3	
	B2		18790	12,4	
	C1		22130	14,6	
	C2		21040	13,8	
G30	A1	1520	18340	12,1	13,5
	A2		20440	13,4	
	B1		21750	14,3	
	B2		17260	11,4	
	C1		23750	15,6	
	C2		21340	14,0	
G40	A1	1560	14240	9,1	9,7
	A2		14900	9,6	
	B1		15280	9,8	
	B2		13180	8,4	
	C1		16130	10,3	
	C2		17200	11,0	
M10	A1	1520	25680	16,9	16,2
	A2		24380	16,0	
	B1		26710	17,6	
	B2		25790	17,0	
	C1		26650	17,5	
	C2		18860	12,4	
M20	A1	1520	22200	14,6	13,7
	A2		17610	11,6	
	B1		28340	18,6	
	B2		21050	13,8	
	C1		17970	11,8	
	C2		17980	11,8	

**Tabella 16 - Calcolo della resistenza a compressione dei provini.**

Nome del campione	Sigle dei provini	Area della zona compressa (mm <sup>2</sup> )	Carico di rottura a compressione dei provini (N)	Resistenza a compressione dei provini (N/mm <sup>2</sup> )	Resistenza a compressione media del campione (N/mm <sup>2</sup> )
MG5	A1	1520	24620	16,2	13,8
	A2		24440	16,1	
	B1		16950	11,2	
	B2		16380	10,8	
	C1		16500	10,9	
	C2		27020	17,8	
MG10	A1	1520	20500	13,5	13,4
	A2		16960	11,2	
	B1		21200	13,9	
	B2		18060	11,9	
	C1		21380	14,1	
	C2		23930	15,7	
MG15	A1	1560	14060	9,0	11,5
	A2		25790	16,5	
	B1		14780	9,5	
	B2		19170	12,3	
	C1		14150	9,1	
	C2		19370	12,4	
MG20	A1	1520	18150	11,9	10,9
	A2		13810	9,1	
	B1		18010	11,8	
	B2		15940	10,5	
	C1		16710	11,0	
	C2		17160	11,3	
MG10/5	A1	1480	18350	12,4	13,2
	A2		19120	12,9	
	B1		18710	12,6	
	B2		19980	13,5	
	C1		16660	11,3	
	C2		24600	16,6	
MG15/5	A1	1480	18930	12,8	13,9
	A2		17970	12,1	
	B1		22360	15,1	
	B2		23010	15,5	
	C1		19310	13,0	
	C2		22000	14,9	

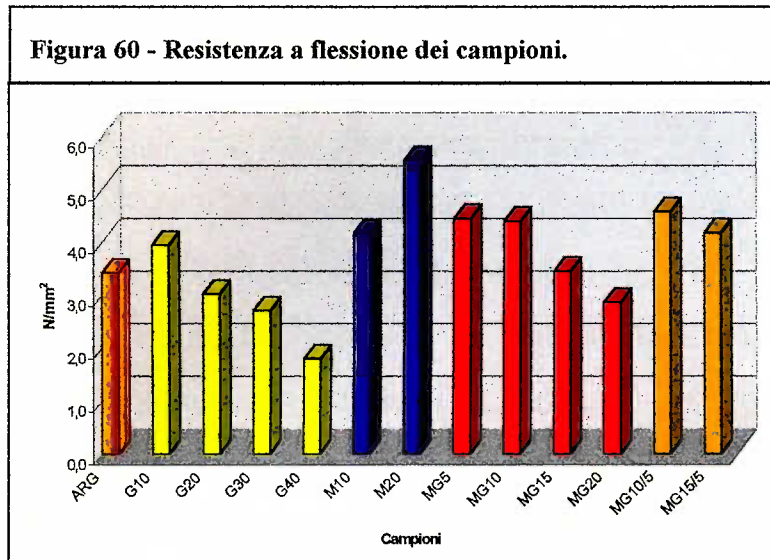
**Tabella 17 - Calcolo della resistenza a flessione in tutti i provini.**

Nome del campione	Sigla dei provini	Interasse tra gli appoggi (mm)	Carico di rottura a flessione dei provini (N)	Resistenza a flessione dei provini (N/mm <sup>2</sup> )	Resistenza a flessione media del campione (N/mm <sup>2</sup> )
ARG	A	120	1100	3,6	3,4
	B		930	3,1	
	C		1110	3,6	
G10	A	120	1220	4,0	4,0
	B		1080	3,5	
	C		1320	4,3	
G20	A	120	770	2,5	3,0
	B		1000	3,3	
	C		1000	3,3	
G30	A	120	750	2,5	2,7
	B		770	2,5	
	C		960	3,1	
G40	A	120	460	1,5	1,8
	B		690	2,3	
	C		500	1,6	
M10	A	120	1320	4,3	4,2
	B		1220	4,0	
	C		1290	4,2	
M20	A	120	1540	5,1	5,6
	B		1720	5,6	
	C		1830	6,0	
MG5	A	120	1200	3,9	4,5
	B		1600	5,2	
	C		1290	4,2	
MG10	A	120	1410	4,6	4,4
	B		1330	4,4	
	C		1300	4,3	
MG15	A	120	1000	3,3	3,5
	B		1280	4,2	
	C		890	2,9	
MG20	A	120	1050	3,4	2,9
	B		820	2,7	
	C		760	2,5	
MG10/5	A	120	1510	5,0	4,6
	B		1250	4,1	
	C		1440	4,7	
MG15/5	A	120	1260	4,1	4,2
	B		1200	3,9	
	C		1380	4,5	

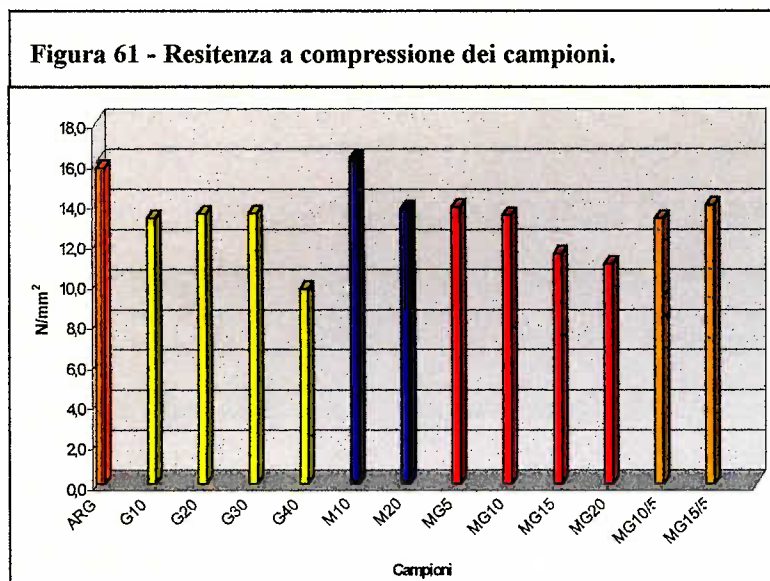


### 5.1.2.10 Considerazioni su resistenza a flessione e a compressione dei provini

La rottura per compressione che si verifica nei provini assume una diversa fisionomia a seconda che questi contengano marmo oppure granito: essi si



spaccano di netto o si fessurano nel primo caso, mentre i secondi, invece, si sgretolano. Ciò sembra indicare, per quanto riguarda i campioni del tipo M ed anche MG, di una maggior "plasticità"



del materiale, riconducibile al notevole incremento prestazionale ottenuto nelle prove a flessione.

La valutazione dei dati ottenuti dalle

**Tabella 18 - Requisiti di resistenza a compressione.**

Tipi di elementi	Resistenza media a rottura per compressione $R$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Mattoni o blocchi pieni	$R \geq 10$ per murature di edifici di altezza maggiore di 7,50 m
	$R \geq 7$ per murature di edifici fino a 7 m di altezza

prove meccaniche può avvenire in due modi: il primo è basato sul confronto con il campione di solo materiale argilloso; il secondo è riferito ai requisiti di resistenza a rottura a compressione, per mattoni pieni destinati ad elementi strutturali.

- 1) Dal confronto col campione di solo materiale argilloso (denominato ARG) si osserva, per quanto riguarda la resistenza a compressione, un generale ma contenuto peggioramento (fig. 61). Vi sono però alcune eccezioni: M10 presenta una resistenza superiore a quella di ARG, G40 è invece notevolmente più basso, mentre MG15 e MG20 sono inferiori alla media dei rimanenti provini. Nella resistenza a flessione i risultati sono invece sorprendenti in quanto 8 provini su 12 forniscono valori superiori di quello standard (fig. 60). Il più elevato è sicuramente M20, ma non sono da sottovalutare nemmeno diversi altri, tra cui M10. Questo quindi è l'unico campione che in entrambe le prove supera quello di materiale argilloso.
- 2) Tuttavia, confrontando i dati ottenuti dalle prove di rottura per compressione con i valori stabiliti dal D.M. 24-1-1986<sup>84</sup> (tab. 18), tutti i campioni superano i limiti di resistenza minima. Ciò dimostra, tenendo presente i valori di resistenza a flessione, che la maggior parte delle terne può esser presa in considerazione.

#### 5.1.2.11 Valutazioni finali sulla sperimentazione nei laterizi

Le prove condotte permettono di fare alcune considerazioni sugli effetti delle marmettole nei laterizi. Innanzitutto risulta evidente dai coefficienti di imbibizione ed assorbimento un sensibile incremento di porosità. Come

---

<sup>84</sup> Tale decreto, riguardante le costruzioni sismiche, prescrive apposite particolarità geometriche e caratteristiche di resistenza per i mattoni e i blocchi pieni e semipieni.

noto, infatti, la presenza nelle argille di elevati quantitativi di quarzo fa aumentare la porosità nei prodotti di cottura; anche il calcare, che ad alta temperatura sviluppa biossido di carbonio gassoso, se presente in elevata percentuale, aumenta la porosità del laterizio.<sup>85</sup> Inoltre la cottura, avvenuta a temperatura non superiore agli 850 °C, permette di escludere la formazione di iniziali fasi liquide, capaci di ridurre le cavità riempiendo gli spazi vuoti.

Durante la bagnatura per le prove di imbibizione si è potuta osservare una lieve attitudine alle efflorescenze esclusivamente nei provini con marmettola di marmo; essa è attribuita al carbonato di calcio, che esce in superficie come latte di calce e genera un velo bianco sottile ed uniforme.<sup>86</sup>

Le prove eseguite sui campioni permettono, tuttavia, di confermare l'eventualità di un possibile impiego delle marmettole come componenti per la fabbricazione di laterizi. I dati ottenuti consentono, infatti, di selezionare i provini che presentano le caratteristiche migliori; facendo poi opportune considerazioni sulla composizione degli impasti, è possibile calcolare i nuovi dosaggi basati sull'uso di marmettola allo stato fangoso.<sup>87</sup>

Come ormai noto, questa è caratterizzata da una percentuale d'umidità che si aggira attorno al 25%, per cui sarà sufficiente includere il corrispondente quantitativo d'acqua nelle polveri di marmo e granito, e togliere quella in eccesso dall'acqua di impasto. Ciò permetterà di dedurre il quantitativo di fango necessario per ogni metro cubo di impasto (tab. 19).

---

<sup>85</sup> G. MAURA, *Materiali*, 1992, 260, op. cit. in bibliografia.

<sup>86</sup> E. FACINCANI, *Tecnologia*, 1986, 37, op. cit. in bibliografia.

<sup>87</sup> A tal proposito si ricorda che i provini per gli esperimenti di laboratorio sui laterizi, sono stati eseguiti con l'uso di marmettole essiccate, al fine di ottenere (con le attrezzature disponibili) una miscelazione dei componenti più omogenea.

Considerando ad esempio la quantità d'argilla annualmente utilizzata da un'azienda di media dimensione come la Fornace Carena, è possibile calcolare il quantitativo di marmettola che potrebbe essere riutilizzato nella fabbricazione dei laterizi.

I valori forniti dalla ditta stessa sono di 60.000÷80.000 mc annui, suddivisi in circa 200 giorni lavorativi e con la produzione di 5.000 q di cotto il giorno.<sup>88</sup> Ciò significa che, utilizzando la tabella 19, è ipotizzabile il reimpiego in un anno di circa 12.900÷17.200 t di marmettola di granito (secondo G10) e di circa 25.320÷33.760 t di fanghi di marmo (secondo M20).

Oltre agli effetti di cui si è già ampiamente discusso, tale riuso potrebbe avere riscontri positivi anche dal punto di vista economico: va, infatti, considerato che le aziende apuoversiliesi pagano, per lo smaltimento della marmettola, cifre che vanno da 7.600 a 13.600 Lire la tonnellata, cui si sommano i costi di trasporto.<sup>89</sup> Ciò fa supporre che tale materiale non possa sicuramente rappresentare costi per l'azienda che decide di utilizzarlo, a patto che essa si trovi ad una non eccessiva distanza dalle segherie lapidee. Parallelamente diminuirebbe la quantità di materiale argilloso utilizzato e di conseguenza si ridurrebbero i costi d'escavazione dello stesso.

L'impiego di marmettole per produzioni di laterizi a livello industriale, non dovrebbe presentare difficoltà tecniche, in quanto la loro miscelazione con i materiali argillosi, dovrebbe facilmente avvenire nell'ambito delle *prelavorazioni ad umido*. Alimentazione e dosaggio dei materiali avvengono per mezzo di una macchina chiamata *cassone dosatore*: essa garantisce costanza nell'alimentazione ed allo stesso tempo permette la

---

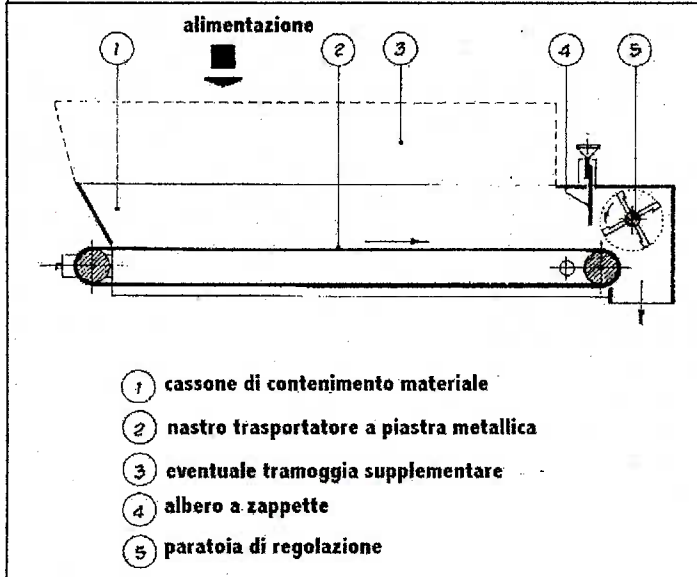
<sup>88</sup> Dati ottenuti il 4/2/1999 in seguito a colloquio con il Sig. P. Carena.

<sup>89</sup> Valori forniti dalla COSMAVE.

realizzazione di miscele di materiali argillosi diversi.

Ciò avviene con l'impiego di altrettante macchine quanti sono i componenti da miscelare. Tale tecnologia potrebbe trovare applicazione anche nei riguardi dei fanghi di marmo e granito, che verrebbero così inseriti nel

Figura 62 - Schema di cassone dosatore (dal testo di E. Facincani).



ciclo produttivo. I trattamenti successivi provvederebbero a rendere omogeneo l'impasto: tra questi riveste particolare importanza il cosiddetto *mescolatore-bagnatore* che, dotato di due alberi con pale inclinate, provoca l'avanzamento dell'impasto e la compenetrazione delle sue parti.<sup>90</sup>

Va infine ricordato che le prove finora descritte sono state eseguite su campioni realizzati manualmente. Questi avranno sicuramente proprietà igrometriche e di resistenza inferiori rispetto ad un laterizio prodotto con sistemi automatici, dove un'adeguata pressatura e idonei processi di degasazione, consentono la realizzazione di manufatti più compatti e pressoché privi di difetti.

<sup>90</sup> E. FACINCANI, *Tecnologia*, 1986, 52-59, op. cit. in bibliografia.

**Tabella 19 - Provini selezionati e loro composizione.**

Nome del campione	Componenti dell'impasto	Quantità per 3 provini (4×4×16 cm) [g]	Quantità per 3 provini (1×5×10 cm) [g]	Quantità per 1 mc di impasto [kg]
G10	Argilla	1115	217	1452
	Marmettola di granito	165	32	215
	Acqua	255	50	332
M10	Argilla	1100	215	1432
	Marmettola di marmo	163	32	212
	Acqua	252	49	329
M20	Argilla	972	190	1266
	Marmettola di marmo	324	63	422
	Acqua	210	41	273
MG5	Argilla	1100	215	1432
	Marmettola di granito	81	16	106
	Marmettola di marmo	81	16	106
	Acqua	252	49	329
MG10	Argilla	991	194	1290
	Marmettola di granito	165	32	215
	Marmettola di marmo	165	32	215
	Acqua	213	42	278
MG10/5	Argilla	1032	202	1344
	Marmettola di granito	81	16	106
	Marmettola di marmo	161	32	210
	Acqua	230	45	300
MG15/5	Argilla	1120	219	1458
	Marmettola di granito	93	19	122
	Marmettola di marmo	280	55	365
	Acqua	242	47	315

## 5.2 Ipotesi di recupero delle marmettole in miscela con leganti

L'utilizzo delle marmettole come inerti nell'ambito dei calcestruzzi, per quanto sia contemplato anche nella normativa tecnica, non è economicamente conveniente. Riciclaggi in questa direzione sono stati tentati negli anni passati, ma, nonostante la realizzazione di prodotti con le stesse prestazioni di quelli in commercio, l'eccessivo uso di legante cementizio dovuto all'estrema finezza dei fanghi, ha determinato un eccessivo aumento dei costi di produzione. Per questo motivo ci si è

orientati su leganti con proprietà e usi diversi, meno costosi, e che potessero eventualmente trarre vantaggio dalla miscelazione con i fanghi. La sperimentazione intrapresa, è basata sull'utilizzo del gesso e della calce viva in polvere, comunemente presenti sul mercato. Seguiranno poi alcune considerazioni sulla possibilità di utilizzare fanghi di granito e calce per la produzione di silicalcite.

### 5.2.1 Realizzazione e sperimentazione di provini composti da gesso e marmettole

Le stesse marmettole della precedente sperimentazione sono state questa volta utilizzate per la realizzazione di provini contenenti il materiale da riciclare e gesso in varie percentuali (tab. 20) al fine di valutare l'ipotesi di realizzare blocchi o intonaci. Stabilite le composizioni dei campioni, la loro realizzazione è stata quasi immediata, grazie all'elevata velocità di presa del legante: dopo un'ora dalla realizzazione degli impasti, era già possibile sfornare i provini (tre per ogni tipo); trascorsa una settimana, si poteva procedere con le prove di rottura.

#### 5.2.1.1 Preparazione degli impasti

Questa operazione è avvenuta con l'utilizzo dei seguenti componenti: marmettola essiccata in polvere, gesso in polvere, acqua. Per ottenere una miscelazione migliore i primi due sono stati preventivamente mescolati a secco nella macchina mescolatrice da laboratorio. Successivamente, la miscela ottenuta è stata versata in un recipiente contenente una determinata quantità d'acqua, nel quale si è preparato l'impasto mescolando manualmente. Ottenuto un impasto sufficientemente fluido, si è poi

provveduto a versarlo  
velocemente nelle  
forme, prima che  
iniziasse la presa.  
L'utilizzo di  
marmettola in polvere  
è dettato dalla  
necessità di rendere  
più omogenea la

**Tabella 20 - Composizione della parte secca dei campioni.**

Nome	Gesso	Marmettola di marmo	Marmettola di granito
GESSO	100 %	-	-
GEMA60	60 %	40 %	-
GEMA50	50 %	50 %	-
GEMA40	40 %	60 %	-
GEMA30	30 %	70 %	-
GRAGE60	60 %	-	40 %
GRAGE50	50 %	-	50 %
GRAGE 30	30 %	-	70 %
GRAGEMA60	60 %	20 %	20 %

**Tabella 21 - Prove di resistenza a flessione sui provini con gesso.**

Contrassegno del campione	Contrassegni dei provini	Interasse tra gli appoggi (mm)	Carico di rottura a flessione dei provini (N)	Resistenza a flessione dei provini (N/mm <sup>2</sup> )	Resistenza a flessione media del campione (N/mm <sup>2</sup> )
GESSO	A	120	2020	5,7	6,3
	B		2670	7,5	
	C		2070	5,8	
GEMA 60	A	120	970	2,7	3,0
	B		1210	3,4	
	C		1050	3,0	
GEMA 50	A	120	920	2,6	3,3
	B		1250	3,5	
	C		1390	3,9	
GEMA 40	A	120	410	1,2	1,4
	B		480	1,4	
	C		600	1,7	
GEMA 30	A	120	300	0,8	0,8
	B		380	1,1	
	C		200	0,6	
GRAGE 60	A	120	860	2,4	2,4
	B		880	2,5	
	C		770	2,2	
GRAGE 50	A	120	960	2,7	2,6
	B		860	2,4	
	C		920	2,6	
GRAGE 30	A	120	460	1,3	1,0
	B		290	0,8	
	C		330	0,9	
GRAGEMA 60	A	120	880	2,5	2,7
	B		860	2,4	
	C		1120	3,2	



miscelazione, in vista dell'elevata velocità di presa del gesso. Tuttavia, lo stesso impasto dovrebbe essere ottenibile versando la polvere di gesso in un recipiente contenente marmettola diluita in acqua, e mescolando energicamente.

### 5.2.1.2 Caratteristiche e prestazioni dei provini

Le forme utilizzate hanno dimensioni di 4×4×16 cm e l'aumento di volume che caratterizza il gesso durante la presa e l'indurimento, fa sì che i provini assumono le medesime dimensioni. La presenza delle marmettole, non sembra aver particolarmente influito su tale fenomeno, ma dal confronto con un campione realizzato con solo gesso, si nota in questo un più rapido calo di peso durante l'indurimento. È probabile che ciò dipenda da una certa tendenza delle marmettole al trattenimento dell'umidità.

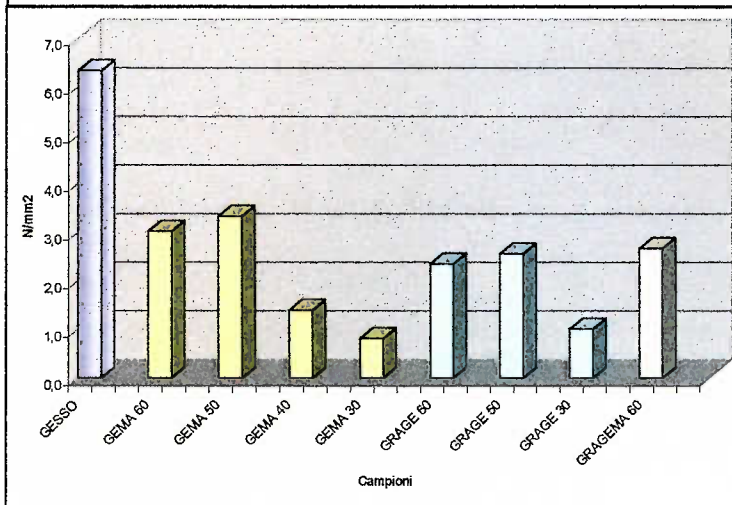
**Tabella 22 - Prove di resistenza a compressione sui provini con gesso.**

Contrassegno del campione	Contrassegni dei provini	Area della zona compressa (mm <sup>2</sup> )	Carico di rottura a compressione dei provini (N)	Resistenza a compressione dei provini (N/mm <sup>2</sup> )	Resistenza a compressione media del campione (N/mm <sup>2</sup> )
GESSO	A1	1600	22010	13,8	12,4
	A2		20760	13,0	
	B1		19750	12,3	
	B2		17310	10,8	
	C1		18280	11,4	
	C2		20780	13,0	
GEMA 60	A1	1600	9560	6,0	7,8
	A2		14050	8,8	
	B1		11470	7,2	
	B2		11910	7,4	
	C1		13870	8,7	
	C2		14240	8,9	

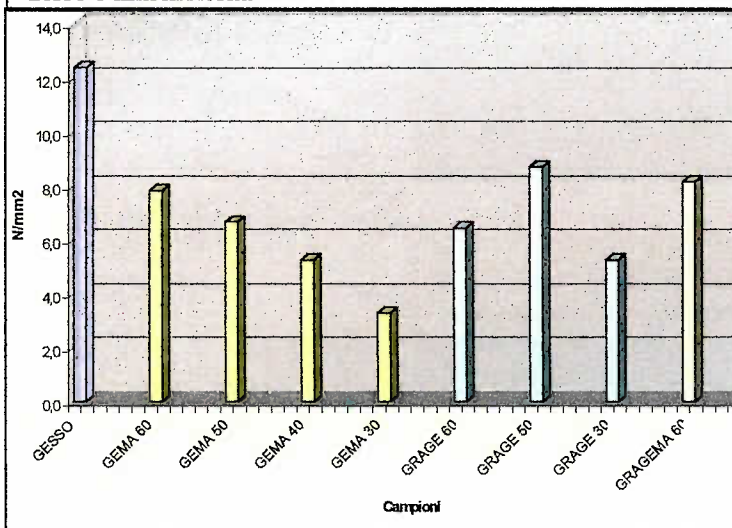
**Tabella 23 - Prove di resistenza a compressione sui provini con gesso.**

Contrassegno del campione	Contrassegni dei provini	Area della zona compressa (mm <sup>2</sup> )	Carico di rottura a compressione dei provini (N)	Resistenza a compressione dei provini (N/mm <sup>2</sup> )	Resistenza a compressione media del campione (N/mm <sup>2</sup> )
GEMA 50	A1	1600	10010	6,3	6,7
	A2		9510	5,9	
	B1		9720	6,1	
	B2		9940	6,2	
	C1		11610	7,3	
	C2		13090	8,2	
GEMA 40	A1	1600	7410	4,6	5,3
	A2		8890	5,6	
	B1		7210	4,5	
	B2		9330	5,8	
	C1		8900	5,6	
	C2		8700	5,4	
GEMA 30	A1	1600	4630	2,9	3,3
	A2		5590	3,5	
	B1		4810	3,0	
	B2		7230	4,5	
	C1		4490	2,8	
	C2		4770	3,0	
GRAGE 60	A1	1600	8650	5,4	6,4
	A2		8560	5,4	
	B1		12000	7,5	
	B2		11960	7,5	
	C1		10180	6,4	
	C2		10490	6,6	
GRAGE 50	A1	1600	10850	6,8	8,7
	A2		15270	9,5	
	B1		12700	7,9	
	B2		15060	9,4	
	C1		15270	9,5	
	C2		14390	9,0	
GRAGE 30	A1	1600	11460	7,2	5,2
	A2		6420	4,0	
	B1		8540	5,3	
	B2		8250	5,2	
	C1		8040	5,0	
	C2		7680	4,8	
GRAGEMA 60	A1	1600	11270	7,0	8,2
	A2		12220	7,6	
	B1		10950	6,8	
	B2		15350	9,6	
	C1		14950	9,3	
	C2		13520	8,5	

**Figura 63 - Resistenza a flessione dei campioni costituiti da gesso e marmettola.**



**Figura 64 - Resistenza a compressione dei provini contenenti gesso e marmettola.**



L'aspetto varia a seconda del tipo di fango utilizzato:

- fanghi di marmo: provini con colorazione bianca, simile a quelli di solo gesso, ma differenziati da una lucentezza leggermente più marcata;

- fanghi di granito: provini con colorazione di base bianca, ma caratterizzati da una puntinatura grigia distribuita in tutta la massa;

- fanghi misti: analoghi ai precedenti ma con puntinatura meno marcata.

Si osserva una leggera porosità che tuttavia è attribuibile ad imperfezioni sorte durante il confezionamento dei campioni.

Le prove di flessione e compressione (avvenute con le modalità già descritte in precedenza e dopo circa 8 giorni dal confezionamento) hanno fornito valori nettamente inferiori a quelli dei campioni con solo gesso. Le

rotture per compressione dei blocchetti avvengono in modo più fragile per quelli con marmettola di marmo, e più elastico per quelli con marmettola di granito.

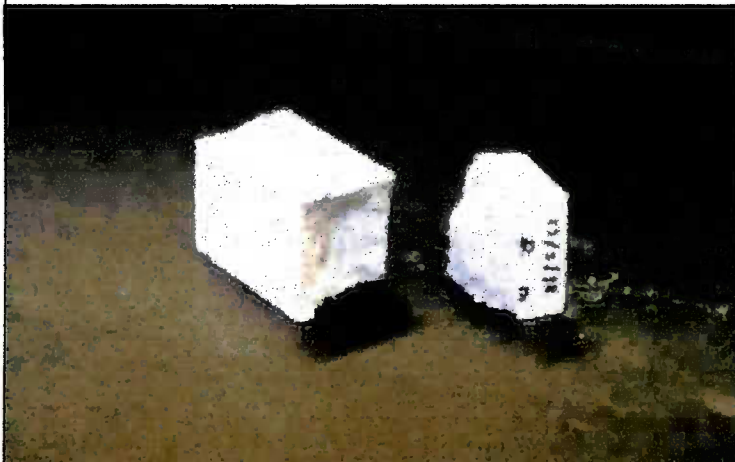
### 5.2.1.3 Osservazioni conclusive

I risultati ottenuti non forniscono, come già osservato, valori soddisfacenti, in quanto tutti i campioni subiscono sensibili peggioramenti rispetto ai provini di gesso. Tali peggioramenti sono quasi proporzionali al quantitativo di marmettola contenuto nell'impasto, quindi essa va riconosciuta come l'unica causa del calo di resistenza.

L'utilizzo di questo materiale per la realizzazione di blocchi è

ovviamente improponibile; rimane aperta la possibilità d'impiego nell'ambito di intonaci interni, dove non sono richieste elevate prestazioni

**Figura 65 - Provino GEMA dopo la prova di rottura per compressione (foto eseguita da D. Basilio).**



**Figura 66 - Provino GRAGE dopo la prova di rottura per compressione (foto eseguita da D. Basilio).**



meccaniche ed è possibile sfruttare le caratteristiche estetiche fornite soprattutto dalla marmettola di marmo bianco. La lisciatura della superficie è garantita dalla finezza delle particelle mentre la colorazione assume una buona tonalità di bianco.

### 5.2.2 Realizzazione e sperimentazione di provini composti da calce viva, ceneri volanti e marmettole

Visti i risultati emersi fino a questo punto del lavoro di sperimentazione, si è intuito che in ordine al problema dello smaltimento sarebbero ottenibili migliori risultati con l'impiego di "miscele" dei rifiuti di lavorazione, con le quali si possano scatenare sinergie di carattere fisico-chimico tramite un semplice impasto effettuabile al momento della produzione di elementi per l'edilizia o (meglio ancora) durante la preparazione dei materiali per la posa in opera. In pratica si torna all'idea, già espressa, che prevede di reimpiegare gli scarti introducendoli in uno dei seguenti sistemi:

1. Produzione di elementi per l'edilizia (blocchi, pannelli, dissuasori stradali, ecc.) eseguita in uno stabilimento al quale confluiscono i fanghi più gli altri materiali di rifiuto necessari;
2. Fabbricazione di malte di limitate caratteristiche, pur adeguate a determinate applicazioni, mediante una dosatura dei componenti (fanghi e altri scarti di produzione, come la cenere volante) in cantiere al momento della preparazione dei materiali per la costruzione di pareti (fatte di altri elementi o degli stessi elementi detti al punto 1).

Tutto ciò necessita ovviamente di una sperimentazione particolarmente finalizzata, come si è tentato di fare nella seconda parte dello sviluppo della tesi.

Proseguendo nella sperimentazione di leganti a basso costo, si è ritenuto utile utilizzare la calce viva per la realizzazione di alcuni provini. Va specificato che il prodotto si presenta sotto forma di polvere e viene normalmente utilizzato in agricoltura per la correzione dei terreni (fig. 67).

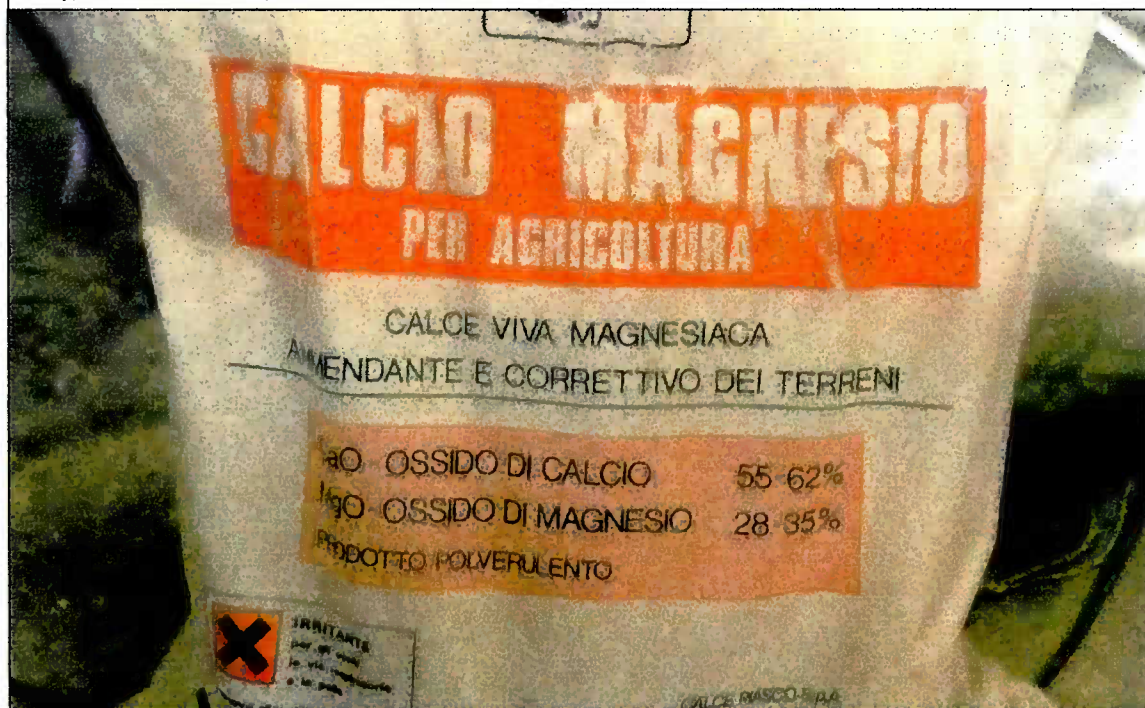
La necessità di ottenere materiali con proprietà pozzolaniche, ha suggerito inoltre l'introduzione negli impasti della cenere volante. Tale componente è il prodotto di scarto della

**Le ceneri volanti della centrale termoelettrica di La Spezia** (informazioni ottenute il 17/3/1998 dal Sig. Canedoli della centrale Enel di La Spezia).

Le ceneri, prodotte da litantrace a corta fiamma, sono composte da alluminati, solfati e silicati, ma non si possono ottenere informazioni più precise sulle loro percentuali in quanto trattasi di dati riservati. Sono abbattute con dei filtri a funzionamento elettrostatico, raccolte all'interno di silos e inviate presso cementifici dove vengono riutilizzate.

Assolutamente top secret sono anche i dati sui quantitativi prodotti annualmente.

Figura 67 - Calce viva prodotta dalla Calce Piasco, utilizzata nella sperimentazione (foto eseguita da D. Basilio).



combustione che avviene nelle centrali termoelettriche a carbone e le sue caratteristiche fanno sì che venga ampiamente utilizzato nell'industria del cemento. Nel presente caso sono state utilizzate ceneri volanti provenienti dalla centrale termoelettrica di La Spezia, situata a breve distanza dal comprensorio Apuo-Versiliese, dove si produce la marmettola.

Si presentano sotto forma di una polvere scura, finissima ed estremamente leggera, facilmente miscelabile agli altri due elementi dell'impasto.

#### 5.2.2.1 Preparazione degli impasti

I componenti di cui sopra sono stati come sempre miscelati con l'impiego della mescolatrice da laboratorio. Il procedimento adottato è il seguente:

- disposizione del fango e dell'acqua di impasto nel contenitore della mescolatrice e successivo azionamento della macchina;
- annessione dei due componenti in polvere (calce viva e cenere) che rendono molto più denso l'impasto;
- mescolamento per qualche minuto (con sviluppo di calore da parte della calce viva) e successivo inserimento dell'impasto nelle forme da 4×4×16 cm.

Gli impasti così ottenuti hanno sempre raggiunto una perfetta omogeneizzazione, non danno segni apprezzabili di ritiro e solo dopo una

##### Modalità per l'esecuzione dell'impasto.

L'utilizzo della marmettola allo stato fangoso, ha reso necessario determinare il preciso contenuto d'umidità del fango usato. La motivazione risiede nella necessità di dosare con precisione l'acqua da aggiungere all'impasto.

Utilizzando la termobilancia ed alcuni campioni di marmettola, si sono ottenuti i seguenti valori medi:

Marmettola di marmo	19,25%
Marmettola di granito	21,32%

lunga serie di sperimentazioni si è potuto individuare una composizione ideale, da sottoporre a

**Tabella 24 - Descrizione del provino.**

Nome:		Quantità per 3 provini 4×4×16 cm (g)	Percentuali sul secco (%)
CCG10			
Comp.	Calce	119	10
	Cenere	119	10
	Fango granito	1210	80
	Acqua	92	-

ulteriori prove. Fin da subito è stato necessario escludere dai componenti la marmettola di marmo in quanto i provini da essa costituiti risultano più deboli e sfarinabili degli altri. Successivamente si è posto il problema dell'acqua di impasto, in quanto, anche se all'apparenza poteva sembrare sufficiente, spesso durante la maturazione si generavano fessurazioni nei blocchetti. Infine è stato necessario valutare il giusto rapporto tra la calce viva e gli altri componenti, al fine di non accentuare il fenomeno delle fessurazioni legate al rigonfiamento dell'impasto che si verifica con l'aumentare della dosatura del legante (una percentuale di calce viva del 20% risulta eccessiva in quanto l'impasto diventa poco lavorabile ed i provini si fessurano pochi giorni dopo il confezionamento).

I risultati di queste sperimentazioni mettono in evidenza l'impasto riportato in tab. 24, il quale è stato utilizzato per la realizzazione di sei provini destinati a trattamenti d'immersione e umidificazione in acqua, finalizzati allo studio delle variazioni delle resistenze meccaniche in ambiente umido.



**Tabella 25 - Prove a compressione (I = immersi, II = umidificati, III = asciutti).**

Contrassegno del campione	Contrassegni dei provini	Area della zona compressa (mm <sup>2</sup> )	Carico di rottura a compressione dei provini (N)	Resistenza a compressione dei provini (N/mm <sup>2</sup> )	Resistenza a compressione media del campione (N/mm <sup>2</sup> )
CCG10 I	A1	1600	11230	7,0	6,2
	A2		10060	6,3	
	B1		9520	6,0	
	B2		8600	5,4	
CCG10 II	A1	1600	6200	3,9	3,3
	A2		4820	3,0	
	B1		4570	2,9	
	B2		5350	3,3	
CCG10 III	A1	1600	3480	2,2	2,2
	A2		3420	2,1	
	B1		3380	2,1	
	B2		3870	2,4	

#### 5.2.2.2 Trattamento d'immersione e umidificazione in acqua

Ad indurimento avvenuto ed a distanza di cinque giorni dal confezionamento, si procede dividendo i sei provini in tre coppie: la prima viene lasciata per due settimane in un recipiente colmo d'acqua, la seconda è sottoposta ad una serie di umidificazioni giornaliere, mentre l'ultima prosegue la sua normale stagionatura all'aria.

Trascorso il tempo della prova, si nota che sia i provini lasciati in acqua, sia quelli bagnati periodicamente e quelli asciutti, si sono mantenuti integri e compatti. Sembra però che la compattezza sia decisamente superiore nei provini maturati in acqua (in effetti, ciò è stato concretamente confermato durante le prove meccaniche dove, dopo la rottura dei provini, si è potuto osservare la differenza nella massa interna dei blocchetti).

Dopo ulteriori venti giorni si svolgono, nelle solite modalità, le prove di resistenza a flessione e compressione.

### 5.2.2.3 Valutazione dei risultati delle prove a flessione e compressione

I valori ottenuti mettono in luce una netta differenza tra le tre coppie di provini, che si manifesta in modo evidente nei risultati delle prove di resistenza a compressione. Il campione sottoposto ad immersione raggiunge valori notevolmente superiori a quelli degli altri due campioni, mentre quello esposto ad umidificazione è a sua volta più resistente dei provini maturati in ambiente asciutto. Dal confronto con la tab. 26 si riscontra una notevole superiorità anche rispetto ai valori di resistenza minima previsti per calci idrauliche ed eminentemente idrauliche. Ancora migliore il confronto con le malte aeree, le quali raggiungono, nei climi temperati e dopo un mese di stagionatura, resistenze meccaniche a compressione non superiori a  $0,5-1 \text{ N/mm}^2$ .<sup>91</sup> Risultano invece insignificanti i dati ottenuti dalla prova di resistenza a flessione.

In conclusione si può affermare che la maturazione in acqua conferisce maggiori prestazioni a questo materiale. Ad esse

Figura 68 - Resistenza a compressione.

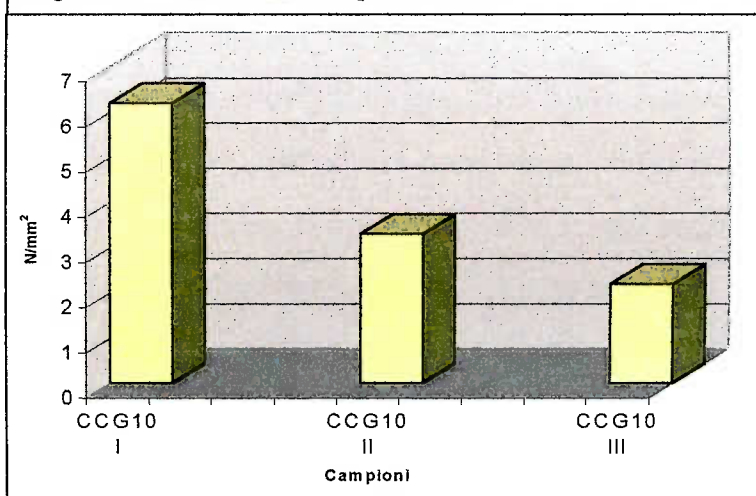


Tabella 26 - Valori minimi di resistenza (stabiliti dalla normativa) delle malte con calce.

Tipi di legante	Resistenza minima [N/mm <sup>2</sup> ]
Calci idrauliche	1,5
Calci emin. idrauliche	3,0

<sup>91</sup> M.A. ROSA, *Tecnologie*, 1992, 13, op. cit. in bibliografia.

dovrebbe contribuire la pozzolanicità conferitagli dalle ceneri volanti attivate dalla calce viva opportunamente idratata. La silice attiva delle ceneri volanti ha la proprietà di fissare

**Figura 69 - Provini durante il trattamento in acqua** (foto eseguita da D. Basilio).



la calce per *silicatizzazione* formando silicati e silico-alluminati di calcio idrati.<sup>92</sup> La marmettola di granito, la cui parte solida costituisce l'80% della composizione, non dovrebbe svolgere solo funzione di inerte, ma entrare anch'essa in gioco nell'ambito della *silicatizzazione*. Si suppone inoltre, in virtù delle diverse esperienze di laboratorio condotte su questo materiale, che diversi tempi e modalità di maturazione (alternanza di periodi in immersione e in esposizione all'aria) possano dare maggior resistenza al provino, che probabilmente acquisirebbe una struttura più compatta.

Quanto sinora affermato sono ipotesi di interpretazione dei risultati anche confermate dal Prof. A. Negro (Dipartimento di Scienza dei Materiali del Politecnico di Torino). Sarebbe tuttavia necessaria una serie di messe a punto, quali:

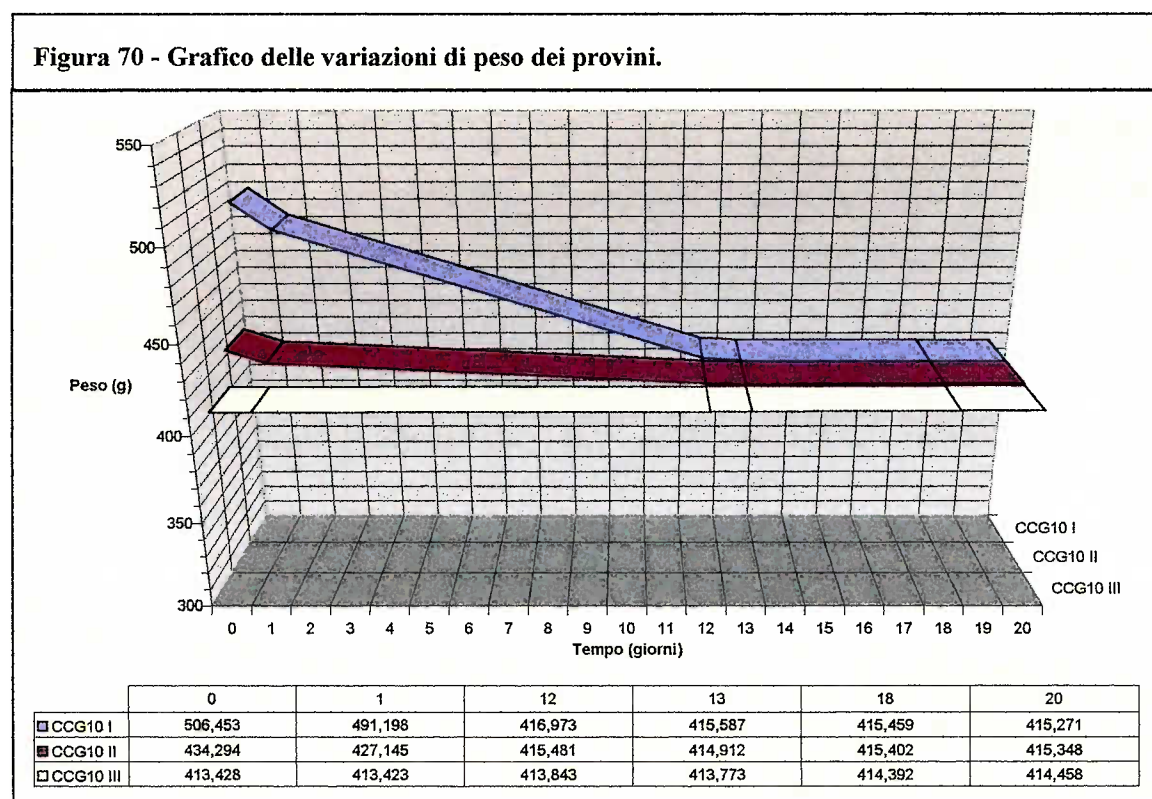
- definire con chiarezza la composizione della cenere,
- ottimizzare la composizione con altri studi delle dosature,

- chiarire quali sono i costituenti del fango dei graniti (quarzo, ortoclasio, ecc.) che possono avere incidenza sulle reazioni di idraulicità.

#### 5.2.2.4 Confronto delle variazioni di peso nei provini

Per valutare le possibili incidenze delle prove di immersione sulla massa dei provini, ed osservare eventuali variazioni di tipo igrometrico, si sono eseguite, nei venti giorni successivi al termine delle prove stesse, una serie di pesature dei campioni, dalle quali è stato possibile osservare le variazioni di peso avvenute nei medesimi (fig. 70). I valori di partenza sono ben diversi, in quanto maturati in condizioni d'umidità differenti: essi aumentano con l'aumentare dell'imbibizione dei provini. Tuttavia nei giorni successivi si registra una graduale discesa dei valori, che si avvicinano

Figura 70 - Grafico delle variazioni di peso dei provini.



<sup>92</sup> M.A. ROSA, *Tecnologie*, 1992, 59, op. cit. in bibliografia.

sempre più a quelli (stabili) di CCG10III, campione che è maturato all'aria è di conseguenza ha già perso tutta l'umidità in eccesso. Infine si osserva che i tre pesi sono quasi coincidenti, per cui si può affermare che le reazioni avvenute durante l'immersione (che presumibilmente hanno conferito una maggior resistenza al materiale), non incidono sulla massa volumica dei blocchetti e non generano fenomeni di trattenimento dell'umidità.

### 5.2.2.5 Verifica dei risultati ottenuti

I campioni realizzati con calce viva, ceneri di carbone e marmettola di granito, hanno ottenuto risultati sorprendenti, soprattutto se si tiene conto che i materiali di partenza sono rifiuti industriali miscelati ad un prodotto per la correzione dei terreni agricoli (calce viva magnesiaca).

Per meglio valutare l'esito di tale sperimentazione, è stato deciso un secondo ciclo di prove da compiersi su provini simili ai precedenti (tab. 27). Questi, nonostante un minor periodo di maturazione ed un più breve trattamento di immersione, hanno confermato i risultati precedentemente ottenuti dalle

prove meccaniche, dimostrando la "non casualità" di tali valori (vedere tabelle allegate a fine volume).

**Tabella 27 - Composizione dei provini.**

Nome:		Quantità per 3 provini 4×4×16 cm (g)	Percentuali sul secco (%)
Comp.	Calce	150	12,5
	Cenere	150	12,5
	Fango granito	1137	75
	Acqua	98	-

**Tabella 28 - Calcolo del valore di assorbimento.**

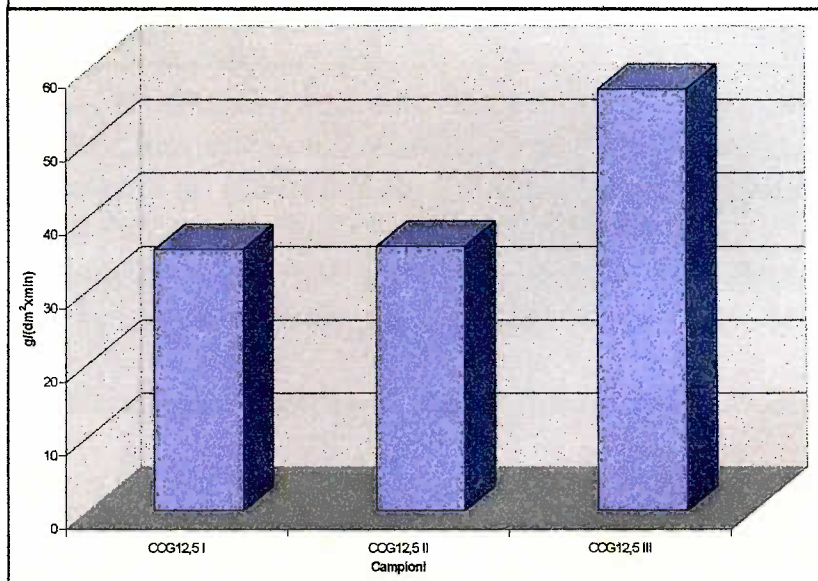
Nome del campione	Sigle dei provini	Area della faccia bagnata (dm <sup>2</sup> )	Massa secca dei provini (g)	Massa imbibita dei provini (g)	Coefficiente di assorbimento dei provini (g/(dm <sup>2</sup> min))	Coefficiente di assorbimento medio del campione
CCG12,5 I	A	0,16	105,028	110,220	32,450	32,538
	B	0,16	109,011	114,231	32,625	
CCG12,5 II	A	0,16	105,702	111,616	36,963	35,976
	B	0,16	109,927	115,525	34,988	
CCG12,5 III	A	0,16	106,088	115,370	58,013	57,294
	B	0,16	109,508	118,560	56,575	

**Tabella 29 - Calcolo del coefficiente d'imbibizione.**

Nome del campione	Sigle dei provini	Massa secca dei provini (g)	Massa imbibita dei provini (g)	Coefficiente di imbibizione dei provini (%)	Coefficiente di imbibizione medio del campione (%)
CCG12,5 I	A	105,028	130,826	24,563	24,439
	B	109,011	135,516	24,314	
CCG12,5 II	A	105,702	130,708	23,657	23,679
	B	109,927	135,981	23,701	
CCG12,5 III	A	106,088	131,176	23,648	23,581
	B	109,508	135,257	23,513	

### 5.2.2.6 Valori di assorbimento e coefficienti d'imbibizione

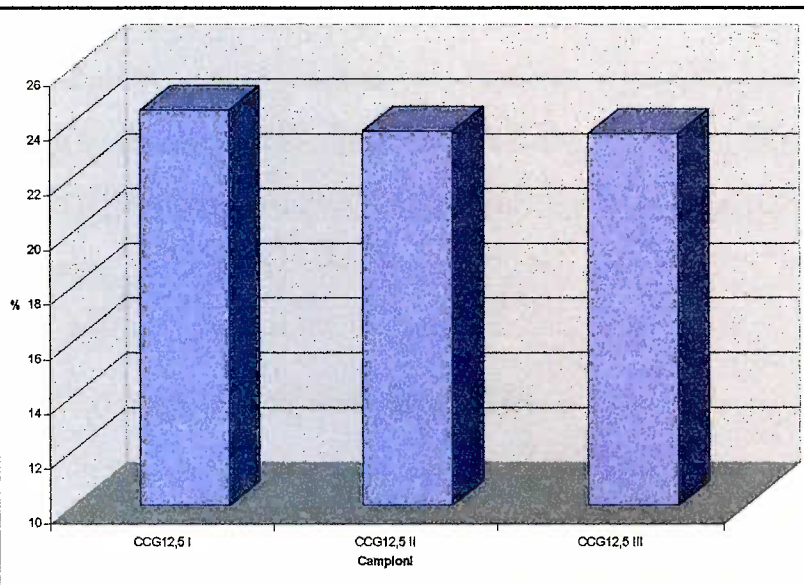
Per queste determinazioni sono stati realizzati alcuni campioni di piccola dimensione ( $4 \times 4 \times 4,3$  cm), affinché fosse possibile introdurli nella termobilancia. Le prove sono avvenute con le

**Figura 71 - Grafico dei valori di assorbimento.**

medesime modalità già spiegate in precedenza ed hanno fornito i risultati riportati nelle tabelle 28 e 29, e nelle figure 71 e 72.

Come si può osservare i valori

**Figura 72 - Grafico dei coefficienti d'imbibizione.**



**Determinazione del tempo che deve trascorrere tra confezionamento e inizio del trattamento di maturazione in acqua.**

Utilizzando i provini di dimensioni ridotte si è scoperto un altro aspetto molto importante riguardante la maturazione in acqua: i blocchetti possono essere introdotti nel liquido solo se trascorsi alcuni giorni dalla sformatura; in caso contrario il materiale si disgrega completamente. La prova si è svolta immergendo di giorno in giorno un provino in acqua ed osservandone il comportamento dovuto all'imbibizione:

- 1° giorno: subito dopo l'introduzione in acqua, il provino inizia a spezzettarsi riducendosi in poltiglia.
- 2° giorno: si ripete quanto accaduto in precedenza.
- 3° giorno: il provino sembra inizialmente mantenersi integro ma dopo circa un minuto cominciano a distaccarsi i primi frammenti; gran parte del blocchetto si trasforma in poltiglia, mentre alcuni frammenti provenienti dalla crosta superficiale restano compatti.
- 4° giorno: l'immersione dura più ore senza che si manifesti alcun problema; si nota, però, la comparsa di una frattura su metà del provino.
- 5° giorno: non si osserva la comparsa di alcun difetto nel cubetto posto in acqua.

È stato così dimostrato che dal momento del confezionamento (che avviene il giorno prima della sformatura) è necessario attendere sei giorni, prima di iniziare la prova di immersione.

sono abbastanza alti, paragonabili a quelli di materiali con massa alveolata (in effetti, anche nel materiale in questione è possibile osservare durante la rottura dei provini una notevole microporosità) e, mentre non subiscono variazioni degne di nota per quanto riguarda il coefficiente d'imbibizione, l'assorbimento invece si differenzia moltissimo tra il campione maturato fuori dall'acqua e gli altri due.

#### 5.2.2.7 Prova pratica di utilizzo come malta da intonaco

Un'interessante applicazione pratica rivolta all'impiego della miscela granito-cenere-calce nell'ambito delle malte da intonaco, è stata realizzata nei locali adiacenti al Laboratorio Tecnologico, presso i sotterranei del Castello del Valentino.

Le prove finora eseguite hanno dimostrato come la maturazione in acqua può migliorare prestazioni e consistenza di tale materiale. L'ipotesi ora formulata riguarda l'eventualità di poter usare impasti analoghi per intonacare ambienti molto umidi e sfruttare tale umidità per il raggiungimento di una maggior resistenza dell'intonaco

**Figura 73 - I due riquadri di intonaco appena stesi sulla muratura (foto eseguita da D. Basilio).**





stesso.

La prova pratica è avvenuta stendendo il materiale con la cazzuola su due superfici di muratura in mattoni di circa 25×25 cm, formando uno strato di spessore variabile da 1,5 a 2 cm. Il primo riquadro è stato steso sulla muratura così come si trovava, mentre, prima di stendere il secondo, si è tenuto conto di pulire con una spazzola metallica e inumidire ulteriormente la muratura.

Entrambi gli esperimenti sembrano perfettamente riusciti:

- Il materiale sembra aver perfettamente aderito alla muratura;
- Non si sono osservati distacchi di intonaco durante la maturazione;
- Non sono apparse fratture o fessurazioni;
- La superficie dell'intonaco ha acquisito durezza e resistenza;
- La finezza del materiale consente la realizzazione di superfici molto lisce ed uniformi.

Occorre tuttavia altro tempo per accertare la durata di tale intonaco, dopo di che potrebbe risultare interessante un'altra prova di questo genere, ma di portata maggiore. Sarebbe, ad esempio, interessante, intonacare un intero ambiente umido e misurare le eventuali variazioni igrometriche che potrebbero in esso verificarsi.

#### 5.2.2.8 Valutazioni finali sulla sperimentazione della miscela marmettola-cenere volante-calce viva

I dati ottenuti dalle prove eseguite, sono piuttosto incoraggianti, in quanto dimostrano un'effettiva sinergia tra i componenti miscelati e mettono in evidenza l'importanza della maturazione in ambiente umido. Come visto in precedenza, si ottengono resistenze per rottura a compressione superiori a

quelle minime delle malte con calce idraulica ed eminentemente idraulica, mentre l'impasto pare acquisire proprietà pozzolaniche.

In previsione di possibili applicazioni di tale materiale come malta, per la produzione di blocchi da costruzione o per la realizzazione di intonaci, diventa utile calcolare il costo economico rappresentato dai componenti. Tra questi, l'unico ad avere un prezzo di mercato è la calce viva magnesiaca, prodotta dalla Calce Piasco: essa costa 113.000 Lire la tonnellata e, considerando che per produrre un metro cubo di impasto ne occorrono meno di 200 Kg, si deduce che il suo prezzo inciderà sul costo di produzione con circa 22.600 Lire il mc. I fanghi di granito, come già detto in precedenza, hanno un valore negativo, in quanto attualmente i produttori pagano le discariche per poter effettuare lo smaltimento; la cenere volante, invece, rappresenta un'incognita, in quanto non è stato possibile sapere quale tipo di accordo vi sia tra la centrale ENEL e i cementifici che ne fanno uso.

I costi di trasporto incideranno sul materiale in misura proporzionale alla distanza tra l'eventuale stabilimento di produzione ed i luoghi di approvvigionamento delle "materie prime" quindi è conveniente questo si trovi in una posizione baricentrica nei loro confronti.

### 5.2.3 Ipotesi di sperimentazione finalizzata all'utilizzo della marmettola di granito nella realizzazione di blocchi di silicalcite (calcium-silicate)

L'utilizzo dei fanghi di granito in quest'ambito è stato ipotizzato e studiato teoricamente ma non sperimentato, in quanto la fabbricazione della silicalcite richiede attrezzature specifiche, delle quali non è possibile disporre nel laboratorio tecnologico.

La realizzazione di tale materiale si basa sul fenomeno della *silicatizzazione* che avviene nelle malte di calce aerea per reazione della calce sulla silice della sabbia e relativa formazione di silicati idrati di calcio. Questo fenomeno, di natura idraulica, è lentissimo a verificarsi in comuni condizioni ed è apprezzabile soltanto dopo molti decenni e secoli. Le resistenze meccaniche a compressione delle malte aeree, che, come già specificato in precedenza, dopo un mese di stagionatura non sono superiori a  $0,5\div 1 \text{ N/mm}^2$ , possono salire a  $6\div 7 \text{ N/mm}^2$  dopo decine di anni. Si tratterà ora di analizzare le caratteristiche dei costituenti della comune silicalcite e delle tecniche di produzione; quindi studiare l'ipotesi dell'eventuale applicazione, come componente principale, della marmettola di granito, che, come noto, è costituita in prevalenza da silice.

#### 5.2.3.1 La silicalcite<sup>93</sup>

Un prodotto molto simile alle attuali silicalciti veniva prodotto in Italia già parecchi anni fa, fra la prima e la seconda guerra mondiale, sotto il nome di *arenolite*. Erano elementi sostitutivi di alcuni tipi di laterizi quali i mattoni pieni e sagomati per copertura e venivano chiamati dai muratori del tempo mattoni e tegole grigie.

Questi sagomati erano ottenuti da una miscela di calce aerea secca e spenta e sabbia silicea fine, compressi in forme e sottoposti all'azione del vapore acqueo in autoclave. A tutti gli effetti si può considerare un materiale silico-calcareo, in quanto si forma per effetto delle reazioni che avvengono nelle condizioni accennate fra la silice della sabbia e la calce, con la seguente formazione di silicati idrati di calcio. Praticamente è il fenomeno

---

<sup>93</sup> M.A. ROSA, *Tecnologie*, 1992, 212-214, op. cit. in bibliografia.

della silicatizzazione, che viene accelerato da vapore acqueo sotto pressione, mentre, come visto, era lentissimo nelle calce aeree, nelle condizioni normali di presa ed indurimento.

La fabbricazione veniva condotta impastando calce viva grassa (circa il 10%) con sabbia silicea, il tutto finemente macinato, e poi si spegneva la calce oppure alla sabbia si univa il grassello preparato a parte. La miscela, piuttosto povera di acqua, si comprimeva in blocchiere ed i sagomati ottenuti, maneggiabili, venivano posti in autoclavi e per circa 10 ore sottoposti all'azione del vapore acqueo alla pressione di 8-9 atm. Dopo il trattamento venivano stoccati all'aria ed erano pronti per l'uso.

Questi elementi costruttivi ottenuti possedevano caratteristiche tecnologiche pressoché uguali a quelle dei laterizi corrispondenti come forma e come impiego, però con una massa volumica un po' più elevata. Presentavano un'ottima resistenza al gelo ed una buona aderenza alle malte.

Ad un certo punto questi arenoliti non vennero più prodotti in Italia, scomparendo dal mercato.

Dopo la seconda guerra mondiale, un prodotto analogo venne brevettato in URSS ed oggi viene prodotto internazionalmente su licenza con il nome di *Calcium-silicate*. Questo prodotto si ottiene utilizzando della sabbia finissima ultramacinata in speciali apparecchi disintegratori ed impastandola con calce aerea secca e spenta. L'impasto ottenuto viene collocato in casseforme d'acciaio, e si producono in tal modo elementi prefabbricati sia portanti che di tamponamento, ed altri sagomati.

Dopo la presa gli elementi vengono trattati in autoclave a 170 °C con vapore acqueo saturo per alcune ore ed a pressione controllata.

Le molteplicità e la versatilità di impiego di questo materiale ed anche per il basso costo rispetto ai materiali tradizionali, sono state alla base del grande sviluppo edilizio specie nei paesi dell'Europa orientale, e l'impiego si va sempre più diffondendo oggi nei Paesi del Medio Oriente e nei Paesi in via di sviluppo.

La possibilità di variare, con opportuni accorgimenti, la massa volumica e quindi le proprietà, rappresenta l'aspetto più interessante di questi prodotti silico-calcarei.

Una classificazione di uso generale per questi prodotti li distingue fondamentalmente in tre tipi:

- 1) *silicalcite cellulare*, con una massa volumica compresa fra i 600 kg/mc e i 1300 kg/mc, utilizzato come anima di pannelli da tamponamento;
- 2) *silicalcite compatta*, con massa volumica compresa fra i 1400 e i 1600 kg/mc;
- 3) *silicalcite conglomerata*, con massa volumica compresa fra i 1800 ed i 2000 kg/mc che risulta un materiale molto compatto, a cui si possono mescolare graniglie, ed usata per esterni come pannelli di tamponamento e portanti.

È possibile inoltre l'accoppiamento fra i vari tipi considerati ed ottenere ad esempio pannelli a struttura differenziata, cioè con funzione portante ed isolante.

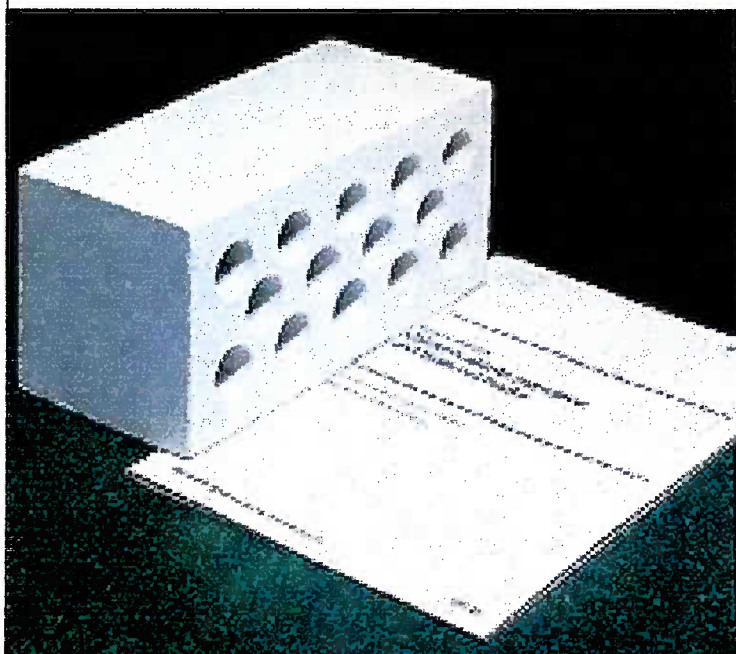
Tra le ottime caratteristiche di questo materiale vi sono la sua resistenza fino a temperature di 500-600 °C, buona aderenza con le eventuali armature in acciaio (pressoché identici i coefficienti di dilatazione), buona resistenza all'abrasione nella varietà più compatta, e la possibilità, per elementi decorativi, di una smaltatura a forno sulla faccia superficiale,

buona resistenza al gelo ed anche ottima impermeabilità e una certa elasticità.

Con questo materiale si ottengono elementi prefabbricati per l'edilizia civile in genere, pannelli e lastre da rivestimento verticale per interni ed esterni, pannelli attrezzati, marmette decorative per

zoccolatura, rivestimenti ed anche pavimentazioni di interni, traversine ferroviarie, in quanto il materiale è anche elastico, grandi lastre per coperture di fiumi, di canali, ecc.

**Figura 74 - Attuale blocco di calcium-silicate prodotto in Malaysia** (immagine reperita tramite collegamento reti internet).



#### 5.2.3.2 Idoneità del fango di granito in sostituzione della sabbia silicea

Dal precedente paragrafo si evince come la sabbia sia il principale costituente della silicalcite, altresì vengono messe in evidenza due importanti caratteristiche che essa deve avere: la natura silicea e la finezza.

La prima è fondamentale ai fini della silicatizzazione, fenomeno basilare per la realizzazione del materiale; la seconda è importante per velocizzare le reazioni e far sì che queste avvengano in modo completo.

La marmettola di granito pare avere entrambi i requisiti: dalle analisi chimiche risultano percentuali di silice sul secco variabili dal 65% al 70%,

mentre l'estrema finezza che la caratterizza dovrebbe superare anche quella delle microsilici. L'unica incertezza può derivare dalle percentuali di graniglia di ferro, che si attestano mediamente sul 10÷12%. Tuttavia non sembra possano creare inconvenienti nel prodotto finale, per cui quest'ipotesi può essere vista come interessante presupposto per l'eventualità di future sperimentazioni.

L'interesse per questa soluzione, è maggiormente motivato se si considera la grande quantità di fanghi di granito che si potrebbero impiegare (la silicalcite potrebbe essere costituita per il 90% di marmettola) e la svariata gamma di prodotti realizzabili a costi relativamente contenuti.

## **6 Conclusione**

Il contenuto della tesi è rappresentato dalla elaborazione di un documento completo ed aggiornato sui fanghi derivanti da segazione e altre lavorazioni di prodotti lapidei e dallo studio di nuove soluzioni per il riutilizzo di tali materiali in edilizia.

Il lavoro svolto è stato infatti organizzato in due parti:

Parte 1 - Raccolta e sistematizzazione dei dati al fine di fornire attraverso un'accurata descrizione delle caratteristiche dei fanghi e delle loro attuali applicazioni, le conoscenze necessarie alla comprensione ed alla realizzazione della successiva parte incentrata sulle proposte di reimpiego;

Parte 2 - Sperimentazione finalizzata a valutare le possibilità d'impiego dei fanghi nell'industria dei laterizi, nella realizzazione di malte per intonaci, nella produzione di blocchi per muratura.

### **6.1 Sviluppo delle elaborazioni e problemi incontrati**

Data l'originalità del tema trattato e la complessità del contesto di riferimento, l'elaborazione della tesi ha comportato il superamento di notevoli problemi, tra i quali si possono segnalare:

- Difficoltà di reperimento dati: l'inesistenza di documentazione recente ha imposto una lunga serie di colloqui con operatori del settore al fine di aggiornare i dati di cui già si era venuti in possesso.



- Difficoltà di elaborazione dati: l'incompletezza delle informazioni reperite sul posto ha talvolta sollevato pesanti dubbi (primo fra tutti quello riguardante il numero di tonnellate di fanghi prodotti) i quali hanno richiesto ulteriori ricerche ed una serie di analisi deduttive.
- Difficoltà di approvvigionamento dei materiali di rifiuto da sottoporre a prova: dovute non tanto alla carenza di materiale, quanto alla necessità di accedere in loco (Carrara e La Spezia) per procurarsi i campioni di marmettola e di cenere volante.
- Notevole impegno di tempo nello sviluppo della parte sperimentale: in quanto le ricerche sui nuovi materiali hanno richiesto moltissime ore di laboratorio sia per il confezionamento dei provini, sia per l'esecuzione delle prove e la conseguente valutazione dei risultati.

## 6.2 Risultati emergenti

Di notevole impatto (e con alcuni aspetti promettenti) sono i risultati emergenti dalle due fasi di elaborazione della tesi:

- Parte prima: raccolta esaustiva di dati riguardanti i seguenti aspetti, che consentono l'osservazione delle marmettole da punti di vista diversi e forniscono ulteriori spunti per ideare nuove ipotesi di recupero:
  - Caratteristiche fisico chimiche e cicli produttivi dei fanghi di marmo e granito;
  - Nuove tecnologie introdotte nel settore;
  - Quantità annua di fanghi prodotti nel comprensorio Apuo-Versiliese;
  - Riutilizzi attualmente praticati e recuperi finora solo ipotizzati;
  - Confronto con la vigente normativa di legge;

- Parte seconda: i risultati emergenti dalle sperimentazioni portano alle seguenti conclusioni per le quali, fatta salva un'ulteriore fase di studio, sono pensabili interessanti ricadute sul settore dell'edilizia:
  - Impiego delle marmettole sia di marmo che di granito nella produzione di laterizi, con l'ottenimento di alcuni miglioramenti delle caratteristiche dei prodotti ed alcune ottimizzazioni del ciclo produttivo;
  - Impiego della marmettola di granito, sfruttando ipotetiche sinergie con altre materie seconde quali le ceneri volanti, nel confezionamento di malte e blocchi per muratura basati sull'utilizzo della calce viva come legante.

Resta in particolare da segnalare la possibilità di trasposizione di queste proposte sia in contesti industrializzati, dove ci si potrebbe avvalere di eventuali incentivazioni governative, che in contesti non industrializzati, dove siano richiesti bassi costi e prestazioni meno impegnative e si debba far fronte a una domanda pressante di miglioramento (oltre livelli assolutamente carenti) delle condizioni abitative.

Per finire va ricordato che solo la prosecuzione degli studi (se condotta con adeguato impegno) potrà conferire a questa ricerca un'adeguata valenza pratica. Pare, infatti, allo stato attuale dei lavori, ancora troppo presto azzardare ipotesi future, anche perché, la durabilità del materiale, nonché gli effetti dell'esposizione alle intemperie ed agli agenti chimici aggressivi, sono solo alcuni dei quesiti cui non è ancora stato possibile dare risposta e sui quali si dovrà lavorare in seguito per ottenere un quadro completo delle caratteristiche dei nuovi materiali ottenibili.

## **7 Schede allegate**

Il presente allegato contiene le schede più significative, compilate durante le sperimentazioni effettuate nel Laboratorio Tecnologico del Dipartimento Casa-Città del Politecnico di Torino. Esse possono rivelarsi utili per meglio comprendere le tecniche di confezionamento utilizzate e per compiere rapidi confronti tra i risultati ottenuti da diversi campioni.

### **7.1 Contenuto delle schede**

Le schede, suddivise in base ai campioni, riportano una serie di tabelle con il seguente contenuto:

- descrizione dei componenti dei campioni;
- dati sui componenti degli impasti;
- informazioni sulle modalità di confezionamento e sui trattamenti dei provini;
- risultati delle prove di resistenza a compressione e a flessione;
- coefficienti di imbibizione e valori di assorbimento;
- determinazioni della massa volumica apparente e del tenore di umidità.

Prof.	Comm.
-------	-------

C  
A  
M  
P  
I  
O  
N  
E

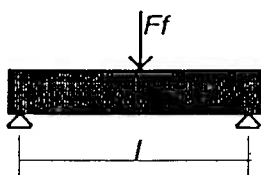
Contrassegno del campione	Componenti dell'impasto	Tipo dei componenti (ved. caratteristiche)	Dosatura per m <sup>2</sup> di impasto	Dosatura per un provino	Dosatura per n. $\frac{3}{3}$ provini	Dimensioni (cm)
G10	Argilla	Polvere	1452 Kg	392 g	1115 g	4 x 4 x 16
	Granito	Polvere	161 Kg	41 g	124 g	
	Acqua	/	385 l	99 ml	296 ml	

Caratteristiche dei componenti dell'impasto

- Argilla per laterizi.
- Fanghi di segazione e lavorazione graniti essiccati a temperatura ambiente.

Data di confezione	Modalità di confezionamento	Condizionamento e maturazione	Trattamenti dei provini
8/4/98	- Utilizzo di mescolatore da laboratorio.	- Esposizione a temperatura ambiente.	- Cottura a 850 °C.
Data di sfornatura			
8/4/98			

**RESISTENZA A FLESSIONE**

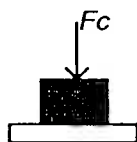


Contrassegni dei provini	Interasse tra gli appoggi l [mm]	Carico di rottura a flessione dei provini Ff [N]	Resistenza a flessione dei provini $Rf = M/W$ $Rf = (1/4 \times Ff \times l) / (1/6 \times b \times h^2)$ [N/mm <sup>2</sup> ]
A	120	1220	4,0
B		1080	3,5
C		1320	4,3

Resistenza a flessione media del campione [N/mm<sup>2</sup>]

4,0

**RESISTENZA A COMPRESIONE**



Contrassegni dei provini	Area A della zona compressa [mm <sup>2</sup> ]	Carico di rottura a compressione dei provini Fc [N]	Resistenza a compressione dei provini $Rc = Fc/A$ [N/mm <sup>2</sup> ]
A1	1520	18960	12,5
A2		18140	11,9
B1		18800	12,4
B2		19470	12,8
C1		25510	16,8
C2		19920	13,1

Resistenza a compressione media del campione [N/mm<sup>2</sup>]

13,2

D  
E  
T  
E  
R  
M  
I  
N  
A  
Z  
I  
O  
N  
I

Prot.	Comm.
-------	-------

C  
A  
M  
P  
I  
O  
N  
E

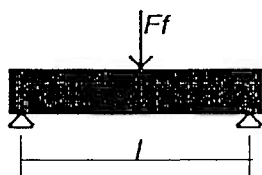
Contrassegno del campione	Componenti dell'impasto	Tipo dei componenti (ved. caratteristiche)	Dosatura per m <sup>3</sup> di impasto	Dosatura per un provino	Dosatura per n. $\frac{3}{3}$ provini	Dimensioni (cm)
M10	Argilla	Polvere	1432 Kg	367 g	1100 g	4x4x16
	Marmo	Polvere	159 Kg	41 g	122 g	
	Acqua	/	382 l	98 ml	293 ml	

Caratteristiche dei componenti dell'impasto

- Argilla per laterizi.
- Fanghi di segazione e lavorazione marmi bianchi e colorati, essiccati a temperatura ambiente.

Data di confezione	Modalità di confezionamento	Condizionamento e maturazione	Trattamenti dei provini
17/4/98	- Utilizzo di mescolatore da laboratorio.	- Esposizione a temperatura ambiente.	- Cottura a 850°C.
17/4/98			

**RESISTENZA A FLESSIONE**

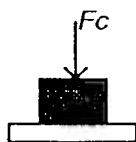


Contrassegni dei provini	Interasse tra gli appoggi l [mm]	Carico di rottura a flessione dei provini Ff [N]	Resistenza a flessione dei provini $Rf = M/W$ $Rf = (1/4 \times Ff \times l) / (1/6 \times b \times h^2)$ [N/mm <sup>2</sup> ]
A	120	1320	4,3
B		1220	4,0
C		1290	4,2

Resistenza a flessione media del campione [N/mm<sup>2</sup>]

4,2

**RESISTENZA A COMPRESIONE**



Contrassegni dei provini	Area A della zona compressa [mm <sup>2</sup> ]	Carico di rottura a compressione dei provini Fc [N]	Resistenza a compressione dei provini $Rc = Fc/A$ [N/mm <sup>2</sup> ]
A <sub>1</sub>	1520	25680	16,9
A <sub>2</sub>		24380	16,0
B <sub>1</sub>		26710	17,6
B <sub>2</sub>		25790	17,0
C <sub>1</sub>		26650	17,5
C <sub>2</sub>		18860	12,4

Resistenza a compressione media del campione [N/mm<sup>2</sup>]

16,2

D  
E  
T  
E  
R  
M  
I  
N  
A  
Z  
I  
O  
N  
I

Prot.	Comm.
-------	-------

C  
A  
M  
P  
I  
O  
N  
E

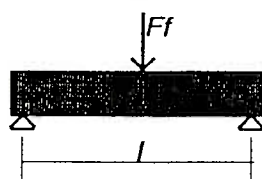
Contrassegno del campione	Componenti dell'impasto	Tipo dei componenti (ved. caratteristiche)	Dosatura per m <sup>3</sup> di impasto	Dosatura per un provino	Dosatura per n. $\frac{3}{3}$ provini	Dimensioni (cm)
M20	Argilla	Polvere	1266 Kg	324 g	972 g	4 x 4 x 16
	Marmo	Polvere	316 Kg	81 g	243 g	
	Acqua	/	379 l	97 ml	291 ml	

Caratteristiche dei componenti dell'impasto

- Argilla per laterizi.
- Fanghi di segazione e lavorazione manni bianchi e colorati, essiccati a temperatura ambiente.

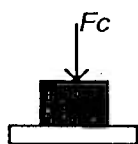
Data di confezione	Modalità di confezionamento	Condizionamento e maturazione	Trattamenti dei provini
17/4/98	- Utilizzo di mescolatore da laboratorio.	- Esposizione a temperatura ambiente.	- Cottura a 850 °C.
Data di sfornatura 17/4/98			

RESISTENZA A FLESSIONE



Contrassegni dei provini	Interasse tra gli appoggi l [mm]	Carico di rottura a flessione dei provini Ff [N]	Resistenza a flessione dei provini $Rf = MW$ $Rf = (1/4 \times Ff \times l) / (1/6 \times b \times x^2)$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Resistenza a flessione media del campione [N/mm <sup>2</sup> ]
A	120	1540	5,1	5,6
B		1720	5,6	
C		1830	6,0	

RESISTENZA A COMPRESIONE



Contrassegni dei provini	Area A della zona compressa [mm <sup>2</sup> ]	Carico di rottura a compressione dei provini Fc [N]	Resistenza a compressione dei provini $Rc = Fc/A$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Resistenza a compressione media del campione [N/mm <sup>2</sup> ]
A1	1520	22200	14,6	13,7
A2		17610	11,6	
B1		28340	18,6	
B2		21090	13,8	
C1		17970	11,8	
C2		17980	11,8	

D  
E  
T  
E  
R  
M  
I  
N  
A  
Z  
I  
O  
N  
I

Prot. \_\_\_\_\_ Comm. \_\_\_\_\_

C  
A  
M  
P  
I  
O  
N  
E

Contrassegno del campione	Componenti dell'impasto	Tipo dei componenti (ved. caratteristiche)	Dosatura per m³ di impasto	Dosatura per un provino	Dosatura per n. 3 provini	Dimensioni (cm)
MG 5	Argilla	Polvere	1432 kg	367 g	1100 g	4 x 4 x 16
	Granito	Polvere	79 kg	20 g	61 g	
	Marmo	Polvere	79 kg	20 g	61 g	
	Acqua	/	382 l	98 ml	293 ml	

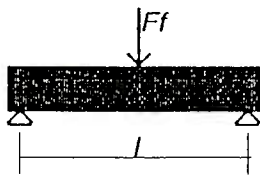
Caratteristiche dei componenti dell'impasto

- Argilla per laterizi.
- Fanghi di separazione e lavorazione graniti, essiccati a temperatura ambiente.
- Fanghi di separazione e lavorazione marmi bianchi e colorati, essiccati a temperatura ambiente.

Data di confezione	Modalità di confezionamento	Condizionamento e maturazione	Trattamenti dei provini
17/4/98	- Utilizzo di mescolatore da laboratorio.	- Esposizione a temperatura ambiente.	- Cottura a 850°C.
Data di sfornatura 17/4/98			

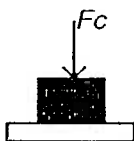
D  
E  
T  
E  
R  
M  
I  
N  
A  
Z  
I  
O  
N  
I

RESISTENZA A FLESSIONE



Contrassegni dei provini	Interasse tra gli appoggi l [mm]	Carico di rottura a flessione dei provini Ff [N]	Resistenza a flessione dei provini $Rf = MW$ $Rf = (1/4 \times Ff \times l) / (1/6 \times b \times h^2)$ [N/mm²]	Resistenza a flessione media del campione [N/mm²]
A	120	1200	3,9	4,5
B		1600	5,2	
C		1290	4,2	

RESISTENZA A COMPRESIONE



Contrassegni dei provini	Area A della zona compressa [mm²]	Carico di rottura a compressione dei provini Fc [N]	Resistenza a compressione dei provini $Rc = Fc/A$ [N/mm²]	Resistenza a compressione media del campione [N/mm²]
A1	1520	24620	16,2	13,8
A2		24440	16,1	
B1		16950	11,2	
B2		16380	10,8	
C1		16500	10,9	
C2		27020	17,8	

Prot.	Comm.
-------	-------

C  
A  
M  
P  
I  
O  
N  
E

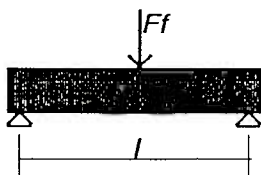
Contrassegno del campione	Componenti dell'impasto	Tipo dei componenti (ved. caratteristiche)	Dosatura per m <sup>3</sup> di impasto	Dosatura per un provino	Dosatura per n. $\frac{3}{3}$ provini	Dimensioni (cm)
MG10	Argilla	Polvere	1290 Kg	330 g	991 g	4 x 4 x 16
	Granito	Polvere	161 Kg	41 g	124 g	
	Marmo	Polvere	161 Kg	41 g	124 g	
	Acqua	/	385 l	99 ml	296 ml	

Caratteristiche dei componenti dell'impasto

- Argilla per laterizi.
- Fanghi di segazione e lavorazione graniti, essiccati a temperatura ambiente.
- Fanghi di segazione e lavorazione marmi bianchi e colorati, essiccati a temperatura ambiente.

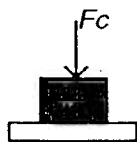
Data di confezione	Modalità di confezionamento	Condizionamento e maturazione	Trattamenti dei provini
20/4/98	- Utilizzo di mescolatore da laboratorio.	- Esposizione a temperatura ambiente.	- Cottura a 850 °C.
Data di sfornatura 20/4/98			

RESISTENZA A FLESSIONE



Contrassegni dei provini	Interasse tra gli appoggi l [mm]	Carico di rottura a flessione dei provini Ff [N]	Resistenza a flessione dei provini $Rf = MW$ $Rf = (1/4 \times Ff \times l) / (1/8 \times b \times h^2)$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Resistenza a flessione media del campione [N/mm <sup>2</sup> ]
A	120	1410	4,6	4,4
B		1330	4,4	
C		1300	4,3	

RESISTENZA A COMPRESIONE



Contrassegni dei provini	Area A della zona compressa [mm <sup>2</sup> ]	Carico di rottura a compressione dei provini Fc [N]	Resistenza a compressione dei provini $Rc = Fc/A$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Resistenza a compressione media del campione [N/mm <sup>2</sup> ]
A1	1520	20900	13,5	13,4
A2		16960	11,2	
B1		21200	13,9	
B2		18060	11,9	
C1		21380	14,1	
C2		23930	15,7	

D  
E  
T  
E  
R  
M  
I  
N  
A  
Z  
I  
O  
N  
I



Prot.	Comm.
-------	-------

<b>C A M P I O N E</b>	Contrassegno del campione	Componenti dell'impasto	Tipo dei componenti (ved. caratteristiche)	Dosatura per m <sup>3</sup> di impasto	Dosatura per un provino	Dosatura per n. 3 provini	Dimensioni (cm)
	G10	Argilla	Polvere	1452 Kg	72 g	217 g	1 x 5 x 10
		Granito	Polvere	161 Kg	8 g	24 g	
		Acqua	/	385 l	19 ml	58 ml	

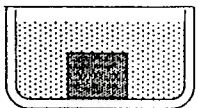
Caratteristiche dei componenti dell'impasto

- Argilla per laterizi.
- Fanghi di segazione e lavorazione graniti essiccati a temperatura ambiente.

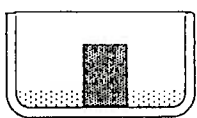
Data di confezione	Modalità di confezionamento	Condizionamento e maturazione	Trattamenti dei provini
17/12/97	- Utilizzo di mescolatore da laboratorio	- Esposizione a temperatura ambiente.	- Cottura a 850 °C
Data di sfornatura			
17/12/97			

<b>D E T E R M I N A Z I O N I</b>	<b>MASSA VOLUMICA APPARENTE</b>					<b>TENORE DI UMIDITA'</b>		
	Contrassegni dei provini	Massa dei provini Ma(g)	Massa secca dei provini Ms (g)	Volume dei provini V (cm <sup>3</sup> )	Massa volum. dei provini M=(Ms/V)x1000 (kg/m <sup>3</sup> )	Massa volumica media del campione (kg/m <sup>3</sup> )	Tenore di umidità dei provini Tu=((Ma-Ms)/Ms)x100 (%)	Tenore di umidità medio del campione (%)
	A	78,270	77,620	43,24	1795,072	1776,491	0,837	0,898
	B	82,153	81,322	45,12	1802,349		1,01	
	C	78,811	78,149	45,12	1732,026		0,847	

**COEFFICIENTE DI IMBIBIZIONE**

	Contrassegni dei provini	Massa secca dei provini Ms (g)	Massa imbibita dei provini Mi (g)	Coefficiente d'imbibizione dei provini Ci= ((Mi-Ms)/Ms)x100 (%)	Coefficiente d'imbibizione medio del campione (%)  <span style="border: 1px solid black; padding: 5px;">14,763</span>
	A	77,620	89,350	15,112	
	B	81,322	93,062	14,536	
	C	78,149	89,669	14,741	

**ASSORBIMENTO D'ACQUA**

	Contrassegni dei provini	Massa secca dei provini Ms (g)	Massa imbibita dei provini Mc (g)	Assorbimento dei provini Ci= ((Mc-Ms)/A) (g/(dm <sup>2</sup> x min))	Assorbimento medio del campione (g/(dm <sup>2</sup> x min))  <span style="border: 1px solid black; padding: 5px;">24,206</span>
	A	77,620	78,623	21,804	
	B	81,322	82,385	22,146	
	C	78,149	79,093	19,667	

Prot. \_\_\_\_\_ Comm. \_\_\_\_\_

C  
A  
M  
P  
I  
O  
N  
E

Contrassegno del campione	Componenti dell'impasto	Tipo dei componenti (ved. caratteristiche)	Dosatura per m³ di impasto	Dosatura per un provino	Dosatura per n. 3 provini	Dimensioni (cm)
M 10	Argilla	Polvere	1432 Kg	72 g	215 g	1 x 5 x 10
	Marmo	Polvere	159 Kg	8 g	24 g	
	Acqua	/	382 l	19 ml	57 ml	

Caratteristiche dei componenti dell'impasto

- Argilla per laterizi.
- Fanghi di segazione e lavorazione marmi bianchi e colorati, essiccati a temperatura ambiente.

Data di confezione	Modalità di confezionamento	Condizionamento e maturazione	Trattamenti dei provini
15/12/97	- Utilizzo di mescolatore da laboratorio.	- Esposizione a temperatura ambiente.	- Cottura a 850 °C
Data di sfornatura			
15/12/97			

D  
E  
T  
E  
R  
M  
I  
N  
A  
Z  
I  
O  
N  
I

MASSA VOLUMICA APPARENTE					TENORE DI UMIDITA'		
Contrassegni dei provini	Massa dei provini Ma(g)	Massa secca dei provini Ms (g)	Volume dei provini V (cm³)	Massa volum. dei provini $M=(Ms/V) \times 1000$ (kg/m³)	Massa volumica media del campione (kg/m³)	Tenore di umidità dei provini $Tu=((Ma-Ms)/Ms) \times 100$ (%)	Tenore di umidità medio del campione (%)
A	77,010	76,255	43,71	1744,566	1784,988	0,990	1,007
B	80,940	80,114	44,175	1813,560		1,031	
C	77,611	76,843	42,78	1796,237		0,999	

COEFFICIENTE DI IMBIBIZIONE				Coefficiente d'imbibizione medio del campione (%)
Contrassegni dei provini	Massa secca dei provini Ms (g)	Massa imbibita dei provini Mi (g)	Coefficiente d'imbibizione dei provini $Ci=((Mi-Ms)/Ms) \times 100$ (%)	
A	76,255	87,615	14,897	14,274
B	80,114	91,212	13,853	
C	76,843	87,657	14,043	

ASSORBIMENTO D'ACQUA				Assorbimento medio del campione $(g/(dm^2 \times min))$
Contrassegni dei provini	Massa secca dei provini Ms (g)	Massa imbibita dei provini Mc (g)	Assorbimento dei provini $Ci=((Mc-Ms)/A)$ $(g/(dm^2 \times min))$	
A	76,255	76,723	9,957	16,800
B	80,114	80,957	17,747	
C	76,843	77,887	22,696	

Prot. \_\_\_\_\_ Comm. \_\_\_\_\_

**C  
A  
M  
P  
I  
O  
N  
E**

Contrassegno del campione	Componenti dell'impasto	Tipo dei componenti (ved. caratteristiche)	Dosatura per m <sup>3</sup> di impasto	Dosatura per un provino	Dosatura per n. 3 provini	Dimensioni (cm)
M20	Argilla	Polvere	1266 kg	63 g	190 g	1 x 5 x 10
	Marmo	Polvere	316 kg	16 g	47 g	
	Acqua	/	379 l	19 ml	57 ml	

Caratteristiche dei componenti dell'impasto

- Argilla per laterizi.
- Fanghi di segazione e lavorazione marmi bianchi e colorati, essiccati a temperatura ambiente.

Data di confezione	Modalità di confezionamento	Condizionamento e maturazione	Trattamenti dei provini
15/12/97	- Utilizzo di mescolatore da laboratorio.	- Esposizione a temperatura ambiente.	- Cottura a 850°C
Data di sfornatura 15/12/97			

**D  
E  
T  
E  
R  
M  
I  
N  
A  
Z  
I  
O  
N  
I**

**MASSA VOLUMICA APPARENTE**

Contrassegni dei provini	Massa dei provini Ma(g)	Massa secca dei provini Ms (g)	Volume dei provini V (cm <sup>3</sup> )	Massa volum. dei provini M=(Ms/V)x1000 (kg/m <sup>3</sup> )	Massa volumica media del campione (kg/m <sup>3</sup> )	Tenore di umidità dei provini Tu=((Ma-Ms)/Ms)x100 (%)	Tenore di umidità medio del campione (%)
A	75,684	74,920	44,18	1695,790	1714,263	1,020	1,003
B	78,917	78,143	47,87	1632,400		0,990	
C	80,971	80,169	44,18	1814,599		1,000	

**COEFFICIENTE DI IMBIBIZIONE**

Contrassegni dei provini	Massa secca dei provini Ms (g)	Massa imbibita dei provini Mi (g)	Coefficiente d'imbibizione dei provini Ci= ((Mi-Ms)/Ms)x100 (%)	Coefficiente d'imbibizione medio del campione (%)
A	74,920	86,778	15,828	15,228
B	78,143	90,271	15,520	
C	80,169	91,661	14,335	

**ASSORBIMENTO D'ACQUA**

Contrassegni dei provini	Massa secca dei provini Ms (g)	Massa imbibita dei provini Mc (g)	Assorbimento dei provini Ci= ((Mc-Ms)/A) (g/(dm <sup>2</sup> x min))	Assorbimento medio del campione (g/(dm <sup>2</sup> x min))
A	74,920	75,474	11,787	21,700
B	78,143	79,856	33,654	
C	80,169	81,093	19,660	

Prot.

Comm.

C  
A  
M  
P  
I  
O  
N  
E

Contrassegno del campione	Componenti dell'impasto	Tipo dei componenti (ved. caratteristiche)	Dosatura per m <sup>3</sup> di impasto	Dosatura per un provino	Dosatura per n. 3 provini	Dimensioni (cm)
MG5	Argilla	Polvere	1432 kg	72 g	215 g	1 x 5 x 10
	Granito	Polvere	79 kg	4 g	12 g	
	Marmo	Polvere	79 kg	4 g	12 g	
	Acqua	✓	382 l	19 ml	57 ml	

Caratteristiche dei componenti dell'impasto

- Argilla per laterizi.
- Fanghi di segregazione e lavorazione graniti, essiccati a temperatura ambiente.
- Fanghi di segregazione e lavorazione marmi bianchi e colorati, essiccati a temperatura ambiente.

Data di confezione	Modalità di confezionamento	Condizionamento e maturazione	Trattamenti dei provini
16/12/97	- Utilizzo di mescolatore da laboratorio.	- Esposizione a temperatura ambiente.	- Cottura a 850 °C.
Data di sfornatura			
16/12/97			

D  
E  
T  
E  
R  
M  
I  
N  
A  
Z  
I  
O  
N  
I

MASSA VOLUMICA APPARENTE

Contrassegni dei provini	Massa dei provini Ma(g)	Massa secca dei provini Ms (g)	Volume dei provini V (cm <sup>3</sup> )	Massa volum. dei provini M=(Ms/V)x1000 (kg/m <sup>3</sup> )	Massa volumica media del campione (kg/m <sup>3</sup> )	Tenore di umidità dei provini Tu=((Ma-Ms)/Ms)x100 (%)	Tenore di umidità medio del campione (%)
A	77,275	76,525	45,12	1696,033	1770,456	0,930	1,00
B	78,333	77,550	44,18	1755,319		1,010	
C	82,121	81,300	43,71	1859,986		1,010	

COEFFICIENTE DI IMBIBIZIONE

Contrassegni dei provini	Massa secca dei provini Ms (g)	Massa imbibita dei provini Mi (g)	Coefficiente d'imbibizione dei provini Ci= ((Mi-Ms)/Ms)x100 (%)	Coefficiente d'imbibizione medio del campione (%)
A	76,525	87,676	14,572	14,375
B	77,550	88,536	14,166	
C	81,300	92,976	14,386	

ASSORBIMENTO D'ACQUA

Contrassegni dei provini	Massa secca dei provini Ms (g)	Massa imbibita dei provini Mc (g)	Assorbimento dei provini Ci= ((Mc-Ms)/A) (g/(dm <sup>2</sup> x min))	Assorbimento medio del campione (g/(dm <sup>2</sup> x min))
A	76,525	77,072	11,396	18,312
B	77,550	78,529	20,830	
C	81,300	82,356	22,710	

Prot.	Comm.
-------	-------

**C  
A  
M  
P  
I  
O  
N  
E**

Contrassegno del campione	Componenti dell'impasto	Tipo dei componenti (ved. caratteristiche)	Dosatura per m <sup>3</sup> di impasto	Dosatura per un provino	Dosatura per n. 3 provini	Dimensioni (cm)
MG10	Argilla	Polvere	1290 Kg	65 g	194 g	1 x 5 x 10
	Granito	Polvere	161 Kg	8 g	24 g	
	Marmo	Polvere	161 Kg	8 g	24 g	
	Acqua	—	385 l	19 ml	58 ml	

Caratteristiche dei componenti dell'impasto

- Argilla per laterizi.
- Fanghi di segazione e lavorazione graniti, essiccati a temperatura ambiente.
- Fanghi di segazione e lavorazione marmi bianchi e colorati, essiccati a temperatura ambiente.

Data di confezione	Modalità di confezionamento	Condizionamento e maturazione	Trattamenti dei provini
17/12/97	- Utilizzo di mescolatore da laboratorio.	- Esposizione a temperatura ambiente.	- Cottura a 850°C
Data di sfornatura			
17/12/97			

**D  
E  
T  
E  
R  
M  
I  
N  
A  
Z  
I  
O  
N  
I**

MASSA VOLUMICA APPARENTE						TENORE DI UMIDITA'	
Contrassegno dei provini	Massa dei provini Ma(g)	Massa secca dei provini Ms(g)	Volume dei provini V (cm <sup>3</sup> )	Massa volum. dei provini M=(Ms/V)x1000 (kg/m <sup>3</sup> )	Massa volumica media del campione (kg/m <sup>3</sup> )	Tenore di umidità dei provini Tu=((Ma-Ms)/Ms)x100 (%)	Tenore di umidità medio del campione (%)
A	79,205	78,405	44,65	1755,991	1731,123	1,020	1,006
B	79,015	78,241	45,12	1734,065		0,989	
C	79,813	79,015	46,389	1703,313		1,010	

COEFFICIENTE DI IMBIBIZIONE					Coefficiente d'imbibizione medio del campione (%)
Contrassegno dei provini	Massa secca dei provini Ms(g)	Massa imbibite dei provini Mi(g)	Coefficiente d'imbibizione dei provini Ci= ((Mi-Ms)/Ms)x100 (%)		
A	78,405	90,446	15,397		14,950
B	78,241	89,533	14,432		
C	79,015	90,892	15,031		

ASSORBIMENTO D'ACQUA					Assorbimento medio del campione (g/(dm <sup>2</sup> x min))
Contrassegno dei provini	Massa secca dei provini Ms(g)	Massa imbibite dei provini Mc(g)	Assorbimento dei provini Ci= ((Mc-Ms)/A) (g/(dm <sup>2</sup> x min))		
A	78,405	78,908	10,589		20,268
B	78,241	79,393	24,000		
C	79,015	80,310	26,215		

Prot.	Comm.
-------	-------

CAMPIONE

Contrassegno del campione	Componenti dell'impasto	Tipo dei componenti (ved. caratteristiche)	Dosatura per m <sup>3</sup> di impasto	Dosatura per un provino	Dosatura per n. 2 provini	Dimensioni (cm)
CCG 10 I	Calce viva	Polvere	155 Kg	40 g	80 g	4 x 4 x 16
	Cenere volante	Polvere	155 Kg	40 g	80 g	
	Granito	Fango	1575 Kg	403 g	806 g	
	Acqua	✓	120 l	31 ml	62 ml	

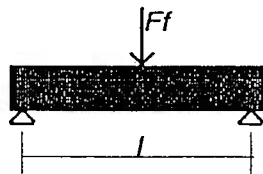
Caratteristiche dei componenti dell'impasto

- Calce viva magnesiana.
- Cenere volante prodotta da combustione di litantrace a corto fiamma.
- Fanghi di seggiatura e lavorazione graniti.

Data di confezione	Modalità di confezionamento	Condizionamento e maturazione	Trattamenti dei provini
4/6/98	- Utilizzo di mescolatore da laboratorio	- Immersione in acqua per 15 giorni consecutivi.	
Data di sfornatura 5/6/98			

DETERMINAZIONI

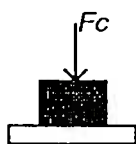
RESISTENZA A FLESSIONE



Contrassegni dei provini	Interasse tra gli appoggi l [mm]	Carico di rottura a flessione dei provini Ff [N]	Resistenza a flessione dei provini $Rf = M/W$ $Rf = (1/4 \times Ff \times l) / (1/6 \times b \times h^2)$ [N/mm <sup>2</sup> ]

Resistenza a flessione media del campione [N/mm<sup>2</sup>]

RESISTENZA A COMPRESSIONE



Contrassegni dei provini	Area A della zona compressa [mm <sup>2</sup> ]	Carico di rottura a compressione dei provini Fc [N]	Resistenza a compressione dei provini $Rc = Fc/A$ [N/mm <sup>2</sup> ]
A1	1600	11230	7,0
A2		10060	6,3
B1		9920	6,0
B2		8600	5,4

Resistenza a compressione media del campione [N/mm<sup>2</sup>]  
**6,2**

Prot.	Comm.
-------	-------

C  
A  
M  
P  
I  
O  
N  
E

Contrassegno del campione	Componenti dell'impasto	Tipo dei componenti (ved. caratteristiche)	Dosatura per m <sup>3</sup> di impasto	Dosatura per un provino	Dosatura per n. $\frac{z}{2}$ provini	Dimensioni (cm)
CCG 10 II	Calce viva	Polvere	155 Kg	40 g	80 g	4 x 4 x 16
	Cenere volante	Polvere	155 Kg	40 g	80 g	
	Granito	Fango	1575 Kg	403 g	806 g	
	Acqua	/	120 l	31 ml	62 ml	

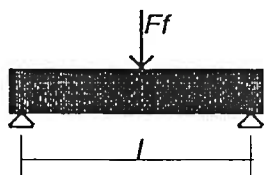
Caratteristiche dei componenti dell'impasto

- Calce viva magnesiosa.
- Cenere volante prodotta da combustione di litantrace a corta fiamma.
- Fanghi di segazione e lavorazione graniti.

Data di confezione	Modalità di confezionamento	Condizionamento e maturazione	Trattamenti dei provini
4/6/98	- Utilizzo di mescolatore da laboratorio.	- Umidificazione giornaliera per 15 giorni.	
Data di sfornatura 5/6/98			

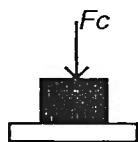
D  
E  
T  
E  
R  
M  
I  
N  
A  
Z  
I  
O  
N  
I

RESISTENZA A FLESSIONE



Contrassegni dei provini	Interasse tra gli appoggi l [mm]	Carico di rottura a flessione dei provini Ff [N]	Resistenza a flessione dei provini $Rf = M/W$ $Rf = (1/4 \times Ff \times l) / (1/6 \times b \times h^2)$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Resistenza a flessione media del campione [N/mm <sup>2</sup> ]

RESISTENZA A COMPRESIONE



Contrassegni dei provini	Area A della zona compressa [mm <sup>2</sup> ]	Carico di rottura a compressione dei provini Fc [N]	Resistenza a compressione dei provini $Rc = Fc/A$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Resistenza a compressione media del campione [N/mm <sup>2</sup> ]
A <sub>1</sub>	1600	6200	3,9	3,3
A <sub>2</sub>		4820	3,0	
B <sub>1</sub>		4570	2,9	
B <sub>2</sub>		5350	3,3	

Prot.	Comm.
-------	-------

C  
A  
M  
P  
I  
O  
N  
E

Contrassegno del campione	Componenti dell'impasto	Tipo dei componenti (ved. caratteristiche)	Dosatura per m <sup>3</sup> di impasto	Dosatura per un provino	Dosatura per n. 2 provini	Dimensioni (cm)
CCG 10 III	Calce viva	Polvere	155 Kg	40 g	80 g	4 x 4 x 16
	Cenere volante	Polvere	155 Kg	40 g	80 g	
	Granito	Fango	1575 Kg	403 g	806 g	
	Acqua	—	120 l	31 ml	62 ml	

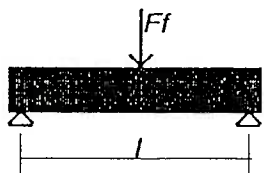
Caratteristiche dei componenti dell'impasto

- Calce viva magnesiaca.
- Cenere volante prodotta da combustione di litotrace a corta fiamma.
- Fanghi di segazione e lavorazione graniti.

Data di confezione	Modalità di confezionamento	Condizionamento e maturazione	Trattamenti dei provini
4/6/98	- Utilizzo di mescolatore da laboratorio.	- Esposizione a temperatura ambiente.	
Data di sfornatura 5/6/98			

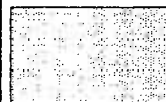
D  
E  
T  
E  
R  
M  
I  
N  
A  
Z  
I  
O  
N  
I

RESISTENZA A FLESSIONE

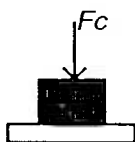


Contrassegni dei provini	Interasse tra gli appoggi l [mm]	Carico di rottura a flessione dei provini Ff [N]	Resistenza a flessione dei provini $Rf = M/W$ $Rf = (1/4 \times Ff \times l) / (1/6 \times b \times h^2)$ [N/mm <sup>2</sup> ]

Resistenza a flessione media del campione [N/mm<sup>2</sup>]

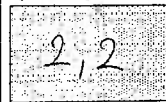


RESISTENZA A COMPRESSIONE



Contrassegni dei provini	Area A della zona compressa [mm <sup>2</sup> ]	Carico di rottura a compressione dei provini Fc [N]	Resistenza a compressione dei provini $Rc = Fc/A$ [N/mm <sup>2</sup> ]
A1	1600	3480	2,2
A2		3420	2,1
B1		3380	2,1
B2		3870	2,4

Resistenza a compressione media del campione [N/mm<sup>2</sup>]





Prot. \_\_\_\_\_ Comm. \_\_\_\_\_

C  
A  
M  
P  
I  
O  
N  
E

Contrassegno del campione	Componenti dell'impasto	Tipo dei componenti (ved. caratteristiche)	Dosatura per m <sup>3</sup> di impasto	Dosatura per un provino	Dosatura per n. 2 provini	Dimensioni (cm)
CCG 12,5 I	Calce viva	Polvere	195 Kg	50 g	100 g	4 x 4 x 16
	Cenere volante	Polvere	195 Kg	50 g	100 g	
	Granito	Fango	1480 Kg	379 g	758 g	
	Acqua	/	128 l	33 ml	65 ml	

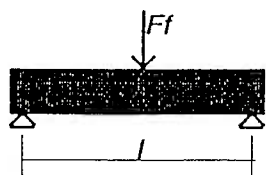
Caratteristiche dei componenti dell'impasto

- Calce viva magnesiacca.
- Cenere volante prodotto da combustione di lignite a corto fiamma.
- Fanghi di segazione e lavorazione graniti.

Data di confezione	Modalità di confezionamento	Condizionamento e maturazione	Trattamenti dei provini
15/1/99	- Utilizzo di mescolatore da laboratorio.	- Immersione in acqua per 11 giorni consecutivi.	- Essiccazione a 30 ÷ 40 °C.
Data di sfornatura 16/1/99			

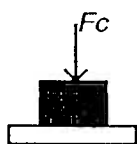
D  
E  
T  
E  
R  
M  
I  
N  
A  
Z  
I  
O  
N  
I

RESISTENZA A FLESSIONE



Contrassegni dei provini	Interasse tra gli appoggi l [mm]	Carico di rottura a flessione dei provini Ff [N]	Resistenza a flessione dei provini $Rf = MW$ $Rf = (1/4 \times Ff \times l) / (1/6 \times b \times h^2)$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Resistenza a flessione media del campione [N/mm <sup>2</sup> ]

RESISTENZA A COMPRESSIONE



Contrassegni dei provini	Area A della zona compressa [mm <sup>2</sup> ]	Carico di rottura a compressione dei provini Fc [N]	Resistenza a compressione dei provini $Rc = Fc / A$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Resistenza a compressione media del campione [N/mm <sup>2</sup> ]
A1	1600	9580	6,0	5,6
A2		8220	5,1	
B1		8940	5,6	
B2		8850	5,5	

Prot.	Comm.
-------	-------

C  
A  
M  
P  
I  
O  
N  
E

Contrassegno del campione	Componenti dell'impasto	Tipo dei componenti (ved. caratteristiche)	Dosatura per m <sup>2</sup> di impasto	Dosatura per un provino	Dosatura per n. $\frac{2}{2}$ provini	Dimensioni (cm)
CCG 12,5 II	Calce viva	Polvere	195 kg	50 g	100 g	4 x 4 x 16
	Cenere volante	Polvere	195 kg	50 g	100 g	
	Granito	Fango	1480 kg	379 g	758 g	
	Acqua	/	128 l	33 ml	65 ml	

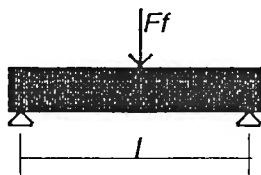
Caratteristiche dei componenti dell'impasto

- Calce viva magnesiacca.
- Cenere volante prodotto da combustione di litantrace a corta fiamma.
- Fanghi di segazione e lavorazione graniti.

Data di confezione	Modalità di confezionamento	Condizionamento e maturazione	Trattamenti dei provini
15/1/99	- Utilizzo di mescolatore da laboratorio.	- Imbibizione giornaliera per circa due ore.	- Essiccazione a 30 ÷ 40 °C.
Data di sfornatura 16/1/99			

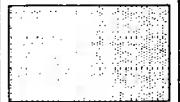
D  
E  
T  
E  
R  
M  
I  
N  
A  
Z  
I  
O  
N  
I

**RESISTENZA A FLESSIONE**

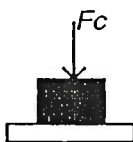


Contrassegni dei provini	Interasse tra gli appoggi l (mm)	Carico di rottura a flessione dei provini Ff (N)	Resistenza a flessione dei provini $Rf = M/W$ $Rf = (1/4 \times Ff \times l) / (1/6 \times b \times h^2)$ [N/mm <sup>2</sup> ]

Resistenza a flessione media del campione [N/mm<sup>2</sup>]

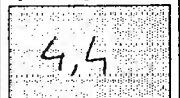


**RESISTENZA A COMPRESIONE**



Contrassegni dei provini	Area A della zona compressa (mm <sup>2</sup> )	Carico di rottura a compressione dei provini Fc (N)	Resistenza a compressione dei provini $Rc = Fc/A$ [N/mm <sup>2</sup> ]
A1	1600	6980	4,4
A2		6880	4,3
B1		7300	4,6
B2		7000	4,4

Resistenza a compressione media del campione [N/mm<sup>2</sup>]



Prot.	Comm.
-------	-------

CAMPIONE

Contrassegno del campione	Componenti dell'impasto	Tipo dei componenti (ved. caratteristiche)	Dosatura per m <sup>3</sup> di impasto	Dosatura per un provino	Dosatura per n. 2 provini	Dimensioni (cm)
CCG 12,5 III	Calce viva	Polvere	195 Kg	50 g	100 g	4 x 4 x 16
	Cenere volante	Polvere	195 Kg	50 g	100 g	
	Granito	Fango	1480 Kg	379 g	758 g	
	Acqua	/	128 l	33 ml	65 ml	

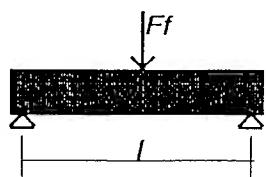
Caratteristiche dei componenti dell'impasto

- Calce viva magnesiosa.
- Cenere volante prodotta da combustione di litotrace a corta fiamma.
- Fanghi di segazione e lavorazione graniti.

Data di confezione	Modalità di confezionamento	Condizionamento e maturazione	Trattamenti dei provini
15/1/99	- Utilizzo di mescolatore da laboratorio.	- Esposizione a temperatura ambiente.	
Data di sfornatura 16/1/99			

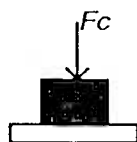
DETERMINAZIONI

RESISTENZA A FLESSIONE



Contrassegni dei provini	Interasse tra gli appoggi l [mm]	Carico di rottura a flessione dei provini Ff [N]	Resistenza a flessione dei provini $Rf = MW$ $Rf = (1/4 \times Ff \times l) / (1/6 \times b \times h^2)$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Resistenza a flessione media del campione [N/mm <sup>2</sup> ]

RESISTENZA A COMPRESIONE



Contrassegni dei provini	Area A della zona compressa [mm <sup>2</sup> ]	Carico di rottura a compressione dei provini Fc [N]	Resistenza a compressione dei provini $Rc = Fc/A$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Resistenza a compressione media del campione [N/mm <sup>2</sup> ]
A1	1600	4160	2,6	2,6
A2		4100	2,6	

Prot.	Comm.
-------	-------

C  
A  
M  
P  
I  
O  
N  
E

Contrassegno del campione	Componenti dell'impasto	Tipo dei componenti (ved. caratteristiche)	Dosatura per m <sup>3</sup> di impasto	Dosatura per un provino	Dosatura per n. 2 provini	Dimensioni (cm)
CCG 12,5 I	Calce viva	Polvere	195 Kg	14 g	27 g	4 x 4 x 4,3
	Cenere volante	Polvere	195 Kg	14 g	27 g	
	Granito	Fango	1480 Kg	102 g	204 g	
	Acqua	/	128 l	9 ml	18 ml	

Caratteristiche dei componenti dell'impasto

- Calce viva magnesiacca
- Cenere volante prodotta da combustione di litantrace a corta fiamma.
- Fanghi di segazione e lavorazione graniti.

Data di confezione	Modalità di confezionamento	Condizionamento e maturazione	Trattamenti dei provini
15/01/99	- Utilizzo di mescolatore da laboratorio.	- Immersione in acqua per 11 giorni consecutivi.	- Essiccazione a 30÷40 °C.
Data di sfornatura			
16/01/99			

D  
E  
T  
E  
R  
M  
I  
N  
A  
Z  
I  
O  
N  
I

MASSA VOLUMICA APPARENTE						TENORE DI UMIDITA'	
Contrassegni dei provini	Massa dei provini Ma(g)	Massa secca dei provini Ms (g)	Volume dei provini V (cm <sup>3</sup> )	Massa volum. dei provini M=(Ms/V)x1000 (kg/m <sup>3</sup> )	Massa volumica media del campione (kg/m <sup>3</sup> )	Tenore di umidità dei provini Tu=((Ma-Ms)/Ms)x100 (%)	Tenore di umidità medio del campione (%)
A	105,736	105,028	68,8	1526,570	1555,516	0,674	0,690
B	109,779	109,011	68,8	1584,462		0,705	

COEFFICIENTE DI IMBIBIZIONE					Coefficiente d'imbibizione medio del campione (%)
Contrassegni dei provini	Massa secca dei provini Ms (g)	Massa imbibitadei provini Mi (g)	Coefficiente d'imbibizione dei provini Ci= ((Mi-Ms)/Ms)x100 (%)		
A	105,028	130,826	24,563		24,439
B	109,011	135,516	24,314		

ASSORBIMENTO D'ACQUA					Assorbimento medio del campione (g/(dm <sup>2</sup> x min))
Contrassegni dei provini	Massa secca dei provini Ms (g)	Massa imbibitadei provini Mc (g)	Assorbimento dei provini Ci= ((Mc-Ms)/A) (g/(dm <sup>2</sup> x min))		
A	105,028	110,220	32,450		32,538
B	109,011	114,231	32,625		

Prot.

Comm.

C  
A  
M  
P  
I  
O  
N  
E

Contrassegno del campione	Componenti dell'impasto	Tipo dei componenti (ved. caratteristiche)	Dosatura per m <sup>3</sup> di impasto	Dosatura per un provino	Dosatura per n. 2 provini	Dimensioni (cm)
CCG 12,5 II	Calce viva	Polvere	195 Kg	14 g	27 g	4 x 4 x 4,3
	Cenere volante	Polvere	195 Kg	14 g	27 g	
	Granito	Fango	1480 Kg	102 g	204 g	
	Acqua	/	128 l	9 ml	18 ml	

Caratteristiche dei componenti dell'impasto

- Calce viva magnesiosa.
- Cenere volante prodotta da combustione di litantrace a corta fiamma.
- Fanghi di segogione e lavorazione graniti.

Data di confezione	Modalità di confezionamento	Condizionamento e maturazione	Trattamenti dei provini
15/01/99	- Utilizzo di mescolatore da laboratorio.	- Imbibizione giornaliera per circa due ore.	- Essiccazione a 30 ± 40 °C.
Data di sfornatura			
16/01/99			

D  
E  
T  
E  
R  
M  
I  
N  
A  
Z  
I  
O  
N  
I

MASSA VOLUMICA APPARENTE

Contrassegni dei provini	Massa dei provini Ma(g)	Massa secca dei provini Ms (g)	Volume dei provini V (cm <sup>3</sup> )	Massa volum. dei provini M=(Ms/V)x1000 (kg/m <sup>3</sup> )	Massa volumica media del campione (kg/m <sup>3</sup> )	Tenore di umidità dei provini Tu=((Ma-Ms)/Ms)x100 (%)	Tenore di umidità medio del campione (%)
A	106,190	105,702	68,8	1536,366	1567,091	0,462	0,437
B	110,380	109,927	68,8	1597,976		0,412	

COEFFICIENTE DI IMBIBIZIONE

Contrassegni dei provini	Massa secca dei provini Ms (g)	Massa imbibita dei provini Mi (g)	Coefficiente d'imbibizione dei provini Ci= ((Mi-Ms)/Ms)x100 (%)	Coefficiente d'imbibizione medio del campione (%)
A	105,702	130,708	23,697	23,679
B	109,927	135,981	23,701	

ASSORBIMENTO D'ACQUA

Contrassegni dei provini	Massa secca dei provini Ms (g)	Massa imbibita dei provini Mc (g)	Assorbimento dei provini Ci= ((Mc-Ms)/A) (g/dm <sup>2</sup> x min)	Assorbimento medio del campione (g/dm <sup>2</sup> x min)
A	105,702	111,616	36,963	35,996
B	109,927	115,525	35,988	

Prot.	Comm.
-------	-------

C  
A  
M  
P  
I  
O  
N  
E

Contrassegno del campione	Componenti dell'impasto	Tipo dei componenti (ved. caratteristiche)	Dosatura per m <sup>3</sup> di impasto	Dosatura per un provino	Dosatura per n. — provini	Dimensioni (cm)
CCG 12,5 III	Calce viva	Polvere	195 Kg	14 g	27 g	4x4x4,3
	Cenere volante	Polvere	195 Kg	14 g	27 g	
	Granito	Fango	1480 Kg	102 g	204 g	
	Acqua	—	128 l	9 ml	18 ml	

Caratteristiche dei componenti dell'impasto

- Calce viva magnesiacca.
- Cenere volante prodotta da combustione di litontrace a corto fiamma.
- Fanghi di segregazione e lavorazione graniti.

Data di confezione	Modalità di confezionamento	Condizionamento e maturazione	Trattamenti dei provini
15/01/99	- Utilizzo di mescolatore da laboratorio.	- Esposizione a temperatura ambiente.	
Data di sfornatura 16/01/99			

D  
E  
T  
E  
R  
M  
I  
N  
A  
Z  
I  
O  
N  
I

MASSA VOLUMICA APPARENTE

Contrassegni dei provini	Massa dei provini Ma(g)	Massa secca dei provini Ms (g)	Volume dei provini V (cm <sup>3</sup> )	Massa volum. dei provini M=(Ms/V)x1000 (kg/m <sup>3</sup> )	Massa volumica media del campione (kg/m <sup>3</sup> )	Tenore di umidità dei provini Tu=((Ma-Ms)/Ms)x100 (%)	Tenore di umidità medio del campione (%)
C	107,160	106,088	68,8	1541,977	1566,832	1,010	0,960
D	110,503	109,508	68,8	1591,686		0,909	

COEFFICIENTE DI IMBIBIZIONE

Contrassegni dei provini	Massa secca dei provini Ms (g)	Massa imbibitadei provini Mi (g)	Coefficiente d'imbibizione dei provini Ci=(Mi-Ms)/Ms)x100 (%)	Coefficiente d'imbibizione medio del campione (%)
C	106,088	131,176	23,648	23,581
D	109,508	135,257	23,513	

ASSORBIMENTO D'ACQUA

Contrassegni dei provini	Massa secca dei provini Ms (g)	Massa imbibitadei provini Mc (g)	Assorbimento dei provini Ci=(Mc-Ms)/A (g/(dm <sup>2</sup> xmin))	Assorbimento medio del campione (g/(dm <sup>2</sup> xmin))
C	106,088	115,370	58,013	57,294
D	109,508	118,560	56,575	

## **Bibliografia**

- ◆ AMBIENTE S.C.R.L., *Studio relativo alla progettazione esecutiva di una discarica per rifiuti solidi (fanghi) reflui della lavorazione dei materiali lapidei del comprensorio della Provincia di Lucca, Massa, 1994.*
- ◆ C. AMERIO – G. CANAVESIO, *Materiali per l'edilizia*, Torino, SEI, 1993.
- ◆ T. APPIANI, *De' materiali della fabbricazione e della maniera di prepararli e farne uso*, Cuneo, 1808.
- ◆ G.N. BALDACCINI – P. ERCOLINI – O. BRESCIANI, *Campagna di studio sull'eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli. Anni 1997-1998*, Lucca, ARPAT, 1998.
- ◆ G. BELARDI – M. MANETTA – S. MASSIMILLA, *Il riutilizzo dei fanghi prodotti dalle lavorazioni delle pietre ornamentali*, in *Inquinamento 1998*, n. 2.
- ◆ F. BRADLEY, *Criteri e procedure di scelta delle rocce ornamentali in architettura*, in *Marmomacchine Directory 1997-1998*.
- ◆ G. CANAVESIO, *Marmi, graniti, travertini e pietre: indicazioni per la scelta e l'impiego in edilizia*, in *Marmomacchine Directory 1990-1991*.
- ◆ G. CANAVESIO, *Pavimenti, scale e arredi in materiale lapideo*, in *Marmomacchine Directory 1996-1997*.

- ◆ R. CAPACCIOLI – A. DORO, *Recupero ambientale e riqualificazione della ex cava Filippi in Comune di Castelnuovo Magra - Assistenza idrogeologica alla direzione dei lavori*, La Spezia, Ecobonifiche, 1996.
- ◆ R. CAPACCIOLI – S. NICCOLAI, *Recupero ambientale e riqualificazione ecologica della ex cava Filippi - Progetto esecutivo*, La Spezia, Ecobonifiche, 1989.
- ◆ M. CAVALLINI – C. CHIMENTI, *La pietra artificiale*, Firenze, Alinea, 1996.
- ◆ S. CELSI, *Il problema del riciclaggio della marmettola*, in *Carrara Marmi 1984*, n. 15.
- ◆ S. CELSI – R. BERTOLINI, *Nuove prospettive per il riutilizzo dei residui del marmo e del granito*, in *L'informatore del marmista 1989*, n. 5.
- ◆ C. CLERICI – A. FRISA MORANDINI, *Problematiche dello smaltimento degli sfridi e degli scarti di lavorazione*, in *Marmi Graniti Pietre 1987*, n. 36.
- ◆ M. COLUCCIA – D. MICONI, *Impatto ambientale dell'industria lapidea: smaltimento dei rifiuti delle lavorazioni*, in *Scienza e Governo 1991*, n. 6.
- ◆ A. CONTI, *Il marmo ieri e oggi*, Massa, Società Editrice Apuana, 1996.
- ◆ COOPERATIVA AMBIENTE, *Reflui della lavorazione lapidea nel comprensorio Apuo-Versiliese: caratteristiche e possibilità di mercato*, Massa, 1989.



- ◆ G. DUCHI, *Relazione geologico tecnica sui terreni previsti recettori di discarica controllata dei residui provenienti dalla lavorazione del marmo*, Viareggio, 1983.
- ◆ G. DUCHI – A. TINÉ, *Discarica "sperimentale" per residui delle lavorazioni del marmo e del granito, località Brentino, Comune di Massarosa*, Consorzio CO.SMA.VE., 1988.
- ◆ E. FACINCANI, *Tecnologia ceramica - I laterizi*, Faenza, Faenza Editrice, 1986.
- ◆ P. FRIGERIO, *Progetto per il recupero ambientale e la riqualificazione ecologica dell'area Filippi - Studio di prefattibilità*, La Spezia, Ecobonifiche, 1988.
- ◆ A. FRISA MORANDINI – G. VERGA, *Problemi connessi con lo smaltimento dei residui di lavorazione delle pietre ornamentali*, in *Bollettino della Associazione Mineraria Subalpina 1990*, n. 1-2.
- ◆ M. GHIANI – M.OI – R. PERETTI – A. ZUCCA, *Produzione di materie prime per l'industria ceramica dagli scarti delle cave di granito: il caso del materiale di Serule*, in *Ceramica Acta 1997*, n. 2-3.
- ◆ *Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22*, in *Gazzetta ufficiale della Repubblica Italiana 16.4.1998*.
- ◆ MATERIE SECONDE: NORMATIVA, RICERCA, ESPERIENZA, Firenze, 1988, *Ipotesi di riutilizzo di fanghi derivanti dalla lavorazione dei materiali lapidei e del granito*, 1989.

- ◆ G. MAURA, *Materiali per l'edilizia*, Roma, Edizioni DEI, 1992.
- ◆ A. MIGNANI – S. QUADRELLI, *Le nuove espressioni del marmo. Seconda parte: Pavimenti e rivestimenti interni*, Carrara, SEI, 1993.
- ◆ S. NAPOLI, *Settore lapideo 1997, industria italiana e congiuntura internazionale*, Carrara, Editrice Internazionale Marmi e Macchine Carrara, 1998.
- ◆ D. PANDOLFI – O. PANDOLFI, *La cava*, Livorno, Del Forte, 1989.
- ◆ P. POGGIANA, *Trattamento superficiale dei materiali lapidei: levigatura e lucidatura*, in *Marmomacchine Directory 1997-1998*.
- ◆ P. PRIMAVORI, *20 anni di filo diamantato*, in *Marmo Macchine 1998*, n. 141.
- ◆ M. PUCCIO, *Le ceneri di carbone*, Milano, ITEC, 1983.
- ◆ C. RAPISARDA SASSOON, *Rifiuti, da «ingombro» a risorsa*, in *Il sole 24 ore 22.1.1997*.
- ◆ REGIONE TOSCANA, *Piano per la individuazione delle zone idonee ad effettuare lo smaltimento dei liquami e dei fanghi residuati dalle lavorazioni industriali o dai processi di depurazione*.
- ◆ REGIONE TOSCANA – PROVINCIA DI MASSA CARRARA, *Settore lapideo: mercato del lavoro e fattori di competitività*, Massa, 1996.
- ◆ M. A. ROSA, *Tecnologie dei materiali da costruzione*, Torino, ELC, 1992.

- ◆ G. SANSONI, *Impatto ambientale dell'industria lapidea apuana*, Verona, 1991.
- ◆ G. SANTOPRETE, (a cura di), *Alcune industrie di rilevante interesse per la Regione Toscana*, Torino, Giappichelli, 1992.
- ◆ SARO S.P.A., *La rigenerazione delle pietre nell'esperienza della Saro SpA*, in *Economia Trentina* 1985, n. 4.
- ◆ E. SCHIELE – L. W. BERENS, *La calce*, Milano, Edizioni Tecniche ET, 1976.
- ◆ SITUAZIONE E PROSPETTIVE DELL'INDUSTRIA LAPIDEA, Cagliari, 1989, *Ipotesi di riutilizzo dei fanghi derivanti dalla lavorazione dei materiali lapidei*, 1992.
- ◆ STUDIO TECNICO AGRO-BIO-AMBIENTALE, *Censimento e controllo della componente biologica dell'ex-cava Brentino e sua rinaturalizzazione*, Pietrasanta, 1998.
- ◆ STUDIO TECNICO AGRO-BIO-AMBIENTALE, *Proposta di sperimentazione, che dimostri la validità della riutilizzazione dei residui di lavorazione del marmo (marmettola grigia e bianca) come materiale naturale da impiegare nel riempimento delle ex-cave di sabbia silicea dell'area palustre del Lago di Massaciuccoli*, Pietrasanta, 1998.
- ◆ *Testo aggiornato del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, recante: «Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggi»*, in *Gazzetta ufficiale della Repubblica Italiana* 28.11.1997.

- ◆ UFFICIO STUDI E RICERCHE INTERNAZIONALE MARMI E MACCHINE, *Stone statistics 1993-1997*, Internazionale Marmi e Macchine, 1998.