POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ecodesign

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

HUSKPLASTER.

APPROCCIO SISTEMICO APPLICATO ALLA PRODUZIONE DELLA MALTA DA INTONACO



Relatori:

Peruccio Pier Paolo (DAD) Fantilli Alessandro Pasquale (DISEG)

Candidata:

INDICE

1. INTRODUZIONE

1.2. ESPERIENZA POLE PROJECT: "I SEE CONCRETE"

2. I PRINCIPALI MATERIALI DA COSTRUZIONE: CEMENTO, CALCESTRUZZO E MALTE

2.1. CENNI STORICI

2.1.1. Considerazioni sul Ruolo Attuale del Cemento e dei suoi Derivati

2.2. IL CEMENTO

2.2.1. Componenti del Cemento

2.2.1.1. Componenti Principali

2.2.2. Classificazione dei Cementi

- 2.2.2.1. Altri Tipi di Cemento
- 2.2.2. Cementi Speciali

2.2.3. Produzione del Cemento

- 2.2.3.1. Estrazione Materie Prime
- 2.2.3.2. Frantumazione
- 2.2.3.3. Pre-omogeneizzazione e Omogeneizzazione
- 2.2.3.4. Cottura della Miscela e Produzione del Clinker Portland
- 2.2.3.5. Macinazione e Dosaggio Costituenti
- 2.2.3.6. Controllo di Qualità
- 2.2.3.7. Distribuzione

2.2.4. Impieghi del Cemento

- 2.2.4.1. Il Calcestruzzo
- 2.2.4.2. La Malta. Oggetto di Studio per la Tesi.

2.3. LA MALTA

2.3.1. Classificazione delle Malte

2.3.2. Componenti della Malta

- 2.3.2.1. Leganti
- 2.3.2.2. Aggregati
 - 2.3.2.2.1. Sabbia
- 2.3.2.3. Acqua
- 2.3.2.4. Additivi Eventuali

2.4. I NUMERI DELLA PRODUZIONE

2.4.1. Consumi ed Emissioni

3. RELAZIONE TRA FILIERE APPARENTEMENTE DISTANTI: MATERIALI DA COSTRUZIONE E AGRICOLTURA

- 3.1. RIFLESSIONE SUL DESIGN SISTEMICO APPLICATO E LA BLUE ECONOMY
- 3.2. CASI STUDIO: MAPPATURA INTERNAZIONALE
- 3.2.1. POLITECNICO DI TORINO, ITALIA. Dal Traforo del Frejus alle Risaie Piemontesi
- 3.2.2. ENEA, ITALIA. Bio-cemento da Lievito di Birra
- 3.2.3. ECOVATIVE Mushroom®, NEW YORK (USA). Materiali da Costruzione da Scarti di Coltivazioni Agricole e Funghicole
- 3.2.4. MYCOTECH, INDONESIA. Rooms from Mushrooms!
- 3.2.5. ECOCOCON, LITUANIA. La Paglia, da Scarto a Risorsa Edile
- 3.2.6. HEMP TECHNOLOGIES, NORTH CAROLINA (USA). Hempcrete, il Cemento da fibre di Canapa
- 3.2.7. NAMIK KEMAL UNIVERSITY, TURCHIA. Calcestruzzo Rinforzato con Bucce di Semi di Girasole
- 3.2.8. MALAYSIA PAHANG UNIVERSITY, MALESIA. Malta Prodotta con Scarti di Tronchi di Banani
- 3.2.9. TECHNOLOGICAL FEDERAL UNIVERSITY OF PARANA e FEDERAL UNIVERSITY OF PARANA, BRASILE. Attività Pozzolanica della Cenere di Foglie di Banani 3.2.10. FACULTY OF ENVIRONMENTAL STUDIES, UNIVERSITY OF UYO, NIGERIA. Malta con Cenere di Foglie di Bamboo
- 3.2.11. BABASAHEB NAIK COLLEGE OF ENGINEERING DI PUSAD, INDIA. Malta con Cenere di Bagassa

4. LA LOLLA DI RISO: DA OUTPUT A INPUT.

4.1. LA COLTIVAZIONE DEL RISO NEL VERCELLESE.

Simbolo d'Identità Territoriale del Piemonte

- 4.1.1. Cenni Storici
- 4.1.2. Intenzioni Progettuali

4.2. LA FILIERA DEL RISO

4.2.1. Produzione del Riso

- 4.2.1.1. Aratura
- 4.2.1.2. Concimazione
- 4.2.1.3. Erpicatura e Livellamento
- 4.2.1.4. Semina
- 4.2.1.5. Sommersione
- 4.2.1.6. Diserbo e Asciutta
- 4.2.1.7. Maturazione
- 4.2.1.8. Raccolto
- 4.2.1.9. Essiccazione
- 4.2.1.10. Stoccaggio
- 4.2.1.11. Lavorazione e Sottoprodotti

4.2. LA LOLLA DI RISO

- 4.2.1. Proprietà Fisiche
- 4.2.2. Proprietà Chimiche
- 4.3. PRODUZIONE INTERNAZIONALE ED EMISSIONI

5. PROCESSO SPERIMENTALE PER LA PRODUZIONE DI MALTA CON LOLLA DI RISO

- **5.1. ADOZIONE DI UN APPROCCIO SISTEMICO**
- 5.2. SCELTA DELL'OUTPUT INPUT: LA LOLLA DI RISO
- **5.3. SPERIMENTAZIONE IN LABORATORIO**
- 5.3.1. I Materiali

5.3.2. Analisi Granulometrica

- 5.3.2.1. Setacciatura della Lolla di Riso
- 5.3.2.2. Setacciatura della Sabbia e Composizione dei Provini

5.3.3. Calcolo della Densità Apparente

- 5.3.3.1. Densità Apparente della Lolla di Riso
- 5.3.3.2. Densità Apparente della Sabbia

5.3.4. Sostituzione della Sabbia nella Composizione della Malta

- 5.3.4.1. Provino I Frazione 0,5 mm. Sostituzione del 33% di Sabbia
- 5.3.4.2. Provino II Frazioni 0,5 mm + 1,0 mm. Sostituzione del 60% di Sabbia

5.3.5. Produzione dei Provini

- 5.3.5.1. Attrezzature Impiegate
- 5.3.5.2. Provino Standard
- 5.3.5.3. Provino 33%
- 5.3.5.4. Provino 60%
- 5.3.5.5. Disarmo e Maturazione

5.3.6. Rottura dei Provini

- 5.3.6.1. Prova di Resistenza a Flessione
- 5.3.6.2. Prova di Resistenza a Compressione.

5.3.7. Analisi sulla Prova di Resistenza a Flessione

5.4. CONSIDERAZIONI SULLA SPERIMENTAZIONE E I RISULTATI

- 5.4.1. Analisi Qualitativa
- 5.4.2. Analisi Quantitativa
- 5.4.3. Considerazioni Conclusive e Possibile Utilizzo delle Malte con Lolla di Riso

6. HUSKPLASTER. PROGETTO PER INTONACO A BASE DI LOLLA DI RISO

- 6.1. L'INTONACO
- 6.1.1. Qualità Prestazionali
- 6.1.2. Classificazione
 - 6.1.2.1. Intonaci a base di Cemento
- 6.2. POSA IN OPERA

- 6.2.1. Gli Strati
- 6.2.2. La Tecnica
 - 6.2.2.2 Applicazione degli Strati

6.3. PROGETTO PER INTONACO CEMENTIZIO STANDARD E HUSKPLASTER

- 6.3.1. Rilievo di un Edificio di Civile Abitazione
- 6.3.2. Impiego dell'Intonaco Cementizio Tradizionale
- 6.3.3. Impiego dell'Intonaco Huskplaster
- 6.3.4. Comparazione e Conclusioni

8. CONCLUSIONI

9. RINGRAZIAMENTI

10. BIBLIOGRAFIA E ARTICOLI

"[] In termini di ecologia, quando si pone sul banco degli imputati il cemento come distruttore dell'ambiente naturale, si fa [] una grande ingiustizia, perché il cemento ed il calcestruzzo strutturale sono dei mezzi che l'uomo ha successivamente perfezionato per ricavarne dei benefizi e migliorare le condizioni di vita. Quando altri uomini usano questi mezzi per scopi opposti, a quelli enunciati, essi, e non il cemento od il calcestruzzo, sono i colpevoli di questi abusi."
(Carlo Goria, 1976

¹C. GORIA, L. CUSSINO, V. BORASI, *Cemento. Storia Tecnologia Applicazioni,* Fabbri Editori, 1976, p. 12.

1. INTRODUZIONE

Negli anni '20 del XX secolo, il *Pensiero Sistemico* comparve in tre campi distinti: la biologia organica, la psicologia della Gestalt e l'ecologia. In tali ambiti, gli esperti si concentrarono sull'analisi dei sistemi viventi che vennero considerati "[...] insiemi integrati le cui caratteristiche non possono essere ridotte a quelle delle loro parti più piccole."²

Tra le peculiarità del pensiero sistemico emerge un approccio fortemente interdisciplinare che passa dalla percezione delle parti a quella del tutto: le caratteristiche essenziali di un sistema "vivente" derivano proprio dalle interazioni e relazioni che si instaurano tra le sue parti e non da queste ultime prese singolarmente, dunque risulta fondamentale individuare e studiare le relazioni che permettono al sistema di sussistere.

Nel momento in cui le interazioni si ripetono, creano dei pattern che, se analizzati, aiutano a comprendere l'organizzazione del sistema stesso.

Inoltre lo studio dei pattern svela un approccio qualitativo, non quantitativo, del pensiero sistemico, in quanto non avviene una misurazione nel senso tradizionale del termine ma una mappatura delle relazioni.

Il passaggio dall'analisi quantitativa alla qualitativa avviene non solo all'interno di un sistema a sé stante, bensì anche nelle relazioni che instaura quest'ultimo con sistemi circostanti ed è proprio in questa ottica che il pensiero sistemico può essere esteso a tutto ciò che concerne gli esseri umani e i loro prodotti, intesi quali attività che accompagnano l'esistenza e ne modificano l'andamento e l'evoluzione.

Sotto questo punto di vista, gli scienziati Luisi e Capra ritengono che "la visione sistemica della vita sia cruciale in rapporto ai problemi causati dalla multiforme crisi globale che viviamo"³. Tra i problemi ai quali viene fatto riferimento vi sono quelli dell'energia, dell'ambiente, del mutamento climatico e della povertà, che non possono essere compresi isolandoli l'uno dall'altro, perché essendo "problemi sistemici", sono interconnessi e interdipendenti.

Allo stato attuale, l'illusione di una crescita economica infinita, in un pianeta dalle risorse in esaurimento è la chiave del conflitto tra il pensiero lineare e il pianeta stesso, non lineare, il quale utilizza illimitati meccanismi di retroazione per equilibrarsi.

Dunque, la mentalità economica dell'usa e getta intacca in maniera irreversibile le risorse ambientali, causando l'aumento dei rifiuti e l'incremento dell'inquinamento atmosferico. È necessario, arrivati a tal punto, riconsiderare il sistema economico basato sulla crescita perenne, sostituendolo con un sistema sostenibile che adotti l'approccio sistemico a partire dalla produzione di beni e servizi.

La produzione di beni fisici è un argomento fondamentale, poiché, in questo caso specifico, la sfida è quella di convertire da lineare a sistemica la produzione di un materiale derivante dalla filiera del cemento, il quale risulta essere uno dei materiali più utilizzati e insieme più discussi della nostra epoca: la malta.

L'attivazione di una produzione sostenibile sarebbe possibile pensando alla stessa come a un sistema in cui le diverse componenti sono legate da relazioni che generano la tessitura di una rete interna. Quest'ultima diviene il motore della produzione stessa e può estendersi oltre il sistema di riferimento, per raggiungere sistemi esterni e instaurare con essi relazioni e scambi.

² F. CAPRA, Storia ed evoluzione del pensiero sistemico, da Riflessioni sistemiche, giugno 2015, p. 42.

³ F. CAPRA, Storia ed evoluzione del pensiero sistemico, da Riflessioni sistemiche, giugno 2015, p. 45.

Il flusso di risorse che viene a crearsi, sia nel sistema interno sia in quello esterno, è il fulcro dell'analisi da effettuare per ottenere risultati sostenibili ottimali. Occorre innescare un meccanismo sistemico, mappando e studiando gli input e gli output della filiera cementiera, nella fattispecie la produzione della malta e, una volta comprese le qualità, sostituire, laddove possibile, le materie prime (Input) con scarti di altre produzioni (Output), quindi di altri sistemi, indagando all'interno del territorio.

Procedendo con questa metodologia si verrebbe a delineare una produzione virtuosa, animata da flussi sostenibili, anche per un materiale poco ecologico, ma necessario.

Con ciò non si intende trovare una soluzione universale, quasi impossibile a causa delle molteplici varianti e rigide normative, tuttavia, partendo da un caso specifico si possono determinare le qualità di input e output e agire sul flusso per renderlo più ecocompatibile.

Per tanto, con questo progetto di tesi, si cerca di effettuare una ricerca approfondita sui materiali da costruzione e su quelli da considerarsi idonei per innescare scambi tra realtà industriali locali. In questo caso specifico, si esaminano la filiera del cemento, dalla quale proviene la malta e quella del riso, dalla quale scaturisce la lolla di riso, materiale di scarto ipotizzato idoneo per effettuare la sperimentazione materica seguendo un approccio sistemico.

L'indagine è stata portata avanti seguendo due aziende produttrici piemontesi, ossia la Buzzi Unicem per il cemento e la Castello per la lolla di riso.

1.2. ESPERIENZA POLE PROJECT: "I SEE CONCRETE"

L'idea di indagare il campo delle costruzioni per la Tesi di Laurea Magistrale è nata dopo aver preso parte al POLE Project, un'esperienza internazionale svoltasi da agosto a dicembre 2016. POLE (Project Oriented Learning Environment) è un progetto organizzato annualmente dall'università svizzera Fachhochschule Nordwestschweiz, che prevede ogni anno partnership con grandi aziende di diversi settori, e in cui gli studenti partecipanti, provenienti da diverse parti del mondo, sono posti a collaborare in gruppi multietnici e multidisciplinari, al fine di presentare un progetto conclusivo, seguendo il brief dato.

Il titolo stabilito per l'edizione in questione è "I See Concrete", gioco di parole in inglese che si riferisce sia alla concretezza, sia al calcestruzzo, e l'azienda partner di POLE per l'anno 2016 è stata la multinazionale Cemex, industria messicana, leader mondiale nella produzione di materiali da costruzione, il cui brief richiedeva un progetto che mirasse a migliorare la percezione che gli utenti hanno del cemento e del calcestruzzo.

Il Politecnico di Torino ha aderito a tale iniziativa, insieme ad altre sette università europee e americane, permettendo a me e ad altri tre studenti di partecipare al progetto, svoltosi in diverse fasi:

Step 1 - Torino. 24 Agosto 2016.

Durante la data del 24 agosto è stata effettuata una videoconferenza preliminare, ciascuno collegato dalla propria sede, nella quale si sono svolte le presentazioni degli studenti, dei docenti e dei delegati aziendali.

Step 2 - Guadalajara. 29 Agosto - 4 Settembre 2016.

In questa fase, svoltasi nella città messicana di Guadalajara, si sono svolte diverse attività, tra cui lezioni frontali su temi specifici, il team building, l'assegnazione del brief da parte dell'azienda e le

prime pianificazioni progettuali degli studenti con le diverse linee-guida per portare avanti il progetto a distanza.

L'attività di team building è stata la più significativa, in quanto noi studenti avremmo dovuto conoscere i compagni di gruppo, instaurare un rapporto di fiducia e comprendere le diverse idee provenienti da campi di studio differenti.

Il team in cui ho lavorato era composto, infatti, da studenti di ingegneria meccanica, design industriale e grafico, management e design sistemico.

Al termine della fase in Messico, ogni gruppo ha presentato ai docenti e alle figure di riferimento di Cemex il materiale prodotto nel breve periodo.

Step 3 - Avanzamento del Progetto a Distanza. 5 Settembre - 10 Dicembre 2016.

Nei mesi successivi all'esperienza congiunta in Messico, i diversi componenti hanno proseguito il progetto, ognuno dalla propria sede, organizzando videoconferenze a cadenza settimanale per confrontare il lavoro svolto e gettare le basi per le fasi successive.

Chiaramente, ad ogni componente è stato assegnato un ruolo nel team e un campo di ricerca specifico, per cui, essendo una studentessa di design sistemico, il mio contributo è stato incentrato su proposte e ricerche che mirassero al miglioramento della sostenibilità.

Durante questa fase sono anche state effettuate due revisioni, tramite grandi videoconferenze, alle quali hanno partecipato tutti i team, i docenti e le figure rappresentative di Cemex, le quali hanno valutato le linee-guida migliori da seguire e i concept più opportuni da portare avanti fino alla presentazione finale.

Alcuni dei concept portati avanti dal team in cui ho lavorato erano pensati per migliorare l'aspetto comunicativo dell'azienda, altri, invece sono stati più focalizzati sull'ambito di una produzione cementizia sostenibile.

Da quest'ultima idea, si sono sviluppati due metaprogetti, uno sull'impiego dell'approccio sistemico nella filiera dei materiali da costruzione, e un secondo, volto al miglioramento del benessere degli utenti tramite costruzioni modulari.

A causa del tempo scarseggiante, è stato deciso di mettere da parte il metaprogetto sul design sistemico applicato a Cemex, per sviluppare, invece, il secondo caso studio:

il progetto scelto dal team ha avuto come obiettivo quello di produrre un nuovo tipo di abitazione, attraverso l'utilizzo di elementi modulari in calcestruzzo, che dessero la possibilità di innalzare pareti autoportanti a bassissimo costo, con spazi ricavati nei moduli stessi, utili alla coltivazione di ortaggi.

Questo tipo di edificio è stato studiato soprattutto per le popolazioni del Sud del mondo, per le quali spesso è impossibile avere la garanzia di un'abitazione e di cibo. Grazie all'eliminazione del cantiere tradizionale, infatti, le spese sono dimezzate, in quanto occorre acquistare solo i blocchi modulari e dato il sistema di irrigazione verticale, è possibile coltivare un orto con la metà dell'acqua normalmente necessaria.

Step 4 - Brügg, Svizzera. 11 Dicembre - 14 Dicembre 2016.

L'ultima fase si è svolta nella sede svizzera di Cemex, a Brügg.

Dopo il periodo di lavoro a distanza, tutti i team si sono ricomposti ed è stato possibile ultimare le tavole progettuali, fare un modello in scala e preparare dei book che sintetizzassero il lavoro svolto durante i mesi.

Infine, i diversi team hanno presentato i progetti davanti ai colleghi, ai docenti e al personale di Cemex, concludendo così, un bellissimo percorso di crescita umana e professionale.

2. I PRINCIPALI MATERIALI DA COSTRUZIONE: CEMENTO, CALCESTRUZZO E MALTE

2.1. CENNI STORICI

Etimologia e Introduzione

Il termine *cemento* deriva dal latino *caementum*, più propriamente dall'aggettivo *caementitius* che, sia in Cicerone sia in Livio, è riportato per indicare frantumi di pietre, da *caedo*, ovvero tagliare in pezzi.

Anche Vitruvio utilizzava l'espressione saxum caementitium per rendere il significato di blocco prodotto con frantumi di pietra, legati con calce, in contrapposizione a saxum quadratum, che stava invece a significare il blocco tagliato dalla pietra, senza l'inclusione dei leganti.

In tutte le lingue volgari neolatine, in seguito, venne meno il dittongo "ae" e il termine passò a significare, invece, il legante che teneva uniti i materiali lapidei.

Grazie all'espansione dell'Impero Romano, il vocabolo si trasmise anche a lingue non romanze, come all'inglese e al tedesco, nelle quali tutt'oggi per indicare il cemento si utilizzano rispettivamente i termini cement e zement.

In questo paragrafo verrà affrontata brevemente la storia del cemento e, più in generale dei leganti, partendo dalla preistoria, per arrivare all'età moderna post-industriale.

Come specificato da Carlo Goria nel volume *Cemento. Storia Tecnologia Applicazioni,* "Nella storia dei materiali da costruzione si sogliono dividere questi in tre classi generali, in relazione al perfezionamento della loro tecnologia, e cioè: primitivi, tradizionali e moderni."⁴

Per quanto riguarda quelli primitivi, si tratta di materiali naturali utilizzabili nella loro costituzione naturale, apportando lievi modifiche formali, o piccole trasformazioni fisiche grazie alla scoperta del fuoco, e in tale categoria si individuano elementi quali il legname tagliato, le pelli animali, le pietre sagomate, e in seguito, metalli fusi e terracotta.

I materiali tradizionali comprendono, invece, quelli che sono stati utilizzati dall'uomo per un largo periodo di tempo e che, grazie anche all'avanzamento della tecnologia, hanno subito una lavorazione più considerevole, la quale ha portato a trasformarne non solo la forma ma anche la sostanza e, in questo senso, si hanno leghe metalliche più raffinate fuse o deformate plasticamente tramite il calore, pietre levigate, vetri, legname finemente lavorato, mattoni cotti, ecc.

Infine, con il termine "moderni", ci si riferisce a quei materiali nuovi o relativamente nuovi, i quali hanno ricevuto un trattamento molto avanzato, soprattutto grazie alle tecniche innovative impiegate a partire dalla rivoluzione industriale, e si hanno, ad esempio, legni rigenerati e laminati, materie plastiche e composite, acciai strutturali e calcestruzzo armato.

Tale classificazione indica anche un ordine cronologico secondo cui l'uomo ha iniziato a impiegare determinate materie prime nell'arco della sua evoluzione, tuttavia non è possibile dichiarare una distinzione netta dei materiali per periodi storici, in quanto molti di essi non sono stati abbandonati, bensì trasformati e migliorati nel tempo, attraverso il progresso tecnologico.

Questo è il caso dei materiali leganti, i quali fin dalla preistoria hanno avuto un ruolo notevole nella vita dell'uomo e nonostante i perfezionamenti, alcuni di essi continuano ad essere impiegati quasi ugualmente agli inizi, come nel caso della calce.

⁴ C. GORIA, L. CUSSINO, V. BORASI, Cemento. Storia Tecnologia Applicazioni, Fabbri Editori, 1976, p. 14.

I Leganti nell'Antichità

Le prime tracce di materiale legante si hanno a partire dal neolitico, ed era costituito da argilla, mischiata a intrecci di rami per realizzare le pareti delle capanne, nei villaggi.

Per quanto riguarda il paleolitico, non si hanno testimonianze di leganti: venivano sovrapposte grandi pietre naturali grezze nelle costruzioni megalitiche e dolmeniche, che rimanevano stabili grazie alle forze equilibrate e all'attrito delle superfici ruvide.

La Terracotta

Al neolitico, oltre ai primi usi dell'argilla, risale la scoperta della terracotta.

Tale scoperta avvenne in maniera presumibilmente casuale, infatti, gli uomini si accorsero che le pareti dei focolai scavati nell'argilla, una volta venuti a contatto con il fuoco, indurivano e non tornavano allo stato plastico, neppure se bagnati con acqua.

Inoltre, ancora a questo periodo preistorico risalgono le murature egizie in mattoni essiccati al sole, nei quali l'argilla fungeva da conglomerato.

Il Cemento e la Calce

Non tutte le civiltà preistoriche erano a conoscenza della calce, tuttavia tale materiale è stato il primo ad essere utilizzato, cronologicamente parlando, tra quelli che oggi vengono definiti leganti cementizi e si fa risalire alle prime età preistoriche.

Anche in questo caso, come per la terracotta, la calce venne scoperta casualmente: se il focolaio veniva scavato in un terreno calcareo, le pietre presenti, dopo essere state a contatto col fuoco si sgretolavano in una cenere che, se unita ad acqua, produceva un miscuglio plastico, il quale perdeva plasticità gradualmente, restituendo un prodotto solido.

In Egitto, durante il periodo dell'Antico Impero, il mattone crudo, costituito da limo del Nilo, era rimasto molto utilizzato sia per l'edilizia popolare, sia per la costruzione delle tombe dei Faraoni, per le quali, venivano prodotti mattoni di grandezza maggiore.

Il limo era costituito fondamentalmente da sabbia e argilla e, quando la proporzione di quest'ultima era bassa, venivano aggiunti dei filamenti di paglia.

Nelle epoche a seguire, fino all'avvento della conquista araba, l'uso del mattone è rimasto invariato per la costruzione delle abitazioni, mentre veniva usata la pietra per le tombe e i templi. Gli studiosi attribuiscono il misero utilizzo della calce e del mattone cotto alla scarsità di legname di essenza forte, necessario per la loro fabbricazione.

Per quanto riguarda i leganti in gesso nella preistoria, è difficile determinarne l'effettivo utilizzo, a causa della natura stessa del materiale, in quanto la resistenza meccanica tende a diminuire nel tempo e la solubilità in acqua tende ad aumentare. Pertanto nell'ipotesi che i leganti a base di gesso fossero utilizzati, non ci sarebbero prove sufficienti.

Si iniziano ad avere prove più certe a partire dalla protostoria, con diversi reperti egizi che ne confermerebbero il grande utilizzo, soprattutto in ambienti interni.

I leganti a base di argilla, calce e gesso sono detti aerei, in quanto induriscono solamente in aria. Per quanto riguarda i leganti che si solidificano anche in acqua, detti leganti idraulici, si attribuiscono ai Fenici, con testimonianze che risalgono al X secolo a.C. e che hanno dimostrato l'impiego nell'impasto di calce spenta e sabbia vulcanica, quest'ultima conosciuta oggi come pozzolana.

I leganti iniziarono anche ad essere utilizzati con altri materiali, venendo a formare dei conglomerati, ad esempio calce e pietre. Quest'ultima miscela era già in uso in Grecia intorno al 500 a.C., come si può constatare anche da alcune opere risalenti a quel periodo, come l'acquedotto di Argos, in marmo e calce.

A partire dal 300 a.C. si hanno le prime attestazioni di impiego di calce e pietra a Roma, grazie alla realizzazione dell'acquedotto Appio, e della via Appia, opere di Appio Claudio Cieco.

Un personaggio molto importante per la trasmissione delle conoscenze architettoniche e materiche dell'antica Roma è Marco Vitruvio Pollione, chiamato semplicemente Vitruvio da Plinio, con la sua opera *De Architectura*, composta da dieci volumi, ognuno dei quali tratta argomenti diversi che vanno dall'architettura, dall'astronomia allo studio delle macchine.

Negli scritti di Vitruvio sono presenti anche indicazioni minuziose sulla tipologia di inerte migliore da utilizzare nella produzione di agglomerati, come i tipi di arena e sabbia e, alcune delle avvertenze sono tutt'oggi utili e fungono da base per l'evoluzione del materiale.

Viene anche menzionato il gesso quale materia di base per i leganti e il suo caratteristico aumento del volume dovuto alla grande assorbenza di acqua durante l'indurimento.

Tornando ai leganti idraulici, come già detto, le prime testimonianze si attribuiscono ai Fenici che facevano uso di sabbia vulcanica per la produzione di leganti.

Al tempo di Vitruvio, a Roma venivano impiegate sabbie vulcaniche, le quali provenivano dalle strette vicinanze di Pozzuoli (da qui il moderno termine pozzolane), per ottenere, miscelate alla calce, un legante idraulico.

Ancora da Vitruvio, abbiamo dettagliate informazioni su come utilizzare questi leganti nella produzione gagliardo calcestruzzo, costituito da calce spenta, tufo vulcanico in pezzi e pozzolana. Egli, infatti suggerisce persino le giuste proporzioni da mantenere tra gli elementi sia per la miscela del calcestruzzo con aggiunta di cementi (intesi allora come frammenti di marmi, pietre, tufo e mattoni), sia per le malte con funzione legante nelle murature e per gli intonaci.

Inoltre, per un risultato ottimale, viene specificato essere importante la costipazione o battitura sia dei calcestruzzi, sia delle malte da intonaco, attraverso mazze di ferro.

Le tecniche per produrre questi materiali da costruzione e la loro messa in opera sono state diffuse dai Romani in tutto l'Impero, tant'è che ci sono rilevanti testimonianze di lavori qualitativamente uguali a quelli di Roma in Spagna, Germania, Gran Bretagna e Francia. Quest'ultima vanta numerosi esempi soprattutto a sud, uno tra questi, Pont du Gard, un ponte acquedotto conservato in condizioni ottime, nelle vicinanze di Nimes.

Purtroppo però, insieme al declino dell'Impero e in seguito alla sua caduta, si verificò anche un lento ma grave declino per l'utilizzo di questi materiali, che andò avanti per tutto il Medio Evo, soprattutto nelle zone più remote da Roma. Le cause teorizzate sono la bassa qualità delle sabbie utilizzate, la cottura sempre meno controllata e cattivi procedimenti di costipazione.

Solo a partire dal XIV secolo, si rivedono i primi miglioramenti nella produzione della calce, probabilmente anche grazie alla lettura delle opere di Vitruvio.

In Europa, ricominciò uno sviluppo della tecnologia dei leganti e dei calcestruzzi dopo che nel XII secolo venne scoperto il *trass*, in Germania.

Si tratta di un tufo con potenzialità pozzolaniche che, una volta monopolizzato dagli Olandesi, è stato commercializzato e molto utilizzato in quel periodo.

Anche in Francia vennero trovati materiali pozzolanici, come la *gaize* delle Ardenne e alla fine del Settecento, G. C. Chaptal, professore di chimica presso Montpellier, iniziò delle sperimentazioni sulle argille di Linguadoca per rilevare attività pozzolanica, in modo da sostituire le materie prime provenienti dall'Italia.

Qualche tempo prima di Chaptal, nel 1729, Belidor pubblica «La Science des l'Ingenieurs», in cui non soltanto riporta avvertenze di Vitruvio, ma aggiunge l'importanza di effettuare una buona macinazione dei frammenti di tegole, pietre, ecc., di essiccare e setacciare tale composto e solo allora mescolarlo con calce spenta.

Nonostante le ricerche e le sperimentazioni avvenute nel Settecento, le opere risultavano ancora di qualità inferiore a quelle dell'Impero Romano e ci sarebbe voluto molto tempo, prima di ottenere costruzioni di ottima qualità.

Tuttavia la ricerca di quegli anni era continua e nel 1755, Joseph Black, professore dell'università di Glasgow, riuscì a isolare e a identificare l'anidride carbonica, che egli chiamò *aria fissa e t*ale scoperta risulta essere importante per l'evoluzione dei cementi moderni. Nella sua opera, Black descrive il modo in cui durante la cottura del calcare (carbonato di calcio) viene eliminata l'"aria fissa", con un diminuimento di peso del 50%, e la calce ottenuta, spenta con acqua, solo successivamente riprenderà la sostanza iniziale, con l'assorbimento dell'anidride carbonica dall'atmosfera.

Gli studi di Black sull'anidride carbonica rimossa durante la calcinazione, riscuotono molto interesse all'epoca e molti sperimentatori li considereranno successivamente, come Bryan Higgins. Quest'ultimo, in seguito, nel 1870 pubblicò delle ricerche che confermavano gli esperimenti di Black sul calcare, e inoltre, Higgins si occupò anche delle malte, dimostrando che una granulometria eterogenea degli inerti, ne avrebbe incrementato la resistenza meccanica e propose di distinguere i grani in tre categorie in base alla grandezza.

Ancora, nel 1750 Jhon Smeaton, pioniere dell'ingegneria civile inglese, scoprì che la calce, per possedere qualità idrauliche, doveva essere ottenuta dalla cottura di calcari non puri ma marnosi, contenenti cioè una considerevole quantità di argilla. Fu, infatti, proprio Smeaton ad accorgersi per primo delle proprietà idrauliche di alcune calci precedentemente già adoperate e nel 1791 pubblicò le sue ricerche a riguardo.

Nel 1796 a James Parker, produttore inglese di laterizi, è stato concesso il brevetto per un cemento inizialmente chiamato cemento di Parker e successivamente cemento romano, nome derivante dal colore rossiccio, che richiamava quello di Roma. Questo nuovo cemento era costituito da polveri provenienti da pietre e materiali argillosi, detti noduli di argilla che una volta mescolati con acqua formano una malta dalle alte prestazioni meccaniche.

Come scrive Carlo Goria, il *cemento romano* è considerato come "[...] materiale di transizione tra due epoche [...]"⁵, in quanto la sua scoperta ha permesso negli anni successivi, il miglioramento della tecnica di produzione del cemento, anche per quanto riguarda la produzione vera e propria. Tuttavia, solo nel 1818 l'ingegnere francese L. G. Vicat formulò una teoria più esatta che spiegasse in maniera attendibile l'idraulicità della calce contenente argilla. Inoltre, fondamentale nel suo lavoro, è stata la distinzione tra "naturale" ed "artificiale" riferita tanto alle calci idrauliche quanto ai cementi: per naturale si intende il legante idraulico ottenuto per cottura di un calcare argilloso, che contiene già originariamente argilla, mentre è artificiale quello ottenuto per cottura di una miscela artificiale di calcare e argilla.

Degli stessi anni, è una scoperta determinante per il mondo del cemento moderno e contemporaneo. Nel 1824, Joseph Aspdin, fornaciaio di York, brevettò un materiale che fu da lui stesso chiamato

⁵ C. GORIA, L. CUSSINO, V. BORASI, Cemento. Storia Tecnologia Applicazioni, Fabbri Editori, 1976, p. 45.

"cemento Portland", "[...] dato che una volta indurito aveva l'aspetto lapideo ed il colore grigio uguali ad una pietra da costruzione, allora molto usata in Inghilterra, ricavata dall'isola o penisola di Portland [...]"⁶, a sud dell'Inghilterra. Dai procedimenti illustrati sul brevetto di Aspdin, trapela che l'unico miglioramento del processo, effettivamente dichiarato, è la finissima macinazione del materiale cotto, ma per quanto riguarda il resto della produzione, ci sono degli aspetti non chiari che hanno provocato dei dubbi nella concorrenza del tempo, la quale ha ipotizzato che la temperatura di cottura fosse molto più alta di quanto riportato sul brevetto e credeva che ci fossero delle aggiunte di sali particolari, come ad esempio il solfato di rame, poiché presenti nel magazzino della fabbrica, insieme al calcare e agli altri materiali per la produzione del cemento.

A causa delle mancanze nel brevetto, uno studio scientifico sistematico del cemento Portland, delle proporzioni materiche e del suo processo produttivo si ebbe solo a partire dalla fine dell'Ottocento. Infatti, è stato Jsaac Charles Johnson che, dalla metà del secolo, dopo un tentativo non riuscito di spionaggio industriale nei confronti di Aspdin, con un'intensa sperimentazione, studiò i rapporti calcare/argilla e la temperatura di cottura per conseguire l'adeguata composizione delle materie prime e per ottenere le migliori caratteristiche meccaniche.

I risultati delle ricerche di Johnson vennero pubblicati nel 1880 e rappresentano la vera base dalla quale si è sviluppata la moderna tecnologia di fabbricazione dei cementi tipo Portland. Tuttavia, nonostante i suoi studi ne fanno l'inventore effettivo del materiale, non è stato possibile rivendicarne la paternità del brevetto, in quanto già assegnata ad Aspdin.

Ad ogni modo, Johnson è stato riconosciuto come inventore del *clinker* di cemento Portland e la sua tecnologia dalla Gran Bretagna si diffuse al resto del mondo e, al crescere della produzione e dell'utilizzo di cemento Portland, si determinò un notevole decadimento delle calci idrauliche, quindi del *cemento di Parker*, tant'è che già agli inizi del 1900 il cemento Portland era utilizzato nella maggior parte delle produzioni cementizie.

Da allora la diffusione del legante avanzò rapidamente, di pari passo con gli studi e le sperimentazioni per comprendere e migliorare le reazioni chimiche alla base del fenomeno di idratazione della polvere di cemento.

In Italia, e soprattutto in Piemonte e Lombardia, lo sviluppo dei leganti idraulici è riconducibile alla metà del XIX secolo.

Il territorio di Casale Monferrato in quel periodo, è stato il primo ad essere influenzato dalle attività sperimentali che stavano avvenendo in Francia, grazie anche al lavoro di Vicat. Inoltre, vi sono documenti della prima metà dell'Ottocento che confermano la presenza, in quella zona, di calci aeree contenenti piccole quantità di argilla e che gli ingegneri francesi la utilizzavano per opere locali o in Francia. Anche diverse opere viarie degli anni '40 e '50 sono state eseguite con i materiali cementizi del luogo.

Anche nel Bergamasco e in altre zone limitrofe vi era una produzione cementizia concorrenziale a quella di Casale, che, visto il crescente numero della concorrenza decise di ampliare la propria produzione diventando nel 1870 la Società Anonima di Casale Monferrato per la cottura di calce idraulica e nel 1973 Società Anonima Calci e Cementi.

Circa venti anni più tardi, la Società di Casale era produttrice di tre diverse qualità di cemento Portland a lenta presa e del cemento a pronta presa Grenoble (oggi agglomerante), oltre che di calce idraulica in zolle e in polvere.

Nel 1917 è avvenuta la fusione delle industrie del Casalese e del Bergamasco in una sola Società che produceva, insieme a cementi Portland naturali e artificiali, una serie di cementi *speciali* e di miscela.

⁶ C. GORIA, L. CUSSINO, V. BORASI, Cemento. Storia Tecnologia Applicazioni, Fabbri Editori, 1976, p. 52.

Tuttavia, se inizialmente risultava più conveniente produrre cemento Portland naturale, grazie alla presenza delle materie prime in superficie, una volta finiti si dovette iniziare a scavare pozzi e gallerie, operazione talmente dispendiosa che risultò essere proibitiva. È per questo che in un secondo momento la preferenza è ricaduta sulla produzione del Portland artificiale, ottenuto da calcare puro e argilla, scavabili a cielo aperto. Un ulteriore, ma importante motivo del passaggio dal cemento naturale a quello artificiale, è di natura tecnica: grazie alla possibilità di variare la composizione delle miscele si riesce ad ottenere un clinker con caratteristiche specifiche per i diversi bisogni d'utilizzo.

Da qui si ha la cosiddetta specializzazione dei cementi, i quali, in base alla composizione variabile possono adempiere ai più diversi impieghi, diventando un materiale ancora più flessibile.⁷

Oggigiorno, i materiali cementizi sono i più utilizzati nella realizzazione di edifici pubblici e privati, nella progettazione di infrastrutture, ecc. e vi sono industrie del settore attive in tutto il mondo. L'enorme impiego di tali materiali, sempre più flessibili e specifici ha portato tanti benefici per l'uomo, quante problematiche legate alle quantità di CO₂ emesse e al deturpamento territoriale causato dalle cave, diventando così, materiali controversi.

Per questi motivi sono continuamente in atto diverse ricerche e sperimentazioni a livello globale per migliorare la sostenibilità del cemento e dei suoi derivati, nella speranza di renderli meno impattanti, dal momento che spesso si rivelano materiali da costruzione difficilmente sostituibili, a causa delle ineguagliabili performance meccaniche.

⁷ C. GORIA, L. CUSSINO, V. BORASI, Cemento. Storia Tecnologia Applicazioni, Fabbri Editori, 1976.

2.1.1. Considerazioni sul Ruolo Attuale del Cemento e dei suoi Derivati

Come è stato appena esposto, il cemento ha giocato un ruolo fondamentale nel panorama dei materiali da costruzione, apportando considerevoli miglioramenti tecnologici nell'arco dei secoli e, tutt'oggi, continua ad essere uno tra i materiali maggiormente utilizzati, insieme ai suoi derivati, tra cui la grande varietà di calcestruzzi e le malte.

Tuttavia, non è semplice allontanare la diffidenza che, particolarmente nell'epoca attuale, attornia tale materiale, percependolo "freddo", "senz'anima" e poco sostenibile.

Questa percezione, oltre a non essere basata su dati del tutto reali, necessita di essere superata per poter comprendere appieno le potenzialità dei materiali a base di cemento e, soprattutto, per valorizzarle e sfruttarle anche a favore della sostenibilità ambientale.

Alcune delle caratteristiche di tali materiali, infatti, si rivelano essere essenziali per mitigare l'impatto ambientale dei prodotti finiti su diversi piani, dall'efficienza energetica, alla durevolezza, alle funzioni protettive e di limitazione dei cambiamenti climatici.

È un dato di fatto che l'impronta di CO₂ causata dalla produzione del cemento sia una delle più abbondanti tra le industrie, tuttavia, come appena descritto, se adoperato in maniera consapevole, questo materiale, a differenza di altri, è in grado di fornire fondamentali prestazioni delle opere edili e civili, in risposta ai bisogni umani.

Ad esempio, l'impiego del calcestruzzo per la realizzazione di edifici e strutture garantisce straordinari standard di protezione e sicurezza, non solo a livello strutturale. Infatti, in caso di incendio, non vengono prodotti fumi, o altre sostanze tossiche, non fonde al contatto con il calore e contiene le fiamme, riducendo il rischio di propagazione e conseguente inquinamento ambientale. Anche per quanto riguarda le opere infrastrutturali, le pavimentazioni stradali resistono a condizioni di sbalzi di temperatura e pressione che si vengono a creare.

Il cemento, dunque possiede molte qualità indispensabili e, oltre ad essere meccanicamente resistente, ignifugo e un buon isolante acustico, permette il miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici tramite l'accumulo termico, vale a dire che attraverso un minor consumo di energia (sia per riscaldare che per raffreddare gli ambienti), contribuisce a ridurre globalmente la quantità di emissione di CO_2^8 .

Questi sono solo alcuni degli esempi che rendono il cemento e i suoi derivati delle risorse molto importanti per il mondo delle costruzioni.

Per renderle più sostenibile bisognerebbe agire sulla produzione stessa, in modo da trovare nuove soluzioni per la riduzione delle emissioni di CO₂, e del massivo impiego di materie prime non rinnovabili.

Alla luce di quanto riportato, un approccio sistemico applicato all'intera filiera cementizia o a parte di essa risulterebbe un appropriato punto di partenza per il miglioramento della questione ambientale.

⁸ http://www.aitec-ambiente.org/it/Applicazioniperlambiente/tabid/118/Default.aspx

2.2. IL CEMENTO

Per poter agire con un approccio sistemico è necessario portare avanti una speculazione sulla natura del cemento, al fine di comprenderne adeguatamente le qualità, il comportamento e gli utilizzi.

La descrizione del cemento è data dalla normativa UNI EN 197-1:2011, nella quale viene definito "un materiale inorganico finemente macinato che, mescolato con acqua, forma una pasta che rapprende e indurisce a seguito di reazioni e processi di idratazione e che una volta indurito mantiene la sua resistenza e stabilità anche sott'acqua".

Il cemento fa parte dei *leganti idraulici* e ciò significa che, una volta ottenuto l'impasto, il processo di indurimento dell'agglomerato avviene non solo all'aria, come accade per i *leganti aerei*, ma anche a contatto con l'acqua.

Essendo un materiale che, una volta lavorato, raggiunge elevati standard di resistenza meccanica, è il legante maggiormente utilizzato per la produzione di calcestruzzi e malte, come si vedrà più avanti.

Altri leganti utilizzati nel confezionamento di materiali da costruzione sono il gesso, l'argilla, la calce aerea e la calce idraulica.

Mentre i primi tre fanno parte dei leganti aerei, quindi che ottengono le proprietà meccaniche tramite la solidificazione all'aria, la calce idraulica è un legante idraulico, di conseguenza si comporta in maniera affine al cemento durante la fase di indurimento che quindi può avvenire sia in aria che in acqua.

I leganti idraulici sono anche quelli utilizzati nel caso di manufatti destinati al contatto con acqua e umidità.

2.2.1. Componenti del Cemento

Nonostante la polvere di cemento appaia omogenea, si tratta in realtà di un composto artificiale contenente numerosi elementi, i quali, in base alla propria natura, determinano caratteristiche particolari delle miscele cementizie, dando luogo ai cosiddetti cementi di miscela, distinti in tipi. Nella composizione di quest'ultimi, possono, infatti, essere aggiunti materiali perlopiù inorganici naturali o artificiali, i quali contribuiscono alla resa del prodotto finito, influenzandone diversi aspetti, quali la resistenza, la durabilità, ecc., in base alla destinazione d'uso.

Ad ogni modo, la base rimane invariata: ogni tipo di cemento è ottenuto attraverso la macinazione di clinker di Portland insieme a loppa d'altoforno (che può raggiungere l'85% nei cementi d'altoforno) e/o materiali pozzolani (massimo 35% dell'impasto complessivo).

2.2.1.1. Componenti Principali

Clinker di cemento Portland.

Uno degli elementi più importanti, alla base dei cementi è il clinker di cemento Portland. Si tratta di un composto di rocce silico-calcaree ottenuto tramite cottura a elevate temperature, che portano alla

⁹ L. BERTOLINI, P. PEDEFERRI*, Tecnologia dei materiali. Leganti e calcestruzzo,* Città Studi Edizioni, Torino, 2004, p.21.

formazione di quattro elementi principali: *alite* (silicato tricalcico), *belite* (silicato bicalcico), *celite* (alluminato tricalcico) e allumino ferrico tetracalcico.

Alite e Belite costituiscono il 75% - 85% dell'intera massa di clinker ed è da tali elementi che dipendono le caratteristiche di resistenza meccanica nel prodotto finito. I secondi composti mineralogici contribuiscono ai fenomeni relativi alla presa.

Materiali pozzolanici.

I materiali pozzolanici sono fondamentalmente sostanze silicee, in cui la silice non risulta in forma cristallina ma amorfa. Inoltre, vi è un'esigua quantità di calce e potrebbe essere presente allumina. Se miscelati alla calce sviluppano proprietà leganti, altrimenti assenti, dando forma a materiali insolubili.

Si dice reazione pozzolanica la reazione che avviene tra la silice reattiva presente nei materiali pozzolanici, la calce e l'acqua.

La quantità di calce necessaria per reagire con i pozzolanici, nei cementi in cui vengono aggiunti, risulta ottenuta dall'idratazione del cemento Portland, infatti occorre valutare le quantità di materia pozzolanica da aggiungere, in base alla quantità di calce prodotta dall'idratazione. Nel momento in cui si eccede, tuttavia, non vi sono reazioni chimiche, quindi i materiali pozzolanici si comportano alla stessa maniera degli inerti.

Si può distinguere tra materiali pozzolanici naturali, quali le pozzolane, e artificiali, come le ceneri volanti e il fumo di silice (microsilice).

Pozzolana.

La pozzolana è un materiale derivato dalla sedimentazione di sostanze eruttate da vulcani, dunque di origine piroclastica.

Alcuni esempi di pozzolane sono quelle flegree, i tufi napoletani e il trass renano, i quali presentano attività pozzolanica derivante dalla presenza di silice allo stato vetroso nella loro composizione.

Ceneri volanti.

Si tratta di un sottoprodotto derivante dalla combustione di carbone nelle centrali termoelettriche e può essere silicea o calcica. Sono polveri finissime che vengono separate per precipitazione elettrostatica o con filtri meccanici dai fumi dei gas provenienti da forni a polvere di carbone (ca. 150 kg di cenere per ogni tonnellata di carbone)¹⁰.

La loro struttura è vetrosa, in più quelle che hanno componenti silicee presentano attività pozzolanica, mentre quelle con elementi calcici possono anche conferire potenzialità idrauliche.

Scisto calcinato.

Per ottenere questo materiale, composto prevalentemente da silicato bicalcico, ossido di silicio reattivo e alluminato monocalcico, bisogna che delle rocce vengano cotte a 800°C.

Loppa granulata d'altoforno.

La loppa granulata d'altoforno si ricava dallo shock termico causato dal repentino raffreddamento di una scoria fusa, derivante dalla fusione di minerali di ferro in altoforno.

La composizione è costituita per almeno due terzi da massa da loppa vetrosa, la quale al momento dell'attività, presenta proprietà idrauliche.

Calcare.

¹⁰ L. Bertolini, P. Pedeferri, *Tecnologia dei materiali. Leganti e calcestruzzo,* Città Studi Edizioni, Torino, 2004.

Il principale elemento costituente del calcare è il carbonato di calcio (CaCO₃) ed è ricavato da rocce di origine sedimentaria. Tale materiale viene aggiunto per il miglioramento di alcune proprietà chimico-fisiche del cemento: ne accelera l'idratazione e l'indurimento iniziale e ne riduce il ritiro.

Solfato di calcio (gesso).

Nella composizione dei cementi potrebbe essere impiegato il solfato di calcio, il quale si presenta in forma di gesso, di semiidrato, o anidro oppure un insieme di questi.

Alcune caratteristiche del cemento possono essere influenzate dall'aggiunta di tale materiale, come ad esempio il ritiro, la resistenza meccanica, la durabilità, ecc.

Inoltre, è fondamentale il suo impiego per la regolazione della presa, in quanto senza di esso l'alluminato tricalcico reagirebbe in maniera troppo repentina con l'acqua, provocando la presa troppo rapida del cemento.

Ad ogni modo, il quantitativo di solfati è fortemente monitorato dalle normative, in quanto, se il dosaggio dovesse risultare eccessivo, si rischierebbe di innescare i fenomeni di fessurazione ed espansione della miscela.

2.2.2. Classificazione dei Cementi

Fino al 1993 in Italia era in vigore il Decreto Ministeriale 3 giugno 1968, che disponeva le norme sui requisiti e sulle modalità di prova dei cementi.

In seguito all'avvento delle norme comunitarie nell'Unione Europea, in Italia è entrata in vigore la UNI EN 197-1, titolata "Cemento. Composizioni. Specificazoni. Criteri di conformità. Cementi comuni" che classifica tutte le tipologie di cemento realizzate fino ad allora nei Paesi membri. Dalla UNI EN 197-1 sono previsti 5 tipi di cemento, 27 sottotipi e 6 classi di resistenza¹¹.

I cinque tipi di cemento, previsti dalla normativa, sono definiti in base alla propria composizione materica dell'impasto e, di conseguenza, in base alla resistenza, come già accennato precedentemente, quando si è parlato dei cementi di miscela.

Di seguito sono descritti i principali tipi di cemento e alcuni ambiti d'utilizzo, in riferimento alla normativa vigente¹²:

CEM TIPO I - Cemento Portland;

CEM TIPO II - Cemento Portland composito;

CEM TIPO III - Cemento d'altoforno;

CEM TIPO IV - Cemento pozzolanico;

CEM TIPO V - Cemento composito.

Cementi Tipo I (CEM I).

"Cementi Portland". Composti per il 95% da clinker e da 0 a 5% da filler o altri materiali. Vengono utilizzati nella prefabbricazione di calcestruzzi armati semplici e precompressi, nella produzione di malte.

Cementi Tipo II (CEM II).

"Cementi Portland Compositi". Percentuale variabile dal 65 al 94% di clinker. Costituenti principali sono le ceneri volanti, la silica fume, scisti calcinati, le pozzolane, le ceneri volanti, le loppe

12 http://www.aitecweb.com/Cemento/Cos%C3%A8ilcemento/Classificazionedeicementi.aspx

¹¹ http://www.wup-cementi.it/innovazione/la-norma-uni-en-197-1/

d'altoforno e calcare. Le proprietà sono affini a quelle del Cemento tipo I e sono idonei ai più comuni impieghi nella realizzazione di calcestruzzi armati normali e precompressi, malte ed elementi prefabbricati.

Cementi Tipo III (CEM III).

"Cementi d'altoforno". Fino al 64% di clinker e loppa granulata basica d'alto forno.

Il tipo III si divide a sua volta in tre sottotipi con contenuti di loppa variabile dal 36% al 95%. Sono cementi ottimi per la realizzazione di opere in ambienti chimicamente aggressivi.

Cementi tipo IV (CEM IV).

"Cementi pozzolanici". Costituiti da clinker presente in percentuali tra il 45 e 89%, e materiale pozzolanico naturale o artificiale variabile dal 11% al 55%; in base alla percentuale di materia pozzolanica, ci sono due sottotipi. Elevata resistenza agli attacchi chimici.

Cementi Tipo V (CEM V).

"Cementi Compositi". Costituiti da clinker, loppa d'altoforno e pozzolana e sono adatti per le miscele di calcestruzzi esposti ad ambienti mediamente aggressivi, come ad esempio acque di mare o acide.

2.2.2.1. Altri Tipi di Cemento

Cemento alluminoso.

Il cemento alluminoso è un legante idraulico prodotto attraverso la macinazione di clinker composto da alluminati idraulici di calcio. I materiali che compongono principalmente questo clinker sono il calcare e la bauxite.

Questo tipo di cemento presenta un indurimento molto rapido, anche a temperature basse, e una forte resistenza ai solfati.

Leganti idraulici microfini.

Si tratta di cementi, o leganti idraulici, contraddistinti da una finezza molto elevata, pertanto idonei nell'applicazione di miscele idrauliche per iniezioni, che possono essere inserite in sistemi porosi o fessurati.

Dunque, i leganti microfini vengono impiegati nei lavori di iniezione a pressione o a gravità, per scopi riparatori su strutture in muratura o in calcestruzzo, elementi architettonici e intonaci.

2.2.2. Cementi Speciali

Cementi resistenti ai solfati.

Sono dei cementi studiati per salvaguardare il calcestruzzo da danni provocati dai solfati sciolti nelle acque che circolano in superficie o nel sottosuolo.

Sono stati messi a punto particolari cementi Portland composti da cemento ferrico, e ancora cementi pozzolanici e d'altoforno.

Cementi resistenti al dilavamento della calce.

Per questa tipologia di cementi vi è una categorizzazione speciale in base a specifiche classi di resistenza e ne fanno parte quelli ostacolano la solubilizzazione provocata dalle acque dilavanti sulla calce della pasta cementizia.

Cemento Portland bianco.

Questo cemento deve la sua particolarità proprio alla colorazione bianca.

Grazie a tale caratteristica viene utilizzato per strutture in calcestruzzo a faccia a vista, per le quali sono richieste specifiche qualità estetiche. Per migliorarne la brillantezza viene aggiunto marmo macinato nell'impasto e, ancora, per quanto riguarda le proprietà tecniche, sono analoghe a quelle del cemento Portland.

2.2.3. Produzione del Cemento

Per la produzione del cemento vengono impiegate enormi quantità di risorse, energia e grandi impianti con diversi settori specifici per la lavorazione dei materiali.

Il processo, negli anni, è stato più volte rielaborato per massimizzare i risultati in termini di efficienza produttiva e risparmio economico ed energetico.

Benché si tratti di una filiera estesa, si possono riassumere gli stadi principali, imprescindibili per la produzione dei cementi:

- miscelazione e frantumazione delle materie prime;
- cottura ad altissime temperature, fino a 1450°C, per raggiungere la fusione parziale, con il 25% di fase liquida;
- raffreddamento del clinker (materiale cotto);
- aggiunta del gesso in piccola quantità al clinker;
- frantumazione. 13

Tali fasi sono il cuore della produzione, in cui i materiali, uniti insieme, danno il cemento. Tuttavia occorre entrare più nello specifico e partire dall'estrazione dei materiali, per poi arrivare alla distribuzione.

2.2.3.1. Estrazione Materie Prime

Le materie prime per la produzione del cemento, in questo caso Portland, sono composti di calcare e argilla, maturali nel caso delle marne e artificiali se mescolati dopo le singole estrazioni. Tali miscele nel corso della cottura formano gli ossidi SiO₂, CaO, Al₂O₃ e Fe₂O₃, costituenti di alite, belite, celite e fase ferrosa (allumino ferrico tetracalcico).

Per far sì che gli ossidi vengano regolati al meglio, si possono avere aggiunte di ossidi di ferro, bauxite e materiali silicei.

Infine, il gesso, aggiunto quando il composto è stato già cotto.

La quantità complessiva delle materie prime, per ottenere una tonnellata di cemento, si aggira intorno a 1,5 t.

Si tratta di materiali non rinnovabili, ottenibili tramite estrazione, generalmente da cave a cielo aperto: i metodi più utilizzati per l'estrazione sono la tecnica detta "a gradoni", per mezzo della quale i materiali vengono scavati a più stadi, tenendo conto della morfologia paesaggistica e, nella peggiore delle possibilità, l'esplosione, certamente invasiva e problematica per l'elevato impatto ambientale.

¹³ L. BERTOLINI, P. PEDEFERRI, *Tecnologia dei materiali. Leganti e calcestruzzo,* Città Studi Edizioni, Torino, 2004.

2.2.3.2. Frantumazione

Una volta che i materiali sono estratti, necessitano di essere frantumati per raggiungere una consistenza più omogenea. Il processo può essere effettuato direttamente in cava o dopo il trasporto in cementeria con l'ausilio delle macine; le dimensioni ottimali da raggiungere sono di 100 – 200 mm. Il gesso è escluso da tale fase.

2.2.3.3. Pre-omogeneizzazione e Omogeneizzazione

Una volta conclusa la fase di frantumazione, il composto viene lavorato in maniera tale da ottenere una farina cruda, caratterizzata da una conformazione costante, per poi essere cotta.

Di solito, per ottenere una miscela perfetta il materiale deve essere dosato, essiccato e poi passare alla pre-omogeneizzazione, eseguita in impianti che ottimizzano l'omogeneità in fase preliminare. L'omogeneizzazione vera e propria, avviene in sili specifici, nei quali il materiale è miscelato meccanicamente o attraverso un'agitazione pneumatica.

A questo punto l'omogeneizzazione è completata e la farina, pronta per la cottura, viene frequentemente prelevata in piccoli campioni per eseguire le analisi per quanto riguarda le qualità chimiche e di finezza.

2.2.3.4. Cottura della Miscela e Produzione del Clinker Portland

L'importanza della fase di cottura è legata a diversi motivi: in questo stadio avviene l'effettiva produzione del clinker di Portland, alla base dei cementi; in più, in questo passaggio fondamentale si verificano tutti i processi chimici che determineranno il comportamento idraulico del cemento.

In questa fase, la miscela, precedentemente omogeneizzata, è caricata nella parte superiore di un forno cilindrico rotante, dal diametro di 3 – 6 m e oltre 100 m di lunghezza con una pendenza del 5% per far scorrere il materiale durante la rotazione.

La temperatura arriva a 1450°C nella parte terminale del forno, dove è posizionato un bruciatore alimentato a metano e ad aria preriscaldata dal calore proveniente dal materiale uscente.

Durante il passaggio della miscela nel forno, e con il graduale aumento di temperatura, si verificano le trasformazioni chimiche e fisiche:

- 100° C, l'acqua residua viene eliminata;
- 500°C, l'argilla espelle l'acqua di cristallizzazione;
- 600°C, decarbonatazione del calcare che si scinde in calce e anidride carbonica (CO₂);
- 900 1200°C avvengono le prime reazioni chimiche del materiale disidratato e si forma la belite (silicato bicalcico, $2CaO*SiO_2 = C_2S$);
- 1250°C, la belite reagisce con la calce e si forma l'alite (silicato tricalcico, 3CaO*SiO₂ = C₃S);
- 1300°C, avviene la fusione parziale e generazione di una fase liquida costituita da celite (alluminato tricalcico, $3C_aO^*Al_2O_3 = C_3A$) e fase ferrica (ferroalluminato tetracalcico, $4C_aO^*Al_2O_3^*Fe_2O_3 = C_4AF$), le quali inglobano i granuli solidi, velocizzando i processi di reazione.
- 1450°C, il composto rimane a tale temperatura per 15 minuti e si completa la fase di cottura;
- Raffreddamento, in cui il clinker ottenuto viene raffreddato in maniera brusca con aria fredda esterna che durante questo processo si riscalda a 800-900°C e viene reimmessa nel processo di cottura come aria secondaria di combustione per il bruciatore.

Il raffreddamento repentino è necessario per fissare la composizione del clinker e mantenerla stabile anche a temperatura normale¹⁴.

2.2.3.5. Macinazione e Dosaggio Costituenti

Dopo la cottura e il raffreddamento il clinker trasferito a container chiusi, che prevengono la dispersione delle polveri.

Infine, il materiale viene macinato insieme ad altri elementi, come pozzolana, loppa basica d'altoforno, cenere volante, calcare, che variano in base al tipo di cemento che si vuole produrre. In questa fase, grazie ai dosaggi esatti delle diverse aggiunte, si sviluppano quelle che poi saranno le prestazioni tecniche del cemento, tra cui la resistenza e la lavorabilità.

2.2.3.6. Controllo di Qualità

Durante l'intero processo sono eseguiti numerosi controlli di qualità, in laboratorio, che prevedono l'esaminazione delle materie prime e dei combustibili, le proporzioni tra gli elementi, la composizione mineralogica, le analisi chimiche e le prove fisiche sul cemento, per comprovarne la conformità agli standard.

Inoltre viene eseguito anche il controllo dell'inquinamento, delle emissioni CO₂ e dell'energia impiegata¹⁵.

2.2.3.7. Distribuzione

Una volta concluse tutte le fasi produttive e i controlli, si provvede alla denominazione dei cementi in base alla loro composizione, secondo le norme vigenti e il materiale viene confezionato in sacchi, generalmente da 25 Kg, o lasciato sfuso, per la vendita di quantità variabili.

Per essere insaccato, il cemento viene prelevato dal silo e immesso in un impianto automatico, provvisto di un sistema di abbattimento e recupero polveri.

Invece, per quanto riguarda il cemento sfuso, viene caricato su automezzi sofisticati, senza emissioni di polveri, con una velocità di caricamento di circa 400 t/ora¹⁶.

2.2.4. Impieghi del Cemento

Il cemento, come già detto, è la componente alla base della produzione del calcestruzzo e delle malte

Questi fanno parte dei materiali da costruzione più adoperati al mondo e la loro produzione risulta essere piuttosto composita, soprattutto per quanto riguarda le combinazioni di materie prime utilizzate, come viene descritto nei prossimi paragrafi.

2.2.4.1. Il Calcestruzzo

La norma che si applica alla produzione e all'utilizzo dei calcestruzzi è la UNI EN 206:2016 "Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità" ¹⁷.

¹⁴ L. BERTOLINI, P. PEDEFERRI, *Tecnologia dei materiali*. *Leganti e calcestruzzo*, Città Studi Edizioni, Torino, 2004.

¹⁵ Si veda paragrafo 2.4.

¹⁶ http://www.aitecweb.com/Cemento/Comesiproduce/Ilprocessoproduttivo.aspx

Il calcestruzzo è un materiale composito artificiale, ottenuto dall'indurimento di una miscela di cemento, acqua, aggregati di granulometrie differenti, con eventuale aggiunta di additivi. La miscela che determina il prodotto finale può essere molto variabile a seconda della destinazione d'uso e la combinazione degli elementi avviene durante la fase di progettazione specifica, detta *mix design*. 18

La classificazione del calcestruzzo è determinata, secondo la norma vigente, in base a tre classi specifiche principali, ovvero:

- classe di resistenza;
- classe di consistenza;
- classe di esposizione.

Classi di resistenza del calcestruzzo.

La catalogazione in classi di resistenza avviene a seconda della resistenza a compressione, detta resistenza caratteristica Rck o fck.

Per determinare la resistenza caratteristica Rck sono presi in considerazione i valori risultati da prove di compressione su provini cubici misuranti 150 mm per lato e maturati per 28 giorni. Invece, la resistenza caratteristica fck è il risultato delle medesime prove su provini cilindrici dal diametro di 150 mm e l'altezza di 300 mm di altezza.

La relazione tra i due valori è fck = 0,83 Rck (per H/D≥2) e tale differenza deriva dalla diversità dello stato tensionale durante le prove, in quanto i provini presentano geometrie differenti. Secondo la normativa, e in base alle relazioni fck/Rck, si hanno le classi di calcestruzzo normale e pesante:

- -C8/10
- -C12/15
- -C16/20
- C20/25
- C25/30
- C28/35
- C30/37
- C32/40
- C35/45
- C40/50
- C45/55
- C50/60
- C55/67
- C60/75
- C70/85
- C80/95
- C90/105
- -C100/120

dove primo valore è fck e il secondo Rck, entrambi espressi N/mm².

I calcestruzzi, così classificati, sono suddivisi in categorie di resistenza:

¹⁷ http://store.uni.com/catalogo/index.php/uni-en-206-2016.html?josso_back_to=http://store.uni.com/josso-security-check.php&josso_cmd=login_optional&josso_partnerapp_host=store.uni.com

¹⁸ L. BERTOLINI, P. PEDEFERRI, *Tecnologia dei materiali. Leganti e calcestruzzo,* Città Studi Edizioni, Torino, 2004.

- Calcestruzzo non strutturale: C8/10 C12/15;
- Calcestruzzo ordinario (NSC Normal Strenght Concrete): C16/20 C45/55;
- Calcestruzzo ad alte prestazioni (HPC): C50/60 C60/75;
- Calcestruzzo ad alta resistenza (HSC): C70/85 C100/120.

Classi di consistenza del calcestruzzo.

Il calcestruzzo freso presenta dei gradi di lavorabilità, definiti dalla *consistenza*, la quale viene catalogata in base al comportamento del materiale nell'intervallo di tempo che va dalla produzione alla compattazione in cassaforma.

La consistenza viene determinata a seconda di diversi metodi, come l'abbassamento al cono di Abrams, per il quale si ottiene la seguente classificazione:

- S1 consistenza *umida*: abbassamento (slump) da 10 a 40 mm;
- S2 consistenza plastica: abbassamento (slump) da 50 a 90 mm;
- S3 consistenza semifluida: abbassamento (slump) da 100 a 150 mm;
- S4 consistenza fluida: abbassamento (slump) da 160 a 210 mm;
- S5 consistenza superfluida: abbassamento (slump) ≥ 220 mm.

A seconda della tipologia di struttura da realizzare, si valuta la classe di consistenza più idonea.

Classi di esposizione del calcestruzzo.

Ci sono 6 classi di *esposizione* per il calcestruzzo strutturale e 17 sottoclassi in funzione dell'entità del degrado (dove oltre al massimo rapporto a/c e al minimo contenuti di cemento viene indicata anche la minima classe di resistenza tutto per garantire la durabilità del materiale).

2.2.4.2. La Malta. Oggetto di Studio per la Tesi.

Per questo progetto di tesi, la scelta del materiale da sottoporre a sperimentazione per l'approccio sistemico è ricaduta sulle malte.

In particolare si è deciso di lavorare con una miscela semplice, senza aggiunta di additivi, che prevede il cemento quale legante idraulico, la sabbia normalizzata quale inerte fine con granulometria massima di 2,0 mm e, naturalmente, acqua potabile o distillata.

La semplicità degli elementi che compongono tale tipo di malta, infatti, ha permesso di ipotizzare in maniera precisa la possibile sostituzione di una delle componenti principali, la sabbia, ossia inerte fine non rinnovabile.

Seguendo il principio Output - Input del Design Sistemico, è stata condotta un'indagine al fine di trovare un materiale di scarto che, per qualità chimiche e fisiche, fosse idoneo alla sostituzione della sabbia, la quale è costituita prevalentemente da silice (SiO₂).

L'indagine è stata quindi portata avanti limitando l'area di speculazione al territorio piemontese, in modo da agire a livello locale: il territorio è un altro, importante, punto cardine dell'approccio sistemico.

Il Piemonte, infatti, non è solamente la regione sede di una tra le più importanti industrie cementiere, la Buzzi Unicem, bensì, è anche un polo fondamentale nella produzione del riso, in Italia. E proprio uno degli Output di tale filiera, è stato selezionato per diventare un possibile Input nella

miscela sperimentale per una malta più sostenibile: la *Lolla di Riso*.

Data l'importanza della malta per tale progetto di tesi, gli si dedica l'intero paragrafo successivo.

2.3. LA MALTA

Oltre al calcestruzzo, le malte costituiscono un altro prodotto molto importante della filiera cementizia e sono oggetto di studio principale di questo progetto.

Secondo quanto riportato dalla normativa vigente UNI 10924 : 2001 Malte per elementi costruttivi e decorativi: classificazione e terminologia, la malta è "una miscela di leganti organici od inorganici, aggregati prevalentemente fini, acqua ed eventuali aggiunte di additivi organici e/o inorganici (o miscela di solo legante e acqua) in porzioni tali da conferire all'impasto, allo stato fresco un'opportuna lavorabilità e, allo stato indurito, adeguate caratteristiche fisiche (porosità, permeabilità all'acqua ecc.), meccaniche (resistenza, deformabilità, aderenza ecc.), di aspetto, di durabilità, ecc."19.

2.3.1. Classificazione delle Malte

Poiché sono disponibili moltissime varietà di malte, occorre classificarle in base alle specifiche tipologie, alla funzione, alla composizione e all'ambiente di in cui vengono posate.

Ambiente.

L'ambiente in cui una malta viene impiegata può essere esterno oppure interno e, inoltre, in base alla specifica destinazione d'uso, si hanno malte per elementi interrati, malte per murature umide, malte idonee al contatto con l'acqua e così via.

Composizione.

Per quanto riguarda la composizione, le malte vengono classificate e denominate a seconda del legante di cui è costituita:

- malta argillosa;
- malta di calce aerea (detta di calcina o comune);
- malta di calce idraulica:
- malta cementizia;
- malta bastarda (misto di leganti per ottenere particolari proprietà).

Chiaramente, a seconda della composizione, quindi del legante adoperato e dalle proporzioni tra gli elementi, le malte sviluppano capacità specifiche.

Aggregati.

Si possono distinguere le malte anche in base agli aggregati:

- malte con frantumi di roccia;
- malte con sabbia (di cava, di fiume o di litorale);
- malte con aggregati con attività pozzolanica, naturali e/o artificiali;
- malte con frantumi di altre malte.

Funzione.

È fondamentale la distinzione delle funzioni, dal momento che queste determinano la scelta della miscela più idonea da impiegare:

- malte per allettamento di murature. Si tratta di malte strutturali, adoperata nella realizzazione di murature e come elemento riempitivo delle cavità delle superfici edili.

¹⁹ E. PECCHIONI, F. FRATINI, E. CANTISANI, *Le malte antiche e moderne: tra tradizione e innovazione*, Patron Editore, Bologna, 2008, p. 24.

- malte per sottofondi. Utilizzate per la produzione di massetti, utilizzabili sia grezzi che rivestiti, ad esempio i pavimenti, oppure possono essere impiegate quali malte adesive per il rivestimento murario a piastrelle.
- malte per intonaci. Miscela usata su pareti e soffitti per la finitura ad intonaco, distribuito in tre strati.
- malte per decorazioni. Può essere usata sia per la produzione di stucchi ornamentali, sia per la finitura ultima dell'intonaco e si possono aggiungere pigmenti colorati²⁰.

2.3.2. Componenti della Malta

La malta è un materiale composito e le sue principali componenti sono definite dalla normativa prima citata, UNI 10924 : 2001:

- leganti organici o inorganici;
- aggregati fini;
- acqua;
- additivi eventuali, organici e/o inorganici.

2.3.2.1. Leganti

I leganti, come già specificato hanno origine inorganica o organica.

Nel primo caso si tratta di cemento, gesso e calce e sono utilizzate perlopiù nella miscelazione di calcestruzzi e malte, appunto.

Nel secondo caso, invece, si tratta di resine naturali per la produzione di collanti, pitture, vernici, impermeabilizzanti e sigillanti.

Per questo lavoro è utile parlare solo dei leganti inorganici, quindi quelli adatti alla preparazione delle malte.

Tali materiali si distinguono a loro volta in aerei e idraulici, come specificato nel paragrafo sul cemento: i primi sono costituiti da gesso, calce e argilla, e induriscono all'aria, mentre i secondi sono la calce idraulica e il cemento, i quali sono in grado di solidificarsi e ottenere le proprietà meccaniche anche a contatto con l'acqua.

2.3.2.2. Aggregati

Gli Aggregati o Inerti (detti così perché non reagiscono con il legante a livello chimico) costituiscono gli elementi che danno consistenza alla malta e ne caratterizzano la struttura e il volume. Inoltre, formano delle canalizzazioni interne al composto, per far sì che l'anidride carbonica penetri anche in profondità, permettendo la carbonatazione della calce.

Funzione molto importante degli aggregati è quella di riduttori del ritiro, limitando perciò le "cavillature" che si potrebbero formare nel processo di indurimento, a causa della riduzione del volume.

Infine, hanno anche funzione protettiva nei confronti delle eventuali terre colorate, utilizzate nella colorazione parietale, nel caso degli intonaci.

È di fondamentale importanza definire la granulometria degli inerti e la proporzione con cui sono uniti agli altri elementi costituenti.

²⁰ C. A. REYNERI, *Intonaci in bioedilizia*, Edicom Edizioni, Ronchi dei Legionari (GO), 2003.

Per la granulometria, si fa riferimento a due parametri in particolare, ossia la resistenza meccanica e la lavorabilità dell'impasto: come linee-guida generali, si può affermare che più grandi sono i grani degli inerti, maggiore sarà la resistenza meccanica, tuttavia, più l'inerte è fine, maggiore diventa il grado di lavorabilità.

In riferimento alla questione sulle proporzioni tra inerti, leganti e acqua, è assodato che il rapporto quantitativo va riconsiderato ogni volta, a seconda della funzione che dovrà svolgere la malta, in modo da ottenere le performance più adeguate.

Oltre agli inerti, fanno parte degli aggregati anche le cosiddette cariche. Queste, a differenza degli inerti, reagiscono con il legante anche sotto il punto di vista chimico.

Tra le cariche si annoverano l'argilla cotta (cocciopesto) o cruda (caolino), la pomice e la pozzolana. Tali materiali, miscelati con calce e acqua aumentano le proprietà idrauliche e migliorano la resistenza del prodotto finito.

2.3.2.2.1. Sabbia

Tradizionalmente, la sabbia e la polvere di marmo sono ritenuti ottimi aggregati inerti per la produzione della malta.

Tuttavia, data la maggiore diffusione della sabbia nella realizzazione di malte e l'interesse diretto che questo progetto di tesi pone nei confronti di questo inerte, in tale sede si tratterà unicamente della sabbia.

Come già detto, la sabbia è l'inerte fine maggiormente diffuso per le miscele delle malte, soprattutto per quelle da intonaco.

Citando il prof. C. R. Reyneri, si tratta di "[...] un materiale litoide, incoerente, costituito da granuli di dimensioni variabili tra 0,6 e 2 mm; al di sotto di tali valori la sabbia è considerata limo, mentre al di sopra dei 2 mm è definita ghiaia o ghiaietto".²¹

Per la produzione di malte, soprattutto per quelle da intonaco o da allettamento, sono preferibili sabbie silicee o calcaree, stridente e ruvida allo sfregamento, con geometria a spigoli vivi. Molto importante che la sabbia sia pulita, priva di terra, residui organici, e soprattutto, non preveniente da rocce di natura gessosa.

La pulizia della sabbia è necessaria in quanto ogni genere di impurità potrebbe compromettere le caratteristiche del prodotto finito, indebolendolo o causandone la disomogeneità.

Esistono sono diversi tipi di sabbia, classificati in base a vari fattori.

Provenienza:

- sabbia da fiume o lago: qualità elevate, molto impiegata in edilizia, soprattutto per intonaci;
- sabbia da mare: pessime qualità per l'edilizia, raramente utilizzata;
- sabbia da frantoio: proviene dalla macinazione del pietrisco;
- sabbia da cava: qualità e prestazioni elevate, può derivare da sgretolamento delle rocce o da alluvioni remote che ne hanno permesso la stratificazione nel sottosuolo.

Granulometria:

²¹ C. A. REYNERI, *Intonaci in bioedilizia*, Edicom Edizioni, Ronchi dei Legionari (GO), 2003, p. 54.

- sabbia fine: grandezza dei granuli compresa tra 0,08 e 0,3 mm. Impiegata per murature faccia a vista e intonaci;
- sabbia media: grandezza dei granuli compresa tra 0,3 e 0,5 mm. Impiegata per murature normali, intonaci grezzi e riempimenti;
- sabbia grossa: grandezza dei granuli compresa tra 0,5 e 0,7 mm. Impiegata per malte da allettamento:
- sabbia molto grossa: grandezza dei granuli compresa tra 0,7 e 7,0 mm. Impiegata per getti di piccole dimensioni.

Per quanto riguarda la lavorazione della sabbia, come già detto, è necessario che questa, una volta acquisita, sia ripulita da ogni impurità, comprese le sostanze inquinanti, attraverso il lavaggio con acqua.

Il lavaggio, inoltre, aiuta a conseguire una prima vagliatura, in quanto la sabbia più pesante viene separata grazie alla decantazione.

Una volta conclusa questa fase, se la sabbia proviene da fiume o da mare, sono necessarie delle analisi aggiuntive per monitorare il livello di sali, come solfato e cloruro, che possono essere presenti in limiti ristretti.

Se, invece, la sabbia proviene da cave, la composizione sarà pressoché silicea. Dopo aver ottenuto la roccia, in piccoli pezzi, questa viene passata in frantoi per essere frantumata e smistata attraverso delle griglie apposite.

Nei casi della sabbia da cava, è necessario un lavaggio più accurato e vigoroso, in quanto non solo sono presenti più impurità, ma ogni granello proveniente dalla frantumazione sarà ricoperto da polvere.

La grande varietà di sabbia permette di scegliere quella più idonea in base al tipo di prodotto che si vuole ottenere, tuttavia è importante valutarne l'utilizzo anche in base alle proprietà del legante da adoperare e attenersi a eventuali suggerimenti dei produttori per massimizzare la resa finale²².

2.3.2.3. Acqua

La qualità, la quantità e la temperatura dell'acqua nella produzione di materiali cementizi, ne condiziona il risultato finale, successivo alla posa in opera.

Innanzitutto, l'acqua aggiunta nell'impasto non deve assolutamente interferire con i vari processi di presa e indurimento del legante, non deve causare macchie superficiali sul prodotto finito e soprattutto non deve compromettere la resistenza meccanica.²³

Pertanto, è necessario che l'acqua sia priva di elementi in sospensione e di impurità; non deve contenere un'elevata quantità di sali disciolti e neppure di acidi. A causa di questi ultimi, per esempio, l'acqua piovana non è più idonea alla produzione di materie cementizie, pervia del forte inquinamento, mentre un tempo era quella più utilizzata.

Tendenzialmente viene impiegata acqua di fiume o lago, dopo un accurato filtraggio e si può dire, in modo generale che le acque più idonee siano quelle dolci con bassa durezza.

La quantità da inserire nell'impasto dipende da vari fattori, tra cui la quantità dell'aggregato e la qualità del legante utilizzato. Per cui non esiste una quantità predefinita e anche se ci sono dei

²² C. A. REYNERI, *Intonaci in bioedilizia*, Edicom Edizioni, Ronchi dei Legionari (GO), 2003. ²³ E. PECCHIONI, F. FRATINI, E. CANTISANI, Le malte antiche e moderne: tra tradizione e innovazione, Patron Editore, Bologna,

rapporti stabiliti da mantenere, l'obiettivo è mantenere buone la lavorabilità della miscela e sua velocità di presa.

Anche la temperatura, come accennato, influisce sul buon esito della produzione. Occorre sapere che l'acqua ad alta temperatura accelera la presa, per questo motivo nei mesi invernali viene utilizzata per far sì che il materiale faccia presa prima che il gelo colpisca, provocando comparsa di ghiaccio negli interstizi. Tuttavia, non sempre l'uso dell'acqua calda è ottimale per la realizzazione del materiale cementizio, per tale motivo possono essere aggiunti additivi per il caso specifico.

2.3.2.4. Additivi Eventuali

Gli additivi non sono essenziali per la produzione delle malte, tuttavia, possono essere aggiunti in situazioni in cui si voglia migliorare o agevolare la fase produttiva e di posa. Infatti, sono disponibili molti tipi di additivi, ognuno con una funzione differente per le varie esigenze di produzione: da quelli ad azione areante a quelli ad azione idrofobica, ai ritardanti, gli acceleranti, passando per i fluidificanti e superfluidificanti. Alcuni permettono una maggiore adesione, e poi, ancora, quelli anti-ritiro, i plastificanti, gli impermeabilizzanti, gli stagionanti, ecc. Possono essere organici o inorganici e alcune aziende produttrici di cemento hanno laboratori interni per la loro produzione.

2.4. I NUMERI DELLA PRODUZIONE

In questo paragrafo verranno riassunti i numeri della produzione dei materiali cementizi, sia in termini di quantità che di emissioni annuali.

Produzione Internazionale.

Le statistiche di seguito riportate, mostrano le quantità della produzione cementizia globale, dal 2010 al 2016 e se ne evidenzia la graduale crescita, fatta eccezione per l'anno 2015. Infatti, si hanno i seguenti dati internazionali, espressi in milioni di tonnellate²⁴:

- -2010 = 3.310
- -2011 = 3.600
- -2012 = 3.800
- -2013 = 4.080
- -2014 = 4.180
- -2015 = 4.100
- -2016 = 4.200

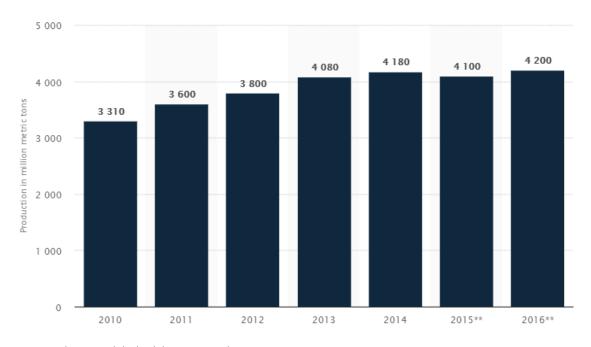


Figura 1 - Produzione globale del cemento. (da statista.com)

-

²⁴ https://www.statista.com

Produzione in Italia.

Al contrario, per quanto riguarda l'Italia, la situazione risulta peggiorare negli ultimi dieci anni, nonostante sia anch'essa tra i maggiori produttori di cemento, nel mondo.

Infatti, in base ai dati AITEC (Associazione Italiana Tecnico Economica Cemento), sappiamo che nel 2006 l'Italia produceva intorno ai 48 milioni di tonnellate di cemento, con un consumo sul territorio di 47 milioni di tonnellate.

Le realtà aziendali risultavano essere 28, con 91 impianti attivi, di cui 29 di Italcementi, con il 27,9% della produzione totale e 12 della Buzzi Unicem, per la quale si stimava il 17,3% di produzione.

In un decennio, i numeri della produzione e del consumo si sono ridotti di molto, passando a una produzione di 19,3 e a un consumo sul territorio di 17,7 milioni di tonnellate, vale a dire un calo del 62%, con la conseguente riduzione degli impianti di produzione, passati da 91 a 68. Tali riduzioni sono dovute alla crisi relativa ai settori di maggiore impiego dei materiali da costruzione negli anni e, dal 2010 al 2016 si hanno i seguenti dati, resi in milioni di tonnellate²⁵:

- -2006 = 47.8
- -2007 = 47,5
- -2008 = 43
- -2009 = 36.3
- -2010 = 34.4
- -2011 = 33,1
- -2012 = 26.2
- -2013 = 23
- -2014 = 21.5
- -2015 = 20.8
- -2016 = 19.3

Nonostante il calo produttivo, l'Italia ha confermato anche nel 2016 una posizione ottimale in quanto a esportazione di cemento e clinker. Infatti, sono stati esportati circa 1,9 milioni di tonnellate, molto meno rispetto al 2015, ma abbastanza per mantenere un interscambio positivo con l'estero.

2.4.1. Consumi ed Emissioni

L'industria del cemento necessita di un'ingente quantità energetica, che si concentra soprattutto durante la produzione del clinker, per il quale occorrono in media 1.700 Joule per grammo, ma si possono avere picchi fino a 3.000 Joule a causa delle dispersioni.

Si stima che mediamente per la produzione del cemento si arrivi a consumare intorno agli 8.000 terajoule per anno, di energia termica ed elettrica.

Tale consumo comporta a un grande rilascio di biossido di carbonio, CO₂, per il quale si stima una media di 1,5 Kg emessi per ogni Kg di clinker Portland prodotto.

Gran parte di CO₂ deriva anche dalla calcinazione, che avviene durante la fase di cottura. Il biossido di carbonio non è il solo elemento nocivo emesso, infatti, si formano anche ingenti quantità di ossido di azoto, NO_x e altre sostanze tossiche quali polveri e biossido di zolfo.

²⁵ http://www.aitecweb.com; Elaborazioni AITEC su dati Ministero Sviluppo Economico e ISTAT AITEC Processing of Ministry for Economical Development and ISTAT data.

Tuttavia, gli impianti produttivi, sempre più sofisticati, tentano la riduzione di tali emissioni grazie a sistemi di filtraggio tecnologicamente avanzati.

Per quanto riguarda l'utilizzo dell'acqua, questa viene impiegata in particolar modo per il raffreddamento, ciò permette di reimmetterla in circolo.

La produzione di cemento è cresciuta molto rapidamente nel corso degli anni e si posiziona al terzo posto delle attività antropogeniche, per le emissioni di CO₂, dopo i combustibili fossili e il cambiamento della destinazione dei suoli.²⁶

Infatti, l'industria cementizia contribuisce per circa il 7% alle emissioni totali di CO₂ nel mondo e, nel 2016, la stima totale è stata di 1.45 miliardi di tonnellate.

Purtroppo si tratta di dati potenzialmente in crescita, dal momento che nel 2015 le emissioni erano del 30% inferiori²⁷.

Lo scenario Italiano, sul fronte delle emissioni causate dalla produzione del cemento ha visto un notevole miglioramento, con una riduzione di circa il 44% di CO₂ (in relazione ai dati del 1990), chiaramente dovuta al calo di produzione verificatosi nell'ultimo decennio.

²⁷ M.B. ALIA, R. SAIDURAB, M.S. HOSSAIN, A review on emission analysis in cement industries, ScienceDimension, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 15, n°5 online, giugno 2011, pp. 2252-2261.

²⁶ A. ROBBIE, Global CO2 emissions from cement production, Earth Syst. Sci. Data Discuss., luglio 2017.

3. RELAZIONE TRA FILIERE APPARENTEMENTE DISTANTI: MATERIALI DA COSTRUZIONE E AGRICOLTURA

3.1. RIFLESSIONE SUL DESIGN SISTEMICO APPLICATO E LA BLUE ECONOMY

Conclusa l'indagine sui materiali cementizi oggetto di studio, è doveroso dedicare un approfondimento sul motore di questo progetto di tesi.

Nei capitoli precedenti, infatti, si è parlato di Approccio Sistemico, di Blue Economy, ma senza entrare nello specifico o spiegare perché siano così importanti, soprattutto in questo momento storico.

È necessario comprendere appieno i concetti-cardine di questi approcci, in quanto si rivelano essere potenziali risposte alla crisi che vive il nostro tempo.

Una crisi globale che minaccia la *Sostenibilità*, intesa come economica, sociale e ambientale, che minaccia la cultura, la comunicazione, l'interazione, il benessere collettivo.

Una crisi che mina ai valori fondamentali dell'essere umano, alla consapevolezza di sé e dell'ambiente in cui vive.

Ma come può un "metodo progettuale" diventare una risposta concreta a tutto questo deterioramento?

Per argomentare una risposta ragionevole alla domanda, si può descrivere la crisi come un periodo temporale negativo che, presto o tardi, arriva a un punto di non ritorno, dopo il quale è necessaria una riorganizzazione dell'intero sistema in cui la crisi si è generata.

In natura tale riorganizzazione si manifesta in maniera spontanea: in un sistema naturale, infatti, avvengono continui scambi tra le componenti coinvolte, al fine di mantenere l'equilibrio o, addirittura, di riparare il sistema stesso e migliorarlo.

La scienza che studia i processi naturali per trarne ispirazione in ambito tecnologico, prende il nome di *biomimetica*: in altre parole l'uomo, ispirandosi alla natura e imitandola, trova soluzioni a problemi di diverso genere.

In questo senso, "Anche le attività produttive potrebbero imitare i principi di metabolizzazione della Natura [...]"²⁸, prendendo tale modello come un ausilio, al fine di aumentare la resilienza e riuscire ad adattarsi ai cambiamenti conseguenziali alla crisi.

Alla luce di quanto esposto, l'aiuto che viene proposto con l'approccio sistemico adotta, quali principi, le linee guida del Design Sistemico, secondo cui bisognerebbe progettare, a livello industriale, Sistemi Aperti in cui non esistono scarti di produzione.

L'audace obiettivo che si pone il Design Sistemico, infatti, consiste nella totale eliminazione del concetto di *rifiuto*.

Più precisamente, si tratta dell'attivazione di una rete di relazioni atte a trasformare gli Output (scarti) di una produzione in Input (risorse) per la stessa o una seconda realtà produttiva, e così via. Tale approccio si applica a livello prettamente locale, al fine di innescare uno scambio virtuoso tra aziende del medesimo territorio, l'ambiente naturale e la comunità stessa.

Per poter mettere in pratica questo metodo, bisognerebbe convertire a monte l'approccio progettuale delle industrie: attualmente le aziende focalizzano l'attenzione prevalentemente sulla quantità delle materie prime da adoperare per una determinata produzione, considerando erroneamente gli output quali meri scarti da smaltire, nel modo meno dispendioso possibile. Al contrario, sarebbe necessario analizzare le qualità di tali output, in modo da utilizzarli, laddove possibile, come nuovi input, che potrebbero essere idonei tanto a tornare in circolo nella stessa produzione, quanto a

-

²⁸ L. BISTAGNINO, Design Sistemico, Slow Food Editore, Bra, 2009, p. 5.

diventare materie prime per produzioni completamente differenti. Se una tale metodologia venisse adottata, si svilupperebbero produzioni virtuose tendenti a emissioni zero.

Agendo a livello territoriale, inoltre, si cerca di respingere l'economia capitalista della globalizzazione, in favore di una rivalutazione dei prodotti e delle materie prime locali, il cui ottenimento risulta meno dispendioso e più sostenibile.

Inoltre, aumentando l'utilizzo di beni già presenti in un territorio, si sviluppano anche i rapporti sociali e la consapevolezza culturale e ambientale dell'uomo.

Dalla rivalutazione degli output, in più, potrebbero nascere nuove attività produttive, con il conseguente miglioramento dell'economia.

Il modello economico alla base dell'approccio sistemico si chiama Blue Economy.

Tale modello prevede, appunto, una produzione priva di rifiuti, che tenda a emissioni zero di CO₂ e valorizzi il territorio attraverso l'utilizzo di materie prime a "Km 0" e scambi tra aziende locali, in modo da incrementare i ricavi, ridurre gli investimenti iniziali e creare nuovi posti di lavoro²⁹.

3.2. CASI STUDIO: MAPPATURA INTERNAZIONALE

A questo punto occorre domandarsi in che modo si possa applicare il processo progettuale sistemico in un ambito così vasto come, appunto, quello dei materiali da costruzione, specialmente derivanti dal cemento.

È opportuno, dunque, portare alla luce alcuni esempi, a livello locale e globale, che dimostrino la possibile sinergia sistemica tra la filiera dei materiali da costruzione e quella agro-alimentare, all'apparenza diametralmente opposte.

l casi studio proposti nei paragrafi a seguire, infatti, sono una piccola mappatura internazionale di sperimentazioni e progetti che evidenziano le possibili relazioni che potrebbero nascere tra tali filiere, contribuendo al miglioramento economico e ambientale.

3.2.1. POLITECNICO DI TORINO, ITALIA. Dal Traforo del Frejus alle Risaie Piemontesi

Il caso studio in questione riguarda da vicino questo progetto di tesi, per ambito e tipologia di materiali.

L'opera in questione fa parte del Traforo del Frejus ed è la prima, su territorio nazionale, destinata alla messa in sicurezza di uno dei più importanti valichi alpini autostradali in direzione della Francia.

Trattandosi di una grande infrastruttura, la quantità di materiale estratto, detto marino (o smarino), si è rivelata enorme (1.178.000 tonnellate sul lato italiano). Questo output non è considerato un rifiuto da smaltire, pertanto, viene rinterrato o utilizzato per riempimenti, nonostante le qualità intrinseche valorizzabili.

Proprio in favore della valorizzazione del marino, il Politecnico di Torino ha studiato il caso per poi proporre un nuovo progetto improntato sull'approccio sistemico.

²⁹ G. PAULI, *Blue Economy, 10 anni. 100 innovazioni. 100 milioni di posti di lavoro,* Edizioni Ambiente, 2014.

Dalle analisi svolte sui materiali estratti sono emerse buone qualità chimiche e fisiche che avrebbero potuto trovare un impiego più degno, diventando nuovi input per diverse realtà produttive: tra le componenti materiche, infatti, sono stati individuati calcescisti, depositi franosi e alluvionali. Una volta constatate le qualità e le quantità, dunque, è stato preso in considerazione il territorio su cui operare e la scelta è ricaduta su una scala regionale, che comprende la Val Susa, il Torinese e il Novarese/Vercellese, ciascuna zona con problematiche differenti: la Val Susa è il luogo di scavo della galleria autostradale del Frejus, pertanto è da qui che parte il marino come output da ricollocare;

nella zona di Torino, invece è stata rilevata una problematica riguardante lo smaltimento del vetro, in quanto una piccola percentuale di risulta del processo non è compatibile con il vetro da riciclo; infine, nell'area di Novara e Vercelli, la difficoltà sta nell'impoverimento del suolo, dovuto a un'intensa attività di monocultura del riso, al quale si fa fronte con fitofarmaci sintetici, nocivi nel tempo.

L'approccio sistemico si è rivelato efficiente, in questo caso, in quanto grazie alle proprietà del marino, è stato possibile collocarlo come fertilizzante nelle risaie e tale soluzione ha generato una serie di reazioni positive a cascata: la qualità dell'intera pianta del riso viene migliorata, compresa quella di due output generalmente poco presi in considerazione, ossia la paglia e la lolla (quest'ultima, sarà oggetto di studio nella sperimentazione di questo progetto di tesi). Questi due output posseggono componenti dalle qualità peculiari importanti: cellulosa e lignina nella paglia, e germano e silicio nella lolla. Tramite una tecnica sperimentale (esplosione a vapore), tali materie prime sono state estratte ed è stato possibile renderle input nella produzione di diverse industrie, ad esempio, il silicio ha trovato una nuova vita come risorsa nella filiera del fotovoltaico, il germano per la produzione di microchip, la cellulosa per le bio-plastiche.

Il silicio estratto dalla lolla, inoltre, contribuisce alla risoluzione del problema riguardante il vetro non riciclabile: tramite la mescolanza di questi due output, si può ottenere una nuova pasta abrasiva sostenibile³⁰.

Questo caso studio, nel quale è presente anche la lolla di riso, è un ottimo esempio di come il Design Sistemico possa essere applicato su scala regionale, riuscendo a connettere attività apparentemente lontane tra loro come possono esserlo lo smaltimento dello scarto di un traforo autostradale e la coltivazione del riso.

3.2.2. ENEA, ITALIA. Bio-cemento da Lievito di Birra

L'Italia risulta essere molto attiva nella ricerca di nuovi materiali sostenibili.

Un caso interessante nel campo delle costruzioni è sicuramente quello della sperimentazione di un nuovo bio-camento da parte dell'ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile).

I ricercatori, nell'intento di ridurre i costi di produzione e raggiungere un buon risultato in termini di sostenibilità, hanno brevettato una nuova miscela per la realizzazione del cemento, che prevede l'utilizzo del lievito di birra e acqua ossigenata.

Queste componenti hanno permesso di ottenere una miscela con elevate proprietà di isolamento acustico, isolamento termico e alta resistenza al fuoco.

Nello specifico, si tratta di un cemento aerato autoclavato, in cui la polvere di alluminio che funge da agente aerante, viene sostituita dal lievito di birra unito ad acqua ossigenata. Tale miscela

_

³⁰ L. BISTAGNINO, *Design Sistemico*, Slow Food Editore, Bra, 2009.

produce delle bolle d'aria che conferiscono leggerezza al prodotto finale, senza alterarne le potenzialità meccaniche.

La sostituzione della polvere d'alluminio è vantaggiosa sia a livello economico che energetico in quanto, essendo una sostanza altamente infiammabile, necessita di rigide misure di sicurezza all'interno degli impianti, per i quali sono necessari, appunto, grandi quantità di energia e conseguenziali costi supplementari.

Ancora, la sostenibilità di tale progetto si rafforza grazie alla notevole riduzione di calce e gesso. Nonostante sia un prodotto in fase sperimentale, il bio-cemento dell'ENEA ha suscitato interesse nelle aziende italiane della filiera cementizia, le quali sembrerebbero essere aperte a tali soluzioni più ecocompatibili³¹.

3.2.3. ECOVATIVE Mushroom®, NEW YORK (USA). Materiali da Costruzione da Scarti di Coltivazioni Agricole e Funghicole

Ecovative è una realtà industriale con sede nello stato di New York (USA) il quale obiettivo è di sviluppare, produrre e immettere sul mercato materiali ecocompatibili, a base di micelio, registrati con il nome Mushroom®.

Questo caso di studio è interessante, in quanto le materie prime utilizzate nella produzione di materiali da costruzione provengono dalla filiera agricola e, più precisamente, da fattorie regionali, e dalla coltivazione dei funghi.

Ecovative, utilizza quindi scarti agricoli come fieno e paglia, potenziati con il micelio per la produzione di oggetti, packaging e materiali da costruzione, in particolar modo isolanti. Il micelio non è altro che il corpo vegetativo del fungo, caratterizzato da filamenti, chiamati ife, nei quali è presente il protoplasma.

La lavorazione avviene in diverse fasi che comprendono il lavaggio degli scarti agricoli precedentemente forniti da produttori regionali, l'aggiunta del micelio, la messa a riposo in sacchetti chiusi in modo da attivare i processi chimici del micelio che, riconoscendo gli scarti come nutrimento, inizia a secernere una matrice di fibre fino a ricoprire ogni particella nello spazio. Terminata tale fase i sacchetti vengono aperti e il contenuto versato in appositi contenitori, nei quali, per un periodo di pochi giorni, il micelio continua a crescere, riempiendo tutti i vuoti restanti tra le particelle di scarto agricolo. Una volta che il composto risulta indurito, viene trasferito per l'asciugatura, in modo che il micelio non inneschi la produzione di funghi o spore.

Al termine dell'asciugatura, alcuni campioni del prodotto vengono sottoposti a diverse prove tecniche per poi essere imballati e venduti.

Il materiale ottenuto non si degrada, se non a contatto con organismi viventi, per cui potrebbe essere considerato simile al legno. Analogamente a quest'ultimo, se viene lasciato a contatto con il terreno, in ambiente umido, inizia il processo di decomposizione, essendo biodegradabile. In ambito costruttivo, i materiali a base di micelio risultano ottimi sostituti di isolanti non rinnovabili, in quanto una volta induriti risultano ermetici, ignifughi e privi di VOC³².

http://www.lastampa.it/2017/11/21/economia/enea-fa-il-biocemento-con-la-birra-knQ4ve1nPf2BDkXpzw6qQK/pagina.html

³¹ http://www.enea.it/it

³² https://www.ecovativedesign.com/how-it-works

3.2.4. MYCOTECH, INDONESIA. Rooms from Mushrooms!

Mycotech è una realtà indonesiana che si occupa della ricerca e dell'innovazione di materiali da costruzione, a partire dallo studio dei funghi e soprattutto del micelio.

Inizialmente, infatti, i fondatori avviarono un'attività di coltivazione dei funghi per la ristorazione ma accortisi delle potenzialità meccaniche del micelio, una volta indurito, decisero di sperimentare il suo utilizzo nell'ambito delle costruzioni, ponendosi come obiettivo la produzione di materiali sostenibili da risorse rinnovabili.

La ricerca che Mycotech conduce parte dalle problematiche del territorio indonesiano, sottolineando e facendo emergere una notevole perdita delle foreste (intorno al 45%) e un'ingente quantità di scarti provenienti dall'agricoltura ogni anno (si stimano circa 120 milioni di tonnellate).

Mycotech, dunque, dà una risposta concreta a tali criticità attraverso la sperimentazione di nuovi materiali ecofriendly costituiti da scarti della produzione agricola, insieme al micelio che funge da legante, per la costruzione di nuovi edifici.

La loro visione olistica, prevede l'aiuto ai possessori di fattorie nello smaltimento dei rifiuti, la diminuzione del deterioramento ambientale e la creazione di soluzioni accessibili alle comunità locali.

In quest'ottica sistemica, infatti, l'azienda acquista a basso costo gli scarti dei raccolti provenienti dalle fattorie e dai produttori agricoli locali, scarti che verrebbero altrimenti bruciati, con conseguente emissione di CO₂. In seguito, ha inizio la lavorazione del materiale organico che viene messo a contatto con il micelio, il quale, esattamente come per il caso dei materiali Mushroom®, si espande in tutto il composto, diventando un materiale dalle buone capacità meccaniche, una volta avvenuta la solidificazione. Quali prodotti della lavorazione, si ottengono dei pannelli economici, ma resistenti, indirizzati alla messa in opera di abitazioni sostenibili e low-cost, che permettano anche alla fascia di popolazione meno abbiente di possedere una casa.

Un ulteriore aspetto interessante del lavoro di Mycotech è la ricerca sulla geometria in quanto mezzo per il miglioramento meccanico del loro materiale innovativo. A questo proposito i ricercatori hanno dimostrato le ottime performance tecniche che si possono ottenere da un materiale a base di micelio, attraverso la scelta di una struttura reticolare.

Questa struttura permetterebbe persino la sostituzione di materiali convenzionali come il cemento o l'acciaio nella messa in opera degli edifici, con conseguente miglioramento dell'impatto sull'ambiente³³.

_

³³ https://www.mycote.ch/

3.2.5. ECOCOCON, LITUANIA. La Paglia, da Scarto a Risorsa Edile

Ecococon, azienda del settore edile attiva in Lituania (EU), ha studiato un metodo per produrre pannelli portanti composti da paglia essiccata.

La paglia viene recuperata da scarti di fattorie presenti nelle strette vicinanze della fabbrica, in modo che il trasporto della materia prima sia meno impattante possibile. Inoltre l'intero processo produttivo non include l'utilizzo di risorse non rinnovabili, quali acqua, gas e olio.

Per la fabbricazione dei pannelli Ecococon, occorre utilizzare paglia con umidità inferiore al 15%, la quale viene pressata nello scheletro in legno, fino a raggiungere una densità di compressione pari a 120 Kg/ m^3 .

I pannelli possiedono una buona resistenza termica grazie alla composizione pluridirezionale delle fibre di paglia, il cui eccesso viene tagliato uniformemente, per poi essere reinserito nel processo produttivo di nuovi pannelli.

Le caratteristiche ottimali di questi prodotti si osservano anche nella fase applicativa: grazie alla leggerezza (il peso varia da 20 a 200 Kg a elemento) e alla peculiare carpenteria, i pannelli possono essere utilizzati per la costruzione di edifici di uno o più piani, in breve tempo, con poca manodopera ed elementari strumenti di lavoro, evitando così, i molteplici sprechi propri dei tradizionali cantieri.

Tale esempio risulta stimolante in quanto sono presenti diversi elementi propri del metodo sistemico, a partire dalla materia prima, fino alla messa in posa e all'efficienza del prodotto finale, il quale, a fine vita, risulta completamente riciclabile³⁴.

³⁴ http://www.ecococon.lt/

3.2.6. HEMP TECHNOLOGIES, NORTH CAROLINA (USA). Hempcrete, il Cemento da fibre di Canapa

Nello stato del North Carolina, Stati Uniti, l'azienda Hemp Technologies lavora su nuovi materiali sostenibili e performanti, al fine di sostituire materiali da costruzione tradizionali ma impattanti come il cemento.

Più che una sostituzione, in realtà si tratta di una rivisitazione del cemento stesso, attraverso l'utilizzo di un prodotto proveniente dall'agricoltura, ossia la canapa: le fibre di quest'ultima vengono miscelate insieme ad acqua e calce, ottenendo così un composto leggero e dalle buone capacità meccaniche, battezzato Hempcrete.

Svariati sono i benefici ottenuti dall'applicazione di questo nuovo cemento, tra cui, un buon risparmio energetico negli edifici (50% - 70%), grazie all'ottimo isolamento termico di Hempcrete, pareti ignifughe, assenza di muffe o parassiti dannosi, isolamento acustico, resistenza. Un altro grande pregio di questo materiale nato dalla fusione del mondo delle costruzioni e quello dell'agricoltura, è la capacità di assorbire CO_2 : la canapa è nota per la sua grande potenzialità di assorbimento del diossido di carbonio e, infatti, è stimato che una tonnellata di canapa ne assorba in media 1,8 tonnellate. Questa ottima peculiarità è trasmessa a Hempcrete, il quale, diviene a tutti gli effetti un materiale mangia- CO_2^{35} .

Oltre alla realtà di Hemp Technologies, sono diversi gli studi internazionali sull'applicazione della canapa, sia come inerte per materiali da costruzione (si veda anche lo studio condotto dal professor Fantilli del Politecnico di Torino), sia nella produzione di tessuti, bioplastiche e biomassa. La canapa è a tutti gli effetti un materiale sostenibile, in quanto il suo ciclo di crescita ha tempi molto brevi, che ne permettono l'utilizzo senza gravare sull'ambiente e la biodiversità.

_

³⁵ https://hemtecusa.com/

3.2.7. NAMIK KEMAL UNIVERSITY, TURCHIA. Calcestruzzo Rinforzato con Bucce di Semi di Girasole.

Presso il Biosystem Engineering Department della Namik Kemal University, in Turchia, è stata svolta una ricerca, pubblicata sulla rivista International Journal of Environment e Waste Management, per il potenziamento del calcestruzzo attraverso l'aggiunta di uno scarto dell'industria alimentare, ovvero le bucce dei semi di girasole.

Anche in questo caso, la questione da risolvere è emersa da un problema territoriale, quale la gestione sostenibile di alcuni rifiuti provenienti dall'industria agricola: le bucce di semi di girasole. Questi gusci, infatti, non essendo commestibili, risultano un rifiuto difficilmente gestibile a causa delle enormi quantità raggiunte, poiché la Turchia è tra i primi paesi al mondo produttori di semi di girasole.

I ricercatori, quindi, dopo aver studiato precedenti casi in cui il calcestruzzo è stato rinforzato con scarti provenienti da settori differenti da quello dei materiali, hanno condotto delle sperimentazioni proprio con tali bucce, ottenendo risultati positivi.

Infatti, variando la quantità di gusci aggiunti, è stata aumentata la resistenza del materiale al rischio di fessurazione, soprattutto dopo sbalzi termici.

Grazie a questa proprietà, una possibile applicazione pensata per la nuova miscela sarebbe la stesura del manto stradale, il quale presenta proprio un elevato rischio di fessurazione dovuto alle continue sollecitazioni meccaniche e all'esposizione perenne alle alternanza di temperatura³⁶.

-

³⁶ http://www.inderscience.com/

3.2.8. MALAYSIA PAHANG UNIVERSITY, MALESIA. Malta Prodotta con Scarti di Tronchi di Banani

Un progetto di tesi, svolto presso la Malaysia Pahang University, si è rivelato di notevole interesse per il tema trattato: l'obiettivo del lavoro, infatti, è stato quello di indagare sulle eventuali qualità pozzolaniche della cenere derivata da tronchi di Banani, in modo da sostituirla al cemento nella produzione delle malte.

Attualmente in Malesia l'industria dei materiali da costruzione, specialmente cementizi, sta diventando un segmento importante per l'economia del Paese, tuttavia dalla produzione del cemento deriva un forte impatto ambientale ed enormi emissioni di CO₂.

Proprio a partire da queste problematiche, lo studio è stato focalizzato sulla sostituzione del cemento stesso nella produzione della malta, materiale dai molteplici utilizzi.

Una possibile risposta è stata cercata in uno scarto della produzione agricola locale, i tronchi dei banani, appunto, le quali ceneri potrebbero essere in parte sostituite al cemento, diminuendone la produzione e di conseguenza le emissioni di CO₂.

I tronchi sono stati tagliati in piccoli pezzi e bruciati in fornace per 2 ore a 500 °C in modo da ottenere la cenere. Quest'ultima è stata miscelata in diverse percentuali (1%, 2%, 3%) insieme a cemento, acqua e aggregati fini, in modo da produrre almeno tre provini con quantità diverse di cenere.

Dopo la maturazione in acqua per 28 giorni, i provini sono stati sottoposti alle prove di compressione e paragonati a un provino di malta standard per valutarne la resistenza.

Infine, dai risultati ottenuti è emerso che nonostante la malta standard abbia presentato una migliore resistenza meccanica, anche la malta prodotta con le ceneri dei tronchi ha presentato buoni risultati, per cui potrebbe trovare applicazione in elementi non strutturali³⁷.

Tale caso studio si è dimostrato particolarmente interessante, in quanto il progetto è stato affrontato attraverso la sperimentazione su un rifiuto agricolo locale, al fine di individuare qualità per le quali il materiale fosse nuovamente utilizzabile, riuscendovi.

_

³⁷ http://umpir.ump.edu.my/12259/

3.2.9. TECHNOLOGICAL FEDERAL UNIVERSITY OF PARANA e FEDERAL UNIVERSITY OF PARANA, BRASILE.

Attività Pozzolanica della Cenere di Foglie di Banani

Durante la XII DBMC (International Conference on Durability of Building Materials and Components) svoltasi in Portogallo nel 2011, è stato presentato uno studio sull'attività pozzolanica della cenere di foglie di banani, condotto in Brasile dai ricercatori Rodrigo Cezar Kanning, Rogerio F. K. Puppi (Technological Federal University of Parana), Kleber Franke Portella e Marienne R. M. da Costa (Federal University of Parana).

L'obiettivo del lavoro è stato quello di verificare la presenza di attività pozzolanica nelle ceneri derivanti dalle foglie di banani, appunto.

Le foglie sono state bruciate in fornace a 850°C e successivamente frantumate in macina. Le ceneri ottenute, dopo la sperimentazione mediante calce e mediante cemento, hanno mostrato un indice di attività pozzolanica rispettivamente del 40% e del 17%, percentuali sufficienti disposte dalle norme di riferimento NBR 5751/92 e NBR 5752/92³⁸.

Il caso in questione è affine allo studio condotto in Malesia sui tronchi di banani per varie ragioni primo fra tutti l'incontro tra l'industria nel settore cementizio in Brasile e la produzione agricola locale, con la trasformazione di uno scarto in nuova risorsa per la produzione di un materiale da costruzione maggiormente sostenibile.

_

³⁸ https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB22508.pdf

3.2.10. FACULTY OF ENVIRONMENTAL STUDIES, UNIVERSITY OF UYO, NIGERIA. Malta con Cenere di Foglie di Bamboo

Secondo una ricerca condotta presso l'University of Uyo, in Nigeria, l'uso della cenere proveniente dalle foglie di bamboo come aggiunta alla produzione del cemento, può contribuire ad una riduzione dei costi e dell'inquinamento crescenti, dovuti alla gestione del grande scarto di foglie di bamboo nel territorio nigeriano.

Le foglie utilizzate nella sperimentazione provengono dalla foresta di bamboo presente nell'area di Mkpat-Enin, a sud della Nigeria. Dopo essere state lasciate a seccare, le foglie sono state incenerite in alcuni bidoni aperti, ad una temperatura di ca. 150°C, senza l'aggiunta di ulteriori combustibili chimici o naturali. Una volta conclusa l'operazione, le foglie carbonizzate sono state trasferite in una fornace a gas, azionata alla temperatura di 500°C per 2 ore, periodo in cui il colore della cenere è cambiato da nero a grigio. Successivamente al raffreddamento le ceneri sono state setacciate per definirne la granulometria, analizzate a livello chimico-fisico e infine sostituite in volumi al cemento Portland nella produzione di provini di malta.

I risultati delle proprietà fisiche hanno dimostrato che la nuova miscela rientra negli standard delle normative di riferimento, mentre dalle prove effettuate su provini cubici di malta contenenti il 15% di ceneri da foglie di bamboo risulta che la resistenza a compressione è competitiva con quella dei provini standard.

In conclusione, lo studio sostiene che la sostituzione del cemento con il 15% in volume di ceneri di foglia di bamboo, si ottiene una miscela ottimale per la produzione di malte da muratura e intonaci³⁹.

³⁹ Civil Engineering Dimension, Vol. 17, No. 1, March 2015, 22-28 ISSN 1410-9530 print / ISSN 1979-570X online

3.2.11. BABASAHEB NAIK COLLEGE OF ENGINEERING DI PUSAD, INDIA. Malta con Cenere di Bagassa

Il seguente caso di studio vede, ancora una volta, gli scarti provenienti dalla filiera agricola impiegati nella produzione di un cemento eco-compatibile.

Si tratta di uno studio portato avanti presso il Babasaheb Naik College of Engineering di Pusad, India e presentato durante la III Nirma University International Conference on Engineering del 2012. Al fine di ottimizzare i costi e creare un ambiente più sostenibile e libero dagli scarti di produzione agricola sovrabbondanti, è stato deciso di sperimentare la bagassa nella produzione di una nuova miscela per malte.

La bagassa è un rifiuto agricolo proveniente dalla coltivazione di canna da zucchero, la quale in India ammonta a più di 300 milioni di tonnellate per anno. Dopo l'estrazione dello zucchero (40-45% della pianta) si ottengono le fibre residue, le quali vengono reimmesse nel processo produttivo con funzione di combustibile naturale. Dalla combustione si ottiene la cenere di bagassa, che costituisce l'output finale, non più utilizzato.

Tale rifiuto, tuttavia non è sarebbe privo di qualità residue se fosse ottenuto da una combustione a temperatura controllata, ed in questo caso si otterrebbero elementi quali silicio, alluminio e ossido di calcio, ottimali per l'immissione come nuovo input nella filiera cementizia.

Quindi, una volta ottenuta la cenere in maniera controllata, i ricercatori ne hanno sostituito diverse percentuali (10%, 20%, 30%, 40%) ad aggregati fini per la produzione di provini di malta da sottoporre successivamente a prove di compressione, resistenza a trazione e capacità di assorbimento.

I risultati ottenuti hanno dimostrato che nei provini con sostituzione del 10% e 20% non è avvenuta una perdita considerabile di lavorabilità e che la resistenza a compressione è migliorata dopo la maturazione a 28 giorni, conseguenza dell'attività pozzolanica delle ceneri di bagassa. Per quanto riguarda la capacità di assorbimento, è risultata direttamente proporzionale alla percentuale di cenere del provino, rendendo il nuovo prodotto più permeabile rispetto allo standard. Nonostante ciò è stato provato che la cenere di bagassa potrebbe essere un potenziale ingrediente per la produzione di cemento e malta, sostituibile a parte degli aggregati fini e al cemento stesso data l'attività pozzolanica.

Ancora una volta, un esempio di come gli output di una produzione potrebbero diventare materie prime sostenibili per una produzione differente, in questo caso quella dei materiali da costruzione.⁴⁰

_

⁴⁰ http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813000088

4. LA LOLLA DI RISO: DA OUTPUT A INPUT

Alla luce di quanto esposto finora, il prossimo passo per mettere in atto l'approccio sistemico nella produzione della malta, è quello di guardare al territorio e a ciò che offre, esattamente come è stato fatto nei casi studio riportati nel capitolo precedente.

Particolarmente importante è soffermarsi su quelli che sono gli output produttivi e, in questo caso si è scelto di studiare uno scarto agricolo, la lolla di riso, in modo da capirne le qualità e sfruttarle, trasformando questo materiale da output a input.

4.1. LA COLTIVAZIONE DEL RISO NEL VERCELLESE. Simbolo d'Identità Territoriale del Piemonte

La regione Piemonte è una tra le più grandi d'Italia, seconda solo alla Sicilia per estensione superficiale e ospita più di 4 milioni di abitanti, tra 1.202 comuni e 8 province. Nel susseguirsi dei secoli, le influenze popolari e gli importanti avvenimenti storici hanno fatto di questa regione un luogo ricco in cultura, tradizioni e con un buon livello di consapevolezza e orgoglio da parte dei suoi cittadini.

Si tratta, insomma, di un territorio dall'identità forte, tangibile non solo nelle aree metropolitane e rappresentative, come la città di Torino, ma anche nelle zone rurali, con i paesaggi iconici delle regioni storiche delle Langhe, del Monferrato e del Roero, zone, per altro, incluse nell'UNESCO a partire dal 2014. Tali regioni coprono i territori di Cuneo, Asti e Alessandria, note non solo per le bellezze paesaggistiche ma anche per le celebri produzioni agro-alimentari delle nocciole e dei vini.

Seppure tali produzioni sono le più note sotto il punto di vista della tradizione agricola piemontese, non sono le sole.

I territori di Novara e, in particolar modo di Vercelli, infatti, sono la culla di una coltura secolare, che non solo è fonte di rendimento economico per la regione ma è anche incredibilmente caratteristica a livello paesaggistico e ambientale, e dona al territorio un'ulteriore segno di riconoscibilità e di identità. Si tratta delle grandi coltivazioni dell'*Oryza Sativa*, comunemente noto come *riso*.

4.1.1. Cenni Storici

L'introduzione della coltura del riso in Piemonte risale a tempi molto antichi e deriva da due principali necessità della zona, ossia, quelle di rendere produttivi i terreni argillosi non fertili e di massimizzare lo sfruttamento dei corsi d'acqua a regime nivo-glaciale che nascono dalla Valle d'Aosta e dal Monte Rosa.

Le prime opere infrastrutturali per la risicoltura piemontese hanno origine durante il periodo del Basso Medioevo, nonostante la vera e propria coltivazione si avrà con il Rinascimento, sia nel Vercellese che nel resto d'Italia.

Il riso, tuttavia è un cereale la cui coltivazione ha origini di almeno mille anni più antiche e proveniente dall'Estremo Oriente, divenne noto in Italia attraverso il passaggio degli Arabi. Già a partire dal 1200 si hanno le prime notizie riguardanti la risicoltura nel Novarese e Vercellese, ma si può affermare con più certezza che è dalla fine del 1400 che tale coltura ha sviluppato una maggiore consistenza e si è stabilizzata, grazie anche all'influenza della vicina Lombardia, dove, nello stesso periodo, ha avuto inizio la coltivazione del riso su larga scala.

Tra il Quattrocento e il Cinquecento, come già detto, la risicoltura venne utilizzata per motivi di bonifica delle aree del Sesia e del Ticino. In seguito, il cereale inizierà ad essere coltivato anche nei pressi di Santhià, Cigliano e Tronzano e arriverà stabilmente nel Vercellese proprio nel Cinquecento, ottenendo già dal XVII secolo la definizione di prodotto tipico di tale area geografica.

L'inizio di una risicoltura stabile in questo territorio scatenò effetti a cascata, incrementando le possibilità lavorative e spingendo flussi di abitanti di montagna verso le zone di pianura del Novarese e Vercellese, mossi al fine di trovare impiego nelle risaie.

In seguito, dal 1700 la risicoltura venne promossa anche dai regnanti sabaudi e, a metà del secolo, un quarto delle coltivazioni di riso in Piemonte erano situate nell'area di Vercelli.

Tuttavia, a causa degli avvenimenti bellici e della paura che le acque stagne delle risaie potessero portare alla malaria, a cavallo tra il Settecento e l'Ottocento, si verificò un netto calo delle aree coltivate che passarono dal 25% a circa l'8%.

Alla luce di tali problemi legati sia alla risicoltura sia ad altre coltivazioni, nel 1842 venne fondata l'Associazione Agraria, grazie anche al re, Carlo Alberto di Savoia. Tale associazione aveva il ruolo di dare impulso al settore agricolo e vi faceva parte anche il Conte Camillo Benso di Cavour, il quale possedeva alcuni terreni nel Vercellese, nei quali adoperò nuove tecniche di rotazione e innovativi modelli di conduzione della risaia.

Grazie anche all'importante interessamento di Cavour, nel 1860 vennero censiti quasi 30.000 ettari di terreni vercellesi a uso risicolo.

Conseguenzialmente ai risvolti positivi e agli investimenti riscontrati dalla seconda metà del XIX secolo, con l'arrivo del Novecento la situazione si dimostrò nettamente positiva per la risicoltura, la quale costituiva la maggiore attività agricola nel Vercellese.

Da questo periodo in poi, l'area di Vercelli, ha iniziato ad essere considerata quale punto strategico della coltivazione del riso, "capitale della risicoltura" in Italia e fonte di grande guadagno economico per la regione Piemonte.

Ancora, è a partire dalla prima metà del Novecento che nelle risaie di Vercelli iniziarono ad essere sperimentate nuove varietà di riso, grazie anche alla fondazione nel 1908 della Stazione Sperimentale di Risicoltura. In seguito, nasceranno diversi organismi per la promozione e la protezione di tale cereale, come la Borsa Risi e l'Ente Risi.

Inoltre, un fattore molto interessante della risicoltura del XX secolo è l'aggregazione sociale che si veniva a creare per far fronte alla necessità di molta manodopera nelle diverse fasi di coltura del riso.

Fino agli anni '50, infatti, il lavoro nelle risaie portava migliaia di persone a confluire nelle aree di coltivazione risicola e, tra le tante, una figura davvero caratteristica e iconica, in breve scomparsa, è stata quella della mondina, lavoratrice stagionale che si occupava della monda del riso, fino a che, a partire dagli anni '60 venne adoperato il diserbo chimico e, sempre a partire da quel periodo, molte delle fasi lavorative divennero meccanizzate⁴¹.

Nello scenario contemporaneo, la risicoltura vercellese costituisce un'attività di punta per l'economia del Piemonte, e ancor di più per la sua identità culturale e paesaggistica.

Si tratta di un esempio perfetto in cui l'agricoltura sposa la tradizione locale e le innovazioni all'avanguardia per la produzione, generando una commistione di storia e progresso, di passato e futuro.

4.1.2. Intenzioni Progettuali

Data l'importanza che possiede la coltivazione del riso a livello territoriale, si cerca proprio in tale produzione agricola un materiale di scarto idoneo all'incontro con la produzione di materiali da costruzione, in modo da unire questi due mondi apparentemente distanti, attraverso una sperimentazione delle teorie del design sistemico.

Per far ciò, occorre innanzitutto studiare la metodologia produttiva della filiera del riso, considerandone il flusso materico, costituito da input e output, e verificare le proprietà di questi

⁴¹ M. BORGIA, *La storia del riso nel Vercellese,* Strada del riso vercellese di qualità, febbraio 2016.

ultimi, al fine di comprendere se vi è una possibilità di riutilizzo nella produzione di una nuova formula per malta cementizia.

4.2. LA FILIERA DEL RISO

Nel corso degli ultimi decenni, i criteri di organizzazione della risaia hanno subito un totale cambiamento per effetto dell'avvento della meccanizzazione. L'esigenza di operare su ampie superfici per poter adeguatamente impiegare le apparecchiature opportune all'esecuzione delle varie operazioni colturali e la possibilità di eseguire notevoli spostamenti di terra, tramite mezzi meccanici funzionanti con maggiore facilità, hanno portato a soluzioni più razionali.

Prima della meccanizzazione, nei molteplici casi in cui il profilo altimetrico del terreno era irregolare, bisognava adattare la produzione alle tali condizioni. Si realizzavano, perciò, molteplici argini assecondando le curve naturali di livello a quote differenti di pochi centimetri l'una dall'altra. La maggior parte delle volte, questo portava alla formazione di una rete fitta di micro-argini irregolari, definendo la ripartizione del terreno in numerose "camere" a livelli.

In tempi più recenti, il terreno è stato sistemato in base a studi più moderni, per cui sono ormai scomparse le disposizioni ad anfiteatro o mammellonare, a scacchiera e a gradinata, ottenendo così, un miglioramento della lavorabilità e della produzione complessiva.

4.2.1. Produzione del Riso

Nei paragrafi seguenti sono descritti tutti i passaggi che avvengono nella produzione del riso, fino ad arrivare all'emissione degli output, argomento di interesse per questo specifico studio.

4.2.1.1. Aratura

Poiché il terreno coltivato a riso per diversi anni è sommerso da acqua, si trova in condizioni sfavorevoli per la crescita delle radici, dunque è necessario ossidare tale area periodicamente, tramite il rivoltamento. L'aratura si effettua nella fase finale dell'inverno, infatti, a cavallo tra la stagione invernale e quella primaverile, vengono utilizzati gli aratri, dotati di grandi lame d'acciaio, per la lavorazione del terreno.

Quest'ultimo viene così aerato, ripulito dalla presenza di erbe avventizie o infestanti, gli elementi organici presenti vengono affossati e si assicura un migliore incorporamento del fertilizzante.

4.2.1.2. Concimazione

La concimazione, o fertilizzazione, avviene a marzo ed è necessaria per aumentare gli elementi nutritivi del suolo, facendo in modo che siano abbastanza da permettere la buona crescita della pianta del riso, la quale, in base agli elementi nutritivi avrà una certa qualità, sia a livello biologico che di mercato.

4.2.1.3. Erpicatura e Livellamento

In questa fase avviene la preparazione del terreno di semina, il quale necessita essere il più livellato e piano possibile, in modo che l'acqua possa fluire più agevolmente, che gli interventi diserbanti siano il più efficaci e soprattutto, che la pianta possa crescere nel miglior modo possibile.

Quindi, in questa fase il terreno viene erpicato, poi inondato e livellato: prima della sommersione si esercita l'erpicatura che è utile per la rottura delle zolle dovute al precedente rivoltamento del terreno, per l'incorporamento dei fertilizzanti sparsi prima e dopo aratura, e infine, per appianare il terreno.

Quindi, in seguito all'erpicatura si prosegue con la sommersione e talvolta risulta necessario livellare maggiormente il suolo, per evitare che lo strato d'acqua risulti eccessivo.

4.2.1.4. Semina

La semina avviene in primavera, tra marzo e maggio e in media vengono distribuiti fino a 190 Kg di semente per ettaro. Il metodo più utilizzato è la semina diretta, la quale può avvenire su risaia sommersa, non sommersa (su terreno melmoso o asciutto, a file con seme in superficie o interrato).

4.2.1.5. Sommersione

La sommersione avviene a marzo per la protezione del seme dagli sbalzi termici. La risaia viene riempita d'acqua, la quale arriva fino ai 5 cm dal suolo. I semi di riso, in quest'ambiente inizieranno a gonfiarsi entro una settimana ed emetteranno le prime radichette. Una volta avvenuto ciò, la risaia viene prosciugata e irrigata nuovamente.

4.2.1.6. Diserbo e Asciutta

Il diserbo è effettuato ad aprile e la sua funzione è quella di disinfestare il seme da parassiti e proteggerlo dai funghi presenti nel suolo.

In seguito, si attua l'asciutta di radicamento, a 20 giorni dalla semina e favorisce il rafforzamento e l'estensione delle radici e il miglioramento nutritivo della pianta.

4.2.1.7. Maturazione

È importante scegliere con attenzione il giusto momento del taglio, poiché l'uniformità e la velocità di maturazione cambiano a seconda di diversi fattori, tra cui la varietà di riso.

Nella fase di maturazione l'amido accumulato si trasferisce nelle cariossidi e tale accumulo è responsabile della formazione totale del granello.

Mentre la lunghezza massima della cariosside viene raggiunta circa un mese dopo la fioritura, la larghezza e lo spessore aumentano già nel primo mese dalla fecondazione.

4.2.1.8. Raccolto

Il raccolto avviene tra i mesi di settembre e ottobre, attraverso l'impiego di mietitrebbie, le quali hanno sostituito gli addetti della manodopera, dopo gli anni '50 del Novecento.

4.2.1.9. Essiccazione

Una volta raccolto, il riso contiene ancora dell'acqua, infatti l'umidità della pianta è sempre superiore al 14%. Tuttavia, al di sopra di tale percentuale non è possibile una buona conservazione e lavorazione successiva. Pertanto è necessario trasferire il raccolto in moderni impianti di essiccazione, in cui avviene la riduzione dell'umidità.

4.2.1.10. Stoccaggio

Durante la fase di stoccaggio, il riso continua a maturare, con conseguente indurimento della cariosside.

Nella fase di riposo vengono consumati gli zuccheri e avviene una sorta di respirazione, la quale causa emissioni di CO_2 e acqua.

Nell'invecchiamento l'amido e le proteine presenti divengono meno solubili in acqua e ciò fa sì che, in seguito, il tempo per la coltura aumenti, insieme alla resistenza a spappolamento del chicco.

4.2.1.11. Lavorazione e Sottoprodotti

La lavorazione del riso ne determina le qualità finali.

Innanzitutto, per prima cosa si rimuovono gli strati più esterni e il germe, evitando le rotture, in quanto il prodotto finale deve presentarsi con un aspetto gradevole e rispettare gli standard qualitativi nel momento della cottura.

Il *risone* è il chicco allo stato grezzo e presenta una protezione composta da due elementi uniti a formare un guscio.

Quest'ultimo costituisce la *lolla*, la quale deve essere rimossa per poter ottenere un prodotto commestibile. Tale scarto corrisponde circa al 20% del peso complessivo del chicco e viene asportato dopo la pulizia del risone da eventuali impurità.

Il processo che prevede la rimozione della lolla è chiamato *sbramatura* e si effettua inserendo il risone nello *sbramino*, macchinario composto da due rulli abrasivi, i quali attuano l'asportazione senza compromettere troppo le caratteristiche formali della lolla.

Successivamente, attraverso la *sbiancatura* (o raffinazione), avviene l'eliminazione del *pericarpo*. Anche questo passaggio si effettua tramite superfici abrasive che asportano la pellicina protettiva, detta *pula*, ricca di proteine.

In questa fase viene asportata anche la *gemma di riso* che viene utilizzata per la produzione di olio di riso.

Un ulteriore sottoprodotto è il *farinaccio*, il quale viene recuperato e impiegato nella filiera dell'allevamento, come mangime per animali.

Terminato il processo di lavorazione avvengono dei controlli con lettori ottici, per evitare che alcuni chicchi rotti o verdi, sfuggiti ai processi precedenti, possano passare alla fase di packaging. Al termine di tutte le fasi, il chicco di riso ottenuto è circa il 60% del prodotto originario, e inoltre, vengono ridotte moltissimo anche le proprietà nutritive, in quanto la maggior parte di esse risiedono nelle componenti scartate.

È per questa ragione che alcune produzioni diminuiscono il livello di lavorazione, fermandosi prima e ottenendo varietà di riso integrale, meno omogeneo e più resistente alla cottura⁴².

_

⁴² http://www.risoitaliano.eu/la-coltivazione-del-riso/

4.2. LA LOLLA DI RISO

Come si è visto nel paragrafo precedente, la *Lolla di Riso* fa parte degli scarti di lavorazione, ovvero degli *output* uscenti dalla filiera.

Grazie alle qualità che verranno esposte nel corso del capitolo, questo sottoprodotto è stato selezionato per la sperimentazione sulle malte, in sostituzione della sabbia.

La lolla è costituita dall'insieme delle cosiddette brattee che conservano il chicco di riso, svolgendo funzioni protettive, nettarifere e disseminatrici.

Generalmente, la lolla di riso si presenta di colore giallo-beige, con una consistenza dura, molto più resistente rispetto a quella di grano. Contemporaneamente è molto leggera e voluminosa, e risulta essere invulnerabile agli attacchi di insetti e, inoltre, non imputridisce.

Circa il 45% della massa è costituito da cellulosa, mentre la restante parte è ossido di silicio e nutrienti, ovvero proteine e grassi.

4.2.1. Proprietà Fisiche

Si può osservare a occhio nudo che ciascun chicco di riso è inglobato da due *glumelle*, le quali si distinguono in *lemma* e *palea*⁴³: la lemma è provvista di arista e presenta dimensioni maggiori rispetto alla palea.

Tali elementi sono utili alla protezione degli organi florali che nascono durante il periodo della fioritura. Superata questa fase si arriva a quella della maturazione in cui nelle glumelle si formano cellule lignificate, ovvero, cellule che subiscono un processo di lignificazione e quindi la formazione di lignina.

A partire da questa fase si verifica un aumento di silicati nella lolla e un mutamento di colore, che passa da giallo-oro (quando le glumelle sono ancora attaccate alla cariosside) a un beige (una volta avvenuta la sbramatura).

4.2.2. Proprietà Chimiche

Le proprietà chimiche della lolla derivano dalle sostanze costituenti della stessa:

- Cellulosa.

Presente in bassa percentuale nella lolla di riso, si tratta di un polisaccaride largamente diffuso nel regno vegetale, dove costituisce il componente base della parete cellulare.

È sintetizzata nei vegetali a partire da carboidrati più semplici, a loro volta ottenuti da anidride carbonica e acqua mediante la fotosintesi.

Analoga all'amido nella composizione, ma diversa nella configurazione del legame glicosidico, la cellulosa è un polimero lineare del D-glucosio, con formula bruta $(C_6H_{10}O_5)_n$.

Il grado di polimerizzazione varia a seconda dell'origine della cellulosa e il suo valore è considerato un indice molto significativo dello stato di conservazione dei materiali cellulosici, dal momento che nell'invecchiamento la molecola tende a frammentarsi e a questo fenomeno è legato anche il decadimento delle caratteristiche meccaniche.

⁴³ https://mind42.com/public/6cad02bb-92e1-434c-906a-6d7e746a2cc2

- Lignina.

È una macromolecola a elevato peso molecolare.

"[...] Gli studi di <u>K.J. Freudenberg</u> hanno permesso di individuare nel gruppo fenilpropilico l'unità monomerica fondamentale; l'anello fenilico presenta uno o due gruppi metossilici come sostituenti, mentre la catena propilica è ossidrilata.

Le unità monomeriche sono unite tra loro in modo vario: attraverso ponti di ossigeno tra due gruppi propilici o fenilici oppure tra un gruppo fenilico e uno propilico o anche tramite legami carbonio-carbonio tra i medesimi gruppi [...]"⁴⁴.

La lignina, che si forma direttamente nella parete cellulare tramite un precursore che viene liberato dalla cellula in via di sviluppo, conferisce al vegetale rigidità e resistenza.

La sua composizione elementare è all'incirca 61-65% di carbonio, 5-6% di idrogeno e il rimanente di ossigeno.

È insolubile in acqua, negli acidi minerali forti, negli idrocarburi; al contrario, è solubile nelle soluzioni acquose di alcali.

La modificazione delle pareti delle cellule, per infiltrazione di lignina, per cui esse assumono una particolare resistenza meccanica, è chiamata lignificazione.

Nelle cellule a pareti lignificate la membrana raggiunge uno spessore maggiore, mentre la cavità cellulare è molto ridotta. Durante la lignificazione spesso il plasma viene riassorbito e di conseguenza le cellule, ormai morte, hanno come unica funzione quella che deriva dalle proprietà della parete.

Per membrane lignificate si intendono quelle in cui la lignina è presente nella proporzione del 20-30%; in tali membrane si trovano, inoltre, pentosani (arabani e xilani), esosani (galattani e mannani) piccole quantità di sostanze proteiche, di resine e di cere.

Oltre che acquistare maggior resistenza meccanica, le membrane lignificate diventano anche meno rigonfiabili di quelle cellulosiche, ciò perché i gruppi dipolari –OH– del cellulosio sono in gran parte saturati dalla lignina. La permeabilità delle membrane lignificate, molto ridotta, spiega la morte delle cellule a membrana lignificata.

La grande disponibilità di questa materia prima rende molto intensa l'attività di ricerca volta a modificarla (tramite idrossialchilazione ecc.) così da renderla idonea come materiale di carica di polimeri termoindurenti ad alta resistenza meccanica e anche come parte integrante di resine fenoliche.

- Cutina.

Definizione:

"Composto organico di natura molto complessa, affine a quella delle cere, che forma il rivestimento della superficie esterna del fusto e delle foglie delle piante, di cui limita la traspirazione cuticolare essendo impermeabile all'acqua e ai gas"45.

- Fibre Crude.

Una parte consistente della lolla è costituita da una frazione fibrosa grezza.

Nella lolla è presente la NDF (Neutral Detergent Fiber), vale a dire fibra residua a un detergente neutro posto in soluzione e si ha anche la ADF (Acid Detergent Fiber), ossia fibra residua ad un detergente acido aggiunto in soluzione.

- Silice Insolubile.

⁴⁴ http://www.treccani.it/enciclopedia/ligning/

http://www.treccani.it/vocabolario/cutina/

La silice è fortemente presente nella lolla e si tratta di anidride silicica o, più propriamente, diossido di silicio.

Essendo un semiconduttore di elettricità, la silice viene usata nella fabbricazione di componenti elettronici, o ancora, può essere utilizzata come abrasivo o come materiale refrattario nei forni.

4.3. PRODUZIONE INTERNAZIONALE ED EMISSIONI

Produzione estera.

Specialmente nei Paesi asiatici, il riso rappresenta una forma di sostentamento indispensabile. La sua abbondante coltivazione è presente in ogni continente, grazie anche alla natura adattabile della pianta del riso.

I dati di seguito riportati, rappresentano il raccolto in tonnellate per i maggiori produttori esteri, secondo l'ente World Rice Production e sono una stima dell'anno 2016/2017:46

China: 144,850,000 India: 108,000,000 Indonesia: 37,150,000 Bangladesh: 34,578,000 Vietnam: 27,861,000 Thailand: 18,600,000 Burma: 12,400,000 Philippines: 11,500,000

Brazil: 8,160,000 **Japan:** 7,780,000

United States: 7,117,000 Pakistan: 6,800,000 Cambodia: 4,950,000 Egypt: 4,800,000

Korea, South: 4,197,000

Nepal: 3,224,000 Nigeria: 2,700,000 Madagascar: 2,442,000 Sri Lanka: 2,350,000

Peru: 2,200,000

European Union: 2,070,000

Laos: 1,950,000 Tanzania: 1,848,000 Malaysia: 1,820,000

Mali: 1,800,000 **Iran:** 1,782,000

Colombia: 1,718,000 **Korea, North:** 1,600,000

Guinea: 1,435,000

Cote d'Ivoire: 1,335,000

Taiwan: 1,144,000

46 https://www.worldriceproduction.com/

Uruguay: 955,000 Argentina: 923,000 Sierra Leone: 801,000

Russia: 703,000 Ecuador: 660,000 Senegal: 642,000 Australia: 627,000 Guyana: 560,000 Paraguay: 502,000 Turkey: 500,000

Dominican Republic: 477,000

Cuba: 433,000

Afghanistan: 403,000

Ghana: 396,000 Venezuela: 305,000 Kazakhstan: 291,000 Nicaragua: 290,000 Burkina: 250,000

Mozambique: 213,000

Mexico: 190,000

Mexico: 190,000

Congo (Kinshasa): 189,000 **Suriname:** 175,000

Iraq: 173,000 Liberia: 170,000 Panama: 157,000 Costa Rica: 155,000

Chad: 154,000 Uganda: 150,000 Benin: 138,000 Bolivia: 138,000 Uzbekistan: 135,000 Cameroon: 115,000 Chile: 112,000

Guinea-Bissau: 112,000 Mauritania: 106,000 Turkmenistan: 90,000

Togo: 80,000 Niger: 72,000 Kenya: 70,000 Honduras: 70,000 Haiti: 69,000 Ukraine: 42,000

Morocco: 37,000 **Gambia, The:** 32,000

Angola: 25,000 Guatemala: 23,000 El Salvador: 21,000

Trinidad and Tobago: 3,000

Somalia: 1,000 **Brunei:** 1,000 *Produzione Italiana.*

Per quanto riguarda la produzione italiana, è la Nazione europea leader del settore.

La stima di produzione per l'anno 2016/2017 del riso greggio (risone) corrisponde a 1.509.908 tonnellate disponibili alla vendita⁴⁷.

Poiché la lolla costituisce circa il 20% del peso del risone, si ha che in Italia, nello stesso anno sono state prodotte 301.981 tonnellate di lolla di riso.

Emissioni.

Dalla produzione risicola si hanno emissioni di metano e CO₂.

Tali emissioni dipendono da microrganismi che si formano durante la coltura, e con l'aumento di CO₂ nell'atmosfera accelera la crescita delle piante, consentendo così alla produzione totale di accrescere maggiormente, con conseguente aumento di emissioni. Si ha perciò un effetto circolare di causa/effetto.

Inoltre, le alte temperature causate dall'incremento di CO₂ aumenta la quantità di metano emesso per ogni Kg di riso prodotto, ma diminuisce la resa della pianta.

Per fa sì che il livello di emissioni rimanga sotto controllo, è necessario introdurre nella produzione fertilizzanti alternativi, conformare la coltivazione ai cicli stagionali e laddove possibile, scegliere le varietà di riso più resistenti alle alte temperature, in modo da ottimizzare la resa.⁴⁸

⁴⁷ http://www.enterisi.it - Situazione Vendite e Rimanenze dei Produttori.

⁴⁸ K. JAN VAN GROENIGEN, C. VAN KESSEL, B. A. HUNGATE, *Increased greenhousegas intensity of rice production under future atmospheric conditions*, Nature Climate Change, No. 1712 online, ottobre 2012.

5. PROCESSO SPERIMENTALE PER LA PRODUZIONE DI MALTA CON LOLLA DI RISO

5.1. ADOZIONE DI UN APPROCCIO SISTEMICO

Prima di entrare nel cuore della sperimentazione, occorre ribadire l'ideologia, la teoria che c'è alla base di tutto il progetto di tesi.

Nonostante nel corso dei capitoli precedenti sia già stato affermato il legame tra tale lavoro e il Design Sistemico, in questa fase, si rende necessario un ulteriore chiarimento di come la teoria si possa applicare alla produzione effettiva, tenendo conto dei limiti del caso.

Partendo dal concetto secondo cui "il Design Sistemico progetta le relazioni tra le persone, le attività e le risorse⁴⁹", ci si pone l'obiettivo di ottenere e mantenere nel tempo il benessere sociale, economico e ambientale, dunque favorire lo Sviluppo Sostenibile.

Quest'ultimo è, appunto, raggiungibile attraverso la tutela e la valorizzazione delle risorse naturali, del sistema sociale ed economico, sia a livello intragenerazionale, sia intergenerazionale. Ciò significa porsi l'obiettivo di soddisfare i bisogni umani e ambientali tanto delle generazioni attuali, quanto di quelle future.

In questo progetto, si è voluto adattare l'approccio sistemico nell'ambito dei materiali da costruzione, e, nello specifico, si è cercato di comporre una ricetta maggiormente sostenibile per la produzione di malte plastiche.

La nuova composizione è stata formulata in base al sistema economico ideato da Gunter Pauli, la Blue Economy, secondo cui in una dimensione territoriale locale, gli scarti (OUTPUT) di una realtà produttiva possono diventare risorse (INPUT) per un'altra, anche completamente differente. Tale approccio, se applicato pienamente e a tutti i livelli di produzione, permette alle industrie di tendere a emissioni zero, oltre a promuovere l'innesco di relazioni tra le diverse attività territoriali. Seguendo tale linea si otterrebbe anche un'importante valorizzazione del territorio stesso, incrementandone la ricchezza e la consapevolezza del genius loci, da parte della popolazione.

Nel caso particolare di questa sperimentazione, si è cercato di attenersi il più possibile a tale teoria, soprattutto per quanto riguarda la volontà di incentivare la formazione di una rete territoriale di relazioni tra industrie, che vengono a modellare un sistema aperto.

Tutto questo, tenendo in viva considerazione la qualità e la fattibilità del materiale oggetto di studio e applicando il complesso apparato di normative che governa il campo dei materiali da costruzione.

-

⁴⁹ http://www.systemicdesign.org

5.2. SCELTA DELL'OUTPUT - INPUT: LA LOLLA DI RISO

Dopo aver analizzato, come si evince dai precedenti capitoli, le caratteristiche qualitative e quantitative della malta tradizionale, si è cercato di sostituire parte della componente silicea non rinnovabile, costituita dalla sabbia, utile alla produzione del materiale in questione.

È stata scelta la lolla di riso, quale materiale idoneo alla causa:

non soltanto questa è ricca di silice e, quindi, degna sostituta della sabbia sotto il punto di vista chimico, per di più è largamente reperibile nel territorio piemontese grazie alla presenza di diverse aziende locali, produttrici di riso.

Inoltre, essendo uno scarto, derivante dalla sbramatura del risone, la lolla adempie perfettamente all'esigenza progettuale di trasformare un *Output* in un nuovo *Input*, quindi in una nuova risorsa. Grazie al metodo produttivo sistemico si ottiene una riduzione di risorse non rinnovabili, tradizionalmente utili al processo e, insieme, si raggiunge una considerevole limitazione di rifiuti industriali, come la lolla.

Quest'ultima, nello specifico, è una risorsa che non necessita neppure di trasformazioni aggiuntive una volta emessa dalla filiera, adempiendo così, anche al concetto di riuso.

5.3. SPERIMENTAZIONE IN LABORATORIO

Tutte le fasi della sperimentazione si sono svolte presso il Politecnico di Torino, nei laboratori del DISEG (Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica).

5.3.1. I Materiali

Una volta stabilita la scelta della lolla di riso in sostituzione parziale della sabbia, per la composizione della ricetta sperimentale di malta sistemica, è stato necessario reperire tutti i materiali:

- Lolla di riso;
- Aggregati fini (sabbia);
- Cemento;
- Acqua.

Per quanto riguarda la lolla (fig. 1), è stata gentilmente fornita, per un totale di 10 Kg, dall'azienda agricola Castello, di proprietà delle famiglie Pozzi e Boggio Sella, le quali proseguono da quattro generazioni la coltura del riso⁵⁰.

L'azienda Castello è ubicata presso Castell'Apertole, un piccolo borgo nel cuore della pianura vercellese, dove, inoltre, si erge Palazzo Chiablese, un tempo residenza di caccia di casa Savoia.



Figura 2 - Lolla di Riso.

⁵⁰ http://www.parcoilbabi.it/castell-apertole

La sabbia (aggregato fine), è stata fornita dal Politecnico di Torino e proviene dalla Societè Nouvelle Du Littoral, azienda francese (Leucate) produttrice di Sabbia Standard (fig. 2), conforme alle normative CEN EN 196-1 e ISO 679 : 2009⁵¹.

Si tratta di sabbia naturale con alto valore siliceo, soprattutto nelle frazioni più fini. Le particelle sono generalmente isometriche e dalla forma arrotondata. Una volta pulita, viene asciugata, sottoposta a controlli e smistata in sacchetti di polietilene, i quali possono contenere circa 1.350 ±5g.



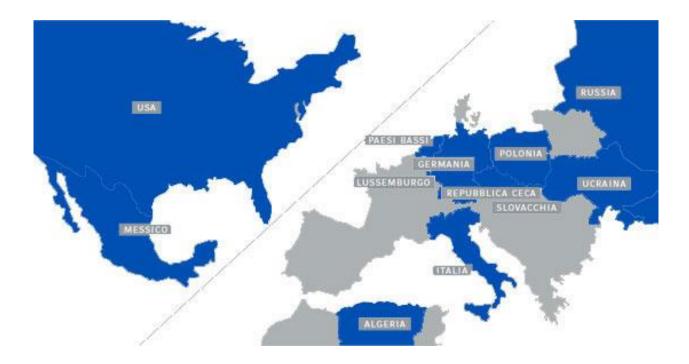
Figura 3 - Sabbia Standard SNL.

⁵¹ http://www.s-n-l.fr/sand_en_0_SNL_societe-nouvelle-du-littoral.html

Anche il cemento è stato fornito dal Politecnico e proviene dall'azienda piemontese Buzzi Unicem. Quest'ultima, è il risultato industriale dell'unione tra la Cementi Marchino, fondata nel 1872 dal geom. Luigi Marchino presso Casale Monferrato (AL) (divenuta nel 1933 Unione Cementi Marchino & C., per fusione della Marchino & C. con la Unione Italiana Cementi, su iniziativa del Senatore Giovanni Agnelli)⁵² e la Fratelli Buzzi S.p.A. fondata nel 1907 da Pietro e Antonio Buzzi, presso lo stabilimento di Trino (VC)⁵³.

L'unione è avvenuta nel 1999, quando Buzzi Cementi ha incorporato Unicem, assumendo la nuova denominazione Buzzi Unicem S.p.A., società quotata alla Borsa Italiana⁵⁴.

Oggi Buzzi Unicem S.p.A. è un'azienda leader nel settore dei materiali da costruzione, quali cemento, calcestruzzo, malte, leganti, aggregati. Possiede sedi e stabilimenti in Italia e in ulteriori 11 Paesi, europei ed extraeuropei⁵⁵ (fig.3).



⁵² http://www.buzziunicem.it/online/it/Home/Chisiamo/Storia/Unicem1872-1998.html

⁵³ http://www.buzziunicem.it/online/it/Home/Chisiamo/Storia/F.lliBuzziCementi1907-1998.html

⁵⁴ http://www.buzziunicem.it/online/it/Home/Chisiamo/Storia/BuzziUnicem1999-2009.html

⁵⁵ http://www.buzziunicem.it/online/it/Home/Chisiamo/Dovesiamo.html

Il cemento fornito per la sperimentazione è di TIPO II/A-LL 42,5 R (fig. 4).

Il TIPO II fa parte dei cementi ottenuti dalla macinazione di clinker, gesso e correttivi naturali quali calcari e pozzolane, disponibili nelle classi di resistenza 32,5 R e 42,5 R.

Tali tipi sono adatti alla realizzazione di calcestruzzi semplici e armati e malte per impieghi normali.

La Buzzi Unicem distribuisce il materiale sfuso, oppure in sacchi da 25 Kg⁵⁶.

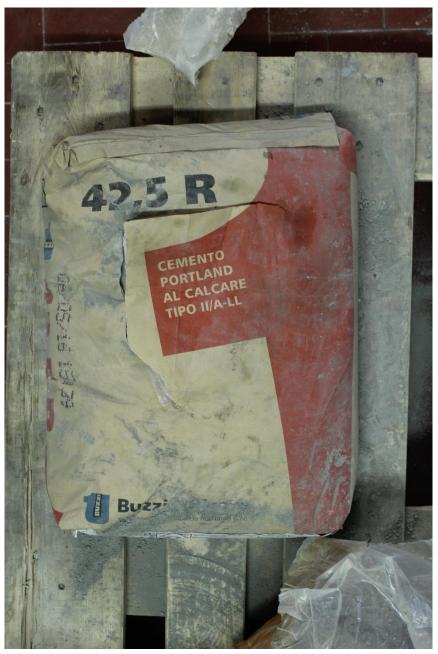


Figura 5 - Sacco da 25 Kg del Cemento utilizzato nella sperimentazione.

⁵⁶ http://www.buzziunicem.it/online/it/Home/Prodotti/Cemento/TIPOII.html

Il cemento utilizzato in fase di sperimentazione, quindi, TIPO II/A-LL 42,5R può contenere dall'80 al 94% di clinker e dal 6 al 20% di calcare ed è ammesso un tenore massimo del 5% di costituenti minori⁵⁷.

Una caratteristica peculiare di tale cemento, conforme alla norma europea armonizzata UNI EN 197/1, è il rapido sviluppo delle resistenze iniziali.

Inoltre è dotato di marchio come previsto dal regolamento europeo 305/2011 (CPR).

Nella seguente tabella sono esposte quelle che sono le caratteristiche chimiche del materiale:

Parametro	Metodo di prova	Valori indicativi	Limiti caratteristici di norma
Solfati (SO ₃)	UNI EN 196/2	<3,5%	<=4,0%
Cloruri (Cl -)	UNI EN 196/2	<0,08%	<=0,1%
Cromo VI solubile in acqua	UNI EN 196/10	<=2 ppm	<=2 ppm

Le caratteristiche fisico-meccaniche sono invece esposte nella tabella di seguito:

Parametri	Metodo di prova	Valori indicativi ⁵⁸	Limiti caratteristici di norma
Superficie specifica Blaine	UNI EN 196/6	3100-4400 cm2/g	
Tempo di inizio presa	UNI EN 196/3	>130 min	>=60 min
Stabilità di volume	UNI EN 196/3	<=10 mm	<=10 mm
Spandimento	UNI 7044	>80%	
Resistenze a compressione dopo	UNI EN 196/1		
stagionatura di			
2 giorni		>25,0 MPa	>=20,0 MPa
28 giorni		>47,0 MPa	>=42,5 MPa

Questo tipo di cemento viene impiegato in molteplici composizioni, tra cui:

- Calcestruzzo armato, normale e non, dotato di notevoli resistenze iniziali e finali;
- Calcestruzzo per strutture prefabbricate e precompresse con disarmo in tempi vicini al getto;
- Calcestruzzo per getti faccia a vista;
- Calcestruzzo dotato di buona pompabilità e lavorabilità, anche in caso di carenza di parti fini nell'aggregato;
- Calcestruzzo gettato a bassa temperatura ambiente (5-10°C).

⁵⁷ http://www.buzziunicem.it/online/it/Home/Prodotti/Cemento/TIPOII/TipoIIA-LL425R.html

⁵⁸ I valori rappresentano il livello al di sopra (o al di sotto) del quale è lecito attendersi il posizionamento dei valori medi, per i parametri indicati, dei cementi BUZZI UNICEM appartenenti al tipo e alla classe indicati in testata, calcolati su base annua e considerando i dati dell'autocontrollo interno.

5.3.2. Analisi Granulometrica

Dato l'obiettivo di sostituire una parte della sabbia con la lolla di riso, è stato necessario effettuare l'analisi granulometrica su entrambi i materiali, in modo da separare e confrontare le frazioni di diversa misura.

Tale analisi è regolata dalla normativa UNI EN 933-1:2012, *Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati* - Parte 1: Determinazione della distribuzione granulometrica - Analisi granulometrica per setacciatura⁵⁹. La presente norma è la versione ufficiale della norma europea EN 933-1 (edizione gennaio 2012) e descrive il metodo di riferimento di setacciatura per via secca, utilizzato per la determinazione della distribuzione granulometrica degli aggregati e viene applicata ad aggregati di origine naturale o artificiale, inclusi quelli leggeri.

La setacciatura è stata effettuata, come da procedura, mediante una serie di setacci disposti a torre (fig. 5), con aperture decrescenti andando dall'alto verso il basso.

In questo caso sono state utilizzate le seguenti aperture:

5,0 mm; 4,0 mm; 3,0 mm; 2,0 mm; 1,6 mm; 1,0 mm; 0,5 mm; 0,16 mm.



Figura 6 - Alcuni dei setacci utilizzati.

⁵⁹ http://store.uni.com/magento-1.4.0.1/index.php/uni-en-933-1-2012.html

5.3.2.1. Setacciatura della Lolla di Riso

La lolla è stata setacciata per prima.

Dei 10 Kg totali di lolla, sono stati setacciati gradualmente 2,16 Kg (quantità precedentemente ipotizzata idonea alla sperimentazione).

Di norma, prima di procedere alla setacciatura, occorre effettuare la quadripartizione (fig. 6), che consente di omogeneizzare la distribuzione granulometrica dei granelli.

In questa operazione, il materiale viene prima mescolato e poi frazionato in quattro parti.

Si è rivelato necessario procedere con piccoli quantitativi di materiale, in quanto oltre a essere voluminosa, la lolla possiede una geometria oblunga (fig. 7), non compatibile con le maglie circolari dei setacci.

Quest'ultima caratteristica ha reso relativamente arduo il processo, per cui c'è stato bisogno di passare a setaccio più volte le stesse frazioni, in modo da massimizzare la precisione dell'analisi.



Figura 7 - Lolla di Riso nella fase di quadripartizione.



Figura 8 – Geometria oblunga della Lolla.

La torre, quindi, è stata scossa per un determinato lasso di tempo, dopo il quale le frazioni di lolla trattenute in ciascun setaccio, ossia i *Trattenuti Parziali*, sono stati pesati. In seguito, il peso di ogni frazione è stato rapportato al peso totale del materiale utilizzato, al fine di ottenere la percentuale (in massa) di lolla trattenuta in ciascun setaccio.

Successivamente si è dovuto calcolare i *Trattenuti Cumulativi* rimasti nei setacci, relativi a tutta la quantità di materiale trattenuta nel setaccio i-esimo ed in quelli sovrastanti, espressi in percentuale rispetto al peso totale del campione. In altre parole, *ad esempio*, il Trattenuto Cumulativo al quarto setaccio (dall'alto verso il basso) indica la somma di materiale trattenuto nel primo, secondo, terzo e quarto setaccio, diviso il peso totale di campione setacciato.

Proseguendo, sono stati calcolati i *Passanti Cumulativi* quantificati come il complemento a 100 dei Trattenuti Cumulativi, espressi ancora in percentuale rispetto al peso totale della lolla setacciata.

Un ulteriore parametro, utile ai fini del calcolo della distribuzione granulometrica, è il *Modulo Di Finezza* (MF), espresso in percentuale e dato dalla somma dei trattenuti cumulativi diviso 100. Il Modulo di Finezza aumenta passando dalla sabbia alla ghiaia grossa, quindi, il valore MF dell'inerte finale è direttamente proporzionale alla percentuale di aggregato grosso presente.

Nella tabella 1, sono riportati i dati relativi all'analisi granulometrica della lolla di riso.

	GRANULOMETRIA LOLLA DI RISO			
Apertura Setacci [mm]	Quantità [g]	Trattenuto Parziale (%)	Trattenuto Cumulativo (%)	Passante Cumulativo (%)
5,0	0,0	0,0	0,0	100,0
4,0	908,0	41,9	41,9	58,1
3,0	371,5	17,1	59	41,0
2,0	156,7	7,2	66,2	33,8
1,6	287,7	13,3	79,5	20,5
1,0	314,4	14,5	94	6,0
0,5	92,7	4,3	98,3	1,7
0,16	29,7	1,4	99,7	0,3
Rimasto	7,9	0,3	100,0	0,0
TOT	2.168,6	100,0	638,6	
Mf			6,3	

Tabella 1 – Granulometria della Lolla di Riso.

5.3.2.2. Setacciatura della Sabbia e Composizione dei Provini

Per quanto riguarda l'inerte fine, quindi la sabbia standard, è stata necessaria l'analisi granulometrica in modo da separare le frazioni e scegliere quelle da sostituire con la lolla di riso per la composizione della malta sostenibile.

L'analisi granulometrica della sabbia è stata eseguita in modo analogo a quella della lolla di riso. Sono stati posti a esame due sacchetti da 1350 g circa, i quali risultati sono esposti nelle seguenti tabelle:

	GRANULOMETRIA SABBIA 33%			
Apertura Setacci [mm]	Quantità [g]	Trattenuto Parziale (%)	Trattenuto Cumulativo (%)	Passante Cumulativo (%)
5,0	0,0	0,0	0,0	100,0
4,0	0,0	0,0	0,0	100,0
3,0	0,0	0,0	0,0	100,0
2,0	3,0	0,2	0,2	99,8
1,6	98,0	7,3	7,5	92,5
1,0	379,0	28,3	35,8	64,2
0,5	448,0	33,4	69,2	30,2
0,16	230,0	17,2	86,4	13,6
Rimasto	183,0	13,6	100,0	0,0
TOT	1.341,0	100,0	299,1	
Mf			2,9	

Tabella 2 - Dati Granulometria Sabbia - Sostituzione del 33%.

	GRANULOMETRIA SABBIA 60%			
Apertura Setacci [mm]	Quantità [g]	Trattenuto Parziale (%)	Trattenuto Cumulativo (%)	Passante Cumulativo (%)
5,0	0,0	0,0	0,0	100,0
4,0	0,0	0,0	0,0	100,0
3,0	0,0	0,0	0,0	100,0
2,0	3,1	0,2	0,2	99,8
1,6	87,0	6,4	6,6	93,4
1,0	354,9	26,5	33,1	66,9
0,5	466,0	34,8	67,9	32,1
0,16	249,0	18,6	86,5	13,5
Rimasto	181,0	13,5	100,0	0,0
TOT	1.341,0	100,0	294,3	
Mf			2,9	

Tabella 3 - Dati Granulometria Sabbia - Sostituzione del 60%.

Nei titoli delle tabelle sono stati utilizzati i riferimenti del 33% (tab. 2) e del 60% (tab. 3) che corrispondono alla percentuale di sabbia da sostituire nella produzione di due provini diversi.

Per il primo provino è stato deciso di sostituire circa il 33% della sabbia, corrispondente al *Trattenuto Parziale* 33,4%, ossia la frazione rimasta nel setaccio con apertura di 0,5 mm. La composizione del secondo provino, invece, prevede una sostituzione di sabbia pari a circa il 60%, percentuale stabilita dalla somma dei *Trattenuti Parziali* dei setacci 0,5 e 1,0 mm, coincidenti rispettivamente a 34,8% e 26,5%.

I dati appena elencati sono evidenziati in grassetto nelle rispettive tabelle.

5.3.3. Calcolo della Densità Apparente

Dopo aver terminato l'analisi granulometrica, è stato eseguito il calcolo della *Densità Apparente* per ciascuna delle frazioni di lolla di riso e di sabbia.

Tale calcolo è stato necessario, in quanto la sabbia deve essere sostituita in Volume e non in peso, dalla lolla.

La densità apparente dei materiali consiste nel rapporto tra la Massa (g) e il Volume (cm³), calcolato senza eliminare l'aria dovuta ai vuoti interstiziali tra i grani.

Gli strumenti adoperati sono stati alcuni cilindri di diverse misure e una bilancia (fig. 8).

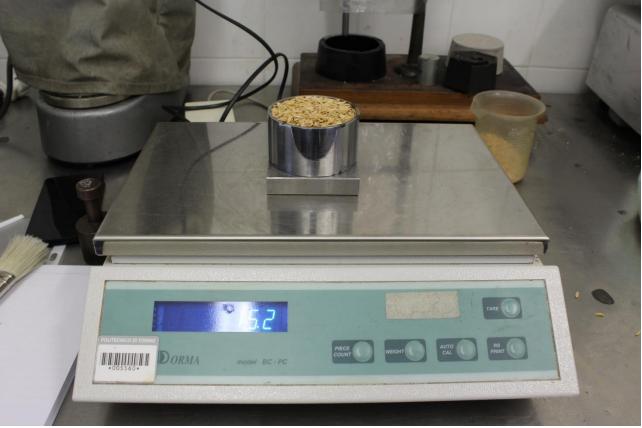


Figura 9 – Bilancia con cilindro contenente un campione di Lolla.

5.3.3.1. Densità Apparente della Lolla di Riso

Per calcolare la Densità Apparente delle diverse frazioni di Lolla, sono stati adoperati quattro cilindri differenti.

- Dalla frazione trattenuta nel setaccio da 4,0 mm a quella da 1,0 mm è stato utilizzato un cilindro dalle seguenti specifiche:

$$\emptyset = 6.7 \text{ cm}$$

H = 4.5 cm

Per calcolare la densità occorre conoscere il volume, dato dalla seguente formula:

$$V = (r^2 \cdot \pi) 4$$

Per cui si ha che:

$$V = (3.35^2 \cdot \pi) 4 = 140 \text{ cm}^3$$

- Il cilindro adoperato per la frazione da 0,5 mm presenta le seguenti misure, da cui il volume derivato dalla precedente formula:

$$\emptyset = 3.8 \text{ cm}$$

H = 3.8 cm
V = 43.0 cm³

- Per la frazione da 0,16 mm (fig. 9) si hanno invece:

$$\emptyset = 1.9 \text{ cm}$$

H = 3.8 cm
V = 10.8 cm³

- Infine, per la frazione corrispondente al Rimasto, si hanno:

$$\emptyset = 1.3 \text{ cm}$$

H = 1.6 cm
V = 2.1 cm³

Una volta ottenuto il Volume e la Massa [g], per ognuna delle frazioni, è stato possibile calcolarne le Densità:

$$d = g/cm^3$$

Applicando tale formula a ciascuna frazione, sono emersi i dati esposti in tabella 4.

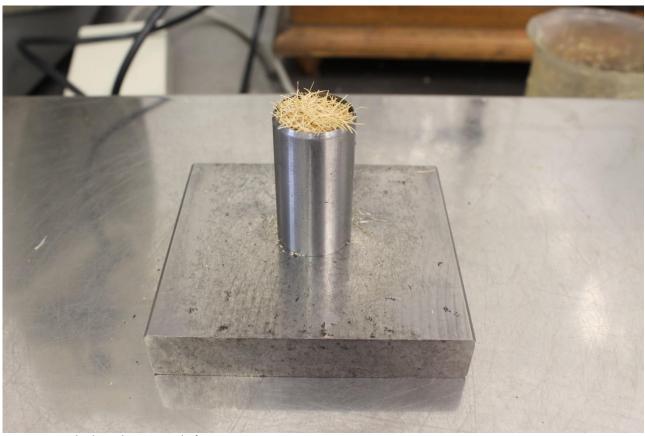


Figura 10 - Cilindro utilizzato per la frazione 0,16 mm.

	DENSITÀ LOLLA DI RISO			
V	Apertura	Quantità	Densità	
Cilindrico	Setacci	[g]	Apparente	
[cm³]	[mm]		[g/cm³]	
140	5,0	N.D.	N.D.	
140	4,0	14,6	0,104	
140	3,0	15,2	0,108	
140	2,0	15,4	0,11	
140	1,6	16,1	0,115	
140	1,0	18,4	0,131	
43	0,5	7,6	0,17	
10,8	0,16	1,7	0,15	
2,1	Rimasto	0,6	0,28	

Tabella 4 - Risultati delle Densità delle frazioni di Lolla

5.3.3.2. Densità Apparente della Sabbia

La sabbia è stata pesata in modo analogo, ma con un solo cilindro (fig. 10) per tutte le frazioni, con le seguenti specifiche:

$$\emptyset = 3.8 \text{ cm}$$

H = 3.8 cm
V = 43.0 cm³



Figura 11 - Cilindro utilizzato per calcolare i Volumi delle frazioni della Sabbia

Ricorrendo alla formula per il calcolo della Densità, sono emersi i risultati esposti in tabella 5.

	DENSITÀ SABBIA			
V	Apertura	Quantità	Densità	
Cilindrico	Setacci	[g]	Apparente	
[cm³]	[mm]		[g/cm³]	
43	5	N.D.	N.D.	
43	4	N.D.	N.D.	
43	3	N.D.	N.D.	
43	2	N.D.	N.D.	
43	1,6	72	1,67	
43	1	73	1,69	
43	0,5	74	1,72	
43	0,16	62	1,44	
43	Rimasto	64	1,48	

Tabella 5 - Densità delle frazioni di Sabbia

5.3.4. Sostituzione della Sabbia nella Composizione della Malta

A questo punto è stato possibile sostituire alcune frazioni di sabbia con la lolla, in quanto sono stati reperiti tutti i dati utili al processo.

Come già accennato nei paragrafi precedenti, è stato necessario effettuare la sostituzione in Volumi e non in Massa, in quanto la sabbia e la lolla, a parità di peso, non presentano la stessa densità.

È stato deciso di produrre un provino di malta standard e due provini con percentuali di lolla differenti per la sperimentazione della malta sostenibile, da comparare al primo.

5.3.4.1. Provino I – Frazione 0,5 mm. Sostituzione del 33% di Sabbia

Per il primo provino è stato scelto di sostituire la frazione di sabbia corrispondente al Trattenuto Parziale del setaccio 0,5 mm.

Dunque, circa il 33% della sabbia totale contenuta nel sacchetto standard.

È stato necessario determinare il quantitativo in grammi della lolla da utilizzare, seguendo la procedura di seguito esposta.

Innanzitutto è stato ricavato il Volume relativo alla frazione di sabbia da sostituire:

$$V = M/d$$

Sapendo, dalle analisi precedenti (tab. 6; 7), che il Trattenuto Parziale 0,5 mm ha una Massa di 448,0 g e una Densità di 1,72 g/cm³, si avrà che:

$$V = \frac{448 \text{ g}}{1,72 \text{ g/cm}^3} = 260,46 \text{ cm}^3$$

	GRANULOMETRIA SABBIA 33%			
Apertura Setaccio [mm]	Quantità [g]	Trattenuto Parziale (%)	Trattenuto Cumulativo (%)	Passante Cumulativo (%)
0,5	448,0	33,4	69,2	30,2

Tabella 6 - Trattenuto Parziale della frazione 0,5 mm.

	DENSITÀ SABBIA				
٧	Apertura Quantità Densità				
Cilindrico	Setacci [g] Apparei				
[cm ³]	[mm]		[g/cm³]		
43	0,5	74	1,72		

Tabella 7 - Densità apparente della sabbia nella frazione 5,0 mm.

Ottenuto tale dato è stato possibile calcolare la massa di lolla idonea alla sostituzione, moltiplicando il Volume della sabbia con la Densità della lolla corrispondente al setaccio 5,0 mm (tab. 8):

$$M = V \cdot d$$

Per cui:

$$M = (0.17 \cdot 260.46) g = 44.3 g$$

Pertanto la quantità di lolla di riso da sostituire nel primo provino, al posto del 33% della sabbia, è pari a 44,3 g.

	DENSITÀ LOLLA DI RISO				
V	Apertura Quantità Densità				
Cilindrico	Setacci	[g]	Apparente		
[cm ³]	[mm]		[g/cm³]		
43	0,5	7,6	0,17		

Tabella 8 - Densità apparente della Iolla nella frazione 0,5 mm.

5.3.4.2. Provino II – Frazioni 0,5 mm + 1,0 mm. Sostituzione del 60% di sabbia.

Per il secondo provino è stata aumentata la quantità di sabbia da sostituire. Si è deciso di arrivare al 60%, sommando i Trattenuti Parziali dei setacci 0,5 mm e 1,0 mm (fig. 11), corrispondenti rispettivamente a 34,8% e 26,5%.

In questo caso sono stati presi in considerazione i dati relativi alla granulometria del secondo sacchetto di sabbia (tab. 9; 10), destinato alla produzione del provino con maggiore percentuale di lolla di riso.

Occorre, anche in questo caso, applicare il procedimento già utilizzato per determinare le quantità da sostituire nel provino I.

Quindi, per prima cosa sono stati calcolati il volume di sabbia e poi la massa di lolla, relativi alla frazione 0,5 mm:

$$V = \frac{466 \text{ g}}{1,72 \text{ g/cm}^3} = 271 \text{ cm}^3$$

$$M = (271 \cdot 0, 17) = 46 g$$

In secondo luogo, sono stati calcolati il volume di sabbia e la massa di lolla relativi alle frazioni 1,0 mm:

$$V = \frac{354.9 \text{ g}}{1.69 \text{ g/cm}^3} = 210 \text{ cm}^3$$

$$M = (210 \cdot 0, 131) g = 28 g$$

Infine, per raggiungere il 60% è stato necessario sommare i quantitativi di lolla derivanti da entrambe le frazioni, 0,5 mm e 1,0 mm:

$$M_{\text{tot.}} = (46 + 28) = 74 \text{ g}$$

Dunque, la massa di lolla da utilizzare per sostituire il 60% di sabbia equivale a 74 g.

	GRANULOMETRIA SABBIA 60%				
Apertura Setacci [mm]	Quantità [g]	Trattenuto Parziale (%)	Trattenuto Cumulativo (%)	Passante Cumulativo (%)	
1,0	354,9	26,5	33,1	66,9	
0,5	466,0	34,8	67,9	32,1	

Tabella 10 - Trattenuto parziale delle frazioni 0,5 mm e 1,0 mm.

DENSITÀ SABBIA			
Apertura	Densità		
Setacci	[g]	Apparente [g/cm ³]	
[mm]		[g/cm [*]]	
1,0	73	1,69	
0,5	74	1,72	
	Apertura Setacci [mm] 1,0	Apertura Quantità Setacci [g] [mm] 1,0 73	

Tabella 9 - Densità della sabbia nelle frazioni 0,5 mm e 1,0 mm.

	DENSITÀ LOLLA DI RISO			
V	Apertura	Densità		
Cilindrico	Setacci [g]		Apparente	
[cm³]	[mm]		[g/cm³]	
140	1,0	18,4	0,131	
43	0.5	7.6	0.17	

Tabella 11 - Densità della lolla nelle frazioni 0,5 mm e 1,0 mm.

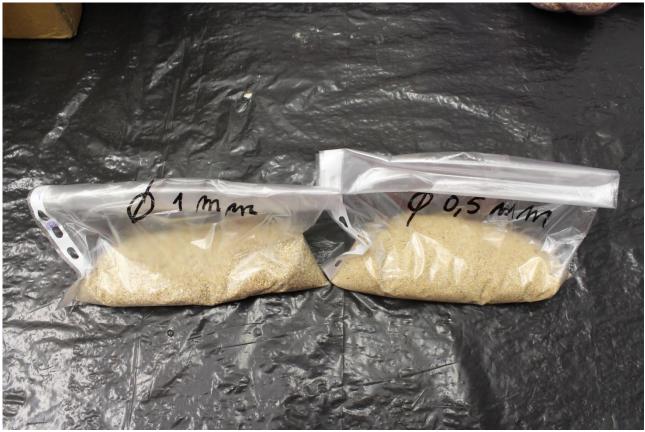


Figura 12 - Trattenuti Parziali si sabbia 1,5 mm e 0,5 mm.

5.3.5. Produzione dei Provini

Terminata la fase di calcolo, in cui sono state definite le quantità di lolla da utilizzare nella sostituzione, è iniziata quella relativa alla produzione vera e propria dei provini, effettuata anch'essa nei laboratori del DISEG presso il Politecnico di Torino.

5.3.5.1. Attrezzature Impiegate

Tutte le attrezzature e gli utensili utilizzati e qui elencati, sono stati messi a disposizione dal Politecnico:

- Una bilancia tecnica scientifica Orma, modello BC (fig. 12);
- Un becker da laboratorio, graduato a 250 ml (fig. 13);
- Un piatto per la pesatura dei materiali;
- Una planetaria da laboratorio per mescolare l'impasto (fig. 14);
- Tre casseforme metalliche da tre provini ciascuna (40x40x160 mm) (fig. 15);
- Un assestatore, per compattare i provini di malta, con contatore Hengstler (fig. 16);
- Spatole e altri piccoli utensili.



Figura 13 - Bilancia Orma modello BC.



Figura 14 - Becker graduato 250 ml.



Figura 15 - Planetaria.



Figura 16 - Cassaforma da tre provini.



Figura 17 - Assestatore con contatore Hengstler.

5.3.5.2. Provino Standard

Gli impasti dei provini sono stati eseguiti come da normativa UNI EN 169-1: 2016 - Metodi di prova dei cementi - Parte 1: Determinazione delle resistenze meccaniche.

Tale norma si inserisce nel quadro dei metodi di prova dei cementi e si occupa della determinazione delle resistenze meccaniche⁶⁰.

Non solo descrive un metodo per la determinazione delle resistenze a compressione e flessione delle malte di cemento, inoltre illustra il processo per la produzione delle stesse miscele.

Per prima cosa, sono stati pesati i materiali necessari all'impasto, ossia il cemento (fig. 17), l'acqua e la sabbia, nelle seguenti quantità:

- Cemento Portland TIPO II/A-LL 42,5 R: 450g;

Acqua Potabile: 225 ml;Sabbia Standard: 1350 g.

Il rapporto acqua/cemento (a/c) di tutti i provini prodotti è pari a 0,5. Il sacchetto di sabbia standard utilizzato contiene circa 1350 g suddivisi in sabbia grossa (450 g), media (450 g), fine (300 g) e finissima (150 g).



Figura 18 - Cemento Portland, 450 g.

-

⁶⁰ http://uni.com

Dopo essere stati pesati, i materiali sono stati impastati insieme tramite procedura standard, secondo la normativa prima citata:

Con la planetaria spenta è stata versata prima l'acqua, seguita dal cemento.

Dopo aver messo in funzione il macchinario, a bassa velocità, si è proceduto alla miscelazione per 30".

Una volta terminato questo breve lasso tempo, con la planetaria ancora in moto, è stata gettata la sabbia in 30" cronometrati.

A questo punto la macchina è stata arrestata, per poi essere immediatamente rimessa in funzione ad alta velocità, per un tempo di 30".

Il passo successivo è stato quello di spegnere la macchina per 1'30" ed estrarre il recipiente. Dopo di che, in 15" l'interno è stato raschiato con una spatola, per poi coprire il tutto con un apposito cappuccio, per 1'15" (Figura 19).

Infine, la planetaria è stata riassemblata e riavviata ad alta velocità per 1'.



Figura 19 - Recipiente coperto dal cappuccio.

Terminata la fase di miscelazione, la malta è stata prelevata gradualmente dalla planetaria per essere distribuita negli appositi spazi di una delle casseforme, dopo che quest'ultima è stata cosparsa con olio disarmante.

In seguito, la cassaforma è stata posizionata sull'assestatore, macchinario che, attraverso i colpi provocati da una caduta controllata, permette di rendere il composto più compatto e omogeneo. Tale strumento è completo di un conta colpi automatico analogico.

Una volta riempiti a metà i tre stampi si è proceduto con i primi 60 colpi.

Altri 60 colpi sono stati assestati in seguito al completo riempimento della cassaforma.

Quindi la quest'ultima è stata estratta dall'assestatore, etichettata e riposta a solidificare per 24h in un ambiente a umidità controllata.

5.3.5.3. Provino 33%

Il provino con la percentuale di sabbia sostituita del 33% è stato prodotto seguendo la stessa procedura di quello standard, con alcune minime variazioni, a partire dalla quantità dei materiali:

- Cemento Portland TIPO II/A-LL 42,5 R: 450 g;

Acqua Potabile: 225 ml;Sabbia Standard: 892,1 g;

- Lolla di Riso: 44,3 g.

Il quantitativo idoneo di lolla di riso, precedentemente definito, pari a 44,3 g (fig. 19), è stato umidificato con acqua potabile e sottoposto nuovamente a pesatura.



Figura 20 - Lolla di Riso, 44,3 g.

Il peso finale della lolla, dopo essere stata umidificata, corrisponde a 62 g, inseriti gradualmente nella planetaria, subito dopo la sabbia.

Una volta terminato il processo della miscelazione, descritto nel paragrafo sul provino standard, la malta è stata distribuita nei tre stampi di una seconda cassaforma, in seguito contrassegnata e riposta, anche questa, in ambiente a umidità controllata per 24h.

5.3.5.4. Provino 60%

Analogamente, è stato prodotto il provino con sostituzione del 60% di sabbia, applicando leggere variazioni:

- Cemento Portland TIPO II/A-LL 42,5 R: 450 g;

Acqua Potabile: 225 ml;Sabbia Standard: 515 g;

- Lolla di Riso: 74 g.

La lolla totale corrisponde ai 28 g della frazione 0,5 mm (fig. 20) sommati ai 46 g della frazione 1,0 mm, per un totale di 74 g (fig. 21).



Figura 21 - Lolla di Riso, 28 g.



Figura 22 - Lolla di Riso, 74 g.

Una volta sommate le due frazioni, la lolla è stata bagnata, raggiungendo i 106,9 g (fig. 21). In seguito, è stata aggiunta poco alla volta nella planetaria durante la fase di miscelazione, come è stato fatto per i provini da 33% di lolla.

Dopo la fase di miscelazione e assestamento, anche questi provini sono stati catalogati e riposti ad asciugare, sempre per 24h.



Figura 23 - Lolla totale con aggiunta di acqua.

5.3.5.5. Disarmo e Maturazione

Terminato il tempo di posa, i provini, ormai solidi, sono stati disarmati e siglati a seconda di tipologia e data di produzione:

- "S 14 6" corrisponde a Malta Standard, prodotta in data 14/06/2017 (fig. 23);
- "L3 14 6" corrisponde a Malta con Lolla 33%, del 14/06/2017 (fig. 24);
- "L6 14 6" corrisponde a Malta con Lolla 60%, del 14/06/2017 (fig. 25);

Uno dei tre provini da 60% è risultato di dimensioni inferiori rispetto agli altri, per cui inutilizzabile ai fini delle prove a flessione e compressione.

Infine, tutti i provini sono stati riposti in un ambiente controllato con temperatura pari a 20°C, umidità relativa pari al 90%, (fig. 26) e lasciati a maturare per 28 giorni, prima di essere sottoposti alle prove meccaniche di cui sopra.



Figura 24 - Provini S - 14 - 6 - Malta Standard.



Figura 25 - Provini L3 - 14 - 6 - Malta Lolla 33%.



Figura 26 - Provini L6 - 14 - 6 - Malta Lolla 60%.



Figura 27 - Provini in fase di maturazione.

5.3.6. Rottura dei Provini

Terminato il periodo di 28 giorni, in data 12/07/2017, è stato possibile iniziare la fase di rottura dei provini, seguendo la normativa UNI EN 169-1: 2016 - Metodi di prova dei cementi - Parte 1: Determinazione delle resistenze meccaniche.

Le prove meccaniche hanno il fine di determinare la resistenza a compressione e flessione delle malte.

5.3.6.1. Prova di Resistenza a Flessione

La prova di resistenza a flessione è stata effettuata su ognuno dei provini idonei.

Per prima cosa, con un calibro, sono state prese le misure esatte di ciascun provino e poi trascritte nell'apposito software TestXpert II, della Zwick/Roell, casa produttrice di macchine per prove di materiali.

Nello stesso software, è stato riportato anche il peso espresso in grammi di ogni provino. Il macchinario utilizzato per comprimere è lo Zwick/Roell Z050 (fig. 27), sotto il quale è stato posizionato l'apparecchio per la prova di resistenza alla flessione delle malte, facendo attenzione a centrarlo nella circonferenza del piatto inferiore.

Uno alla volta, i provini, sono stati collocati con l'asse longitudinale ortogonale rispetto ai rulli di supporto, a loro volta posizionati a 100 mm l'uno dall'altro (fig. 28);

in seguito, la macchina è stata messa in funzione con il carico applicato verticalmente e fatto aumentare uniformemente a una velocità di (50 ± 10) N/s fino a rottura (fig. 29).

Al momento della rottura, il software ha registrato i KN e prodotto le relative curve, visionabili nell'allegato A.

Nelle immagini, è possibile vedere la differenza materica tra un provino Standard, uno al 33% di Lolla e uno al 60% (fig. 30; 31; 32).

Parallelamente, tutte le misurazioni e i KN alla rottura, sono stati schedati manualmente su un blocco note.

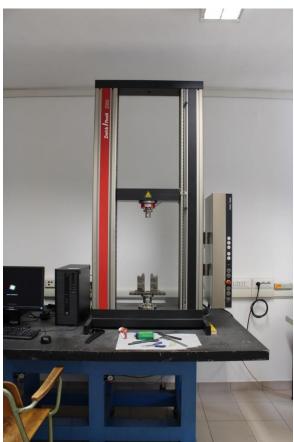


Figura 28 - Macchinario Zwick/Roelle Z050

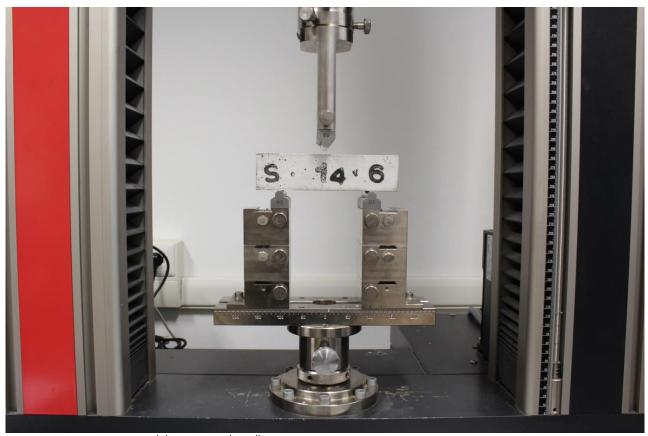


Figura 29 - Posizionamento del provino e dei rulli.



Figura 30 - Interno di un Provino Standard, dopo la rottura.



Figura 31 - Interno di un Provino Lolla 33%, dopo la rottura.



Figura 32 - Interno di un Provino Lolla 60%, dopo la rottura.

5.3.6.2. Prova di Resistenza a Compressione.

Dopo aver effettuato la prova a flessione, i provini cubici ottenuti sono stati sottoposti alla prova di resistenza a compressione.

I campioni contenenti lolla di riso, dalle misure di circa 40x40x40 mm sono stati posizionati uno alla volta sotto l'apparecchio compressore, inserito nel macchinario Zwick/Roell Z050 (fig. 32), il cui carico arriva ad un massimo di 50 kN.

Per i campioni standard, invece, è stato utilizzato lo Zwick/Roell ZMART.PRO (fig. 33), provvisto di un carico superiore a 50 kN, in quanto questi non sono stati sufficienti per raggiungere la rottura.

Al momento della rottura (fig. 34 a - b), i valori sono stati registrati attraverso il medesimo software utilizzato per la prova di resistenza a flessione.



Figura 33 - Apparecchiatura per compressione posizionata nel macchinario Zwick/Roell Z050.



Figura 34 - Zwick/Roell ZMART.PRO con apparecchiatura per compressione in posizione di partenza.





Figura 35 a – b - Compressione e rottura del provino con lolla di riso visibile

5.3.7. Analisi sulla Prova di Resistenza a Flessione

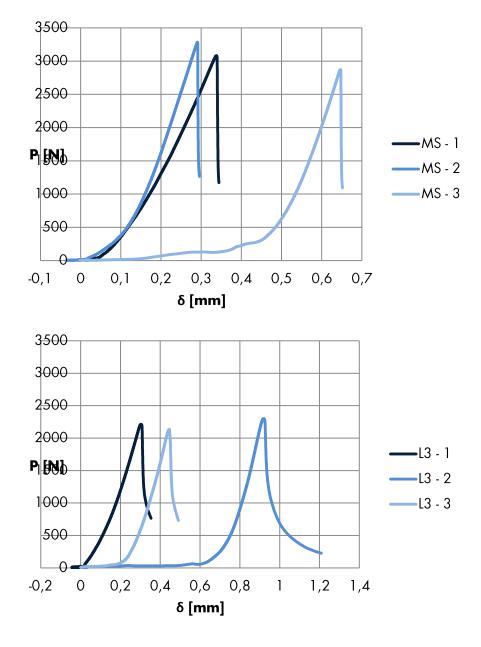
In questa specifica sperimentazione sono stati presi in considerazione i dati relativi alla prova di resistenza a flessione.

Attraverso l'analisi di tali dati è stato possibile mettere a confronto e determinare le caratteristiche meccaniche della malta standard e della malta con lolla di riso, arrivando a definirne l'effettiva possibilità di utilizzo di quest'ultima.

Nei diagrammi di seguito (fig. 35), sono esposte le curve di carico - spostamento (P - δ) per ogni tipo di provino, dove "MS" sta per Malta Standard, "L3" sta per Lolla al 33% e "L6" sta per Lolla al 60%.

Tali curve mostrano il comportamento del materiale dall'inizio della prova di flessione fino alla rottura, indicata dai picchi massimi.

Sull'asse delle ordinate si trova la forza del carico applicato P espresso in [N], mentre sull'asse delle ascisse si può osservare lo spostamento δ , espresso in [mm].



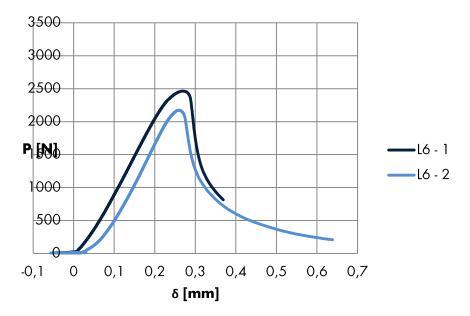


Figura 36 - Risultati dei punti di rottura ottenuti dalla prova a flessione in termini di carico - spostamento medio (P - δ).

Dalle curve $(P-\delta)$ emergono diversi dati, quali P e il corrispondente spostamento δ_p . Da queste informazioni è possibile conoscere σ_{max} , ossia il carico di rottura, che si calcola con la seguente formula:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{6 M_{\text{max}}}{B^3}$$

dove B = 40 mm (fig. 35) e M_{max} è il Momento flettente massimo, ottenuto dall'equazione:

$$\frac{P_{\text{max}} \cdot I}{4} = M_{\text{max}}$$

dove l = 100 mm (fig. 35) e P_{max} è il valore massimo del carico registrato durante il test. I valori ottenuti da tali formule sono esposti nella tabella 12.

Dai dati ottenuti, si evince che la malta standard (MS) presenta i valori più alti di carico massimo applicato P_{max} e del corrispondente carico di rottura σ_{max} , vale a dire una maggiore resistenza alle sollecitazioni di flessione rispetto alle malte con frazioni di lolla di riso L3 e L6.

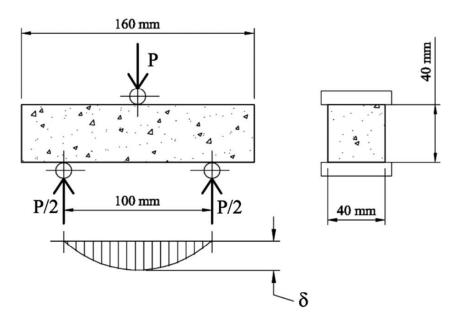


Figura 37 - Schema della prova di resistenza a flessione.

Provino	P _{max} [N]	σ _{max} [MPa]	δ _p [mm]
MS - 1	3.082	7,22	0,33
MS - 2	3.283	7,69	0,29
MS - 3	2.872	6,73	0,64
L3 - 1	2.213	5,18	0,30
L3 - 2	2.300	5,39	0,91
L3 - 3	2.133	5,00	0,44
L6 - 1	2.462	5,77	0,27
L6 - 2	2.172	5,09	0,26

 $ag{Tabella 12}$ - Valori del carico massimo P_{max} , del carico di rottura $\sigma\sigma_{max}$ e dello spostamento relativo al carico $\delta\delta_p$.

Tuttavia, dalle prove di resistenza a flessione è possibile acquisire un ulteriore dato, riconducibile alla duttilità del materiale, nonché alla resistenza a fratture.

Per duttilità si intende la capacità di un corpo o di un materiale di sopportare deformazioni plastiche sotto un dato carico prima di arrivare a rottura.

Tale caratteristica si rivela molto preziosa in quanto migliora la qualità del prodotto in termini di durabilità.

Al fine di ottenere le informazioni relative alla duttilità, è stato applicato un nuovo approccio che definisce il comportamento post-picco delle malte, tratto dall'articolo "The use of wool as fiber-reinforcement in cement-based mortar"⁶¹ di A. Fantilli, S. Sicardi e F. Dotti.

Sono state quindi definite le curve post-picco (fig. 37) a partire dai precedenti diagrammi $P-\delta$. Sulle ordinate sono esposti i valori del carico P relativo a P_{max} , mentre selle ascisse è riportato lo spostamento $\delta-\delta p$.

Osservando le curve in corrispondenza delle ascisse, emerge che il carico residuo per la malta semplice è tendente allo zero, nonché sensibilmente inferiore confrontandolo con lo stesso carico nelle malte con lolla di riso.

Quindi, considerati i dati pervenuti dai diagrammi delle curve post-picco è possibile ricavare le informazioni relative alla duttilità, calcolando l'Area sottesa alle curve (AF) con la regola dei trapezi:

$$A_{F} = \sum_{i} \frac{y_{i} + y_{i+1}}{2} (x_{i+1} - x_{i})$$

Questa operazione è stata effettuata per ogni provino e, in seguito, è stata calcolata l'AF media per ciascun tipo di malta, in modo da confrontare in maniera ottimale i risultati esposti in tabella 13.

98

⁶¹ A. FANTILLI, S. SICARDI, F. DOTTI, *The use of wool as fiber-reinforcement in cement-based mortar*, «Construction and Building Materials, Virtual Special Issue», 2016., p. 7.

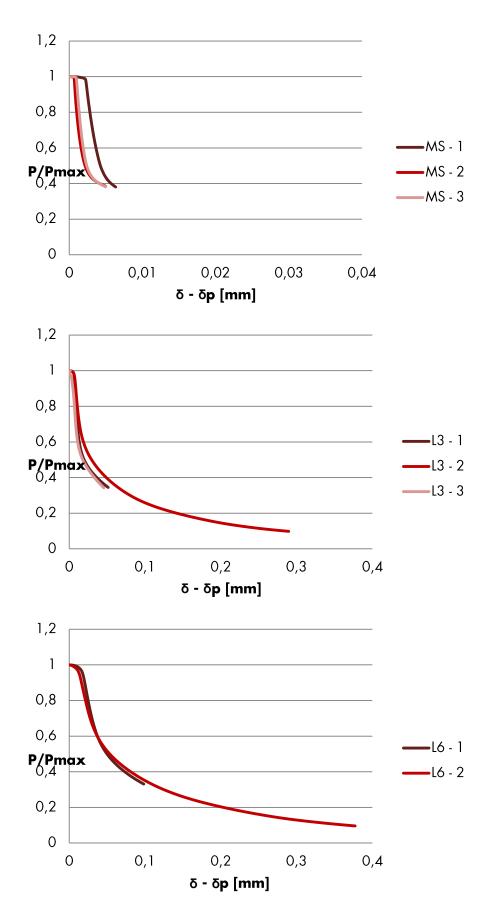


Figura 38 - Risultati post-picco delle malte.

Provino	σ _{max} [Mpa]	AF[mm]	σ _{max} [Mpa] Media	A _F [mm] Media
MS - 1	7,224293518	0,004543		
MS - 2	7,69612484	0,002857		
MS - 3	6,732036209	0,003043		
			7,217484856	0,00261075
L3 - 1	5,188845062	0,02796		
L3 - 2	5,39126358	0,076623		
L3 - 3	5,001341629	0,015178		
			5,193816757	0,039920333
1.4.1	5.770/1077/	0.050700		
L6 - 1	5,770619774	0,058692		
L6 - 2	5,092464638	0,110726		
			5,431542206	0,084709

Tabella 13 - Valori medi σ_{max} e AF per ciascun tipo di malta.

In tabella 13 sono riportati anche i valori medi di σ_{max} utili a confrontare la resistenza a flessione di ogni tipo di malta.

I parametri di σ_{max} e A_F sono stati inseriti in due istogrammi (fig. 38; 39).

È possibile osservare dall'istogramma di fig. 37 che la malta standard (MS) presenta una resistenza meccanica superiore del 38,96% rispetto alla malta L3 e del 32,88% rispetto alla malta L6. Tuttavia, come si evince dall'istogramma di fig. 38, relativo alla durabilità del materiale, i valori medi di AF delle malte con lolla di riso L3 e L6 si distaccano nettamente da quelli della malta standard, risultando superiori di circa 15 e 32 volte, rispettivamente.

Dunque si può affermare che le miscele di malta realizzate con sostituzione della sabbia del 33% e del 60% abbiano una maggiore duttilità, per cui è stato apportato un miglioramento per quanto riguarda la durabilità del prodotto.

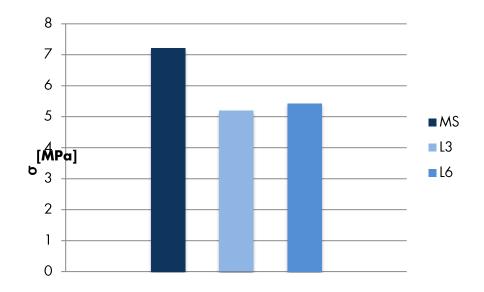


Figura 39 - Valori medi $\sigma\sigma_{\text{max}}$ a confronto.

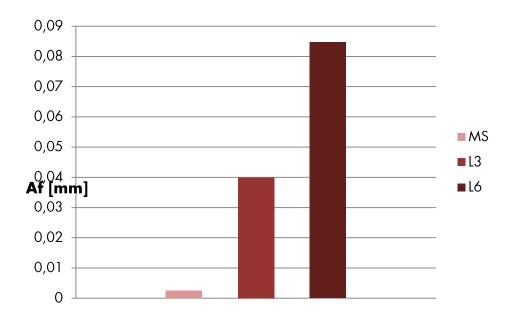


Figura 40 - Valori medi AF a confronto.

5.4. CONSIDERAZIONI SULLA SPERIMENTAZIONE E I RISULTATI

Dopo l'intera fase di sperimentazione, partita dalla scelta della lolla di riso quale componente sostitutiva della sabbia, sono emerse delle considerazioni in merito ai risultati ottenuti e alla stessa scelta di utilizzare un materiale di scarto come nuova materia prima.

Partendo da quest'ultimo concetto, risulta essenziale evidenziare come l'approccio sistemico, anche se in modo graduale, possa essere esteso in tutti i campi industriali, compreso quello dei materiali da costruzione.

5.4.1. Analisi Qualitativa

La lolla di riso, scarto industriale, nonché Output di una filiera produttiva lontana da quella dei materiali da costruzione, qualitativamente si è dimostrata un valido rimpiazzo (anche se parziale) della sabbia, materia prima non rinnovabile.

Infatti, come si è riscontrato durante la sperimentazione, nonostante la malta prodotta con frazioni di lolla di riso sia meno resistente della malta standard alle sollecitazioni meccaniche, presenta una caratteristica dai risultati sensibilmente superiori, come la durabilità, derivante dalla duttilità del materiale.

Di fatto, come già esposto, la durabilità della malta con 33% di lolla (L3) è di circa 15 volte superiore rispetto a quella della malta standard, e ancora, la durabilità della malta con 60% di lolla è circa 32 volte più alta di quella standard.

Inoltre, prendendo quale modello la malta L3, si ottiene che, in proporzione, 1 m³ di malta L3 presenta una massa totale (densità) inferiore del 20% rispetto a 1 m³ di malta standard. Ciò significa, a livello qualitativo, che la malta con lolla di riso è più leggera. Dunque, grazie alle proprie qualità, la lolla è rientrata nella produzione, passando dall'essere Output all'essere Input, così che il consumo di sabbia venga moderato.

5.4.2. Analisi Quantitativa

A questo proposito, è interessante esporre una stima del risparmio effettivo di sabbia che deriva dalla produzione di malta con applicazione dell'approccio sistemico.

Dopo aver eseguito le dovute proporzioni, partendo dalle quantità di materiale utilizzato per la miscela dei provini, si evince che per produrre 1 m³ di malta standard, occorrono circa 1.757 Kg di sabbia

Tale quantitativo è ridimensionato del 33% nel primo caso sperimentato, per cui, per 1 m³ di malta si avrebbero circa 1.161 Kg di sabbia, in quanto la restante parte verrebbe sostituita da 57 Kg di lolla di riso, della frazione 0,5 mm.

Per quanto riguarda la malta con sostituzione del 60%, non è stato possibile proporzionare adeguatamente le quantità dei materiali per 1 m³, poiché dall'impasto iniziale, uno dei tre provini è risultato di massa leggermente inferiore rispetto agli altri.

Tuttavia, ipotizzando che la miscela utilizzata fosse bastata per produrre tre provini uguali, allora per 1 m³ di malta sarebbero bastati 670 Kg di sabbia e 96 Kg di lolla di riso divisi in 60 Kg per la frazione 1,0 mm e 36 Kg per la frazione 0,5 mm.

5.4.3. Considerazioni Conclusive e Possibile Utilizzo delle Malte con Lolla di Riso

Alla luce dei risultati emersi dalla sperimentazione, è possibile affermare che la sostituzione della sabbia con la lolla di riso non determini una generale riduzione qualitativa del materiale e che, al contrario, grazie alle caratteristiche della nuova composizione si ottengono benefici anche in fatto di sostenibilità.

Si può sostenere ciò, in quanto, sebbene avvenga una riduzione di resistenza alle sollecitazioni meccaniche, la durabilità del prodotto è fortemente migliorata, grazie alla duttilità derivante dall'utilizzo della lolla di riso nelle miscele.

La durabilità, soprattutto nel campo delle costruzioni, è una peculiarità molto ricercata e fondamentale, in quanto grazie al miglioramento di tale caratteristica è possibile ottenere un prodotto che abbia una vita più estesa, incidendo positivamente sull'LCA (life cycle assessment), sull'impatto ambientale, e quindi sulla sostenibilità.

Quest'ultima è ottimizzata, oltretutto, dall'applicazione dell'approccio sistemico secondo cui occorre instaurare rapporti tra realtà produttive locali (nella fattispecie, l'azienda produttrice di riso Castello e l'azienda Buzzi Unicem), in modo da innescare una rete di scambi e flussi materici. In questa specifica sperimentazione, l'Output scelto è stato la lolla di riso, che grazie alle qualità affini a quelle della sabbia, è diventata un nuovo Input per la produzione delle malte, anche se in sostituzione parziale.

Le caratteristiche delle malte con lolla di riso, nonché le qualità finora esposte, sono idonee alla produzione di intonaci, i quali verranno descritti nel capitolo successivo.

Concludendo, si può affermare di aver ottenuto risultati positivi utilizzando un approccio sistemico per la produzione di malta con lolla di riso.

Tuttavia occorre ricordare che studi dello stesso genere sono stati affrontati in precedenza, utilizzando altri materiali di scarto come lana, canapa, polimeri, e che questa indagine deve essere intesa come stimolo per nuove sperimentazioni, in modo da migliorare ulteriormente i processi industriali, in chiave sostenibile, e continuare a testare il modello sistemico in maniera approfondita anche nel campo dei materiali da costruzione.



Provino Ló dopo la prova di resistenza a flessione.

6. HUSKPLASTER. PROGETTO PER INTONACO A BASE DI LOLLA DI RISO

Essendo l'intonaco il prodotto scelto per una rivisitazione sistemica, viene approfondito in questo capitolo con un successivo paragone tra quello cementizio tradizionale e "Huskplaster", ovvero il prodotto derivante dalla sperimentazione di questa tesi, nato dall'utilizzo della lolla di riso in sostituzione parziale della sabbia.

Dopo un focus iniziale sull'intonaco tradizionale, nella seconda parte del capitolo viene esposta la descrizione del progetto sistemico per Huskplaster, con relativa valutazione economica.

6.1. L'INTONACO

La normativa che regola l'utilizzo delle malte per la produzione di intonaci è la UNI EN 998-1:2010Specifiche per malte per opere murarie - Malte per intonaci interni ed esterni.

6.1.1. Qualità Prestazionali

Le qualità prestazionali dell'intonaco si definiscono in base a diversi fattori, di seguito esposti. Innanzitutto, le caratteristiche fisiche determinano il comportamento finale del materiale, e tali caratteristiche si distinguono in differenti qualità specifiche: la resistenza agli sbalzi di temperatura (cicli gelo-disgelo), è importante per evitare disomogeneità e fessurazioni, le quali possono compromettere la durabilità del prodotto;

la porosità è un altro fattore fisico che permette l'assorbimento di micro-particelle d'acqua, rendendo l'intonaco impermeabile alle precipitazioni meteoriche in caso di utilizzo esterno; gli aggregati coprono un ruolo di rilievo nella caratterizzazione fisica degli intonaci, in quanto in base alla granulometria determinano il grado di omogeneità e il peso specifico, influendo sulle prestazioni termiche e meccaniche.

Per prestazioni meccaniche si intendono le qualità di: elasticità, che consente al prodotto di adeguarsi a piccole oscillazioni del supporto murario su cui è realizzato; resistenza meccanica quale capacità di resistere a urti accidentali che possono provocare fessurazioni o rotture:

durezza, ovvero la capacità di resistere ad abrasioni, intaccamenti e penetrazioni che potrebbero compromettere la stabilità dell'intonaco.

La durabilità è un'altra qualità fisica che dipende da molti fattori, quali la composizione miscelare dell'intonaco, il metodo di applicazione e il grado di aderenza alla superficie muraria su cui è collocato, il microclima dell'ambiente di destinazione, ecc.

Tuttavia, se la miscela risulta essere ben studiata, l'applicazione viene eseguita a regola d'arte e l'ambiente è asciutto e aerato, un intonaco per interni potrebbe avere una longevità pari a quella dell'edificio stesso, al contrario, senza queste situazioni favorevoli, la vita media di un intonaco, soprattutto se per esterno, non dura più di 30 anni.

Altre qualità fisiche, che determinano il comportamento prestazionale dell'intonaco sono le qualità acustiche, utili per un miglioramento del comfort acustico dell'ambiente; le qualità ottiche che, in base ai lavori di finitura, determinano la percezione degli spazi; le qualità termiche, che riguardano l'isolamento termico, importante per il risparmio energetico, e la dilatazione termica, che l'intonaco presenta in base agli sbalzi termici. Inoltre, l'intonaco possiede un coefficiente di dilatazione, il quale più è simile a quello della muratura, maggiormente è scongiurato un distacco del materiale.

Le qualità prestazionali dell'intonaco risultano massimizzate nel caso in cui l'aderenza al supporto murario sia ottima. È importante sapere che il rapporto tra il rivestimento e la muratura che lo supporta è regolato dalla compatibilità chimico-fisica reciproca.

Al fine di ottenere i migliori risultati, è necessario che la superficie di destinazione dell'intonaco sia costruita a regola d'arte, senza difetti, abbastanza asciutta, pulita e ruvida.

Per cui è idoneo controllare le condizioni della muratura prima di procedere alla posa dell'intonaco.

6.1.2. Classificazione

Classificazione.

Gli intonaci vengono classificati in base a diversi fattori, quali gli ambiti di utilizzo, ad esempio interno, esterno, ecc., e inoltre, una distinzione generale può essere fatta tra intonaci *ordinari* e intonaci *speciali*.

Nel primo caso si hanno tipi di intonaco costituiti da materiali comuni e realizzati con attrezzature, maestranze e tecniche di esecuzione tradizionali.

Nel caso degli intonaci speciali, si parla di miscele con elementi aggiuntivi, quali gli additivi e con caratteristiche peculiari, che soddisfino necessità specifiche.

Intonaci ordinari.

Il tipo più diffuso di intonaco è quello ordinario, costituito e realizzato con materiali e tecniche tradizionali, come appena detto. Tali intonaci sono scindibili, a loro volta in intonaci miscelati in cantiere e premiscelati.

Per quanto riguarda gli intonaci miscelati in cantiere, come si intuisce, il loro impasto viene preparato direttamente sul posto in cui verrà poi posato.

Di questa categoria fanno parte i seguenti intonaci:

- a base di gesso;
- a base di calce aerea;
- a base di calce idraulica;
- a base di malta bastarda;
- a base di cemento.

Gli intonaci premiscelati, invece, sono delle miscele secche, preventivamente dosate dall'azienda produttrice e già contenenti tutti gli elementi necessari, ovvero leganti, inerti e additivi. In questo caso, l'unica componente che occorre aggiungere in cantiere è l'acqua e con l'uso di tali miscele si evita di andare incontro a errori di dosaggio o a sprechi.

Tuttavia, gli aspetti negativi dell'impiego dei premiscelati si hanno nell'imprevedibilità del loro comportamento durante la permanenza in opera, a causa degli additivi sintetici presenti a priori.

6.1.2.1. Intonaci a base di Cemento

Poiché la miscela prodotta durante la sperimentazione di questa tesi è a base di cemento, viene esposto, di seguito, un breve approfondimento sugli intonaci cementizi, ossia i prodotti tradizionali più simili per composizione all'intonaco sperimentale Huskplaster.

Composizione

l'intonaco a base di cemento è costituito da una miscela composta da cemento, generalmente Portland, sabbia e acqua.

Anche in questo caso è possibile ottenere le materie prime, dosarle e mescolarle direttamente in cantiere, con l'ausilio di macchine specifiche, quali impastatrici e betoniere, oppure utilizzare intonaci cementizi premiscelati.

Miscelazione in cantiere

Come già evidenziato, nel caso di produzione in cantiere ci potrebbero essere delle complicanze per il dosaggio oppure si potrebbero verificare degli sprechi di materiale.

È importante che il cemento non abbia assorbito umidità durante la fase di stoccaggio, altrimenti si potrebbe verificare la formazione di grumi, i quali nella fase di impasto e a contatto con l'acqua, assumerebbero un comportamento di inerte e non più di legante.

Per quanto riguarda gli aggregati, ovvero la sabbia, si preferisce quella di tipo calcareo nel caso di impiego per intonaco di fondo risanante;

si preferisce, invece, sabbia marmorea, di quarzo o silicea per gli intonaci destinati alle finiture, come nel caso dell'intonaco prodotto in questo progetto.

Un aspetto fondamentale degli aggregati è la loro granulometria, che determina la velocità di presa e indurimento della malta: più gli inerti sono fini, maggiore è la velocità di trasformazione dei granelli in agglomerati per ottenere la massa monolitica e maggiore, inoltre, risulta la resistenza meccanica.

Tuttavia, con la presenza di inerti molto fini si potrebbe generare il ritiro della malta, in fase di maturazione.

La questione del dosaggio è fondamentale, in quanto si tratta di un momento decisivo per la produzione di un intonaco dalle alte prestazioni.

Generalmente si hanno i seguenti rapporti tra gli elementi:

- rapporto acqua cemento: 0,5, ovvero data un'ipotetica quantità di 600 Kg di cemento, si avranno 300 litri d'acqua.
- rapporto cemento sabbia: 1:2,5 o 1:3, vale a dire, ad esempio, per 1 m³ di sabbia servono 600 Kg di cemento⁶².
- rapporto acqua sabbia: occorre diminuire lievemente la quantità d'acqua, se la sabbia impiegata risulta già umida.

Caratteristiche generali

Un fattore che influenza la lavorazione è la temperatura, infatti, all'aumentare di quest'ultima, si ottiene un'accelerazione dell'indurimento del materiale e, al contrario, con basse temperature la presa rallenta e si annulla in circostanze con temperature al di sotto dello zero.

Durante la maturazione, poi, l'intonaco potrebbe mostrare fenomeni di ritiro, causati soprattutto da un dosaggio in cui il cemento risulta eccessivo.

Nonostante le malte cementizie, quindi gli intonaci a base di cemento, abbiano una consistenza considerevole, durezza elevata e ottime prestazioni meccaniche, se durante il ritiro si verificano microfessurazioni, viene intaccata la durabilità del materiale, in quanto ha inizio un progressivo avanzamento del degrado.

Gli intonaci cementizi presentano una porosità ridotta, ciò comporta una limitazione del deflusso d'acqua e di vapore. Ciò si traduce come un fattore positivo in caso di resistenza agli agenti atmosferici o alle infiltrazioni, tuttavia non essendo traspirante, non permette di regolare il microclima ambientale.

Un'altra caratteristica di questo materiale è la scarsa elasticità, ovvero il possesso di un basso coefficiente di dilatazione elastica.

Tale situazione rende l'intonaco a base di cemento non idoneo all'applicazione su superfici più tenere ed elastiche, in quanto tenderebbe a non adattarsi al supporto. Inoltre potrebbe venire a crearsi un distaccamento dello strato di malta e addirittura una condensa interna, a causa delle

⁶² C. A. REYNERI, *Intonaci in bioedilizia*, Edicom Edizioni, Ronchi dei Legionari (GO), 2003.

scarse qualità traspiranti del materiale. Tale condensa, a 0°C congela, provocando il distaccamento tra l'intonaco e la muratura.

6.2. POSA IN OPERA

La posa in opera dell'intonaco consiste in una stratificazione della malta, che può variare da due a tre strati, in base alle necessità d'uso finale.

L'operazione di posare più livelli risulta indispensabile, dal momento che un solo strato non sarebbe sufficiente ad assolvere le diverse funzioni dell'intonaco.

Tali sovrapposizioni, inoltre, rendono il materiale meno incline al fenomeno di ritiro, limitano le microfessurazioni e facilitano la fuoriuscita del vapore acqueo derivante dall'acqua dell'impasto.

6.2.1. Gli Strati

Gli strati che costituiscono l'interezza dell'intonaco sono generalmente tre:

- il *rinzaffo*. Si tratta del primo strato, detto anche strato di aggrappo, di fondo, di aderenza; la sua funzione è quella di aggrappo alla base, della regolarizzazione di assorbimento idrico della stessa e di livellamento. La sua stesura garantisce la massimizzazione della compatibilità tra l'intonaco e il supporto murario e la resistenza meccanica di tale strato risulta la più elevata, rispetto a quella degli altri.

Lo spessore del rinzaffo varia da 0,5 cm, con funzione aggrappante, a 2 cm, con funzione regolarizzante. Se la superficie di sostegno è abbastanza omogenea, si può fare a meno di questo strato, al contrario, se è troppo liscia, si procede schizzettando della malta grassa.

- l'arriccio è il secondo strato e può essere definito anche arricciatura, traversato, arricciato, strato di regolarizzazione, strato intermedio o corpo dell'intonaco. Si tratta di uno strato di livellamento e ha diverse funzioni, tra cui la tenuta idrica e garantire una superficie dalla texture bilanciata, non troppo liscia ne' troppo ruvida. La resistenza meccanica risulta media, come anche la porosità. La sua applicazione viene eseguita subito dopo aver posato il rinzaffo, prima che quest'ultimo faccia presa.

Per quanto riguarda lo spessore, questo varia da 1 a 1,5 cm.

- il *velo*, o strato di finitura, strato di colla, colla di malta, è l'ultimo strato e viene steso in modo che risulti perfettamente liscio, per garantire una superficie omogenea e piana.

Si tratta dello strato con minor resistenza meccanica e maggiore porosità e la granulometria degli inerti deve essere molto fine.

Nei casi di intonaci non cementizi, per attribuire una colorazione alla parete, si possono aggiungere delle terre colorate nella miscela.

Se si tratta di intonaco a malta cementizia, invece, occorre far terminare del tutto il processo di posa, per poi applicare delle pitture sintetiche.

6.2.2. La Tecnica

La posa in opera dell'intonaco richiede grande attenzione, in quanto si ha la necessità di ottenere una superficie perfettamente omogenea e uno spessore costante.

La tecnica per l'esecuzione manuale della posa comprende diverse operazioni:

Operazioni preliminari.

- analisi della superficie di supporto. Nella prima fase occorre controllare preventivamente che la superficie muraria sia in condizioni ottimali, infatti, un supporto irregolare richiederebbe un intervento di ripulitura della superficie e dei giunti, in modo da migliorare l'omogeneità e il successivo aggrappo degli strati di intonaco;
- inumidimento del supporto. Ancora nella fase precedente alla posa è necessario un inumidimento della parete tramite un pennello imbevuto d'acqua o una pompa per idratazione. Questa operazione serve a far fuoriuscire l'aria presente negli interstizi della base, per evitare che durante la stesura della malta venga ridotta la coesione tra i diversi elementi. Inoltre, grazie all'inumidimento, si risolve il problema della suzione, ovvero dell'assorbimento d'acqua tra due materiali con igrometria differente. Infatti, se la base non venisse inumidita, tenderebbe ad assorbire l'acqua presente nell'impasto, rendendo quest'ultimo disidratato, causando un peggioramento delle prestazioni meccaniche del prodotto finito.
- valutazione delle condizioni ambientali. È importante accertarsi che la temperatura dell'ambiente in cui deve avvenire la posa sia compresa tra i 5° e i 30°C. Infatti, al di sotto di tale soglia si verifica il congelamento dell'acqua presente nell'impasto, mentre al di sopra si andrebbe incontro alla sua evaporazione.

6.2.2.2 Applicazione degli Strati

Al termine dei controlli preliminari avviene la posa in opera vera e propria, che consiste, appunto, nella stratificazione della malta:

- posa del primo strato. Il rinzaffo, come già detto, viene posato per livellare la base, regolarizzarne l'assorbimento dell'acqua e per garantire un aggrappo gli altri strati successivi.
- capisaldi e guide. La realizzazione dei capisaldi è utile per regolare lo spessore del secondo strato, l'arriccio. I capisaldi sono costituiti da frammenti di laterizi o conci in pietra, dello spessore corrispondente a quello programmato per lo strato di intonaco. Il fissaggio di tali ausili alla parete avviene tramite la stessa malta che costituisce l'intonaco e la loro disposizione si effettua allineandoli in maniera orizzontale e verticale, con una distanza tale da permettere la posa dell'impasto. Per quanto riguarda le guide, si tratta di fasce verticali di malta compattata, larghe ca. 15 cm, che servono a unire i capisaldi.
- posa del secondo strato. L'arriccio va posato negli spazi creati dalle guide, facendo attenzione alle screpolature eventuali, che occorre lisciare e livellare velocemente con uno strumento chiamato regolo.
- posa del terzo strato. Il velo si stende e si liscia per mezzo di un frattazzo ed eseguendo movimenti circolari. Occorre porre particolare attenzione in punti particolari, come gli spigoli vivi o le intersezioni tra una parete e l'altra.

Pe realizzare gli spigoli, bisogna fissare un listello rettilineo piallato alla parete, con un fianco sullo stesso piano delle guide, per generare lo spigolo con l'altra parete. Quindi si intonaca lo spazio che c'è tra il listello e le guide. La stessa azione si effettua sulla parete incidente, così che si formi lo spigolo.

6.3. PROGETTO PER INTONACO CEMENTIZIO STANDARD E HUSKPLASTER

Dopo la fase sperimentale di questa tesi, e dopo aver appurato l'idoneità della malta con lolla di riso alla realizzazione di intonaco "Huskplaster", come stadio conclusivo, si propone un progetto di applicazione del prodotto, utile a valutarne le caratteristiche qualitative, quantitative e i costi. Data la granulometria degli inerti nella malta sperimentale, questa risulta idonea in particolare alla realizzazione dei primi due strati di intonaco, ovvero il rinzaffo e l'arriccio, i quali verranno presi in considerazione per le diverse valutazioni, in questa fase progettuale.

Nonostante Huskplaster abbia caratteristiche ottimali sia per la produzione di intonaci esterni, sia di interni, saranno questi ultimi ad essere presi in considerazione quali modelli dimostrativi.

6.3.1. Rilievo di un Edificio di Civile Abitazione

A questo punto, per poter effettuare il confronto tra un intonaco cementizio tradizionale e Huskplaster è necessario studiare entrambi in relazione alla rispettiva applicazione. Inoltre, ai fini di garantire una valutazione scientificamente attendibile, occorre che la base su cui andranno impiegati i materiali sia la medesima.

Alla luce di ciò, è stato effettuato il rilievo di un Edificio di tipo A/2, il quale corrisponde alle Abitazioni di tipo Civile, secondo le Categorie Catastali utilizzate in Italia per classificare i beni immobili.

Per Civile Abitazione si intendono quelle "unità immobiliari appartenenti a fabbricati con caratteristiche costruttive, tecnologiche e di rifiniture di livello rispondente alle locali richieste di mercato per fabbricati di tipo residenziale"⁶³.

In questo caso, è stato preso quale modello un edificio di 8 piani, ciascuno contenete dalle 4 alle 5 unità abitative, con una metratura complessiva (comprendente il vano scala e intradosso del solaio) di 1.758,73 m² per piano (fig. 40), per un totale di 14.069,84 m² (pianta e prospetto completi, in allegato).

L'ultimo valore indica la superficie totale degli interni su cui andrà applicato l'intonaco (rinzaffo e arriccio).

Sapendo che i due strati di intonaco impiegati per il rivestimento del supporto murario raggiungono lo spessore totale di 3 cm e che la superficie è pari a 14.069,84 m² si ottiene, dal prodotto di tali dati, il volume complessivo di intonaco necessario, ovvero 422,1 m³. Tale valore sarà il medesimo per il rivestimento tradizionale e per Huskplaster.

-

⁶³ https://www.amministrazionicomunali.it

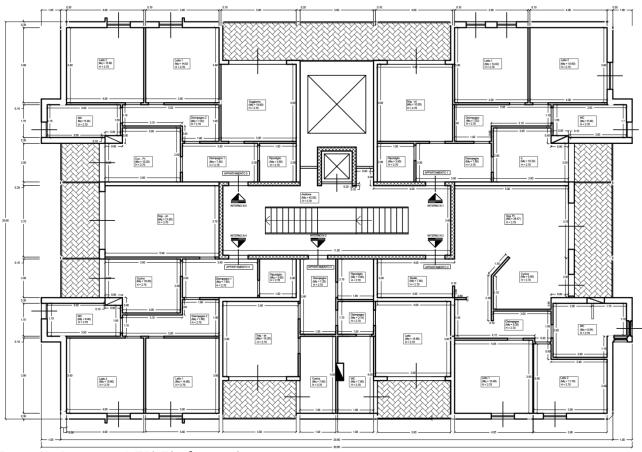


Figura 41 - Pianta tipo; 1.758,73 m², piano 8.

6.3.2. Impiego dell'Intonaco Cementizio Tradizionale

A partire dalle quantità di materiale utilizzato nella realizzazione dei provini, è stata ottenuta la proporzione idonea dei componenti per ottenere il volume di intonaco opportuno, pari a 422,1 m³. Poiché, inoltre, nel mercato dei materiali da costruzione è prevista la vendita di materiale o sfuso, o in sacchi da 25 Kg, sono stati utilizzati questi ultimi per definire in maniera pratica non solo le quantità, ma anche i costi.

Si ha quindi che per il volume di 422,1 m³ di intonaco cementizio, sono necessari:

- cemento Portland: 236.293,5 Kg, ovvero 9.451,7 sacchi da 25 Kg;
- sabbia: 708.880,4 Kg, ovvero 28.355,2 sacchi da 25 Kg;
- acqua: 111.146,7 Kg.

I Costi dell'intonaco tradizionale.

Il costo complessivo di tali materiali, al netto di manodopera è pari a €175.019 divisi per:

- cemento Portland: €47.258,7;
- sabbia: €127.598,5;
- acqua: €161,9.

Il calcolo del materiale, insieme alla manodopera è pari a €25,44 al m².

6.3.3. Impiego dell'Intonaco Huskplaster

Per quanto riguarda, invece, l'intonaco Huskplaster, si ha che per il volume di 422,1 m³ occorrono:

- cemento Portland: 236.639,5 Kg, ovvero 9.355,5 sacchi da 25 Kg;
- sabbia: 462.606,3 Kg, ovvero 18.504,2 sacchi da 25 Kg;
- acqua: 116.819,7 Kg;
- lolla di riso: 23.364 Kg.

I Costi di Huskplaster.

- cemento Portland: €47.258,7;
- sabbia: €127.598,5;
- acqua: €161,9;
- Iolla di riso: €0,0.

Il costo complessivo in questo caso, equivale a €130.157, al netto di manodopera, mentre il costo al metro quadro, comprensivo di manodopera risulta pari a €22,25.

6.3.4. Comparazione e Conclusioni

Partendo da un paragone qualitativo, l'intonaco Huskplaster risulta adeguato alla realizzazione di intonaco non strutturale, esattamente allo stesso modo della malta cementizia tradizionale. In più, date le prove di resistenza a flessione nel capitolo precedente, Huskplaster risulta essere più duttile di un intonaco senza lolla di riso, quindi più durevole.

A livello materico, inoltre, la sabbia sostituita costituisce la componente silicea del prodotto, che viene ricostituita dalla natura altrettanto silicea della lolla.

La lolla impiegata nella produzione di intonaco per gli interni di un solo edificio è pari, come visto a 23.364 Kg, una quantità molto elevata di output, che torna ad essere input, con vantaggi sia per l'azienda risicola, la quale deve preoccuparsi di smaltire tali scarti, sia per le imprese di

costruzione, o le aziende che vogliano utilizzare questo materiale come inerte, in quanto risulta gratuito.

In più, in senso di sostenibilità, non solo l'intonaco risulta più durevole, ma fa anche a meno di ben 246.274 Kg di sabbia, materia prima non rinnovabile.

Per quanto riguarda l'aspetto economico, tenendo in considerazione i costi dei materiali ed escludendo i costi fissi relativi alla manodopera, si ha un risparmio totale di €44.862, mentre nel caso specifico della sabbia si ha una riduzione dei costi del 35%, vale a dire di €44.329, rispetto all'intonaco tradizionale.

8. CONCLUSIONI

Dati i risultati emersi dalla sperimentazione, in conclusione, si afferma che la sostituzione della sabbia con la lolla di riso non determini un peggioramento qualitativo del materiale, bensì, come visto nel capitolo precedente, grazie alle caratteristiche della nuova composizione si ottengono benefici anche in fatto di sostenibilità.

Nonostante si sia registrata una riduzione di resistenza alle sollecitazioni meccaniche, la durabilità del prodotto risulta è fortemente incrementata, in quanto con l'utilizzo della lolla di riso nelle miscele, si ottiene una maggiore duttilità.

Nel campo delle costruzioni, la durabilità si rivela essere una peculiarità essenziale davvero ambita, in quanto massimizzando la durabilità è possibile ottenere un prodotto che abbia una vita più estesa, incidendo positivamente sull'LCA (life cycle assessment), sull'impatto ambientale, e di conseguenza, sulla sostenibilità.

L'approccio sistemico che è stato applicato, secondo cui occorre instaurare rapporti virtuosi tra realtà produttive locali in modo da innescare scambi e flussi materici, influisce fortemente sul miglioramento della stessa sostenibilità, sia intesa come ambientale, sia territoriale: il concetto di scarto che diventa nuova risorsa, dunque la teoria secondo cui un Output ritorna ad essere Input, è stata messa in pratica in questa sperimentazione.

L'Output scelto, dopo accurate ricerche sulle qualità, è stato la lolla di riso, diventata nuovo Input nella produzione delle malte, al posto della sabbia.

Nonostante la sostituzione di questa componente non rinnovabile sia stata solo parziale, il fatto stesso di aver raggiunto un miglioramento complessivo per quanto riguarda la qualità e la sostenibilità della malta, rende positivo l'esito della sperimentazione, per cui si potrebbe affermare che l'obiettivo di dimostrare la fattibilità produttiva di malte attraverso l'approccio sistemico, sia stato raggiunto.

Tuttavia, sarebbe idoneo guardare a questo progetto di tesi non come sperimentazione fine a sé stessa, bensì come uno spunto, una base, per continuare ad approfondire gli studi sull'approccio sistemico applicato alla produzione dei materiali da costruzione.

Se, in questo caso specifico, l'attenzione è stata posta sulle materie prime per la produzione di malte, in uno studio futuro si potrebbe ampliare l'orizzonte, e cercare di rendere più sostenibile l'intera filiera del cemento, considerando anche gli Output e gli Input di acqua, energia, e di tutti i restanti elementi che mandano avanti il sistema.

Purtroppo le filiere dei materiali da costruzione non sono semplici da convertire da lineari a sistemiche, in quanto è necessario che i prodotti e i semi-lavorati uscenti rispettino i rigidi standard in favore delle alte performance meccaniche e qualitative richieste dalle normative.

Ciò non toglie che si possano lentamente ricercare delle soluzioni proprio guardando all'approccio sistemico, quale linea guida per il cambiamento.

9. RINGRAZIAMENTI

Arrivata alla conclusione dei due anni previsti per il conseguimento della laurea magistrale, nonché la fine di tutta la mia carriera universitaria, sento doveroso porgere dei ringraziamenti a tutti coloro che mi hanno sostenuta.

Ringrazio moltissimo i Professori Pier Paolo Peruccio e Alessandro Fantilli, i quali mi hanno guidata nell'affrontare questo progetto di tesi, dandomi fiducia.

È doveroso ringraziare, inoltre, il personale della Biblioteca di Architettura del Castello del Valentino, e un ringraziamento particolare, agli assistenti del Laboratorio presso il DISEG del Politecnico di Torino.

Tuttavia, nel momento in cui si affronta un percorso complesso e pieno di imprevisti, come può essere quello per una tesi di laurea, il coraggio e la voglia di continuare a sbatterci la testa arrivano da una cerchia differente da quella istituzionale: gli amici e la famiglia.

In fin dei conti, i risultati che si ottengono nella vita, in qualunque ambito, hanno una valenza differente se volti non soltanto alla realizzazione dell'individuo che li raggiunge, ma anche alla felicità generata nelle persone care che quotidianamente l'accompagnano tra alti e bassi (molto bassi).

Sono stata trapiantata, io.

O meglio, mi sono trapiantata da sola, dalla Puglia al Piemonte (non molto in linea con la valorizzazione del territorio, decantata dalla mia stessa tesi).

E in questa regione, per me non proprio a Km 0, ho trovato un "sistema" che mi ha inglobata perfettamente. Il sistema in questione non è un'azienda: si chiama Terzo Piano del Collegio Einaudi e non solo è stata casa mia per tutti questi anni, ma mi ha regalato tantissimi Input (si legga persone) che hanno contribuito alla mia crescita umana e intellettuale.

A questo proposito devo un ringraziamento speciale ai miei Input fondamentali: Alvaro, Angela, Marco e Mino.

Inoltre ringrazio le mie amiche di sempre, Eleonora e Ilenia, a cui voglio bene in modo fraterno.

Infine, la mia più grande riconoscenza va alla mia famiglia.

A Michele, che mi ha sempre incoraggiato nei modi più disparati e coloriti, come solo un fratello sa fare.

A Gerino, che mi trasmette sicurezza, serenità e da cui ho sicuramente ereditato la propensione allo studio notturno (necessario, anche nel caso specifico di questo lavoro), quindi, grazie papà.

A Marisa, Donna forte e Madre amorevole, nonché mia più grande fonte d'ispirazione.

BIBLIOGRAFIA

- V. ALUNNO ROSSETTI, Il calcestruzzo: materiali e tecnologia, McGraw-Hill, Milano, 2007.
- G. ARDIZIO, Strade, cascine, risaie. Guida al paesaggio rurale della città di Vercelli, Editore Gallo, Vercelli, 2017.
- G. BACCI, L. BERTOLINI, H. BURNS, F.P. DI TEODORO, Saggi di letteratura architettonica : da Vitruvio a Winckelmann, Olschki, Firenze, 2010.
- L. BERTOLINI, P. PEDEFERRI, *Tecnologia dei materiali*. *Leganti e calcestruzzo*, Città Studi Edizioni, Torino, 2004.
- L. BISTAGNINO, Design Sistemico, Slow Food Editore, Bra, 2009.
- M. BORGIA, V. MASOTTI, Il riso. Dal campo alla tavola, Neos Edizioni, Torino, 2015.
- F. CAPRA, La rete della Vita, Biblioteca Univ. Rizzoli, Milano, 2001.
- M. COLLEPARDI, Scienza e tecnologia del calcestruzzo, HOEPLI, Milano, 1991.
- M. COLLEPARDI, S. COLLEPARDI, R. TROLI, Il nuovo calcestruzzo, Tintoretto, 2009.
- A. FARESIN, Architettura in calcestruzzo. Soluzioni innovative e sostenibilità, UTET, Torino, 2012.
- C. GORIA, Lezioni di tecnologia dei materiali dell'architettura, Giorgio, Torino, 1975.
- C. GORIA, L. CUSSINO, V. BORASI, Cemento. Storia Tecnologia Applicazioni, Fabbri Editori, Milano, 1976.
- G. LAZZARINI, P. LAZZARINI, S. ROTA, La singolarità del territorio vercellese. Il turismo come fonte di rinnovamento economico e sociale, FrancoAngeli, Torino, 2015.
- G. PAULI, Blue Economy, 10 anni. 100 innovazioni. 100 milioni di posti di lavoro, Edizioni Ambiente, Milano, 2014.
- E. PECCHIONI, F. FRATINI, E. CANTISANI, Le malte antiche e moderne: tra tradizione e innovazione, Patron Editore, Bologna, 2008.
- E. PELLI, Le parole della risaia : un'indagine etnolinguistica nel Vercellese, Interlinea, Novara, 1998.
- C. A. REYNERI, Intonaci in bioedilizia, Edicom Edizioni, Ronchi dei Legionari (GO), 2003.

ARTICOLI

M.B. ALIA, R. SAIDURAB, M.S. HOSSAIN, A review on emission analysis in cement industries, ScienceDimension, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 15, n°5 online, giugno 2011, pp. 2252-2261

M. BORGIA, La storia del riso nel Vercellese, Strada del riso vercellese di qualità, febbraio 2016.

F. CAPRA, Storia ed evoluzione del pensiero sistemico, da Riflessioni sistemiche, giugno 2015.

A. FANTILLI, S. SICARDI, F. DOTTI, The use of wool as fiber-reinforcement in cement-based mortar, «Construction and Building Materials, Virtual Special Issue», 2016.

K. JAN VAN GROENIGEN, C. VAN KESSEL, B. A. HUNGATE, Increased greenhouse-gas intensity of rice production under future atmospheric conditions, Nature Climate Change, No. 1712 online, ottobre 2012.

O. MODANIA, M. R. VYAWAHAREB, Utilization of Bagasse Ash as a Partial Replacement of Fine Aggregate in Concrete, ScienceDimension, Procedia Engineering, Vol. 51, online, marzo 2015, pp. 25-29.

A. ROBBIE, Global CO2 emissions from cement production, Earth Syst. Sci. Data Discuss., luglio 2017.

A. A. UMOH, I. ODESOLA, Characteristics of Bamboo Leaf Ash Blended Cement Paste and Mortar, Civil Engineering Dimension, Vol. 17, No. 1 online, marzo 2015.