

MANGIARE SUL CEMENTO

LE MALTE HPC COME
ALTERNATIVA ALLE MAIOLICHE
PER LA PRODUZIONE DI STOVIGLIE

Elaborato di tesi di FRANCESCA RHO - 786192

Politecnico di Milano
Scuola del Design - A.A. 2013/14
Corso di Laurea Magistrale in Design & Engineering

Relatore: BARBARA DEL CURTO

Co-Relatori: ROBERTA ALFANI, GIUSEPPE MANGANELLI, CARLO PROSERPIO

INDICE

1. STATO DELL'ARTE DELLE MALTE E DELLE CERAMICHE | 10

- 1.1 I Materiali cementizi innovativi
 - 1.1.1 Dall'Architettura al Design
 - 1.1.2 Storia e Sviluppo delle Malte UHPC
 - [SCHEDA MATERIALE] Ductal
 - [SCHEDA MATERIALE] Effix
 - [SCHEDA MATERIALE] QUANTZ
- 1.2 Le Maioliche
 - 1.2.1 Storia e sviluppo delle maioliche
 - [SCHEDA AZIENDA] Wedgewood
 - [SCHEDA AZIENDA] Rosenthal
 - [SCHEDA AZIENDA] Richard Ginori

2. LE MALTE HPC E LE MAIOLICHE A CONFRONTO

- 2.1 Le Malte HPC
 - 2.1.1 Composizione delle Malte HPC
 - 2.1.2 Proprietà delle Malte HPC
 - 2.1.3 Tecnologie di Lavorazione
 - 2.1.4 Tecnologie di Finitura Superficiale
 - 2.1.5 Colorazione
 - 2.1.6 Dismissione
- 2.2 Le Maioliche
 - 2.2.1 Composizione delle Maioliche
 - 2.2.2 Processo di Produzione delle Maioliche
 - 2.2.3 Proprietà delle Maioliche
 - 2.2.4 Decorazione delle Maioliche
 - 2.2.5 Dismissione delle Maioliche
- 2.3 Confronto tra HPC e Maioliche

3. COME RENDERE GLI HPC ALIMENTARMENTE COMPATIBILI

3.1 Prodotti in commercio finalizzati a rendere le superfici in materiale cementizio adatte al contatto con alimenti

3.2 Creare un multistrato multimateriale alimentariamente compatibile

3.3 Utilizzo di un polimero fotopolimerizzabile per la creazione del multistrato multimateriale

3.3.1 Rendere Alimentariamente compatibili gli HPC con il PMMA fotopolimerizzabile

3.3.2 PMMA

3.3.3 L'applicazione del PMMA al manufatto in HPC

3.3.4 La fotopolimerizzazione del PMMA

3.3.5 Uso della fotopolimerizzazione nell'industria

[SCHEDA AZIENDA] PPG

[SCHEDA AZIENDA] Crown Cork

3.4 Realizzazione provini in multistrato multimateriale HCP-PMMA

3.4.1 Materiali

3.4.2 Realizzazione dei provini

3.5 Prove per testare il multistrato multilaterale HPC-PMMA per il contatto alimentare

3.5.1 Prova di adesione

3.5.2 Prova di assorbimento

3.5.3 Prova di permeabilità al vapore

3.5.4 Resistenza ad acidi alimentari

3.7 Risultati e Conclusioni

3.7.6 Risultati

- Risultati della prova di adesione

- Risultati della prova di assorbimento

- Risultati della prova di permeabilità

- Risultati della prova di resistenza agli acidi

3.7.6 Conclusioni

4. USO DEL MULTISTRATO MULTIMATERIALE HPC-PMMA IN CUCINA

4.1 Caratteristiche che deve avere un piatto nella cucina contemporanea

4.2 Prove per testare il multistrato mulimateriale HPC-PMMA per le stoviglie

4.2.1 Resistenza allo shock termico

4.2.3 Resistenza al lavaggio in lavastoviglie

4.2.3 Resistenza a Forno Microonde

4.3 Risultati e conclusioni

4.3.1 Risultati

- Risultati del test di resistenza allo shock termico

- Risultati del test di resistenza al lavaggio in lavastoviglie

- Risultati del test di resistenza al microonde

4.3.2 Conclusioni

5. ANALISI DI CONFRONTO DELL'IMPATTO AMBIENTALE TRA MULTIMATERIALE E MAIOLICA

5.1 Definizione e strumenti LCA

5.2 Definizione dei confini di sistema

5.3 Definizione dell'unità funzionale

5.3.1 Dimensionamento dell'unità funzionale

5.4 Analisi di inventario

5.4.1 Inserimento dati in Sima Pro

5.5 Analisi dell'LCA

5.5.1 Analisi dell'impatto ambientale

5.5.2 Analisi di sensitività

5.5.2 Analisi dei costi

5.6 Conclusioni

CONCLUSIONI

INDICE DELLE FIGURE

- [1] Lux, Lampada, Design by Jean Eudes Massiou, Atelier Massiou, Francia, 2007 (www.ciments-calcia.fr)
- [2] Shangai, Libreria, Designed by Giuseppe Bavuso, Alivar, Italia, 2012 (www.archiproducts.com)
- [3] Creacrete, Ciotola, Designed by Alexa Lixfeld, autoproduzione, Germania, 2010 (www.transmaterial.net)
- [4] Concrete Tableware, Designed by Vido Nori, 2013 (www.phin3d.soup.io)
- [5] Concrete Plates, Designe by Nir Meiri, 2011 (www.designboom.com)
- [6] Twenty Cemento, Cucina, Design by Modulnova, Italia, 2011 (www.modulnova.it)
- [7] Cast Hammers, Robin Ackroid, Loughborough University, Regno Unito, 2012 (www.robinackroyd.blogspot.co.uk)
- [8] Convento di Santa Maria de La Tourette, Le Corbusier, Eveux, Francia, 1956-1960 (www.25.media.tumblr.com)
- [9] Serie Parabola, designed by Mac Stopa, Italcementi, Italia, 2013
- [10] Il Pantheon (www.futouring.com/)
- [11] Stadio della costruzione della rampa della Penguin Pool (www.themodernist.co.uk)
- [12] Penguin Pool, Berthold R. Lubetkin, Regno Unito, 1930 (www.themodernist.co.uk)
- [13] Casa sulla Cascata, Frank Lloyd Wright, USA, 1943 (www.aarquiteta.com)
- [14] Libreria Shangai, designed by Giuseppe Bavuso, Alivar, Italia (www.alivar.com)
- [15] MUCEM, designed by Rudy Ricciotti, realizzato in Ductal Lafarge, Marsiglia (Francia) (www.contemporist.com)
- [16] Centrotavola in i.design EFFIX, deigned by Luca Galbusera, per Alessi e Italcementi, prodotto da Creacemento, 2014 (www.creacemento.com)
- [17] Portatazza in QUANTZ, designed by Doreen Westphal, Menschmade, Olanda (www.cshdeluxe.de, © doreen westphal)
- [18] Scultura in ceramica blu di un ippopotamo risalente alla XI/XII dinastia, Collezione Egizia, Kunsthistorisches Museum, Vienna (Austria) (www.khm.at)

- [19] Acquedotto in mattoni di terracotta risalente al IV secolo a.C., Roma (www.rome-roma.net)
- [20] Set di quattro piatti Ningpo, decorati con transfer blu e rossi e foglia d'oro, Wedgwood, inizio XIX secolo (www.liveauctioneers.com)
- [21] Servizio TAC, designed by Walter Gropius, Rosenthal, 1968 (www.eyendesign.it)
- [22] Esempi di Servizi da tavola Wedgwood in catalogo (www.wedgwood.co.uk)
- [23] Servizio di piatti prodotto dalla collaborazione di Rosenthal Studio-Line con Sambonet (www.corporate.sambonet.it)
- [24] Installazione di Paola Navone per Ricard-Ginori al Fuorisalone 2009 (www.aquiliaberg.nova100.ilsole24ore.com)
- [25] Cemento idratato visto al SEM. (©CTG SpA)
- [26] Esempio di Mixer di Piccole dimensioni dell'azienda Hobart.
- [27] Esempio di mixer di grandi dimensioni.
- [28] Esempio di betoniera. (www.orsolini.it)
- [29] Esempio di trapano con frusta per calcestruzzo accessoria. (www.rubi.com)
- [30] Prova di spandimento per testare il materiale allo stato fresco.
- [31] Esempio di Cassero in legno e resina.
- [32] Fasi di getto e scassero di un manufatto in malta HPC.
- [33] Travetti gettati in stampi con modalità differenti.
- [34] Operazione di bocciardatura su calcestruzzo con utensile elettrico. (www.sperber-naturstein.de)
- [35] Serie Parabola, designed by Mac Stopa, Italcementi, Milano, Fuorisalone 2013. (www.arcvision.org)
- [36] Serie Parabola, designed by Mac Stopa, Italcementi, Stezzano, i.lab 2014.
- [37] Intervento di frantumazione del calcestruzzo per il riciclaggio da parte della ditta Armofer, 2009. (www.armofer.it)
- [38] Processo di formatura attraverso tornio meccanico. (©How's Made [TV show], www.youtube.com)
- [39] Prima e dopo la prima cottura (biscottatura).
- [40] A sinistra terraglie decorate dopo la seconda cottura, a destra in attesa di essere cotte. (www.mackenzie-childs.com)
- [41] Decorazione in soprasmalto applicata a mano (www.ärkeomania.com)
- [42] Set di quattro piatti disegnati da Piero Fornasetti per Fleming Joffle nel 1970. (©Potomack Company, www.potomackcompany.com)
- [43] Parco Guell, Antoni Gaudí, Barcellona (Spagna) (www.barcellona.cc)

- [44] Cocci di maioliche destinati all'indifferenziato
- [45] Applicazione di un prodotto a base di cera su una lastra in calcestruzzo. (www.diypete.com)
- [46] Applicazione a spruzzo di una resina acrilica su una lastra in calcestruzzo. (www.everything-about-concrete.com)
- [47] Top di un bancone realizzato in resina uretanica. (www.construction.com)
- [48] Schema di processo di applicazione della finitura in PMMA.
- [49] Dettaglio di aggrappo del polimero fotopolimerizzato al substrato in malta HPC.
- [50] Schema del processo di fotopolimerizzazione del PMMA
- [51] Processo di fotopolimerizzazione di un coating protettivo per assi destinate alla pavimentazione d'interni. (www.monte-titano.hu)
- [52] Lattina trattata con UV Coating polimerico. (www.crowncork.com)
- [53] Esempio di colorazione naturale e pigmentata messe a confronto [Cementofoni, designed by Francesca Rho e Painé Cuadrelli, Italcementi, 2014].
- [54] Processo di getto dei provini.
- [55] Processo di applicazione del polimero.
- [56] Schema del reattore.
- [57] Misurazione della potenza luminosa.
- [58] Reattore con lampade UV blu.
- [59] Provino posto nel reattore per far fotopolimerizzare il coating polimerico.
- [60] Misurazione dello spessore di un provino mediante calibro a seguito dell'applicazione del coating.
- [61] Applicazione del coating alle piastrelle in HPC per la prova di adesione.
- [62] Schema di assemblaggio del sistema testato.
- [63] Processo di preparazione dei provini alla prova di adesione.
- [64] Esecuzione prova di adesione.
- [65] Stufa impostata a 60°C.
- [66] Essiccatoio con camera a vuoto.
- [67] Semitravetti trattati con il polimero.
- [68] Schema di confezionamento del provino
- [69] Esecuzione della prova di assorbimento.
- [70] Schema di preparazione del provino.
- [71] Schema di assemblaggio del sistema per la prova di permeabilità.
- [72] Sistema della prova di permeabilità.
- [73] Acidi e provini prima dell'esecuzione del test.

- [74] Processo della prova di resistenza agli acidi
- [75] Forno di prova impostato a 100°C e incubatore impostato a 5°C con all'interno una soluzione di acqua e rodamina(5%).
- [76] Esempio di piastrina di dimensioni 25x75x5 mm in HPC trattata con coating polimerico.
- [77] Processo della prova di shock termico.
- [78] Profilometro elettronico non a contatto.
- [79] Esempio di provino utilizzato per la prova.
- [80] Procedimento del test di resistenza al lavaggio in lavastoviglie.
- [81] Esempio di provino utilizzato per la prova di resistenza al microonde.
- [82] Processo di prova di resistenza a cottura in microonde.
- [83] Schema di valutazione dei colori dello spettroscopio.
- [84] Schermata di uno studio LCA su Sima Pro.
- [85] Disegno del piatto utilizzato come riferimento per la definizione dell'unità funzionale.
- [86] Scheda di produzione di un piatto in HPC contenente le informazioni sulla sua composizione e produzione.
- [87] Scheda di assembly del piatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA.
- [88] Scheda di produzione di un piatto in maiolica contenente le informazioni sulla sua composizione e produzione.
- [89] Scheda di produzione dello smalto di un piatto in maiolica contenente le informazioni sulla sua composizione e produzione.
- [90] Scheda di assembly del piatto in maiolica smaltata.

INDICE DELLE TABELLE

- [T1] Il fuso deve risultare nell'area formata dalla curva di Fuller e quella di Bolomey
- [T2] Confronto tra le proprietà del calcestruzzo tradizionale e quelle delle malte HPC.
- [T3] Tabella con le principali proprietà delle maioliche.
- [T4] Scheda di confronto tra HPC e maiolica.
- [T5] Tabella con le principali proprietà del PMMA.
- [T6] Tabella con le principali proprietà di i.design EFFIX.
- [T7] Composizione Aper Scotchbond.
- [T8] Il grafico dell'intensità della luce relativa della lamapada blu rispetto alla sua lunghezza d'onda.
- [T9] Risultati della prova di adesione del coating polimerico.
- [T10] Scheda di rottura dei substrati a seguito del test di adesione.
- [T11] Risultati delle pesate della prova di assorbimento.
- [T12] Risultati della capillarità calcolata a seguito della prova di assorbimento
- [T13] Risultati delle pesate effettuate. Nella prima colonna il tempo, nella seconda la temperatura dell'ambiente, nella terza l'umidità relativa dell'ambiente e nelle ultime due le rispettive pesate dei provini.
- [T14] Calcolo della permeanza e della permeabilità.
- [T15] Risultati della prova di resistenza alle sostanze acide alimentari.

Questa tesi è stata realizzata in collaborazione con il CTG (Cento Tecnico di Gruppo), il laboratorio di ricerca e sviluppo di Italcementi Group. L'azienda ha gentilmente messo a disposizione i laboratori e i materiali per la realizzazione dei test, oltre che al supporto dei ricercatori e dei tecnici.

ABSTRACT

L'obiettivo di questo studio è stato verificare la possibilità di rendere concorrenziali le malte HPC e le maioliche nell'ambito della produzione industriale del mercato delle stoviglie, mettendo così a confronto i materiali cementizi ad elevate prestazioni rispetto a quelli ceramici tradizionali.

Le malte HPC (High Performance Concrete), oltre ad avere le classiche proprietà del calcestruzzo tradizionale, ovvero elevata resistenza a compressione e durabilità, presentano anche un'elevata prestazione a flessione, un'elevata lavorabilità e la possibilità di replicare perfettamente la finitura dello stampo in cui vengono gettate. Considerando questi aspetti si è valutata la possibilità di utilizzo delle malte HPC in un nuovo contesto a livello di progettazione, ovvero la produzione di stoviglie.

Lo studio è diviso in tre fasi, la prima di ricerca iniziale dove sono state analizzate le somiglianze e le differenze che intercorrono tra materiali cementizi e materiali ceramici a livello di composizione, lavorazione e uso.

La seconda fase ha affrontato la possibilità di rendere compatibili al contatto alimentare i materiali cementizi attraverso l'applicazione su tutta la superficie del manufatto di uno strato micrometrico di resina fotopolimerizzabile (PMMA), creando un guscio isolante e resistente che lo rende, oltre che alimentariamente compatibile, anche impermeabile, resistente a detergenti aggressivi e resistente al graffio e all'usura, ricreando l'equivalente della vetrina per la maiolica. Una tale finitura inoltre non andrebbe ad intaccare in nessun modo le proprietà del materiale cementizio, che anzi può sfruttare a fondo tutte le sue potenzialità.

Infine, nella terza parte dello studio, si è verificato a livello

teorico che l'intero processo di un piatto in materiale cementizio, trattato con la resina foto polimerizzabile, presenta un impatto ambientale minore rispetto alla produzione di un piatto in maiolica. È stato effettuato un confronto del Life Cycle Assessment (LCA) tramite il software apposito Sima Pro, tenendo presente che un piatto in materiale cementizio ha le stesse prestazioni di uno tradizionale.

Focus di questa parte dello studio sono state le prime fasi del ciclo di vita: quella di produzione del premiscelato - dall'estrazione al confezionamento - e quella del manufatto finito (il piatto), per ognuno dei due materiali.

INTRODUZIONE

In anni relativamente recenti è stata sviluppata una nuova classe di malte ad alte prestazioni: gli UHPC (High Performance Concrete). Queste, oltre ad avere le classiche proprietà del calcestruzzo tradizionale, ovvero un'elevata resistenza a compressione e durabilità, hanno anche un'elevata prestazione a flessione, un'elevata lavorabilità e la possibilità di avere una finitura superficiale migliori, come verrà spiegato meglio in seguito.

Inizialmente sviluppate per strutture che bisognavano di un'elevata resistenza a flessione, come per esempio ponti o strade sopraelevate, questi materiali sono stati adottati ben presto dal design. Infatti la possibilità di riuscire a creare forma più complesse e snelle ha solleticato la fantasia di diversi progettisti che ha provato ad applicarli ad una scala decisamente più piccola.

Nascono così diversi progetti come Lux [1], la lampada a terra progettata da Jean-Eudes Massiou realizzata in i.design EFFIX, o Shangai [2] la libreria progettata da Giuseppe Bavoso realizzata in Ductal e rovere.

L'idea di utilizzare le malte HPC al posto dei materiali ceramici parte dal presupposto che le proprietà fisico-meccaniche dei due sono molto simili come anche i metodi di lavorazione. Il motivo per il quale i materiali cementizi non sono mai stati presi seriamente in considerazione per un mercato simile è principalmente per l'approccio psicologico nel confronto di questo materiale, che tradizionalmente viene collegato all'edilizia, trasmettendo così un forte sentimento di solidità e pesantezza. Attraverso questo lavoro si vuole dimostrare che è possibile prendere in considerazione il cemento come alternativa valida e sicura alla ceramica nell'industria delle stoviglie.

Esistono già esempi di produzione di stoviglie con prodotti

Da sinistra:

[1] *Lux, Lampada*, Design by Jean Eudes Massiou, Atelier Massiou, Francia, 2007.

[2] *Shangai, Libreria*, Designed by Giuseppe Bavoso, Alivar, Italia, 2012.



cementizi, ma sempre a livello artigianale odì piccole serie, e, in ogni caso, non hanno una certificazione di compatibilità alimentare. Per esempio Creacrete [3] un materiale a base cementizia con una forte componente polimerica utilizzato da Alexa Lixfeld, designer tedesca. La finitura superficiale è liscia e lucida, ma essendo un materiale sviluppato principalmente per l'architettura, le forme sono massicce e i prodotti risultano pesanti. Vido Nori [4] e Nir Meiri [5] hanno affrontato studi formali sulla possibilità di utilizzare il cemento per produrre piatti.

L'azienda Röshults ha prodotto dei vassoi progettati dalla designer Lise Damsager Hansen in materiale cementizio e rifiniti con una soluzione di olio di lino e cera, che protegge gli eventuali elementi



[3] *Creacrete, Ciotola*, Designed by Alexa Lixfeld, autoproduzione, Germania, 2010.

1_Si sono seguite le istruzioni della normativa europea (CE) n. 1935/2004 che tratta dei materiali e oggetti destinati a venire in contatto con prodotti alimentari.



Da sinistra:

[4] Concrete Tableware, Designed by Vido Nori, 2013.

[5] Concrete Plates, Designe by Nir Meiri, 2011.

che andrebbero in contatto ma necessita di una particolare attenzione nella fase di pulizia, in quanto non può entrare in contatto con agenti detergenti troppo aggressivi.

Questo lavoro, al contrario, si propone di dimostrare che applicando uno strato micrometrico di polimero fotopolimerizzabile ad un materiale cementizio si rende quest'ultimo: alimentariamente compatibile¹, impermeabile, resistente a detergenti aggressivi, resistente al graffio e all'usura, riuscire a ricreare quindi l'equivalente di quello che la vetrina è per la ceramica. Una finitura del genere inoltre non andrebbe ad intaccare in nessun modo le proprietà del materiale cementizio, che anzi può sfruttare a fondo tutte le sue potenzialità. Inoltre questo processo assicura una stabilità nel tempo e non c'è bisogno di ripeterlo, come avverrebbe invece se si utilizzasse una vernice protettiva. Sul mercato, infatti, si possono trovare cucine con piani di lavoro -compreso il lavello- in materiale cementizio. Modulnova, azienda italiana di Pordenone, per esempio presenta in catalogo Twenty Cemento [6], una cucina realizzata in resina cementizia. Oppure Stucco, proposta dall'azienda tedesca Zeyko, composta da piani in laminato cementizio laccato. Il problema alla base di questi manufatti è la durabilità dello strato protettivo dato dalla laccatura o dalla verniciatura che ogni due anni circa deve essere rifatto. Inoltre le normative che riguardano i piani di lavoro che possono entrare in contatto con gli alimenti sono differenti e non così restrittive².

2_(CE) N°852/2004, Capitolo II, Articolo 1, Punto f: "le superfici (comprese quelle delle attrezzature) nelle zone di manipolazione degli alimenti [...] si richiedono materiali lisci, lavabili, resistenti alla corrosione e non tossici, a meno che gli operatori alimentari non dimostrino all'autorità competente che altri tipi di materiali utilizzati sono adatti allo scopo."

[6] *Twenty Cemento, Cucina, Modulnova, Italia, 2011.*



Considerando inoltre la semplicità della procedura di applicazione e fotopolimerizzazione della resina fotopolimerizzabile si può quindi ipotizzare che è possibile ottimizzarla per applicarla su scala industriale. Inoltre risulterebbe concorrenziale rispetto al mercato delle stoviglie in ceramica -che necessita di enormi quantità di energia in quanto la produzione necessita di una serie di passaggi ad elevato dispendio energetico quali l'essiccazione e la cottura, biscottatura e terzo fuoco-.

Partendo quindi dai presupposti di riuscire a rendere alimentaremente compatibile un materiale cementizio attraverso una lavorazione a basso dispendio energetico e renderlo così concorrenziale rispetto alla ceramica si è deciso di compiere questo studio prendendo come unità la più emblematica fra le stoviglie: il piatto.

Bibliografia

Reggiari G.P., “Ceramica Industriale: Materie Prime, Tecnica delle Ceramiche, Prodotti Ceramici”, Milano, Hoepli Editore, 1946

Shelly M.S., “Concrete Technology: Theory and Practice”,

Sitografia

www.ciments-calcia.fr
www.archiproducts.com
www.transmaterial.net
www.designboom.com
www.modulnova.it
www.travelcarnet.it

1. STORIA E SVILUPPO DEGLI HPC E DELLE MAIOLICHE

Il fine di questo studio è dimostrare che è possibile utilizzare un tipo specifico di materiali cementizi, nell'industria delle stoviglie, in sostituzione del materiale ceramico solitamente utilizzato. Entrambi fanno parte della stessa classe di materiali, ovvero i ceramici, e presentano quindi prestazioni analoghe che lasciano presupporre che si possano intercambiare. Lo studio si concentra sul confronto di due materiali in particolare: gli HPC (High Performance Concrete) e le maioliche.

Gli High Performance Concrete, o calcestruzzi ad elevate prestazioni, sono materiali cementizi che presentano ottime proprietà sia a livello meccanico che estetico. Queste proprietà gli hanno resi dei candidati perfetti per questo studio.

Le maioliche invece sono "Prodotti ceramici a pasta porosa, opaca, di colore dal giallo al rosso, rivestiti di smalto opaco (per lo più bianco), sul quale viene applicata l'eventuale decorazione e la vetrina, per conferire lucentezza e brillantezza"(Definizione da Vocabolario Treccani). Il materiale più utilizzato sia artigianalmente che industrialmente per produrre stoviglie.

Questo capitolo analizza il quadro di riferimento attraverso la storia di questi materiali e delle industrie a loro collegate.

STORIA E SVILUPPO DEGLI HPC E DELLE MAIOLICHE

1.1 I Materiali cementizi innovativi

1.1.1 Dall'Architettura al Design

Nel mondo del design la scelta del materiale da utilizzare per un progetto è di fondamentale importanza, in quanto deve rispondere a una serie di vincoli sia dal punto di vista tecnico che percettivo. Il materiale in sé infatti riesce a cambiare totalmente la percezione che si ha di un oggetto indipendentemente dalla sua forma. Intendendo la percezione come "il processo che permette all'uomo di capire, conoscere e interpretare la stimolante realtà che lo circonda"³, si comprende quanto il significato che si attribuisce ad un materiale possa influenzare il giudizio su un dato manufatto.

Un esempio lampante è dato dall'installazione interattiva "Cast Hammers"[7] di Robin Ackroid, un giovane scultore inglese laureato nel 2012 presso la Loughborough University. L'opera si compone di una serie di martelli, composti da diversi materiali -alluminio, terracotta, gomma, porcellana, floccato, bronzo, ferro, cera e gomma vulcanizzata-, con i quali il visitatore può interagire. Lo scopo dell'artista era dimostrare come cambia la percezione di un oggetto, composto in un materiale inusuale, nel momento in cui viene messo a confronto con l'immagine, legata alla memoria collettiva, di un martello. Non è importante il fatto che la maggior parte dei martelli sia inutilizzabile da un punto di vista funzionale. Il fulcro della questione è che un martello composto in un qualsiasi materiale differente dall'acciaio risulterà sempre bizzarro, in quanto non verranno percepite immediatamente quelle qualità di resistenza, pesantezza e rudezza che lo contraddistinguono.

³ Barbara Del Curto, "La Pelle del Design", Fiorani E., Passaro C., Lupetti edizioni, Milano, 2010.



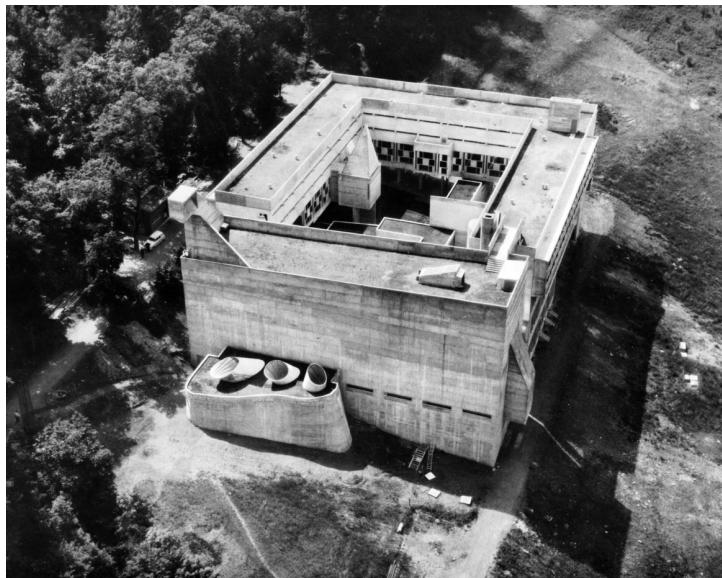
[7] *Cast Hammers*, Robin Ackroid,
Loughborough University, Regno Unito, 2012.



“Il materiale può dunque essere considerato come un oggetto di senso, come la manifestazione particolarmente suggestiva di una riflessione sul mondo sensibile [...]”⁴.

Nel caso dei materiali cementizi la carica semiotica è data dal mondo dell’architettura. Storicamente, infatti, il cemento viene utilizzato nell’edilizia fin dai tempi dell’antica Roma e da allora il suo uso non si è allontanato molto da quello di origine. Sicuramente lo sviluppo del cemento armato ha radicato nella memoria collettiva una certa immagine di questo materiale. Jean-Marie Floch citando la rivista “Construction Moderne” del 1980 dichiara: “la costruzione del cemento [armato] si articola dunque attorno a due poli paradossalmente opposti: la “massa”, che è quella del cemento, e la “nervosità”, data dall’acciaio”. Si evince quindi che il cemento è collegato ad un’immagine di pesantezza e solidità, che si unisce a quella di rudezza ed essenzialità proposta precedentemente da Le Corbusier. Infatti il famoso architetto parlando della sua opera di la Tourette [8] scrive: “Questo convento di rude cemento è un’opera d’amore. Non parla ma essa vive interiormente. Ed è interiormente che si svolge l’essenziale”.

[8] Convento di Santa Maria de La Tourette, Le Corbusier, Eveux, Francia, 1956-1960.



4_ Jean-Marie Floch, “Bricolage, Lettere ai Semiologi della Terra Ferma”, Meltemi editore, Roma, 2006.

Il Movimento Brutalista utilizza spesso l'espedito del cemento a vista in architettura proprio per comunicare questa visione di grezzezza del materiale.

In questi ultimi decenni la tecnologia dei materiali cementizi ha fatto enormi passi in avanti. La ricerca ha, infatti, sviluppato dei nuovi calcesruzzi che presentano elevatissime prestazioni, facilità di lavorazione e finiture esteticamente piacevoli. Queste nuove proprietà hanno risvegliato l'interesse di diversi progettisti, i quali hanno sviluppato concept e progetti nei campi più disparati. Purtroppo la percezione di questo materiale non si è evoluta con esso nel tempo.

Matali Crasset⁵ afferma che il cemento [UHPC] "è un materiale che consente di operare una rottura con i codici comuni"⁶. Nonostante questo resta forte la volontà di esprimere un forte legame con l'architettura. Il materiale viene lasciato allo stato grezzo: grigio e ruvido.

Uno dei primi che ha provato a rompere questa catena, sfruttando tutte le possibilità che il materiale gli offre è Mac Stopa, designer polacco, attraverso la sua collezione Parabola [9].



[9] Serie Parabola, designed by Mac Stopa, Italcementi, Italia, 2013.

Una serie composta da sedie e tavolini da esterni caratterizzata da forme organiche e colori accesi. Stopa applica il principio di ricontestualizzazione di Duchamp, che lo ha spinto nel 1917 ad esporre il suo famoso orinatoio "Fontaine" sotto il falso nome di R.Mutt. E alla critica che lo aveva respinto a scrivere una risposta indignata: " [...] Mutt ha preso un elemento comune dell'esistenza

5_ Matali Crasset è una designer francese, laureata presso Les Ateliers Ecole National Supérieure de Création Industrielle.

6_ Citazione tratta da un'intervista di Loredana Mascheroni a Matali Crasset: "Cemento Domestico", pubblicata su Domus n.965 (Gennaio 2013).

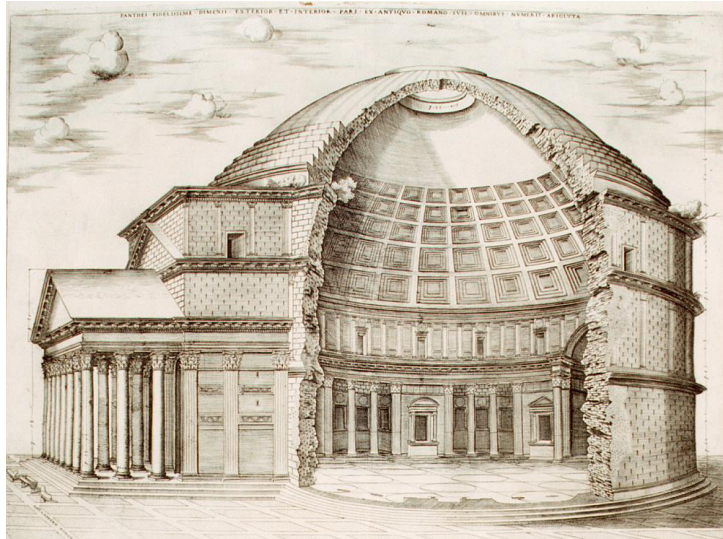
e l'ha disposto in modo tale che il significato utilitario scompare sotto il nuovo punto di vista: egli ha creato un nuovo pensiero di tale oggetto”.

Del resto è una tecnica utilizzata spesso nella storia del design, basti ricordare la sedia Wassily di Breuer una delle prime composta da tubolari metallici piegati, o la lampada Bubble di George Nelson, composta in cocoon, una resina composta da una fibra sintetica utilizzata ai suoi tempi in ambito militare. Ciò che si evince da questi esempi è che prima di tentare una ricontestualizzazione del materiale bisogna conoscerne innanzitutto il trascorso: la storia, lo sviluppo, e l'utilizzo.

1.1.2 Storia e Sviluppo delle Malte HPC

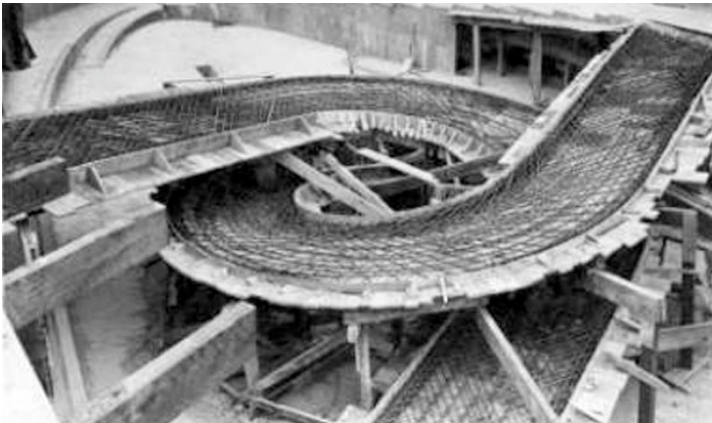
Pur essendo un materiale largamente utilizzato sin dai tempi degli antichi romani [10], soltanto dopo la rivoluzione industriale è stato necessario rendere il cemento oggetto di ricerca. Infatti a cavallo tra il XVIII e il XIX secolo in Europa avviene un forte aumento demografico. Per questo motivo a fronte dell'ingente domanda di abitazioni è necessario sviluppare un materiale che possa dare buoni risultati in tempi brevi. Il primo a rispondere a questo mercato è nel 1796 J. Parker sviluppando il primo cemento industriale, prodotto della cottura di speciali calcari trovati nei dintorni di Londra e

[10] Il Pantheon a Roma è un caso esemplare di struttura in cemento. Infatti la cupola, oltre ad avere una sezione che si assottiglia verso il lucernario, presenta una variazione nell'uso del materiale. Gli aggregati del cemento presentano una granulometria via via più fine.

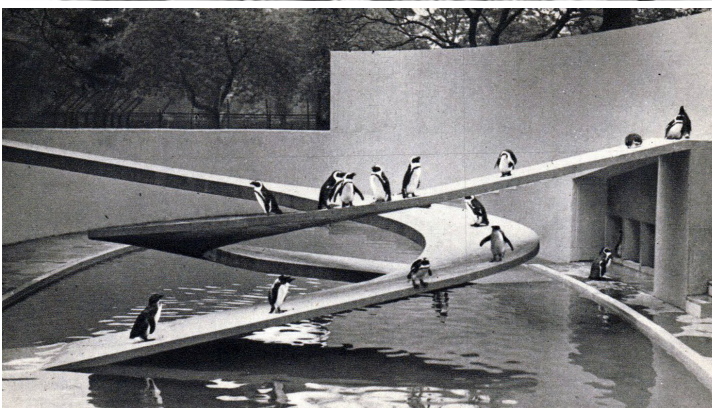


venne chiamato “cemento romano”. È però in Francia, nel 1812, che l'ingegner Vicat affronta studi più approfonditi e metodici su calce idrauliche ottenute dalla mescolanza dei calcari con le argille aprendo la strada ad una preparazione di prodotti sempre più idraulici e resistenti e ad una fabbricazione sistematica degli stessi.

Nel 1854, l'ingegnere inglese William Wilkinson di Newcastle è stato il primo ad inserire il cemento armato nell'edilizia. In passato infatti l'idea di migliorare le proprietà del calcestruzzo con uno scheletro metallico è già stato utilizzato in ambito navale da J.L. Lambot che presenta all'Esposizione Universale del 1855 una piccola imbarcazione in calcestruzzo armato⁷.



[11] Stadio della costruzione della rampa della Penguin Pool, dove si può notare l'armatura in acciaio.



[12] Penguin Pool, Berthold R. Lubetkin, Regno Unito, 1930.

7_ Akthem Al-Manareeir, “Structural Concrete: Theory and Design”, Londra, Wiley, 2012.

Le Corbusier è stato tra i primi a comprendere e sfruttare le potenzialità di questo nuovo materiale grazie al quale nel 1926 sviluppo i 5 punti della nuova architettura in opposizione a quella tradizionale. Questi principi influenzarono parecchi giovani architetti tra cui Lubetkin; russo di origini, studia a Parigi e inizia a praticare a Londra. I primi progetti che gli commissionarono sono la Gorilla House e la Penguin Pool presso lo zoo di Londra. La piscina dei pinguini è una struttura in calcestruzzo armato [11] particolarmente interessante in quanto si compone di una piscina ovale con due rampe fluttuanti che fungono da scivoli [12]. Una struttura molto complessa considerando che la realizzazione è del 1930. L'esempio più emblematico che rappresenta ciò che si poteva realizzare in calcestruzzo armato è la "Casa sulla Cascata" [13], in Pennsylvania (USA) progettata da Frank Lloyd Wright nel 1943, costituita da una serie di imponenti terrazze a sbalzo⁸.

[13] Casa sulla Cascata, Frank Lloyd Wright, USA, 1943.



⁸ Esempi tratti da: Willam J. Curtis, "L'Architettura Moderna del 900", Milano, Phaidon, 2006.

Il successivo passo avanti nella ricerca è stato compiuto negli anni '70 con lo sviluppo degli RPC (Reactive Powder Concrete). Infatti in quel periodo si è incominciata a studiare l'influenza degli additivi e delle cariche minerali sul cemento. Si è scoperto che la polvere di silicio aumentava la resistenza del cemento, poiché grazie alla sua minuta granulometria riesce a colmare i micropori che si formano nella miscela. La principale conseguenza, però, è un ingente bisogno di acqua per rendere la miscela abbastanza lavorabile. La soluzione del problema è stata sviluppare degli appositi fluidificanti che permettono di utilizzare una minore percentuale di acqua. Le migliorie del calcestruzzo, fino a questo punto, si sono concentrate in particolare modo sul cemento, ovvero il legante, lasciando da parte gli aggregati, che, in effetti, sono la componente da considerare per le resistenze e le proprietà meccaniche.

Si iniziano così studi riguardanti i possibili aggregati, da punto di vista della composizione geologica -poiché a seconda della differente composizione variano le proprietà sia dal punto delle prestazioni che di assorbimento⁹, e le fibre, di natura organica (polimeriche) o inorganica (acciaio)¹⁰.

Le nuove prestazioni raggiunte dai calcestruzzi innovativi rendono necessario avere nuove definizioni. In Italia il Servizio Tecnico Centrale del CSLPP¹¹ ha dato una definizione di Calcestruzzi ad Alte Prestazioni (AP) e Calcestruzzi ad Alta Resistenza (AR). Gli AP sono descritti come conglomerati cementizi caratterizzati in generale da un rapporto acqua/cemento (a/c) minimo di 0.45 e avente resistenza caratteristica cubica superiore a 55 MPa ed inferiore o uguale a 75 MPa. Gli AR invece sono caratterizzati in

9_ *Sapere la percentuale di assorbimento di un aggregato è fondamentale per il calcolo dell'acqua necessaria. Infatti la quantità d'acqua deve essere necessaria per attivare il processo di idratazione, di cui si parlerà più avanti, del cemento ma non deve essere troppa perché si rischia di avere prestazioni minori.*

10_ *Enrico Russo, "Characterization of punching shear: capacity of thin uhpc plates", Tesi di Dottorato in Ingegneria delle costruzioni, Università degli Studi di Napoli Federico II, 2011.*

11_ *Il servizio Tecnico Centrale è l'organismo che in Italia opera sotto l'indirizzo del Presidente del Consiglio Superiore ai Lavori Pubblici (CSLLPP). A seguito dell'emanazione di leggi fondamentali che disciplinano il settore delle costruzioni il Servizio Tecnico Centrale ha acquisito, sia in campo nazionale che europeo, funzioni nella materia dell'ingegneria civile. In particolare in campo europeo il Servizio è un organismo riconosciuto di certificazione ed ispezione nel settore dei prodotti o sistemi destinati alle opere di ingegneria strutturale e geotecnica. Partecipa altresì ai lavori degli organismi tecnici europei preposti alla direttiva 89/106/CEE, riguardante i prodotti da costruzione.*

generale da un rapporto a/c minore di 0.35 e avente resistenza cubica superiore a 75 MPa e inferiore o uguale a 115 MPa. Queste si possono considerare delle linee guida generali, poiché, soprattutto in questi ultimi decenni, in commercio si possono trovare calcestruzzi con prestazioni e miscele molto diversificate che vengono nominati con sigle che specificano il tipo di composizione e prestazioni che hanno (HPC, UHPC, UHFRC, HSC, FRC). I ricercatori Mehta e Aitcin¹², specializzati in calcestruzzi innovativi, utilizzano il termine HPC (High Performance Concrete) come definizione di mix che presentano un'elevata lavorabilità, un'elevata durabilità ed un'elevata rottura a compressione. Più specifica è la definizione data dall'ACI (American Concrete Institute): "HPC is a concrete meeting special combinations of performance and uniformity requirements that cannot always be achieved routinely using conventional constituent and normal mixing, placing and curing practice".

[14] Libreria Shangai, designed by Giuseppe Bavuso, Alivar, Italia.



12_ Povindar Kumar Mehta, Professore Emerito in Ingegneria Civile ed Ambientale presso la University of California (USA) e Berkley (USA), e Pierre-Claude Aitcin, Professore Emerito in Ingegneria Civile presso la Université de Sherbrooke's (Canada), furono i primi ad utilizzare il termine HPC nella loro pubblicazione: "Principles Underlying the Production of High-Performance Concrete", *Cement, Concrete, and Aggregates*, ASTM, V.12, No 2, 1990, pg 70-78.

Gli HPC, oltre ad avere maggiori prestazioni rispetto ai calcestruzzi tradizionali, si sono scoperti avere anche una finitura superficiale più liscia e compatta, che oltre ad aumentare la durabilità del materiale, in quanto ne riduce drasticamente la permeabilità, ha un'ottima resa estetica. La prima a comprendere le potenzialità degli HPC a livello di design è stata l'azienda francese Lafarge¹³. Dopo essere stata la prima a commercializzare in calcestruzzi ad elevate prestazioni con il Ductal ne ha sviluppato una versione per il design. Un esempio di manufatto realizzato in Ductal è la libreria Shangai progettata da Giuseppe Bavuso per Alivar [14]. Successivamente diverse aziende, tra cui Italcementi con i.design EFFIX, hanno sviluppato malte ad elevate prestazioni per il Design.

Considerando gli ultimi sviluppi che hanno avuto i materiali cementizi in questo ultimo decennio si può quindi affermare che non vengono considerati più come esclusiva del mondo dell'edilizia o dell'arredo urbano, ma che si stanno, sempre più, aprendo una strada verso il design.

13_ *Lafarge è un'azienda francese che opera nel campo dei calcestruzzi dal 1833.*

DUCTAL
LAFARGE

www.ductal-lafarge.com

Lafarge è un'azienda che si occupa della produzione di calcestruzzi sin dal 1833, quando Joseph-Auguste Pavin de Lafarge incomincia un'attività di estrazione di argilla dal Rodano nella regione francese dell'Ardèche. Nel corso degli anni l'azienda cresce e si sviluppa, partecipando anche a grandi progetti internazionali, come la costruzione del canale di Suez. Nel 1887 fonda il primo laboratorio specializzato nello sviluppo del cemento. Da allora Lafarge ha sviluppato diversi tipi tra cementi e calcestruzzi: cementi resistenti ad elevate temperature, cementi bianchi (grazie all'aggiunta di caolino). Negli anni 70 incomincia lo sviluppo dei superfluidificanti, che permettono di utilizzare una minor quantità d'acqua nell'impasto e di conseguenza migliorare le prestazioni meccaniche.

Negli anni '90 Lafarge incomincia a sviluppare quello che oggi è uno dei suoi prodotti di punta: il Ductal. Un calcestruzzo ad elevatissime prestazioni (Ultra High Performance Concrete) che presenta elevate caratteristiche meccaniche grazie all'aggiunta nella miscela di superfluidificanti e fibre di vario genere (metalliche, polimeriche, ecc.). In Ductal sono state realizzate diverse opere di architettura, di ingegneria civile e di design. Una delle opere architettoniche più riuscite in Ductal è sicuramente il MUCEM [15] (Musée des Civilisation de l'Europe et de le Méditerranée) di Marsiglia progettato da Rudy Ricciotti, rinomato architetto francese, e realizzato tra il 2012 e il 2013. Rudy Ricciotti in questo progetto infatti riesce a sfruttare tutte le potenzialità del materiale al meglio.

[15] MUCEM, designed by Rudy Ricciotti, realizzato in Ductal Lafarge, Marsiglia (Francia).



Italcementi nasce nel 1864 a Scanzo in provincia di Bergamo come Società Bergamasca per la Fabbricazione del Cemento e della Calce Idraulica. Solo nel 1927, quando la società è già quotata in Borsa a Milano da due anni, assume l'attuale ragione sociale. Diventata la principale società italiana nel settore dei materiali da costruzione, alla fine degli anni Ottanta avvia le prime iniziative di internazionalizzazione del Gruppo acquisendo l'azienda francese Ciment Calcia e con questa inizia un vero e proprio processo di ricerca su materiali cementizi innovativi.

Viene sviluppata così la malta Effix, oggi i.design Effix, un prodotto ad elevate prestazioni pensato appositamente per il design. Lanciata per la prima volta in Francia alla fine degli anni '90 ha avuto immediatamente successo. Ad oggi sono stati realizzati molti progetti in i.design Effix. Tra cui i centrotavola di Luca Galbusera prodotti in collaborazione con Alessi [16].

i.design EFFIX
ITALCEMENTI
it.i-nova.net



[16] Centrotavola in i.design EFFIX, designed by Luca Galbusera, per Alessi e Italcementi, prodotto da Creacemento, 2014.

QUANTZ
CSDELUXE
www.cshdeluxe.de

L'azienda CSH Deluxe definisce Quantz come il successivo stadio dell'evoluzione dei materiali cementizi innovativi ad elevatissime prestazioni. Il range di prestazioni è piuttosto ampio in quanto l'azienda preferisce concentrarsi ogni volta su trovare una soluzione appositamente studiata per ogni progetto che le viene proposto e non sviluppare un materiale che possa essere adeguato per numerosi contesti.

Lo sviluppo del materiale è strettamente legato allo scopo per il quale verrà utilizzato, l'azienda propone la possibilità di produzione di materiali resistenti all'acqua, isolanti teoricamente e acusticamente, e con la possibilità di variarne il peso.

L'azienda collabora con diverse aziende e designer tra cui: Manor, Docstone Tim Mackerodt, Aust and Amelung e Manuela Greipel.

[17] Portatazza in QUANTZ, designed by Doreen Westphal, Menschmade, Olanda.



1.2 Le Maioliche

1.2.1 Storia e sviluppo delle maioliche

Le maioliche sono produzioni ceramiche con un rivestimento metallico opaco, solitamente bianco, che presentano decorazioni di varia natura (cfr cap. 2.2) e sono l'evoluzione dei materiali ceramici tradizionali. I quali si possono definire come materiali inorganici e non metallici, che derivano dalla lavorazione delle argille. In geologia le argille, anche chiamate crete o terre, si definiscono come rocce clastiche¹⁴ sedimentarie poco coerenti, ovvero sono rocce più o meno friabili costituite da piccoli frammenti di vari minerali, i "clasti" (dal greco Klastos=spezzato), tenuti assieme da un materiale cementante poco tenace costituito dai minerali delle argille¹⁵.

Differenti argille assieme e con altri prodotti naturali quali il quarzo e calcare, permetteva una manipolazione migliore, in



[18] Scultura in ceramica blu di un ippopotamo risalente alla XI/XII dinastia, Collezione Egizia, Kunsthistorisches Museum, Vienna (Austria).

14_ Si definiscono in petrografia rocce clastiche le rocce costituite da detriti di natura e dimensioni diverse disciolti o cementati assieme. (Treccani).

15_ Enrico Giannichedda, "Introduzione allo studio della ceramica in archeologia", Volante N., Siena, Centro Editoriale Toscano sas, 2007.

quanto hanno la proprietà di assorbire e trattenere acqua rendendo il materiale viscoso. Successivamente tramite cottura si realizza un sistema complesso, eterogeneo, formato da costituenti cristallini immersi in una matrice vetrosa.

Non tutte le argille sono adatte alla produzione della ceramica, in quanto non ovunque la conformazione geologica terrestre ne permette un corretto sviluppo a livello minerale. Per esempio le argille più pregiate sono i caolini, quelle che, usate quasi pure, permettono di ottenere materiali ceramici ad elevate prestazioni, quale la porcellana. Che però per essere lavorate più facilmente vengono mescolate con le bentoniti, che grazie alla loro origine vulcanica riescono a trattenere enormi quantità d'acqua

[19] *Acquedotto in mattoni di argilla cotta risalente al IV secolo a.C., Roma.*



permettendo all'impasto di diventare più duttile ed elastico.

La ceramica è un materiale utilizzato sin dagli inizi della storia dell'uomo: se ne hanno tracce nella preistoria, nella storia antica e in quella contemporanea. La grande parte degli oggetti ritrovati infatti sono in materiale ceramico essendo facilmente reperibile, facilmente lavorabile e, una volta cotto, estremamente resistente. Il mondo è costellato di resti di città, appartenenti ad antiche civiltà -Persiani, Egizi, Assiri, Greci, Romani- costruite in mattoni di argilla. Allo stesso tempo tracce di vasellami in ceramica vengono utilizzati dagli archeologi per ipotizzare come si sia sviluppata la civiltà. Un esempio curioso è dato da un pezzo della collezione Egizia appartenente al *Kunsthistorisches Museum*

di Vienna (Austria), si tratta di un ippopotamo in ceramica blu [18] appartenente alla XI/XII dinastia (2000 a.c. circa). Nell'ambito architettonico invece si ricordano diversi acquedotti [19] costruiti dagli Antichi Romani¹⁶.

Dal XIII secolo l'Italia è famosa per la sua fine produzione di ceramiche. In particolare nel 1487 a Faenza, nelle Marche, inizia la produzione di ceramiche smaltate. Già dall'antichità la qualità delle argille provenienti dal fiume Lamone, presso il quale si è sviluppata la città romagnola, aveva permesso una fiorente produzione di ceramiche. La tecnica della smaltatura viene adottata presto da tutta Europa tant'è che anche la Francia inizia presto a sviluppare un'ottima scuola di lavorazione e della decorazione della ceramica di *faïence*.

Durante il XVI secolo si sviluppa un tipo di ceramica dura, la maiolica, precorritrice di quella che verrà utilizzata sino ad oggi. Nel 1720 viene aperta la prima manifattura di ceramica dura a livello Europeo da Johann Gregor a Meissen (Germania). Nel 1770, invece, ad Astbury in Inghilterra, viene sviluppata una nuova miscela mescolando la *faïence* con una polvere silicea in modo da rendere l'impasto più bianco. Il risultato non è solo un impasto più bianco ma anche più resistente e adeguato ad ogni tipo di decorazione.



[20] Set di quattro piatti Ningpo, decorati con transfer blu e rossi e foglia d'oro, Wedgwood, inizio XIX secolo.

16_E.Cooper, "Ten Thousand Year of Pottery", University of Pennsylvania Press, 2000.

Questa scoperta spinse all'apertura di diverse fabbriche in giro per l'Inghilterra e all'innovazione di quelle esistenti, tra le quali una delle più famose è la Wedgwood [20] -nata nel 1730 a Burslem-.

All'inizio del XIX secolo migliorarono le tecnologie di produzione e di decorazione. In particolare a Sèvres, in Francia, Alexandre Brogniart, direttore di un'importante manifattura, sviluppa nuove tecniche di colaggio e brevetta una serie di migliorie alle fornaci, che culmineranno nel 1848 con l'invenzione del forno con focolai su due piani.

Con la Restaurazione l'industria delle ceramiche subisce un forte colpo, si punta sulla clientela borghese limitando il decoro costoso e si iniziano ad applicare le stesse tecnologie di produzione della terraglia alla porcellana. Si preferisce quindi intervenire sulle forme, con l'aggiunta di motivi a rilievo. Questo nuovo stile ha così successo che aziende come Coalport e Minton, in auge in quegli anni, riescono a mettere a dura prova industrie storiche come la Wedgwood. gli uffici brevetti inglesi e francesi si susseguono registrazioni d'invenzioni che riguardano le diverse fasi di lavorazione in serie della ceramica: macchine per stampare, modellare fresare, lavorare a rilievo, trapanare e dal 1846 macchine a stampo azionate a vapore¹⁷.

[21] Servizio TAC, designed by Walter Gropius, Rosenthal, 1968.



17_ "Storia del disegno industriale 1750-1850, L'età della rivoluzione industriale", Milano, Electa, 1991.

Il XX secolo vede l'affermazione del progetto moderno, inteso come l'eliminazione dell'ornamento in un'ottica di funzionalità, ergonomia e riproducibilità in serie, ma si trascina appresso condizionamenti diretti o meno del mondo ottocentesco. Le tecnologie di produzione vengono adattate ai nuovi tipi di energie, dalle fossili alle elettriche, ma sostanzialmente rimangono invariate. La vera sfida che comincia è lo sviluppo di un nuovo gusto, più fine ed essenziale, a livello formale che riesca ad esprimere la nuova visione progettuale che sta nascendo[21].

Ad oggi l'industria delle maioliche rimane una delle più fiorenti, in quanto non si è ancora trovato un degno sostituto a questo materiale¹⁸.

18_“Storia del disegno industriale 1919-1990, “Il dominio del Design”, Milano, Electa, 1991.

WEDGWOOD
POTTERIES
www.wedgwood.co.uk

Wedgwood inizia la sua storia nel 1759 quando Josiah Wedgwood, di soli ventinove anni, inizia una produzione indipendente di vasellame a Bursham, nella Contea di Stafford in Inghilterra. Affascinato dalle possibilità che la creta offre inizia a sperimentare senza sosta. Durante la sua vita ha inventato e prodotto tre famosi pezzi, famosi ancora oggi: Queen's Ware (1762), Black Basalt (1768), e Jasper (1774).

Josiah Westwood è ricordato ancora oggi come "Father of English Potters". Le sue ceramiche sono un esempio di qualità e creatività.

[22] Esempi di Servizi da tavola Wedgwood in catalogo.



Philip Rosenthal apre nel 1879 un laboratorio di decorazione delle porcellane a Erkersreuth, vicino a Selb in Baviera. Il marchio si sviluppa rivolgendosi in particolare ad un pubblico giovanile quando acquista Thomas, azienda di stoviglie fondata poco prima. Nel 1950 l'azienda passa nelle mani del figlio che una decina d'anni dopo, fonda *Rosenthal studio-line*, marchio dedicato a progetti e collaborazioni con artisti, architetti e designer dell'epoca. Tra i quali si annovera anche la famosa azienda italiana Sambonet e diversi designer italiani: Luigi Colani, Mario Bellini e Gianni Versace.

ROSENTHAL
STUDIO-LINE
www.rosenthal.de



[23] Servizio di piatti prodotto dalla collaborazione di Rosenthal Studio-Line con Sambonet.

RICHARD GINORI STOVIGLIE

www.richardginori.com

Nel maggio 1842 Giulio Richard, piemontese di origini Inglesi, rileva la fabbrica di ceramiche e porcellane di Luigi Tinelli. Il giovane imprenditore decide di proseguire nella produzione di manufatti pregiati e di incominciare una nuova linea di produzione dedicata al vasellame e alle stoviglie di uso quotidiano. Nell'1887 la società Richard si fonda con la società Palme storica azienda di Pisa. Nel 1896 la Manifattura dei marchesi Ginori si unisce alla società di Giulio Richard. Questa fusione permette una forte innovazione tecnologica della produzione e della decorazione, riducendo i costi e aumentando la produzione. Nel 1897 la Richard-Ginori acquisisce lo stabilimento ceramico per Terraglie del Cav. felice Musso di Mondovì e nel 1900 quello di Vado, famoso per la produzione di grès.

La Richard-Ginori assume Gio Ponti come direttore artistico, tra il 1923 e il 1930 per rinnovare i prodotti in catalogo.

Negli ultimi decenni la Richard-Ginori è passata sotto varie aziende che cercavano di salvarla dalla bancarotta, avvenuta nel 2013. Nello stesso anno Gucci compra il marchio e riesce a riaprire gli stabilimenti nel maggio 2013.

[24] Installazione di Paola Navone per Richard-Ginori al Fuorisalone 2009.



Bibliografia

Akthem Al-Manareeir, "Structural Concrete: Theory and Design", Londra, Wiley, 2012

William J. Curtis, "L'Architettura moderna dal 900", Milano, Phaidon, 2000

Eric Landowski, "La Società degli Oggetti", Marrone G., Roma, Meletemi Editore, 2002

Barbara Del Curto, "La Pelle del Design", Fiorani E., Passaro C., Milano, Lupetti, 2010

Jean-Marie Floch, "Bricolage, Lettere ai Semiologi della Terra Ferma", Roma, Meltemi Editore, 2006

Renato di Fusco, "L'Architettura delle 4 Avanguardie", Firenze, Alinea Editrice, 2010

Loredana Mascheroni, "Cemento Domestico" Domus 965, Gennaio 2013

Bernardo Bosco Bruno, "Consolidamento e Impermeabilizzazione dei Terreni. La tecnica del Gounting", Rimini, Maggioli Editore, 2013

P.K. Mehta, P. C. Aitcin, "Principles Underlying the Production of High-Performance Concrete", Cement, Concrete, and Aggregates, ASTM, V.12, No 2, 1990

Enzo Siviero, "Durabilità delle opere in calcestruzzo. Degradamento del calcestruzzo, corrosione delle armature, prevenzione, misura della durabilità, sperimentazione e controlli", Cantoni R., Forin M., Milano, Franco Angeli Editore, 1995

"Storia del disegno industriale 1750-1850, L'età della rivoluzione industriale", Milano, Electa, 1991

"Storia del disegno industriale 1919-1990, Il dominio del Design", Milano, Electa, 1991

E. Cooper, "Ten Thousand Year of Pottery", University of

Pensylvania Press, 2000

H. Fraser, “Ceramic Faults and Their Remedies”, A&C, 2005

H. Fraser, “The Potter’s Dictionary of Materials and Techniques”, A&C Black Publisher, 1991

Enrico Giannichedda, “Introduzione allo studio della ceramica in archeologia”, Volante N., Siena, Centro Editoriale Toscano sas, 2007

Sitografia

www.ce.berkeley.edu

www.concrete.org

www.treccani.it

www.watancon.com

www.cshdeluxe.de

www.ilrestodelcarlino.it

www.lavecchiafaenza.it

www.miezewau.it

www.corporate.sambonet.it

www.rosenthal.de

www.richardginori1735.com

2. LE MALTE HPC E LE MAIOLICHE A CONFRONTO

Nel capitolo precedente si è affrontata l'analisi dal punto di vista storico e del progetto delle malte HPC e delle maioliche. Questi due materiali sono stati selezionati in quanto le loro proprietà rispondono perfettamente alle necessità richieste per la produzione di stoviglie di uso quotidiano.

Le proprietà delle malte HPC (High Performance Concrete) sono la loro resistenza a flessione, la semplicità di lavorazione e la loro economicità, permettono di prendere in considerazione questo materiale in un contesto di prodotto.

Esistono diversi tipi di ceramiche utilizzate per produrre stoviglie che si diversificano a seconda della qualità e purezza delle materie prime. Si è scelta come riferimento la maiolica, essendo quella più utilizzata nella produzione di stoviglie di uso quotidiano.

Lo scopo di questo capitolo è dimostrare quanto questi i due materiali siano simili, per questo verranno confrontate le loro proprietà, i metodi di lavorazione e lo smaltimento.

2.LE MALTE HPC E LE CERAMICHE A CONFRONTO

2.1 Le Malte HPC

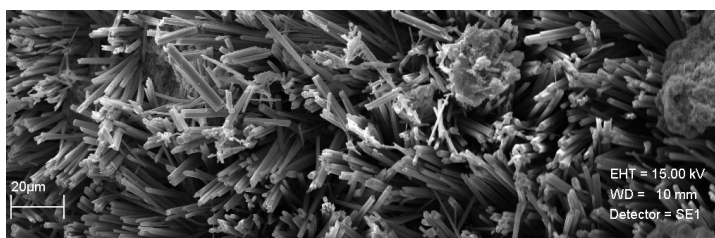
2.1.1 Composizione delle Malte HPC

Come ogni materiale composito la malta¹⁹ ha diverse prestazioni a seconda della sua composizione, infatti le HPC risultano avere, rispetto sia alle malte che ai calcestruzzi tradizionali, proprietà superiori in termini di resistenza, durabilità e stabilità sul lungo periodo, a seconda delle caratteristiche dei principali componenti - la matrice cementizia, gli aggregati e le fibre- e dalla loro interazione.

La principale differenza che si evidenzia nella composizione dell'impasto di un HPC rispetto ad un calcestruzzo tradizionale è l'elevato contenuto di cemento, il bassissimo rapporto a/c ²⁰ e la selezione degli aggregati. Semplificando si potrebbero raggruppare le componenti in tre gruppi:

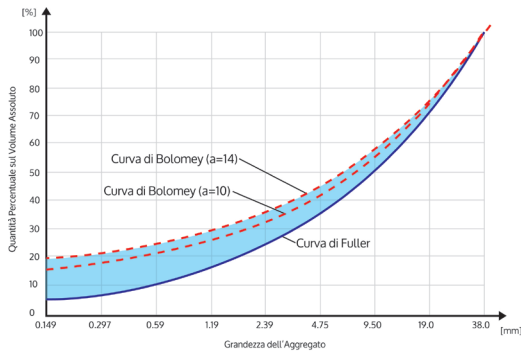
- un *premix* composto da cemento, fumo di silice e aggregati dei

[25] Cemento idratato visto al SEM (Scanning Electron Microscope), ovvero al Microscopio Elettronico a Scansione.



19_Le malte si differenziano dai calcestruzzi dalla grandezza degli aggregati, che non devono avere un diametro maggiore di 4 mm.

20_Il rapporto a/c indica il rapporto in massa tra il contenuto d'acqua efficace e il contenuto di cemento nel calcestruzzo fresco [definizione UNI EN 206-1]



[T1] Il fuso deve risultare nell'area formata dalla curva di Fuller, che indica il massimo impaccamento, e quella di Bolomey, la migliore reologia.

Dove l'equazione di Bolomey è:

$$P = a + (100 - a)(d/D_{max})^{1/2}$$

e "a" rappresenta il tipo di aggregato e la sua lavorabilità. a=10 significa che l'impasto è poco fluido e a=14 significa che è fluido. Dove quando a=0 l'equazione coincide con quella di Fuller.

[Mario Collepari²³, "The New Concrete", Treviso, Grafiche Tintoretto, 2006]

quali farina di quarzo e sabbia. La granulometria sottile degli inerti rende compatto e omogeneo l'impasto e il fumo di silice riduce la porosità, che apporta un aumento delle resistenze meccaniche e dell'impermeabilità.

- i liquidi, ovvero l'acqua e gli additivi, i superfluidificanti. Quest'ultimi hanno la funzione di rendere l'impasto lavorabile senza l'aggiunta di acqua non necessaria all'idratazione del cemento [25].

- le fibre, solitamente polimeriche per le malte, hanno una lunghezza di 10 mm e un diametro di 25 µm. Le fibre permettono un rinforzo a livelli microscopico stabilizzando la distribuzione delle fessure da ritiro e modificando il comportamento intrinseco della fragilità della materia cementizia.

I materiali costituenti vengono proporzionati, solitamente seguendo la curva di Fuller²¹, in modo da riuscire a massimizzare le proprietà meccaniche. Più il fuso²² del mix si avvicina alla curva di Fuller, migliore sarà l'impasto.

21_Curva di Fuller: curva granulometrica che caratterizza la massima compattezza di un aggregato. Precisamente, un aggregato ideale, con grani di diametro d, variabile con continuità da zero a un valore D, ha la massima compattezza (cioè il massimo peso specifico), quando la sua curva granulometrica ha equazione $p=100(d/D)^{1/2}$, ove p è la percentuale in peso di aggregato passante al setaccio con maglie di diametro d. [Treccani, dizionario delle scienze fisiche, 1996]

22_Fuso granulometrico: il campo di variabilità di un aggregato solido delimitato dalle due curve limite granulometriche (quella di Fuller e quella di Bolomey). [Treccani, dizionario delle scienze fisiche, 1996]

23_Ing. Mario Collepari ha lavorato nel campo della ricerca di calcestruzzi ad elevate prestazioni producendo numerose pubblicazioni e cinque brevetti a livello internazionale.

2.1.2 Proprietà delle Malte HPC

Gli HPC sono materiali progettati appositamente per avere prestazioni migliori rispetto al calcestruzzo tradizionale. L'intento è quello di aumentare la resistenza a compressione e soprattutto quelle a flessione. Infatti sono stati inizialmente progettati per avere una valida alternativa al calcestruzzo armato per le costruzioni a livello di ingegneria civile in modo da minimizzare sia i materiali che i costi.

Inoltre, grazie alla loro composizione, risultano essere autocompattanti, ovvero grazie alla viscosità ed omogeneità dell'impasto allo stato fresco non hanno bisogno di vibrazione o altri espedienti per riuscire a riempire interamente lo stampo senza creare bolle d'aria. Una proprietà che rende le malte HPC facilmente lavorabili.

Un'altra caratteristica data dalla composizione è lo sviluppo della maggior parte delle resistenze entro 24 ore. Infatti grazie ai superfluidificanti l'impasto viene reso molto lavorabile senza bisogno di aggiungere più acqua rispetto a quella necessaria per attivare il processo di idratazione del cemento. Annullando quindi il tempo di attesa dell'evaporazione dell'acqua in eccesso.

Tecnologie di Lavorazione

Per ottenere un manufatto in malta cementizia il metodo più comune è gettare il materiale allo stato fresco in uno stampo.

Per ottenere il fresco è necessario mescolare il premiscelato, venduto in polvere, con l'acqua. Il rapporto acqua/premiscelato è

[T2] Confronto tra le proprietà del calcestruzzo tradizionale e quelle delle malte HPC.

[Dati calcestruzzo tradizionale: G.

Barbieri, "Confronto tra metodi tradizionali e innovativi nella realizzazione di un'abitazione singola", Tesi di Laurea, Politecnico di Torino, 2013; dati HPC: E. Russo, "Calcestruzzi ad elevatissime prestazioni: proprietà e comportamento meccanico", Tesi di Dottorato XXIV Ciclo, Università degli studi di Napoli Federico II, 2011]

	Calcestruzzo Tradizionale	Malte HPC
Proprietà Meccaniche		
Rottura a Compressione	20 < Rc < 60 [MPa]	60 < Rc < 120 [MPa]
Rottura a Flessione	3,2 < Rc < 9,6 [MPa]	6 < Rc < 20 [MPa]
Proprietà Fisiche		
Ritiro	10 %	0 < Rit < 500 μm/m
Densità	2200-2600 [kg/m³]	2200-2400 [kg/m³]
Modulo di Elasticità	30 [GPa]	75 [GPa]
Coefficiente di Poisson	0,1 - 0,3	0,19-0,25

solitamente specificato sul sacco, in quanto varia a seconda della quantità di cemento Portland contenuta nella miscela, per le malte HPC si aggira intorno a 0,1-0,2.

Si possono utilizzare vari macchinari per la miscelazione a seconda della quantità di prodotto che si vuole ottenere. Per una quantità medio-piccola si possono utilizzare delle impastatrici industriali [26], di quelle solitamente usate nelle panetterie, oppure dei trapani che vengono utilizzate con delle fruste apposite [29]. Per una quantità maggiore solitamente sono consigliati dei mixer di grandi dimensioni [27] o delle betoniere [28]. Nel caso in cui il manufatto finito abbia una volumetria tale da necessitare un'ingente quantità di malta cementizia si può arrivare ad optare per le autobetoniere.

Da in alto a sinistra:

[26] Esempio di Mixer di Piccole dimensioni dell'azienda Hobart

[27] Esempio di mixer di grandi dimensioni.

[28] Esempio di betoniera

[29] Esempio di trapano con frusta per calcestruzzo accessoria.



Il tempo di miscelazione deve essere sufficiente ad attivare gli additivi fluidificanti in modo che l'impasto diventi omogeneo e lavorabile. Non bisogna però lavorarlo troppo a lungo, altrimenti si rischia di rendere il composto troppo pastoso, in quanto si attiva il processo di idratazione del cemento anzitempo. Solitamente si hanno dai 45 ai 60 minuti per mettere in opera la malta allo stato fresco prima che inizi a far presa.

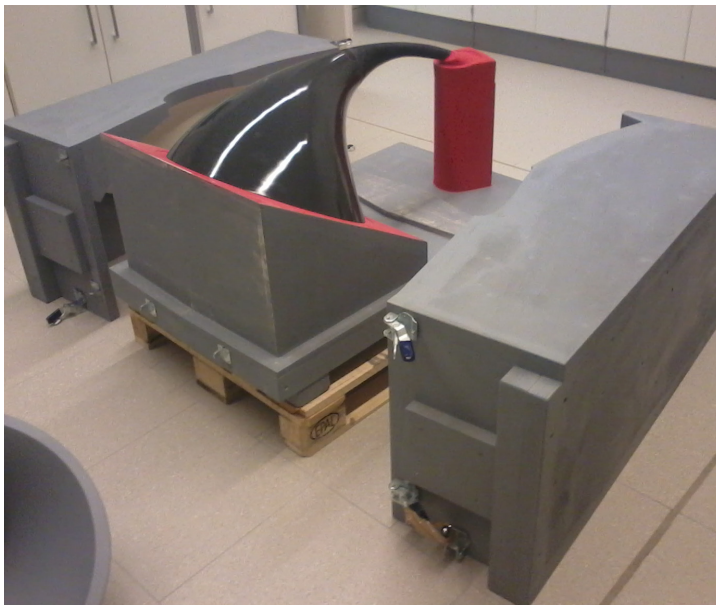
[30] Prova di spandimento per testare il materiale allo stato fresco.



Per verificare la fluidità del materiale, e quindi la sua lavorabilità, si procede con la verifica dello spandimento (*Slump Flow*). Ovvero si posiziona un tronco di cono di volume noto in materiale metallico al centro di una lastra di vetro. Dopo aver riempito l'oggetto con l'impasto lo si alza, cercando di traslarlo lungo l'asse perpendicolare alla lastra, in modo che il materiale fuoriesca e si espanda. Per ritenere la miscela corretta il disco creato dal materiale spandendosi deve raggiungere un determinato diametro [30].

A seguito della verifica si hanno due possibilità: gettare la malta nello stampo, sfruttando la forza di gravità e la sua proprietà intrinseca autocompattante, oppure iniettarla attraverso una pompa. Il primo metodo è quello più economico e non necessita di manodopera specializzata, ma si rischia di inglobare aria durante il getto e formare così dei difetti interni e di rendere più fragile il materiale. Il secondo metodo è stato sviluppato appositamente per evitare circostanze del genere, ma è più costoso e richiede manodopera specializzata oltre che stampi appositi.

Gli stampi devono necessariamente avere degli sfoghi in modo che l'aria, eventualmente inglobata durante il getto, possa fuoriuscire. Possono essere realizzati in acciaio, in resina o in gomma a seconda della serie che si vuole produrre [31]. Più getti si intendono fare con uno stampo, più resistente deve essere il materiale dello stesso.



[31] Esempio di Cassero in legno e resina.
Adeguato per una piccola serie (10-15 pezzi).

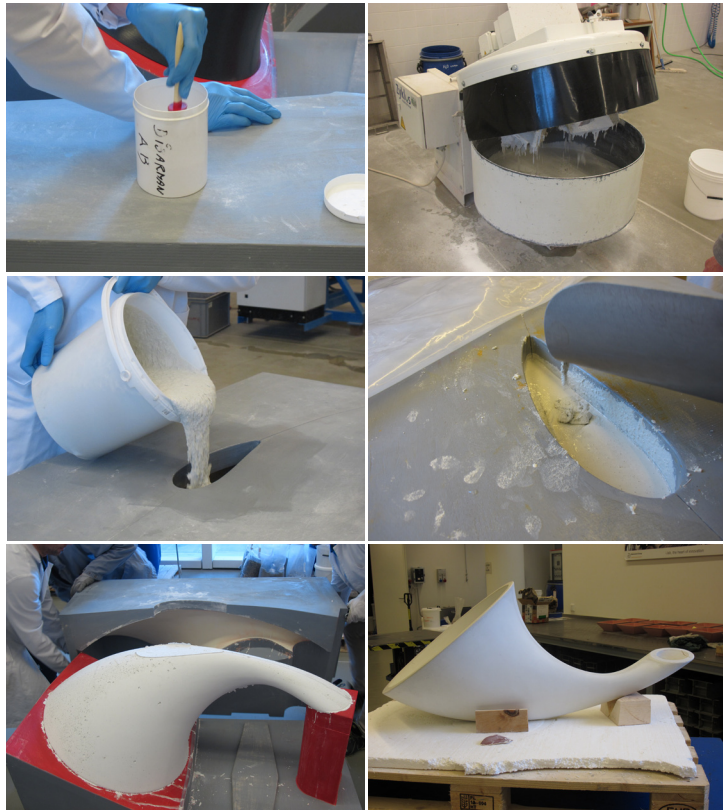
Il getto in stampo deve essere conservato in un ambiente con elevata umidità, per esempio una camera a nebbia²⁴, in questo modo l'acqua necessaria per l'idratazione del cemento non evapora bloccando il processo.

Lo stampo può essere aperto dopo 16 ore. In questo tempo infatti il materiale ha modo di asciugarsi e "formare" gran parte delle sue resistenze, che continueranno a crescere fino al ventottesimo giorno a seguito del getto quando il materiale si sarà stabilizzato totalmente [32].

Successivamente il pezzo scasserato sarà rifinito a mano: stuccando i difetti superficiali dove necessario e togliendo le bave.

[32] Fasi di getto e scassero di un manufatto in malta HPC, dalla prima immagine in alto a sinistra:

- a) Applicazione del disarante;
- b) Miscelazione del premix con acqua;
- c) Getto;
- d) fase di finitura/copertura dello stampo;
- e) Scassero;
- f) Getto scasserato.



24_Una camera a nebbia è un'ambiente totalmente isolato in cui il tasso di umidità viene mantenuto ad una determinata percentuale, solitamente attorno al 90%, e la temperatura costante a 20°C.

2.1.3 Tecnologie di Finitura Superficiale

Le malte HPC presentano un'ottima finitura superficiale grazie alla compattezza e all'omogeneità dati dagli aggregati fini e finissimi del materiale. Una delle caratteristiche più evidenti è la capacità di copiare perfettamente in negativo la superficie dello stampo. Si possono così ottenere bassorilievi fino ad uno spessore di qualche micrometro (per esempio di qualche adesivo). Inoltre a seconda del materiale di cui è costituito lo stampo la superficie potrà avere caratteristiche differenti. Con uno stampo in metallo per esempio il getto ottenuto con una finitura superficiale liscia, ma a seconda del tipo di disarmante utilizzato la superficie sarà visivamente più o meno opaca e presenterà o meno difetti superficiali.

Al contrario se lo stampo è in polimero (preferibilmente PE o PVC), la superficie risultante sarà quasi a specchio. Si suppone che questo accada perché la carica elettrica superficiale del materiale polimerico attira i finissimi creando così uno strato sottile di boiaccia²⁵ molto compatta. Ciò non succede con le resine e le gomme che a causa della loro porosità rendono la superficie del getto opaca, anche se liscia [33].

Si possono poi effettuare sul pezzo lavorazioni di finitura di natura meccanica o chimica a seconda dell'effetto che si vuole ottenere. Per mostrare gli aggregati a livello superficiale per esempio si può eseguire un'operazione di bocciardatura, ovvero battendo



[33] Travetti gettati in stampi con modalità differenti, a partire da sinistra:
-stampo in metallo ricoperto con foglio in acetato, la superficie risulta liscia e lucida;
-stampo in metallo con disarmante bianco, la superficie risulta liscia e compatta;
-stampo in metallo con disarmante oleoso, la superficie risulta liscia e opaca con diversi difetti superficiali.

25_Boiaccia: Nell'edilizia, pasta di cemento molto fluida, a volte resa più consistente con l'aggiunta di una materia plasticizzante: farina fossile, calce spenta, ecc. [Vocabolario Treccani]

26_Una mazza di acciaio particolare che permette di ottenere finiture particolari.

con una bocciarda²⁶ la superficie del manufatto rompendo lo strato superficiale formato dai fini, mettendo così in mostra gli aggregati sottostanti [34]. Un altro metodo è quello di “lavare” la malta. Prima del getto al posto del disarmante si stende una lacca ritardante sulla superficie dello stampo, questa ritardando la presa del cemento crea uno strato gelatinoso che può essere lavato via lasciando gli aggregati superficiali integri ed in vista. Un’effetto simile si potrebbe ottenere utilizzando degli acidi che corrodano il cemento²⁷.

La superficie in malta HPC permette naturalmente anche la verniciatura, con prodotti sia a base siliconica che a base d’acqua. Nel caso il prodotto finale sia destinato ad ambienti esterni, particolarmente aggressivi o a rischio di macchia è consigliato, ma non necessario, applicare un protettivo.

[34] Operazione di bocciardatura su calcestruzzo con utensile elettrico.



27_ Il cemento è un materiale altamente basico e quindi particolarmente sensibile agli acidi, ai solfati ed ai sali. [Luigi Santarella, “Il Cemento Armato: la Tecnica e la Statica”, Milano, Hoepli Editore, 1998]

2.1.4 Colorazione

Le malte HPC possono essere colorate in massa mescolando i pigmenti al premiscelato prima di aggiungere l'acqua. Solitamente si preferisce utilizzare pigmenti inorganici come ossidi di ferro o di cromo in quanto, oltre a non modificare la stabilità del materiale grazie alla loro inerzia ed alla loro insolubilità, hanno un'alto potere colorante, una resistenza assoluta alla luce un basso contenuto di sali solubili in acqua, un'elevata resistenza al calore, un'uniformità delle particelle e una qualità costante. I pigmenti possono essere trovati in commercio in polvere o in pasta, ovvero dispersi in una soluzione acquosa.

Contenendo cemento bianco, la maggior parte delle volte, gli HPC tendono a ottenere toni color pastello. Partendo infatti da una matrice chiara è difficile, anche aggiungendo un'elevato tenore di pigmento, che il colore risulti puro. Inoltre se il pigmento è troppo,



[35] Serie Parabola, designed by Mac Stopa, Italcementi, Milano, Fuorisalone 2013

una volta asciutto, la superficie cementizia inizia a “spolverare pigmento”.

L'aspetto a cui bisogna prestare attenzione all'impasto contenete il pigmento è l'acqua. Il pigmento infatti ha un potere di assorbimento notevole che non va sottovalutato. Se l'acqua risulta essere troppo poca, oltre a non attivare l'idratazione del cemento non permette neanche di attivare i fluidificanti rendendo così la malta difficilmente lavorabile.

Un'ottimo esempio di colorazione in massa, attraverso pigmenti, di materiali cementizi HPC sono le sedie ed i tavolini appartenenti alla collezione Parabola di Mac Stopa. Si può notare come dopo un anno che sono state tenute in ambiente esterno, sottoposte ad intemperie di vario tipo il colore non si sia modificato [35] [36].



[36] Serie Parabola, designed by Mac Stopa, Italcementi, Bergamo, i.lab 2014.

2.1.5 Dismissione

Solo recentemente i materiali cementizi vengono utilizzati nel campo del design di prodotto, questo comporta che non esista ancora una legislazione riguardo della modalità di dismissione.

Nello studio affrontato in questa tesi si è fatto riferimento alle norme riguardanti lo smaltimento di materiali per l'edilizia. In particolare, si ricorda il DM 186 del 5/04/2006) prevede che solo i "...rifiuti costituiti da laterizi, intonaci e conglomerati di cemento armato e non, [...], purché privi di amianto" possono essere avviati alla "produzione di materie prime secondarie per l'edilizia, mediante fasi meccaniche e tecnologicamente interconnesse di macinazione, vagliatura, selezione granulometrica e separazione della frazione metallica e delle frazioni indesiderate per l'ottenimento di frazioni inerti di natura lapidea a granulometria idonea e selezionata, con verifica di conformità dell'eluato del test di cessione".

Semplificando, si possono riutilizzare i materiali cementizi dismessi come inerti per nuovi impasti di calcestruzzi o malte. Questo è possibile grazie all'inerzia intrinseca del materiale che premette di non cambiare la natura chimica del calcestruzzo. D'altra parte però la percentuale di calcestruzzo riusato in un nuovo impasto non deve essere troppo elevata, in quanto si rischia di rendere il materiale troppo fragile²⁸.



[37] Intervento di frantumazione del calcestruzzo per il riciclaggio da parte della ditta Armofer, 2009.

28_A. Camparese, "La Gestione dei Rifiuti nell'Edilizia: i Materiali da Costruzione", *L'industria dei Laterizi*, n. 112, Marzo-Aprile 2010

2.2 Le Maioliche

2.2.1 Composizione delle Maioliche

Tra i vari prodotti ceramici derivanti dalla lavorazione delle argille le protagoniste di questo studio sono le maioliche. Questo materiale, come è già stato detto nel capitolo precedente, è stato ottimizzato appositamente per rispondere ai requisiti di una produzione a livello industriale.

Le maioliche si distinguono dalle terraglie tradizionali, solitamente utilizzate in un contesto artigianale, sia per la pasta che per lo smalto. Le maioliche si differenziano inoltre per l'uso a cui sono destinate, più sono pregiate maggiore è la possibilità che contengano caolino, componente fondamentale delle porcellane.

La pasta delle maioliche è composta da una marna argillosa, contenente sali di ferro e cariche minerali, e da una marna calcarea, solitamente di origine organica. Il colore può variare da un bianco sporco ad un giallo-rossiccio a seconda della quantità di ossidi ferrosi e polvere silicea. Quest'ultima oltre a rendere il materiale più chiaro aumenta sensibilmente le sue proprietà meccaniche.

Lo smalto, che viene applicato, una volta che la pasta è stata biscottata²⁹, è solitamente un silicato alcalino ed è composto da ossidi di piombo e di stagno sospesi in soluzione acquosa. Questi formano un composto che è possibile spalmare sul biscotto ed una volta asciutto diventa la base per la colorazione.

L'ultimo strato che compone la maiolica è la vetrina, formata da ossido di piombo e polvere silicea.

Paste, smalti e vetrine inoltre devono presentare lo stesso coefficiente di dilatazione. Infatti necessitando la lavorazione una serie di cotture ad elevate temperature se le materie prime possiedono coefficienti di dilatazioni differenti si rischia che durante il processo di raffreddamento si creino delle tensioni interne che rendono fragile il manufatto.

29_Il biscotto è il prodotto derivante dalla prima cottura di un manufatto di ceramica.

2.2.2 Processo di Produzione delle Maioliche

Grazie alla sua plasticità la ceramica permette di ottenere qualunque forma si voglia, dalle più semplici alle più complesse. Le tecnologie di produzione di prodotti in materiale ceramico sono molteplici e variano a seconda del prodotto che si vuole ottenere e della miscela utilizzata. Per i fini di questa tesi è importante comprendere come le stoviglie in maiolica possano essere prodotte in un'ottica industriale.

Innanzitutto si incomincia con la preparazione degli impasti e degli smalti. Le miscele argillose vengono mescolate in enormi mixer con acqua, che varia a seconda del composto che si vuole ottenere. Tecnologie di formatura come l'estrusione, il tornio e la formatura richiedono un impasto plastico ed elastico, al contrario del getto che necessita un impasto molto fluido (barbottina).

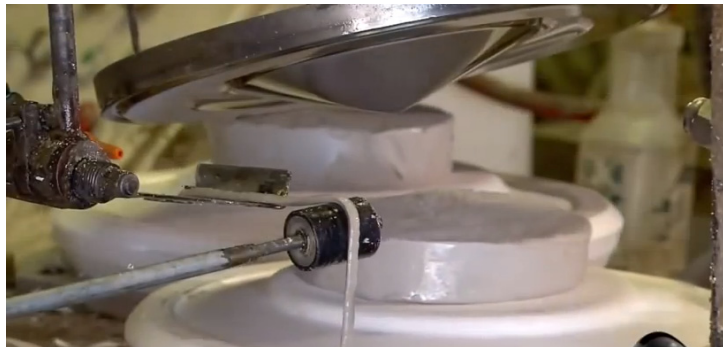
Il tornio meccanico è la tecnologia più utilizzata in quanto è la più economica [38]. Permette di ottenere forme molto semplici e pulite come piatti, ciotole e tazze. Nel caso di quest'ultime i manici vengono stampati e aggiunti successivamente incollandoli al corpo principale con della barbottina.

Per forme semplici ma con decori in rilievo, invece, la tecnologia di formatura adeguata è la formatura. Questa lavorazione è la più veloce ma anche la meno precisa.

Infine c'è il getto in stampo di gesso. Permette di ricreare forme cave altamente complesse ed elaborate. Il termine tecnico di questa lavorazione è *slip casting* o formatura per colaggio. Questo processo consiste nel riempire uno stampo, solitamente di un materiale poroso come il gesso, di una sospensione ceramica (barbottina). L'acqua viene rimossa dalla sospensione attraverso l'azione capillare esercitata dallo stampo poroso e le particelle ceramiche vengono compattate sulla superficie dello stampo per formare un oggetto solido. Più tempo si attende maggiore sarà lo spessore dello strato. Successivamente si drena il materiale in eccesso e con attenzione si estrae il pezzo in argilla bagnata.

Successivamente alla fase di formatura i pezzi ancora bagnati devono essiccare prima della cottura, altrimenti si rischia di rompere o deformare il pezzo. L'essiccazione è un processo lento. Inoltre maggiori sono le variazioni di spessore e pezzi sporgenti nel prodotto maggiore è il tempo impiegato. I pezzi vengono quindi chiusi in una camera che abbia un flusso costante di aria

[38] Processo di formatura attraverso tornio meccanico.
[immagini prese dalla puntata How's
Made Ceramic-Dinnerware, dall'omonimo
programma]



calda, non in direzione diretta del pezzo, così da mantenere l'aria nella camera calda e secca e permettere la migrazione dell'acqua dal cuore dell'oggetto all'esterno. La temperatura dell'aria però non deve essere troppo elevata, poiché si rischia di far formare una crosta, che non permetterebbe all'umidità interna di fuoriuscire compromettendone la qualità.

Prima di cuocere, i pezzi devono passare attraverso una fase di finitura, che può essere manuale o meccanizzata. La cottura avviene in forni ad elevatissime temperature. La maiolica è considerata una terraglia dura e va quindi cotta ad una temperatura tra i 1050°C e 1150°C. Questa fase del processo è quella più lunga in quanto il forno deve riscaldarsi e raffreddarsi molto lentamente, altrimenti si rischia di far esplodere i pezzi creando delle tensioni interne. L'intero processo può durare dalle 18 alle 24 ore [39].

A questo punto il biscotto viene smaltato con smalti ceramici, ad ingobbii o cristallina [40]. Lo smalto è il colorante più utilizzato in assoluto e può essere piombino (contenete piombo) o apiombico (non contenete piombo), quest'ultimo non ha bisogno dello strato ulteriore di vetrina per essere utilizzato per prodotti ad uso alimentare. Dopo la smaltatura, che dona all'oggetto il colore base, si passa alla decorazione con colori appositi o decalcomanie.

Infine il prodotto viene ricotto con le stesse modalità descritte precedentemente, ottenendo il prodotto finito³⁰.

30_Arie Gottfried, "I Materiali Tradizionali", Milano, Hoepli Editore, 2003

Da sopra:
[39] Prima e dopo la prima cottura
(biscottatura).

[40] A sinistra terraglie decorate dopo la
seconda cottura, a destra in attesa di essere
cotte.



2.2.3 Proprietà delle Maioliche

Le terraglie dure, quali sono le maioliche, presentano proprietà maggiori rispetto alle terraglie tradizionali, come la terracotta.

Le proprietà infatti variano sensibilmente a seconda della miscela e delle cariche minerali che le vengono aggiunte. In questo studio si sono prese in considerazione le proprietà appartenenti alle maioliche industriali. Innanzitutto devono possedere un'elevata lavorabilità e plasmabilità. Inoltre devono avere un'elevata resistenza al calore, una stabilità chimica, che le permetta di essere utilizzata in ambito alimentare, e un'elevata durezza. Lo smalto con cui sono ricoperte permette alle maioliche di sviluppare un'elevata resistenza al graffio.

Come le malte resistono molto bene agli sforzi a compressione ma molto meno per quelli a flessione, risultano quindi essere molto fragili e avere una bassa resistenza all'urto.

Maiolica	
Proprietà Meccaniche	
Rottura a Compressione	$20 < R_c < 60$ [MPa]
Rottura a Flessione	$8 < R_f < 20$ [MPa]
Proprietà Fisiche	
Ritiro	$5 < R < 10$ [%]
Densità	2400-5800 [kg/m ³]
Modulo di Elasticità	60 [GPa]
Coefficiente di Poisson	0,1 - 0,2

[T3] Tabella con le principali proprietà delle maioliche.

[i dati sono stati presi da: "Lezioni di Costruzione Meccanica" di G. Petrucci e da "I Materiali Tradizionali" di Airie Gottfried prodotto da HOEPLI EDITORE]

2.2.4 Decorazione delle Maioliche

La decorazione della ceramica può avvenire direttamente sul biscotto, dopo aver applicato lo smalto o con colori a terzo fuoco. Nel primo caso i colori si applicano direttamente sul biscotto, che successivamente verrà immerso nello smalto prima di essere cotto. Durante la cottura lo smalto diventa trasparente permettendo di vedere i colori sottostanti.

Il caso più comune, in particolare nel mondo dell'industrie, è l'applicazione del colore sullo strato di smalto essiccato (colore sovrasmalto) [41]. I colori sono composti da pigmenti, in passato si utilizzavano anche ossidi di piombo, sospesi in una soluzione acquosa. Oggi sono stati sviluppati colori appositi, non contenenti piombo, tali che possono essere utilizzati per oggetti che andranno a contatto con alimenti. Il principio è lo stesso dell'affresco, lo strato di smalto, molto poroso prima della cottura, assorbe il colore, che successivamente alla cottura rimane come "incastonato". Il colore può essere applicato attraverso pennello, a spruzzo oppure per immersione. Ancora oggi gran parte delle aziende che producono

[41] *Decorazione in soprasmalto applicata a mano*





[42] Set di quattro piatti disegnati da Piero Fornasetti per Fleming Joffle nel 1970, decorati con tecnica mista litografia-transfer printing.

stoviglie preferisce mantenere questa fase della produzione artigianale.

La decorazione a “terzo fuoco” si applica sullo strato di smalto già cotto, ma non ancora invetriato. Ci sono due tecniche che si possono utilizzare in questa fase: la decorazione attraverso colori appositi, differenti da quelli utilizzati per la decorazione sottostato e sovrasmalto, la litografia e il transfer print [42]. Queste ultime due tecniche sono le più diffuse nell’industria in quanto si riescono ad ottenere infinite possibilità decorative, possono essere applicate su qualsiasi superficie e sono facilmente meccanizzabili. Il decoro viene stampato su una carta apposita e poi trasferito meccanicamente sulla superficie. Successivamente si cuoce il pezzo per fissare i colori, il cosiddetto “terzo fuoco”.

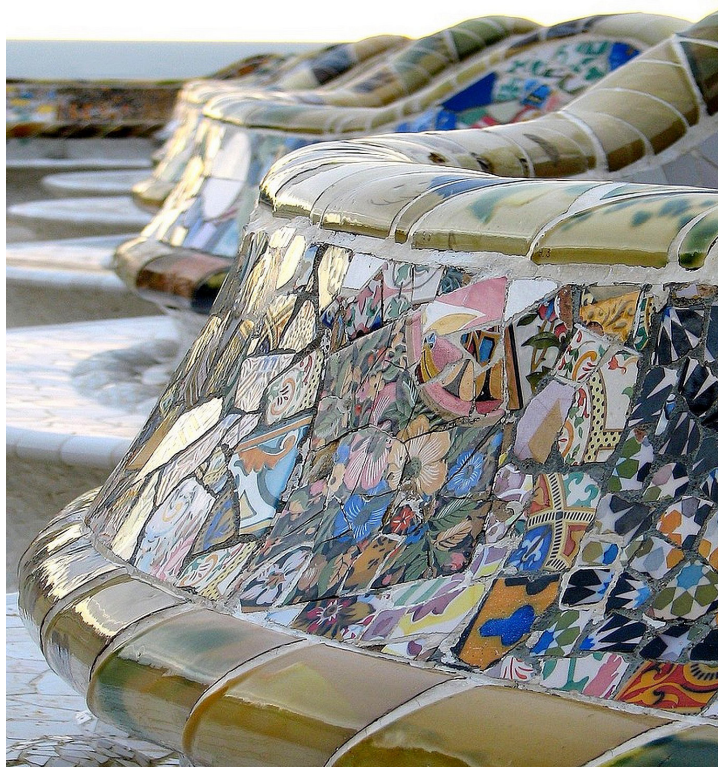
2.2.5 Dismissione delle Maioliche

La ceramica è un materiale molto difficile da riciclare, in particolare quella utilizzata per produrre stoviglie. Infatti le terrecotte e le ceramiche usate nell'edilizia possono trovare una seconda vita, dopo essere state sminuzzate, come inerti in materiali edili oppure in filiere esterne.

Le maioliche, solitamente, hanno il problema principale di essere smaltate e colorate, perciò contenenti piombo, che degradando risulta particolarmente inquinante. In commercio ci sono colori e smalti senza piombo, ma risultando più costosi e vengono ancora poco utilizzati.

Per ora la soluzione più sostenibile ecologicamente è riuscire a riusare i cocci donandogli una seconda vita [43].

[43] Parco Guell, Antoni Gaudì, Barcellona (Spagna). Le decorazioni sono state ottenute con cocci di maioliche varie.



2.3 Confronto tra HPC e Maioliche

Dal confronto dei due materiali si possono evincere una serie di aspetti molto simili tra loro che portano a considerare le malte HPC buone tanto quanto la maiolica per la produzione di stoviglie.

Innanzitutto entrambi sono materiali compositi che variano le loro proprietà a seconda degli elementi che compongono la miscela. I materiali presi in considerazione presentano anche proprietà molto simili che fanno supporre prestazioni analoghe in uno stesso contesto.

La lavorazione inizia per entrambi da un premiscelato a cui viene aggiunta acqua. I tempi di lavorazione allo stato fresco variano sensibilmente: le malte dopo circa un'ora incominciano a fa presa, il composto diventa meno fluido e perciò difficilmente lavorabile. Le argille rilasciano l'acqua assorbita molto lentamente, perciò si ha più tempo a disposizione per lavorarle. Inoltre finchè non vengono cotte possono essere reidrate e reimpastate.

La fase di produzione si differenzia di molto sia dal punto di vista dei tempi che dell'energia utilizzata. La malta deve essere solo gettata in stampo, una volta miscelato il premix con l'acqua, e scasserata, dopo 24h quando si è solidificata e si sono formate la maggior parte delle resistenze.

La ceramica invece dopo una formatura plastica, deve essiccare molto lentamente -i tempi di essiccazione variano a seconda della geometria del pezzo- ed essere cotta almeno due volte: una per ottenere il biscotto e l'altra per far vetrificare lo smalto. Ogni cottura dura circa 18-20 ore in quanto il forno deve riscaldarsi e raffreddarsi molto lentamente per non rischiare di creare tensioni interne al pezzo.

Perciò per produrre un manufatto in HPC si necessita la metà del tempo rispetto ad un manufatto in maiolica. La quale, produzioneoltretutto necessita una maggiore quantità di energia durante le fasi di essiccazione, cottura del biscotto e dello smalto.

Dal punto di vista della colorazione e decorazione invece la maiolica ha una scelta più vasta al contrario delle malte HPC. Anche se questi materiali cementizi possono essere colorati in massa e le ceramiche solo in superficie. Allo stato dell'arte odierno non si hanno ulteriori esempi di colorazione di malte cementizie, ma le basi per possibili altre decorazioni ci sono.

La dismissione è un aspetto sfavorevole per entrambi in quanto, ad oggi non esiste una legislazione che consideri i multistrato multilaterale cementizi né una per le maioliche. I rifiuti, sia cementizi che ceramici, provenienti dal mondo dell'edilizia possono essere processati in apposite riciclerie ed utilizzati come inerti in nuovi materiali edili. Le maioliche e le ceramiche smaltate non possono subire lo stesso trattamento in quanto contengono, la maggior parte delle volte, piombo. Questo decadendo potrebbe alterare le prestazioni di un materiale cementizio, se usate nell'edilizia, risultando inoltre dannose per l'ambiente.

Da questo confronto preliminare si può concludere che HPC e maioliche possono effettivamente essere concorrenti nel mercato della produzione a livello industriale di stoviglie.

[44] Cocci di maioliche destinati all'indifferenziato



	Malte HPC	Maioliche
Proprietà Meccaniche		
Rottura a Compressione	60 < Rc < 120 [MPa]	20 < Rc < 60 [MPa]
Rottura a Flessione	6 < Rc < 20 [MPa]	8 < Rc < 20 [MPa]
Proprietà Fisiche		
Ritiro	0 < Rit < 500 µm/m	5 < Rit < 10 [%]
Densità	2200-2400 [kg/m ³]	2400-5800 [kg/m ³]
Modulo di Elasticità	75 [GPa]	60 [GPa]
Coefficiente di Poisson	0,19-0,25	0,1-0,2
Lavorazione		
Tipi di lavorazione	Stampaggio per colata	Tornio (manuale e meccanico), stampaggio, slip casting
Processo	Impastaggio, colata in stampo, scasseratura, eventuali operazioni di finitura superficiale	Impastaggio, formatura, essiccazione, cottura, smaltatura e/o decoratura, seconda cottura, [eventuale decoratura con colori a terzo fuoco e ultima cottura]
Tempi T	24 h di tempo ciclo minimo	empi molto lenti
Necessità di Manodopera	Sì	Sì
Stampi		
Stampi da pezzo unico	In resina espansa, si possono ottenere pezzi molto complessi	In gesso, si possono ottenere pezzi molto complessi
Stampi da piccola - media serie	In legno e resina, resina o gomma, si possono realizzare anche pezzi complessi	In gesso, si possono ottenere pezzi molto complessi
Stampi da grande serie	In acciaio, sarebbe preferibile una forma non troppo complessa	In acciaio o in lega
Stampi da tornio	-	In gesso

Colorazione		
In massa-	Attraverso pigmenti preferibilmente inorganici (ossidi di ferro)	
Superficiale	Vernici a base siliconica, epossidica, ecc.	Smaltatura, decorazione con colori a base di pigmenti inorganici (possibili ossidi di piombo), colori da terzo fuoco
Dismissione		
Tipo di rifiuto	Indifferenziato	Indifferenziato
Possibilità di riciclo-	Parte dei rifiuti lapidei possono essere sminuzzati ed utilizzati come inerti in un nuovo impasto	

Bibliografia

Pierre-Claude Aitcin, "High Performance Concrete", CRC Press, 2011

Pierre-Claude Aitcin, "Performance-Based Specifications For High-Performance Concrete", Lezioni 2009

Mario Collepardi²³, "The New Concrete", Treviso, Grafiche Tintoretto, 2006

Devin K. Harris, "Characterization of punching shear: capacity of thin uhpc plates", Master of science in civil Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2004

Enrico Russo, "Calcestruzzi ad Elevatissime Prestazioni: Proprietà e Comportamento Meccanico", Tesi di Dottorato in Ingegneria delle costruzioni, Università degli Studi di Napoli Federico II, 2011

A. Camparese, "La gestione dei Rifiuti in Edilizia: i Materiali da Costruzione", L'Industria dei Laterizi N.112, Marzo -Aprile 2010

Sergio Usuardi, "Piastrelle di ceramica e Sostenibilità", Tesi in Tecnologia dei Materiali e Chimica Applicata, Università di Bologna, 2011

[XX] Testo testo

E. Bourry, "A Treatise on Ceramic Industry", Scott Greenwood & Son, 1911

A. Bertoni, "Progettazione d'impasti ceramici: analisi delle interdipendenze tra composizione chimica, mineralogica e processi di sinterizzazione delle materie prime", Reginelli M., Rovini A., Settembre D., Silingardi C., Ceramica Informazione N.448, Gennaio-Febbraio 2006

Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti, "Introduzione allo studio della ceramica in Archeologia", Siena, Centro Editoriale Toscano, 2007

Arie Gottfried, "I Materiali Tradizionali", Milano, Hoepli Editore, 2003

G. Nicoletto, "Morfologia Microstrutturale e Tenacità a Frattura nell'Allumina Policristallina", Tucci A., Esposito L., X Convegno

Nazionale Gruppo Italiano Frattura, Torino, Giugno 1994

L. Coppola, "I Calcestruzzi ad Alte Prestazioni", Collepari M., Troli R., L'Industria Italiana del Cemento, 1993

Sitografia

www.enco-journal.com

www.treccani.it

www.encosrl.it

www.addiment.it

www.expopage.net

www.disclit.unige.it

www.arofer.it/

www.casati.it

www.greenme.it

www.assopiastrelle.it

3. COME RENDERE GLI HPC ALIMENTARMENTE COMPATIBILI

Nel capitolo precedente sono state messe a confronto le proprietà e le lavorazioni delle malte HPC rispetto alle maioliche, dimostrando la loro possibile concorrenzialità nel mercato delle stoviglie.

La proprietà fondamentale richiesta per questo settore di mercato è la compatibilità alimentare. Nelle maioliche la compatibilità è data dallo strato inerte di vetrina o di smalto. Se non ci fossero queste finiture protettive si rischierebbe di avere un passaggio di costituenti che potrebbero compromettere a livello organolettico gli alimenti, in quanto ad esempio nella composizione della ceramica potrebbero essere presenti tracce di metalli pesanti.

Allo stesso modo non è possibile utilizzare le malte HPC senza uno strato di protezione. Infatti i materiali cementizi sono altamente basici e in un ambiente come la cucina, dove acidi, sali e grassi sono sempre presenti, diventa necessario uno strato protettivo.

Partendo da questa considerazione è stata affrontata una ricerca sia delle normative esistenti relativi a materiali destinati al contatto alimentare, sia di sostanze presenti sul mercato che, applicate a materiali cementizi, creino uno strato protettivo dagli alimenti. Dai risultati di questa ricerca iniziale si è sviluppata una possibile soluzione e, mediante dei test, verificato che potesse effettivamente funzionare.

3. COME RENDERE GLI HPC ALIMENTARMENTE COMPATIBILI

3.1 Prodotti in commercio finalizzati a rendere le superfici in materiale cementizio adatte al contatto con alimenti

Sul mercato si possono trovare diversi protettivi superficiali per calcestruzzo, utilizzati per esempio per i banconi delle cucine. Tra queste si sono evidenziate diverse soluzioni che hanno come fine quello di “sigillare” il materiale cementizio in modo da riuscire successivamente ad applicare un prodotto protettivo. Gli isolanti che si possono trovare in commercio vengono utilizzati pressoché esclusivamente su calcestruzzi e sono divisi in due categorie principali: gli isolanti penetranti e gli isolanti superficiali.

Questi materiali sono stati sviluppati principalmente per pavimentazioni e per la manutenzione di architetture in calcestruzzo. Il loro scopo non è quello di isolare la pavimentazione ma non permettono a liquidi di penetrare nel materiale. Questo tipo di finitura funziona al meglio su superfici che non entrano frequentemente in contatto con acqua o agenti detergenti.

Gli isolanti penetranti si presentano in forma liquida e possono venir applicati alle superfici mediante pennello o pistola a spruzzo. Fanno parte di questa categoria i densificanti, i quali agiscono a contatto con la superficie creando dei prodotti cementizi addizionali che vanno a riempire i micropori diminuendo così la porosità del materiale; e i repellenti, che hanno come scopo quello di cambiare la tensione superficiale rendendo idrofobica la superficie. Tra i densificanti quelli più comuni sono: i silicati di sodio, i silicati di potassio e i silicati di litio. Questi ultimi sono i più efficaci anche se

a causa del loro elevato costo sono i meno comuni. Invece i silicati di sodio, grazie al loro basso costo, sono i più utilizzati.

Tra i repellenti, invece, si possono trovare composti a base silicica, quali i silani e i silossani, o polimerica, come i fluoropolimeri. Questi hanno una buona resistenza ad abrasione, una volta penetrati nel materiale cementizio, al calore e agli UV.

Gli isolanti superficiali si suddividono in svariate categorie che si differenziano principalmente per la composizione chimica, prestazioni ed estetica. Lo scopo di questi prodotti è creare una barriera fisica, isolando così il materiale. I principali prodotti, appartenenti a questa categoria, che si possono trovare sul mercato sono: cere, resine acriliche, resine epossidiche, resine uretaniche.

Le cere sono i prodotti più economici, comuni e facili da applicare e vengono utilizzate solitamente unite agli isolanti penetranti [45]. Una volta applicate le cere formano una patina lucida che può risultare interessante dal punto di vista estetico ma risulta essere una protezione molto debole ad attacchi acidi (limone, aceto, caffè), oltre ad avere una scarsissima resistenza al calore.



[45] Applicazione di un prodotto a base di cera su una lastra in calcestruzzo.

Le resine acriliche, a base solvente o a base d'acqua, sono le seconde scelte più comuni nel mercato degli isolanti. Si presentano in forma liquida e si possono applicare alla superficie con pennelli, rulli o spruzzatori [46]. Una volta induriti creano una barriera impermeabile, ma poco resistente al graffio e al calore. Questo porta ad un inevitabile scrostamento che lascia la superficie priva di qualsiasi protezione.

[46] Applicazione a spruzzo di una resina acrilica su una lastra in calcestruzzo.



Le resine epossidiche si basano su sistemi bicomponenti che reagiscono quando vengono mescolate. La reazione è irreversibile e il risultato è una superficie molto durevole e molto resistente. Esistono tre principali tipi di resine: a base solvente, a base d'acqua e 100% solide. Queste ultime non presentano nessun tipo di solvente nella miscela, tutto il materiale che viene mescolato reagisce formando la copertura. Le resine epossidiche richiedono una manodopera specializzata: è necessario prestare attenzione sia alla miscela, che ai tempi, che alla stesura. I tempi di lavorazione sono molto limitati e in caso di errore non si può correggere l'operazione. La resina crea uno strato molto spesso, che, però, non è molto resistente al graffio e ai raggi UV, inoltre è vulnerabile a decadimento chimico e ingiallimento.

Le resine uretaniche hanno le migliori prestazioni, poiché sono resistenti al graffio, ai raggi UV, al calore e alle macchie [47]. Devono però essere applicate su superfici particolari e spesso hanno bisogno di un primer a base epossidica. Inoltre sono parecchio costose.

Questa categoria di isolanti è stata sviluppata principalmente come finitura superficiale di banconi da cucina in calcestruzzo. La maggior parte di questi materiali ha un costo accessibile e non richiede una manodopera specializzata, ma hanno anche scarse proprietà di adesione che obbligano ad una manutenzione costante.



[47] Top di un bancone realizzato in resina uretanica.

3.2 Creare un multistrato multimateriale alimentariamente compatibile

La regolamentazione di materiali e oggetti destinati ad entrare in contatto con alimenti, in Italia, è disciplinata sia da provvedimenti nazionali che comunitari.

Il Regolamento (CE) n. 1935/2004 è una norma quadro che stabilisce i requisiti generali cui devono rispondere tutti i materiali e oggetti in questione, in particolare: “Il principio base di questo regolamento è che i materiali destinati a venire a contatto, direttamente o indirettamente, con i prodotti alimentari devono essere sufficientemente inerti da escludere il trasferimento di sostanze ai prodotti alimentari che potrebbero comportare un pericolo per la salute umana, o da comportare una modifica inaccettabile alla composizione dei prodotti alimentari, o di un deterioramento delle proprietà organolettiche”.

Tenendo in considerazione questa norma, le malte HPC non potrebbero essere utilizzate per contenitori ad uso alimentare, in quanto, come già detto nei capitoli precedenti, il cemento è un materiale altamente basico potrebbe rilasciare sostanze che andrebbero ad intaccare l'equilibrio organolettico dell'alimento, se messo a contatto con acidi, sali od oli. Per questo motivo è necessario applicare una barriera che protegga il manufatto in materiale cementizio e al contempo sia compatibile alimentariamente creando un multistrato multimateriale.

Il Regolamento (UE) N.10/2011 (ripreso anche nel DM 21 Marzo 1973 più volte modificato ed aggiornato sino al 22 Maggio 2014) riguardante i materiali e gli oggetti di materia plastica destinati a venire a contatto con i prodotti alimentari, definisce il “multistrato multimateriale” come “un materiale o un oggetto composto da due o più strati di cui almeno uno di materia plastica”. Inoltre secondo lo stesso regolamento: “[...] in un materiale o oggetto multi strato multimateriale, uno strato non a diretto contatto con il prodotto alimentare e separato da esso da una barriera funzionale può essere fabbricato con sostanze non figuranti nell'elenco dell'Unione o nell'elenco provvisorio”.

Nei multistrato multimateriale in cui uno degli strati è in materiale polimerico ed è quello che entra a contatto con l'alimento, valgono

quindi i requisiti di composizione conformi al regolamento e deve essere fabbricato con le sostanze riportate nell'elenco comunitario.

Inoltre va considerato che l'eventuale polimero deve essere applicato su superfici complesse e deve formare un "guscio" compatto che non si possa intaccare. Sul mercato si possono trovare, come è stato detto nel capitolo precedente, prodotti a base polimerica che possono rendere i materiali cementizi temporaneamente adatti al contatto con alimenti. Il problema che li accomuna è che richiedono una manutenzione elevata o costi eccessivi e non possono essere utilizzati in un contesto quotidiano.

Considerando quindi la compatibilità dei materiali cementizi e materiali polimerici risultante dai prodotti esistenti e la lista di polimeri riconosciuti dalle normative come adatti al contatto alimentare si è deciso di creare un multistrato multimateriale HPC-PMMA.

3.3 Utilizzo di un polimero fotopolimerizzabile per la creazione del multistrato multimateriale

3.3.1 Rendere alimentariamente compatibili gli HPC grazie al PMMA fotopolimerizzabile

Le malte HPC presentano una serie di proprietà che le rende idonee dal punto di vista meccanico per essere il materiale costituente di un piatto. La caratteristica fondamentale che gli manca, però, è la compatibilità alimentare, ovvero la certezza che non trasmettano dei costituenti agli eventuali prodotti alimentari con cui potrebbe venire in contatto.

La malta è un materiale dal pH³¹ fortemente basico, ne consegue che nel momento in cui viene a contatto con acidi di varia natura potrebbe degradare. Ciò significa che un oggetto in malta HPC utilizzato in cucina, potrebbe degradare in qualunque momento.

Secondo la legge italiana è possibile considerare un multistrato multimateriale alimentariamente compatibile se lo strato che va a contatto con gli alimenti è una sostanza autorizzata a questo scopo e se riesce a creare una barriera impermeabile che impedisca l'eventuale migrazione di sostanze nocive. La sostanza scelta per questo studio è il polimero fotopolimerizzabile PMMA.

31_ Il pH, in chimica, è una notazione che significa propriamente 'potenza (nel significato matematico, cioè esponente) d'idrogeno (simbolo H)'; si usa per indicare la grandezza che misura l'acidità o la basicità di una soluzione acquosa, espressa dal cologaritmo decimale della concentrazione (o, più propriamente, dell'attività) degli ioni idrogeno. Pertanto: $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$. Questa relazione analitica deriva dalla tecnica potenziometrica (introdotta da S.P.L. Sørensen nel 1909) con cui sono state effettuate le prime accurate misure della concentrazione idrogenionica, per la quale il valore misurato del potenziale è funzione del logaritmo delle concentrazioni. [Treccani]

3.3.2 PMMA

Il PMMA, polimetilmetacrilato, è un polimero che presenta una serie di proprietà utili a questo studio. Innanzitutto è un materiale biocompatibile, infatti viene spesso utilizzato per produrre protesi di vario genere (dentiere, protesi oculari, lenti a contatto, protesi ossee), ed è, inoltre, testato per la compatibilità alimentare. Un esempio sono espositori trasparenti, solitamente utilizzati nei negozi di alimentari o bar o pasticcerie, i quali possono contenere prodotti da forno, caramelle, ecc. .

Questo polimero, inoltre, permette di creare una barriera funzionale impermeabile, tra il substrato in HPC e l'eventuale alimento con cui entrerebbe in contatto, grazie alle sue proprietà idrofobiche e di resistenza ad acidi.

Il motivo per cui il PMMA è stato selezionato come materiale è la sua possibilità di essere fotopolimerizzabile, ovvero che è possibile attivare il suo processo di polimerizzazione attraverso una lampada UV. Solitamente le miscele che vengono utilizzate per la fotopolimerizzazione hanno una composizione particolare che prevede il monomero di base, dei diluenti reattivi, dei fotoiniziatori (che non sono necessari ma velocizzano il processo di fotopolimerizzazione) e additivi.

	PMMA
Proprietà Meccaniche	
Rottura a Compressione	103 [MPa]
Rottura a Flessione	105 [MPa]
Proprietà Fisiche	
Ritiro	5 < R < 10 [%]
Densità	1,19 [g/cm ³]
Modulo di Elasticità	29 [MPa]
T max utilizzo	180 [°C]

[TS] Tabella con le principali proprietà del PMMA.

[i dati sono stati presi da: "Proprietà e lavorazione delle materie plastiche. Guida pratica per i tecnici dell'industria" di Filippo Cangialosi, Europass Editore, 2005"].

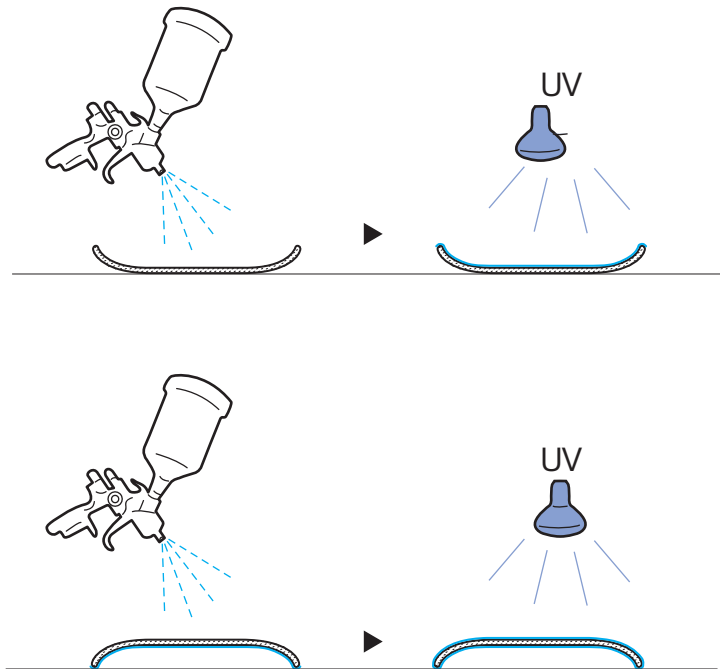
3.3.3 L'applicazione del PMMA al manufatto in HPC

Il metil-metacrilato potrebbe essere applicato al substrato in HPC e successivamente polimerizzato sotto una lampada a raggi ultravioletti. La compatibilità tra materiale cementizio e materiale polimerico è già stata utilizzata in passato nei “cementi trasparenti” come il Litracon, un cemento traslucido sviluppato dall'architetto Áron Losonczi in collaborazione con l'Università di Budapest, o l'i. light, il cemento trasparente sviluppato e commercializzato da Italcementi.

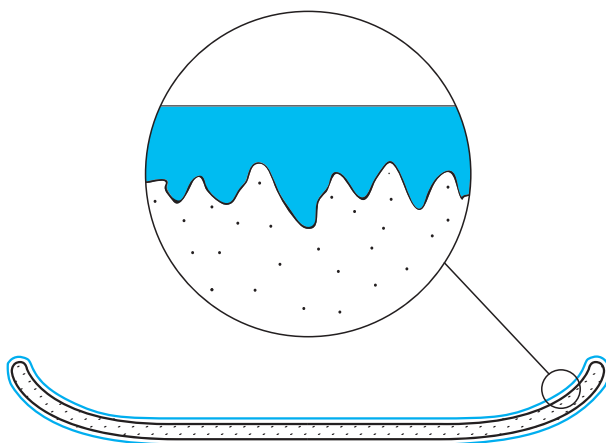
La differenza dello studio presentato in questa tesi con gli esempi citati è che quest'ultimi hanno ottimizzato la malta cementizia in modo che non ci fossero difetti nell'area di contatto cemento-polimero.

La resina viene applicata uniformemente al substrato in materiale cementizio, in forma liquida - applicata mediante pennello, rullo, pistola a spruzzo [48] o immersione, spin coating- in modo che possa riempire le porosità superficiali.

[48] Schema di processo di applicazione della finitura in PMMA.



Successivamente il materiale trattato con la resina viene esposto ai raggi UVA innescando così il processo di fotopolimerizzazione. Una volta fotopolimerizzato la superficie risulta dura e liscia al tatto, e presenta tutte le proprietà della resina utilizzata. Lo strato superficiale inoltre risulta ben adeso [49] al substrato cementizio e totalmente impermeabile.



[49] Dettaglio di aggrappo del polimero fotopolimerizzato al substrato in malta HPC.

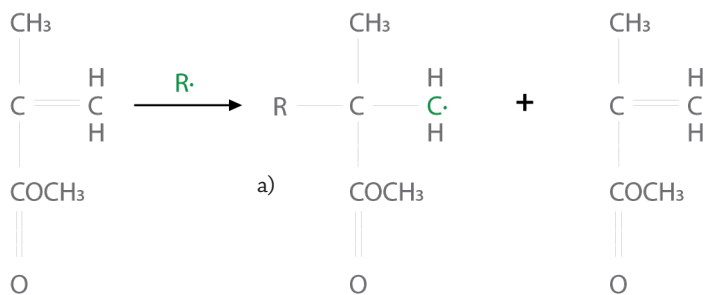
3.3.4 La fotopolimerizzazione del PMMA

Il PMMA deriva da un alchene³²; monomero che si presta particolarmente alla polimerizzazione. In particolare il PMMA si può formare attraverso una fotopolimerizzazione radicalica, ovvero l'energia data dai fotoni delle radiazioni, provenienti dalla lampada UV, in un determinato intervallo di lunghezza d'onda (300-400 nm) eccitano i fotoiniziatori che danno inizio al processo di polimerizzazione. Questo meccanismo di formazione dei polimeri è caratterizzato da tre processi in sequenza [50]:

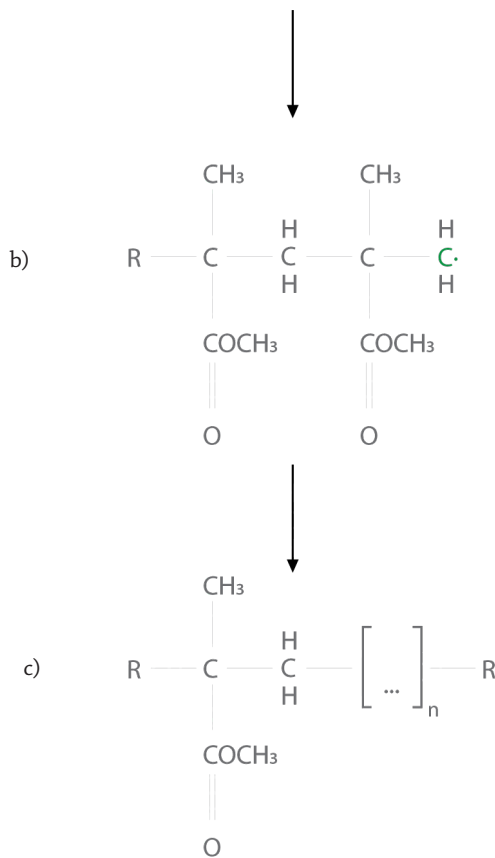
- a) Iniziazione, in cui viene prodotto un centro attivo. Nel caso della fotopolimerizzazione del PMMA il centro attivo è un iniziatore radicalico³³ R, attivato dalla radiazione dei raggi ultravioletti.
- b) Addizione, sul radicale avviene la reazione di addizione della specie monomerică, che comporta la formazione di un analogo centro attivo sull'unità addizionata e così via.
- c) Terminazione, reazioni che portano alla terminazione di una catena e quindi alla produzione di una catena polimerica definitiva. Solitamente avviene una reazione di addizione di un radicale simile a quello che ha iniziato il processo.

32_ Alchène: in chimica organica, nome generico di idrocarburo (composti organici formati solo da carbonio e idrogeno) alifatico (composto la cui molecola è formata da una catena aperta di carbonio) contenente un doppio legame (solitamente C-C).

33_ Iniziatore radicalico: atomo o aggruppamento di atomi originato dalla rottura di una molecola in corrispondenza di un legame di valenza assicurato da una coppia di elettroni di spin opposto, uno solo dei quali resta su ognuno dei due frammenti della molecola: l'elettrone che risulta così non più appaiato, conferisce al gruppo atomico che lo porta spiccata reattività e, conseguentemente, vita breve e lo rende paramagnetico; le reazioni in cui intervengono i radicali liberi interessano processi di grande importanza industriale (polimerizzazione, cracking, fotolisi, ecc.) [Treccani]



[50] Schema del processo di fotopolimerizzazione del PMMA.
 [Peter Vollhardt, "Chimica Organica", Bologna, Zanichelli, 1990]



3.3.5 Uso della fotopolimerizzazione nell'industria

La fotopolimerizzazione di coating è utilizzata da anni con successo in diversi campi dell'industria e su diversi materiali (legno, metallo, vetro, ecc.). Inizialmente utilizzata per creare layer protettivi su superfici 2D, in particolare pannelli di legno [51], ad oggi lo sviluppo tecnologico ha permesso l'utilizzo su superfici complesse tridimensionali, come per esempio nell'automotive. Questa tecnologia di polimerizzazione viene preferita ad altri tipi di lavorazione grazie alla sua economicità e sostenibilità. Infatti pur essendo le materie prime (polimeri fotopolimerizzabili) leggermente più costose rispetto a quelle concorrenti riescono a bilanciare il conto con la velocità e l'efficienza, poiché il processo di spruzzo e successiva polimerizzazione richiedono pochi secondi ciascuno, abbattendo così i costi legati all'energia. Inoltre i prodotti trattati possono essere processati immediatamente dopo la lavorazione.

I materiali utilizzati per la lavorazione si trovano al 100% in forma liquida-solida e non contengono né solventi né volatili, caratteristica che rende la lavorazione ecosostenibile in quanto non presenta prodotti di scarto. Il multimateriale multistrato finito, inoltre, presenta tutte le proprietà di resistenza meccanica del substrato e resistenza chimica e al graffio descritte precedentemente.

Si evince che la fotopolimerizzazione di coating polimerici è un processo ormai consolidato anche su superfici complesse e che potrebbe essere utilizzata facilmente anche su manufatti in materiale cementizio.



[51] Processo di fotopolimerizzazione di un coating protettivo per assi destinate alla pavimentazione d'interni. [Immagini dell'azienda ungherese Monte-Titano www.monte-titano.hu]

La PPG è un'azienda che si è costruita nel tempo una forte immagine legata a prodotti innovativi e ad elevate prestazioni. Fondata nel 1883 da John Baptiste Ford e John Pitcairn a Pittsburg, inizialmente produce del vetro in lastre (Pittsburgh Plate Glass Co.) e si espande sempre più entrando nei settori più diversi. Oggi l'azienda spazia in diversi settori tra i quali: vetro e fibre di vetro, ottica, chimica, materiali speciali e vernici e rivestimenti. In particolare per quest'ultimo settore sono stati fra i primi ad utilizzare ed innovare finiture polimeriche fotopolimerizzabili.

Tra i loro prodotti vi è RAYCRON® UV Coating, un polimero fotopolimerizzabile che non contiene acqua o solventi; ed è caratterizzato da un basso livello di VOC (Composti Organici Volatili) e HAP (Inquinanti Atmosferici Pericolosi) oltre a ridurre l'energia di polimerizzazione.

RAYCRON® è stato sviluppato per rispondere alle esigenze delle industrie di pavimentazioni (parquet, linoleum, cork, ecc.) e prodotti di consumo (telefoni cellulari, computer portatili, ecc.).

Un'altro prodotto D&M™ UV Coating, commercializzato come protezione per pannelli o pavimenti, viene solitamente applicato al" MDF e al legno.

PPG
COATINGS
www.ppg.com

La Crown Cork & Sealing Company è un'azienda americana che produce contenitori in metallo destinate ad uso alimentare, latte a pressione, coperchi metallici e scatole metalliche. È stata fondata nel 1892 a Philadelphia da William Painter, inventore del tappo a corona. Oggi è una delle maggiori multinazionali produttrici di lattine, tra i suoi clienti si annoverano la Heineken, la Cadbury e la Bosch.

Da anni la Crown Cork utilizza UV Coating per creare uno strato polimerico che al contempo protegga e decori la lattina. Infatti crea una barriera funzionale che rende il metallo idrorepellente e resistente al graffio. Inoltre la finitura può essere personalizzata facilmente con una successiva operazione di decorazione.

La Crown Cork dichiara di utilizzare questa tecnologia in quanto poco impattante sull'ambiente: non presenta VOC, è energeticamente efficiente ed è veloce. Questo permette una velocizzazione della produzione con un conseguente incremento della stessa.

[52] Lattina trattata con UV Coating polimerico.



3.4 Realizzazione provini in multistrato multi-materiale HCP-PMMA

3.4.1 Materiali

Per la realizzazione dei provini, necessari per i test sperimentali, si è deciso di utilizzare due prodotti presenti in commercio: la malta ad elevate prestazioni *i.design EFFIX* di Italcementi e il polimero fotopolimerizzabile Adper Scotchbond della 3M ESPE.

i.design EFFIX

La malta *i.design EFFIX* è un materiale ad elevate prestazioni appositamente studiata per essere utilizzata in un contesto di prodotto, infatti la composizione del premiscelato permette sia di ottenere delle prestazioni meccaniche molto buone, sia di ottenere un ottimo risultato a livello di finitura superficiale. Si è sfruttata



[53] Esempio di colorazione naturale e pigmentata messe a confronto [Cementofoni, designed by Francesca Rho e Painé Cuadrelli, Italcementi, 2014].

infatti la capacità di riprodurre perfettamente lo stampo producendo provini con un diverso grado di rugosità superficiale per testare al meglio l'aggrappaggio del polimero.

Poichè il legante cementizio di matrice bianca, il colore naturale del materiale risulta essere color avorio. Questo permette di ottenere delle colorazioni brillanti mediante pigmentazione [53].

[T6] Tabella con le principali proprietà di i.design EFFIX.
[i dati sono stati presi dalla scheda tecnica del prodotto
<http://www.italcementi.it>].

i.design EFFIX		
Proprietà Meccaniche		
Rottura a Compressione [MPa]	a 1 giorno a 7 giorni a 28 giorni	60 90 100
Rottura a Flessione [MPa]	a 1 giorno a 7 giorni a 28 giorni	6 7 9
Proprietà Fisiche		
Ritiro	0 < R < 500 [µm]	
Densità	2340 [kg/m³]	
Modulo di Elasticità	60 [GPa]	
Coefficiente di Poisson	0,1 - 0,2	
Lavorabilità	Elevata	
Colorazione in massa	Sì	
Compatibilità a vernici	Elevata	

Adper Scotchbond

Il prodotto *Adper Scotchbond* è un polimero fotopolimerizzabile che viene solitamente utilizzato in campo dentistico. La scelta è ricaduta su questo materiale in quanto è già utilizzato in ambito di biocompatibilità: per sistemare un'otturazione o durante il processo di applicazione di faccette di ceramica ai denti. Inoltre essendo stato progettato per un ambiente aggressivo, quale è la bocca, la sua resistenza agli acidi è particolarmente elevata, come pure la sua impermeabilità a sostanze nocive.

Adper Scotchbond ESPE	
Composizione	
Bisfenolo A diglicidil etero dimetacrilato	60 - 70 [%]
2 - idrossietile metacrilato	30 - 40 [%]

[T7] Composizione Aper Scotchbond [i dati sono stati presi dalla scheda di sicurezza del prodotto].

3.4.2 Realizzazione dei provini

La realizzazione dei provini in multistrato multimateriale si sviluppa in tre fasi: il getto del substrato in malta, l'applicazione del polimero e l'esposizione alle lampade UV.

Tutti i provini sono stati preparati seguendo passo passo questo iter, l'unico fattore che può variare a seconda del test sono le dimensioni rispondenti alla normativa specifica.

Getto del substrato in i.design EFFIX

Il substrato è stato preparato seguendo le istruzioni presenti nella scheda tecnica, ovvero mescolando una data quantità di premiscelato con una quantità d'acqua pari all'11% del suo peso in un miscelatore meccanico. In particolare per ogni impasto si sono utilizzati 2 kg di premiscelato e 22 g d'acqua. Il miscelatore era un'impastatrice planetaria Hobart di medie dimensioni [54a].

Il premiscelato viene mescolato per 30 s a velocità media da solo in modo da distribuire le fibre e gli additivi fluidificanti in modo omogeneo. Successivamente si mescola a velocità massima aggiungendo tutta l'acqua per 2 min [54b]. Una volta fermata la macchina si controlla la fluidità dell'impasto e mescolando a mano si inglobano le eventuali polveri rimaste sulle pareti della ciotola o sul fondo. Per finire si mescola l'impasto per 2 min ancora a velocità massima. L'impasto alla fine deve avere una viscosità tale che gli permette di scorrere e autocompattarsi facilmente. Si hanno circa 45 min a disposizione per il getto dell'impasto prima che il cemento "faccia presa".

L'impasto viene successivamente gettato mediante una "spatola" [54c] in casseri [stampi] di acciaio.

Considerando che si voleva ottenere una parte dei provini con una finitura superficiale differente sono stati utilizzati degli accorgimenti sugli stampi. Per ottenere una finitura liscia-lucida sono stati ricoperti alcuni stampi con fogli di acetato e per una finitura liscia-opaca si è utilizzato un disarmante particolare a pasta bianca. I getti allo stato fresco [54d] sono stati coperti con un foglio di plastica in modo che l'acqua necessaria all'idratazione del cemento non evapori. I provini sono stati scasserati dopo 24h [54e]. Sono stati poi lasciati stagionare per un minimo di 28 giorni in modo che sviluppassero tutte le resistenze.



[54] Processo di getto dei provini, da in alto a sinistra:

a) Preparazione del premiscelato dentro il cestello della planetaria Hobart.

b) Aggiunta di 22 g di acqua distillata a 2 Kg di premiscelato.

c) Getto in cassero.

d) Getti allo stato fresco nello stampo.

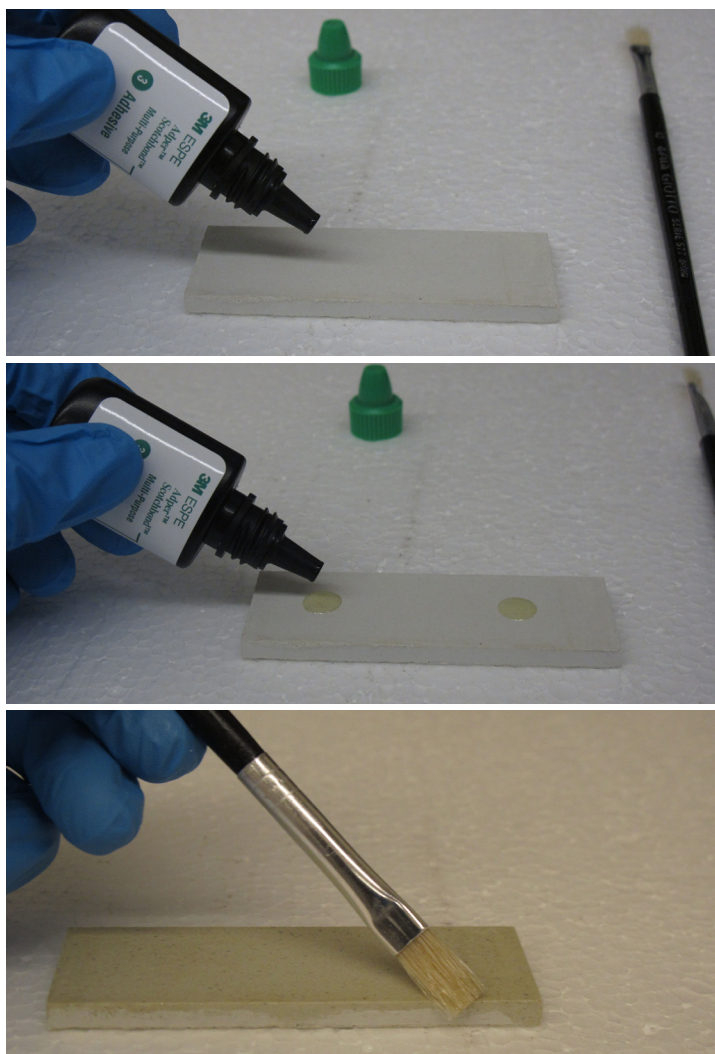
e) Getti scasserati dopo 24 h.

Applicazione del polimero

Il polimero fotopolimerizzabile Adper Scotchbond è stato applicato alle piastrine stagionate a 28 giorni mediante pennello. In particolare è stata applicata una quantità della sostanza tale da creare un coating di circa 0,1mm sulla superficie del provino [55].

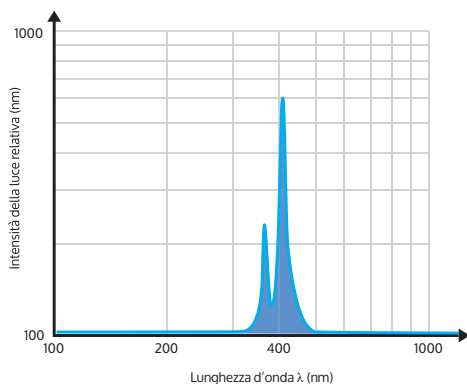
Una volta applicato il polimero la piastrina è stata esposta a radiazioni ultraviolette e successivamente le è stato applicato il prodotto una seconda volta fino a raggiungere uno spessore di circa 0,2 mm.

[55] Processo di applicazione del polimero.



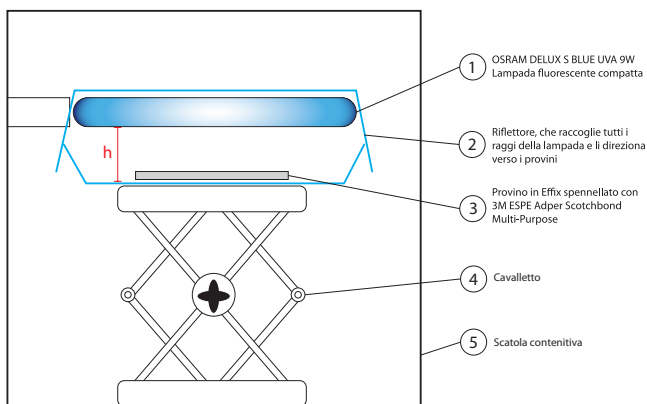
Esposizione ai raggi UVA

Una volta applicato il polimero le piastrine sono state inserite in un reattore con lampade UV Blu (Osram Dulux S Blue UVA) aventi una lunghezza d'onda λ compresa tra i 380 e i 500 nm con un picco a 420 nm [T8].

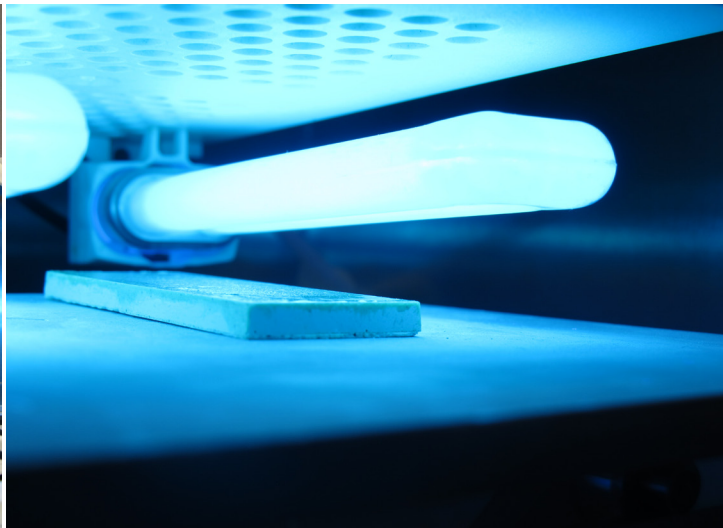
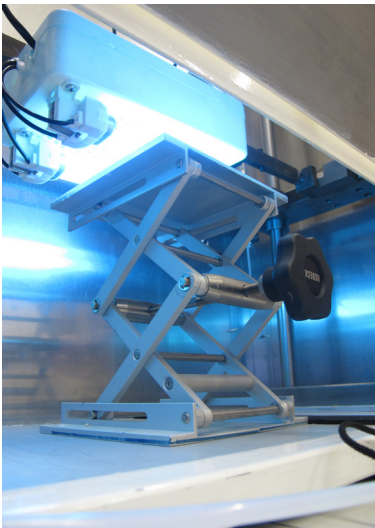
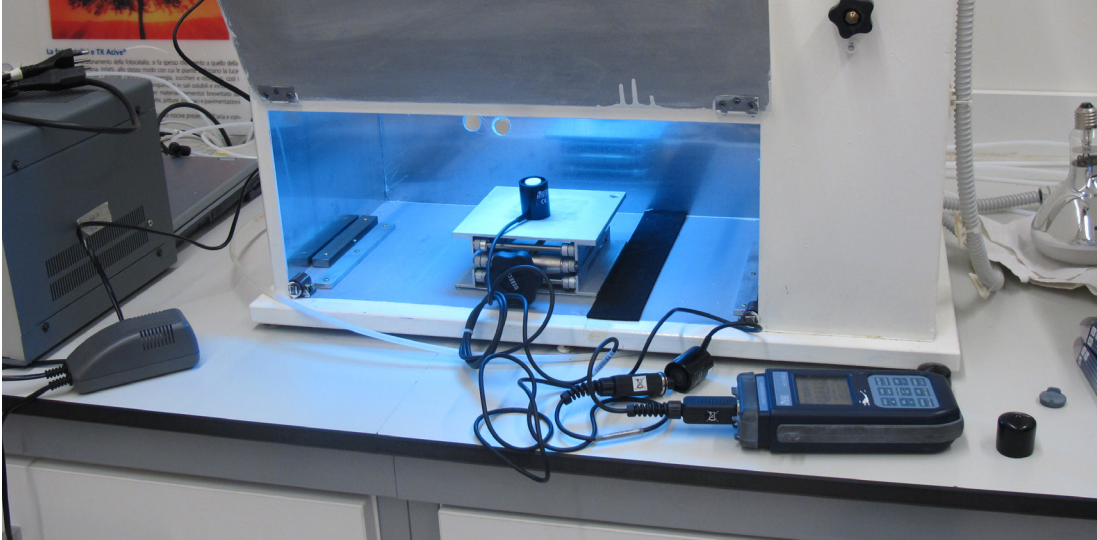


[T8] Il grafico indica l'intensità della luce relativa della lampada blu rispetto alla sua lunghezza d'onda. In blu scuro è evidenziata l'area di fotopolimerizzazione del polimero.

Il reattore è formato da una scatola chiusa in cui sono state inserite due lampade [56]. La distanza ottimale tra la piattaforma del cavalletto e le lampade è stata ottimizzata misurando la massima potenza luminosa mediante un'apposito spettrometro [57]. Inoltre, per non disperdere l'energia luminosa, si è ricorsi ad un riflettore che permetteva la focalizzazione dei raggi sulle piastrine. I provini sono stati lasciati nel reattore fino a fotopolimerizzazione avvenuta.



[56] Schema del reattore.



In ordine antiorario:

[57] Misurazione della potenza luminosa.

[58] Reattore con lampade UV blu.

[59] Provino posto nel reattore per far fotopolimerizzare il coating polimerico.

3.4.3 Determinazione dello spessore del coating polimerico

Per determinare lo spessore del coating polimerico, applicato manualmente sulle piastrine, si è eseguita una misurazione mediante un calibro. Sono state eseguite tre misurazioni prima e dopo l'applicazione. Dai risultati si evince che con il coating lo spessore medio del provino è di 0,2 mm superiore, perciò lo strato polimerico presenta uno spessore medio di 0,1 mm.



[60] Misurazione dello spessore di un provino mediante calibro a seguito dell'applicazione del coating.

Misurazioni provino senza coatingM	isurazioni provino con coating
4,47 [mm]	4,74 [mm]
4,52 [mm]	4,60 [mm]
4,50 [mm]	4,67 [mm]
4,49 [mm]	4,67 [mm]

[T9] Risultati delle misurazione eseguite mediante calibro prima e dopo l'applicazione del coating.

3.5 Prove per testare il multistrato multimateriale HPC-PMMA per il contatto alimentare.

Secondo il Regolamento (CE) n. 1935/2004 relativo ai materiali destinati a venire a contatto con prodotti alimentari nel caso si tratti di multistrato multimateriale lo strato esterno che è effettivamente a contatto con gli alimenti deve risultare: alimentariamente compatibile ed impermeabile. Poichè deve garantire che le proprietà organolettiche dell'alimento non vengano intaccate da possibili agenti nocivi rilasciati dal substrato non a diretto contatto con l'alimento.

Considerando che il materiale scelto per formare il substrato compare nella lista³⁴ di materiali polimerici utilizzabili nei prodotti destinati al contatto alimentare, l'aspetto da verificare è la sua effettiva impermeabilità.

Sono state eseguite quindi quattro differenti prove per testare la possibilità di utilizzare in sicurezza il multistrato multimateriale HPC - PMMA. Innanzitutto il materiale è stato sottoposto ad una prova di adesione, per verificare l'aggrappo del polimero al substrato in malta HPC. Successivamente sono state eseguite due differenti prove per testare l'impermeabilità del multimateriale: una prova di assorbimento e una di permeabilità. Infine si è testata la resistenza dello strato protettivo ad acidi alimentari.

34_ DM 21 Marzo 1973, aggiornato al 22 Maggio 2014, Allegato II - Elenco delle sostanze autorizzate per la preparazione di oggetti destinati al contatto con alimenti, Sezione 1 - Materie plastiche, Parte A - Resine.

3.5.1 Prova di adesione

La prova di adesione è stata eseguita attraverso un *Pull-Off Test*, seguendo le modalità descritte nella norma UNI EN ISO 4624. Lo scopo di questo test è determinare il grado di adesione del coating polimerico al substrato in malta HPC, determinando la forza massima di trazione che si può applicare prima che lo strato polimerico superficiale si distacchi dal substrato.

Strumentazione

Per la prova è stato necessario utilizzare un apparecchio a trazione pneumatica [59]. La forza è stata applicata perpendicolarmente alla superficie del provino e la velocità con il quale il pistone è risalito è aumentata uniformemente con un'accelerazione minore a 1 MPa/s^2 in modo che la rottura è avvenuta entro 90 s.

Preparazione dei provini al test

Per questo test sono stati utilizzati sei provini di multistrato multimateriale HPC-PMMA di dimensioni $80 \times 80 \times 10$ mm, di cui tre avevano una superficie lucida e tre una superficie opaca [60a] prima di essere trattati con il polimero su una delle superfici maggiori.

I provini sono stati confezionati secondo indicazione della normativa UNI EN ISO 4624, secondo la quale bisogna applicare il coating in un'area del provino pari alla superficie della testina metallica che le verrà applicata. Perciò prima di trattare i provini con il coating polimerico è stato segnato con un pennarello l'area di applicazione [61b]. Successivamente si è applicato, sotto cappa, il polimero [61d] [61e] [61f] alle piastine entro i confini del cerchio tracciato e sono stati inseriti nel reattore [61g] [61h].

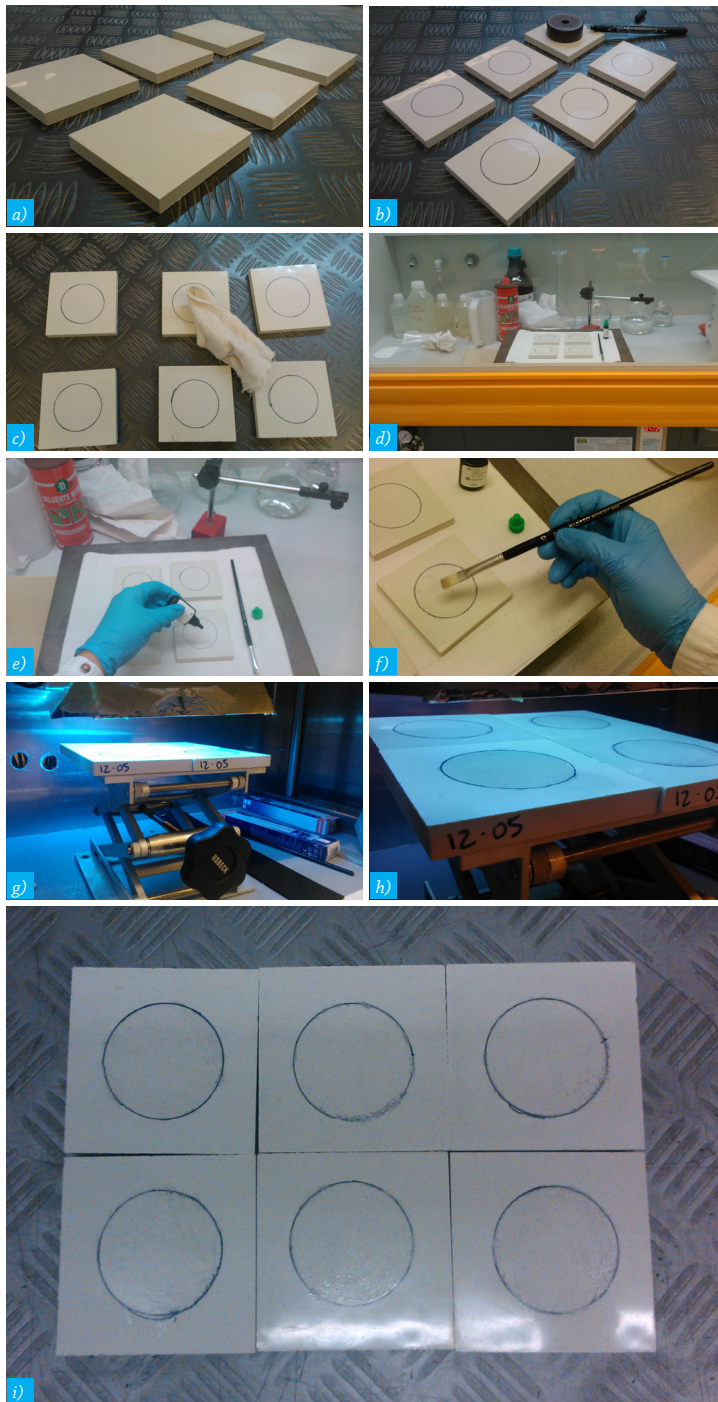
[XX] Testo testo

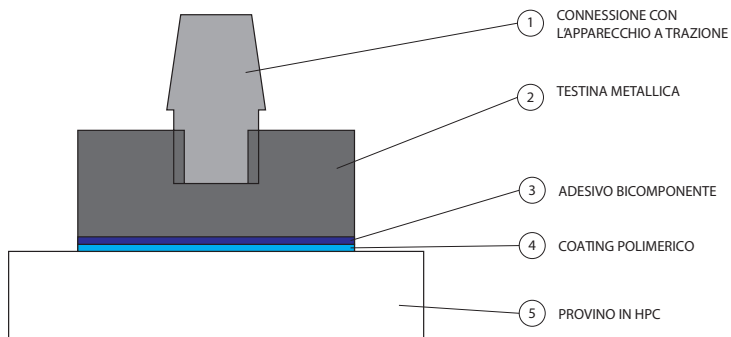
Una volta polimerizzato il coating si sono preparati i provini in multistrato multimateriale HPC-PMMA [61i] per la prova di adesione attraverso l'incollaggio di alcune testine metalliche che fungono da connessione tra il provino e l'apparecchio a trazione pneumatica. Si sono quindi applicate delle testine metalliche che serviranno a connettere i provini con la macchina a trazione.

Le testine sono di forma cilindrica e hanno un diametro di 50 mm e uno spessore di 30 mm, inoltre hanno nel centro un foro filettato dove si avvita la connessione con la macchina a trazione, come si può vedere in figura [62].

[61] Applicazione del coating allr piastine in HPC per la prova di adesione, sequenza partendo da in alto a sinistra:

- a) Piastrine lucide e opache;
- b) Disegno dell'area di applicazione del polimero;
- c) Pulizia con panno umido;
- d) Posizionamento sotto cappa;
- e) Applicazione del polimero;
- f) Spargimento del polimero mediante pennello;
- g) Posizionamento nel reattore;
- h) Polimerizzazione nel reattore;
- i) Provini con coating polimerico.





[62] Schema di assemblaggio del sistema testato.

Dopo aver pulito la superficie del provino da trattare e della testina metallica si è steso un'adesivo bicomponente (in particolare Adesilex PG1 della Mapei) sulla superficie della testina. Successivamente si è centrata la testina metallica sulla superficie della piastrina e si sono attese 24 h, ovvero il tempo necessario all'adesivo per fare presa [62].

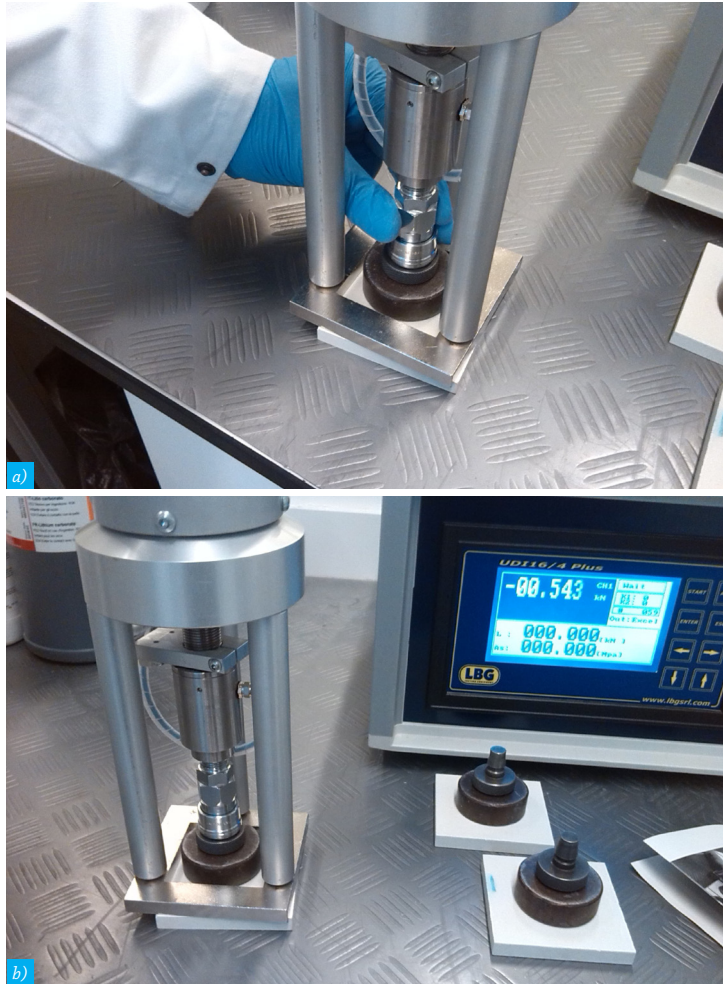


[63] Preparazione dei provini: a) Dosaggio dell'adesivo bicomponente; b) Miscelazione dell'adesivo; c) Applicazione dell'adesivo sulla testina; d) Centraggio della testina sul provino.

Esecuzione della prova

Non appena trascorso il tempo necessario per l'indurimento dell'adesivo si è posizionato l'assemblaggio nell'apparecchio di trazione, facendo attenzione ad allineare le testine in modo tale che la forza di trazione sia applicata uniformemente sulla superficie di prova senza sforzo di flessione[63a]. Si è quindi applicata una forza di trazione crescente ad una velocità non maggiore di 1 Mpa/s, perpendicolare al piano del supporto in malta HPC rivestito [63b] e tale che la rottura dell'assemblaggio sia stata prodotta entro 90 s. La prova è stata ripetuta per ogni provino precedentemente confezionato.

[64] Esecuzione prova di adesione:
a) Applicazione del sistema alla macchina;
b) Azione di trazione della macchina.



3.5.2 Prova di assorbimento capillare

La prova di assorbimento ha lo scopo di quantificare l'assorbimento di acqua di un materiale nell'arco di 90 minuti. Questa prova serve a testare l'impermeabilità del coating polimerico del multistrato multimateriale. La procedura seguita è quella esposta nella normativa UNI EN 1015-18 e prevede la determinazione dell'assorbimento mediante capillarità.

Strumentazione

Per questo test sono necessari una bilancia di precisione e un contenitore riempito con 2 cm di acqua distillata a temperatura ambiente (20°C). Per la preparazione dei provini invece sono necessari una stufa riscaldata a 60°C e un essiccatoio.



[65] Stufa impostata a 60°C.

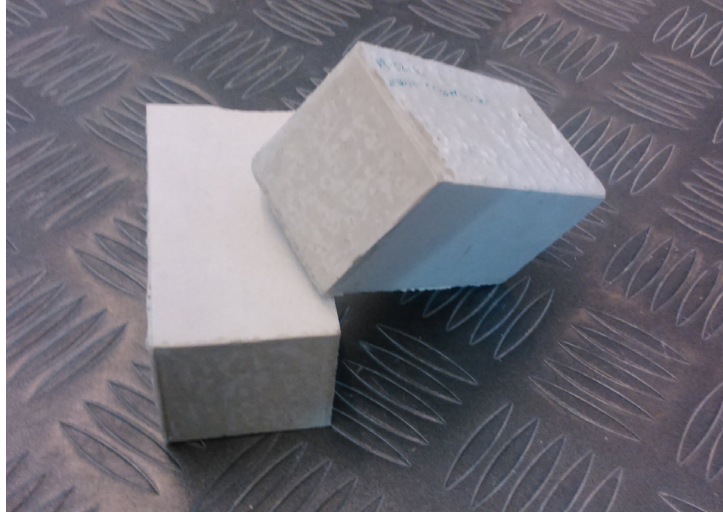


[66] Essiccatoio con camera a vuoto.

Preparazione dei provini

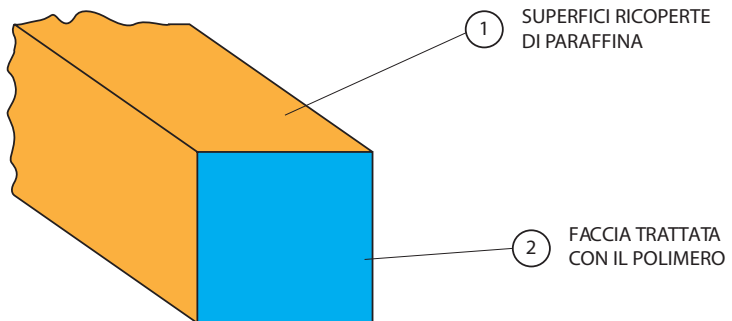
Per questo test è stato necessario un travetto di malta HPC 40x40x120 mm spezzato a metà e trattato con il polimero sulle due superfici minori [64].

[67] Semitravetti trattati con il polimero.



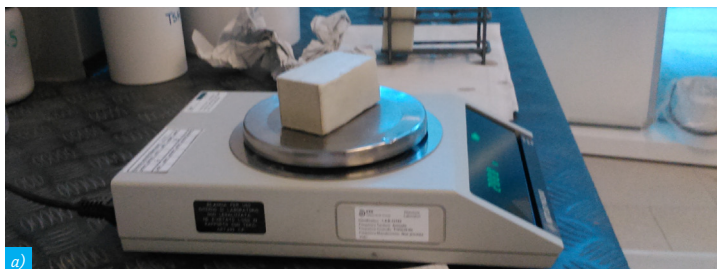
Prima della prova i travetti sono stati inseriti nella stufa [65] per 24 h in modo che l'acqua evaporasse ed arrivassero ad un peso costante. Sono successivamente stati fatti riposare in un essiccatoio [66] in modo che raggiungessero la temperatura ambiente (20°C). Una volta stabilizzato il peso si sono ricoperte le quattro facce del travetto, tangenti alla superficie trattata con il polimero, con la paraffina in modo da renderle impermeabili [68].

[68] Schema di confezionamento del provino.



Esecuzione della prova

Dopo essere stati pesati i provini sono stati inseriti in una struttura che permette di mantenere una posizione verticale e rialzata da terra. In questo modo sono stati inseriti nel contenitore pieno d'acqua [69] e sono stati pesati successivamente due volte: la prima dopo 10 minuti e la seconda dopo 90 minuti. Al termine della prova sono stati tolti dall'acqua e si è verificato che non ci fossero state variazioni di peso significative.



a)

[69] Esecuzione della prova di assorbimento:
a) Pesata del provino;
b) Posizionamento del provino nella struttura e successivamente nell'acqua;
c) Visione della vasca dove si è svolta la prova;
d) Chiusura della vasca per evitare l'evaporazione dell'acqua necessaria alla prova.



b)



c)

d)

3.5.3 Prova di permeabilità al vapore

La prova di permeabilità ha lo scopo di quantificare il grado di assorbimento di un materiale dell'umidità nell'arco di 28 giorni. Questa prova, come la precedente, ha lo scopo di testare il grado di impermeabilità del multistrato multimateriale. Il procedimento è stato preso dalla norma UNI EN 1015-19.

Strumentazione

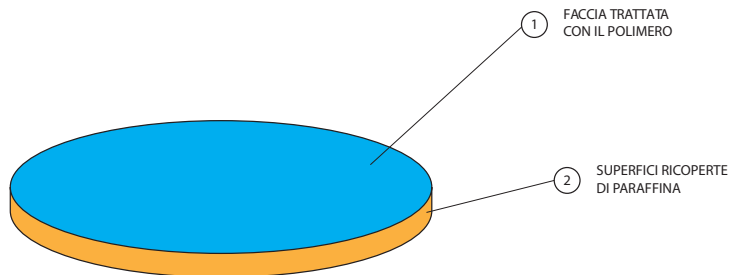
Per questa prova sono necessari una bilancia e un contenitore come quello descritto in figura [71].

Preparazione del provino

Per questo test si sono preparati due provini di forma cilindrica con diametro di 140 mm e spessore 20 mm, i quali sono stati trattati con il polimero su una delle superfici maggiori.

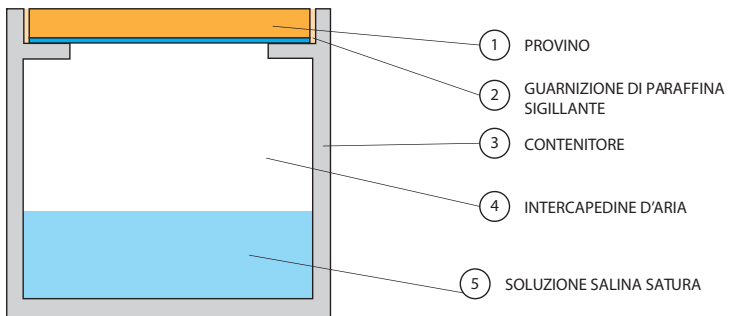
I provini sono stati inseriti in un essiccatoio per circa una settimana per stabilizzare il peso a temperatura ambiente (20°C). Infine è stato paraffinato il bordo per renderlo impermeabile [70].

[70] Schema di preparazione del provino.

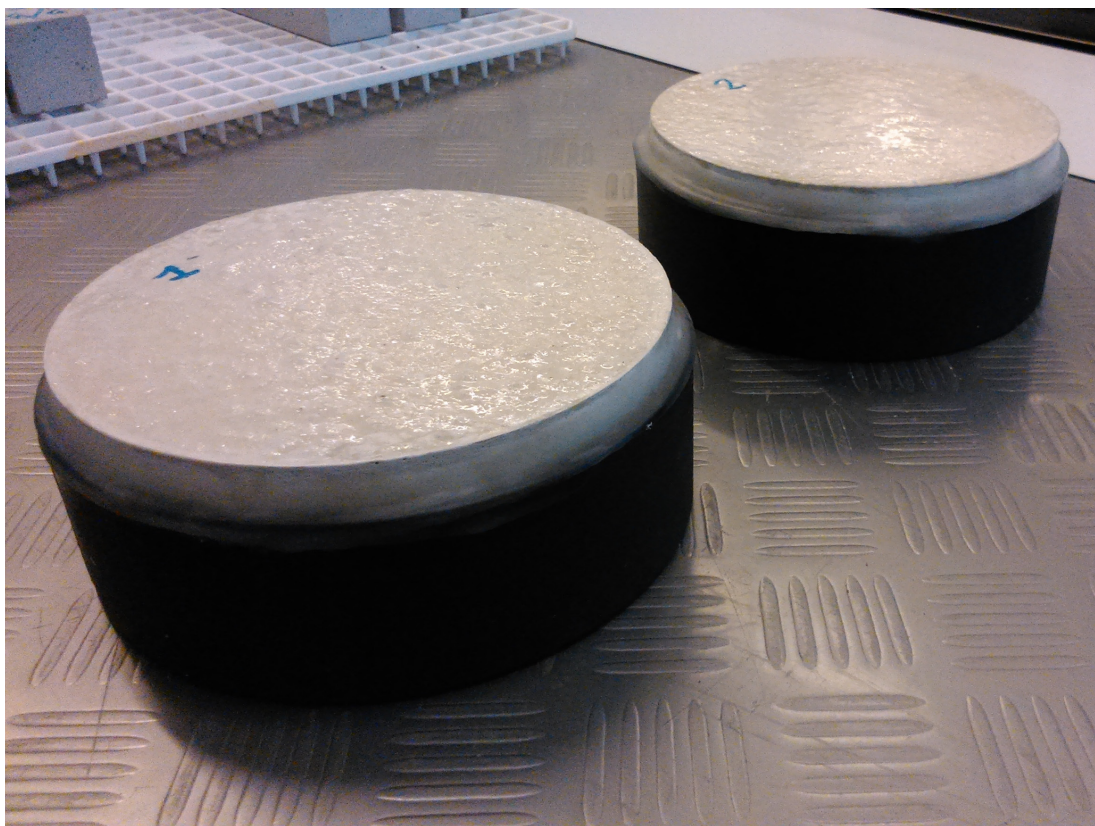


Esecuzione della prova

Dopo aver riempito il contenitore di una quantità d'acqua tale che non andasse a contatto con la superficie del provino si è tappato il contenitore con lo stesso, usando della paraffina lungo il bordo come guarnizione [71]. Finita la preparazione si è misurato il peso iniziale della struttura. Il peso è stato verificato successivamente dopo 24 h, 5 giorni e 28 giorni per controllare che non ci fossero variazioni significative.



71] Schema di assemblaggio del sistema per la prova di permeabilità.



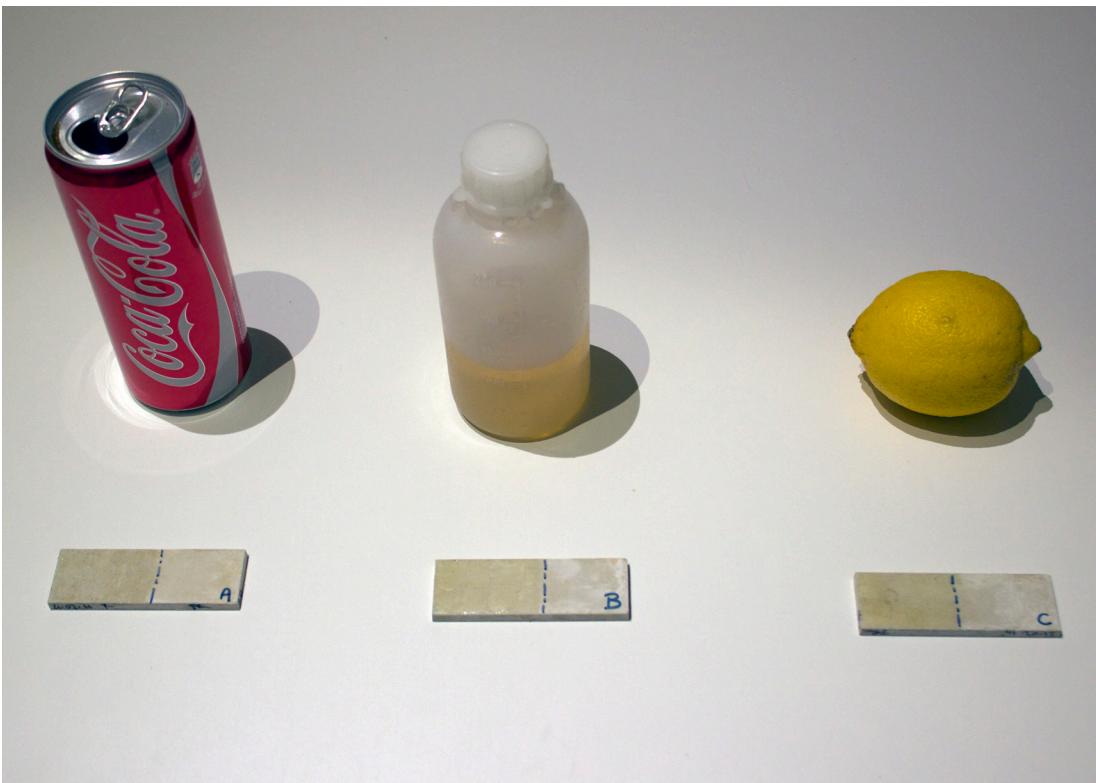
72] Sistema della prova di permeabilità.

3.5.4 Resistenza ad acidi alimentari

Questa prova ha lo scopo di verificare l'effettiva protezione del coating polimerico nei confronti del substrato in malta HPC mettendo a contatto i provini per 24h con i più comuni acidi alimentari che si possono trovare in qualunque cucina, ovvero il limone, l'aceto e della Coca Cola.

Strumentazione

- Tre pipette usa e getta in plastica;
- Tre tipi di acidi alimentari: succo di limone, aceto di vino bianco e Coca Cola [73];



[73] Acidi e provini prima dell'esecuzione del test.

Preparazione dei provini

Per questa prova sono stati utilizzati tre provini 25x75x5 mm dei quali si è ricoperta solo metà di una delle due superfici maggiori, in quanto si voleva testare la differenza di reazione tra il materiale cementizio al “naturale” e il materiale ricoperto dal coating [73].

Esecuzione

Lo scopo di questo test è verificare che gli acidi alimentari più comuni non abbiano effetto sullo strato di coating polimerico.

Dopo aver pulito i provini con un panno asciutto si sono posizionati su un tavolo e si sono preparate le sostanze acide necessarie al test.

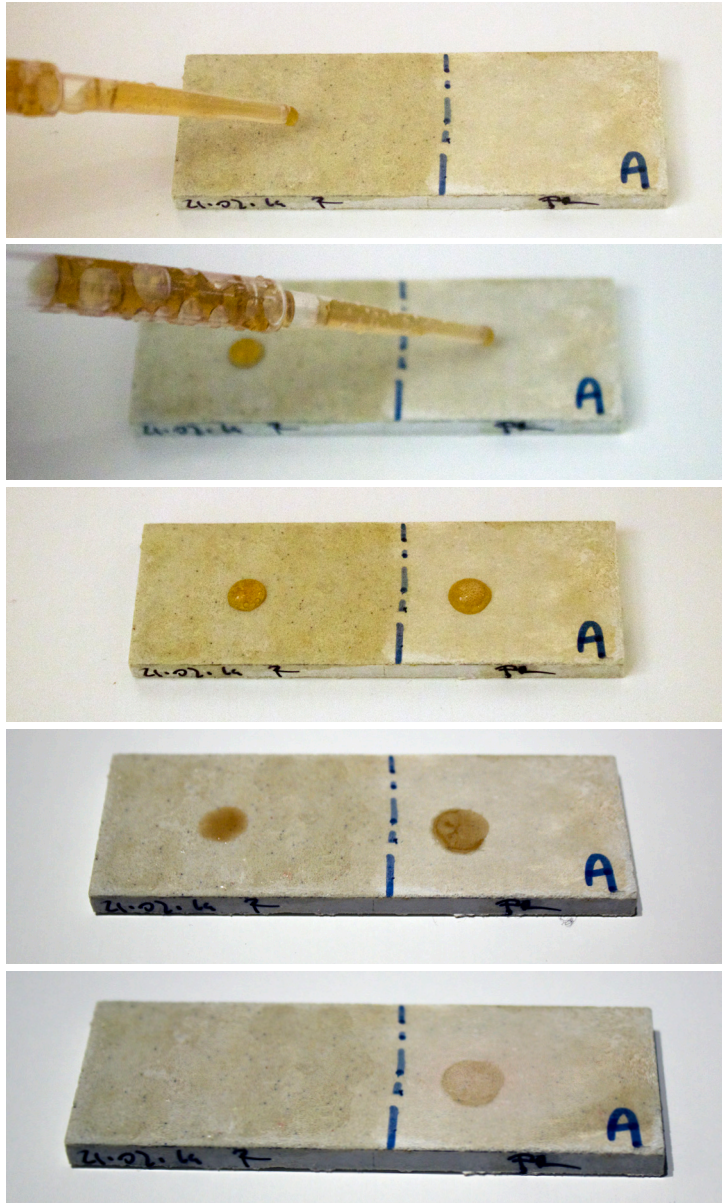
In seguito, mediante la pipetta in plastica, si è lasciata cadere una goccia di sostanza acida sia nella metà avente il coating protettivo [74a] che in quella senza [74b]. Per ognuno dei tre provini è stato testato un acido differente.

Una volta trattati i provini si sono attese 24 ore, in modo che gli acidi avessero tutto il tempo di agire [74c].

Al termine delle 24 ore si è eseguito un esame visivo preliminare atto a verificare i danni evidenti lasciati dagli acidi [74d]. Successivamente si sono puliti i provini mediante un panno umido e si è eseguito un ulteriore esame visivo [74e].

I dati ricavati sono stati messi a confronto, si è ritenuto che se il coating polimerico avrebbe presentato dei difetti a livello superficiale la prova è stata ritenuta non valida.

- [74] Processo della prova di resistenza agli acidi:
- a) Applicazione della goccia di sostanza acida, in questo caso coca cola, sulla metà ricoperta dal coating polimerico;
 - b) Applicazione della goccia di sostanza acida sulla metà senza coating polimerico;
 - c) Provino testato a tempo zero;
 - d) Provino dopo 24ora;
 - e) Provino lavato con un panno umido;



3.6 Risultati e Conclusioni

3.6.1 Risultati della prova di adesione

Lo scopo della prova di adesione è stato verificare che il coating polimerico del multistrato multimateriale HPC-PMMA avesse una forza di aderenza tale da risultare sicuro una volta messo in uso. I risultati sono riportati come richiesto da normativa (UNI ISO 4624).

I provini utilizzati per questo test sono stati sei: tre con la superficie opaca e tre con la superficie lucida. I provini sono stati trattati con il coating polimerico su un'area pari alla testina della macchina a trazione.

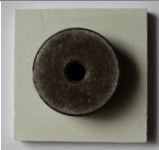

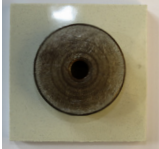
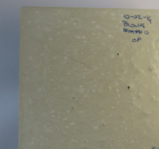
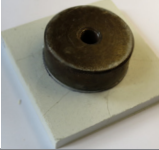
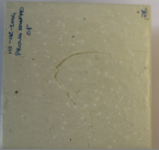


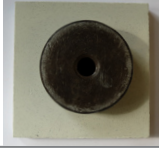

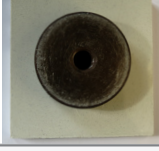
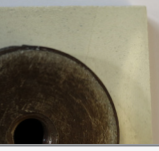
Durante il test i provini hanno dimostrato un comportamento simile tra loro in quanto al termine della prova tutte le piastrine hanno presentato le stesse caratteristiche: rottura del substrato in malta HPC e nessun distacco tra coating e substrato. I provini con la superficie opaca hanno mostrato una maggior resistenza a rottura rispetto a quelli con la superficie lucida [T10]. Nonostante ciò gli sforzi a rottura si presentano elevati per entrambe.

Si può quindi affermare che il coating polimerico presenta un'elevata aderenza ad un substrato composto in malta HPC.

N° Provino	Sforzo a rottura [MPa]	Tipo di rottura
1	1140	Rottura del substrato
2	1035	Rottura del substrato
3	985	Rottura del substrato
4	1058	Rottura del substrato
5	950	Rottura del substrato
6	862	Rottura del substrato

[T10] Risultati della prova di adesione del coating polimerico.

SCHEDA
RISULTATI TEST
 Adesione

Provino dopo il test	Dettagli
Provino 1 _ Superficie opaca	
	
Provino 2 _ Superficie opaca	
	
Provino 3 _ Superficie opaca	
	
Provino 4 _ Superficie Lucida	
	
Provino 5 _ Superficie Lucida	
	
Provino 6 _ Superficie Lucida	
	

[T11] Scheda di rottura dei substrati a seguito del test di adesione.

3.6.2 Risultati della prova di assorbimento

La prova consiste nel quantificare l'assorbimento capillare del provino in un determinato lasso di tempo attraverso la valutazione di un'eventuale variazione di peso. I risultati sono riportati secondo normativa (UNI EN 1015-18).

Lo scopo di questo test è dimostrare che il multistrato multimateriale HPC-PMMA è impermeabile all'acqua. Infatti si è considerato che se il coating polimerico risulta impermeabile all'acqua significa che non sussiste neanche un possibile passaggio di possibili acidi alimentari che entrando in contatto con la malta HPC potrebbero rilasciare sostanze nocive.

I campioni considerati per questo test sono due provini provenienti dallo stesso travetto spezzato a metà e trattato con il polimero sulle facce esterne minori. Per valutare la loro capacità di assorbimento capillare nel tempo sono state eseguite tre pesate: a tempo 0, dopo 10 minuti e dopo 90 minuti. I risultati sono enumerati nella tabella [T11].

	T=0 [g]	T=10' [g]	T=90' [g]
1	296,23	296,18	296,31
2	295,61	295,64	295,67

[T11] Risultati delle pesate della prova di assorbimento.

Utilizzando i dati ottenuti attraverso le pesate dei provini durante la prova è possibile calcolare la capillarità del materiale, ovvero la capacità del materiale di assorbire acqua attraverso micropori che fungono da vasi capillari.

La capillarità del materiale, quindi, può essere calcolata mediante la seguente formula:

$$C = 0,1 (M_2 - M_1) \text{ kg}/(\text{m}^2 \times \text{min}^{0,5})$$

I risultati sono riportati nella tabella [T12].

Come si evince dalla tabella [T11] le variazioni di peso sono state minime: nel primo caso la variazione massima è di 0.13 g e nel secondo non raggiungono il decimo di grammo. Si può considerare quindi che la variazione possa essere causata dall'umidità residua

sulla superficie del provino dopo la tamponatura con la carta assorbente prima della pesata.

Di conseguenza anche il valore di capillarità [T12] del materiale risulta pressochè trascurabile.

[T12] Risultati della capillarità calcolata a seguito della prova di assorbimento

	C [kg/(m² x min^½)]
1	0,008
2	0,006

La prova evidenzia che si può considerare il coating polimerico del multistrato multimateriale HPC-PMMA assolutamente impermeabile all'acqua.

3.6.3 Risultati della prova di permeabilità al vapore

Lo scopo di questa prova è determinare la permeabilità al vapore d'acqua di un provino in condizioni di flusso stazionario per condizioni di umidità bassa ed elevata.

Lo scopo di questo test, come quello precedente, è di valutare il grado di impermeabilità del coating polimerico. Ipotizzando che nel caso risulti impermeabile al vapore acqueo lo sarà sicuramente anche tutte quelle sostanze nocive per substrato in malta HPC.

I campioni considerati per questo test sono due dischi di diametro 140 mm e spessore 20 mm trattati su solo una delle due superfici. Per valutare la loro permeabilità al vapore si è valutato un eventuale perdita di peso nell'arco di 28 giorni. In questo caso infatti significa che il materiale ha lasciato traspirare ed evaporare l'acqua contenute nel sistema spiegato nel paragrafo 3.5.3.

Il risultati delle pesate eseguite seguendo la procedura spiegata nel paragrafo 3.5.3 sono enumerati nella tabella [T13].

N° Giorni	T [°C]	UR [%]	Prov.1 [kg]	Prov.2 [kg]
0	19,8	66	923,1	934,9
1	20,09	66	923,2	934,9
2	20,78	76	923,3	935,1
3	19,97	66	923,3	935,1
4	20,01	66	923,2	935,1
28	20,06	73	923,4	935,1

[T13] Risultati delle pesate effettuate. Nella prima colonna il tempo, nella seconda la temperatura dell'ambiente, nella terza l'umidità relativa dell'ambiente e nelle ultime due le rispettive pesate dei provini.

I dati, ottenuti dalle pesate dei provini eseguite durante tutto l'arco della prova, sono stati utilizzati per calcolare la permeanza, ovvero la capacità che una parete di un dato spessore ha di consentire o impedire la diffusione di aria umida attraverso sé stessa, pari al rapporto tra la portata di vapor d'acqua attraverso la parete a unità di area frontale e la differenza della tensione di vapore tra i due ambienti che la parete separa (Treccani).

La permeanza Λ [T14] del multistrato multimateriale HPC-PMMA

attraverso la formula:

$$\Lambda = 1/\{A \Delta_p / [(\Delta G/\Delta t) - R_A]\} \quad [\text{kg}/\text{m}^2 \text{ s Pa}]$$

dove A [m²] si riferisce all'area di apertura del recipiente di prova, Δ_p [Pa] è la differenza di tensione del vapore tra l'ambiente e l'intecapedine di soluzione salina, $\Delta G/\Delta t$ [kg/s] è pari al flusso del vapore acqueo ed R_A [0,048×(10⁹ Pa×m²/kg per intercapedine d'aria di 10 mm)] è la resistenza dell'aria alla diffusione del vapore acqueo.

I valori ottenuti sono stati utilizzati per calcolare la permeabilità [T14] del materiale W_{vp} :

$$W_{vp} = \Delta^*t \quad [\text{kg}/\text{m}^2 \text{ s Pa}]$$

dove Δ rappresenta la permeanza e t [m] lo spessore medio del provino.

Come si evince dalla tabella [T13] le variazioni di peso di entrambi i provini non superano il decimo di grammo e possono essere considerate perciò trascurabili.

[T14] Calcolo della permeanza e della permeabilità.

	Prov.1	Prov.2
Permeanza [kg/(m ² s Pa)]	- 1, 49E-11	- 9,91E12
Permeabilità [kg/(m s Pa)]	- 1, 7E-13	- 1, 11E-13
Fattore medio di resistenza diffusione al vapore μ	- 1, 24E-11	- 1, 41E-13

Dai dati risultanti della permeanza si può altresì affermare che il multistrato multimateriale risulta essere totalmente impermeabile al vapore. I valori negativi infatti sono indice del fatto che non c'è stata nessuna cessione di umidità dal sistema all'ambiente, ma viceversa un'assorbimento/condensazione dall'umidità ambientale al sistema.

3.6.4 Risultati della prova di resistenza agli acidi

Lo scopo di questo test era verificare che il coating polimerico, oltre ad essere impermeabile all'acqua e al vapore, lo fosse anche agli agenti acidi e costituisse quindi una valida barriera funzionale.

I provini utilizzati in questa prova sono stati trattati solo per metà della loro superficie, in quanto si voleva confrontare a livello immediato gli effetti dell'applicazione della sostanza acida.

Alla fine della prova si è effettuata una verifica, a livello visivo, dei provini prima e dopo che venissero lavati. Si sono presi in considerazione tre parametri: la presenza di macchie, causate da un possibile assorbimento, la presenza di prodotti di reazione, nel caso l'acido fosse andato in contatto con la malta HPC, ed eventuali difetti superficiali causati dalle soluzioni acide.

Si sono considerati i provini prima e dopo il lavaggio per verificare: la presenza di prodotti di reazione e il livello di danneggiamento superficiale del provino in due diversi momenti.

Come si evince dai risultati esposti nelle schede [T15a] [T15b] [T15c] tutte le metà dei provini ricoperte dal coating polimerico non hanno rivelato alcun difetto a seguito di un esame visivo. Anche al tatto sono risultate lisce come all'inizio della prova.


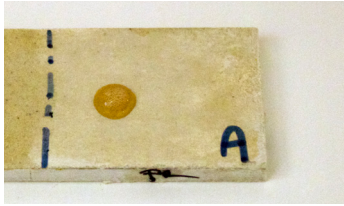

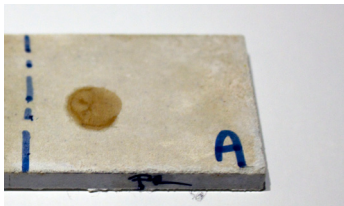
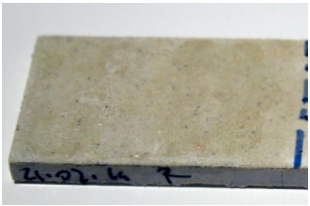
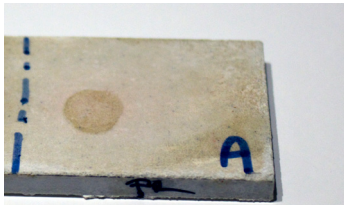
Al contrario le metà a cui non è stato applicato il coating polimerico si sono rivelate piuttosto sensibili all'attacco delle sostanze acide. Infatti a seguito del lavaggio tutte le metà non trattate dei provini hanno rivelato la presenza di difetti, l'acido contenuto nelle soluzioni infatti ha corrosato lo stato superficiale del provino rendendolo rugoso al tatto. Il contatto con il succo di limone oltretutto ha portato alla formazione di prodotti di reazione, come si vede nella scheda del provino C, che si presentano come una sottile polverina bianca all'interno del cerchio disegnato dalla goccia.

Due sostanze su tre hanno inoltre lasciato delle macchie piuttosto evidenti: la Coca cola e il succo di limone.

Il provino A, a cui è stata applicata la bevanda gassata ha assorbito infatti i coloranti presenti nella stessa. Il provino C invece è rimasto probabilmente macchiato a seguito dell'assorbimento dei prodotti derivanti dal processo di ossidazione del succo di limone.

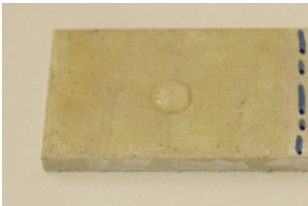
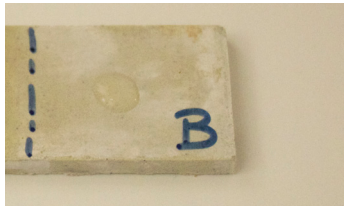

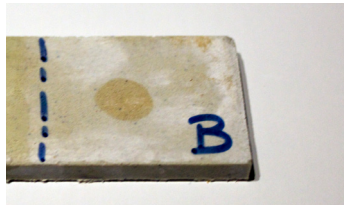


A seguito di questa prova si può affermare che il coating polimerico rappresenta una barriera agli acidi per il substrato in malta HPC.

SCHEDA
RISULTATI TEST
 Res. Acidi - Coca cola

T=0	
	
T=24 h	
	
T=24 h e lavato	
	
Macchie	
No	Si
Prodotti di reazione	
No	No
Difetti Superficiali	
No	Si

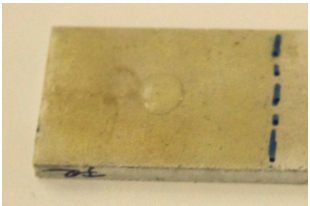
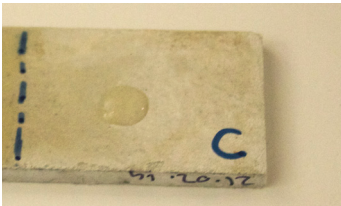
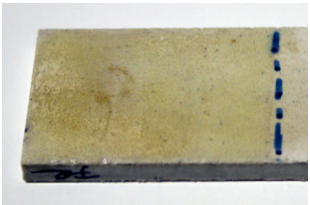
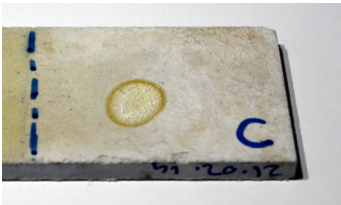

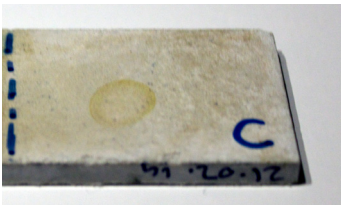
[T15a] Risultati della prova di resistenza alle sostanze acide alimentari [Coca Cola].

SCHEDA
RISULTATI TEST
 Res. Acidi - Aceto

T=0	
	
T=24 h	
	
T=24 h e lavato	
	
Macchie	
No	No
Prodotti di reazione	
No	No
Difetti Superficiali	
No	Si

[T15a] Risultati della prova di resistenza alle sostanze acide alimentari [Aceto].

SCHEDA
RISULTATI TEST
 Res. Acidi - Aceto

T=0	
	
T=24 h	
	
T=24 h e lavato	
	
Macchie	
No	Sì
Prodotti di reazione	
No	Sì
Difetti Superficiali	
No	Sì

[T15a] Risultati della prova di resistenza alle sostanze acide alimentari [Limone].

4.7.6 Conclusioni

Considerando i risultati ottenuti dalle prove di aderenza, assorbimento permeabilità e resistenza agli acidi alimentari, si può affermare che la resina fotopolimerizzabile PMMA funge da barriera funzionale tra la malta HPC e un possibile contatto alimentare.

Si è dimostrato infatti che, il coating polimerico ha un'aderenza elevatissima al substrato in malta HPC, perciò non rischia di scheggiarsi o scrostarsi.

Si è dimostrato, attraverso la prova di assorbimento e di permeabilità, che il coating polimerico è assolutamente impermeabile all'acqua e al vapore acqueo. Perciò si può supporre che lo sia anche a tutte le altre sostanze.

Per avere una riprova che il coating fosse effettivamente sicuro si è eseguita una prova di resistenza agli acidi alimentari. Il risultato è stato che tutte le sostanze acide utilizzate nel test non hanno scalfito il coating polimerico.

Perciò si è dimostrato che il coating di polimero fotopolimerizzabile crea una barriera funzionale tra il substrato in malta HPC e gli alimenti, potendo quindi essere definito, secondo Regolamento (CE) n. 1935/2004, atto al contatto alimentare.

Normative

Regolamento (UE) N.10/2011, riguardante i materiali e gli oggetti di materia plastica destinati a venire a contatto con i prodotti alimentari

Regolamento (CE) n. 1935/2004, riguardante materiali e oggetti a contatto con i prodotti alimentari

DM 21 Marzo 1973 -Disciplina igienica degli imballaggi, recipienti, utensili, destinati a venire in contatto con le sostanze alimentari o con sostanze d'uso personale

Decreto Ministeriale n° 174 del 24/09/2008

Regolamento recante aggiornamento del decreto ministeriale 21 marzo 1973, concernente la disciplina igienica degli imballaggi, recipienti, utensili destinati a venire in contatto con le sostanze alimentari o con sostanze d'uso personale. Recepimento della direttiva 2007/19/CE

UNI EN ISO 4624: Misura dell'adesione mediante prova di trazione

UNI 1015-18: Determinazione dell' assorbimento di acqua per capillarità.

UNI 1015-19: Determinazione della permeabilità al vapore d'acqua

Bibliografia

Hansjürgen Saechtling, "Manuale delle materie plastiche", Milano, Tecniche Nuove, 2006

Peter Vollhardt, "Chimica Organica", Bologna, Zanichelli, 1990

Proprietà e lavorazione delle materie plastiche. Guida pratica per i tecnici dell'industria" di Filippo Cangialosi, Europass Editore, 2005"

Jeffrey Girard, "Sealer Options for Concrete Countertops", Excerpted from textbook for Precast Concrete Countertops 101, The Concrete Countertop Institute, 2005

Sitografia

www.salute.gov.it
www.vseal.com
www.ehow.com
www.monte-titano.hu
www.treccani.it
www.italcementi.it
www.3Mespe.com

4. USO DEL MULTISTRATO MULTIMATERIALE HPC-PMMA IN CUCINA

Nel capitolo precedente è stata affrontata l'analisi della compatibilità alimentare del multistrato multimateriale HPC - PMMA, riferendosi alla possibilità di utilizzare quest'ultimo per produrre contenitori destinati al contatto alimentare. La compatibilità alimentare, però, non è l'unica caratteristica necessaria, seppur fondamentale per produrre delle stoviglie. Infatti ci sono una serie di caratteristiche riguardanti il prodotto "piatto da tavola" che bisogna tenere in considerazione.

In questo capitolo verrà descritto come è stato testato il multistrato multimateriale rispetto all'usabilità. I criteri fondamentali sono stati individuati studiando l'utilizzo che viene fatto solitamente dei piatti in ceramica e i requisiti, legati alla funzionalità, richiesti da un utente medio.

Si sono successivamente svolti dei test per verificare che il multistrato multimateriale rispondesse effettivamente ai requisiti ricavati dalla ricerca.

4. USO DEL MULTISTRATO MULTIMATERIALE HPC- PMMA IN CUCINA

4.1 Caratteristiche che deve presentare un piatto

Nell'ottica di questo studio il piatto si è rivelato essere il manufatto più ovvio, come unità in questo studio, in quanto racchiude in sé una serie di caratteristiche emblematiche per testare un materiale. Nel corso dei secoli si sono sperimentati numerosi materiali, come la pietra, il legno, lo stagno, il vetro e naturalmente la terracotta. La produzione di ceramiche come la conosciamo noi oggi in realtà è relativamente recente in quanto solo nell'ottocento sono riusciti a sviluppare una miscela che avesse delle prestazioni interessanti sia dal punto di vista dell'utilizzo durante il processo di produzione industriale che di uso del manufatto finito.

Il piatto è solo superficialmente un oggetto banale infatti pur avendo generalmente una forma molto semplice deve riuscire a resistere ad una serie di sollecitazioni di diversa natura. Si parla di un oggetto che viene utilizzato spesso e a cui non si presta né molta attenzione né molta cura, e anche questo inficia parecchio sulle prestazioni che deve avere. Ad esempio deve possedere una buona resistenza a compressione, considerando che il metodo più comune per conservare un set di piatti è impilarli uno sopra l'altro. Inoltre deve presentare una buona resistenza a flessione, in quanto la maggior parte delle volte verrà afferrato e trasportato per il bordo, anche nel momento in cui verrà riempito. È richiesta anche una buona resistenza agli urti, -per non sbeccarsi o rompersi ogni qualvolta viene appoggiato su un ripiano, infilato nella lavapiatti, lavato a mano in un lavabo pieno di stoviglie, ecc.- . Deve anche possedere una buona resistenza al graffio, poiché sarà sovente a contatto con posate e utensili da cucina di varia natura materica

(mestoli in metallo, posate in legno o in polimero). Inoltre, essendo la sua funzione principale quella di contenere alimenti, deve avere una buona resistenza all'attacco di acidi (tra i quali quelli più dannosi sono acido citrico e l'acido acetico) e oli. Naturalmente, considerando la manutenzione (lavaggio), deve avere resistere anche all'attacco di agenti chimici e deve essere possibile lavarlo sia a mano che in lavastoviglie.

I piatti che fanno parte del “servizio di tutti i giorni” vengono spesso utilizzati anche come supporti per riscaldare gli alimenti nel forno a microonde o nel forno tradizionale (molto raramente), devono perciò resistere agli stessi e a possibili shock termici dati dal passaggio freddo/caldo del frigorifero/microonde.

Di conseguenza deve anche resistere ad un certo shock termico nel momento in cui si ipotizza di scaldare una vivanda precedentemente conservata in frigorifero.

Il multistrato multimateriale HPC-PMMA, quindi, è stato testato rispetto a questi parametri per dimostrare il suo possibile utilizzo in cucina.

4.2 Prove per testare il multistrato mulimateriale HPC-PMMA per le stoviglie

I test che sono stati eseguiti per verificare l'usabilità del materiale in un contesto di uso casalingo e quotidiano rispecchiano la necessità di utilizzo odierno: resistenza allo shock termico, resistenza al lavaggio in lavastoviglie e resistenza al riscaldamento in microonde.

4.2.1 Resistenza allo shock termico

La prova di resistenza allo shock termico, che fa riferimento alla norma UNI EN 1183, ha lo scopo di determinare la massima escursione termica a cui può resistere il materiale. L'esecuzione di questa prova serve a determinare la resistenza del supporto in casi particolari, per esempio nel caso in cui il materiale dopo essere stato in un ambiente freddo come il frigorifero venga a contatto con una pietanza o un contenitore appena tolto dalla fiamma viva. Si è quindi deciso di verificare la resistenza allo shock termico tra i 100°C e i 5°C, in quanto sono le temperature limite che si potrebbero ottenere nell'ambito della cucina con una pentola di acqua bollente e un frigorifero.

Strumentazione

- Becker da 3 l riempito da 2 l di acqua e rodamina, con una concentrazione del 5%, inserito in un incubatore³⁴ impostato alla temperatura di 5°C [76].

- Forno di prova [77], riscaldato elettricamente, in grado di raggiungere una temperatura di 300°C, dotato di un dispositivo di circolazione dell'aria per garantire che la variazione di temperatura non sia maggiore di $\pm 5^\circ\text{C}$ e di un comando termostatico in grado di mantenere la fluttuazione di temperatura entro i $\pm 2^\circ\text{C}$ fino a 180°C e una fluttuazione di $\pm 5^\circ\text{C}$ oltre i 180°C.

³⁴ *Incubatore: ambiente a temperatura controllata e costante.*

-Tenaglie, con le estremità protette da materiale rispetto al calore e montati su una struttura a T.

- Guanti ad alta resistenza al calore radiante in tessuto di fibra aramidica alluminizzata.

- Agente colorante, per evidenziare le eventuali cricche. L'agente scelto è la rodamina con una concentrazione del 5% unita in soluzione a del detergente per piatti con una concentrazione del 5%.

Preparazione dei provini

Per questa prova sono stati utilizzati tre provini 25x75x5 mm ricoperti interamente dal coating polimerico a temperatura ambiente (20°C) [78].

Esecuzione della Prova

Si è preparato il bagnomaria freddo aggiungendo all' acqua la ro-



[75] Forno di prova impostato a 100°C e incubatore impostato a 5°C con all'interno una soluzione di acqua e rodamina(5%).

dammina e il detergente per piatti con una concentrazione del 5% ciascuno. La soluzione è stata inserita nell'incubatore regolato ad una temperatura di 5°C. L'incubatore è stato posto a fianco del forno di prova, per evitare che i tempi del test non siano rispettati [79]. Successivamente si sono collocati i provini nel forno di prova

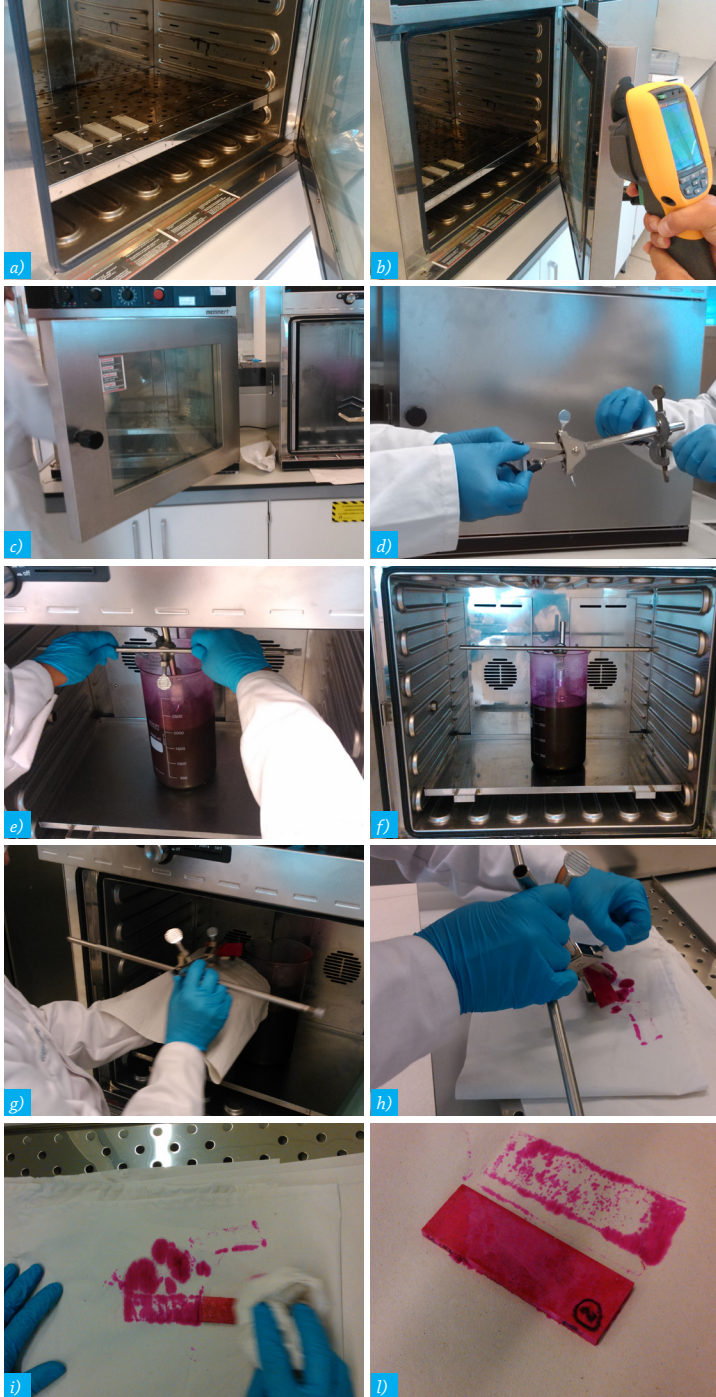
[76] Esempio di piastrina di dimensioni 25x75x5 mm in HPC trattata con coating polimerico.



precedentemente riscaldato a 100°C. Si sono mantenuti i campioni a questa temperatura fino a che non hanno raggiunto l'equilibrio [80a].

Dopo aver controllato, mediante una termocamera, il raggiungimento della temperatura di 100°C [80b], i campioni sono stati estratti dal forno [80c] e fermati con una tenaglia collegata ad una struttura a "T" [80d]. In un tempo non maggiore di 5 s sono stati inseriti [80e] nel becker contenente la soluzione di acqua e rodamina dentro l'incubatore impostato alla temperatura di 5°C per 2 minuti, dopo essersi assicurati che i provini fossero totalmente ricoperti dalla soluzione [80f].

Infine si sono tolti i provini dal bagnomaria freddo [80g] [80h] e, dopo averli tamponati con della carta assorbente [80i] si è eseguito un'esame visivo per controllare se ci fossero presenti scheggiature, incrinature o rotture [80l].



- [77] Processo della prova di shock termico:
- a) Posizionare i provini dentro il forno di prova;
 - b) Controllare con una termocamera che i provini abbiano raggiunto l'equilibrio;
 - c) Prelevare i provini dal forno.
 - d) Affrancarli alla tenaglia montata su una struttura a T;
 - e) Inserire il provino affrancato alla struttura nella soluzione di acqua, rodamina e sapone per piatti;
 - f) Lasciare il provino in immersione 2 minuti.
 - g) Estrarre il provino dalla soluzione;
 - h) Posare il provino su uno strato di carta assorbente, facendo attenzione a non entrare in contatto diretto con la soluzione colorante.
 - i) Tamponare l'eccesso di colorante con la carta assorbente.
 - l) Verificare che sul provino non si siano evidenziati eventuali difetti come scheggiature, incrinature o rotture.

4.2.2 Resistenza al lavaggio in lavastoviglie

La prova di resistenza alla lavastoviglie è ormai necessaria per qualunque articolo che riguarda la cucina ed in particolare i piatti da tavola. La prova determina la resistenza del materiale al lavaggio in lavastoviglie in ambito domestico. La procedura di questa prova si è basata sulle indicazioni della normativa EN 12875-1:2005 “Resistenza meccanica di utensili al lavaggio in lavastoviglie”.

Strumentazione

- Macchina lavastoviglie domestica, che possa raggiungere una temperatura di lavaggio di 65°C. La lavastoviglie utilizzata per questo test è una Siemens SN25M843EU SpeedMatic.

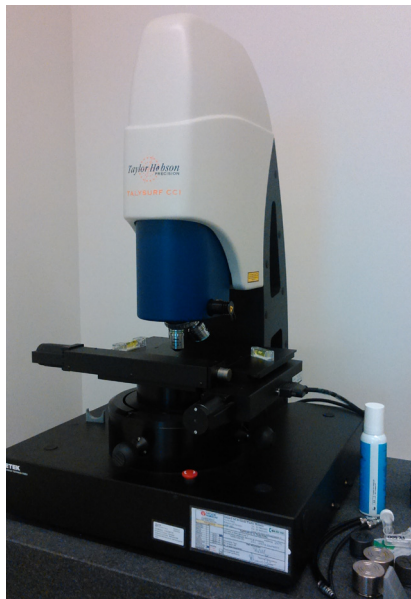
- Detergente per lavastoviglie commerciale, in particolare per questa prova è stato utilizzato *Fairy Ultrapower - Tutto in 1*.

- Profilometro elettronico non a contatto.

Preparazione dei provini

Per questa prova sono stati utilizzati tre provini 25x75x5 mm ricoperti interamente dal coating polimerico a temperatura ambiente (20°C).

[78] Profilometro elettronico non a contatto.



Esecuzione della prova

Si è preparata la lavastoviglie riempiendola di oggetti (piatti, pentole, tazze, bicchieri e posate) che fungano da ingombro in modo che il lavaggio risulti a pieno carico. Gli oggetti sono stati disposti in



[79] Esempio di provino utilizzato per la prova.

modo da essere esposti in egual misura al getto dell'acqua e da non formare pozze d'acqua. Successivamente si sono inseriti i provini da testare nel cestello delle posate.

Si è inserito nell'apposito vano il detersivo commerciale per lavastoviglie e si è chiusa la macchina. La lavastoviglie è stata impostata a 50°C per un ciclo di lavaggio pari a 1h e 25min.

Al termine del test si sono estratti i provini dalla macchina e si è eseguito un esame visivo per controllare se fossero presenti cricche, sceggiature o rotture.

La prova è stata ripetuta per 50 volte.

A seguito della prova si è misurata la rugosità superficiale delle piastrelle mediante un profilometro e si sono confrontati con i dati di rugosità superficiale dei provini non trattati con il coating polimerico e di quelli trattati ma non lavati in lavastoviglie.

[80] Procedimento del test di resistenza al lavaggio in lavastoviglie:

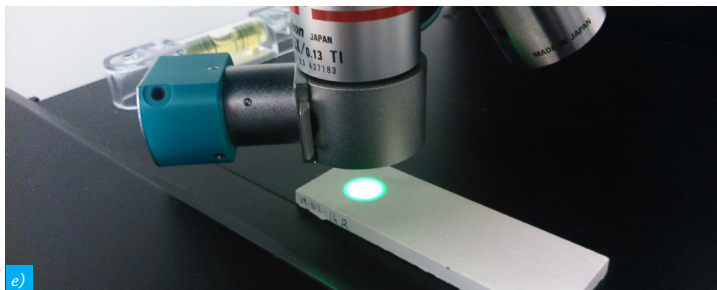
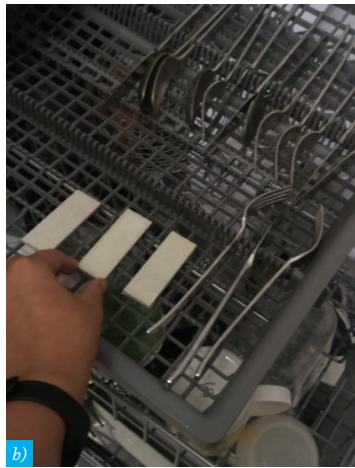
a) Caricare la lavastoviglie in modo che funzioni a pieno carico;

b) Posizionare nel cestello delle posate i provini;

c) Inserire il sapone dentro l'apposito vano e chiudere la lavastoviglie;

d) Settare il lavaggio a 50°;

e) Misurazione al profilometro alla fine del test.



4.2.3 Resistenza a Forno Microonde

Come la prova precedente, uno dei fattori più richiesti per i piatti da tavola è la possibilità di essere utilizzate al microonde. La prova determina la possibilità del materiale di essere utilizzato nel microonde senza danno. La procedura utilizzata fa riferimento alla norma UNI EN 15284:2008: “Materiali e articoli destinati al contatto alimentare - Procedura per testare la resistenza al microonde di articoli in ceramica, vetro, vetro-ceramica e plastica”.

Apparecchiatura

Per questa prova sono stati necessari:

- un microonde con un timer di precisione ± 1 s [83];
- due piccoli contenitori contenenti 125 ml d'acqua ciascuno;
- Una termocamera.

Preparazione dei provini

Per questa prova sono stati utilizzati tre provini 25x75x5 mm ricoperti interamente dal coating polimerico a temperatura ambiente (20°C).

Esecuzione della prova

Il test è diviso in due parti. La prima in cui il microonde viene impostato ad una potenza di 750w per un tempo di cottura di 1' 36". Alla fine della quale si verifica, mediante una termocamera, che la temperatura superficiale del provino non superi i 60°C.



[81] Esempio di provino utilizzato per la prova di resistenza al microonde.

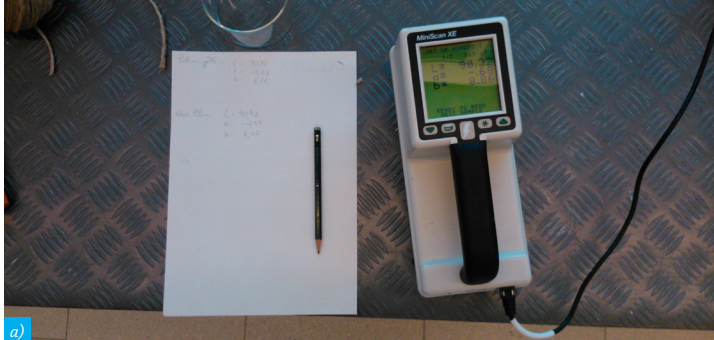
Durante la seconda parte invece il periodo di cottura è maggiore, ovvero di 10' 24". Successivamente si verifica che i provini non presentino danni evidenti come cricche, scheggiature o rotture.

I provini sono sottoposti ad un esame allo spettroscopio prima e dopo il test per verificare che non si presentino cambiamenti nel colore del coating polimerico dovuti all'invecchiamento.

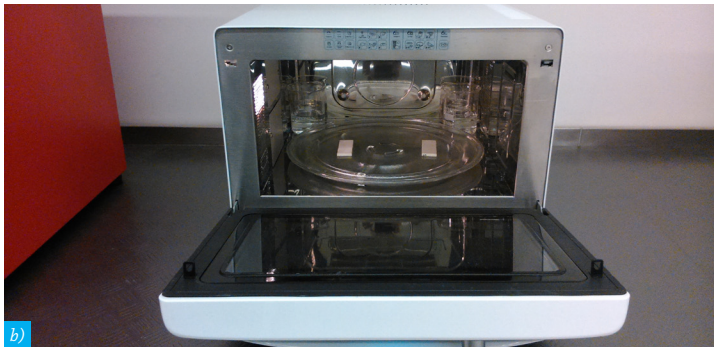
La durata delle due parti del test è stata determinata, come richiesto da normativa, calcolando quanto tempo ci avrebbe impiegato il microonde impostato ad alla sua massima potenza (750 W) a raggiungere un valore di energia pari a 72000 J per il periodo breve e 468000 J per il periodo lungo, considerando la formula:

$$t = E/P$$

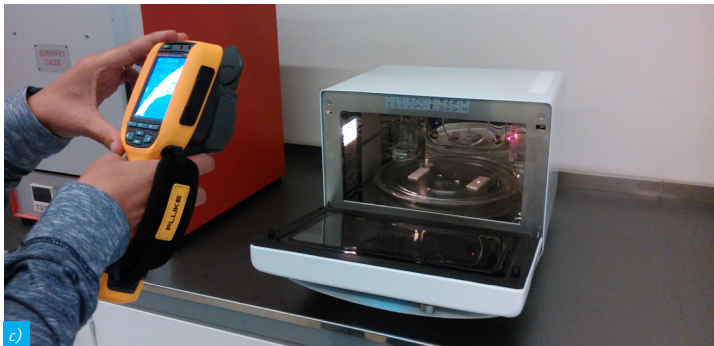
dove t [s] è il tempo necessario allo svolgimento della prova, P [W] è la potenza del microonde e E [J] è l'energia richiesta.



a)



b)



c)



d)

[82] Processo di prova di resistenza a cottura in microonde:

- a) Misurazione del colore iniziale mediante spettrografo;
- b) Posizionamento dei provini nel microonde;
- c) Misurazione della temperatura superficiale mediante termocamera;
- d) Provini alla fine della seconda parte del test.

4.3 Risultati e conclusioni

Di seguito sono stati riportati i risultati dei test presentati nel sottocapitolo 4.2 .

L'obiettivo di questi test è dimostrare che il materiale sia idoneo ad un contesto di uso casalingo, ovvero il passaggio dal freddo al caldo, testato con lo shock termico, la resistenza al forno microonde e la resistenza alla lavastoviglie.

4.3.1 Risultati del test di resistenza allo shock termico

Questo test è stato eseguito per verificare la resistenza del materiale (UNI EN 1183) ad eventuali sbalzi termici comuni in un ambiente come quello della cucina. Si è ritenuto che il peggior sbalzo termico a cui un piatto può essere sottoposto è il passaggio dall'ambiente più freddo presente in cucina, ovvero il frigorifero, al contatto con un alimento appena tolto dal fuoco. Le temperature considerate sono: 5°C, in quanto è la temperatura media di un frigorifero, e 100°C, in quanto si è tenuta in considerazione la temperatura di ebollizione dell'acqua.

Perciò il passaggio termico a cui sono stati sottoposti i provini è stato:

$$\Delta T = 100^{\circ}\text{C} \rightarrow 5^{\circ}\text{C}$$

Sono stati testati tre provini di dimensioni 25x75x5mm trattati con il polimero su tutti e sei i lati. Per questa prova in particolare si sono considerate maggiormente le due facce maggiori in quanto si prestavano meglio ad un esame visivo.




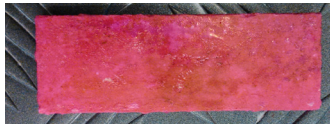








Come si evince dai risultati espressi nelle tabelle [T13] e [T14] solo una faccia su dodici (provino 3 - lato A) non ha superato il test presentando una sottile rete capillare di cricche che si estendono su tutta la superficie del provino.

La colorazione risulta irregolare in quanto ai provini è stato applicato il coating polimerico mediante pennello, come è già stato detto nel capitolo precedente. A livello industriale il coating può essere applicato mediante una tecnologia automatizzata, per esempio la pistola a spruzzo, risultando così uniforme lungo tutta la superficie.

Anche avendo un coating irregolare con variazioni nello spessore, la quasi totalità dei provini ha superato indenne il test, dimostrando che il multistrato multimateriale HPC-PMMA è in grado di sopportare repentini cambiamenti di temperatura senza riportare danni apparenti.

Nell'unico caso dove il provino non ha superato il test, infatti, i danni rilevati risultano essere comunque lievi, in quanto non è presente nessuna scheggiatura o rottura, ma solo delle sottili cricche. Il provino non ha superato il test a causa dello spessore sottile dello strato di coating polimerico.

SCHEDA
RISULTATI TEST
 Shock Termico

Provino prima del test	Provino dopo il test
Provino 1 _ Lato A	
	
Provino 1 _ Lato B	
	
Provino 2 _ Lato A	
	
Provino 2 _ Lato B	
	
Provino 3 _ Lato A	
	
Provino 3 _ Lato B	
	

[T16] Provini prima e dopo la prova di shock termico.

Provino	Superamento del test	Commenti sul provino testato
Prov. 1 _ Lato A	Si	Nessun danno visibile. Il colore risulta più scuro dove lo strato polimerico è più sottile.
Prov. 1 _ Lato B	Si	Nessun danno visibile.
Prov. 2 _ Lato A	Si	Nessun danno visibile.
Prov. 2 _ Lato B	Si	Nessun danno visibile. La superficie risulta più chiara dove lo strato è più spesso.
Prov. 3 _ Lato A	No	Si notano delle sottili cricche capillari che si sviluppano lungo tutta la superficie.
Prov. 3 _ Lato B	Si	Nessun danno visibile. La superficie risulta altamente irregolare e il colore più chiaro dove lo strato è più spesso.

[T16] *Provini prima e dopo la prova di shock termico.*

4.3.2 Risultati del test di resistenza al lavaggio in lavastoviglie

Lo scopo di questo test è valutare la resistenza del multistrato multimateriale al lavaggio in lavastoviglie.

Sono stati utilizzati tre provini trattati su tutte e sei le superfici con il coating polimerico. I provini sono stati posizionati nel cestello superiore assieme alle posate.

Si sono eseguiti 50 cicli di lavaggio a 50° dalla durata di 1 ora e 25 minuti. Durante ogni ciclo sono state lavati tutte e tre i provini contemporaneamente.

Per valutare l'impatto della lavastoviglie sui provini presi in esame si sono eseguite delle misurazioni al profilometro prima che il provino fosse trattato con il coating polimerico, dopo essere stato trattato ed infine dopo averlo lavato in lavastoviglie.

Considerando che i valori di rugosità sono aumentati, si può dedurre che il coating polimerico non è abbastanza spesso per resistere ad un lavaggio in lavastoviglie. Probabilmente il coating è stato scalfito dal sapone in polvere utilizzato. Questo tipo di detersivo, infatti, contiene delle microparticelle abrasive capaci di graffiare anche il vetro dei bicchieri.

Per essere utilizzato in lavastoviglie, senza che presenti irregolarità superficiali, il coating polimerico del multistrato multimateriale HPC-PMMA dovrà essere più spesso o essere reso più resistente.

SCEDA
RISULTATI TEST
 Rugosità Superficiale

N° Provino Lato A	Non trattata [μm]	Trattata [μm]	Post test lavast. [μm]
1	0,36	0,48	0,96
	0,32	0,65	0,92
	0,30	0,87	0,84
2	1,30	1,42	1,47
	1,36	0,64	1,24
	0,90	1,21	0,67
3	2,05	3,78	3,71
	1,94	2,17	1,02
	2,07	1,40	4,01
Valore medio	1,17	1,40	1,65

N° Provino Lato B	Non trattata [μm]	Trattata [μm]	Post test lavast. [μm]
1	0,82	1,16	0,39
	1,09	0,37	1,01
	0,96	1,11	1,22
2	0,55	1,22	1,08
	0,52	0,62	1,63
	0,52	0,67	1,28
3	1,00	1,65	3,86
	1,30	1,86	1,94
	1,32	1,83	0,54
Valore medio	0,90	1,17	1,44

[T17] Misure di rugosità superficiale dei provini sottoposti al test di resistenza alla lavastoviglie

4.3.3 Risultati del test di resistenza al microonde

Lo scopo di questo test è di valutare la resistenza del materiale alla cottura in microonde.

Sono stati utilizzati due provini trattati su tutte e sei le superfici con il coating polimerico. I provini sono stati posizionati nel sul piatto rotante del microonde.

Al termine della prima parte della prova si è registrata la temperatura massima raggiunta dai provini, che secondo normativa non deve superare i 60°C al fine di considerare idoneo il provino. Inoltre si è eseguito un esame visivo per verificare che non fossero presenti cricche, scheggiature o rotture.

Al termine del secondo ciclo, invece, oltre controllare che non fossero presenti cricche, scheggiature o rotture, si sono considerati come parametri eventuali cambiamenti dell'aspetto del coating polimerico. In particolare si sono considerati cambiamenti nella colorazione mediante una misurazione con spettrografo.

Entrambi i provini hanno presentato una temperatura superficiale minore di 60°C al termine della prima parte prova (31°C il primo e 36°C il secondo), risultando idonei per la seconda parte.

Alla fine della seconda parte i provini non hanno presentato nessun difetto superficiale evidente.

Inoltre dal confronto delle misurazioni eseguite con lo spettrografo prima e dopo il test, si evince che non ci sono stati significativi cambiamenti nel colore.

Si può affermare che il provino non ha subito alcun degrado a seguito di questa prova.

SCHEDA RISULTATI TEST Spettroscopio

N° Provino	Parametro colore	Prima del test	Dopo il test
1	L	90,95	92,40
	a	0,63	0,25
	b	6,22	6,78
2	L	90,32	92,01
	a	0,68	0,81
	b	8,86	8,41
Non trattato	L	90,92	-
	a	-0,55	-
	b	8,22	-

[T18] Risultati delle misurazioni eseguite con lo spettroscopio prime e dopo la prova.



[83] Schema di valutazione dei colori dello spettroscopio.

L indica i valori cromatici dal nero al bianco, dove nero è uguale -100 e bianco è uguale a +100.

b indica i valori cromatici dal blu al giallo, dove blu è uguale a -100 e giallo a +100.

a indica i valori cromatici dal verde al rosso, dove verde è uguale a -100 e rosso a +100.

4.4 Conclusioni

I risultati delle prove eseguite per verificare che il multistrato multimateriale HPC-PMMA possa essere utilizzato nell'ambito della cucina si sono stati utili per comprendere quale possa essere il comportamento del multistrato multimateriale HPC-PMMA in cucina.

Infatti non si hanno a disposizione abbastanza dati per giungere ad una conclusione definitiva.

Si può ipotizzare che il multistrato multimateriale abbia una buona resistenza allo shock termico e una buona resistenza alla cottura in microonde. I risultati ottenuti dal test di resistenza al lavaggio in lavastoviglie, invece, presentano troppi dati discordanti tra loro, che non permettono di formulare un'ipotesi definitiva.

Sono necessari in futuro maggiori studi di approfondimento riguardo la resistenza al lavaggio in lavastoviglie e di resistenza al microonde.

Normative

UNI EN 1183:1999 Materiali ed articoli in contatto con gli alimenti - Metodi di prova per lo sbalzo termico e la resistenza allo sbalzo termico.

EN 12875-1:2005 - Resistenza meccanica di autensli al lavaggio in lavastoviglie.

UNI EN 15284:2008 - Materiali e articoli destinati al contatto alimentare - Procedura per trestare la resistenza al microonde di articoli in ceramica, vetro, vetro-ceramica e plastica.

5. ANALISI DI CONFRONTO DELL'IMPATTO AMBIENTALE TRA MULTIMATERIALE E MAIOLICA

Nei capitoli precedenti si sono verificate le proprietà di compatibilità alimentare e usabilità del multistrato multimateriale HPC-PMMA richieste per un materiale costituente di un contenitore atto al contatto alimentare.

In questo capitolo si affronta mediante l'utilizzo del Life Cycle Assessment (LCA) il confronto tra i due studi tra gli impatti ambientali derivanti da l'intero processo di produzione di un piatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA e quello di un piatto in ceramica tradizionale.

5. ANALISI DI CONFRONTO DELL'IMPATTO AMBIENTALE TRA MULTIMATERIALE E MAIOLICA

5.1 Definizione e strumenti LCA

5.1.1 Definizione di LCA (Life Cycle Assessment)

L' LCA (*Life Cycle Assessment*) è un metodo che valuta l'impatto ambientale dell'intero ciclo di vita del prodotto. Con ciclo di vita di un prodotto si intende l'insieme di tutte le fasi che un prodotto tipo passa: dall'estrazione e la produzione di materiali, la produzione, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclaggio e la dismissione finale³⁵.

Secondo la norma ISO 14040 l'LCA è una tecnica per valutare gli aspetti ambientali e i potenziali impatti lungo tutto il ciclo di vita di un prodotto o di un servizio attraverso:

- la compilazione e l'inventario dei significativi input e output di un sistema;
- la valutazione dei potenziali impatti associati a questi input e output;
- l'interpretazione dei risultati delle fasi di inventario e valutazione

35_Carlo Vezzoli, "Metodi e Strumenti per il Life Cycle Design, come progettare prodotti a basso impatto ambientale", Ceschin F., Cortesi S., Milano, Maggioli Editore, 2009

in relazione agli obiettivi dello studio.

LCA in particolare analizza gli impatti ambientali, dell'oggetto di studio, dal punto di vista dell'ecologia, della salute umana e dell'esaurimento delle risorse.

Per eseguire un LCA si fa ricorso a software appositi in cui vengono inseriti gli input, ovvero tutte le informazioni che riguardano il prodotto preso in esame (i materiali, il processo di produzione, la tipologia di smaltimento o riciclo, ecc.) dai quali si ricavano gli output, ovvero la tipologia e la quantità dei fattori di impatto. Il software utilizzato per questo studio è il SimaPro.

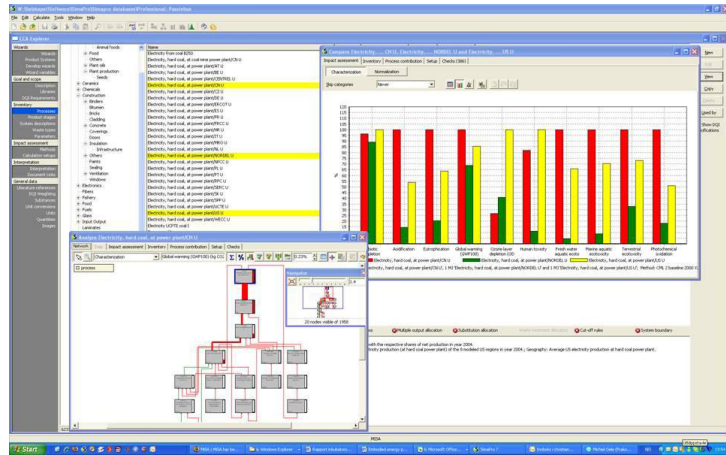
5.1.2 SimaPro

SimaPro è un software che contiene un certo numero di dati e strumenti, che si basano sullo studio dell'LCA di un prodotto, che permettono di quantificare l'impatto ambientale di un processo o di un sistema di processi.

La struttura base di uno studio di impatto ambientale eseguito con SimaPro si articola in quattro fasi:

- *Caratterizzazione*
- *Calcolo del danno*
- *Normalizzazione*
- *Attribuzione di peso*

La *caratterizzazione* indica le sostanze che contribuiscono ad una categoria di impattanti moltiplicate per un fattore di caratterizzazione che esprimono il contributo relativo della sostanza. Per esempio, il fattore di caratterizzazione per la CO₂ è uguale ad 1, mentre quello per il metano è uguale a 21. Questo vuol dire che il rilascio di 1 kg di metano è equivalente a 21 kg di CO₂. Il risultato totale è espresso come impact category indicators (indicatori di



categoria impattante).

Il *calcolo del danno* è uno strumento relativamente nuovo per il software SimaPro. Il suo scopo è combinare un numero di impact category indicators dentro una categoria di danno. Perciò è possibile raggruppare in una categoria una serie di impact category indicators aventi la stessa unità di misura, per esempio tutte le categorie che si riferiscono alla salute umana vengono espresse in giorni. In questo modo si può avere un risultato totale della quantità giornaliera di sostanze cancerogene emesse dal processo.

La *normalizzazione* risulta uno strumento assai utile nel momento in cui si vogliono esporre i risultati a terzi. Infatti la maggior parte dei metodi permette che i risultati degli impact category indicators siano messi a confronto con un valore di referenza. Questo significa che la categoria di impatto viene divisa per la referenza. Una referenza solitamente utilizzata è l'impatto annuale medio di un paese o di una nazione divisa per il numero di abitanti. D'altro canto è anche possibile impostare una referenza propria, per esempio si possono cambiare le impostazioni per ottenere l'impatto di una lampadina da 60W per un'ora, o di un trasporto su gomma di 100 km, e così via.

Dopo la normalizzazione gli impact category indicators avranno tutti la stessa unità, che permette una più semplice lettura dei risultati.

L'attribuzione di peso, come dice il nome stesso, permette di impostare il calcolo dell'impatto LCA a seconda del peso. Questo significa che l'impact category indicator verrà moltiplicato per il fattore di peso. L'attribuzione di peso può essere eseguita su risultati normalizzati o meno.

Di queste quattro fasi solo la prima risulta obbligatoria secondo la normativa ISO. Questo significa che non sempre è possibile trovare nel database di SimaPro tutti i metodi³⁶. In particolare per questo studio si sono utilizzati i dati presenti nel database Ecoinvent, sviluppato dal Centre for Life Cycle Inventories in collaborazione con ETH Zurich e EPF Lausanne, centri di competenza dell'Istituto di Tecnologia Federale Svizzero, dal Paul Scherrer Institute (PSI), il Laboratorio Federale Svizzero di Ricerca e Sviluppo di Materiali (Empa), e la Stazione di Ricerca Agroscope di Reckenholz-Tänikon (Agroscope).

³⁶ Mark Goedkoop, "SimaPro Database Manual Methods library", Oele M., de Schryver A., Vieira M., Netherlands, PRé Consultants, 2008

5.2 Definizione dei confini di sistema

L'obiettivo di questo studio LCA è di valutare la differenza che intercorre tra la produzione, dall'estrazione del materiale alla dismissione del prodotto finito, di un piatto prodotto in multistrato multimateriale HPC-PMMA e uno prodotto in maiolica tradizionale avente le stesse prestazioni. In particolare si valutata l'energia necessaria al processo e le la quantità di emissioni inquinanti.

Basandosi sull'analisi degli impatti si sono individuate le aree della produzione di ognuno dei prodotti che avessero le maggiori criticità ambientali e che quindi necessitassero di un intervento con una maggiore priorità.

Per determinare, quindi, i confini di sistema più opportuni si è eseguito un confronto sui cicli di vita dei due prodotti presi in esame. In questo modo si è potuto valutare quali fossero effettivamente i passaggi determinanti che causano un maggior impatto. Ogni ciclo di vita è stato organizzato considerando come fasi fondamentali:

- la preparazione del materiale
- la produzione del manufatto
- l'uso
- la dismissione

Se necessario si sono, successivamente, create delle sotto-fasi che permettessero un'organizzazione più intuitiva del processo. Per esempio per entrambi processi la preparazione del materiale richiedono più di una fase determinante, perciò per le malte HPC si sono presi in considerazione l'estrazione della materia prima dalla cava, la produzione del cemento e la produzione del premiscelato. Queste fasi infatti risultano essere le più impattanti a livello ambientale in quanto rich-

iedono una grande energia ottenuta attraverso carburanti di natura fossile.

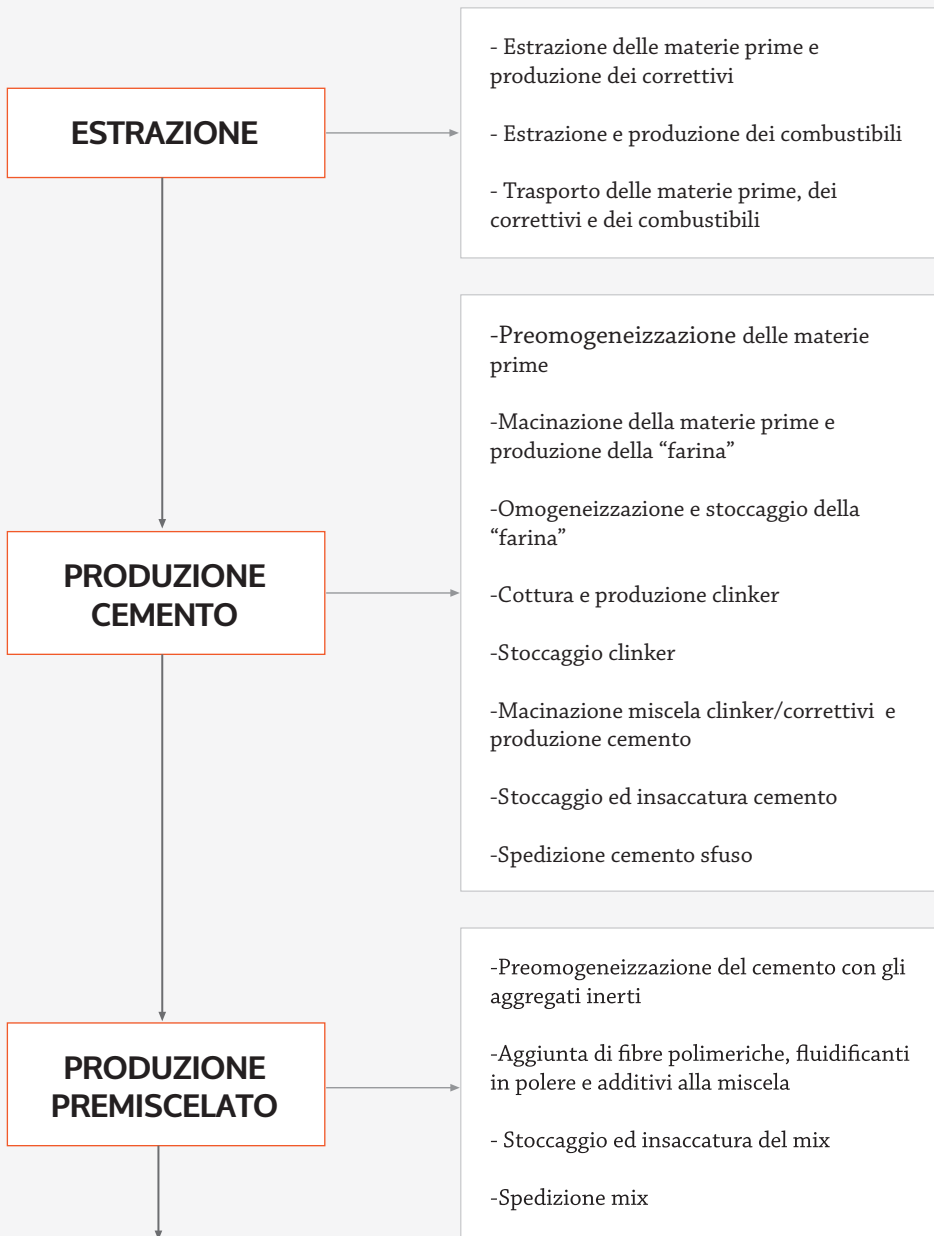
In seguito si sono considerati tutti i passaggi produttivi che appartengono ad ogni sotto-fase e si sono ricavate le due tabelle nelle pagine seguenti [T12] [T13].

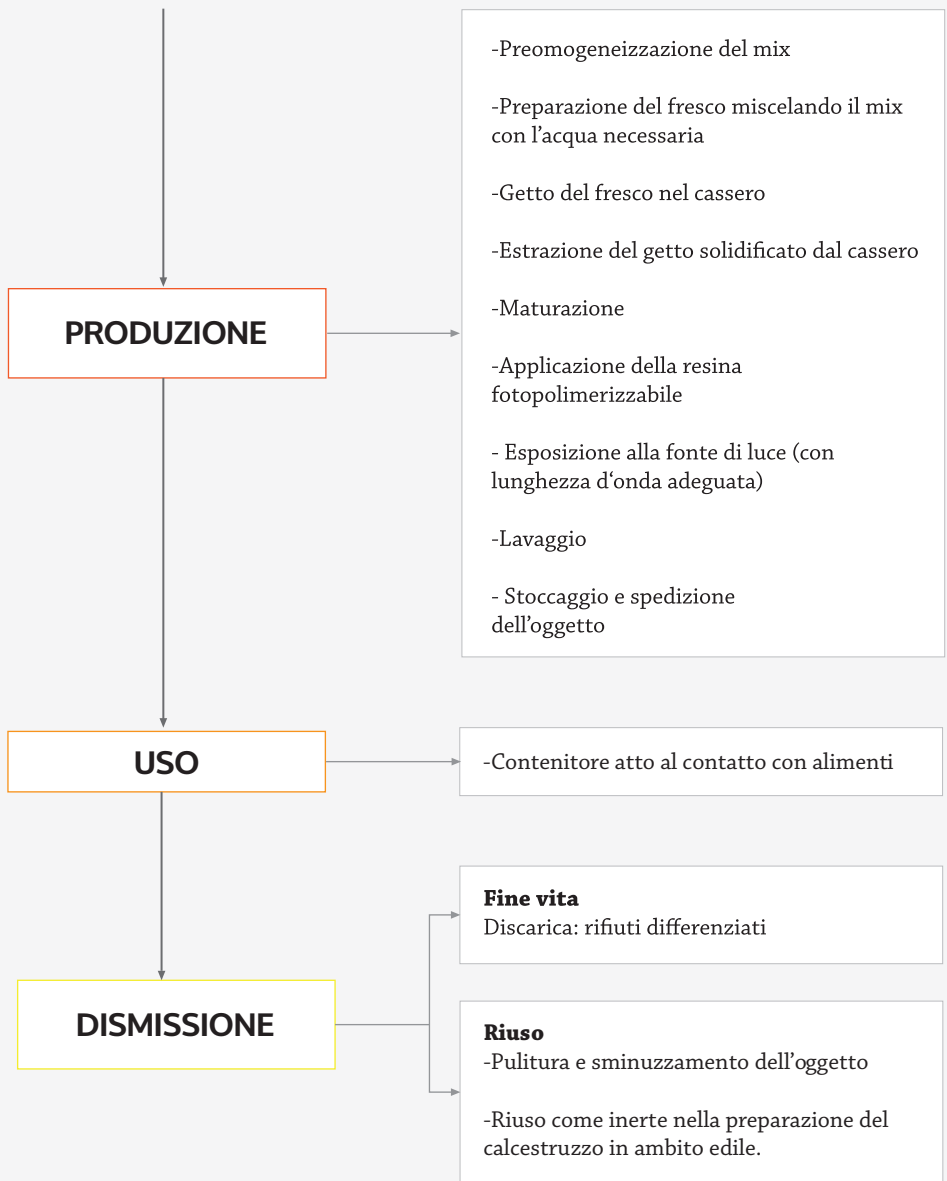
Come si evince dal confronto [T13] delle due tabelle [T11] [T12] le fasi determinanti per i fini di questo studio sono per entrambe: la preparazione del materiale e la produzione del manufatto. In quanto presentano tutta una serie di lavorazioni ad alto dispendio energetico che quindi necessitano di una grande quantità di carburanti fossili e di conseguenza avranno delle emissioni considerevoli.

L'uso del manufatto, invece, non è stato considerato in questo studio, in quanto si può ipotizzare, dati i risultati delle prove sperimentali, che i due prodotti possano avere una durata di vita equivalente.

Per quanto riguarda, infine, la dismissione, non esiste una possibilità di riciclo di codesti materiali. Il loro fine vita infatti è per entrambi essere considerati come rifiuti indifferenziati e perciò destinati alla discarica. Solo una piccola parte può essere riutilizzata, per le malte HPC come inerti nella produzione di calcestruzzo destinato all'edilizia e per le maioliche con fini decorativi.

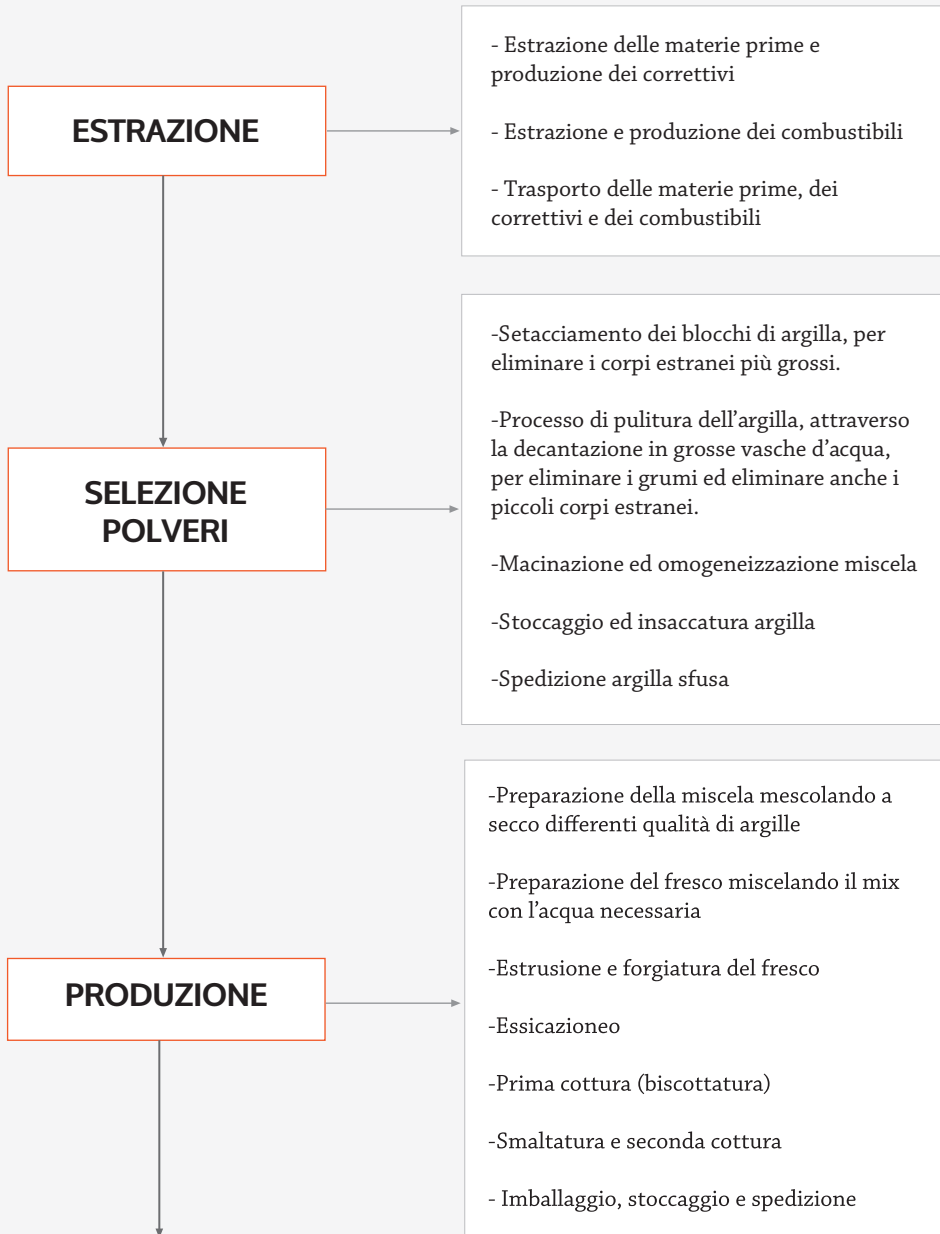
Si è deciso quindi di prendere in considerazione per questo studio le prime due macrofasi, ovvero quella di preparazione del materiale e produzione del manufatto, in quanto le ultime si possono considerare equivalenti e perciò trascurabili.

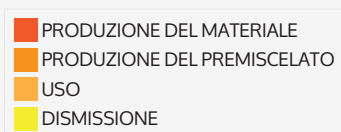
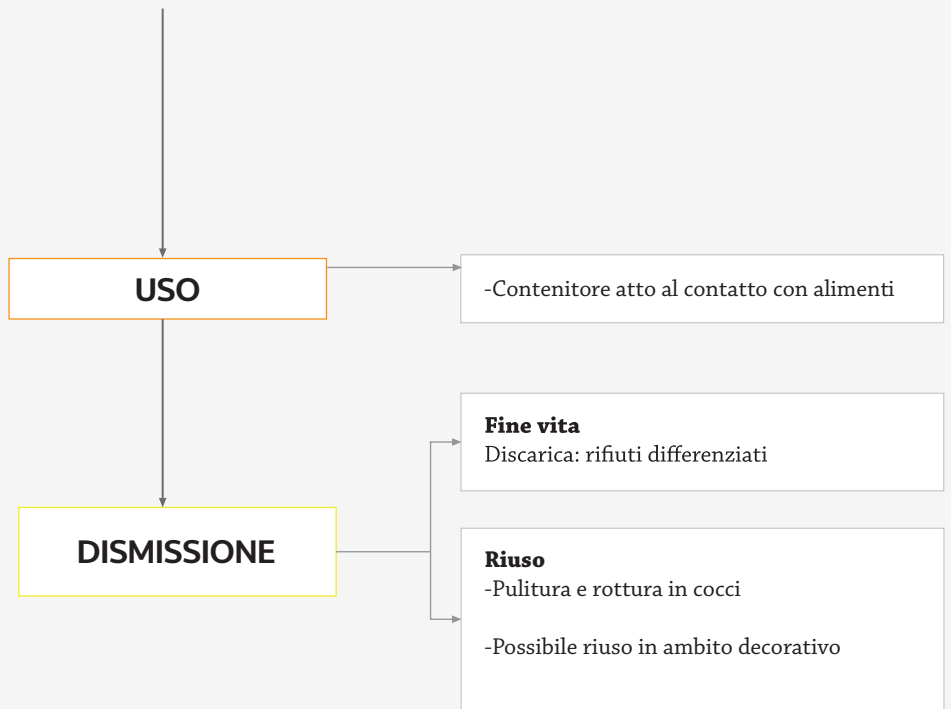




- PRODUZIONE DEL MATERIALE
- PRODUZIONE DEL PREMISCELATO
- USO
- DISMISSIONE

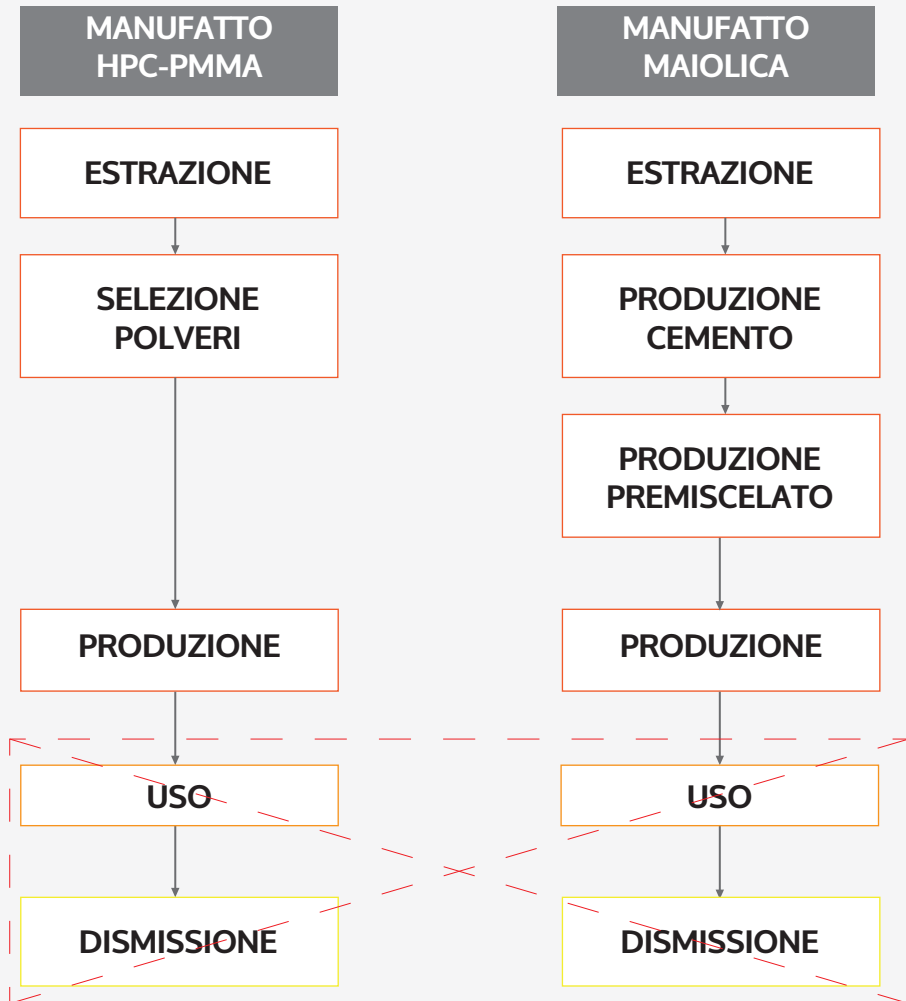
[T19] Ciclo di vita di un manufatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA.
 [Dati presi dalla Dichiarazione Ambientale Calcestruzzo Unical e dalla Dichiarazione ambientale cemento Buzzi Unicem.
<http://www.buzziunicem.it>]





*[T20] Ciclo di vita di un manufatto in maiolica.
 [Dati presi da : Carlo Palmonari, "Le Piastrelle di Ceramica Sotto Controllo", Carani G., Centro Ceramico Bologna,2005]*

CICLO DI VITA
CONFRONTO
HPC-PMMA/Maiolica



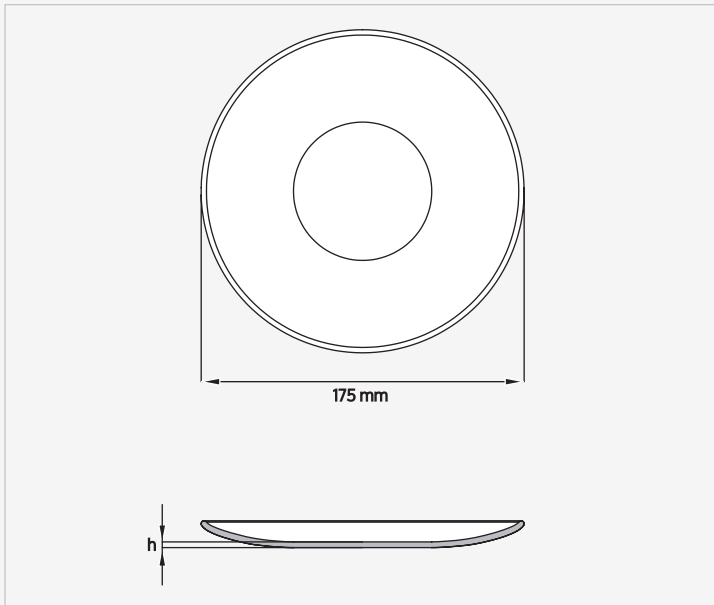
[T21] Confronto tra i Cicli di Vita di un manufatto in multimateriale multistrato HPC-PMMA e uno in maiolica.

5.3 Definizione dell'unità funzionale

In uno studio LCA, ed in particolare in uno basato su un confronto tra due prodotti, è fondamentale definire quale sia l'unità funzionale del sistema, ovvero l'oggetto di riferimento a cui tutti i dati in ingresso ed in uscita saranno normalizzati. La norma ISO 14014 definisce l'unità funzionale come: "Misura della prestazione di un flusso in uscita funzionale del sistema prodotto. Lo scopo principale dell'unità funzionale è di fornire un riferimento a cui legare i flussi in uscita e in entrata".

La caratteristica principale dell'unità funzionale è trovare un parametro secondo il quale si può eseguire un confronto tra due prodotti diversi, in questo caso un piatto piano costituito in multistrato multimateriale HPC-PMMA e uno in maiolica, collegandola all'uso che ne viene fatto. Perciò l'unità funzionale considerata è stata il volume utile del piatto, ovvero la quantità di cibo che può contenere a prescindere dalla sua forma e dimensione.

Per avere un confronto più preciso riguardo ai materiali si è deciso di utilizzare il medesimo disegno per entrambi gli oggetti e di ottimizzare il loro spessore.



[85] Disegno del piatto utilizzato come riferimento per la definizione dell'unità funzionale.

5.3.1 Ottimizzazione degli spessori

Il dimensionamento dei piatti è stato eseguito simulando lo scenario di stress peggiore a cui un piatto può essere sollecitato, ovvero il trasporto di una pila di piatti a mano. Il quale può essere semplificato in un sistema su trave a due appoggi, considerando il piatto come una piastrella quadrata con il lato pari al diametro del piatto.

Considerando che: il peso medio di un piatto piano in maiolica è circa 0,6 kg e quello di un piatto fondo è di 0,4 kg; il servizio più grande che si può acquistare è quello da 12 e solitamente viene ordinato impilando i piatti l'uno sull'altro, e che per questioni di stabilità si impilano prima i piatti piani e successivamente i piatti fondi. Perciò il piatto piano che sta alla base deve sopportare il carico di tutti i piatti sopra di lui.

Quindi considerando il peso di tutti i piatti piani meno quello alla base ($0,6 \text{ kg} \times 11$), ovvero 6,6 kg, sommato al peso di tutti i piatti fondi ($0,4 \times 12$), ovvero 4,8 kg, il carico totale risulta essere 11,4 kg, ovvero 114 N. Inoltre si è considerato un ulteriore fattore di sicurezza di $k=0,8$ portando il carico finale considerato a 205 N.

Inoltre considerando l'equazione che calcola la forza di carico massimo che un sistema a trave a sezione rettangolare su due appoggi può sopportare:

$$F=[(\sigma_{\max} \times I \times 8)/(L \times h)]$$

Dove σ_{\max} [MPa] è il limite di rottura a flessione del materiale, I [mm^4] è l'inerzia di massa, L [mm] è la lunghezza, h [mm] è l'altezza; e sono tutti dati noti tranne l'altezza h .

In questo modo si può risolvere l'equazione secondo h , trovando così lo spessore che deve avere il piatto.

Ottenuto il valore di h , tramite l'ausilio di un programma di

modellazione 3D si sono ottenuti i valori che hanno permesso di calcolare la quantità di materiale necessaria alla produzione dell'oggetto. Ovvero per il piatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA la quantità di malta che serve a costituire il substrato e la quantità di coating polimerico [T14]; per la maiolica si è calcolata la quantità di miscelato necessario alla composizione del substrato e quella di smalto protettivo [T15].

SCHEDA PIATTO HPC-PMMA

Piatto HPC-PMMA	
Diametro	275 mm
Spessore	5 mm
Volume del piatto	340 cm ³
Volume Utile	745 cm ³
Superficie totale	1313 cm ²

Composizione	Percentuale componente [%]	Quantità relativa del componente [kg]
Malta HPC	100	0,75
Cemento Portland	40	0,3
Sabbia	50	0,375
Sabbia di Quarzo	80	,06
Additivi	0,5	0,00375
Fibre	1,50	,01125
PMMA	100	0,06
Totale		0,81

[T22] Scheda di composizione del piatto in multistrato multimateriale HPC- PMMA [le informazioni riguardanti la composizione generica di una malta HPC sono tratte dal brevetto Lafarge WO 1999058468 A1: "Concrete comprising organic fibres dispersed in a cement matrix, concrete cement matrix and premixes"].

Piatto Maiolica	
Diametro	275 mm
Spessore	6 mm
Volume del piatto	364 cm ³
Volume Utile	745 cm ³
Superficie totale	1313 cm ²

SCHEDA PIATTO MAIOLICA

Composizione	Percentuale componente [%]	Quantità relativa del componente [kg]
Maiolica	100	0,87
Argilla plastica	8	0,696
Marna argillosa verdastra	36	0,3132
Marna calcarea bianca	28	0,2436
Sabbia Impura	28	0,2436
Smalto	1000	,03
Allumina ferruginosa	35	0,0105
Silice	58	0,0174
Carbonato di calce	7	0,0021
Totale		0,90

[T23] Scheda di composizione del piatto in maiolica [le informazioni riguardanti la composizione generica di una maiolica sono state prese da: G.Eigenmann, "Nuovo Dizionario di Merceologia e Chimica Applicata", Milano, Hoepli Editore, 1977]

5.4 Analisi di inventario

L'analisi di inventario è uno step fondamentale nella creazione di uno studio LCA in quanto permette di mettere in relazione tutti i processi di trasformazione all'interno dei confini di sistema precedentemente stabiliti.

L'obiettivo è stato ricostruire, tramite le procedure di raccolta dati, le vie e le modalità attraverso cui i flussi di energia e di materiali permettono il funzionamento dei vari sistemi produttivi. Si è cercato di costruire un modello in grado di rappresentare nella maniera più fedele possibile tutti gli scambi tra le singole operazioni appartenenti alla produzione del materiale e alla produzione del manufatto finito.

Questo processo è stato particolarmente impegnativo in quanto solo uno dei due processi considerati in questo studio è realmente effettivo, ovvero quello della produzione delle maioliche.

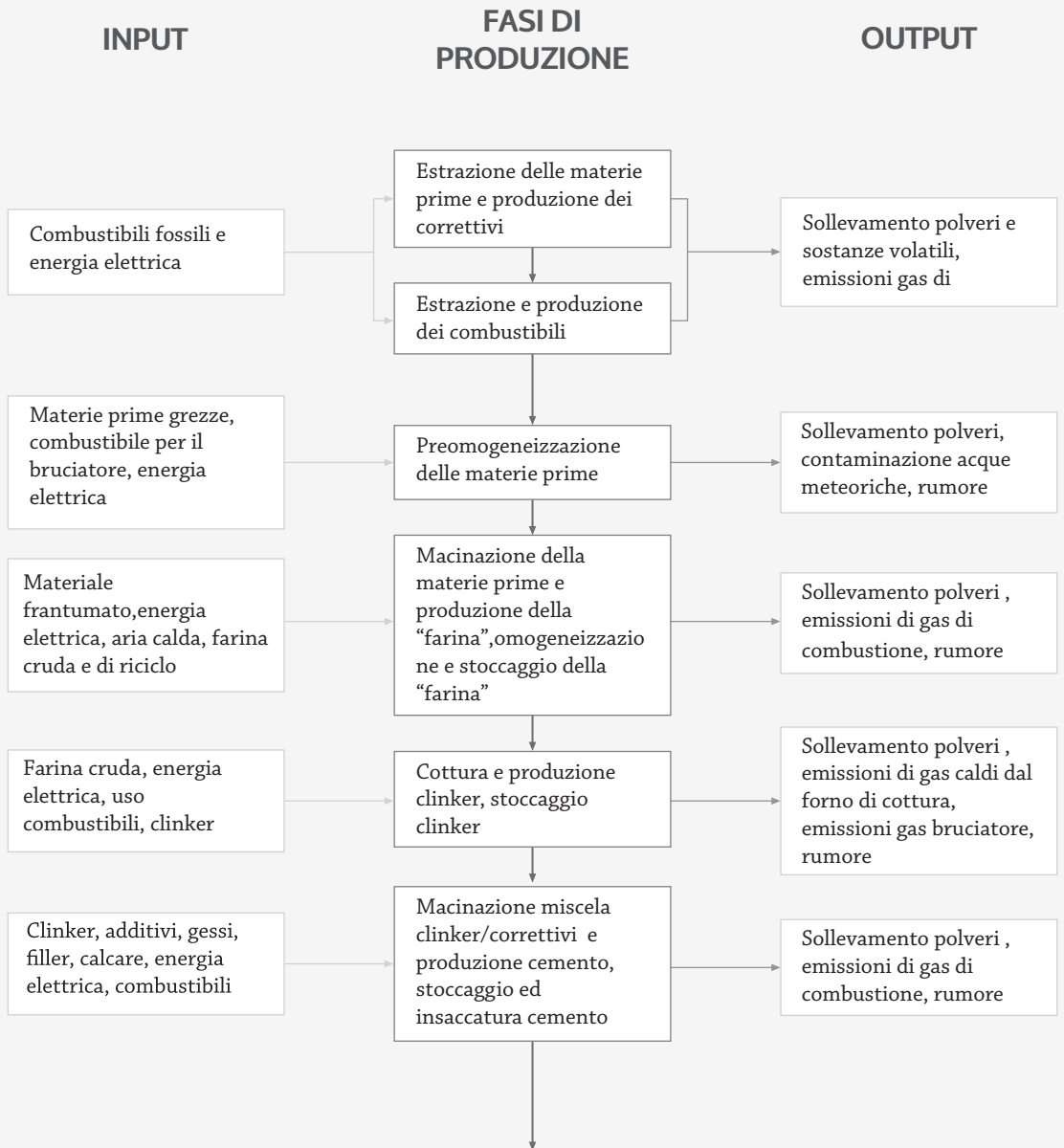
Non esistono infatti a tutt'oggi processi industriali che contemplino la produzione di stoviglie in malta cementizia. O che considerino la possibilità di utilizzare un coating polimerico fotopolimerizzabile su questo tipo di manufatti, pur essendo largamente utilizzato in altri settori, come per esempio l'automotive.

Si è costruito quindi un possibile processo industriale basandosi su tecnologie esistenti utilizzate in altri contesti. Per esempio la produzione di prefabbricati edili in calcestruzzo. Oppure il coating UV fotopolimerizzabile utilizzato nel campo delle pavimentazioni.

In questo modo si sono potuti ricavare i dati input riguardanti le fonti di energia e i materiali utilizzati in ogni fase del processo da inserire nel software SimaPro per essere processati e ricavare i dati output riguardanti gli impatti ambientali dell'intero processo.

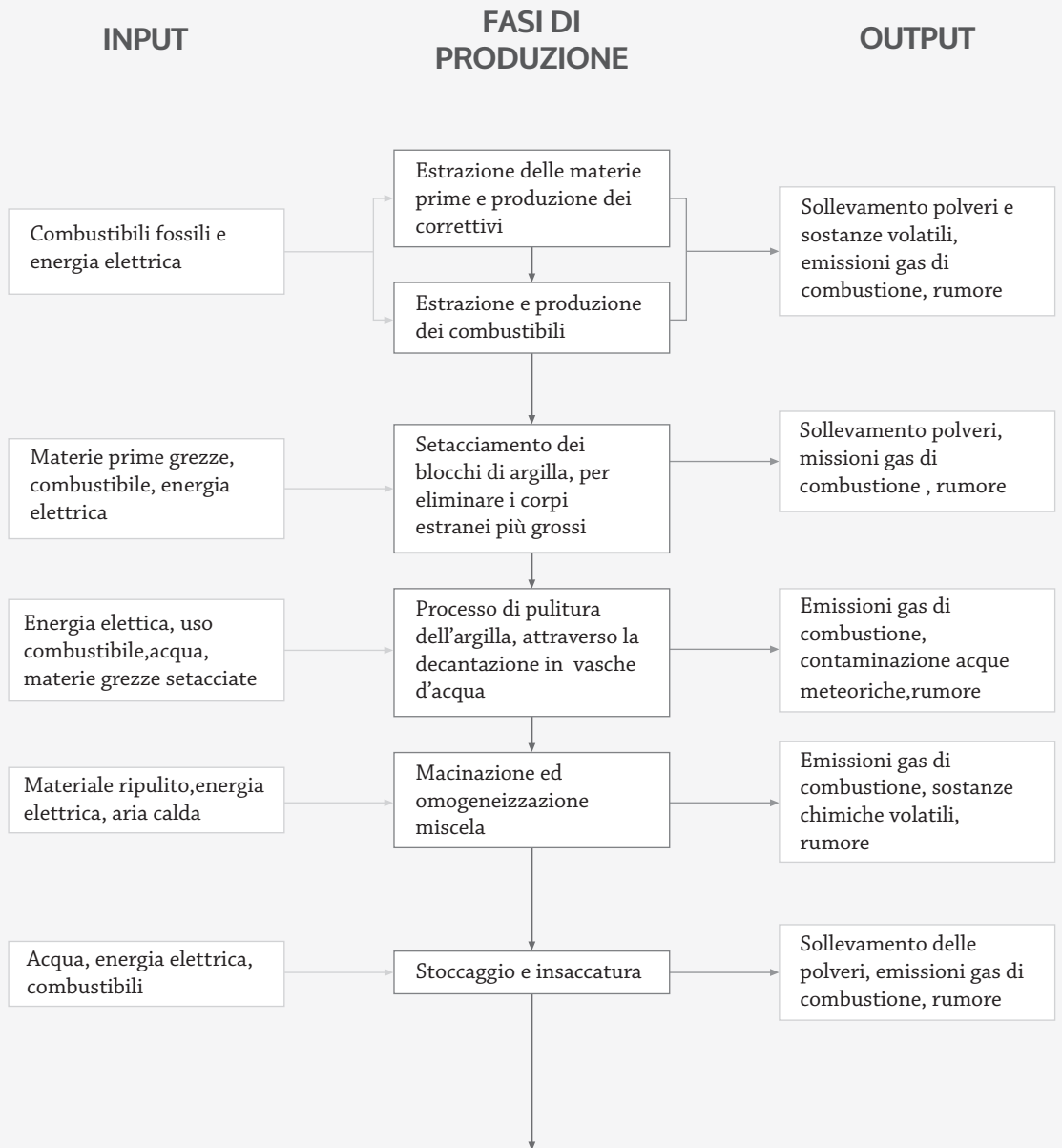
La maggior parte dei dati è stata ricavata grazie al database ecoinvent di materiali e processi del software SimaPro.

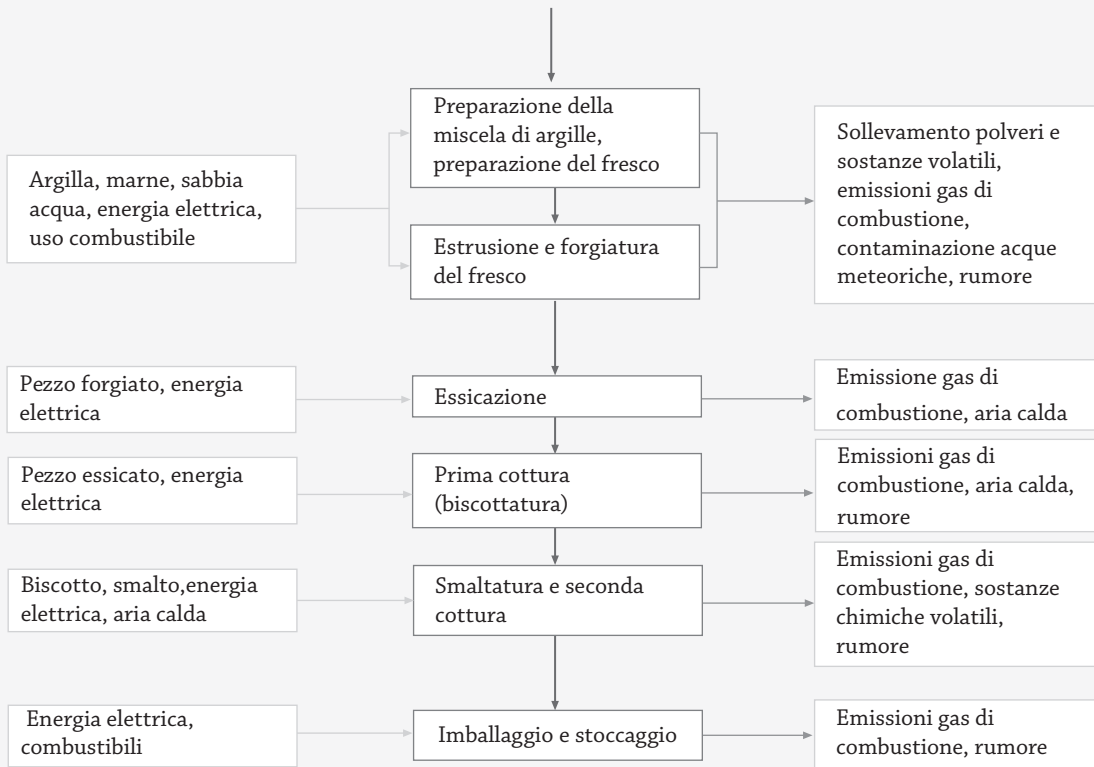
Dal database si sono scelti i materiali e i processi più simili a quelli considerati in questo studio. Le schede sono state poi modificate per avere dei dati output che si avvicinassero il più possibile alla realtà.





[T24] Analisi di inventario del processo di produzione di un piatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA
 [Dichiarazione ambientale cemento, Buzzi Unicem, giugno 2012]





[T25] *Analisi di inventario del processo di produzione di un piatto in maiolica*
 [Carlo Palmonari, "Le Piastrelle di Ceramica Sotto Controllo", Carani G., Centro Ceramico Bologna, 2005]

5.4.1 Inserimento dati in SimaPro

In seguito alla definizione dell'analisi di inventario, e quindi definiti tutti gli input, ovvero i materiali, i processi e l'energia necessari ad una data lavorazione, si sono immessi i dati nel software SimaPro.

L'obiettivo dello studio eseguito con il software è mettere a confronto i processi di lavorazione di un piatto in multistrato multi-materiale HPC-PMMA e di un piatto in maiolica. Secondo i confini di sistema di questo studio sono state prese in considerazione solo le fasi di produzione del materiale e produzione dell'oggetto, in quanto le fasi di uso e smaltimento erano così simili tra i due materiali da risultare trascurabili.

Per ottenere i risultati inerenti alle fasi del ciclo di vita prese in considerazione è stato necessario immettere nel software una serie di dati riguardanti la composizione dei materiali, i processi a cui vengono sottoposti e l'energia utilizzata.

In particolare per questo studio i piatti presi in esame come unità funzionale sono stati considerati non come pezzo unico ma come un assieme (*Assembly*) composto dal piatto, in malta HPC o maiolica, e dal coating superficiale, PMMA o smalto. Infatti il piatto in HPC non ancora trattato o il biscotto in maiolica si possono considerare due prodotti semifiniti a cui viene applicata una lavorazione successiva. Dividendo così a metà il processo di entrambe le produzioni si riesce ad ottenere un confronto migliore tra la produzione del substrato da una parte e la produzione del coating dall'altra.

Le schede di produzione dei materiali [89] necessitano inoltre dei dati riguardanti l'energia utilizzata nelle varie fasi lavorazione per ottenere il substrato del piatto. Non essendo presenti nel database di SimaPro si è eseguita una ricerca per ottenere i dati necessari riguardanti l'energia, la capacità e il tempo ciclo di ogni macchinario facente parte della linea di produzione. I dati sono presentati nelle tabelle [T17] [T18].

Si è considerato inoltre che le fasi di lavorazione dei materiali grezzi, utilizzati per comporre le schede dei materiali, fossero già comprese nelle schede presenti nel database del software. Perciò le lavorazioni che compaiono nelle schede riguardano la preparazione del premiscelato e la produzione dell'oggetto.

DATI INVENTARIO PIATTO HPC-PMMA

Macchinario	Energia	Dimensioni	T. ciclo
Preparazione del Premiscelato HPC			
Dosatore monovite per polveri [BHT-Bulk Handling Technology, www.bhtsrl.com]	1,1 -1,2 kW	1000 - 8000 1	20 ton/h
Miscelatore orizzontale discontinuo a due assi [Beccaria - Industrie meccaniche specializzate, www.beccaria.it]	22 x 2 kW	4500 - 6000 1	2200 kg/min
Insaccatrice [ESSEGI - Packaging System, www.essegi.com]	10 kW	2,27 -13,63 1	da 18 a 24 sacchi/min
Produzione piatto HPC -PMMA			
Mixer [Pemat, www.pemat.de]	1,5 kW	56 1	500 kg/h
Camera a nebbia [Fratelli Galli, www.galli2europe.com]	1,5 - 2,4 kW	Dimensioni Camera* [670x750x1500 mm]	1552** piatti/24 h
Verniciatore a spruzzo [Venjakob, www.venjakob.de]	9,6 kW	Dim. linea processo [1300x920x1900 mm]	2 - 4 m/min
Forno polimerizzatore [Jelosil s.r.l., www.jelosil.net]	2 kW	Spot lampada [300x300 mm]	1 pezzo ogni 40 sec
Lavastoviglie a nastro [Elframo, www.elframo.com]	33 kW	Cesto [600 x 440 mm]	4000 piatti/h

[T26] Lavorazioni riguardanti il processo di produzione di un piatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA non presenti nel database SimaPro

*Le dimensioni della camera a nebbia sono variabili, quelle presentate si riferiscono in specifico a quella utilizzata per questo studio

**Si è calcolato il numero dei pezzi prodotti in 24h calcolando quanti piatti potevano essere impilati dentro il volume interno della camera, calcolando anche lo spazio degli scaffali. Si è fatto riferimento all'unità funzionale del piatto in HPC-PMMA.

NexusDB@127.0.0.1 Default (Professional: FRANCESCA RHO - [Modifica materiali processo HPC-Fir])

File Modifica Calcola Strumenti Finestra Aiuto

Documentazione Input/Output Parametri Descrizione del sistema

Prodotti

Output noti a tecnologia. Prodotti e coprodotti

Nome	Quantità fisica	Unità di misura	Quantità fisica	% Allocation	Tipo rifiuto	Categoria	Commento
HPC_FIR	1	kg	Mass	100 %	non definito	Construction/Concrete/Marker	

(Inserisci linea qua)

Output noti a tecnologia. Prodotti evitati

Nome	Quantità fisica	Unità di misura	Distribuzione	SD *2 o 2*SD	Min	Max	Commento
(Inserisci linea qua)							

Input

Input noti da natura (risorse)

Nome	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di misura	Distribuzione	SD *2 o 2*SD	Min	Max	Commento
Occupation, mineral extraction site	in ground	200000	m ² a	Non definito				

(Inserisci linea qua)

Input noti da tecnologia (materiali/combustibili)

Nome	Quantità fisica	Unità di misura	Distribuzione	SD *2 o 2*SD	Min	Max	Commento
Tap water, at user (O3) market for Alloc Def, U	0,11	kg	Non definito				
Cement, Portland (B+W) market for Alloc Def, U	0,4	kg	Non definito				
Sand (GLO) market for Alloc Def, U	0,375	kg	Non definito				
Silica sand (GLO) market for Alloc Def, U	0,06	kg	Non definito				
Chemical, inorganic (GLO) market for chemicals, inorganic Alloc Def, U	0,00756	kg	Non definito				
Polypropylene fibres (PP), crude oil based, production mix, at plant, PP granulate without ad	0,01125	kg	Non definito				
Packing, fibre cement product (GLO) market for Alloc Def, U	1	kg	Non definito				

(Inserisci linea qua)

Input noti da tecnologia (elettricità/calore)

Nome	Quantità fisica	Unità di misura	Distribuzione	SD *2 o 2*SD	Min	Max	Commento
Electricity, natural gas, at power plant/US	0,000055	kWh	Non definito				Dosatore monovite per polveri
Electricity, natural gas, at power plant/US	0,000033	kWh	Non definito				Miscelatore orizzontale (2x22)
Electricity, natural gas, at power plant/US	0,003	kWh	Non definito				Mixer
Electricity, natural gas, at power plant/US	0,03	kWh	Non definito				Camera a nebbia

(Inserisci linea qua)

Output

Emissioni nell'aria

Nome	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di misura	Distribuzione	SD *2 o 2*SD	Min	Max	Commento
(Inserisci linea qua)								

Emissioni in acqua

Nome	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di misura	Distribuzione	SD *2 o 2*SD	Min	Max	Commento
(Inserisci linea qua)								


Emissioni nel terreno

Politecnico di Milano 1 Manager 8.0.3.14 Classroom Multi user

NexusDB@127.0.0.1 Default (Professional: FRANCESCA RHO - [Modifica assemblaggio Piatto HPC-PMMA])

File Modifica Calcola Strumenti Finestra Aiuto

Input/Output Parametri

Nome	Immagine	Commento
Piatto HPC-PMMA		

Stato: Nessuno

Material/assemblaggi

Nome	Quantità fisica	Unità di misura	Distribuzione	SD *2 o 2*SD	Min	Max	Commento
HPC_FIR	0,81	kg	Non definito				
Methyl acrylate (GLO) market for Alloc Def, U	0,06	kg	Non definito				

(Inserisci linea qua)

Processi

Nome	Quantità fisica	Unità di misura	Distribuzione	SD *2 o 2*SD	Min	Max	Commento
Electricity, natural gas, at power plant/US	1,92	kWh	Non definito				Piatta a spruzzo_Applicazione polimero
Electricity, natural gas, at power plant/US	0,0027	kWh	Non definito				Forno polimerizzatore_processo Fotopolimerizzazione
Electricity, natural gas, at power plant/US	0,00825	kWh	Non definito				Levastoviglie

(Inserisci linea qua)

Politecnico di Milano 1 Manager 8.0.3.14 Classroom Multi user

[86] Scheda di produzione di un piatto in HPC contenente le informazioni sulla sua composizione e produzione.

[87] Scheda di assembly del piatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA.

DATI INVENTARIO MAIOLICA

Macchinario	Energia	Dimensioni	T. ciclo
Produzione piatto in maiolica			
Dosatore monovite per polveri [BHT-Bulk Handling Technology, www.bhtsrl.com]	1,1 -1,2 kW	1000 - 8000 1	20 ton/h
Impastatrice degasatrice per argilla [Protec - Proactive Technology, www.protecgroun.it]	4 kW	Capacità tramoggia [25kg]	360 kg/h
Foggiatrice [SAMA, www.sacmi.it]	4,5 kW	Diam. max [300 mm]	101 piatti/h
Finitrice [SAMA, www.sacmi.it]	1,2 kW	Diam. max [1050 mm]	10 s a pezzo
Forno cottura biscotto [RIEDHAMMER, www.sacmi.it]	4400 kcal/kg	20 piatti*** per m ³	1 ciclo = 4 ore
Verniciatore a spruzzo (Smalto) [SAMA, www.sacmi.it]	9,6 kW	Diam. max [340 mm]	2000 pezzi/h
Forno cottura smalto [SAMA, www.sacmi.it]	4000 kca/kg	38 piatti**** per m ³	1 ciclo = 7 ore

[T27] Lavorazioni riguardanti il processo di produzione di un piatto in maiolica non presenti nel database SimaPro.

***La quantità di piatti è stata calcolata tenendo in considerazione ce la linea di produzione presa in esame ha come carico massimo 18 Kg/m³ e che il piatto in maiolica scelto come unità funzionale pesa 0,9 kg.

****La quantità di piatti è stata calcolata tenendo in considerazione ce la linea di produzione presa in esame ha come carico massimo 35 Kg/m³ e che il piatto in maiolica scelto come unità funzionale pesa 0,9 kg.

NexusDB@127.0.0.1:DefaultProfessional:FRANCESCA.RHO - [Modifica materiali processo: Maiolica_FR]

File Modifica Calcola Strumenti Finestra Aiuto

Documentazione Input/Output Parametri Descrizione del sistema

Prodotti							
Nome	Quantità fisica	Unità di misura	Quantità fisica	% Allocations	Tipo rifiuto	Categoria	Commento
Maiolica_FR	1	kg	Mass	100 %	non definito	Ceramics/Market	

Output noti a tecnosfera. Prodotti e coprodotti

Output noti a tecnosfera. Prodotti evitati

Nome	Quantità fisica	Unità di misura	Distribuzione	SD^+2 o 2^SD	Min	Max	Commento
(Inserisci linea qui)							

Input

Input noti da natura (risorse)

Nome	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di misura	Distribuzione	SD^+2 o 2^SD	Min	Max	Commento
Transformation, from mineral extraction site		200000	m2	Non definito				

Input noti da tecnosfera (materiali/combustibili)

Nome	Quantità fisica	Unità di misura	Distribuzione	SD^+2 o 2^SD	Min	Max	Commento
Clay (GLO) market for Alloc Def, U	0,08	kg	Non definito				
Calcareous marl (GLO) market for Alloc Def, U	0,28	kg	Non definito				
Sand (GLO) market for Alloc Def, U	0,28	kg	Non definito				
Marna argillosa verdastra	0,36	kg	Non definito				
Tap water, at user (CH) market for Alloc Def, U	0,6	kg	Non definito				

Input noti da tecnosfera (elettricità/calore)

Nome	Quantità fisica	Unità di misura	Distribuzione	SD^+2 o 2^SD	Min	Max	Commento
Electricity, natural gas, at power plant/US	0,000055	kWh	Non definito				Dosatore
Electricity, natural gas, at power plant/US	0,11	kWh	Non definito				Impastatrice/filtratrice/degasatrice
Electricity, natural gas, at power plant/US	0,05	kWh	Non definito				Foggatrice
Electricity, natural gas, at power plant/US	0,0037	kWh	Non definito				Finitrice
Electricity, natural gas, at power plant/US	5,12	kWh	Non definito				Cottura biscotto

Output

Emissioni nell'aria

Emissioni in acqua

Emissioni nel terreno

Politecnico di Milano 1 Manager 8.0.3.14 Classroom Multi User

NexusDB@127.0.0.1:DefaultProfessional:FRANCESCA.RHO - [Modifica materiali processo: Smalto_FR]

File Modifica Calcola Strumenti Finestra Aiuto

Documentazione Input/Output Parametri Descrizione del sistema

Prodotti							
Nome	Quantità fisica	Unità di misura	Quantità fisica	% Allocations	Tipo rifiuto	Categoria	Commento
Smalto_FR	1	kg	Mass	100 %	non definito	Chemicals/Inorganic/Market	

Output noti a tecnosfera. Prodotti e coprodotti

Output noti a tecnosfera. Prodotti evitati

Nome	Quantità fisica	Unità di misura	Distribuzione	SD^+2 o 2^SD	Min	Max	Commento
(Inserisci linea qui)							

Input

Input noti da natura (risorse)

Input noti da tecnosfera (materiali/combustibili)

Nome	Quantità fisica	Unità di misura	Distribuzione	SD^+2 o 2^SD	Min	Max	Commento
Alumina, at plant/US	0,35	kg	Non definito				
Silica sand (DE) production Alloc Def, U	0,58	kg	Non definito				
Chemical, inorganic (GLO) market for chemicals, inorganic Alloc Def, U	0,7	kg	Non definito				Carbonato di calcio

Input noti da tecnosfera (elettricità/calore)

Nome	Quantità fisica	Unità di misura	Distribuzione	SD^+2 o 2^SD	Min	Max	Commento
(Inserisci linea qui)							

Output

Emissioni nell'aria

Emissioni in acqua

Emissioni nel terreno

Flussi dei rifiuti finali

Emissioni non materiali

Tempi sociali

Politecnico di Milano 1 Manager 8.0.3.14 Classroom Multi User

[88] Scheda di produzione di un piatto in maiolica contenente le informazioni sulla sua composizione e produzione.

[89] Scheda di produzione dello smalto di un piatto in maiolica contenente le informazioni sulla sua composizione e produzione.

Software interface for assembly scheduling (CNC software) showing a bill of materials (BOM) and process list for a ceramic plate assembly.

Home: Piatto Maiolica

Immagine:

Commento:

Stato: Nessuno

Materiali/assemblaggi	Quantità fisica	Unità di misura	Distribuzione	SD	2°SD	Min	Max	Commento
Maiolica FIR	0,87	kg	Non definito					
Smalto FIR	0,03	kg	Non definito					
(Inserisci linea qui)								
Processi	Quantità fisica	Unità di misura	Distribuzione	SD	2°SD	Min	Max	Commento
Electricity, natural gas, at power plant/US	0,0053	kWh	Non definito					Verricistura a spruzzo_Smalto
Electricity, natural gas, at power plant/US	4,652	kWh	Non definito					Forno_Cottura smalto
(Inserisci linea qui)								

Politecnico di Milano 1 | Manager | 8.0.3.14 Classroom Multi user

[90] Scheda di assembly del piatto in maiolica smaltata.

5.5 Analisi dell'LCA

5.5.2 Analisi degli impatti

Per eseguire l'analisi dell'impatto ambientali è utilizzato il metodo dell'EPD.

L'EPD³⁶, ovvero *Environmental Product Declaration*, è uno strumento che permette di ottenere uno studio sugli impatti ambientali basato sui dati presenti nell'LCA di un prodotto in accordo con la normativa ISO 14025³⁷. Questo sistema permette di valutare determinati impatti ambientali come l'acidificazione, l'eutrofizzazione, il riscaldamento globale, l'ossidazione fotochimica e l'impatto sullo strato di ozono.

Se si considerano i dati ottenuti dall'analisi dell'LCA con l'EPD esposti nella tabella [T19] e nel grafico [T20] si evince che la produzione di un piatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA ha un impatto totale minore rispetto alla produzione di uno in maiolica rispetto alle categorie considerate, ovvero quelle di: acidificazione, eutrofizzazione, riscaldamento globale, ossidazione fotochimica e impatto sullo stato di ozono.

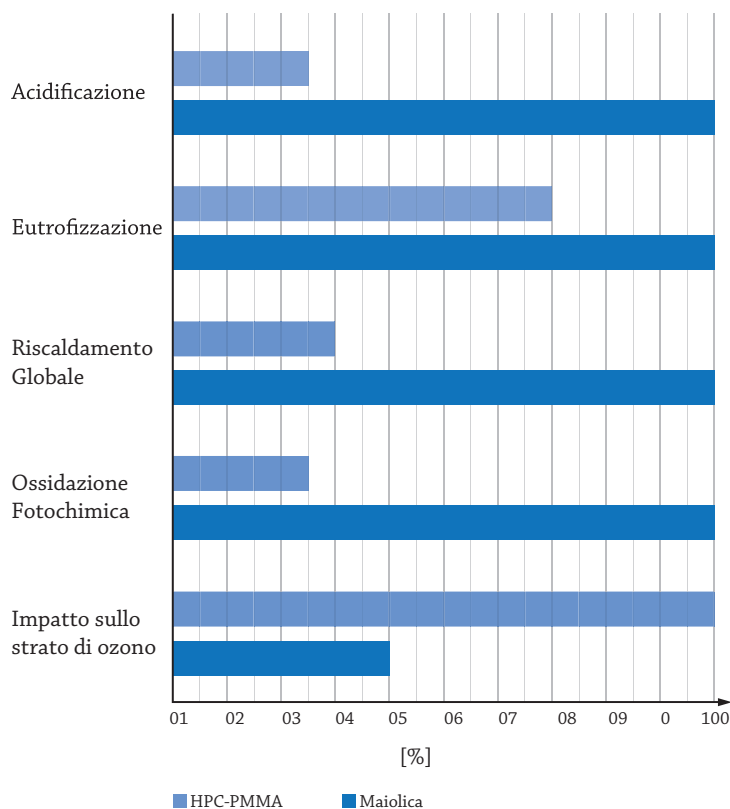
L'acidificazione è il valore dato alla decrescita del pH oceanico.

Tipo di Impatto	Piatto HPC-PMMA	Piatto Maiolica
Acidificazione	0,014 [kg SO2 eq]	0,0571 [kg SO2 eq]
Eutrofizzazione	0,00057 [kg PO4 eq]	0,000888 [kg PO4 eq]
Riscaldamento Globale	2,02 [kg CO2 eq]	6,73 [kg CO2 eq]
Ossidazione Fotochimica	0,000709 [kg C2H4 eq]	0,00292 [kg C2H4 eq]
Impatto sullo strato di ozono	1,50E-8 [kg CFC-11 eq]	5,23E-9 [kg CFC-11 eq]

[T28] Risultati dell'analisi EPD di confronto tra i due processi.

36_ EPD® definition www.environdec.com

37_ISO 14025:2010: Etichette e dichiarazioni ambientali - Dichiarazioni ambientali di Tipo III



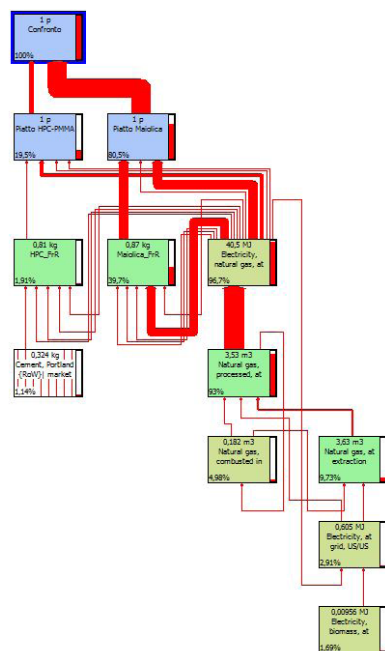
[T29] Risultati dell'analisi EPD confronto tra i due processi.

L'EPD valuta l'impatto di questo fattore attraverso il calcolo del diossido di zolfo equivalente rilasciato nell'atmosfera come prodotto della combustione di carburanti. Dai risultati di SimaPro si evince che il fattore di acidificazione della produzione di un piatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA è un quarto rispetto a quello della produzione di un piatto in maiolica. Quest'ultimo risultato è dovuto all'ingente quantità di energia, e quindi di carburante, necessaria alle fasi di cottura del biscotto e dello smalto.

Il fattore di eutrofizzazione quantifica le sostanze, solitamente fosfati, che sovra arricchiscono l'ambiente marino di sostanze nutritive, causando la proliferazione di alghe, che a causa del loro numero non possono essere smaltite dai consumatori primari. L'ingente quantità di flora marina causa un aumento del consumo di ossigeno e rilascio di anidride carbonica creando così ambienti asfittici. Anche rispetto a questo valore il piatto in multistrato HPC-PMMA

risulta essere meno impattante con una differenza del 20% rispetto a quello in maiolica. Questo fattore è dovuto alla necessità di un'ingente quantità d'acqua, nella produzione della maiolica, sia durante la lavorazione del materiale grezzo per pulirla dalle impurità, sia durante la preparazione del fresco dove l'acqua che non viene assorbita dall'argilla si unisce alle acque reflue. Le acque scartate sono, quindi, cariche di impurità che vanno ad impattare sull'equilibrio del pH acquatico.

Il riscaldamento globale è un fattore che indica l'aumento della temperatura dell'atmosfera e delle acque causata dalla variazione dei gas immessi nell'aria. Per questo motivo si quantifica l'impatto sul riscaldamento globale calcolando l'anidride carbonica prodotta dalla combustione di gas e carburanti. Il risultato ottenuto ha l'impatto maggiore, tra i fattori considerati, per entrambi i materiali, seppure il multistrato multimateriale HPC-PMMA risulta essere un terzo rispetto a quello della maiolica. L'energia utilizzata per tutte le lavorazioni infatti è dovuta alla combustione di gas naturali. La produzione della maiolica risulta essere più impattante perché necessita una quantità di energia molto superiore a quella del multistrato multimateriale HPC-PMMA. Come si evince anche



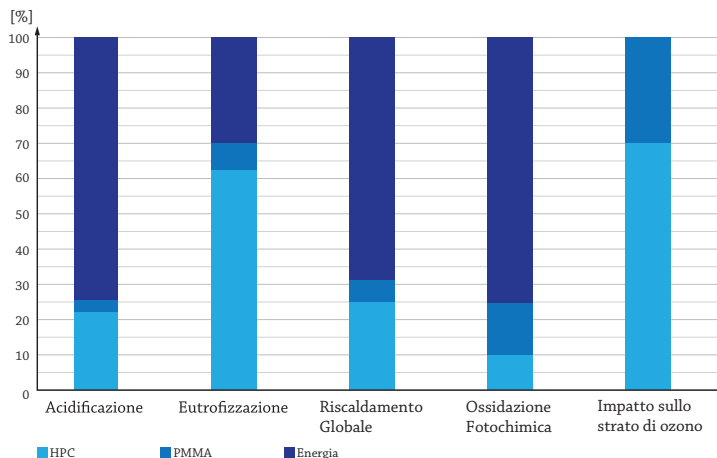
[T30] Risultati dell'analisi EPD con schema a rete.

dal grafico a rete [T22] dove le frecce relative all'impatto dovuto all'energia nel processo di produzione di un piatto in maiolica sono molto più grandi rispetto a quelle che indicano l'energia necessaria per la produzione di un piatto HPC-PMMA.

Il fattore di ossidazione fotochimica quantifica la produzione di sostanze che causano un particolare tipo di smog che si attiva attraverso l'irradiazione della luce solare. Queste sostanze sono per lo più ossidi di azoto e composti organici volatili che attivati dalla luce ultravioletta solare reagiscono producendo sostanze nocive per la salute. Il risultato di questo fattore per la produzione della maiolica è del 60% maggiore rispetto a quello della produzione del multistrato multimateriale HPC-PMMA. Questo divario potrebbe essere spiegato valutando i materiali utilizzati nel processo. Infatti la maiolica utilizza argille e smalti che contengono ossidi e altre sostanze nocive per la salute e per l'ambiente in quantità maggiore rispetto alla malta HPC.

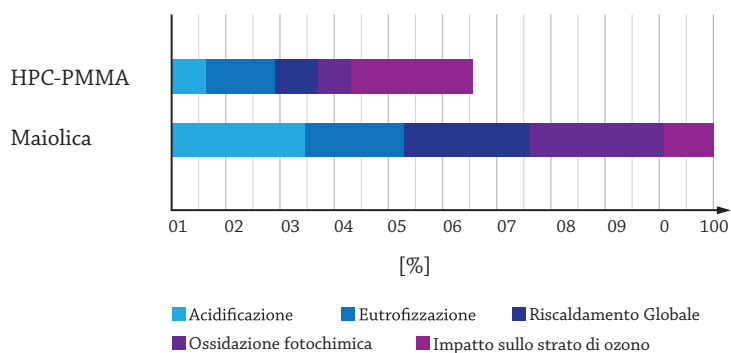
La riduzione dello strato di ozono è il fattore che quantifica la produzione equivalente di sostanze, cloro fluoro carburi (CFC), che interferiscono con il processo fotochimico di protezione dai raggi ultravioletti dello strato di ozono. Questo fattore è l'unico in cui il multistrato multimateriale HPC-PMMA abbia un valore maggiore rispetto alla maiolica, infatti risulta essere più grande di un'ordine di grandezza. Analizzando il grafico ottenuto dallo studio EPD della sola produzione di un piatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA [T23] si evince che la malta HPC risulta avere l'impatto

[T31] Risultati dell'analisi EPD sulla sola produzione di un piatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA.



maggiore, probabilmente dovuto alla cottura del clinker, rispetto al fattore di riduzione dello strato di ozono.

Considerando il grafico confronto [T24], rispetto alla somma degli impatti, tra la produzione di un piatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA rispetto ad uno in maiolica, si evince che, tutto considerato, la produzione di un piatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA impatterebbe il 30% in meno rispetto ad un piatto in maiolica.



[T32] Confronto tra l'impatto totale ambientale del multistrato multimateriale HPC-PMMA e di quello della maiolica.

5.5.2 Analisi di sensitività

Si è voluto eseguire un breve studio di sensitività riguardante la fase d'uso, ed in particolare la manutenzione. Il piatto, infatti, è un oggetto utilizzato quotidianamente che necessita una continua manutenzione (lavaggio). L'impatto ambientale della fase d'uso, quindi, risulta essere maggiore rispetto alle altre fasi, soprattutto perché è proporzionale alla durata di vita utile.

Per avere un'idea degli impatti effettivi che ha un piatto si sono calcolate la quantità di energia e di acqua necessarie per lavarne uno, ipotizzando una vita utile di 20 anni. Si è considerata la lavapiatti GV61214 dell'azienda Gorenje, di classe A+ e che può contenere 12 coperti.

Tipo di Impatto	Piatto lavato 1 volta	Piatto lavato 1 volta al giorno per 20 anni	Materiali Piatto HPC-PMMA	Processi HPC-PMMA
Acidificazione	2,07E-5 [kg SO2 eq]	1,48 [kg SO2 eq]	2,21E-3 [kg SO2 eq]	0,0118 [kg SO2 eq]
Eutrofizzazione	5,59E-7 [kg PO4 eq]	0,0235 [kg PO4 eq]	3,97E-4 [kg PO4 eq]	1,73E-4 [kg PO4 eq]
Riscaldamento Globale	2,6E-3 [kg CO2 eq]	175 [kg CO2 eq]	0,63 [kg CO2 eq]	1,39 [kg CO2 eq]
Ossidazione Fotochimica	1,06E-6 [kg C2H4 eq]	0,0757 [kg C2H4 eq]	1,05E-4 [kg C2H4 eq]	6,1E-4 [kg C2H4 eq]
Impatto sullo strato di ozono	2,74E-12 [kg CFC-11 eq]	2,01E-8 [kg CFC-11 eq]	1,30E-8 [kg CFC-11 eq]	7,82E-13 [kg CFC-11 eq]

[33] Confronto tra gli impatti delle varie fasi di vita del prodotto.

Il consumo medio di un piatto ad oggi è di circa 0,033 kWh di energia elettrica e di 0,38 l di acqua. Questi valori possono essere applicati anche al multistrato multimateriale HPC-PMMA, poiché si riferiscono a qualunque tipo di piatto. Volendo però migliorarli, si potrebbe ipotizzare un'opera di Life Cycle Design, applicare dei piccoli cambiamenti all'oggetto che possano agire sul lungo termine. Si potrebbe quindi ottimizzare la fase d'uso attraverso il miglioramento del materiale, il quale potrebbe presentare una superficie facilmente lavabile con meno acqua e a basse temperature. In questo modo si otterrebbe un impatto ambientale minore, poiché sarebbero necessarie minori risorse.

Quest'analisi è stata sviluppata a livello ipotetico per inquadrare il contesto d'uso del piatto e sviluppare possibili scenari futuri.

Consumi Lavastoviglie	Consumo Annuale	Consumo Giornaliero	Consumo di un piatto
Elettricità	291 kWh	0,80 kWh	0,033 kWh
Acqua	3360 l	9,21 l	0,38 l

[34] Consumi di lavaggio in lavastoviglie per un piatto.

Consumi Lavastoviglie	Consumo di un piatto	Consumo Annuale	Consumo 20 anni
Elettricità	0,033 kWh	12,045 kWh	240,9 kWh
Acqua	0,38 l/piatto	138,7 l	2774 l

[35] Consumi del lavaggio in lavastoviglie per un piatto lavato una volta al giorno per 20 anni.

5.5.3 Analisi dei costi

Dopo aver analizzato l'impatto ambientale causato dalla produzione di un piatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA e uno in maiolica, si sono valutati i costi relativi ai materiali e all'energia utilizzata.

L'analisi svolta è parziale in quanto si è considerato solamente il costo dell'energia utilizzata dai macchinari ed il costo del materiale. Inoltre, essendo la linea di produzione del piatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA, seppur verosimile, ipotetica, non si sono disposti tutti i dati necessari ad eseguire un'analisi completa.

Si sono considerati i valori di energia elettrica necessari al funzionamento delle macchine e sono stati riportati in kWh. Il costo è calcolato rispetto alla tariffa monoraria dettata dall'Autorità per l'Energia Elettrica il Gas e il Sistema Idrico³⁸ (www.autorita.energia.it). I risultati sono stati riportati nelle tabelle [T23] e [T24].

Come si evince dalle tabelle i processi che riguardano il processo di produzione di un piatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA necessitano meno energia rispetto al processo produttivo di un piatto in maiolica.

Anche se per produrre un piatto in HPC-PMMA si necessitano un numero maggiore di passaggi, questi richiedono minor energia perciò oltre a risultare meno impattanti, il processo nella sua interezza risulta essere più economico. Inoltre si è valutato anche il costo riguardante le materie prime dei premiscelati, calcolandolo sempre rispetto alla quantità del singolo materiale presente nell'oggetto.

Questo passaggio è stato necessario per verificare che l'utilizzo del PMMA come materiale costituente del coating protettivo del piatto in HPC non impattasse sui costi di produzione, in quanto si tratta di uno dei polimeri più costosi sul mercato. Come si evince dalla tabella [T26] infatti, essendo la componente più cara è la causa di

38_ L'Autorità per l'energia elettrica il gas e il sistema idrico è un organismo indipendente, istituito con la legge 14 novembre 1995, n. 481 con il compito di tutelare gli interessi dei consumatori e di promuovere la concorrenza, l'efficienza e la diffusione di servizi con adeguati livelli di qualità, attraverso l'attività di regolazione e di controllo.

un prezzo più elevato rispetto a quello delle materie costituenti del piatto in maiolica[T27].

Considerando però il costo dei processi e dei materiali nel loro insieme [T28], la produzione di un piatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA risulta essere comunque più conveniente rispetto a quello in maiolica in quanto i bassi costi di processo compensano con quelli elevati del coating polimerico.

Al contrario i costi di produzione di un piatto in maiolica sono fortemente influenzati dall'energia utilizzata durante il processo di cottura.

	Piatto HPC-PMMA [€]	Piatto Maiolica [€]
Energia	0,06	1,64
Materiali	1,11	0,995
Totale	1,17	2,64

[T28] Tabella di confronto dei costi totali per ogni produzione.

**CONFRONTO
COSTI ENERGIA
HPC-PMMA**

Macchinario	Energia [kWh]	Costo Energia* [€]
Preparazione del Premiscelato HPC		
Dosatore monovite per polveri [BHT-Bulk Handling Technology, www.bhtsrl.com]	0,000055	9,4e-6
Miscelatore orizzontale discontinuo a due aspi [Beccaria - Industrie meccaniche specializzate, www.beccaria.it]	0,00033	5,4e-5
Insaccatrice [ESSEGI - Packaging System, www.essegi.com]	0,003	4,9e-4
Produzione piatto HPC -PMMA		
Mixer [Pemat, www.pemat.de]	0,003	4,9e-4
Camera a nebbia [Fratelli Galli, www.galli2europe.com]	0,03	4,9e-3
Verniciatore a spruzzo [Venjakob, www.venjakob.de]	1,92	5,2e-2
Forno polimerizzatore [Jelosil s.r.l., www.jelosil.net]	0,0027	4,4e-4
Lavastoviglie a nastro [Elframo, www.elframo.com]	0,00825	1,3e-3
Tot. €		0,06

[T23] Tabella dei costi relativi all'energia necessaria per la produzione di un piatto in HPC-PMMA

Macchinario	Energia [kW]	Costo Energia* [€]
Produzione piatto in maiolica		
Dosatore monovite per polveri [BHT-Bulk Handling Technology, www.bhtsrl.com]	0,000055	9,04e-6
Impastatrice degasatrice per argilla [Protec - Proactive Technology, www.protecgroupp.it]	0,11	1.8e-2
Foggiatrice [SAMA, www.sacmi.it]	0,05	8,2e-3
Finitrice [SAMA, www.sacmi.it]	0,0037	6,1e-4
Forno cottura biscotto [RIEDHAMMER, www.sacmi.it]	5,12	0.84
Verniciatore a spruzzo (Smalto) [SAMA, www.sacmi.it]	0,0053	8,7e-4
Forno cottura smalto [SAMA, www.sacmi.it]	4,65	0,77
Tot. €		1,64

**CONFRONTO
COSTI ENERGIA**
Maiolica

[T24] Tabella dei costi relativi all'energia necessaria per la produzione di un piatto in maiolica

CONFRONTO COSTI MATERIALI HPC-PMMA

Materia prima	Costo [€/kg]	Costo effettivo [€]
Premiscelato HPC		
Cemento Portland [ITALBIANCO, Italcementi www.italcementi.it]	0,2500	0,075
Sabbia [Giesse Cave Srl, www.giesseesrl.it]	0,0129	0,005
Farina di quarzo [Edilcentro Wullshleger, www.edilcentro.ch]	0,376	0,023
Additivi [Beton Eisak, www.beton-eisack.it]	2,56	0,0096
Fibre Polimeriche Beton Eisak, www.beton-eisack.it]	15	0,17
Coating PMMA		
Metacrilato di metile [Sigma-Aldrich, www.sigmaaldrich.com]	14	0,84
Tot. €		1,12

[T26] Tabella dei costi relativi alle materie costituenti del multistrato multimateriale HPC-PMMA

Materia prima	Costo [€/kg]	Costo effettivo [€]
Maiolica		
Argilla Plastica [Forni de Marco www.forniperceramica.it]	0,786	0,54
Marna argillosa verdastra [Forni de Marco www.forniperceramica.it]	0,6	0,19
Marna calcarea bianca [Forni de Marco www.forniperceramica.it]	0,4	0,097
Sabbia [Giesse Cave Srl, www.giessesrl.it]	0,0129	0,003
Smalto		
Smalto bianco [Sigma-Aldrich, www.sigmaaldrich.com]	5,5	0,165
Tot. €		0,995

CONFRONTO COSTI MATERIALE Maiolica

[T27] Tabella dei costi relativi alle materie costituenti della maiolica

5.6 Conclusioni

Lo studio LCA eseguito aveva lo scopo di confrontare gli impatti causati dalla produzione di un piatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA e di uno in maiolica. Lo studio è stato svolto con parametri verosimili ma non confrontabili in un conteso reale perchè non esistono aziende che producano stoviglie in multistrato multimateriale HPC-PMMA.

I risultati ottenuti dimostrano che una produzione industriale di piatti in HPC-PMMA non solo avrebbe un impatto minore del 30% rispetto a quelli in maiolica ma sarebbe anche, per quanto riguarda le materie prime e l'energia, più economica.

In particolare considerando i risultati dell'analisi EPD sulla produzione del piatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA si evince che i maggiori impatti sono dati dall'energia utilizzata e dall'utilizzo del cemento. Una possibile soluzione per ridurre l'impatto di questo sistema potrebbe essere utilizzare macchinari a basso dispendio energetico, per quanto possibile, e provare ad ottimizzare la produzione del clinker, materia prima costituente del cemento.

Bibliografia

Carlo Vezzoli, “Metodi e Strumenti per il Life Cycle Design, come progettare prodotti a basso impatto ambientale”, Ceschin F., Cortesi S. , Milano, Maggioli Editore, 2009

Carlo vezzoli, “Design per la sostenibilità ambientale”, Manzini E., Milano, Zanichelli, 2007

Mark Goedkoop, “SimaPro Database Manual Methods library”, Oele M., de Schryver A. , Vieira M. , Netherlands, PRé Consultants, 2008

Dichiarazione Ambientale Calcestruzzo Unical e dalla Dichiarazione ambientale cemento Buzzi Unicem.

Carlo Palmonari, “Le Piastrelle di Ceramica Sotto Controllo”, Carani G., Centro Ceramico Bologna,2005

G.Eigenmann, “Nuovo Dizionario di Merceologia e Chimica Applicata”, Milano, Hoepli Editore, 1977

Sitografia

www.pre-sustainability.com

www.environdec.com

www.earthshift.com

www.ecoinvent.org

CONCLUSIONI

L'obiettivo di questo studio è stato verificare la possibilità di rendere concorrenziali le malte HPC e le maioliche nell'ambito della produzione industriale del mercato delle stoviglie, mettendo così a confronto i materiali cementizi ad elevate prestazioni rispetto a quelli ceramici tradizionali. L'intento di base è stato sviluppare un'alternativa a un mercato ormai consolidato, come quello delle maioliche, che potesse risultare meno impattante a livello ambientale, in quanto la produzione di piatti in ceramica richiede un grosso dispendio di energia e di risorse a causa dei vari processi di cottura; al contrario, la lavorazione delle malte cementizie, basandosi sul processo a freddo di idratazione del cemento, richiede un dispendio energetico molto minore.

Le malte HPC, però, non possono costituire da sole un oggetto atto al contatto alimentare in quanto, essendo i materiali cementizi di natura basica, potrebbero rilasciare sostanze nocive nel momento in cui entrassero in contatto con un alimento dal pH acido. La soluzione per ovviare a questa evenienza è stato sviluppare un multistrato multimateriale che fosse composto da una fase in malta HPC rivestita da un coating di resina fotopolimerizzabile.

Per dimostrare la validità della soluzione proposta si è affrontato uno studio diviso in tre fasi: una iniziale di ricerca e confronto, il cui focus sono state le proprietà dei materiali e le lavorazioni sia delle malte HPC che delle maioliche; una seconda di sviluppo e verifica del materiale rispetto al contatto alimentare e alla possibilità di utilizzarlo come materiale costituente di un piatto; una terza, ed ultima fase in cui si è sviluppata un'analisi del confronto dell'impatto ambientale tra il multistrato e la maiolica.

Nella fase iniziale si sono confrontate le proprietà e le lavorazioni dei materiali presi in esame, col fine di comprendere se fosse possibile utilizzarli per la produzione di stoviglie. Essendo materiali compositi, le loro prestazioni variano a seconda della composizione della miscela: in questo studio si sono considerati dei valori medi in modo da poter includere un ampio range di malte HPC e di maioliche. Dalla ricerca si evince che le malte HPC potrebbero effettivamente risultare un'alternativa alle maioliche in quanto presentano delle proprietà molto simili che fanno presupporre prestazioni analoghe in un medesimo contesto.

I processi di lavorazione invece sono molto diversi tra loro: una volta idratate le malte, infatti, devono essere gettate nello stampo entro un'ora, ovvero prima che il cemento inizi a fare presa rendendo la lavorazione più difficoltosa. La maiolica invece è composta per la maggior parte da argilla che, una volta idratata, rilascia l'acqua molto lentamente permettendone la lavorazione in tempi maggiori. Ma al contrario delle malte HPC, che entro 24 ore si possono scassare poiché sono solidificate e hanno sviluppato la maggior parte delle resistenze, le maioliche necessitano di tempi lunghi, oltre ad una quantità di energia maggiore per i processi di produzione, a causa delle fasi di essiccazione, cottura del biscotto e cottura dello smalto.

Per quanto riguarda la colorazione e la decorazione sono sicuramente le maioliche ad offrire un più vasto panorama, in quanto, per ora, le malte HPC vengono colorate solo o attraverso la pigmentazione in massa o con vernici una volta solidificate. Allo stato dell'arte odierno non si hanno ulteriori esempi di colorazioni di malte cementizie, ma ci sono le basi per altre possibili decorazioni. La dismissione risulta essere un aspetto sfavorevole per entrambi i materiali poiché il riuso è possibile solo in minima parte: i materiali cementizi e le ceramiche dismessi vengono processati in apposite riciclerie ed utilizzati come inerti in nuovi materiali cementizi a scopo edile. Da questo confronto preliminare, quindi, si è avuta un'ulteriore conferma che malte HPC e maioliche possono effettivamente essere ritenute potenzialmente concorrenti nel mercato della produzione a livello industriale di stoviglie.

L'obiettivo della seconda fase è stato verificare che il multistrato multimateriale HPC-PMMA potesse essere effettivamente utilizzato come materiale costituente di oggetti destinati al contatto alimentare. Questa fase si è suddivisa a sua volta in tre sottofasi: una prima a livello normativo circa le caratteristiche che

deve presentare un multimateriale multistrato atto al contatto alimentare; una seconda di verifica della compatibilità alimentare del multistrato multimateriale; e un'ultima fase di verifica di utilizzo del multistrato multimateriale come materiale costituente di un piatto.

Secondo il Regolamento (CE) n. 1935/2004 si può considerare un multistrato multimateriale alimentariamente compatibile quando lo strato atto al contatto con gli alimenti non ceda loro sostanze nocive e allo stesso tempo funga da barriera funzionale tra il substrato e l'alimento. La normativa inoltre enumera una serie di materiali che sono ritenuti compatibili a livello alimentare. Tra questi si è selezionata una resina polimerica da applicare al substrato in malta HPC: il PMMA. La scelta è ricaduta su questo polimero perché oltre a essere biocompatibile e avere buone proprietà meccaniche è anche fotopolimerizzabile. Perciò il monomero, che risulta come una sostanza viscosa, può essere applicato a superfici complesse in strati molto sottili ed essere successivamente fotopolimerizzato mediante l'esposizione a una luce avente una lunghezza d'onda adeguata.

Il multistrato multimateriale così costituito è stato sottoposto ad una serie di test per verificare la capacità del coating polimerico di agire come una barriera funzionale.

Innanzitutto si è verificata la capacità di adesione del coating polimerico mediante un pull-off test (UNI EN ISO 4624). Il polimero è risultato avere una forza di adesione tale che in tutti i provini di multistrato multimateriale HPC-PMMA sottoposti a test si sono rotti i substrati in malta HPC.

Successivamente si è verificata l'impermeabilità del coating mediante una prova di assorbimento capillare (UNI EN 1015-18) e una di permeabilità al vapore (UNI EN 1015-19). I provini di multistrato multimateriale HPC-PMMA sono risultati essere completamente impermeabili sia all'acqua che al vapore. Si è supposto che se il multistrato fosse impermeabile all'acqua e al vapore lo sarebbe stato anche a possibili sostanze acide contenuti negli alimenti. Per poter confermare questa teoria si è eseguita una prova di resistenza agli acidi alimentari (descritta nel capitolo 3.5.4) che ha verificato l'effettiva impermeabilità del coating agli stessi.

In questo modo si è dimostrato che è possibile utilizzare il multistrato multimateriale HPC-PMMA per oggetti atti al contatto alimentare.

Nell'ultima sotto-fase il multimateriale multistrato è stato sottoposto a dei test per verificare la possibilità di utilizzarlo come materiale costituente di un piatto. Si sono considerate le

caratteristiche che solitamente vengono richieste ad un piatto ovvero: a) la capacità di resistere agli shock termici, dati per esempio dal passaggio da un ambiente molto freddo come il frigorifero ad uno molto caldo come il contatto con un alimento bollente; b) la possibilità di essere utilizzato in microonde; c) lavato in lavastoviglie.

I risultati sono stati che il multistrato multimateriale resiste ad uno shock termico da 100°C a 5°C, può essere lavato in lavastoviglie senza riportare danni evidenti e può essere utilizzato in microonde.

La fase finale di questo studio è stata il confronto dell'impatto ambientale di un piatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA rispetto ad uno in maiolica. L'obiettivo era verificare, mediante uno studio LCA (Life cycle Assesment) sul ciclo di vita del prodotto "piatto", che il multistrato multimateriale HPC-PMMA fosse effettivamente meno impattante rispetto alla maiolica.

Il confronto è stato possibile mediante l'utilizzo del metodo EPD (Environmental Product Declaration) contenuto nel software SimaPro; un programma sviluppato appositamente per eseguire l'analisi degli impatti del ciclo di vita di un determinato prodotto.

Lo studio si è diviso in cinque fasi: la determinazione dei confini di sistema, la determinazione dell'unità funzionale, l'inventario degli input e output dei sistemi presi in esame e l'analisi dei risultati ottenuti.

I confini di questo studio sono stati determinati a seguito di un confronto tra i cicli di vita -comprendenti la fase di produzione del materiale, la fase di produzione dell'oggetto, la fase d'uso e la fase di dismissione- del piatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA e quello in maiolica. Il risultato è stato che si poteva non considerare le fasi di uso e di dismissione in quanto, sulla base dei risultati ottenuti dai test eseguiti sul multistrato multimateriale HPC-PMMA, la durabilità dello stesso si può considerare equivalente a quella della maiolica. La fase di dismissione, invece, essendo la medesima per entrambe, è stata ritenuta trascurabile.

In seguito è stata definita l'unità funzionale, ovvero l'oggetto a cui i dati sono stati normalizzati per il confronto. Si è considerato quindi un piatto di dimensioni note con un determinato volume utile. Poiché questo studio si basa su un confronto tra due materiali diversi le unità piatto hanno avuto una caratterizzazione differente.

Successivamente si è compilata l'analisi di inventario dove sono stati esplicitati tutti gli input (energie e materiali) e output (emissioni) riferiti ad ogni fase del ciclo di vita. Ottenuti tutti i dati necessari allo studio, essi sono stati inseriti nel database di

SimaPro ed è stato eseguita l'analisi secondo metodo EPD. Il risultato è stato che il piatto in multistrato multimateriale HPC-PMMA ha un impatto totale minore del 30% rispetto ad un piatto in maiolica, anche se in proporzione ha un impatto maggiore sullo strato di ozono.

In conclusione questo lavoro dimostra:

- la possibilità di rendere compatibile a livello alimentare le malte HPC con un coating polimerico fotopolimerizzabile;
- la possibilità di utilizzare il multistrato multimateriale come materiale costituente di piatti utilizzabili in microonde e lavabili in lavastoviglie;
- il minor impatto ambientale che avrebbero rispetto alla maiolica.

Sviluppi Futuri

L'obiettivo di questo studio è stato verificare la possibilità di rendere concorrenziale il multistrato-multimateriale HPC-PMMA rispetto alle maioliche, in un contesto di produzione industriale nel mercato delle stoviglie. Dalle conclusioni di questo lavoro potrebbero nascere diversi sviluppi futuri.

A livello di materiali si potrebbe ottimizzare la resina fotopolimerizzabile in modo tale da avere migliori prestazioni e un minor dispendio energetico in fase di fotopolimerizzazione. Di conseguenza anche sviluppare e ottimizzare il processo produttivo di un piatto in multistrato multimateriale, in modo da massimizzare la produzione e diminuire gli impatti.

Sempre riguardo ai materiali si potrebbe utilizzare una malta che abbia prestazioni migliori, in modo da ridurre ulteriormente il substrato in materiale cementizio e diminuire gli impatti derivanti dalla produzione del clinker.

In questo studio non si è considerata in modo approfondito la possibilità di colorare e decorare i piatti in multistrato multimateriale, ma a livello di design sarebbe interessante affrontare uno studio sulla possibilità di sviluppo formale, di colorazione e di decorazione, per esempio attraverso la serigrafia o la decalcomania, dei piatti in multistrato.

Le possibilità che il multistrato multimateriale HPC-PMMA apre sono molteplici e attinenti a diversi campi, dall'ingegneria al design, di cui questo studio rappresenta solo una fase iniziale.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio la mia relatrice, Professoressa Barbara Del Curto, per la pazienza, l'attenzione e i preziosi consigli grazie ai quali sono riuscita a portare a compimento questa tesi sperimentale. Ringrazio i miei co-relatori Roberta Alfani e Giuseppe Manganeli, ricercatori presso il CTG, per il prezioso supporto. Ringrazio inoltre Carlo Proserpio per avermi permesso, con la sua disponibilità, un accurato confronto di idee.

Ringrazio inoltre tutto lo staff del CTG (Cento Tecnico di Gruppo) i.lab - Italcementi Group, in particolare il dott. Enrico Borgarello, Direttore Ricerca e Innovazione; Luca Bottalico; Simone Colleoni; Nicoletta Colombi; Mariarosa Colpani; Giovanni Cividini; Tiziana De Marco; Ermanno Gavazzi; Emanuele Gotti; Gianluca Lezzi; Isabella Mazza; Cristina Ondei; Angelo Pesenti; Alessandro Pisciotta; Marco Precorvi; Manuel Putzolu; Flavio Rampinelli; Pasquale Tintore.
