



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

Dottorato di Ricerca in Architettura
Curriculum Tecnologie dell'Architettura - XXIX Ciclo
COORDINATORE: Prof.ssa Maria Teresa Bartoli

*Valutazione ambientale di prodotti lapidei per le costruzioni.
Applicazione al caso studio della pietra Leccese e proposte per la
sua valorizzazione*

SETTORE DISCIPLINARE: ICAR/12 Tecnologia dell'Architettura

Dottoranda:
Angela Masciullo

Tutor:
Prof.ssa Maria Chiara Torricelli

Co-tutor:
Arch. Elisabetta Palumbo
Ing. Antonio Greco

Coordinatore:
Prof.ssa Maria Teresa Bartoli

ANNI 2013-2016

RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro, frutto dello studio e delle ricerche di questi anni di dottorato, è stato possibile anche grazie al contributo di numerose persone che hanno messo a mia disposizione il loro tempo e il loro sapere.

Innanzitutto ringrazio la prof.ssa Maria Chiara Torricelli per avermi fatto da guida con la sua pazienza, dedizione e amore per il proprio lavoro.

Ringrazio l'arch. Elisabetta Palumbo per avermi seguita in questo percorso e per avermi spronata, l'ing. Antonio Greco per avermi accolto nel laboratorio del dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione dell'Università del Salento, dove ho potuto svolgere una parte fondamentale della mia ricerca, grazie anche all'aiuto di Francesco Montagna, tecnico del laboratorio.

Ringrazio tutti i docenti del dottorato.

Un ringraziamento doveroso va all'azienda Pimar per avermi ospitata per la raccolta dei dati per lo svolgimento della tesi e di avermi dato modo di studiare da vicino un materiale che da sempre mi affascina, emozionante è stato il sopralluogo alle cave di Melpignano.

Ai miei colleghi dottorandi voglio dire che è stato bello conoscervi.

Inoltre ringrazio con affetto la mia famiglia per avermi supportato in questi anni, Matteo e i miei amici che mi hanno sempre incoraggiata tutte le volte che pensavo di non farcela.

Angela

ABSTRACT

La ricerca di tesi dottorale propone lo studio di strumenti di valutazione ambientale nella loro applicazione a prodotti del settore lapideo nel campo delle costruzioni, al fine di valorizzarne i punti di forza e stimarne i punti di debolezza. Come caso studio è stata scelta la produzione della pietra leccese. La ricerca ha sviluppato la valutazione ambientale di prodotti lapidei leccesi facendo riferimento al metodo LCA, secondo la norma europea **UNI EN 15804:2014** "Sostenibilità delle costruzioni - Dichiarazioni ambientali di prodotto - Regole chiave di sviluppo per categoria di prodotto", nei moduli relativi alle fasi di produzione, LCA "dalla culla ai cancelli". Si è fatto riferimento nello specifico anche alle PCR (Product Category Rules) *Marble or other calcareous stone, granite, sandstone and monumental or building stone* – 2009, sviluppate da CET SERVIZI R&S di Isea (TN). La analisi LCA ha portato alla elaborazione di indicatori di impatto a scala globale riconosciuti a livello internazionale: Global warming (GWP100a), Ozone layer depletion (ODP), Photochemical oxidation, Acidification, Eutrophication, Uso di Energia non rinnovabile. Al fine di includere nella valutazione aspetti di impatto "locale" non compresi fra gli indicatori LCA secondo UNI EN 15804, in modo da ottenere una valutazione più efficace, si è fatto riferimento, rielaborandoli, anche ad altri indicatori inclusi nel metodo ECOLABEL e in particolare nello "Ecolabel Europeo per Coperture dure, per pavimenti e pareti", indicatori riferiti all'uso del suolo, di acqua, alla qualità dell'aria, al rumore.

Per la raccolta dei dati dell'inventario è stato scelto un interlocutore, un'azienda del settore lapideo di pietra Leccese. Fin dove è stato possibile, i dati per l'inventario sono stati rilevati in maniera diretta, limitando al massimo il ricorso a dati generici da database. L'Unità di riferimento degli indicatori LCA è rappresentata da 1 tonnellata o da

1m³ di prodotto finito e questo ha messo in evidenza l'incidenza degli scarti e i conseguenti impatti in relazione alle quantità di prodotto effettivamente cavata. I dati sono stati confrontati con studi condotti con lo stesso metodo e riferimento normativo per altri tipi di pietra italiana (la pietra Serena di Firenzuola e il marmo di Custonaci). L'analisi ambientale ha permesso di individuare diversi punti critici del processo, tra questi l'attenzione si è concentrata sugli scarti in fase di produzione e il possibile utilizzo degli stessi, quali materie prime seconde nella produzione di agglomerati lapidei e di intonaco di finitura. Tramite la valutazione SWOT, svolta sulle due proposte di recupero degli scarti, si è definita la proposta di lastre in agglomerato lapideo prodotto in stampi e si sono condotte presso l'Università del Salento prove fisiche-meccaniche per verificarne l'idoneità all'uso come rivestimento. Infine si è valutato come l'impiego degli scarti in un co-prodotto (le lastre in agglomerato) affiancato alla produzione principale, determini conseguenze sulla riduzione dell'impatto attribuibile al processo di produzione nel suo complesso.



*Foto di Angela Masciullo. Furnieddru solitario al confine di due cave.
Melpignano - 2015*

[...]Le fabbriche di Lecce, e di alcuni altri paesi sono tutte di questa pietra; ed è forse un male, che si presti volentieri al lavoro dell'uomo, perché gli antichi Leccesi ne han fatto abuso a spese del buon gusto ornando le facciate, i loro altari, ed altre fabbriche di cartocci, rabeschi, e di altri simili intrecciati, e molteplici ornati. [...]

Giovine, G. M., Lettera al Cav. Ab. Carlo Amoretti, in Notizie Geologiche e Meteorologiche della Japigia ossia Provincia di Terra d'Otranto nel Regno di Napoli, Dalla Tipografia di Luigi Mainardi, Verona, 1810

INDICE

INTRODUZIONE	I
CAPITOLO 1	1
I PRODOTTI LAPIDEI, PUNTI DI FORZE E CRITICITÀ RISPETTO ALL'AMBIENTE	
1.1. Importanza nel settore delle costruzioni e prestazioni ambientali	3
1.2. Rilevanze sul mercato dei prodotti lapidei	5
Bibliografia	9
CAPITOLO 2	10
UN CASO STUDIO LA PUGLIA E LA PIETRA LECCESE. IL PANORAMA DELLE CAVE IN PUGLIA	
2.1 I principali bacini ed aree estrattive	11
2.1.1. Il bacino di Apricena	12
2.1.2 Il bacino di Trani	14
2.1.3 L'area estrattiva di Fasano – Ostuni	17
2.1.4 Il bacino di Lecce	18
2.2 Quadro normativo sulle attività estrattive regionale	19
2.3 Il paesaggio delle cave	21
2.4 Il recupero delle cave	29
2.5 Il mercato della pietra e l'esportazione	35
Bibliografia	37
CAPITOLO 3	39
LA PIETRA LECCE	
3.1 Composizione e caratteristiche	41
3.1.1 Classificazione, prestazione e nomenclatura dei vari tipi di pietra Leccese	44
3.2 Le cave di pietra Leccese	46
3.3 Estrazione della pietra Leccese	49
3.3.1 Metodi di estrazione antichi e nomenclatura tradizionale	49
3.3.2 Metodi di estrazione moderni	51

3.4	Uso della pietra Leccese	53
3.4.1	Scultura, monumenti e architettura	54
3.4.2	Strutture costruttive tradizionali	60
3.4.2.a	Le volte a stella	62
3.4.3	Copertura orizzontale tradizionale: l'uso delle chianche	66
3.4.4	Le pavimentazioni	69
3.4.5	I rivestimenti di facciate	69
3.4.6	Il design	70
3.5	Il degrado e il restauro	74
3.5.1	Tecniche di restauro	76
	Bibliografia	78

CAPITOLO 4 81

STRUMENTI DI ANALISI E VALUTAZIONE AMBIENTALE PER PRODOTTI LAPIDEI NELLE COSTRUZIONI

4.1	Life Cycle Assessment ed etichette ambientali	83
4.2	L'approccio Life Cycle applicator alla valutazione ambientale nel settore delle costruzioni	84
4.3	Definizione LCA e criteri guida per la sua applicazione	86
4.4	LCA ed EPD nel settore delle costruzioni: la UNI EN 15804	91
4.5	Indicatori d'impatto LCA e di consumo di risorse nella LCA nel settore delle costruzioni	93
4.6	Studi LCA del settore lapideo	97
4.7	Ecolabel Europeo e sua applicazione	99
4.8	Manuale tecnico Ecolabel per coperture dure, per pavimenti e pareti, ISPRA	101
4.9	Riferimento alla EPD e all'Ecolabel nella presente ricerca	103
	Bibliografia	107

CAPITOLO 5 109

APPLICAZIONE DEGLI STRUMENTI ALLA PIETRA LECCESE IN LASTRE

5.1	Finalità e obiettivi dello studio e scelta di un caso studio	111
5.2	Valutazione dell'impatto generato sul territorio (impatto locale) e dalla estrazione della pietra Leccese secondo indicatori Ecolabel	112
5.2.1	Analisi degli indicatori Ecolabel relativi a estrazione materie prime e	115

applicazione al caso studio	
5.3 Tipologie di prodotti in pietra Leccese	122
5.4 Il processo della pietra Leccese e le differenziazioni per tipologia di prodotto	125
5.5 Analisi LCA fino ai cancelli	129
5.6 Life Cycle Assessment Inventory (LCI) per chianche e lastre	131
5.6.1 La raccolta dei dati	134
5.6.2 Consumi energetici e di acqua	135
5.6.3 Gli scarti di estrazione e di lavorazione	136
5.6.4 L'emissione di polveri nell'aria	139
5.7 Costruzione del processo ed elaborazione dei dati: riferimenti assunti	150
5.7.1 Definizione dell'inventario per fasi	152
5.8 Life Cycle Impact Assessment	156
5.9 Risultati LCA	160
5.10 Considerazioni sui risultati della valutazione ambientale della pietra Leccese	171
Bibliografia	174
CAPITOLO 6	177
INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DELL'ANALISI AMBIENTALE	
6.1 Individuazione dei punti critici e dei punti di forza presenti nell'attuale processo	179
6.2 Identificazione di aspetti ambientali e loro rilevanza	182
6.3 Individuazione delle azioni necessarie a ridurre l'impatto ambientale nelle fasi estrattive e produttive in ottica di green economy	186
Bibliografia	189
CAPITOLO 7	191
PROPOSTA SU ALCUNE CRITICITÀ	
7.1 Soluzioni legate al consumo di risorse	193
7.2 Impieghi e prodotti con utilizzo di scarti lapidei. Stato dell'arte nel settore lapideo	194
7.3 Proposte di impiego di scarti di pietra Leccese	199
7.3.1 Intonaco di finitura in pietra Leccese	200
7.3.2 Lastre in agglomerato di pietra Leccese	207
7.3.3 Rendimento del quantitativo di scarto in polvere in pietra dalla	209

lavorazione di lastre nella proposta di intonaco e di agglomerato lapideo	
7.3.4 Processo produttivo per la realizzazione di “co-prodotti” da riciclaggio delle polveri e analisi SWOT	210
Bibliografia	214
CAPITOLO 8	217
CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI DELL’AGGLOMERATO LAPIDEO IN PIETRA LECCESE	
8.1 Proposta di agglomerato lapideo con scarti in polvere di pietra Leccese	219
8.2 Preparazione dei campioni	219
8.3 Normativa applicata per i metodi di prova	223
8.3.1 Determinazione della massa volumica apparente e dell’assorbimento di acqua	223
8.3.2 Determinazione della resistenza a flessione	225
8.3.3 Determinazione della resistenza a gelo e disgelo	226
8.3.4 Determinazione della resistenza all’abrasione	227
8.3.5 Determinazione della resistenza a compressione	228
8.4 Risultati delle prove svolte	229
8.4.1 Assorbimento d’acqua e della massa apparente	229
8.4.2 Resistenza a flessione	232
8.4.3 Resistenza a flessione dopo gelo e disgelo	235
8.4.4 Resistenza all’abrasione	237
8.4.5 Resistenza a compressione	238
8.5 Caratteristiche tecniche dell’agglomerato in pietra Leccese	239
8.6 Valutazione dei costi di produzione di lastre in pietra Leccese ricostruita	241
8.7 Valutazione ambientale del ciclo produttivo delle lastre di pietra Leccese ricostruita	244
Bibliografia	248
CAPITOLO 9	249
DISCUSSIONE, CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI DELLA RICERCA	
9.1 Discussione e conclusioni	251
9.2 Sviluppi futuri della ricerca	255

ALLEGATO 1	259
ALLEGATO 2	261
ALLEGATO 3	263
ALLEGATO 4	265

INTRODUZIONE

Il comparto lapideo è uno dei settori più importanti nell'ambito delle costruzioni e, nonostante la recente crisi economica che ha colpito l'intero settore edilizio, è di nuovo in crescita grazie soprattutto al commercio internazionale che registra elevati valori di export in tutto il mondo. La grandiosità di questo comparto produttivo genera un notevole impatto ambientale, dipeso principalmente dall'impatto paesaggistico, determinato dalla fase di estrazione della materia prima e dagli impatti generati dalla produzione e dai trasporti.

Dal rapporto cave 2014 di Legambiente emerge che il totale delle cave presenti sul territorio tra attive e dismesse (quasi 17000) è di circa 22600. Da questo si evince che il territorio italiano appare con enormi crateri, tipo ferite aperte.

Tuttavia il settore è diretto da normative non aggiornate che presentano delle lacune di gestione, infatti, fino al 2014, alcune regioni non avevano redatto il Piano Cava ed erano sprovviste dei canoni di concessione.

Negli ultimi anni ci si interroga su come intervenire per ridurre gli impatti legati a questo settore, studiando proposte che aiutino a ridurre gli impatti in modo da portare vantaggi al paesaggio senza destabilizzare il settore stesso.

La ricerca di tesi dottorale focalizza l'attenzione sul settore lapideo a scala del prodotto edilizio, proponendo lo studio di strumenti di valutazione ambientale applicati a prodotti lapidei appartenenti al campo delle costruzioni, allo scopo di individuare i punti di forza e di debolezza, in modo da proporre delle soluzioni innovative in grado di salvaguardare l'ambiente da produzioni impattanti e con eccessivo spreco di risorse.

Per sviluppare la ricerca si sceglie come caso studio il comparto produttivo lapideo Pugliese e nello specifico la produzione della pietra Leccese.

La regione Puglia risulta il secondo bacino estrattivo italiano contando il maggior numero di imprese lapidee e 399 cave attive.

È un settore molto importante a livello regionale e con esportazioni internazionali in crescita, tuttavia presenta diversi punti di debolezza, sono presenti 2579 cave abbandonate e i canoni di concessione risultano i più bassi d'Italia, una delle cause che porta ad una continua cavazione senza porre attenzione agli sprechi di materiale.

Negli ultimi anni, le problematiche legate a questo settore hanno fatto discutere le amministrazioni sulle possibili soluzioni da apportare per la salvaguardia dell'ambiente, facendo attenzione a non limitare la crescita del settore stesso.

Tra i bacini estrattivi pugliesi il più rilevante è il bacino di Lecce, che conta il maggior numero di cave attive e abbandonate, la maggiore estensione di suolo occupata e il maggior numero di aziende lapidee. Per questo motivo, lo studio si svolge nello specifico sull'estrazione e produzione della pietra Leccese, impiegata in prodotti per la costruzione. Per la valutazione ambientale dei prodotti in pietra Leccese, la ricerca fa riferimento al metodo *Life Cycle Assessment* (LCA), secondo la norma europea UNI EN 15804:2014 "Sostenibilità delle costruzioni - Dichiarazioni ambientali di prodotto - Regole chiave di sviluppo per categoria di prodotto". Si fa riferimento, nello specifico, anche alle PCR (Product Category Rules) *Marble or other calcareous stone, granite, sandstone and monumental or building stone* – 2009, sviluppate da CET SERVIZI R&S di Isea (TN).

Lo sviluppo dell'analisi LCA adotta un approccio articolato per fasi del ciclo di vita e con riferimento ai prodotti da costruzione la UNI EN 15804:2014 indica che le dichiarazioni ambientali (EPD) sono riferite obbligatoriamente alla fase "dalla culla ai cancelli" includendo i moduli informativi relativi alle fasi di produzione, quali fornitura della materia prima, trasporto e produzione.

Con l'analisi LCA si elaborano indicatori di impatto a scala globale o regionale (regioni del pianeta), sempre la UNI EN 15804:2014 indica allo stato attuale delle conoscenze come indicatori riconosciuti a livello internazionale i seguenti: Global warming (GWP100a), Ozone layer depletion (ODP), Photochemical oxidation, Acidification, Eutrophication, Uso di Energia non rinnovabile.

Nel caso dei prodotti lapidei le fasi di produzione concernono l'estrazione in cava, il trasporto dalla cava allo stabilimento, la produzione di prodotti finiti.

Per ottenere una valutazione efficace che includa anche aspetti di impatto sul territorio alla scala locale, quali uso del suolo, uso di acqua, qualità dell'aria e qualità dell'acqua, rumore, non compresi fra gli indicatori LCA secondo la norma UNI EN 15804, per la valutazione ambientale dei prodotti in pietra Leccese, la ricerca fa riferimento a indicatori inclusi nel metodo di valutazione adottato per le etichette ECOLABEL, con le opportune

rielaborazioni per affiancarli come informazioni aggiuntive agli indicatori elaborati con il metodo LCA.

In particolare si fa riferimento allo “Ecolabel Europeo per Coperture dure, per pavimenti e pareti” e alle specificazioni ivi fornite per i prodotti lapidei.

Lo studio degli impatti locali si svolge per misurare l’impatto generato dalla cava, quindi si applicano gli indicatori presenti nel Criterio 1. *Estrazione delle materie prime* presente nell’ECOLABEL citato, rielaborati al fine di ottenere un valore di impatto e non una valutazione di qualità della cava come richiesto dallo strumento Ecolabel.

La raccolta dei dati avviene presso un’azienda del settore lapideo di pietra Leccese scelta come interlocutore, la quale si occupa di estrazione e di lavorazione della pietra, e i dati per l’inventario si rilevano in maniera diretta sia in cava e sia nello stabilimento di produzione, limitando il ricorso a dati generici da database ai processi a monte dei processi produttivi dell’azienda.

L’analisi LCA si svolge analizzando gli indicatori con unità di riferimento pari ad 1 tonnellata o 1 m³ di materiale prodotto, in modo da mettere in evidenza l’incidenza degli scarti e i conseguenti impatti in relazione alla quantità di prodotto effettivamente cavato.

Lo studio si applica su tre prodotti in lastre che hanno maggiore rilevanza nella filiera produttiva, lastre per pavimentazione, per rivestimento verticale e lastre per coperture piane tradizionali.

I dati ottenuti dall’analisi vengono poi confrontati con studi condotti con lo stesso metodo e riferimento normativo per altri tipi di pietra italiana (la pietra Serena di Firenzuola e il marmo di Custonaci, tra i pochi studi pubblicati in Italia).

Grazie all’analisi ambientale si individuano diversi punti critici del processo, tra questi l’attenzione si concentra sugli scarti in fase di produzione e il possibile utilizzo degli stessi, quali materie prime seconde nella produzione di agglomerati lapidei e di intonaco di finitura. Per definire la proposta più favorevole ad una possibile produzione che utilizza gli scarti si svolge una valutazione SWOT. Specificati i punti di forza e di opportunità più significativi, tra cui la possibile riduzione di estrazione, si sceglie di approfondire lo studio sulla proposta di lastre in agglomerato lapideo prodotto in stampi, svolgendo presso la Università del Salento prove fisiche-meccaniche per verificarne la idoneità del composto

all'impiego come rivestimento. Dai risultati ottenuti dalle prove svolte si definisce l'uso di lastre come rivestimento verticale per esterni e interni.

Infine si valuta come l'impiego degli scarti in un co-prodotto (le lastre in agglomerato) rispetto alla produzione principale, determini conseguenze sulla riduzione dell'impatto attribuibile nel suo complesso a un processo di produzione ipotizzato come processo "multi-funzionale" che origina due prodotti (o un prodotto principale e un co-prodotto): le lastre in pietra e le lastre in agglomerato.

La ricerca vuole dare un contributo attraverso l'ampliamento delle conoscenze sugli impatti LC del settore lapideo italiano, verificando e integrando la metodologia LCA con riferimento ai prodotti lapidei nel campo delle costruzioni.

Inoltre si cerca di supportare decisioni di governo del territorio e politiche ambientali nei riguardi delle cave e delle lavorazioni della pietra, e di politiche industriali per la sostenibilità e l'innovazione nel settore lapideo.

I destinatari privilegiati dei risultati della ricerca, sono: gli Enti di governo del territorio preposti alla pianificazione e all'amministrazione dei territori con presenza di cave, le Aziende produttrici e i Consorzi del settore lapideo, i progettisti, gli Enti ed Istituti di ricerca e di certificazione nel settore delle dichiarazioni ambientali di prodotto.

CAPITOLO 1

I PRODOTTI LAPIDEI NEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI, PUNTI DI FORZA E CRITICITA' RISPETTO ALL'AMBIENTE

1.1 Importanza nel settore delle costruzioni e prestazioni ambientali

La pietra da sempre rappresentato il materiale da costruzione per eccellenza in tutte le epoche storiche, ciò si deve alla sua resistenza e durevolezza.

L'importanza della pietra per l'uomo si attesta agli albori della civiltà umana, quanto grotte naturali venivano impiegate come riparo e abitazione. Con il progredire dello sviluppo tecnico e tecnologico l'uomo ha imparato a sfruttare le caratteristiche degli affioramenti rocciosi per realizzare delle grotte artificiali da adibire sia ad esigenze abitative, che di culto.

Quando le caratteristiche geologiche lo permettono e quando le esigenze delle popolazioni lo richiedono, le rocce sono utilizzate soprattutto come materiale da costruzione, a partire dalle strutture murarie sia in grandi blocchi sia in piccoli blocchi o conci, lavorati e messi in opera con o senza l'ausilio delle malte di allettamento.

I materiali lapidei hanno fatto la storia dell'architettura costituendo sia elementi edilizi portanti come archi, volte, pilastri, colonne sia elementi decorativi, pavimentazioni e rivestimenti.

Nei primi anni del '900 l'uso della pietra è stato per lungo tempo messo da parte per dare spazio a strutture intelaiate in calcestruzzo armato e in acciaio e a pareti vetrate; strutture e materiali che conferivano agli edifici la leggerezza richiesta dallo stile architettonico di quel periodo.

Negli anni '60, il settore dei materiali lapidei viene investito dal processo di industrializzazione, imponendo un progressivo abbandono delle lavorazioni artigianali e con la modernizzazione dei trasporti si consente il movimento di tali materiali anche verso mete lontane dal luogo di origine.

Nel corso degli anni l'uso della pietra cambia concetto, più spesso gli elementi portanti vengono sostituiti con elementi di materiale più leggero e più pratico nell'esecuzione dell'opera.

La motivazione di ridurre gli spessori è sia estetica sia economica, specialmente quando si scelgono materiali lapidei pregiati. L'influenza per la sostituzione di blocchi lapidei massicci con lastre di spessore sottile è dipesa anche dal trasporto.

In facciata, i blocchi pesanti vengono sostituiti con lastre di spessore sottile e, grazie all'innovazione tecnologica, queste vanno a costituire facciate ventilate; le lastre sottili sono staccate dalla struttura portante a mezzo di un'intelaiatura metallica autonoma che lascia, tra questa e il rivestimento lapideo, una camera d'aria con un'importante funzione termoregolatrice.

Il mercato dei lapidei, dopo una piccola crisi, è in crescita, si esporta materiale grezzo e lavorato in tutto il mondo. È un settore molto importante nel campo delle costruzioni e fornisce un alto impiego di lavoro.

Gli aspetti positivi che caratterizzano questo settore sono diversi, tuttavia ha anche un punto debole, ovvero il suo impatto ambientale. L'estrazione di prodotti lapidei genera un forte impatto paesaggistico, modificando la morfologia del territorio e un impatto sull'uso del suolo.

Il settore lapideo italiano presenta lacune a livello normativo, la legislazione nazionale in materia risale al 1927, dal 1977 le regioni hanno le competenze in materia, le quali non dimostrano avere una chiara consapevolezza del ruolo che dovrebbero svolgere per indirizzare il settore. In alcune regioni, fino al 2014, non erano redatti il Piano Cava e i canoni di concessione estrattiva, se presenti, risultano essere molto bassi, questo genera eccessive estrazioni della materia prima con relativo spreco a seguito.

Oltre all'impatto paesaggistico relazionato alla fase di estrazione, si genera un impatto legato anche alla fase di produzione e al trasporto.

Il processo produttivo lapideo è composto da diverse fasi, quali si differenziano da più semplici a più complesse e queste richiedono maggiore impiego di risorse generando maggiori emissioni.

La produzione di prodotti lapidei degrada il paesaggio, ma bisogna comunque considerare che si producono e si mettono sul mercato materiali naturali, che sotto altri aspetti impattano meno l'ambiente.

1.2 Il mercato della pietra e l'esportazione

Secondo i dati riportati su *Stone sector 2014, Bilancio e prospettive del commercio internazionale dei prodotti lapidei*, nel 2013 il valore del commercio internazionale di materiali lapidei risulta in crescita del 4,3% rispetto al 2012 per un volume di affari totale di oltre 22,3 miliardi di euro. Questo risultato deriva in particolare da un forte aumento del valore medio unitario dei prodotti lapidei, commerciati sempre meno frequentemente allo stato grezzo, che passa dai 197 euro per tonnellata del 2011, ai 264 euro per tonnellata nel 2013.

Sul valore complessivo dell'export mondiale 2013 di prodotti lapidei, il 34,3% è realizzato dalla Cina, che diventa il primo Paese per quota di mercato seguito da Italia e Turchia (*Tabella 1.1*).

La quota di mercato italiana ha subito un calo di 12 punti rispetto al 2012 (13,61% nel 2013), erosa in particolare dalla concorrenza di Turchia e Cina, la prima per quanto riguarda il marmo soprattutto in blocchi e lastre, la seconda per i lavorati in granito.

QUOTE DI MERCATO			
Paese	2011	2012	2013
Cina	33,29%	32,47%	34,33%
Italia	14,46%	13,73%	13,61%
Turchia	11,06%	12,07%	12,95%
India	10,11%	10,81%	10,36%
Brasile	6,38%	6,46%	7,25%
Spagna	5,27%	5,00%	4,84%

Tabella 1.1. Quote di mercato lapideo¹

La Turchia è oggi il primo Paese sia per valori che per quantità di marmo esportate con una quota di mercato del 43% per quanto riguarda i blocchi e del 20% per i lavorati.

Nel settore del marmo, la Turchia sta guadagnando posizioni anno dopo anno esportando sia blocchi, prevalentemente verso Cina e India, sia lavorati verso Stati Uniti, Iraq e Arabia Saudita.

Una concorrenza basata anche su prezzi decisamente più bassi rispetto a quelli del marmo italiano, basti pensare che il valore medio unitario all'export del lavorato turco di

¹ Dati riportati su *Internazionale Marmi e Macchine Carrara Spa, Ston Sector 2014, Bilancio e prospettive del commercio internazionale dei prodotti lapidei*

altissimo pregio in marmo, Travertino e Alabastro è di 372 euro per tonnellata, mentre in Italia il valore medio unitario per la stessa categoria merceologica è superiore ai 1000 euro per tonnellata. Il prezzo del lavorato italiano scaturisce sicuramente da un costo del lavoro più alto rispetto a molti altri Paesi, ma anche da un'attenzione particolare alla qualità e a un connubio tra tecnologie di avanguardia e maestranze di eccellenza riconosciuto e apprezzato in tutto il mondo, al punto che il 2013 ha fatto comunque registrare all'export del lavorato in marmo made in Italy un +4,4% in quantità e un +10,6% in valore.

Nel 2013, l'Italia ha infatti esportato 924.425 tonnellate di lavorati di marmo per un valore complessivo di 901,6 milioni di euro, tornando a registrare i valori dei primi anni 2000 e il settore lapideo italiano ha contribuito alla ricchezza nazionale generando complessivamente un avanzo commerciale di oltre 1,5 miliardi di euro, contro gli 1,4 miliardi del 2012.

Il primo Paese di sbocco per il settore lapideo italiano è quello statunitense. Verso gli USA, nel 2013, sono andate 231.321 tonnellate di materiali di pregio (marmo e granito) per un valore complessivo di quasi 363 milioni di euro, con una crescita rispetto al 2012 del 22% in quantità e, addirittura, del 27,5% in valore.

Risulta invece in calo l'export verso la Germania che, rispetto al 2012, presenta una riduzione delle sue importazioni dall'Italia del 10,5% sia in quantità che valore e sembra rivolgersi sempre di più al colosso cinese.

Terzo mercato per la pietra italiana è la Cina verso la quale si dirigono oltre 533 mila tonnellate di materiali di pregio, del valore di 134 milioni di euro con una crescita, rispetto al 2012, dell'8,2% in quantità e 12,8% in valore.

I dati di esportazione 2012 sono stati superati del 15% nel 2013, per il 2014 invece c'è stato un piccolo calo come riportato nella tabella 1.2.

Export Lavorati (Ateco CG237-Pietre tagliate, modellate e finite)			
Denominazione comprensorio	2012	2013	var% 2012/2013
Comprensorio Apuo-Versiliese	436.613.805	476.551.131	9.15
Distretto Veneto	441.313.921	472.120.295	6.98
Distretto delle pietre di lombardia	125.742.514	135.160.590	7.49
Marmo e pietra siciliana	84.976.725	91.917.814	8.17
Distretto delle pietre trentine	37.948.970	38.709.725	2.00
Monti Ausoni-Tiburtina (Travertino Romano)	35.863.985	32.730.150	-8.74
Distretto della Pietra Naturale dell'Alto Adige	30.065.728	25.397.460	-15.53
Comprensorio del Verbano-Cusio-Ossola	22.187.026	21.825.064	-1.63
Distretto lapideo pugliese	20.080.161	19.502.395	-2.88
Distretto della Pietra di Luserna	5.411.895	4.199.912	-22.39
Distretto Marmi di Orosei	1.915.141	2.147.587	12.14
Altre aree non distrettuali	163.130.671	179.714.484	10.17
TOTALE Italia	1.405.250.542	1.499.976.607	6,74

Tabella 1.2. Export lavorati¹

Secondo i dati ISTAT del 2011, il settore lapideo italiano (comparto estrattivo e di lavorazione) conta 10.698 aziende per un totale di 54.201 addetti e una media di 5 addetti per azienda. Un universo composto per l'88% da micro imprese con meno di 10 dipendenti e per il 90% da aziende di lavorazione della pietra².

Il comprensorio con il maggior numero di imprese è quello Pugliese (1155 aziende)³, seguito da quello Veneto (817 aziende) e da quello Apuo-Versiliese (755 aziende).

Mentre il comprensorio con maggiore addetti risulta quello veneto (5634 addetti), seguito da quello Pugliese (5088 addetti)³ e da quello Apuo-Versiliese (4511 addetti). I dati riportati non tengono in considerazione tutte le imprese che operano nel settore del solo commercio di materiali lapidei e, quindi i dati forniti sottostimano la filiera del settore lapideo italiano presa nel suo complesso².

Una delle regioni più rilevanti per il settore lapideo italiano è la Puglia, la quale detiene un importante livello di quantitativi e tipologie di materiale estratto, una notevole estensione di suolo occupata da cave e il maggior numero di imprese lapidee presenti sul

² Dati riportati su *Internazionale Marmi e Macchine Carrara Spa, Indagine congiunturale sul settore lapideo italiano – Anno 2014*

³ Dati riportati su *Regione Puglia, (2015) I volti della Puglia che produce. Materiali lapidei, Stampa Sud S.p.a., Mottola (TA)*

territorio nazionale. Negli ultimi anni si discute sulle problematiche legate a questo settore, problemi legati all'impatto paesaggistico dovuti a lacune nelle normative che gestiscono il comparto dell'estrazione.

Lo studio pone attenzione al settore lapideo pugliese, analizzando la situazione paesaggistica con relative normative sul settore estrattivo, descrivendo tipologie di pietre estratte, usi, mercato ed esportazione; focalizzerà l'attenzione al comparto produttivo del bacino di Lecce, ponendo sotto analisi ambientale la pietra Leccese, individuando così punti di forza e punti di debolezza.

BIBLIOGRAFIA

Acocella, A., *L'architettura di pietra: antichi e nuovi magisteri costruttivi*, Alinea Editrice, Firenze, 2004

Internazionale Marmi e Macchine Carrara Spa, *Indagine congiunturale sul settore lapideo italiano – Anno 2014*

Internazionale Marmi e Macchine Carrara Spa, *Ston Sector 2014, Bilancio e prospettive del commercio internazionale dei prodotti lapidei*

Giordano, R. *I prodotti per l'edilizia sostenibile, la compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio*, Napoli, Esselibri, 2010.

Giuffrida, A. *I materiali lapidei tradizionali nell'architettura contemporanea. La pietra di Siracusa*, Dottorato di ricerca in tecnologia dell'Architettura, XXIII ciclo 2007-2010 , Università degli Studi di Catania

Regione Puglia, *I volti della Puglia che produce. Materiali lapidei*, Stampa Sud S.p.a., Mottola, 2015

CAPITOLO 2

UN CASO STUDIO: LA PUGLIA E LA PIETRA LECCESE. IL PANORAMA DELLE CAVE IN PUGLIA

2.1 I principali bacini ed aree estrattive

La Puglia risulta il secondo bacino estrattivo italiano. Oltre alla Toscana, al Veneto, al Lazio, alla Sicilia ed alla Sardegna è tra le più importanti regioni per la quantità di materiali lapidei che vi si estraggono e conta 399 cave attive ¹.

I marmi e le pietre di Puglia provengono da rocce calcaree presenti in maniera diffusa su tutto il territorio regionale. Grazie alle loro caratteristiche geo-morfologiche e fisico-meccaniche, hanno determinato un ampio uso nel settore costruttivo che ha portato la regione a conquistare una buona posizione nel mercato nazionale ed internazionale.

I principali bacini estrattivi sono Apricena, Trani e Lecce ed alcune aree, con dimensioni più ristrette, sul territorio di Fasano e Ostuni.

La Pietra di Apricena si coltiva ai piedi del Gargano tra i comuni di Apricena, Poggio Imperiale e Lesina, nell'area settentrionale delle Murge si trova la Pietra di Trani, estendendosi tra i comuni di Trani, Andria, Bisceglie, Corato, Ruvo, Minervino di Murge e Canosa e nel Salento la pietra di Lecce che interessa i comuni di Corigliano, Corsi, Maglie, Melpignano, Soleto, Zollino, Alezio e Gallipoli.

L'attività estrattiva pugliese, oltre ad essere legata a estrazione di pietre ornamentali e di materiali per la costruzione, tratta anche l'estrazione di inerti.

La ricchezza di queste risorse ha generato la crescita di un settore di trasformazione e lavorazione del materiale, il quale è in continua crescita coinvolgendo la maggior parte dell'economie locali.

¹ Dato riportato su *Regione Puglia, I volti della Puglia che produce – Materiali Lapedei, Stampa Sud S.p.a Mottola, 2015*



Immagine 1. Bacini estrattivi pugliesi (Fonte www.internazionalizzazione.regione.puglia.it)

2.1.1 Il bacino di Apricena

Il bacino della Pietra di Apricena si estende ai piedi del Gargano tra i comuni di Apricena, Poggio Imperiale e Lesina ed è il bacino estrattivo più importante del Sud Italia e secondo a livello nazionale. L'area di Apricena produce il 90% del totale del materiale estratto in regione e il 20% di quello italiano².

Su un esteso territorio leggermente sopraelevato (100-150 metri sul livello del mare) si presentano grandi cave a fossa delimitate da cumuli di inerti, nelle quali si praticano due tipi di estrazione. Una estrazione è per la produzione di blocchi da telaio di grandi dimensioni utilizzati per lavorazioni standard e l'altra riguarda la produzione degli sfilati, blocchi di dimensioni ridotte e non squadrati.

² Dato riportato su *Regione Puglia, I volti della Puglia che produce – Materiali Lapidari, Stampa Sud S.p.a Mottola, 2015*

La pietra che ne deriva è una delle pietre più importanti della Puglia ed è conosciuta in tutto il mondo per le sue caratteristiche fisiche, dalle sfumature policromatiche che vanno dal beige all'avorio fino al rosato, con venature che danno un effetto marmoreo, e ve ne sono di diverse varietà. Viene impiegata per pavimenti e rivestimenti interni ed esterni e decorazioni. Le varietà di pietra presenti nel bacino di Apricena sono:

VARIETÀ DI PIETRA	LUOGO DI ESTRAZIONE
Biancone di Apricena	Apricena e Poggio Imperiale
Bronzetto di Apricena	Apricena
Filettato	Apricena e Poggio Imperiale
Filetto rosso classico	Lesina, Apricena, S.Giovanni Rotondo
Fiorito Adriatico	Apricena e Poggio Imperiale
Moganato	Apricena e Poggio Imperiale
Ondagata	Poggio Imperiale e Apricena
Serpeggiante	Apricena e S. Giovanni Rotondo
Serpeggiante classico	Apricena
Silvabella	Apricena
Visone	S. Giovanni Rotondo

Tabella 2.1. Varietà di pietra presenti del bacino di Apricena

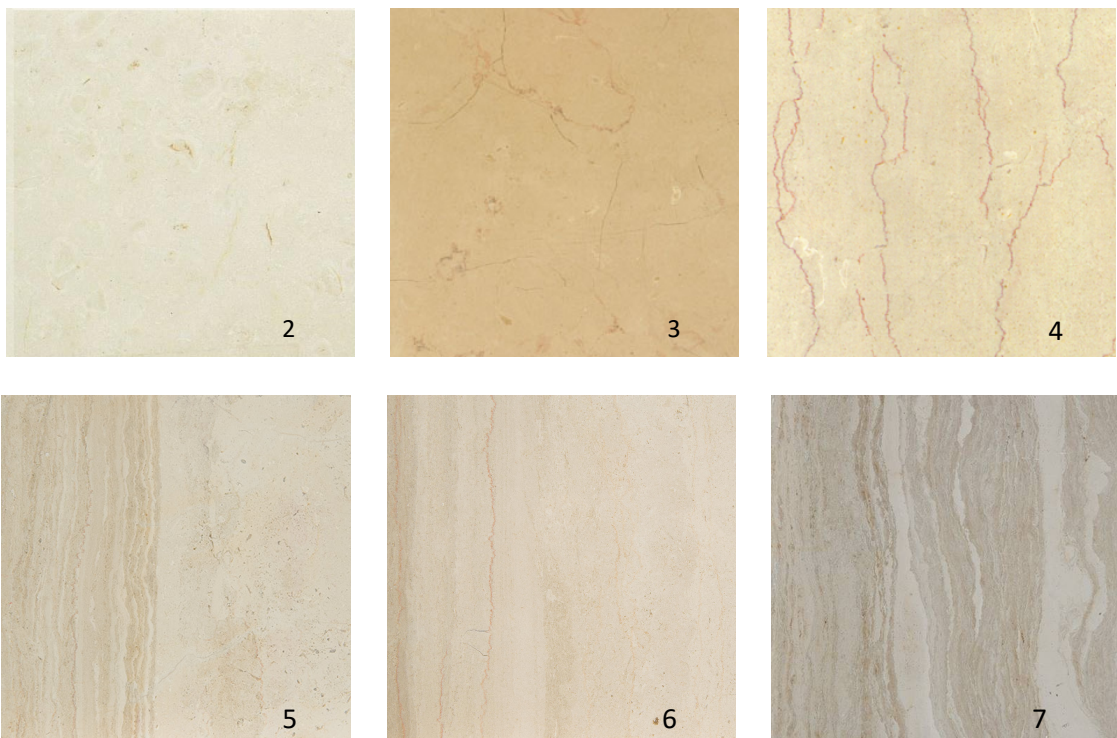


Immagine 2. Biancone - Immagine 3. Bronzetto - Immagine 4. Filettato
Immagine 5. Filettato rosso classico - Immagine 6. Fiorito adriatico - Immagine 7. Moganato



*Immagine 8. Ondagata - Immagine 9. Serpeggiante - Immagine 10. Serpeggiante classico
Immagine 11. Silvabella - Immagine 12. Visone - Immagine 13. Vista cava di Apricena (Fonte
www.esageorimini.it)*

2.1.2 Il bacino di Trani

Il bacino di Trani è storicamente il più vasto giacimento calcareo pugliese e si estende tra i comuni di Trani, Andria, Bisceglie, Corato, Ruvo, Minervino di Murge e Canosa.

La pietra di Trani viene estratta in due modi, il primo prevede il taglio in falda, parallelo al suolo e che segue la stratificazione della roccia, e il secondo effettua un taglio in contro

falda, che taglia verticalmente gli strati di roccia evidenziandone le venature e le differenze cromatiche.

I materiali sono caratterizzati da una elevata compattezza e duttilità, questo garantisce un uso non solo per impieghi interni ma anche per quelli esterni con differenziazione termica.

Le tipologie di pietra di Trani si differenziano per toni cromatici che variano dall'avorio con fondo bianco a sfumature ambrate, rossastre e brune. Le varietà di pietra presenti nel bacino di Trani sono:

VARIETÀ DI PIETRA	LUOGO DI ESTRAZIONE
Ambrato di Puglia	Canosa
Avorio di Puglia	Trani e Bisceglie
Biancone di Trani	Trani e Bisceglie
Bronzetto di Trani	Trani
Cocciolato	Trani e Bisceglie
Cremamore	Andria
Fiorito Trani	Trani e Bisceglie
Giallo Antico, Etrusco	Ruvo di Puglia
Mazzaro	Gravina di Puglia
Melange, Melograno	Ruvo di Puglia
Morato, Moresco	Ruvo di Puglia
Perlato Bisceglie	Bisceglie
Perlato Svevo	Ruvo di Puglia
Serpeggiante Trani KF	Trani, Minervino Murge e Ruvo

Tabella 2.2. Varietà di pietra del bacino di Trani



Immagine 14. Cava di Trani (Fonte www.lapietraditrani.com)

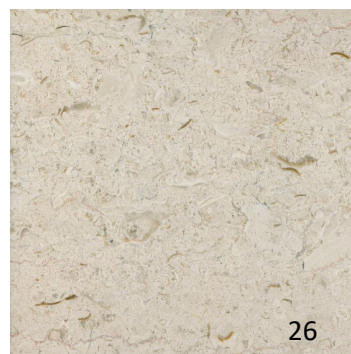
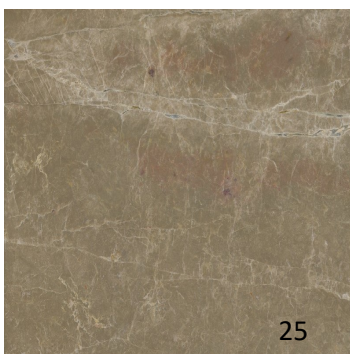
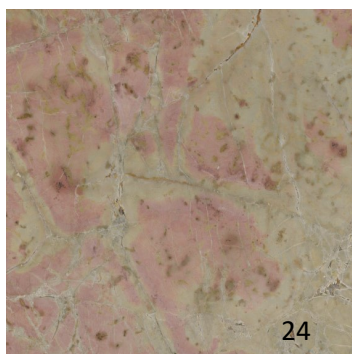
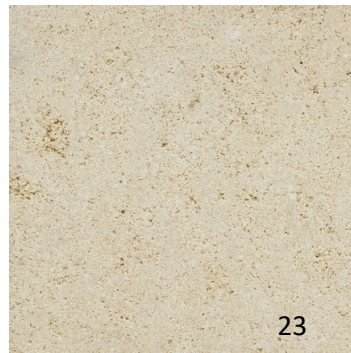
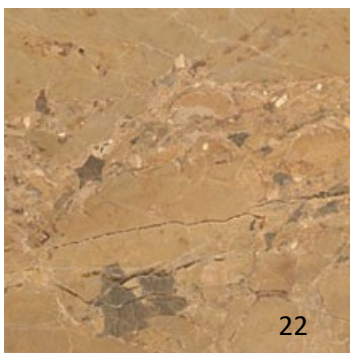
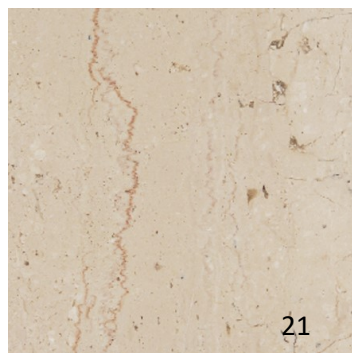
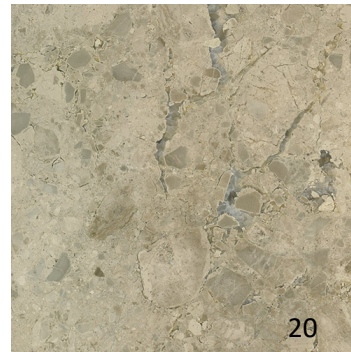
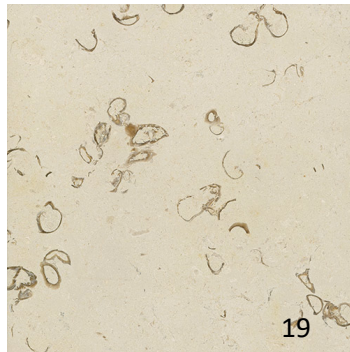
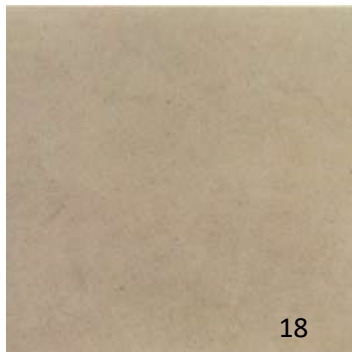
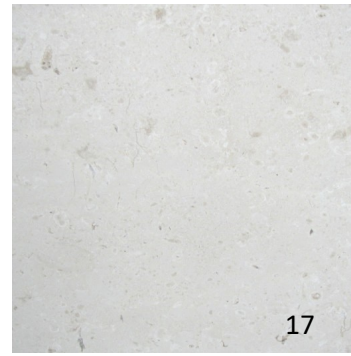
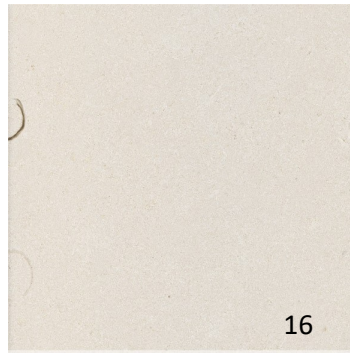
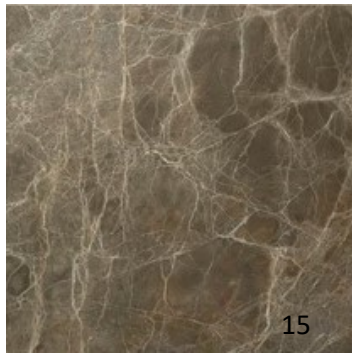


Immagine 15. Ambrato di Puglia

Immagine 18. Bronzetto di Trani

Immagine 21. Fiorito Trani

Immagine 24. Melange, Melogano

Immagine 16. Avorio di Puglia

Immagine 19. Cocciolato

Immagine 22. Gianni antico, Etrusco

Immagine 25. Melato, Moresco

Immagine 17. Biancone di Trani

Immagine 20. Cremamore

Immagine 23. Mazzaro

Immagine 26. Perlato Bisceglie

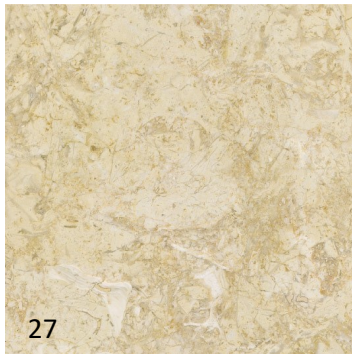


Immagine 27. Perlato di svevo

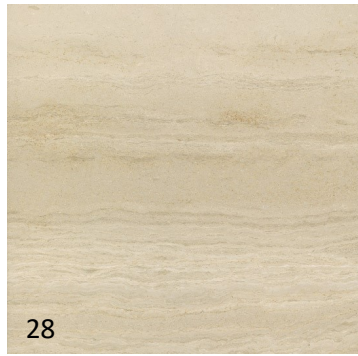


Immagine 28. Serpeggiante di Trani

2.1.3 L'area estrattiva di Fasano – Ostuni

Il bacino di Fasano-Ostuni si estende nella Provincia di Brindisi e comprende quattro siti di estrazione localizzati lungo le strade di collegamento di Carovigno, Cisternino-Ceglie e Ostuni- Martina Franca. Le varietà di pietra ricavate da queste aree estrattive sono due molto diverse tra loro, la pietra di Fasano e la pietra di Ostuni. La prima, anche chiamata Filetto Rosso Jonico, ha caratteristiche simili alla pietra di Apricena e di Trani.

La formazione geologica di questi materiali è di età cretacea costituita da una serie di strati a grana più o meno fine. La presenza di fossili di buona evidenza in caso di lucidatura e le venature anche marcate, consentono di ottenere effetti di notevole interesse ornamentale. Le venature sono di colore rosso a causa dalla presenza di ossido di ferro; la colorazione tenue della pietra va dal bianco paglierino al rosato. È adatta per la realizzazione di arredi e rivestimenti interni ed esterni.

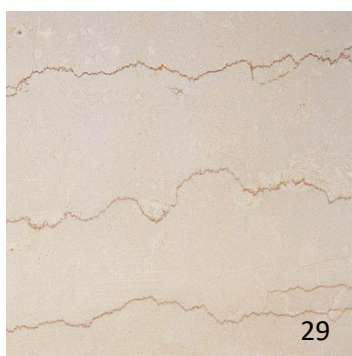
La pietra di Ostuni è simile alla pietra Leccese, è un calcare bianco avorio, caratterizzato da una notevole compattezza che la rende maggiormente adatta come materiale da costruzione.

È un materiale di facile lavorazione, che si presta bene alla realizzazione di manufatti di artigianato artistico e di design.

Le varietà di pietra presenti nel bacino di Fasano-Ostuni sono:

VARIETÀ DI PIETRA	LUOGO DI ESTRAZIONE
Filetto Rosso Jonico	Fasano
Bianco di Ostuni	Ostuni e Carovigno

Tabella 2.3. Varietà di pietra del bacino di Fasano-Ostuni



29



30

Immagine 29. Filetto Rosso Jonico

Immagine 30. Bianco di Ostuni

2.1.4 Il bacino di Lecce

Il bacino estrattivo di Lecce si concentra nell'area localizzata ad est della città di Maglie, tra le località di Corigliano, Cursi, Maglie e Melpignano per la pietra Leccese, e tra le località di Gallipoli ed Alezio per il Carparo. Il bacino presenta delle caratteristiche uniche sia per la tipologia di roccia estratta che per conformazione delle cave. Le cave di pietra Leccese sono a cielo aperto e molto diffuse sul territorio.

La pietra, oltre che in blocchi, viene estratta sotto forma di conci parallelepipedi di varie dimensioni in base agli usi. Il materiale è una roccia calcarea con composizione mineralogica abbastanza omogenea, costituita da un impasto di fossili, frammenti calcarei e glauconite che ne contraddistingue grado di compattezza, porosità e tonalità cromatiche. È utilizzata nel settore delle costruzioni e per la realizzazione di manufatti e design.

Il carparo è un materiale formatosi in mare, chimicamente è costituito da carbonato di calcio, variabili quantità di argilla o marna, di silice e ossido di ferro; tutti questi componenti sono legati tra loro da cemento calcareo. Questa pietra si presenta con una superficie porosa, di colore giallo dorato, ha buone qualità funzionali dovute agli elevatissimi indici di coibenza termica e fono assorbenza e rappresenta, oggi, un materiale con potenzialità elevate nel settore della costruzione di apparecchiature murarie. Le varietà di pietra presenti nel bacino di Lecce sono:

VARIETÀ DI PIETRA	LUOGO DI ESTRAZIONE
Pietra Leccese	Pietra di Lecce Corigliano, Cursi, Melpignano
Carparo	Gallipoli, Alezio

Tabella 2.4. Varietà di pietra del bacino di Lecce

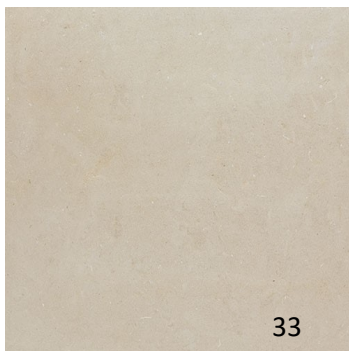
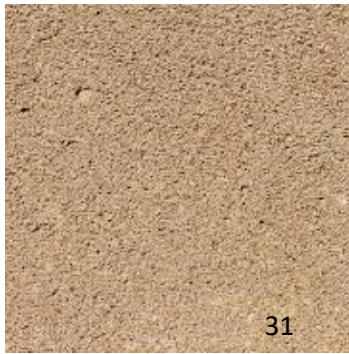


Immagine 31. Carparo

*Immagine 32. Cava di Carparo Foto di Massimo Negro –Fonte
www.massimo negro.wordpress.com)*

Immagine 33. Pietra Leccese

Immagine 34. Cava di pietra Leccese (Foto di Angela Masciullo "A.M")

2.2 Quadro normativo sulle attività estrattive regionali

La gestione del settore lapideo ha presentato diverse problematiche, fino al 2010 la regione Puglia non disponeva del Piano Regionale delle Attività Estrattive (PRAE).

Per governare questo settore si faceva riferimento alla legge nazionale **R.D. 29/7/1927, n. 1443** *Norme di carattere legislativo per disciplinare la ricerca e la coltivazione delle miniere nel Regno*, contenente indicazioni chiaramente improntate a un approccio allo sviluppo dell'attività e non alla salvaguardia dell'ambiente.

Con la **Legge Regionale N° 37 del 22/05/1985**, la regione Puglia disciplina l'attività estrattiva con l'obiettivo di limitare gli effetti diretti e indiretti provocati dall'uomo sull'ambiente.

Con la presente legge, alla domanda per ottenere l'autorizzazione di coltivazione si deve allegare il progetto esecutivo per la sistemazione e/ o il recupero e/ o il ripristino delle aree, comunque interessate all'attività estrattiva.

Il **PRAE** approvato nel 2010 ha finalità di pianificare e programmare l'attività estrattiva in coerenza con gli altri strumenti di pianificazione territoriale, al fine di adattare l'interesse pubblico allo sfruttamento delle risorse del sottosuolo con l'esigenza prioritaria di salvaguardia e difesa del suolo e della tutela e valorizzazione del paesaggio e della biodiversità, promuovendo lo sviluppo sostenibile nell'industria estrattiva e programmare e favorire il recupero ambientale e paesaggistico delle aree di escavazione abbandonate o dismesse.

Con l'art. 13 delle Norme Tecniche di Attuazione, al fine di conseguire il recupero ambientale dei siti interessati da cave dismesse, la domanda di riattivazione della coltivazione di queste aree si equipara alla domanda di ampliamento di attività estrattiva esistente.

Il PRAE individua le aree nelle quali l'attività estrattiva è subordinata alla preventiva approvazione di Piano Particolareggiato (P.P).

I PP hanno funzione di riordino dell'attività estrattiva finalizzata al recupero del territorio sotto il profilo paesaggistico ed ambientale.

Le aree individuate sono otto:

- Il giacimento marmifero di Apricena (FG);
- Il giacimento marmifero di Trani (BA);
- Il giacimento marmifero di Bisceglie (BA);
- Il giacimento di Pietra Leccese di Corsi-Melpignano (LE);
- Il giacimento del Carparo di Gallipoli(LE);
- Il giacimento della calcarinite di Mottola (TA);
- Il giacimento della calcarinite e argilla di Cutrofiano (LE);
- Il giacimento di calcare di Fasano(BR).

Il Piano Particolareggiato individua le aree da destinare all'attività estrattiva e assicurano il risanamento delle attività estrattive.

Il PRAE non prevede un catasto per le cave dismesse/abbandonate e un piano di recupero per queste aree.

2.3 Il paesaggio delle cave

Il territorio della Puglia è dominato dalla pietra, la quale affiora in superficie ed ha fatto la storia di questa terra, usata sempre dall'uomo come materia prima, nel tempo sta diventando sempre più una ricchezza per il settore produttivo ed economico regionale, infatti sono presenti 1155 imprese, che offrono lavoro a 5088 addetti³.

La Puglia si pone ai primi posti tra le Regioni italiane per la qualità di materiale lapideo estratto e per numero di cave; sono ben 399 le cave attive che occupano una superficie di oltre i 3679 ettari. La natura geologica del territorio permette la coltivazione di pietre da taglio per uso ornamentale e costruttivo, numerose sono anche le cave destinate alla produzione di inerti.

La ricchezza di questo territorio si riflette negativamente sulle criticità ambientali, amplificate per decenni dalla mancanza del PRAE, del catasto cave, e dell'estrazione senza titolo oneroso.

L'uso delle macchine per l'estrazione permette di cavare sempre più in profondità, questo ha contribuito notevolmente a cambiare il paesaggio modificando assetti idrogeomorfologici, creando nuovi promontori composti dagli scarti di lavorazione e fronti di scavo enormi.

Il territorio è caratterizzato da cave a cielo aperto, cave ipogee e cave costiere.

Le cave a cielo aperto rappresentano la tipologia di estrazione più diffusa sul territorio, grazie all'introduzione dei macchinari oggi è la tecnica che viene più utilizzata, sostituendo la tecnica di estrazione a cave ipogee, praticata fino agli anni Ottanta.

Le cave ipogee e le cave costiere rappresentano un segno della storia dell'estrazione lapidea; lungo le coste pugliesi sono presenti diversi geoarcheositi che descrivono piani di cava antichi (*immagine 36*).

Le cave ipogee rappresentano la tecnica di estrazione del tufo, in quanto lo strato lapideo; superficiale non ha caratteristiche di pregio rispetto agli strati inferiori; sono diffuse sul territorio di Cutrofiano e di Gallipoli.

³ Dato riportato su *Regione Puglia, I volti della Puglia che produce – Materiali Lapidei, Stampa Sud S.p.a Mottola, 2015*

Il tufo veniva raggiunto mediante due pozzi in comunicazione tra loro: il *pozzo principale* (o di estrazione), posto in posizione baricentrica rispetto alla proprietà coltivabile ed il *lanternino*, adiacente al primo, utilizzato esclusivamente per la discesa del personale che avveniva a mezzo di scala a pioli.

Conclusi i lavori di scavo del pozzo e del lanternino, dalla base del pozzo venivano aperte quattro gallerie ortogonali tra loro, di circa 6 m di larghezza e di 7-8 m di altezza. Successivamente, in posizione traversa rispetto alle precedenti, venivano impostate altre gallerie la cui reciproca distanza era dettata dall'esperienza dei *cavamonti* o dalla volontà di sfruttare al massimo il banco calcarenitico.

Esempi di cave costiere della Puglia meridionale con forte valenza di geoarcheositi sono da considerare quelli di Saturo, Torre Ovo, Madonna d'Alto Mare, Campomarino, Marina Serra, Porto Miggiano, Torre Santa Sabina, Torre Canne, Egnazia, Capitolo e San Vito di Polignano.

Questi siti sono caratterizzati dalla presenza di piani relitti di coltivazione all'interno dei depositi calcarenitici con evidenti tracce di estrazione dei materiali, dai quali è possibile apprendere le caratteristiche morfologiche degli elementi estratti e gli strumenti utilizzati per l'estrazione.

Molte delle cave si immergono in mare e presentano i piani di cava più antichi parzialmente sommersi; altre, come quelle di Torre Ovo e Porto Miggiano, presentano fenomeni di crollo.



Immagine 35. Cava ipogee di tufo sita a Gallipoli (Foto di Massimo Negro – Fonte www.massimonegro.wordpress.com)

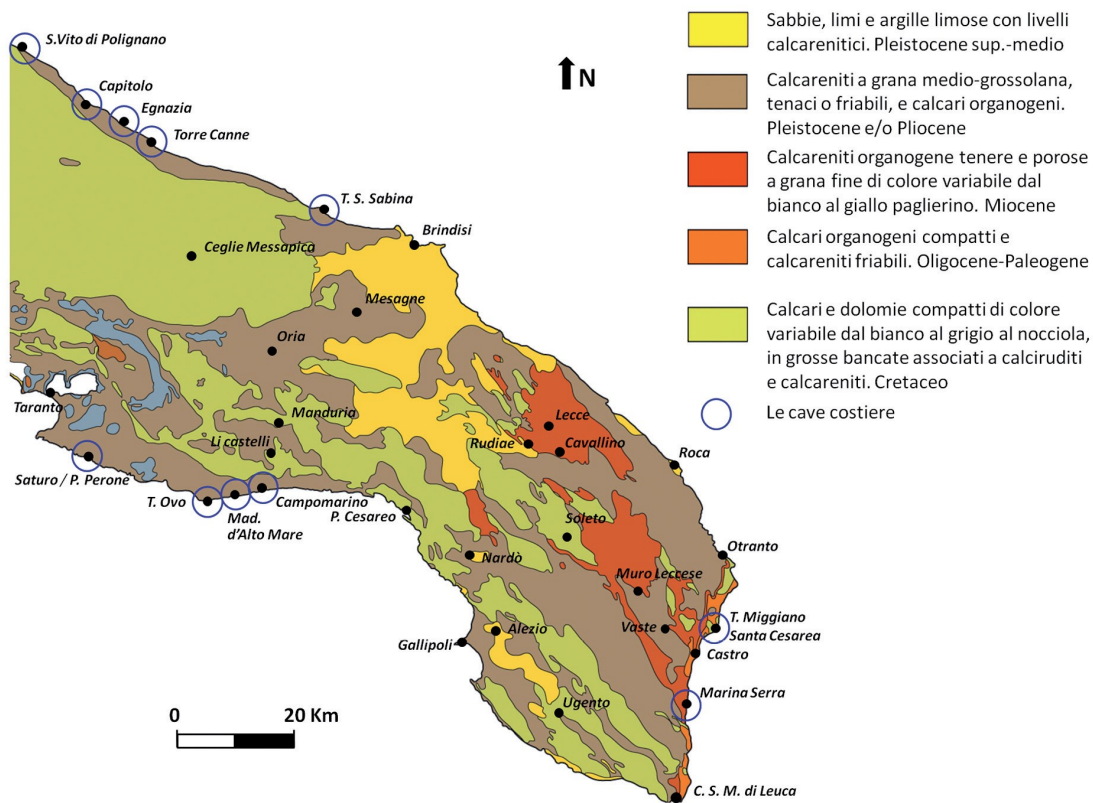


Immagine 36. Carta geolitologica schematica e localizzazione delle antiche cave costiere (Fonte Calia et al., 2010)



Immagine 37. Marina Serra, antico piano di estrazione attualmente sommerso (Fonte Calia et al., 2010)

Le numerose cave pugliesi sono distribuite nella provincia secondo i numeri riportati nella Tabella 2.5., nella quale troviamo i dati riferiti all'anno 2012 e 2013.

Provincia	2013	2012	Var 2012-2013 (%)	% cave pugliesi per provincia 2013
BA	71	75	-5,3%	17,8%
BT	62	65	-4,6%	15,5%
BR	39	39	0,0%	9,8%
FG	71	76	-6,6%	17,8%
LE	98	100	-2,0%	24,6%
TA	58	60	-3,3%	14,5%
TOTALE	399	415	-3,9%	100,0%

Tabella 2.5. Numero di cave autorizzate per Provincia al 31/12/2013⁴

Le cave di Calcare per inerti in Puglia rappresentano oltre un terzo del totale, circa i due terzi delle cave autorizzate in Puglia estraggono materiale che viene utilizzato come inerte (Tabella 2.6). È presente un'ampia differenziazione geografica nelle caratteristiche delle cave pugliesi, infatti la prevalenza delle cave per estrazione di calcare per uso da taglio si trova nelle Province di Barletta-Andria-Trani e Foggia e le cave di Calcarenite da taglio in Provincia di Lecce.

La provincia BAT detiene il primato di elevata concentrazione di cave in relazione all'estensione del territorio, una cava ogni 8,1 Km.

I materiali principalmente estratti sono sabbia e ghiaia, per un totale di 10,3 milioni di m³, calcare 1,2 milioni di m³, argilla con 783 mila m³, pietre ornamentali con 658 mila m³ e gesso con 11 mila m³⁴.

MATERIALE ESTRATTO	BA	BT	BR	FG	LE	TA	TOTALE
Calcare per inerti	41	13	20	13	42	27	156
Calcare da taglio	21	40	5	31	4	3	104
Calcarenite per inerti	4	4	1	0	32	11	52
Calcarenite da taglio	4	2	12	1	18	6	43
Inerti alluvionali – Coglomerati – Sabbia e Ghiaia	1	0	0	20	0	7	28
Argilla	0	3	1	5	2	4	15
Gesso	0	0	0	1	0	0	1
TOTALE	71	62	39	71	98	58	399

Tabella 2.6. Numero cave autorizzate all'estrazione del materiale per principale tipologia al 31/12/2013⁴

⁴ Dati riportati su Regione Puglia, Rapporto sullo stato delle attività estrattive 2012-2013

I materiali da taglio hanno rappresentato appena il 9% di tutto l'estratto in Puglia nel 2012 (nel 2011 tale valore era pari al 9,2%) e di questi circa il 40% del totale è stato estratto in Provincia di Foggia. Scendendo nello specifico del materiale da taglio estratto (Tabella 2.7), particolarmente rilevanti nel 2012 sono risultate le estrazioni di Carparo (29,1% di tutto il materiale da taglio estratto), di Serpeggiante (25,7%), di Pietra Leccese (9,7%) e di Biancone di Apricena (9,1%).

Materiale da taglio estratto (Calcare da taglio)	m ³	% sul totale
Serpeggiante	229.898,55	25,67%
Biancone di Apricena	81.804,75	9,13%
Perlato svevo	50.594,00	5,65%
Bronzetto di Trani	42.262,00	4,72%
Pietra di Locorotondo	25.270,00	2,82%
Fiorito adriatico	20.924,00	2,34%
Bronzetto di Apricena	20.443,12	2,28%
Filettato rosso classico	12.745,00	1,42%
Filettato rosso jonico	12.800,00	1,43%
Bianco di Ostuni	10.200,00	1,14%
Ambrato di Puglia	4.489,00	0,50%
Serpeggiante classico	2.200,00	0,25%
Pietra di Soletto	1.500,00	0,17%
Filettato	809,00	0,09%
Perlantino	685,00	0,08%
Serpeggiate MS	380,00	0,04%
Silvabella	380,00	0,04%
Cocciolato	51,80	0,01%
Serpeggiante Trani KF	31,00	0,00%
Altro Calcare da taglio non definito	20.913,00	2,33%
Sub totale calcare da taglio	538.380,22	60,11%
Materiale da taglio estratto (Calcarenite da taglio)	mc	% sul totale
Carparo	260.400,00	29,07%
Pietra leccese	87.152,00	9,73%
Altro calcarenite da taglio non definito	9.760,00	1,09%
Sub totale calcarenite da taglio	357.312,00	39,89%
Totale materiale da taglio estratto	895.692,22	100,00%

Tabella 2.7. Tipologie merceologiche di materiale da taglio estratto dal territorio pugliese nel 2012⁴

I canoni di concessione pagati da chi cava sono i più bassi d'Italia: fino al 2010 scavare in Puglia era gratuito, la Regione e i Comuni incassano solo lo 0,7 % rispetto ai profitti delle aziende. Per esempio, per la pietra di Apricena è imposto un canone di 0,13 euro a m³,

infatti i canoni vanno da 0,13 a m³ per le pietre da taglio a 0,08 a m³ per il calcare (Tabella 2.8).

I bassi canoni sono anche causa della continua cavazione di questo territorio, che grava sulla variazione del paesaggio e sulle condizioni naturali dell'ambiente.

CATEGORIE DI MATERIALE	TARIFFA (€ x mc estratto)
Calcari da taglio	0,13
Calcari per inerti	0,08
Calcareniti da taglio	0,11
Calcareniti per inerti e inerti silicei	0,06
Argille	0,07
Gesso	0,07
Sabbia e Ghiaia	0,08
Altro	0,08

Tabella 2.8. Tariffe per l'attività estrattiva ⁵

Nel territorio pugliese sono presenti 2.579 cave dismesse e/o abbandonate, per le quali non è previsto un piano di recupero ambientale.

Negli ultimi anni è stato introdotto il catasto cave in cui sono censite tutte la cave (Tabella 2.9.), in modo da avere un quadro informativo sulle aree distribuite su tutto il territorio, ancora attive o dismesse.

Provincia	N°Cave	% sul totale	Km ² /Cava
BA	143	14,9%	26,8
BT	169	17,6%	9,1
BR	91	9,5%	20,2
FG	187	19,4%	37,3
LE	245	25,5%	11,3
TA	127	13,2%	19,3
TOTALE	962	100,0%	20,1

Tabella 2.9. Cave rilevate dal catasto cave al 31/12/2013 ⁴

Tale rilevazione è partita nel 2013 e deriva dall'incrocio e verifica puntuale dello strato informativo "cave" della carta idrogeomorfologica dell'Autorità di Bacino della Puglia (cave abbandonate e rinaturalizzate), con lo strato informativo delle cave dismesse pubbliche (prodotto finale di una convenzione tra Regione Puglia e ARPA Puglia) e lo strato informativo delle cave in attività dal 1985, in possesso dell'Ufficio Controllo e

⁵ Dati riportati su *Regione Puglia, AREA POLITICHE PER LO SVILUPPO ECONOMICO, IL LAVORO E L'INNOVAZIONE SERVIZIO ATTIVITA' ECONOMICHE CONSUMATORI - Art. 22 L.R. n. 19/2010 - Determinazione della tariffa per le attività estrattive.*

Gestione del PRAE (Tabella 2.10). Al riguardo è evidente una maggiore concentrazione di cave dismesse nella Provincia di Lecce rispetto all'estensione del territorio. Nel complesso vi è una cava dismessa ogni 7,6 Km². Dal 1985, dalle ultime rilevazioni risulta che in Puglia sono presenti 3.493 cave tra dismesse ed attive.

Provincia	N°Cave	% sul totale	Km ² /Cava
BA	281	11,1%	13,6
BT	326	12,9%	4,7
BR	267	10,5%	6,9
FG	326	12,9%	21,4
LE	864	34,1%	3,2
TA	467	18,5%	5,2
TOTALE	2.531	100,0%	7,6

Tabella 2.10. Cave dismesse in Puglia al 31/12/2013 ⁴

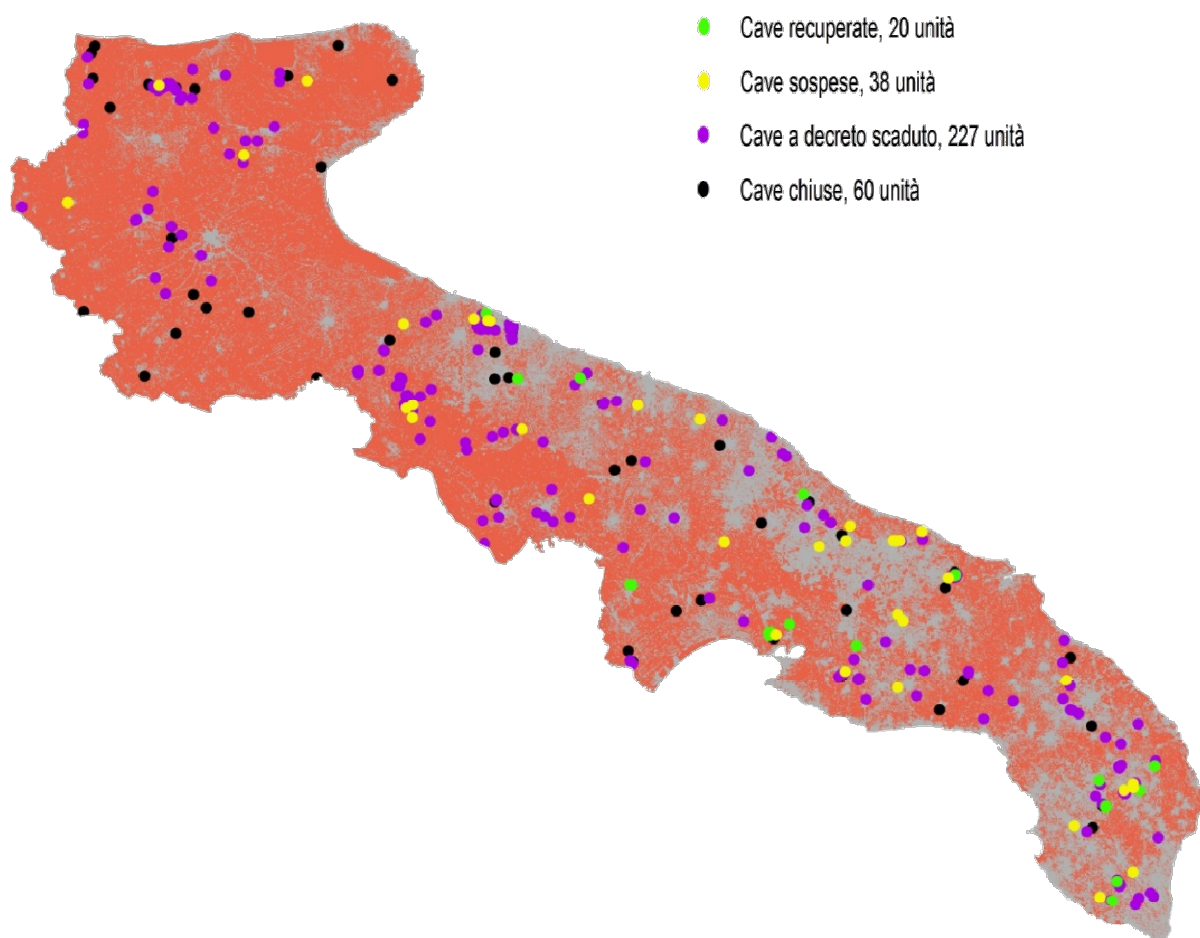


Immagine 38. Carta stato cave (Fonte Bagnato, V. P., 2015)

2.4 Il recupero delle cave

Negli anni Settanta, con l'insorgere della "questione ambientale" nei paesi sviluppati, si inizia a porre l'esigenza di recupero e risanamento dei siti abbandonati, finalizzata alla protezione delle risorse non rinnovabili, tra cui il territorio.

Un tema che fa discutere gli ambientalisti, riguarda il fatto che la Regione Puglia non ha ancora provveduto a redigere un Piano di recupero ambientale per le cave dismesse, argomento importante a livello paesaggistico e territoriale, considerando la quantità di cave presenti sul territorio pugliese.

Si contano 2579 cave dismesse e/o abbandonate, aree che corrono il rischio di diventare luoghi per lo smaltimento illecito di rifiuti. Per le cave attive, invece, il titolare dell'autorizzazione di estrazione è obbligato al recupero ambientale del sito, pertanto la domanda di apertura di una cava deve essere accompagnata dal piano di recupero del sito ad attività esaurita. Le cave recuperate fino al 2013 risultano 20.

Il recupero dei siti di estrazione, in base alla forma e al contesto in cui sono inseriti può avvenire per rinaturalizzazione, creazione di spazio pubblico e creazione di spazi ricettivi integrati. Un esempio di recupero per rinaturalizzazione è la Cava della Vallensana sita a Barcellona, ex cava di inerti ed altri materiali. L'obiettivo del progetto è la realizzazione di uno spazio pubblico attrezzato. Per la riqualificazione del paesaggio vegetale sono state riportate specie proprie dell'habitat locale (*Immagine 39 e 40*).

Il progetto di Alberto Loche e Pierpaolo Perra per la Cava Parco dei Suoni a Oristano, prevede un recupero a scopo ricreativo. Viene riproposto un teatro aperto con sale espositive, che diventa parte di un sistema ricco di risorse naturali e storico culturali della zona (*Immagine 41*).

Un progetto di recupero a scopo ricettivo integrato è rappresentato dalla cava di Favignana a Trapani, la quale è diventata un albergo tra muri di tufo (*Immagine 42*).

Il progetto di albergo ipogeo infatti si è prefissato di non modificare gli spazi scavati di fondo cava ed i grandi muri di calcarenite rimasti dall'attività estrattiva che ha avuto inizio nei primi anni del Novecento.



Immagine 39. Vista Cava della Vallensana nel 2002, prima del recupero Immagine (Fonte Bagnato, V. P., 2015)

Immagine 40. Vista Cava della Vallensana nel 2008, a progetto finito(Fonte Bagnato, V. P., 2015)

Immagine 41. Progetto recupero ricreativo, cava Parco dei Suoni - Oristano (Fonte Ferraresi, 2007)



Immagine 42. Progetto recupero ricettivo, Hotel Cava di Favignana – Trapani (Fonte Studio Cusenza+Salvo www.archilovers.com)

Le destinazioni d'uso attribuite alle cave recuperate in Puglia sono maggiormente ad uso agricolo, discarica di residui di cava, usi industriali e uso ricreativo e/o sportivo e uso per servizi e/o urbanistico con una percentuale inferiore all' 1% (*Immagine 45*).

Un recupero ad uso ricreativo è rappresentato dal progetto delle cave di Fatiano, site nel territorio tarantino, a Grottaglie.

Le cave di Fantiano dal 2008 sono parco attrezzato delle Gravine e teatro delle cave di Fantiano.

Conclusa l'attività estrattiva di tufo, le cave sono andate in degrado diventando discarica abusiva. Dopo una prima pulizia, ben presto la natura si è presa il giusto spazio, rigenerandosi e ricreando un ecosistema vivo e rigoglioso.

Nel 1999 c'è stato il primo recupero, l'amministrazione comunale ha reso accessibile l'area e ha spianato il territorio delle cave facendolo diventare un luogo per eventi mentre, nel 2006, il progetto di valorizzazione e di recupero ha offerto alla città una serie di spazi all'aperto di carattere sociale, ricreativo, culturale e di spettacolo, realizzando un teatro.

I gradoni che costituiscono il teatro sono stati recuperati dai segni dall'attività estrattiva, altri invece sono stati aggiunti mantenendo lo stesso materiale di cava, il tufo. Il pavimento del palcoscenico è in legno, i gradini di smistamento sono in cotto tipici della tradizione ceramica tarantina.

L'impianto rispetta in tutto le caratteristiche morfologiche della cava, sia in superficie e sia in altezza.



Immagine 43. Recupero delle cave di Fantiano (Fonte Meloni, 2011)

In alcuni casi a risollevarsi dall'abbandono le cave ci pensa la natura, regalandoci scenari suggestivi, come le cave di bauxite ad Otranto.

Ormai meta molto attraente, regalando un paesaggio suggestivo, le cave di bauxite sono cave inattive dal 1976. Nel corso degli anni si è formato un laghetto, molto probabilmente per via delle infiltrazioni d'acqua provenienti dalle falde presenti nella zona.

Si tratta di un'area di grande interesse paesaggistico ed ambientale.

La miniera è a cielo aperto e non è stata sottoposta ad alcun intervento di recupero ambientale. Le acque che hanno riempito lo scavo hanno dato vita ad un vero e proprio nuovo ecosistema lacustre. La natura si è dunque impadronita di nuovo, in modo completamente spontaneo, di un luogo che aveva subito il forte impatto dell'uomo.



Immagine 44. Cave di Bauxite Otranto (Fonte www.novelamelle.it)

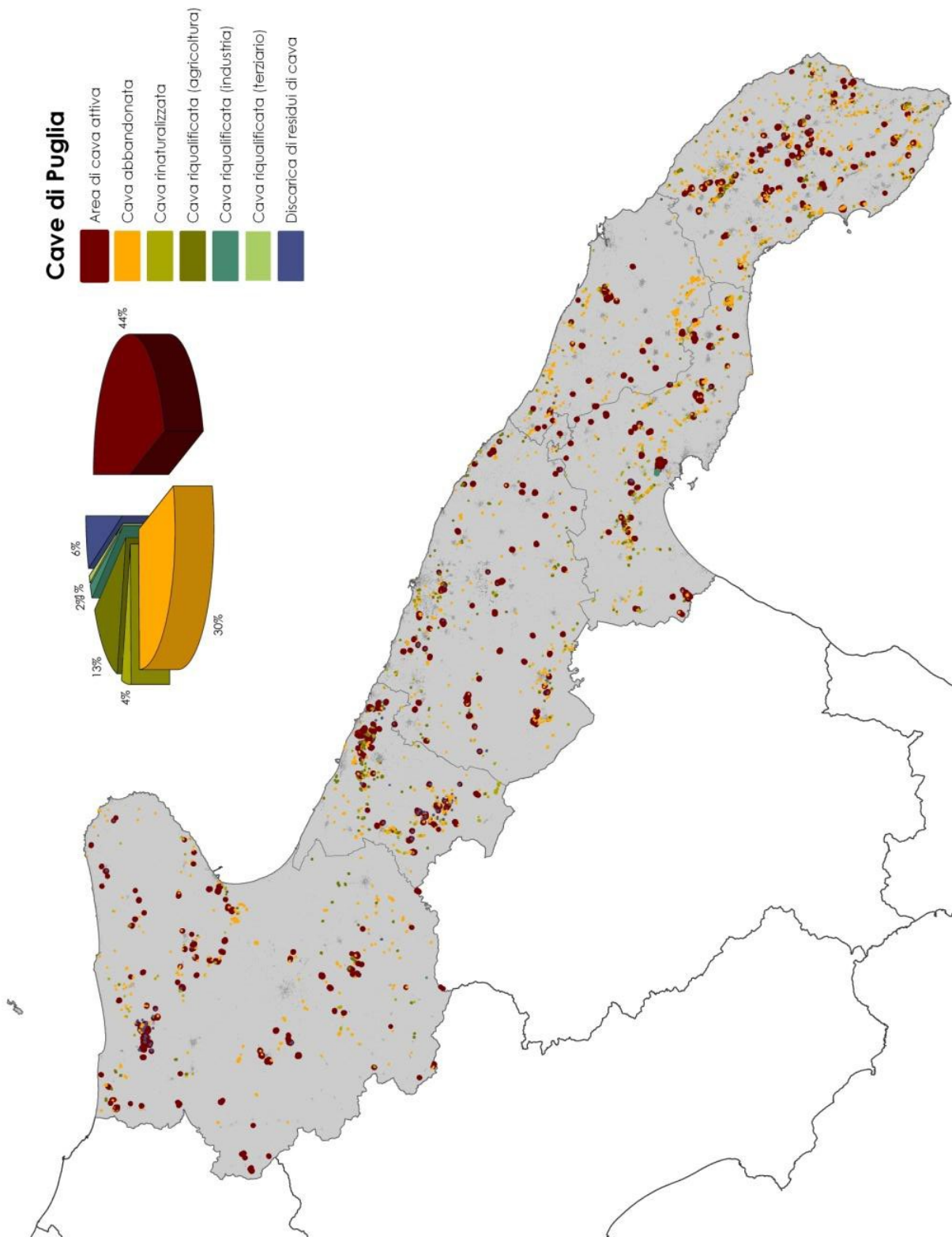


Immagine 45. Percentuale e tipologie di recupero delle cave. (Fonte Greco, 2013)

2.5 Il mercato della pietra pugliese e l'esportazione

Come riportato nel capitolo uno, il settore lapideo genera un forte mercato internazionale, a favore di l'Italia una buona esportazione di materiali lapidei, la Puglia da un buon contributo.

Nel 2012, la regione Puglia ha esportato materiali lapidei sia grezzi che lavorati per un valore di oltre 37 milioni di euro in crescita rispetto al 2011 del 16%. Un'ottima performance se si pensa che già nel 2011 la Puglia aveva segnato un incremento tendenziale dell'export rispetto all'anno precedente del 45% sia in quantità che in valore (Tabella 2.11).

REGIONE PUGLIA	EXPORT					
	2010		2011		DIFF. % 2011/2010	
2010-2011	Tonn	Euro	Tonn	Euro	% Q.tà	% Val.
MARMO BLOCCHI E LASTRE	21,132	4.839.045	60.151	13.874.861	184,65	186,73
GRANITO BLOCCHI E LASTRE	1,855	532.809	3.162	1,003.186	70,5	88,28
MARMO LAVORATI	37,906	11.182.048	43.832	13.165.941	15,63	17,74
GRANITO LAVORATI	16,371	4.622.809	5.322	2.668.915	-67,49	-42,27
Totale	77,264	21.176.711	112.467	30.712.903	45,56	45,03

Tabella 2.11. Dati riferiti all'esportazione di pietra pugliese negli anni 2010 - 2011

Nell'anno 2012 il 96,3% del materiale pugliese venduto rimane nell'ambito regionale con prevalenza nei mercati provinciali leccesi e tarantini.

L'esportazione in Italia è del 2,9% del materiale venduto, mentre lo 0,78% viene all'estero con prevalenza del mercato Asiatico (97,4%) ed in particolare quello cinese contando l'88% del materiale destinato all'estero⁶ (Immagine 46).

Tutto il materiale esportato all'estero è da taglio, con grande prevalenza del Calcere da taglio.

Il 67% di questa tipologia di materiale è venduto all'interno della regione e il 15% va all'estero⁶. Dall'immagine 47 si può notare che l'80% circa del materiale da taglio venduto all'estero è suddiviso da Serpeggiane e Perlato Svevo. Con l'obiettivo della crescita economica, le politiche della regione Puglia incentivano il settore a consolidare le relazioni internazionali, cercando di esportare prodotti lavorati e non solo grezzi in modo

⁶ Dati riportati su Regione Puglia, Rapporto sullo stato dell'attività estrattive 2012-2013

da aumentare l'occupazione sul territorio. I fattori di competitività del sistema pugliese, si basano sulla varietà dei materiali, sulla propensione delle aziende ad esportare materiali lavorati facendo leva sulla capacità di trasformazione del distretto regionale.

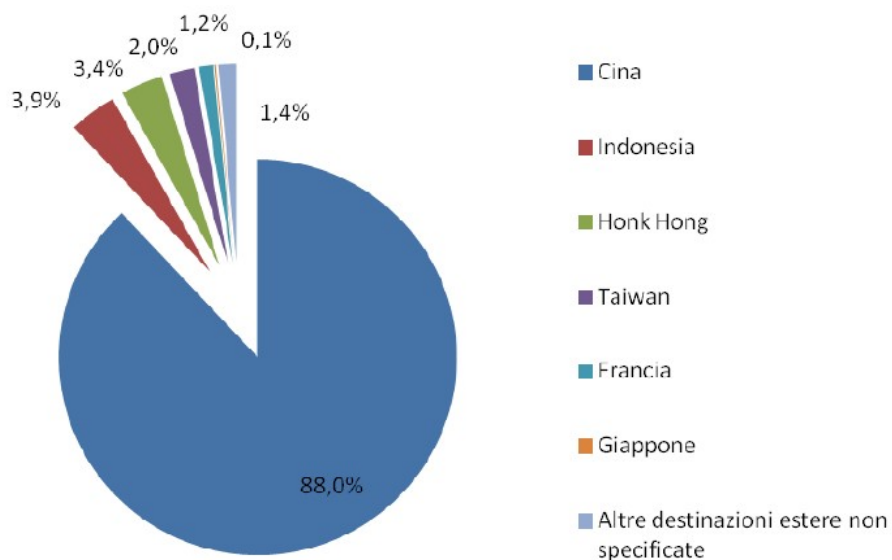


Immagine 46. Distribuzione dei mercati esteri di destinazione dei prodotti estrattivi pugliesi nel 2012⁶

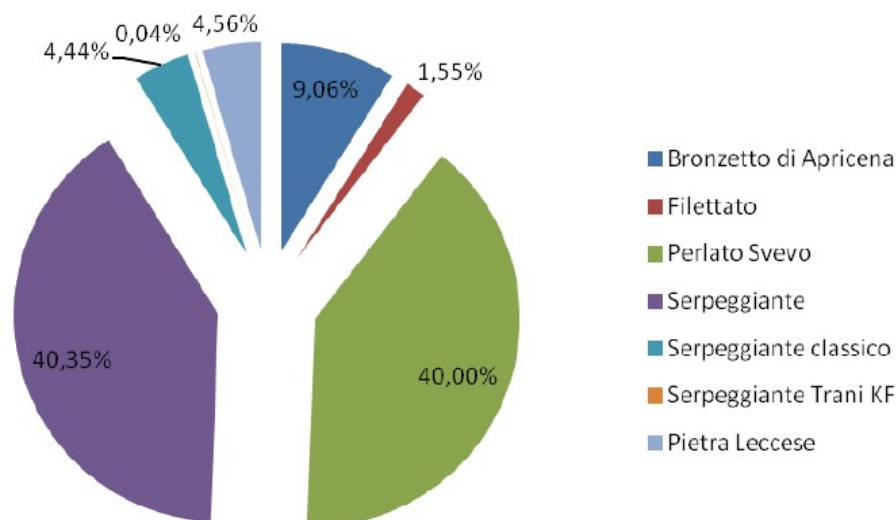


Immagine 47. Tipologia di materiale da taglio con destinazione estera 2012 (%)⁶

BIBLIOGRAFIA

Acocella, A., *L'architettura di pietra: antichi e nuovi magisteri costruttivi*, Alinea Editrice, Firenze, 2004

Bagnato, V. P., *Riciclare le cave di Puglia: tra paesaggio primario e infrastruttura produttiva*, Teche, Firenze, FUP, 2013

Bagnato, V. P., *Prospettive di riciclo nel processo delle cave, Convegno Giornata di approfondimento sul PPTR. La riqualificazione paesaggistica delle aree estrattive*, Specchia (LE), 2015

Calia A., Giannotta M., Quarta G., Sileo M., Delle Rose M., *Le antiche cave nei depositi calcarenitici lungo la costa pugliese: un esempio di geoarcheositi da tutelare e valorizzare*, Atti del Convegno Nazionale "Il Patrimonio Geologico: una risorsa da proteggere e valorizzare", Sasso di Castalda (PZ), 2010

Di Marzo, C., *Favignana: Cusenza+Salvo crea un hotel nella cava dismessa. L'edificio, come un fossile, riproduce il negativo di una realtà passata*, in *Archiportale, architetture, design, interiors*, (2012), www.archiportale.com [Consultazione Marzo 2015]

Ferraresi, A., *Il parco dei suoni a Riola Sardo, Oristano - Pierpaolo Perra e Alberto Antioco Loche*, in *Journal Architettura di pietra*, 2007 www.architetturedipetra.it [Consultazione Marzo 2015]

Greco, F. *Il paesaggio astrattivo, da ferita del territorio a luogo di opportunità, Convegno L'attività estrattiva: tra sviluppo economico e tutela del territorio*, Lecce, 2013

Internazionale Marmi e Macchine Carrara Spa, *Ston Sector 2014, Bilancio e prospettive del commercio internazionale dei prodotti lapidei*

Legambiente Comitato Regionale Pugliese, *Rapporto cave 2014 di Legambiente: i numeri e l'impatto economico e ambientale dell'attività estrattiva in Puglia*, www.legambientepuglia.it [Consultazione Luglio 2014]

Meloni, A. *Le Cave di Fantiano a Taranto. Da discarica a teatro: un buon esempio di recupero in Puglia*, *Journal Architettura di pietra*, 2011 www.architetturedipetra.it [Consultazione Marzo 2015]

Normativa Nazionale, Regio Decreto 29/07/1927 n. 1443, *Norme di carattere legislativo per disciplinare la ricerca e la coltivazione delle miniere nel Regno*

Regione Puglia, *Aree politiche per lo sviluppo economico, il lavoro e l'innovazione servizio attività economiche consumatori* – Art. 22 L.R. n. 19/2010 - Determinazione della tariffa per le attività estrattive.

Regione Puglia, *Atlante Temporaneo dei marmi e delle pietre di Puglia, cave, materiali e architettura*, Edizione Giuseppe Laterza, Bari, 2008

Regione Puglia, *I volti della Puglia che produce. Materiali lapidei*, Stampa Sud S.p.a., Mottola (TA), 2015

Regione Puglia, Legge regionale n° 37 del 27/05/1985 *Norme per la disciplina dell'attività delle cave*

Regione Puglia – Piano regionale delle attività estrattive, PRAE – Norme tecniche di attuazione

Regione Puglia, *Rapporto sullo stato dell'attività estrattive 2012-2013*

Toni, L., *Le cave in sotterraneo di Cutrofiano. Riscoprire e valorizzare la cultura mineraria nel Salento*, Edizione del Grifo, Lecce, 2001

Ufficio Urbanistico di Legambiente (a cura di), *Rapporto cave 2014. I numeri, il quadro normativo, il punto sull'impatto economico e ambientale dell'attività estrattiva nel territorio italiano*, Roma, Stampa CSR, 2014

Novelamelle, *Il lago di Bauxite*, www.novelamelle.it [Consultazione Marzo 2015]

Recupero e Valorizzazione delle Cave di Fantiano in Divisare Journal www.divisare.com [Consultazione Marzo 2015]

CAPITOLO 3

LA PIETRA LECCESE

3.1 Composizione e caratteristiche

La pietra Lecce è una roccia sedimentaria la cui formazione risale al miocene medio, periodo dell'era cenozoica (terziaria) caratterizzato da notevoli manifestazioni vulcaniche ed intensi movimenti orogenetici (circa 20 milioni d'anni fa).

È una pietra docile, porosa, compatta e uniforme, presenta una friabilità apparente che aumenta proporzionalmente al contenuto di acqua. Le coltivazioni più importanti sono disposte nella dorsale centro Est del Salento (*Immagine 1*).

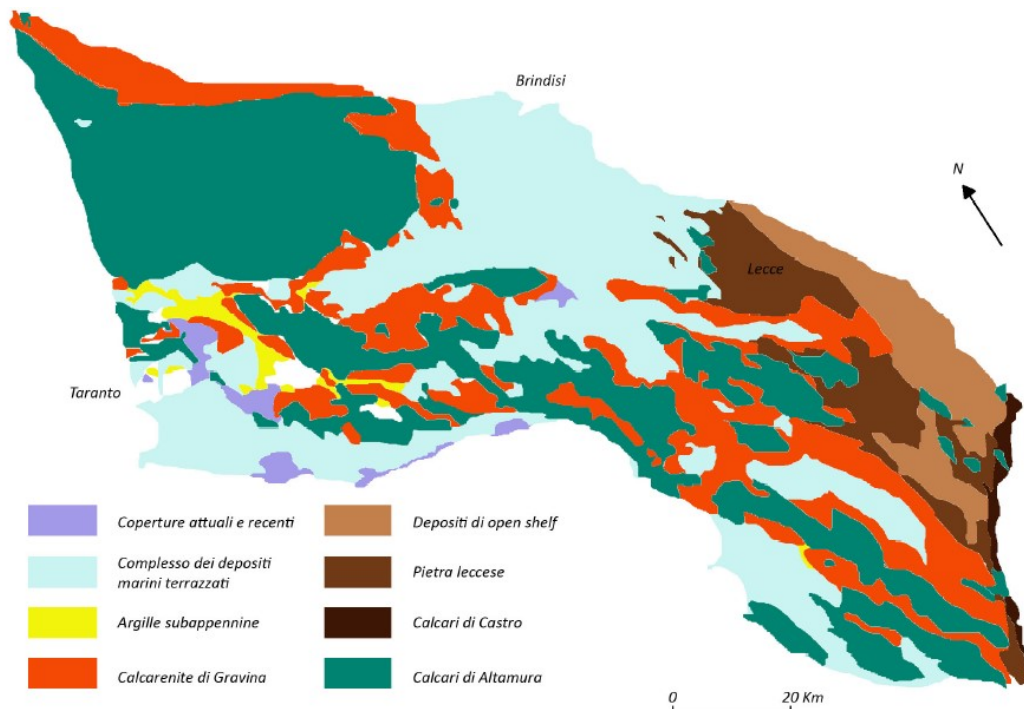


Immagine 1. Carta litologica del Salento (Fonte Bruno, Cherubini, Reina, 2007)

L'uso di questo materiale ha segnato la storia e l'arte del territorio, dai dolmen e menhir della terra d'Otranto all'architettura classica ed alle meraviglie del barocco leccese, fornendo così una ricchezza ornamentale di elevato pregio. La pietra Lecce presenta similitudini con la pietra di Siracusa, la pietra di Malta e la pietra cantone in Sardegna, si può collocare tra i calcari teneri e classificare come calcarenite marnosa.

È composta dal 92-95% di carbonato di calcio¹.

All'esame petrografico, la pietra Leccese presenta una composizione mineralogica abbastanza omogenea. Il costituente fondamentale che è il carbonato di calcio, compare sotto forma di granuli calcarei (microfossili, frammenti di fossili intraclasti e pellets) e di cemento calcitico. In quantità del tutto subordinata di granuli di glauconite, quarzo e feldspati, muscovite e fosfati oltre a minerali argillosi².

È un vero fango argilloso prosciugato e compresso; ha una durezza uguale a quella dell'alabastro gessoso, e può essere intaccato dall'unghia e lavorato con la pialla e con la sega, come il legno. La pietra di Corsi è meno omogenea, contiene una piccola quantità di cemento ed è più dura di quella di Lecce³.

La pietra Leccese presenta una struttura porosa e ha buone qualità funzionali dovute agli elevatissimi indici di coibenza termica e fonoassorbenza.

Le sue caratteristiche cromatiche dipendono essenzialmente dalla varietà della pietra e dalla località di estrazione, le coltivazioni anche se sono collocate in zone vicine tra loro non hanno stratigrafia omogenea, in base alla profondità di estrazione sono presenti diverse tipologie di pietra Leccese.

Qualunque sia la provenienza stratigrafica, la pietra Leccese ha una porosità media intorno al 40% e un coefficiente d'imbibizione di circa il 18%¹.

Queste caratteristiche evidenziano la forte predisposizione ad assorbire acqua e la potenzialità ad evaporarla, motivo della sua applicazione come lastricato solare e paramento.

I dati riportati nelle tabelle seguenti si riferiscono ai valori di analisi di pietra Leccese estratta in cave di Corsi (*Tabella 3.1, Tabella 3 2*).

Scheda di qualifica tecnica	
Nome commerciale	Pietra Leccese
Definizione petrografica	Calcarenite marnosa
Categoria commerciale	Pietra

Tabella 3.1. Scheda di qualifica tecnica

¹ La pietra Leccese, Tipica Roccia della Penisola Salentina, www.tecap.it, 1996

² La pietra Leccese, www.architetturasalento.it,

³ C. De Giorgi , *Note e ricerche sui materiali edilizi adoperati nella provincia di Lecce*, Congedo Editore, Galatina 1981, pp. 41

Caratteristiche tecniche	
Massa dell'umidità di volume	1634 kg/m ³
Coefficiente d'imbibizione	86 g/(m ² ×s ^{0,5})
Coefficiente di compattezza	0,636 c
Coefficiente di porosità	32,6 %
Coefficiente di dilatazione lineare termica	2,86 μm (m x °C)
Carico di rottura a compressione semplice	25,1 Mpa
Carico di rottura semplice dopo gelività	24,7 Mpa
Carico di rottura a trazione indiretta mediante flessione	4,0 Mpa
Carico di rottura a trazione indiretta mediante flessione dopo trattamento di gelività	3,3 Mpa
Usura per attrito radente	2,70 Kg/cm ²
Resistenza all'urto	0,94 Kg/cm ²

Tabella 3.2. Caratteristiche tecniche pietra Leccese di Cursi, dati forniti da Pimar, s.r.l

La pietra Leccese, appena estratta, possiede una lavorabilità anche con utensili da legno e/o manuali (seghe, sgorbie, raspe, lime) che è molto maggiore di quella che invece essa presenta dopo un certo tempo, quando si rendono evidenti gli effetti dell'indurimento per esposizione all'aria. Sicuramente essa mostra una duttilità applicativa unica, almeno nel panorama nazionale; questo si deve alla sua lavorabilità, ma anche alla possibilità di utilizzarne contemporaneamente differenti varietà in parti diverse di una stessa costruzione. Se poi andiamo ad indagare quelli che sono considerati utilizzi davvero speciali, scopriremo, indietro nel tempo, cose anche insolite come, ad esempio, qualche vecchio pilozzo per la conservazione dell'olio. Oggi la pietra viene impiegata in lastre sottili per pavimenti e rivestimenti e sempre più in oggetti di arredamento, comprese realizzazioni di alto design. La pietra accetta quasi tutti i trattamenti di superficie tipici delle pietre tenere, fa eccezione, come quasi sempre in questi casi, la fiammatura, normalmente di scarsa efficacia. La lucidatura (la pietra diviene semi-lucida con l'impiego di latte intero) non è consigliabile vista la sua scarsa durezza, almeno nelle zone soggette a calpestio. Di grande efficacia, invece, tutti i trattamenti ad urto, dalla bocciardatura, alla gradinatura, alla scalpellatura.

3.1.1 Classificazione, prestazioni e nomenclatura dei vari tipi di pietra Leccese

La pietra Leccese in base alla profondità di estrazione si differenzia in diverse tipologie, le quali hanno caratteristiche ed impieghi diversi.

Rimosso il cappellaccio, il primo strato di pietra è la Mazzara poi di seguito Pirumafu, Cucuzzara, Dura, Bianca, Dolce, Saponara, Gagginara e Nera con cui termina il banco di sfruttamento.

La **Mazzara**, a scheletro granuloso e con doti di buona tenacità, trova scarse applicazioni, costituendo spesso un detrito da collocare in discarica.

Il **Pirumafu**, la cui etimologia viene fatta risalire a Piru Machu (lotta col fuoco), ha una grande resistenza al fuoco (proprietà refrattarie) ed è particolarmente adatto, quindi, per arredi di caminetti, focolari ed elementi di contorno di tutte quelle parti possibilmente soggette o vicine a calore o fiamme (es: canne fumarie, forni). Mostra un colore verdastro, da chiaro a scuro, per presenza del minerale glauconite, fino al grigio. In caso di impiego con funzione strutturale, il piromafo trova applicazioni solamente nella realizzazione di fondazioni.

La **Cucuzzara** è uno strato presente in volumi ridotti, caratterizzarlo da molti residui marini, che creano difformità.

La **Dura** è la pietra impiegata per il lastricato, in quanto è compatta presentando porosità minima e ha il coefficiente d'imbibizione più basso delle varie stratigrafie.

La **Bianca** è la tipologia migliore per le caratteristiche di resistenza alla compressione. Per questa caratteristica è stata impiegata per il paramento murario, i capi mastri la selezionavano per destinarla ai muri maestri.

La **Dolce**, come già suggerito dal nome è lo strato più morbido, è la preferita dagli scalpellini poiché si presta bene per le lavorazioni di ornamenti.

La **Saponara** è una stratigrafia molto sottile di minore importanza, che prende il nome dalla sua facilità ad aggregarsi nei denti delle seghe.

La **Gagginara**, a differenza dalla Saponara, è la stratigrafia ad oggi più interessante, si presenta con un colore chiaro e spesso rappresenta il 50% del banco di coltivo. Vista la sua profondità, grazie all'introduzione dei macchinari, ha trovato un forte consumo.

La **Nera** è la pietra più dura di tutta la sezione stratigrafica del coltivo e costituisce la parte basale dei banchi produttivi, si presenta di colore nero ed è impiegata per pavimentazioni tipiche.

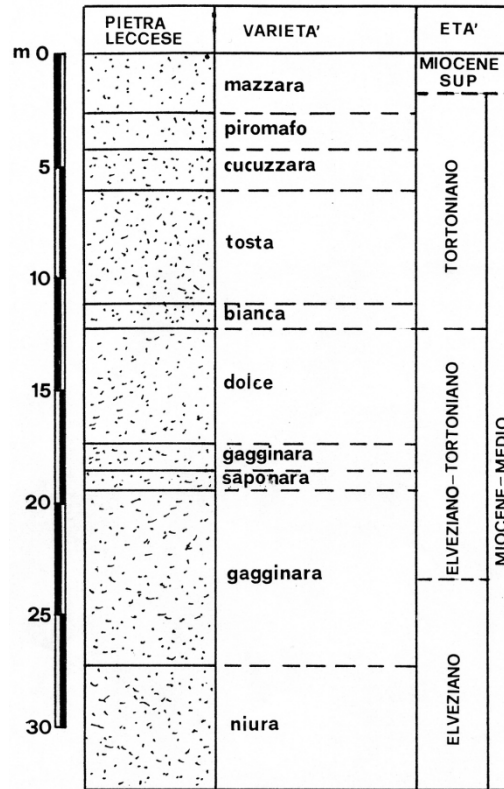


Immagine 2: Stratigrafia del miocene e varietà di pietra Leccese nella zona di Cursi (Fonte Pimar)

Tipo pietra	Profondità (m)	Porosità (%)	Compattezza (grado)	Imbibizione (%)	Resist. Compressione (Kg/cm ²)	Resist. Flessione (Kg/cm ²)	Peso Specifico (Kg/m ³)
Piromafu	2-4	41	0.58	20	151	9.5	2730
Cucuzzara	4-6	35	0.64	12	172	72.5	2770
Dura	6-11	30	0.69	12	203	65.1	2730
Bianca	11-12	36	0.63	14	247	55.6	2770
Dolce	12-16	38	0.61	16	128	55.6	2700
Saponara	17-18	44	0.55	21	170	50.2	2780
Gagginara	18-27	42	0.57	19	165	55.0	2750
Nera	27-30	29	0.71	15	205	68.5	2760

Tabella 3.3. Dati riportati su La pietra Leccese, Tipica Roccia della Penisola Salentina, www.tecap.it, 1996

3.2 Le cave di pietra Leccese

Il territorio salentino, costellato da numerose cave, rappresenta una fonte di ricchezza ed è un esempio di trasformazione produttiva di risorse ambientali. Risorse che derivano dallo sfruttamento delle cave. La coltivazione delle cave è il prezzo che il territorio ha pagato per l'edificazione della città, degli insediamenti nei borghi e delle case rurali. Questi vuoti, che si presentano come terre desolate spesso reimpiegate come depositi di scarti d'estrazione, hanno contribuito alla nascita di bellezze architettoniche civili e religiose che caratterizzano le province di Lecce, Brindisi e Taranto.

Prima dell'utilizzo dei macchinari, l'estrazione si fermava fino ad una profondità di circa quindici metri, mentre oggi si raggiungono i trenta metri.

Le cave di pietra Leccese sono presenti nei comuni di Lecce, Corsi, Melpignano, Corigliano d'Otranto e Maglie.

Nella zona di Corsi – Melpignano sono disposte ai margini del centro urbano, e si sviluppano lungo la strada provinciale di collegamento tra i due comuni, la SP 36. Questa è una zona che conta numerose cave attive ed anche cave ormai abbandonate, le quali da una vista aerea non sono molto percepibili in quanto la vegetazione ne ha preso il possesso. Il comune di Melpignano, nella zona Est è delimitato dalle cave, queste ne ostacolano l'espansione del centro urbano (*Immagine 3*).

Anche nella zona di Lecce sono diverse le cave di pietra Leccese vicine al centro urbano ma ormai non sono più attive e alcune sono in fase di recupero come giardini della città. Un esempio di recupero naturale è dato da una cava sita vicino all'ingresso della città di Lecce, la quale si è rigenerata in un parco naturale con vegetazione spontanea, ora riportata alla luce dal WWF, è diventerà un parco urbano, nel quale sono presenti piante tipiche del territorio.

Le cave di pietra Leccese si presentano molto suggestive, l'estrazione della pietra avviene via via per blocchi squadrati di diverse dimensioni, le pareti di cava e il piano di calpestio sono segnati da un reticolato di solchi. Sulle pareti sono leggibili gli strati di estrazione e le dimensioni dei blocchi estratti, il piano di calpestio di cava riconduce all'idea di un piano pavimentato. A rendere meno affascinante la scena, sono gli enormi cumoli di scarti

presenti, i quali saranno impiegati come riempimento una volta che l'estrazione sarà terminata.

La pietra Leccese ha generato un settore produttivo sempre in crescita nella provincia di Lecce, che aumenta l'esportazione dei prodotti all'estero e conta ben 284 bacini estrattivi e imprese attive⁴.



Immagine 3. Vista aerea delle cave di pietra Leccese nella zona di Melpignao e Corsi.

⁴ Fonte, www.internazionalizzazione.regione.puglia.it



Immagine 4. Cava di pietra Leccese sita a Melpignano (Foto di A.M)

3.3 Estrazione della pietra Leccese

La coltivazione della pietra avviene in cave a cielo aperto, coltivate un tempo col sistema a gradini, ed attualmente col sistema a fossa. Nell'impostare la cava, si elimina la parte superiore del banco chiamato cappellaccio, e si procede gradualmente in profondità, dopo aver ottenuto un primo piano di scavo, ben sagomato e opportunamente livellato. Si procede all'estrazione dei conci, mediante una sega a disco verticale dentato si incide il piano di scavo con solchi paralleli. I blocchi vengono poi staccati filare per filare, con una sega a disco orizzontale fino all'esaurimento del materiale esistente sul piano di scavo.

3.3.1 Metodi di estrazione antichi e nomenclatura tradizionale

Prima della meccanizzazione, la coltivazione in cava avveniva per gradini, sfruttando i piani di stratificazione delle rocce, con maestranze che utilizzavano strumenti da lavoro semplici e rudimentali.

In passato la figura principale nelle cave, dette anche *tajate*, erano i *cavamonti* o *cavapietre* i quali ripulivano prima il suolo dalla terra, mettendo a nudo la roccia, ed esportavano i sassi mobili, la roccia affiorante, detta *Mazzara* veniva rotta con le mazze o con i cunei se era troppo grande. La nomenclatura di questo strato di roccia sta ad indicare una persona dai modi rozzi, diventando sinonimo di cafone.

Tramite la *palamina*, un palo di ferro con la parte superiore a sezione circolare (per favorire l'impugnatura), la parte inferiore a sezione quadrata e la punta d'acciaio a scalpello, si effettuava un buco profondo circa un metro e mezzo e di circa tre centimetri di diametro e alla base del buco si calava un cartoccio con polvere da sparo e con un *lucigno* (la miccia), che fuoriusciva dal buco.

Per qualche metro quadrato intorno al foro si accatastavano delle fascine di sarmenti con sopra grossi massi, così che, una volta dato fuoco alla miccia, tutta la potenza dell'esplosione si scaricasse all'interno della roccia e non verso l'esterno. Lo scoppio lesionava il blocco pietroso e ne consentiva lo scavo. Una specializzazione del *cavamonti* era l'estrazione di *cuccetti* delle cave, conci per l'edilizia, di tufo o di pietra Leccese che

avveniva tramite l'uso di seghe a mano; i blocchi di dimensioni maggiori venivano chiamati *pezzotti*.

Si procedeva, quindi, effettuando con lo *zeccu* (piccone costituito da un manico di legno della lunghezza di circa 120 cm e da una testa metallica composta da un braccio più lungo e più stretto) una serie di tacche ad intervalli regolari, dette *cugnere*, che nel caso di blocchi di dimensioni ridotte agevolavano la penetrazione della penna della *mannara* (utensile per modellare i conci, costituito da un manico di legno della lunghezza di 75 cm e con testa metallica a forma trapezoidale con lama piatta) per separarne il concio, *scappatura*, nel caso di dimensioni maggiori servivano ad introdurre dei *cugni*, cunei, di legno o di ferro. Questi, battuti con la *mannara* o con la *mazza* (tozzo martello di acciaio), distaccavano le pietre secondo le dimensioni prescelte.

Successivamente i conci venivano regolarizzati con la *mannara*, al fine di prepararli alla fase di squadratura.

Un prodotto tradizionale sono le chianche ovvero lastre per le coperture delle *lammie*, le terrazze.

Le pietre irregolari non utilizzabili per conci venivano impiegate per altre funzioni edilizie, queste venivano frantumate manualmente dal *cazzafricciu*.

Il *cazzafricciu* si sedeva su un mucchio di pietre irregolari, non molto grandi, lunghe alcune decine di centimetri per almeno due spigoli, e le spaccava battendole con la *mazza*, a volte la pietra veniva picchiata tenendola in mano, senza guanti o altre protezioni.

Nei primi anni di questa attività, nei periodi estivi, i lavoratori si recavano al lavoro a notte fonda, perché le temperature in cava dopo le dieci arrivavano fino a 45°C. L'inizio dei lavori veniva dato dal primo cavamonte, dando un colpo di piccone nella roccia così che il rumore, con la sua eco, si trasmetteva per tutta la cava e gli operai iniziavano a lavorare.

Un'altra figura molto importante per la lavorazione della pietra Leccese è lo scalpellino, il quale sceglieva blocchi molto compatti, senza vene e senza fossili, di dimensioni adeguate al manufatto da produrre, agli elementi ornamentali per edifici (balconi, balaustre, stemmi nobiliari). I ferri del mestiere erano: lu *scarpieddhu* (scalpello) di varie misure,

martelletti metallici e mazzuole di legno, sega, lima ed accetta, squadra metallica e seghetti per la pietra.

In fase di lavorazione, era possibile che una parte di pietra si sfregiasse e in questo caso interveniva *lu mesciu* (il maestro muratore) che preparava un impasto costituito da polvere di pietra Leccese, zucchero e albume, e con questo mastice ricostruiva il frammento asportato o riempiva la porzione mancante.

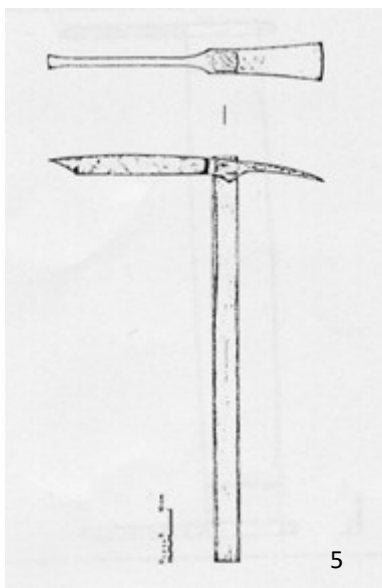


Immagine 5. Zeccu
(Fonte Galante, 1999-2002)

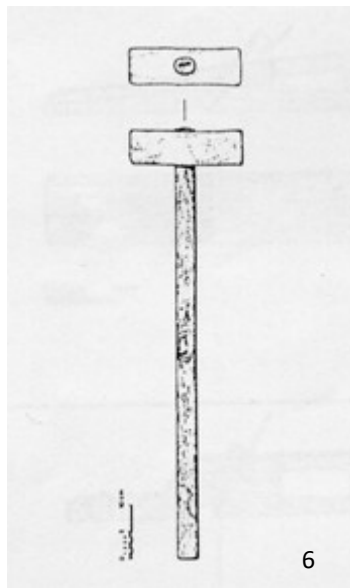


Immagine 6. Mazza

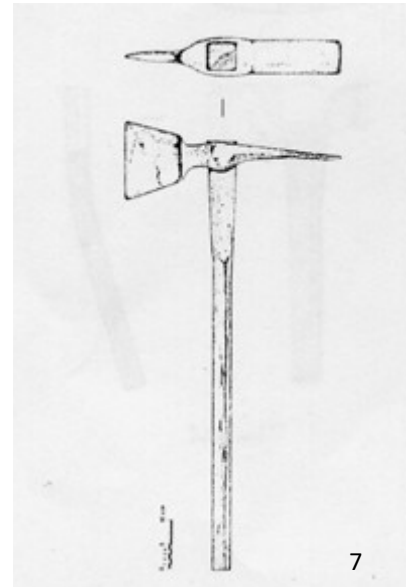


Immagine 7. Mannara

3.3.2 Metodi di estrazione moderni

L'introduzione dei macchinari ha facilitato molto l'estrazione della pietra, riducendo la fatica fisica dei cavaatori e il tempo di estrazione permettendo di aumentare la produzione.

Le fasi di lavoro nelle cave di pietra Leccese sono:

- **decespugliamento**: consiste nel rimuovere il terreno vegetale, compresi alberi ed arbusti, sino allo strato di roccia madre, con l'ausilio di escavatori a pale meccaniche gommate e cingolate.
- **sbancamento**: consiste nell'eliminare il cosiddetto cappellaccio costituito essenzialmente dal primo strato della roccia madre. Questa operazione può

richiedere l'impiego di esplosivi, nel caso in cui lo strato di roccia presenti una durezza notevole; diversamente si opererà impiegando pale cingolate.

- **livellamento:** questa operazione è effettuata con l'ausilio di macchine elettriche da taglio quali la scalzatrice e la intestatrice. L'intestatrice si muove su binari posti su tutta la lunghezza della cava ed ha funzione di tracciare sulla pietra delle linee parallele profonde circa 25 cm.

Ripetuta questa operazione per tre volte, l'intestatrice sarà posta in senso perpendicolare alle linee tracciate precedentemente. Successivamente verrà scavato, con il solo impiego di picconi e mannaie, un pozzetto di forma quadrata avente lato di 75 cm e profondità di 28 cm circa, che servirà per far entrare in azione la scalzatrice, che ha il compito di tagliare la pietra in senso orizzontale. In questo modo si crea la cosiddetta trincea, ovvero un gradino che permetterà alle macchine di potersi muovere ed operare su tutta la lunghezza della cava ed ottenere, laddove la pietra si presenti compatta ed uniforme, la prima linea di blocchi tagliati secondo le dimensioni prestabilite.



Immagine 8. Cava di pietra Leccese sita a Melpignano, evidente strato della tipologia Mazzara(Foto di A.M.)

3.4 Uso della pietra Leccese

La pietra Leccese ha connotato fortemente il tessuto urbano della Puglia costituendo, in passato come ancora oggi, il materiale principale per la realizzazione di opere edili e ornamentali.

È la pietra simbolo del barocco, le sue caratteristiche permettono di scolpirla con molta facilità, il suo colore tenue regala luce a facciate di monumenti.

In passato essa ha svolto prevalentemente il ruolo di pietra da costruzione con funzione portante, dimostrando tutta la sua versatilità nelle più svariate applicazioni costruttive, mentre oggi con il crescere della tecnologia edilizia, alcuni elementi strutturali sono stati sostituiti da prodotti e sistemi più innovativi. Tra i prodotti tradizionali in pietra Leccese, diversi mantengono ancora il loro uso originario perpetuando la tradizione e il carattere del territorio salentino.

Nel corso dei decenni, la pietra leccese si è quindi affermata come elemento di finitura: diverse sono le applicazioni di lastre di rivestimento e lastre per schermi avanzati (brise-soleil e facciate ventilate).

La pietra Leccese viene impiegata sempre di più per la realizzazione delle opere di diversi architetti che rimangono affascinate dalle sue proprietà. Ad esempio Alvaro Siza, ha realizzato diverse opere in pietra leccese e ha scritto *“Disegnare la pietra”* in cui esprime il suo apprezzamento per questo materiale.

Disegnare la pietra

Al principio c'era il disegno sulla pietra all'interno delle caverne o sulle pareti che il tempo ha solidificato. Si disegnava la pietra per fermare un momento nel tempo.

A volte le epoche si sovrapponevano nel disegno, ma si conservava la pietra.

Tutto è cominciato prima di Fidia. Altri lo hanno seguito e reinterpretato. Michelangelo, Borromini e tanti altri si sono serviti del disegno e hanno abusato della pietra. Altri invece hanno abusato del disegno impiegando la pietra.

A Lecce la pietra è leccese e si è messa al servizio del Barocco, mantenendo volumi e superfici contemporanee.

A volte - o quasi sempre - l'architettura è scultura, una forma di disegno e di volumetrie perenni.

Plasmare la pietra leccese è contemporaneità.

Amo la pietra per il tatto. Per la sua consistenza, per la texture. Per la luce che riflette nelle finiture. Amo le ombre dei volumi così come quelle delle superfici. Amo l'odore della pietra, quando è bagnata o quando è asciutta, quasi in polvere.

Stimo coloro che lavorano la pietra. Stimo coloro che la disegnano.

ALVARO SIZA

3.4.1 Scultura, monumenti e architettura

Oltre alle applicazioni strutturali, la pietra Leccese è protagonista nella scultura.

La pietra Leccese deve la sua particolare modellabilità alla presenza di argilla che le permette un modellamento a mano e al tornio.

Ha costituito sempre l'elemento riconoscitivo del territorio, il suo uso risale a tempi lontani come testimoniano dolmen ,menhir, chiese, torri, cinte murarie dei primi centri urbani.

Monumento maestoso realizzato in pietra Leccese nel 1397 è il campanile della città di Soletto, meglio conosciuto come la **guglia di Raimondello Orsini del Balzo**.

La costruzione fu infatti voluta dal Conte Raimondello Orsini del Balzo che voleva comunicare alla comunità, di culto griko, una formazione di stampo latino.

Il campanile è alto ben 45 metri e domina tutta la città di Soletto è visibile dai paesi limitrofi.

Ha forma quadrata con cinque diversi ordini, i quali si differenziano e si arricchiscono di decorazioni verso l'alto. Il primo ordine non presenta finestre perché ingloba la vecchia torre, ed è decorato da una cornice di archetti trilobati, gli stessi decori sono riportati per il secondo ordine.

Il terzo ordine presenta bifore (divise in due da una colonna tortile), motivi floreali e archi con teste scolpite, stessi decori per il quarto ordine che termina con una balconata ornata dalla quale parte un corpo ottagonale con una bifora per lato arricchito da colonnine

angolari che sostengono dei leoni alati. La copertura è realizzata con una cupola ogivale rivestita di maioliche colorate e poggia su una balaustra finemente lavorata. Sulla balaustra e sulla cornice ottagonale su cui poggia il cupolino sono visibili alcune ciotole di pietra che contenevano l'olio per l'illuminazione notturna.

Fra la fine del Cinquecento e l'inizio del Settecento, i centri Salentini sono stati investiti da una corrente architettonica che prevedeva ricchezze di decorazioni sulle costruzioni più importanti, soprattutto per le chiese, e la modellazione dei decori era favorita dalle malleabilità della pietra Leccese. Nel corso di due secoli il territorio si è impreziosito di monumenti caratterizzati da questa corrente architettonica chiamata barocco, nello specifico locale, caratterizzata dalle lavorazioni in pietra Leccese viene chiamata barocco leccese.

Lecce è la città esponente del barocco leccese, ma quasi tutti i centri abitati salentini hanno percepito l'influenza del capoluogo.

Il monumento per eccellenza che descrive la bellezza del barocco in pietra Leccese è la Basilica di Santa Croce a Lecce.

La facciata fu realizzata nel 1600 da Gabriele Riccardi, Francesco Zimbalo e Cesare Penna. La facciata si presenta in due ordini, l'ordine inferiore realizzato da Gabriele Ricci, è segnato da sei colonne che sorreggono la trabeazione.

La trabeazione è sormontata da una successione di telamoni raffiguranti figure grottesche o animali fantastici e allegorici che sorreggono la balaustra, ornata da tredici putti abbracciati ai simboli del potere temporale (la corona) e spirituale (la tiara).

Il secondo ordine è dominato dal rosone, profilato da foglie di acanto e di bacche è incorniciato da due colonne corinzie che definiscono la zona centrale da quelle laterali dove sono presenti due nicchie con le statue di san Benedetto e Papa Celestino. Il timpano chiude la facciata con il trionfo della croce al centro.

L'elemento di maggior pregio della facciata è il rosone che diventa il simbolo del barocco leccese e dalla città di Lecce stessa (*Immagine 12*).

Nel complesso, le trionfali decorazioni del frontale di Santa Croce sono l'interpretazione figurativa mai banale e scontata di elementi simbolici ben precisi come fiamme, leoni, pellicani, melograni, che si combinano in un disegno morbido e lieve capace di accostare

senza sforzo immagini pagane e cristiane, alternate a fiori, festoni, animali, angeli, insegne, stemmi e le sfere con la croce.

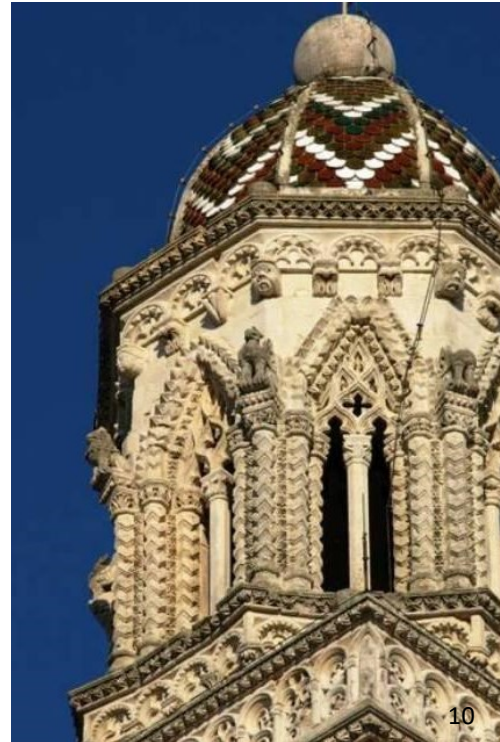


Immagine 9. Guglia di Raimondello Orsini, Soletto (Fonte www.irenemarchese.it)

Immagine 10. Dettaglio quinto ordine, Guglia di Raimondello Orsini, Soletto (Fonte www.irenemarchese.it)

Immagine 11. Facciata Basilica Santa Croce, Lecce (Fonte www.ladoublej.com)

Immagine 12. Dettaglio rosone, Basilica Santa Croce, Lecce (Fonte www.youareinitaly.com)

Di impianto più moderno, ma senz'altro riesce a far fare da padrona alla pietra leccese, è il complesso parrocchiale di San Giovanni Battista a Lecce progettato dagli architetti Franco Purini e Laura Thermes nel 1999.

La pietra Leccese fa da rivestimento a tutte le pareti interne dell'aula religiosa e riveste il portale d'ingresso.

L'aula si presenta come una grande cavità che la pietra Leccese del suo rivestimento fa vibrare attraverso l'illuminazione indiretta che penetra dalle fenditure operate nelle quinte murarie.

L'ingresso è costituito da un piccolo edificio autonomo con copertura inclinata che segnala architettonicamente il passaggio dallo spazio urbano al luogo del culto. Uno spazio che si distingue dall'esterno intonato dell'intero complesso parrocchiale per il suo rivestimento in pietra Leccese (*Immagine 14*).

Oltre al complesso di San Giovanni Battista a Lecce sono numerosi gli esempi di architettura moderna caratterizzata dall'uso di pietra Leccese. Tra le varie opere si possono citare:

- **La stazione marittima - Otranto, di MCA Mario Cucinella Architects**

L'edificio è situato in un contesto storico e scenico, ha una struttura in cemento armato completamente rivestita in pietra Leccese con taglio a piano sega che le conferisce una superficie più ruvida.

La pietra proveniente dalla stessa cava, estratta a profondità diverse, crea un gioco di sfumature e variazioni cromatiche che in particolare ore della giornata vengono esaltate dalla luce del sole.

- **Casa Miggiano - Otranto, di Umberto Riva**

Per la progettazione di questa residenza familiare, Umberto Riva fa riferimento a diverse tradizioni architettoniche pugliesi, come il tema della corte interna, il giardino chiuso da muretti e sopraelevato rispetto alla quota del pergolato d'ingresso. Dalla corte si accede alle unità abitative disposte ai due piani superiori. Dalla scala e dall'ingresso si percepisce lo sviluppo verticale della casa: le rampe e il pianerottolo si staccano dai muri perimetrali del vano scala, lasciando entrare la luce filtrata dal lucernario.

I muri perimetrali in pietra si aprono con tagli verticali che calibrano l'entrata di una luce molto forte. L'edificio è interamente costruito in blocchi di pietra Carparo e pietra Leccese. Le pietre formano un doppio muro diviso da un'intercapedine. Il Carparo intonacato definisce lo spazio del volume, mentre nella parete frontale vengono lasciate a vista delle parti di muratura in Pietra Leccese, di colore più chiaro. A questo muro esterno in pietra corrisponde all'interno un muro di Carparo.

- **Fondazione Sandretto Re Rebaudengo - Torino, di Claudio Silvestrin**

L'edificio è un parallelepipedo rivestito interamente da pietra Leccese.

Dall'esterno sottili tagli verticali ed i grandi ingressi realizzati in legno di cedro, scandiscono il fronte in pietra Leccese, lunghissimo muro semicicco.

All'interno si ritrova la stessa purezza di stile presente all'esterno, il chiarore della pietra accompagna il visitatore fino a dentro le sale, pavimentate in resina dai toni di grigio perlato.

- **Centro commerciale Bari blu – Triggiano (BA), di RTKL**

Il complesso commerciale è caratterizzato da una serie di facciate continue interamente rivestite in pietra Leccese interrotta da blocchi in vetro che segnano i diversi ingressi all'edificio.

Le pareti esterne sono realizzate seguendo le più avanzate tecnologie di sistemi di facciate ventilate. Il paramento esterno di rivestimento è interamente realizzato in pietra Leccese paglierina con alternanza di due diverse finiture liscia e a spacco.

Immagini della pagina successiva:

Immagine 13. Aula, Complesso parrocchiale di San Giovanni Battista, Lecce (Fonte ww.marullocostruzioni.it)

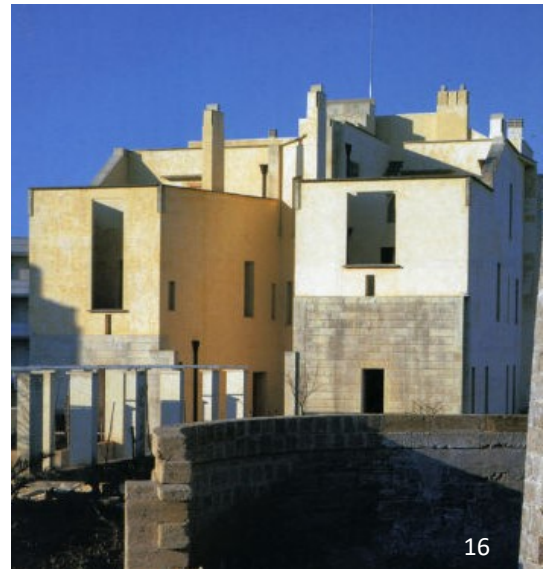
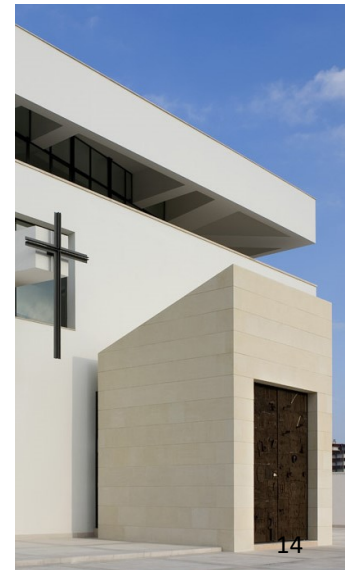
Immagine 14. Dettaglio ingresso, Complesso parrocchiale di San Giovanni Battista, Lecce (Fonte ww.marullocostruzioni.it)

Immagine 15. La stazione marittima, Otranto (Fonte www.mcarchitects.it)

Immagine 16. Casa Miggiano, Otranto (Fonte Turrini, 2011)

Immagine 17. Fondazione Sandretto Re Rebaudengo, Torino (Fonte www.zumaglinigallina.it)

Immagine 18. Centro commerciale Bariblu, Triggiano (BA) (Fonte www.dolmensrlingegneria.it)



3.4.2 Strutture costruttive tradizionali

La ricchezza di pietra nel territorio pugliese ha determinato l'applicazione di questo pregiato materiale nelle costruzioni.

L'architettura rurale pugliese rappresenta l'approccio che l'uomo ha con questo materiale fin dall'antichità.

Elemento di architettura vernacolare di grande rappresentanza per le campagne salentine è il ***Furnieddhu*** detto anche *Pajara*, abitazione rurale per i periodi estivi o depositi di attrezzi agricoli. Il periodo di costruzione non si conosce con esattezza, probabilmente sono stati edificati in periodi successivi a partire dal 1000 d.c. in epoca bizantina.

Questa struttura veniva realizzata con muri a secco costituiti da pietre raccolte nelle campagne, materiale che veniva impiegato anche nella costruzione dei muretti a secco che delimitano le proprietà agricole del territorio.

Strutturalmente sono simili ai più noti Trulli, hanno pianta circolare e forma a tronco di cono, le murature sono spesse e garantiscono confort termico nei mesi estivi e presentano un'unica stanza senza finestre all'esterno. La maggiore difficoltà della costruzione sta nella realizzazione della copertura, per la chiusura della volta si ricorreva ad un impasto di fango e paglia e per facilitare poi la manutenzione, durante la costruzione dei muri si realizzava, addossata ed inglobata in essi, una scala esterna, che oltre ad avere una funzione pratica è diventata elemento caratteristico del *furnieddhu*⁵.

Esistono diverse tipologie, sia per dimensioni che per tipologia costruttiva, i *furnieddi* più antichi sono quelli di dimensioni più piccole e hanno una copertura in tronchi e frasche, successivamente sono realizzati esclusivamente in pietra, alcuni di essi presentano un anello in pietra per reggere il maggiore carico della struttura.

⁵ I ripari trulliformi in pietra a secco sono generalmente costruzioni con struttura interna monocellulare, cioè dotate di un solo ambiente, e sono costruite in pietra a secco secondo il più volte citato principio delle "mensole aggettanti", che permette di realizzare una varietà di pseudo-cupole, specialmente le tholos più classiche. Questo sistema per risolvere la copertura, apparentemente complesso, è in realtà molto semplice, poiché deriva dal sistema del triangolo di scarico, così come la cupola e la volta a botte sono derivate dall'arco a tutto sesto. Il contadino o l'esperto costruttore, dopo aver terminato l'approvvigionamento delle pietre, inizia il procedimento costruttivo scegliendo prima il sito. Successivamente, disegna la planimetria del riparo direttamente sul terreno, che può assumere due forme, quella circolare, più primordiale, o quadrangolare, più recente, differenziando, così, la parte inferiore del volume del riparo. La copertura è risolta solitamente a "tholos", più raramente, a "piramide" o a "barca" rovesciata. Calò F., (2007), *Ripari trulliformi in pietra a secco nel Salento*, Progeca, Tricase (p.55)

Tra le strutture costruttive tradizionali del territorio salentino bisogna citare la **Volta a Stella** che ha caratterizzato l'architettura del posto regalando ambienti di grande fascino.

Per la realizzazione di queste strutture, la pietra Leccese non è la sola protagonista, ma è affiancata da un'altra importante pietra del territorio leccese, il carparo.

Il **carparo** è una pietra calcarenitica, derivante dalla cementazione di sedimenti di roccia calcarea, questa particolare arenaria viene estratta in ambiente marino nelle zone costiere del Salento.

Secondo la qualità e la dimensione dei grani elementari, della qualità del legante naturale, la calcite, e della porosità, il carparo assume diversi aspetti esterni e differenti capacità geotecniche. Presenta caratteristiche meccaniche molto buone, se bagnato, la sua resistenza a compressione può diminuire. Per la buona resistenza all'erosione e la buona impermeabilità è usato anche per i prospetti di palazzi e chiese, o muri isolati, che spesso restano con la faccia vista del carparo senza ulteriore intonacatura.



Immagine 19. *Furnieddhu*(Fonte Wikipedia- foto modificata)

3.4.2.a LE VOLTE A STELLA

La diffusione delle coperture a volte a stella e delle volte a botte è dovuta alla carenza di legname, materiale largamente utilizzato in altre regioni, nell'edilizia storica, sia per le coperture piane sia per i tetti. Le prime costruzioni si possono collocare tra il 1600 e il 1700⁶, in precedenza le coperture delle case nobili erano costruite in tegolato o con canneti.

Nata dalla capacità ingegneristica dei romani, la copertura a volta si è sviluppata largamente nel Salento proprio grazie all'abbondanza della materia prima, la pietra Leccese ed il carparo, particolarmente adatte per le loro caratteristiche fisiche.

Le volte a stella si possono differenziare in volte a spigolo e volte a squadro.

La tecnica della volta a spigolo è abbastanza semplice, richiama le volte a crociera solo che il suo centro è racchiuso da una calotta chiusa nel suo centro dalla chiave di volta che serve a creare le spinte e a dare il giusto equilibrio a tutta la struttura. Tutte le forze vengono scaricate sui pilastri laterali, queste coperture sono utilizzate per stanze medio-piccole (*Immagine 20*).

Per gli ambienti più grandi si utilizzano le volte a squadro, quindi i pilastri d'angolo hanno una forma ad "L", perché i punti di scarico della volta sono due per ogni pilastro.

La costruzione di entrambe è simile, si differenziano per dimensione e per le "punte della stella", nelle volte a spigolo se ne contano quattro, mentre nelle volte a squadro sono otto (*Immagine 21*).

Gli elementi che costituiscono la volta a stella hanno una precisa funzione statica e una distinta conformazione geometrica. La volta a stella è impostata su quattro *pilastri*, sui quali si dispongono le *appese*, particolari pinnacchi, i quali sporgono dal pilastro circa cinque centimetri, creando il caratteristico "dente". Sulle appese si andranno poi a installare le formate, ossia gli archi che definiranno l'altezza e la forma della volta. A questo punto la volta avrà una forma molto simile a quella di una volta a crociera. Lo spazio rimasto, avente la vaga forma di una stella stilizzata, sarà infine coperto da un'ulteriore *calotta* comprendente la chiave di volta, che andrà a innestarsi negli spigoli

⁶ Volte leccesi tra curiosità storiche ed edilizie, www.voltestella.it

tra le unghie. Realizzare una volta a stella significa non solo tagliare e collocare i conci a regola d'arte ma, soprattutto, garantirne la stabilità. La spinta prodotta da una volta è una forza orizzontale applicata alla sommità del muro, in corrispondenza dell'imposta dell'arco, per cui il muro può essere soggetto ad una rotazione verso l'esterno, provocando quindi il crollo dell'intero sistema. Riuscire a stabilire un rapporto dimensionale tra l'intensità della spinta e la misura dello spessore, in modo che la struttura resti in piedi, è il problema principale che il mastro muratore deve risolvere⁷. Per ottenere una volta a stella a regola d'arte, i mastri del settore dovevano avere buone competenze; nel cantiere del passato, ci sono diverse figure fondamentali che dovevano garantire un ottimo lavoro.

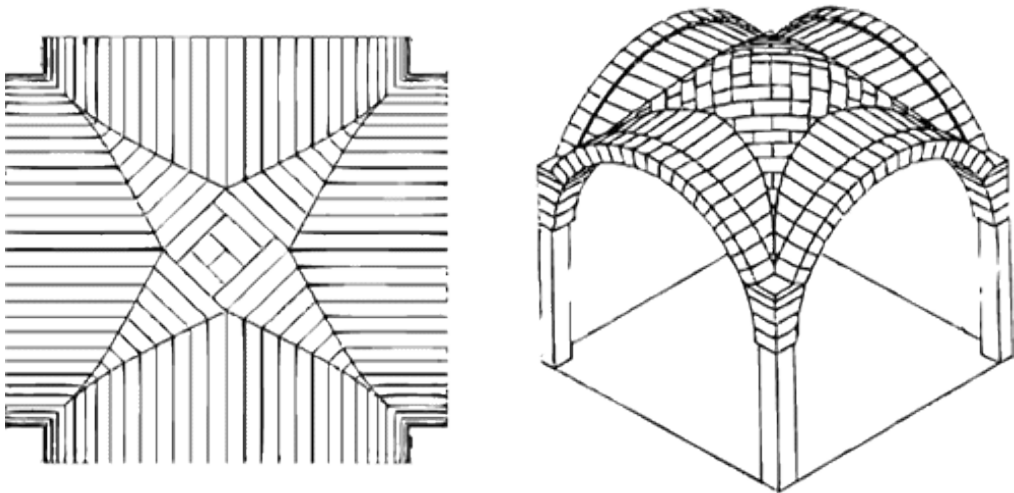


Immagine 20. Volta a spigolo, vista dall'alto e vista assonometrica (Fonte www.pinodenuzzo.com)

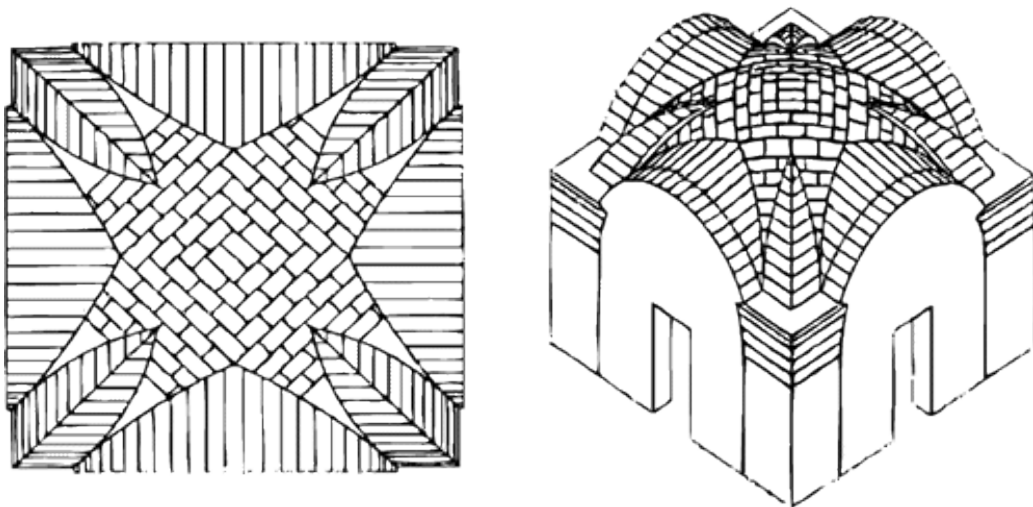


Immagine 21. Volta a squadro, vista dall'alto e vista assonometrica (Fonte www.pinodenuzzo.com)

⁷ Volte a stella: composizione ed elementi, www.voltestella.it

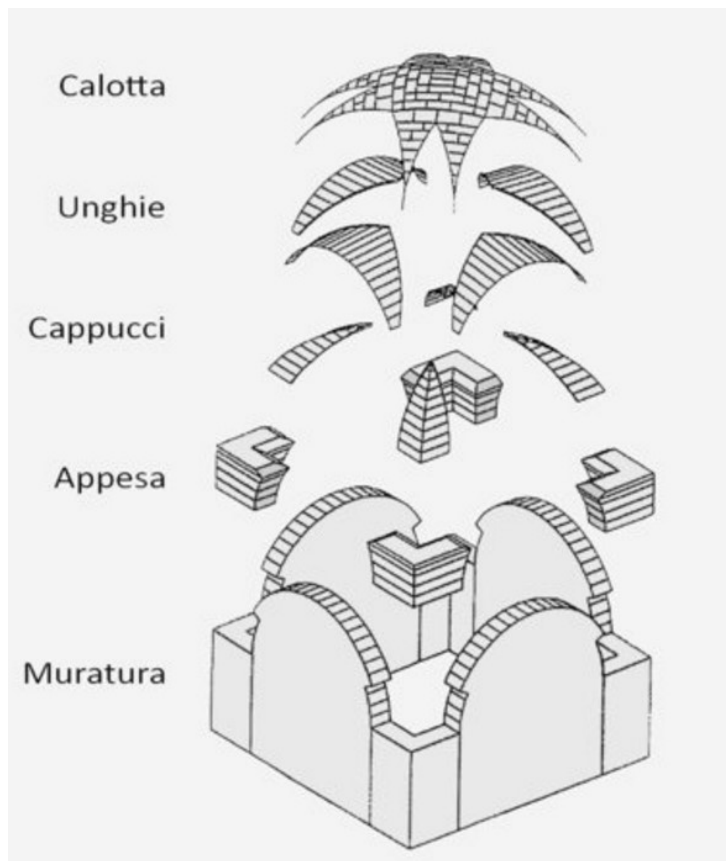


Immagine 22. Nomenclatura volta a squadra(Fonte www.pinodenuzzo.com)

Il compito degli *squadra tufi* era quello di regolarizzare i conci provenienti dalla cava. Questa figura oggi non è più presente in cantiere in quanto, con l'uso delle macchine, i conci di oggi sono già squadrate. Il concio squadrate veniva impiegato per la realizzazione dei pilastri e dei muri.

La forma dei conci per la volta veniva data dai *mesci de mannara* (maestri della mannara, utensile per modellare i conci), figura fondamentale in quanto una precisa sagomatura dei conci consentiva una buona riuscita della volta (Immagine 30).

La collocazione dei vari conci veniva gestita dal *cucchiara*, vero artista e architetto che custodiva le regole e gli espedienti necessari per la costruzione delle volte.

Immagini della pagina successiva:

Immagine 23. Costruzione delle appese

Immagine 25. Costruzione unghie

Immagine 27. Volta senza calotta

Immagine 29. Volta completata

(Fonte www.lacortegiuseppe.it)

Immagine 24. Costruzione arco perimetrale

Immagine 26. Porzione di volta

Immagine 28. Calotta senza chiave di volta

Immagine 30. Mannara





Immagine 31. Volta a stella (Foto di A.M.)

3.4.3 Copertura orizzontale tradizionale: l'uso delle chianche

In Puglia, dal territorio barese fino a tutto il Salento, le coperture piane degli edifici (ad eccezione dei capannoni industriali) si realizzano con lastre di pietra Leccese.

Le sue proprietà di assorbire acqua ma evaporarla la rendono ideale per i lastricati solari.

Le lastre di pietra Leccese impiegati per le coperture piane vengono chiamate *chianche* e hanno dimensioni circa 38x50x 3-4 cm di spessore.

La tecnica del rivestimento, delle coperture solari con lastre di pietra Leccese risale intorno ai primi anni del 1900, tecnica realizzabile grazie all'introduzione del cemento moderno, elemento fondamentale per la sigillatura dei giunti (detti *chiamenti*).

Con l'uso di questo nuovo materiale, le coperture in chianche e giunti di malta cementizia vanno a sostituire le antiche coperture in cocchiopesto.

La disposizione delle chianche avviene su un letto di sabbia o tufina asciutta, necessario per allettare a secco, infatti le lastre non sono incollate ma poggiate su circa cinque centimetri di tufo in polvere. Nei punti più alti, creati per dare la giusta pendenza per lo scolo delle acque, per impedire che si verifichi un abbassamento della lastra nella sabbia, si aggiungono dei sassolini di tufo.

La prima fase di posa prevede la stesura delle fasce di impluvio (dette *mescie*, ovvero maestre, in questo caso sono le fasce di lastre maestre perché sono le prime ad essere posizionate e quelle che determinano la stesura delle altre impostando la pendenza di scolo) e delle fasce perimetrali.

Disposte tutte le lastre, la fase successiva prevede una veloce bagnatura con acqua, in modo da ripulire il giunto dalla tufina e dare umidità alle lastre e alla tufina sottostante il giunto, evitando così il rapido assorbimento dell'acqua di impasto della malta.

Lo spazio tra una lastra e l'altra è di circa un centimetro, uno spessore troppo largo aumenterebbe la fessurazione della malta di sigillatura, mentre uno troppo stretto impedirebbe la giusta penetrazione della stessa.

La chiusura dei giunti (detti, *chiamenti*) avviene con una malta cementizia composta da sabbia fine, cemento ed acqua; per una buona resa, l'impasto deve essere corretto nelle proporzioni dei componenti, viene disposto nei giunti e spennellato sugli spigoli delle lastre.

Finite la sigillatura e la pulizia si bagnano nuovamente le lastre per tenerle umide e per riscontrare, da subito, eventuali lastre fuori quota che formano spigoli o ristagni locali. Le lastre errate si riposizionano immediatamente col giunto ancora fresco.

Con il trascorrere del tempo, sulle chianche si crea uno strato di licheni che consolida la superficie esposta e la conserva integra nel tempo, da non confondere con il muschio (manto verde) il quale grava la capacità di traspirabilità della pietra, si forma in zone in ombra o poco ventilate e dovrebbe essere rimosso per far asciugare dall'umidità la porzione di lastricato interessata. Questo succede più frequentemente, negli ultimi anni poichè i ritmi di estrazione e di commercializzazione sono molto alte, le lastre non sono sufficientemente dure e sono invece impregnate di acqua in profondità; in passato le chianche venivano stoccate all'aperto, anche per molti anni, questo permetteva di poter selezionare le lastre migliori.

Un buon lastricato non ha bisogno di particolari manutenzioni. Nel corso degli anni, in base alla rigidità degli inverni, si possono creare delle fessurazioni, che si possono riparare ridando la malta cementizia.

Il pacchetto della copertura solare prevede la posa dello strato di coibentazione termica di qualunque isolante, lo strato di tufina e le chianche sigillate.

Non necessita di strati impermeabilizzanti come guaine perché impedirebbero la corretta traspirazione del solaio e potrebbero peggiorare lo stato della tufina di allettamento in caso di infiltrazioni di acque riducendo i tempi di asciugatura.

I solai sono spesso umidi non tanto per infiltrazioni esterne ma per l'assorbimento della condensazione dell'umidità degli ambienti abitati.

È la porosità della lastra che favorisce l'asciugatura completa del pacchetto superiore nei giorni secchi o ventosi.



Immagine 32. copertura in chianche durante la fase di costruzione.

Immagine 33. Copertura in chianche realizzata da anni, presenza di licheni sulle lastre (Foto di A.M.)

3.4.4 Le pavimentazioni

L'uso della pavimentazione in pietra Leccese, in passato era frequente per via di una ridotta disponibilità di prodotti sul mercato e quindi si può dire che fosse una scelta condizionata, oggi il settore delle costruzioni propone diverse offerte, e l'applicazione di questo prodotto è una scelta estetica e legata al piacere di arricchire gli spazi.

Le vecchie pavimentazioni interne di lastre in pietra Leccese hanno subito una crisi con l'uso sempre più frequente del cemento e sono state, appunto, sostituite da battuti di cemento.

Nel corso degli anni, sempre più prodotti da impiegare nelle pavimentazioni sono presenti sul mercato. Le lastre in pietra Leccese detengono una buona richiesta di applicazione, sia negli spazi interni che esterni, sia in Italia che all'Estero.

Le lastre utilizzate per l'interno sono a finitura levigata, applicabili con giunti di spessore fine o spesso. Per le lastre esterne, spesso si utilizzano le chianche, in questo caso vengono rettificate sui lati lunghi. Per questo uso sono presenti diversi formati, assemblabili anche con dimensioni differenti. Possono essere di finitura spazzolata, grezza e antichizzata.

Le pavimentazioni esterne sono molto impiegate anche nella realizzazione e nel recupero di piazze pubbliche, spesso nei centri storici salentini, in modo da richiamare il contesto urbano usando lo stesso materiale degli edifici storici.

3.4.5 I rivestimenti di facciate

I rivestimenti in pietra Leccese sono elementi che non hanno un uso storico, sono stati impiegati negli ultimi anni per conferire alle pareti una rifinitura estetica. In passato le murature erano direttamente costruite in pietra Leccese, e non venivano intonacate. Con l'introduzione delle nuove tecnologie costruttive e l'introduzione di nuovi prodotti, le murature non vengono più costruite con blocchi di pietra Leccese e quindi per la finitura vengono impiegate le lastre, le facciate esterne dei palazzi si possono rifare così all'estetica dei palazzi storici.

Le lastre per rivestimenti sono molto usate per i rivestimenti di facciate esterne, e sempre più vengono impiegate per pareti interne in modo da dare carattere agli ambienti.

Diverse sono le finiture: per le applicazioni esterne sono più frequenti gli usi classici, lastre lisce o bisellate, mentre per gli interni con l'uso di macchinari di ultima generazione si creano texture a basso rilievo, la pietra come già detto si presta bene a questo tipo di lavorazioni e consiste di incidere disegni di ogni genere.

Oltre all'impiego classico, ovvero quello di conferire rifinitura estetica alle facciate, la pietra Leccese offre la possibilità di realizzare facciate ventilate e schermature a briso soleil. Negli ultimi anni sono state progettate lastre applicabili a queste richieste costruttive tecnologiche.

3.4.6 Il design

Dagli anni Ottanta la pietra Leccese è stata impiegata nel design e sempre di più acquisisce grande apprezzamento in questo settore, soprattutto da parte di architetti, designer e artisti che la scelgono per la realizzazione delle loro opere.

L'architetto, designer e artista Ugo La Pietra, fin dagli anni Settanta si trova a lavorare con questo materiale e, come lui afferma, se n'è innamorato, ed oggi è coinvolto nel progetto dell'ecomuseo delle cave di Corsi. Ugo La Pietra ha cercato di introdurre il concetto di cultura del materiale, negli anni in cui la pietra Leccese veniva valutata come materiale di scarso pregio e usata solo per le coperture.

L'ultima mostra realizzata dall'artista, ad aprile 2016 al Museo MAGA di Gallarate, chiamata "*Abitare è essere ovunque a casa propria. Opere e ricerche nell'ambiente urbano 1962-2016*", racconta il rapporto tra l'uomo e la città. Vicino alla biblioteca di Gallarate, egli installa un salotto urbano realizzato in pietra Leccese (*Immagine 33*)

Oltre ad Ugo La Pietra al progetto dell'ecomuseo delle cave di Corsi, partecipa un grande architetto portoghese, Alvaro Siza.

Il rapporto tra Siza e la Puglia risale al 2006 quando l'Istituto di Culture Mediterranee della Provincia di Lecce dedica al maestro portoghese una grande mostra. Nel 2014 partecipa alla mostra Stone Stories, la storia della regione Puglia raccontata attraverso le pietre, i grandi architetti che le hanno scelte per realizzare i loro progetti, i cavamonti e gli

scalpellini. Realizza la scultura Rifugio posizionata presso l'antico uliveto in località "Auti Pariti" a Palmariggi (*Immagine 36*).

In occasione del Salone Internazionale del Mobile, a Milano ad aprile 2016, Alvaro Siza ha realizzato il progetto "Disegnare la pietra" per una nota azienda produttrice di pietra Leccese. L'architetto ha studiato l'allestimento dello spazio compositivo, ha accettato l'invito a pensare e interpretare la pietra secondo il suo stile e segno inconfondibile senza vincoli alcuni. Volumi morbidi, scultorei e tagli netti come lame disegnano lo spazio open space dell'allestimento, lasciando che la pietra sia protagonista indiscussa del palco.

Sempre al Salone Internazionale del Mobile a Milano, nel 2013 la pietra Leccese fa da protagonista per le opere dell'architetto Steven Holl, nella mostra *Inversion*.

L'installazione prevede sei blocchi di pietra, alti 1,2 metri tagliati digitalmente con macchine a controllo numerico a cinque assi.

Le forme in pietra dell'installazione corrispondono ai blocchi di pietra rettangolari cavi e ai solidi 'pieni' corrispondenti: si riflettono in uno specchio d'acqua, attraverso il quale le forme dei blocchi vengono percepite dai visitatori nuovamente invertite. La vasca d'acqua è dotata di un sistema di nebulizzazione realizzato da Teuco Guzzini. La sera i blocchi luccicano come lanterne di pietra (*Immagine 35*).

Questo non è il primo lavoro che il grande architetto realizza con la pietra Leccese, la ricerca dello Studio "Steven Holl Architects" sulla pietra Leccese ha preso avvio in occasione della mostra "Su Pietra", organizzata dall'Istituto di Culture Mediterranee, tenutasi nel 2010.

Tra le opere di design in pietra Leccese diverse sono le realizzazioni di Luca Scacchetti, architetto e designer milanese. In occasione del Marmomacc nella edizione di Veronafiere 2006, per la mostra "Abitare il tempo" ha esposto le sedute *Sinusoide Stool*, mentre *Binomio* è il tavolo con piano realizzato in pietra Leccese paglierina e nera sorretto da una struttura in ferro e numerosi sono i vasi disegnati.

Negli ultimi anni vengono realizzati anche lavabi e piatti doccia, anche questi elementi vengono ideati da grandi designer, come lo stesso Luca Scacchetti.

Il Gruppo Foresta, Studio di architettura, ha interpretato le vecchie *pile* (lavatoio).

Forme geometriche elementari tagliano e sagomano i blocchi di pietra Leccese in un crescendo di particolari che rende questa linea estremamente contemporanea.

La cura nei particolari si riflette tanto nelle finiture di lavorazione quanto nei particolari funzionali; l'optional di coprire gli scarichi con piatti in pietra, rappresenta un ulteriore elemento di originalità, che trova il suo coordinato anche nei piatti doccia.

Gli oggetti di design sono concepiti come elementi che partono dalla pietra per ottenere un nuovo oggetto oltre la pietra, che pur non possedendo la ricchezza del tradizionale lavoro artigianale, possiede una nuova dignità, che supera la serialità senza linguaggio, frutto di lavorazioni solo meccaniche.

Immagini della pagina successiva:

Immagine 34. Salotto urbano di Ugo La Pietra (Fonte www.prealpina.it)

Immagine 35. Inversion di Steven Holl (Fonte www.archdaily.com)

Immagine 36. Rifugio di Alvaro Siza (Fonte www.innova.puglia.it)

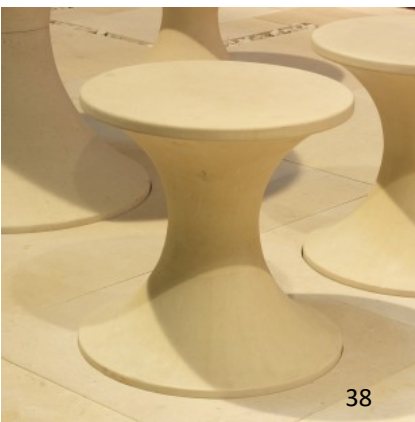
Immagine 37. Scultura di Alvaro Siza (Fonte www.pietraleccese.net)

Immagine 38. Sinusoide Stool di Luca Scacchetti (Fonte www.pimarstore.com)

Immagine 39. Binomio di Luca Scacchetti (Fonte www.pimarstore.com)

Immagine 40. Lavabo di Luca Scacchetti (Fonte www.pimarstore.com)

Immagine 41. Pila di Gruppo Foresta (Fonte www.gruppoforesta.com)



3.5 Il degrado e il restauro

Il livello di degrado che influenza la durabilità della pietra è molto variabile, e dipende dal tipo di pietra utilizzata, dall'esposizione e dalla disomogeneità del materiale, infatti, lo stesso blocco di pietra può avere livelli di degrado differenti in ogni suo punto.

Il fattore che influenza la durabilità della pietra è la compattezza, cioè il numero di pori che la pietra presenta, minore è la porosità e maggiore è la resistenza e quindi la durabilità.

Analogamente a molti altri materiali lapidei, anche la pietra Leccese è interessata da forme di degrado che ne compromettono le prestazioni del materiale stesso.

Le forme attraverso cui il degrado si estrinseca in questo materiale sono abbastanza tipiche e ciò si deve, ancora una volta, alle sue caratteristiche genetiche.

Fra le cause estrinseche, la presenza di umidità rappresenta una di quelle più frequenti.

L'acqua può dare vita a processi di degrado mediante formazione di cristalli di ghiaccio se la temperatura dell'ambiente è bassa, oppure mediante formazione di cristalli costituiti da sali solubili presenti in essa che, a seguito dell'evaporazione dell'acqua dovuta ad una temperatura medio-alta dell'ambiente esterno, si depositano nei pori del materiale.

L'acqua favorisce oltre che il degrado fisico anche il degrado chimico dei materiali, infatti sotto forma di pioggia o di umidità può entrare in contatto con le superfici dei materiali rilasciando le impurità presenti nell'atmosfera, favorendo così la formazione di croste nere.

La presenza di acqua favorisce anche il degrado biologico, poiché sotto determinate condizioni di umidità e temperatura si possono sviluppare dei microrganismi, come alghe, funghi o batteri, che degradano il materiale.

La pietra Leccese si presenta con alta porosità, superficie diffusiva consistente ed un marcato coefficiente di imbibizione, è composta prevalentemente da carbonato di calcio (CaCO_3), questo sale alla presenza di acqua, sottoforma di umidità, e di anidride carbonica disciolta, subisce una reazione trasformandosi in carbonato acido di calcio.

La reazione del carbonato acido di calcio (bicarbonato di calcio) avviene particolarmente in superficie e distrugge il legante del lapideo, portando a deliquescenza con asporto

materico⁸. La pietra Leccese può essere attaccata da acque contenenti anidride solforosa che trasformano i carbonati in solfato di calcio (gesso) il quale, aumentando il suo volume, genera una spinta di pressione tale da determinare rotture e sfaldamenti.

Le tipologie di degrado più comuni per la pietra Leccese sono l'alveolizzazione, l'erosione e la patina biologica.

L'**alveolizzazione** è causata dal movimento dell'acqua all'interno del substrato e dall'azione disgregatrice esercitata dalla pressione di cristallizzazione dei sali all'interno dei pori del materiale lapideo. Sulla superficie si manifestano cavità di forma e dimensioni diverse con distribuzione non uniforme (*Immagine 42*).

L'**erosione** è l'asportazione di materiale dalla superficie dovuta a processi di natura diversa, può essere causata da pioggia battente, da aggressioni chimiche da inquinanti o dalla formazione di ghiaccio negli strati più superficiali (*Immagine 43*).

La **patina biologica** è uno strato sottile aderente alla superficie di natura biologica costituito prevalentemente da microorganismi cui possono aderire polvere e terriccio; è generata da presenza di umidità o acqua, caratteristiche morfologiche del substrato e azione di microrganismi autotrofi (*Immagine 44*).



Immagine 42. Esempio di Alveolizzazione, Piazza S. Giorgio - Melpignano

Immagine 43. Esempio di Erosione, Fronte edificio residenziale - Melpignano

*Immagine 44. Esempio di patina biologica, Muretto di cinta, centro storico Melpignano
(Foto di A.M.)*

⁸ Una parte di questo sale acido, nell'evaporazione, essicca in superficie formando in un primo momento una crosta più o meno dura, successivamente viene esercitato un aumento di pressione con inizio di deterioramento nel sistema. La pietra Leccese, Tipica Roccia della Penisola Salentina, www.tecap.it, 1996

3.5.1 Tecniche di restauro

Per cercare di mantenere la pietra Leccese nelle sue caratteristiche originali, i metodi per contrastare i degradi sono molteplici, alcuni dei quali si sono rilevati nel corso del tempo dannosi.

In passato la pietra veniva immersa nel latte. Infatti il latte, il siero di latte, la caseina, e gli amidi a contatto con la pietra Leccese danno origine a proteinati metallici conferendo la riduzione del coefficiente d'imbibizione. Si sono verificati fenomeni di scartellamento superficiale probabilmente dovuti alla contrazione volumetrica del proteinato metallico sale.

È stato impiegato anche olio di lino, olio di legno e olio d'oliva, il trattamento con questi prodotti porta a una riduzione del coefficiente d'imbibizione ma anche del coefficiente di evaporazione e questo provoca rotture in superficie.

L'uso in superficie di resine epossidiche e poliuretatiche si è rilevato estremamente dannoso, quest'ultime interagiscono con l'umidità e l'acqua di cristallizzazione presente nella pietra, dando origine a formazione di schiume. Le resine epossidiche si distinguono in *resine monocomponenti* e *resine bicomponenti*, le quali entrambe impediscono l'entrata dell'acqua ma allo stesso modo impediscono la fuoriuscita del vapore acqueo. Questo comporta ad successivo distacco in superficie della pietra, generando un degrado maggiore rispetto al degrado che avrebbe potuto causare il tempo.

A favorire diverse soluzioni sono i composti del silicio, il trattamento della pietra Leccese con i silani, produce un minimo ingombro volumetrico dei vacuoli ed una omogeneità di rivestimento rispetto ad altri prodotti. Così viene ridotto il coefficiente di imbibizione, lasciando inalterata o quasi la superficie diffusiva della pietra⁹.

La pietra Leccese ha una sua capacità diffusiva, in grado di espellere l'acqua in eccesso, l'importante è non variare i coefficienti d'origine.

L'ultimo prodotto proposto per ostacolare il degrado della pietra Leccese è "Hybrid". Il frutto di una recentissima ricerca condotta dall'Università del Salento, la quale ha prodotto un protettivo ibrido organico-inorganico, nano strutturato e fotopolimerizzabile,

⁹ La pietra Leccese, Tipica Roccia della Penisola Salentina, www.tecap.it, 1996

trasparente, traspirante ed ecologico, studiato per salvaguardare le pietre porose e con ottimi risultati sperimentali sulla pietra Leccese.

Hybrid non contiene solventi, non è tossico né per l'uomo né per l'ambiente, contiene una componente organica e una inorganica, è nano strutturato cioè le sue componenti hanno dimensioni nanometriche e questo permette di non alterare la cromia della pietra. Applicato in forma liquida, crea in poche ore un film solido conferendo idrofobicità alla pietra, cioè impedisce l'ingresso di acqua ma, allo stesso tempo, permette al vapore acqueo di fuoriuscire.

Dalle analisi di sperimentazione di questo composto protettivo risulta che i campioni di pietra Leccese trattati con il protettivo Hybrid, rispetto ai campioni di pietra Leccese non trattati risultano avere una resistenza maggiore all'abrasione del 65%, una maggiore resistenza dopo cicli di gelo e disgelo e inoltre, grazie al trattamento, la formazione di sodio e zolfo sulla pietra leccese è diminuita rispettivamente del 77% e del 40%¹⁰.

¹⁰ Striani, R., Esposito Corcione, C., Dell'Anna Muia, G., Frigione, M., *Durability of a sunlight-curable organic-inorganic hybrid protectivecoating for porous stones in natural and artificial weatheringconditions*, *Jornal Progress in Organic Coatings*, 101: pp. 1-14, 2016

BIBLIOGRAFIA

- Acocella, A., *L'architettura di pietra: antichi e nuovi magisteri costruttivi*, Alinea Editrice, Firenze, 2004
- Barletta R., *Architettura contadina del Salento. Muretti a secco e pagghiari*, Capone Editore, Lecce, 2009
- Bruno D., Cherubini C., Reina A., *Le rocce tenere del salento: proposta di classificazione con l'uso delle caratteristiche tecniche e meccaniche*. IN: *Geologi e Territorio. Periodico di Scienze della Terra dell'Ordine dei Geologi della Puglia*, n° 2-2007 pp. 37-47, Sagraf S.r.l. – Z.I., Capurso (BA), 2007
- Calò F., *Ripari trulliformi in pietra a secco nel Salento*, Progeca, Tricase, 2007
- Calvo V., Scarola V., *Il degrado dei materiali da costruzione, materiali lapidei naturali ed artificiali, calcestruzzo, acciaio e legno*, Grafill s.r.l, Palermo, 2015
- Galante, S., *Materia, forma e tecniche costruttive in Terra d'Otranto. Da esperienza locale a metodologia per la conservazione*, Dottorato di ricerca in Conservazione dei Beni Architettonici – XVIII ciclo, Università degli Studi di Napoli "Federico II", Facoltà d'Architettura, 1999-2002
- Nicoli, G., *Come costruire le volte a stella, tecniche di costruzione*, Editrice Salentina, Lecce, 2011
- Regione Puglia, *Atlante Temporaneo dei marmi e delle pietre di Puglia, cave, materiali e architettura*, Edizione Giuseppe Laterza, Bari, 2008
- Regione Puglia, *I volti della Puglia che produce. Materiali lapidei*, Stampa Sud S.p.a., Mottola (TA), 2015
- Secchieri, L., *Materiali lapidei: le tecniche di utilizzo nei sistemi evoluti di facciata*, Alinea, Firenze, 2010
- Stella, M., (a cura di), *Le pietre da costruzione di Puglia: il tufo calcareo e la Pietra Leccese*, Quaderno Monografico, IRIS-CNR., Bari, 1991
- Striani, R., Esposito Corcione, C., Dell'Anna Muia, G., Frigione, M., *Durability of a sunlight-curable organic-inorganic hybrid protective coating for porous stones in natural and artificial weathering conditions*, *Jornal Progress in Organic Coatings*, 101: pp. 1-14, 2016
- Bisanzio, *La Guglia di Raimondello, Soleto, 2015*, www.irenemarchese.it [Consultazione Gennaio 2015]
- Di Lullo, G., *Complesso parrocchiale di San Giovanni Battista (1999-2006) di Franco Purini e Laura Thermes*, in *Journal. Architettura di pietra*, 2008 www.architetturedipietra.it [Consultazione Maggio 2016]
- Turrini, D., *Casa Miggiano a Otranto di Umberto Riva*, in *Journal. Architettura di pietra*, 2011, www.architetturedipietra.it [Consultazione Maggio 2016]
- Abitare secondo Ugo la Pietra*, www.prealpina.it [Consultazione Maggio 2016]

Alvaro Siza e la pietra Leccese, Ecade Limestone, www.pietraleccese.net, [Consultazione Maggio 2016]

Basilica di Santa Croce, www.leccenelsalento.it/basilica-s-croce [Consultazione Gennaio 2015]

Dalla lavorazione alle volte: Tecniche di estrazione e lavorazione, www.voltestella.it [Consultazione Gennaio 2015]

Dalle cave alle volte. Tecniche di estrazione, www.voltestella.it [Consultazione Gennaio 2015]

Il cantiere di un tempo: le maestranze delle volte, www.voltestella.it [Consultazione Gennaio 2015]

La pietra Leccese, Tipica Roccia della Penisola Salentina, www.tecap.it, 1996

Le cave pugliesi come risorsa edilizia: il caso delle volte, www.voltestella.it [Consultazione Gennaio 2015]

Le volte a stella nel Salento tra arte e antropologia, www.voltestella.it [Consultazione Gennaio 2015]

Le volte in pietra salentina, www.pietrodenuzzo.com [Consultazione Gennaio 2015]

Pietra leccese e carparo, i materiali delle volte salentine, www.voltestella.it [Consultazione Marzo 2015]

Pietra leccese e volte: bellezza e solidità, www.voltestella.it [Consultazione Gennaio 2015]

Steven Holl in Milan, www.archdaily.com [Consultazione Maggio 2016]

Volte a stella tra curiosità storiche ed edilizie, www.voltestella.it [Consultazione Gennaio 2015]

Volte a stella: composizione ed elementi, www.voltestella.it [Consultazione Gennaio 2015]

NOTA: Nel presente capitolo sono presenti foto scattate da Angela Masciullo (A.M)



*Foto di Angela Masciullo. Fronte Cava fiorito.
Melpignano - 2015*

[...] La pietra leccese ch'è bianca, sebbene uscendo dalla cava abbia una tinta di giallo, e talvolta come di terra d'ombra, è bibula, e che bagnandosi nell'acqua dà odor di terra, a dir propriamente è marnosa. Dessa è così tenera e compatta insieme, che si lavora come legno colla pialla, e colla sega, ed al torno, e meglio anzi, che legno, con uno stecco ancora, coll'unghia, specialmente quando esca fresca dalla cava, come dicesi. [...]

Giovine, G. M., Lettera al Cav. Ab. Carlo Amoretti, in Notizie Geologiche e Meteorologiche della Japigia ossia Provincia di Terra d'Otranto nel Regno di Napoli, Dalla Tipografia di Luigi Mainardi, Verona, 1810

CAPITOLO 4

STRUMENTI DI ANALISI E VALUTAZIONE AMBIENTALE PER PRODOTTI LAPIDEI NELLE COSTRUZIONI

4.1 Life Cycle Assessment ed etichette ambientali

La *Life Cycle Assessment* (valutazione del ciclo di vita, nota con l'acronimo LCA) è una metodologia scientifica ben definita, regolata dalle norme della serie ISO 14040, che consente di misurare i carichi ambientali associati ad un prodotto, un processo o un'attività, identificando e quantificando le risorse utilizzate (input) le emissioni e i residui rilasciati nell'ambiente (output) (ISO 14401), alla quale segue una valutazione dei potenziali impatti sull'ambiente correlati a tali input ed output (ISO 14042) e una interpretazione dei risultati (ISO 14403).

Applicando questo strumento si possono:

- paragonare materiali diversi per uno stesso uso;
- comparare prodotti equivalenti nell'uso;
- comparare diverse soluzioni all'interno di un processo con lo scopo di individuare quelle che consentono di minimizzare gli impatti ambientali;
- identificare processi, componenti e sistemi che contribuiscono in misura maggiore all'impatto ambientale;
- fornire indicazioni nell'ambito di strategie a lungo termine circa le tendenze relative alla progettazione di prodotti e all'uso di materiali;
- aiutare il progettista nella scelta di materiali a basso impatto ambientale nella realizzazione di un determinato prodotto;
- accrescere la competitività sul mercato.

L'LCA è un supporto fondamentale allo sviluppo di determinate tipologie di Etichettatura Ambientale, supporta la definizione dei criteri ambientali di riferimento per un dato gruppo di prodotti (etichette ecologiche di tipo I: Ecolabel) e rappresenta il principale strumento atto ad ottenere una etichetta di tipo III, ovvero una Dichiarazione Ambientale di Prodotto-DAP o, secondo l'acronimo inglese EPD (*Environmental Product Declaration*).

La differenza fondamentale fra Ecolabel (per lo Ecolabel UE cfr. Regolamento CE n. 66/2010) ed EPD (UNI EN ISO 14025) sta nel fatto che il primo identifica secondo determinati criteri qualitativi e quantitativi i prodotti o i servizi migliori dal punto di vista ambientale, mentre la EPD è una dichiarazione delle prestazioni ambientali di prodotto e non comporta una valutazione secondo criteri ma tramite la quantificazione degli impatti. Ambedue adottano una ottica Life Cycle, ma allo stato attuale delle conoscenze, mentre l'Ecolabel, per la sua finalità, tende ad essere

esaustivo nel considerare i diversi aspetti ambientali, ricorrendo a diversi metodi di parametrizzazione ma anche ammettendo giudizi di tipo qualitativo (se pur esplicitati secondo criteri e procedure), la EPD fornisce dichiarazioni di prestazioni ambientali per le quali si dispone di strumenti di parametrizzazione (misurazione e caratterizzazione) su base scientifica, dimostrata da evidenze e secondo procedure ben definite di quantificazione di input ed output.

Un sistema di dichiarazione ambientale deve essere conforme ai requisiti richiesti dalla ISO 14025 e deve essere definito ed implementato al fine di garantire determinate caratteristiche, quali l'oggettività, la credibilità e la comparabilità.

L'oggettività è garantita dalla applicazione di metodi scientificamente validati ed accettati per la conduzione dello studio LCA (Life Cycle Assessment) in accordo agli standard internazionali ISO 14040-14043, al fine di identificare e focalizzare le strategie connesse ai principali aspetti ambientali, la credibilità invece, è garantita da parte di un organismo accreditato indipendente che garantisce la verifica e la veridicità delle informazioni contenute nello studio LCA e nella dichiarazione, mentre la comparabilità viene garantita dall'utilizzo di regole comuni (le Product Category Rules – PCR) per la raccolta e l'elaborazione delle informazioni della dichiarazione, così che i risultati relativi a diversi prodotti della medesima categoria possano essere facilmente comparati.

Pertanto le informazioni contenute in una EPD devono essere elaborate rispettando i requisiti metodologici specifici e rigorosi, appropriati per gruppo di prodotto. Tali insieme di contenuti sono le PCR (Product Category Rules).

L'EPD ha una validità di 3 anni durante i quali è sottoposta ad una revisione di mantenimento annuale, convalidata dall'Organismo competente, per consentire l'aggiornamento dei dati di produzione.

4.2 L'approccio Life Cycle applicato alla valutazione ambientale nel settore delle costruzioni

L'attività edilizia è uno dei settori a più alto impatto ambientale, basato soprattutto sull'inarrestabile consumo del territorio, sull'alto consumo energetico e sulle emissioni in atmosfera ad esso connesse.

Per la costruzione e l'uso degli edifici, nell'UE si utilizza circa la metà dei materiali estratti e del consumo energetico nonché circa un terzo del consumo idrico. Questo settore

genera inoltre circa un terzo di tutti i rifiuti ed è associato a pressioni ambientali che insorgono in fasi diverse del ciclo di vita di un edificio, fra cui la fabbricazione dei prodotti da costruzione, la costruzione, l'uso, la ristrutturazione dell'edificio e la gestione dei rifiuti edili.¹

Il corretto utilizzo delle risorse del nostro pianeta è un tema sempre più di attualità. Questo perché per produrre l'energia necessaria alla vita ed al nostro benessere, utilizziamo risorse naturali che si esauriranno nel prossimo futuro e per questo motivo bisogna puntare ad un uso razionale e ad un consumo senza sprechi.

Da uno studio condotto dall'UNEP (United Nations Environment Programme) emerge che il comparto dell'edilizia incide in Europa per il 40% del consumo energetico complessivo e produce fino al 36% di CO₂. Gli edifici generano impatti sull'ambiente durante la loro vita utile, prima, durante e dopo la loro realizzazione, e anche in fase di eventuale riconversione o dismissione/demolizione.²

Attualmente l'attenzione è su edifici ad elevati standard energetici "Nearly Zero Energy Buildings – nZEB", ovvero "edifici ad altissima prestazione energetica e fabbisogno energetico molto basso, quasi nullo, coperto in larga misura da fonti rinnovabili, compresa l'energia da rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze"³

Il metodo nZEB sembra puntualizzare l'attenzione sugli aspetti legati all'energia in uso degli immobili e al bisogno di dover garantire condizioni di comfort e benessere agli occupanti, non facendo riferimento chiaramente agli altri aspetti che sono coinvolti nella costruzione, e che contribuiscono al tema energetico e a quello ambientale. Non si fa riferimento all'energia impiegata per la produzione dei materiali che concorrono nel raggiungimento degli edifici a energia zero, di quella necessaria per mantenerle nel tempo, né tanto meno di quelle necessarie per costruirli.

L'effettivo livello di efficienza energetica di tali edifici deve altresì essere valutata rispetto all'intero ciclo di vita, aspetto che viene sollevato nella Direttiva stessa quando si afferma

¹ Commissione Europea, Comunicazione della commissione al Parlamento Europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle Regioni. *Opportunità per migliorare l'efficienza delle risorse nell'edilizi*, Bruxelles, 1/7/2014

² Palumbo, E., *Misurare la sostenibilità degli edifici: il valore della LCA*, in *L'Ufficio Tecnico*, Maggioli Editore, n° 9 - 2015

³ *Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia, premessa 10, GU L 153 del 18.6.2010.*

che i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi “dovrebbero essere fissati in modo da conseguire un equilibrio ottimale in funzione dei costi tra gli investimenti necessari e i risparmi energetici realizzati nel ciclo di vita” dell’edificio³.

4.3 Definizione LCA e criteri guida per la sua costruzione

I primi esempi di analisi del ciclo di vita, come supporto alle decisioni, si collocano nei primi anni Settanta da parte di alcune aziende statunitensi e dall’agenzia per la protezione dell’ambiente americana (US-EPA).

Il termine LCA viene coniato nel 1990 durante il congresso SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) di Smuggler Notch a Vermont – USA.

La definizione proposta dalla SETAC per l’LCA è la seguente: *l’LCA è un processo che permette di valutare gli impatti ambientali associati ad un prodotto, processo o attività, attraverso l’identificazione e la quantificazione dei consumi di materia, energia ed emissioni nell’ambiente e l’identificazione e la valutazione delle opportunità per diminuire questi impatti. L’analisi riguarda l’intero ciclo di vita del prodotto (“dalla culla alla tomba”): dall’estrazione e trattamento delle materie prime, alla produzione, trasporto e distribuzione del prodotto, al suo uso, riuso e manutenzione, fino al riciclo e alla collocazione finale del prodotto dopo l’uso.*

Le numerose iniziative per la messa a punto della metodologia LCA iniziano a concretizzarsi nei primi anni Novanta con la pubblicazione di alcuni manuali e di strumenti di calcolo per un suo impiego pratico. La metodologia è stata standardizzata dal comitato ISO (International Standard Organisation) che, sviluppando le linee guida proposte dalla SETAC, attuò le norme:

- UNI EN ISO 14040:2006 Environmental management - Life Cycle Assessment – Principles and framework
- UNI EN ISO 14044:2006 Environmental management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines.

Le suddette norme definiscono le seguenti fasi di analisi:

1. *Goal Definiton and Scoping*: definizione degli obiettivi, del campo di applicazione e dei confini del sistema. In questa fase si definiscono le finalità dello studio, il campo di applicazione del sistema che si vuole studiare, l'unità funzionale a cui riferire i dati e i risultati dell'analisi, il fabbisogno di dati e i limiti dello studio.
2. *Life Cycle Inventory Analysis - LCI*: analisi di inventario. L'inventario consiste nell'individuazione e quantificazione dei flussi in ingresso e in uscita per il ciclo di vita del sistema oggetto di analisi, cioè si individuano e si quantificano risorse, energia ed emissioni in aria, in acqua e suolo in modo da strutturare un vero e proprio bilancio ambientale.
3. *Life Cycle Impact Assessment - LCIA*: analisi degli impatti. L'inventario definito precedentemente viene studiato per analizzare l'impatto ambientale provocato da un processo produttivo o da un'attività. Lo studio viene effettuato mediante l'ausilio di alcuni indicatori di uso internazionale che consentono di quantificare gli impatti e confrontare le eventuali alternative di processo o di prodotto.
4. *Life Cycle Interpretation and Improvement*: interpretazione dei risultati e valutazione dei miglioramenti. È la fase in cui bisogna trarre le conclusioni, identificando le criticità ambientali e mettendo in evidenza le potenzialità di miglioramento sia tecniche che gestionali del sistema analizzato.

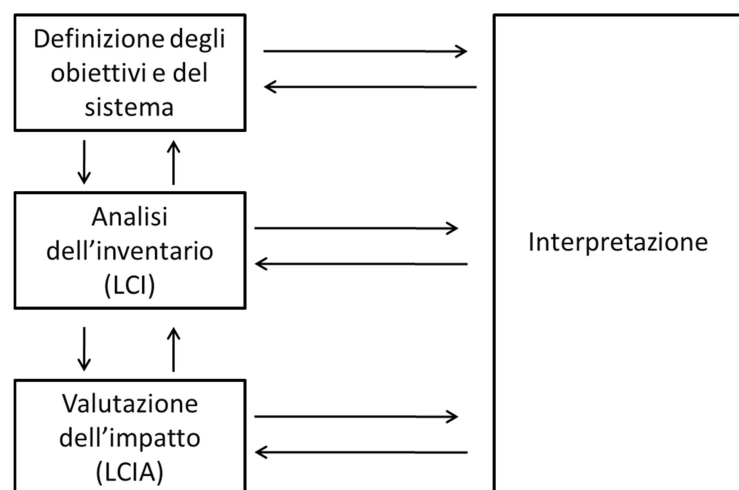


Immagine 1. Fasi della struttura di un'analisi LCA secondo la norma ISO 14040

1. GOAL DEFINITON AND SCOPING

Nella prima fase di applicazione dell’LCA si definiscono:

- l’obiettivo dello studio;
- l’unità funzionale;
- i confini del sistema;
- le categorie dei dati;
- i requisiti di qualità dei dati.

L’obiettivo dello studio deve essere chiaro e coerente con l’applicazione prevista, devono essere chiaramente specificate le funzioni del sistema oggetto di studio e il tipo di pubblico a cui è destinato.

L’unità funzionale è il riferimento rispetto al quale tutti i dati in ingresso e in uscita dal sistema in esame, nonché i risultati, sono normalizzati.

Quindi l’unità funzionale deve essere chiaramente definita e coerente con l’obiettivo e il campo di applicazione dello studio.

I confini del sistema determinano i processi unitari che devono essere inclusi nella LCA, si deve decidere il livello di dettaglio con cui tali processi devono essere studiati. I criteri adottati nello stabilire il confine del sistema devono essere identificati e giustificati. L’eliminazione di fasi di ciclo di vita, dei processi, degli elementi in ingresso o in uscita è consentita solo se non modifica in modo significativo le conclusioni complessive dello studio.

I dati selezionati per la LCA dipendono dall’obiettivo e dal campo di applicazione dello studio. Possono essere raccolti dai siti di produzione associati ai processi unitari entro i confini del sistema, oppure ottenuti e calcolati da altre fonti, quindi possono essere utilizzati insieme dati misurati, calcolati o stimati.

Le macrocategorie in cui sono classificabili i dati sono:

- elementi in ingresso dell’energia, materie prime in ingresso;
- prodotti, coprodotti e rifiuti;
- emissioni in aria, acqua e suolo;
- altri aspetti ambientali.

I dati raccolti devono corrispondere a requisiti di qualità quali:

- copertura temporale: l'anzianità dei dati e la minima estensione del tempo rispetto ai quali i dati dovrebbero essere raccolti;
- copertura geografica: la zona geografica nella quale dovrebbero essere raccolti i dati relativi ai processi unitari, per soddisfare l'obiettivo dello studio;
- copertura tecnologica: tecnologia specifica o combinazione di tecnologie;
- precisione: misura della variabilità dei valori dei dati per ciascuna categoria di dati espressi;
- riproducibilità: valutazione qualitativa del grado con cui le informazioni riguardo la metodologia e i valori dei dati permettono a un esecutore indipendente di riprodurre i risultati riportati nelle relazioni dello studio;
- le fonti dei dati;
- l'incertezza dell'informazione.

2. LIFE CYCLE INVENTORY ANALYSIS – LCI - ANALISI DI INVENTARIO

Nella seconda fase, si definisce il diagramma di flusso che identifica e visualizza le operazioni principali del processo e le loro relazioni e si compilano le schede di raccolta dati, tramite le quali, per ogni operazione unitaria, vengono indicati tutti gli input e gli output associati. I dati raccolti possono essere primari (provenienti da rilevamenti diretti), secondari (ricavati dalla letteratura, banche dati e altri studi) e terziari (definiti sulla base di stime e valori medi).

3. LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT – LCIA - ANALISI DEGLI IMPATTI

La fase di valutazione degli impatti ha lo scopo di evidenziare le conseguenze ambientali causate dalle emissioni e dal consumo di risorse generato dall'attività produttiva in esame. Il consumo di risorse e le emissioni vengono attribuite a categorie d'impatto riferibili ad effetti ambientali conosciuti.

La valutazione degli impatti si articola, generalmente, nelle seguenti fasi:

- classificazione: assegnazione dei dati raccolti nell'inventario ad una o più categorie d'impatto ambientale selezionate;
- caratterizzazione: calcolo dei risultati di ogni indicatore di categoria, si determina il contributo relativo di ogni sostanza emessa o risorsa usata;

- valutazione dell'impatto.

4. LIFE CYCLE INTERPRETATION AND IMPROVEMENT

In questa fase si analizzano in maniera critica i risultati delle fasi precedenti e vengono identificate le componenti del sistema in cui possono essere apportati dei cambiamenti, al fine di ridurre l'impatto ambientale dei processi considerati, coerentemente con gli obiettivi prefissati.

I fattori significativi possono essere:

- categorie dei dati dell'inventario, quali energia, emissioni, rifiuti, ecc;
- categorie d'impatto, quali l'uso delle risorse, il potenziale di riscaldamento globale;
- contributi essenziali delle fasi del ciclo di vita e dei risultati dell'LCA o dell'LCIA, quali il trasporto e la produzione di energia;
- controllo di completezza (si garantisce che tutte le informazioni e i dati siano disponibili e completi);
- controllo di sensibilità (si valuta se i risultati finali siano influenzati dalle incertezze nei dati);
- controllo di coerenza (si determina se le ipotesi, i metodi e i dati siano coerenti con l'obiettivo e il campo di applicazione).

L'analisi LCA si applica secondo diversi approcci che riguardano le fasi di ciclo di vita da includere nell'analisi stessa.

L'approccio **cradle to grave** (dalla culla alla tomba), comprende tutte le fasi dall'estrazione delle materie prime alla fase di fine vita, l'approccio che tratta un ciclo di vita continuo è il **cradle to cradle** (dalla culla alla culla), che analizza anche le fasi dopo il fine vita ovvero il riciclo del prodotto o del sistema. L'approccio che viene maggiormente impiegato per l'analisi di prodotti da costruzione è il **cradle to gate** (dalla culla al cancello) ovvero include tutte le fasi dall'estrazione delle materie prime fino alla fase di messa sul mercato del prodotto.

Per analizzare i prodotti da costruzione si fa riferimento alla norma ISO EN 15804:2012 – *Sostenibilità delle costruzioni – Dichiarazioni ambientali di prodotto – regole chiave di*

sviluppo per categoria di prodotto, la quale fornisce regole quadro per categoria di prodotto (PCR) per l'elaborazione di dichiarazioni ambientali di tipo III per ogni genere di prodotto e servizio per le costruzioni.

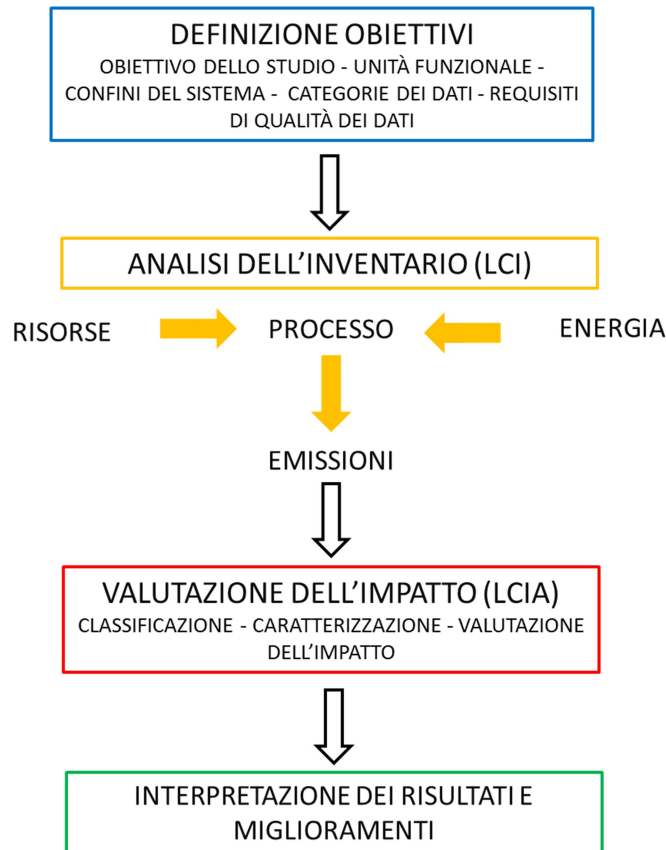


Immagine 2. Schema riassuntivo metodologia LCA

4.4 LCA e EPD nel settore delle costruzioni: la UNI EN 15804

La norma UNI EN ISO 15804, redatta sulla base delle norme UNI EN 14040, UNI EN 14044 e UNI EN ISO 14025, definisce i metodi di calcolo e la struttura delle “dichiarazioni ambientali” dei prodotti da costruzione – EPD, individuando le regole di calcolo secondo la metodologia LCA, i criteri per la raccolta e l'elaborazione dei dati di inventario, i contenuti obbligatori dell'EPD, le indicazioni aggiuntive che possono essere descritte quali informazioni tecniche aggiuntive, nonché le procedure per la verifica e validazione dell'EPD da parte di soggetti indipendenti.

Essa fornisce una struttura per garantire che tutte le Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (o EPD – Environmental Product Declaration) di prodotti da costruzione, servizi di

costruzione e processi di costruzione siano verificate e presentate nel modo stabilito.

Infatti la norma:

- definisce i parametri da dichiarare e i modi in cui sono raccolti e comunicati;
- descrive quali fasi del ciclo di vita sono considerate nella dichiarazione ambientale di prodotto (EPD) e quali processi sono da includere;
- definisce le regole per lo sviluppo di scenari;
- include le regole per il calcolo d’inventario e la valutazione di impatto nell’analisi del ciclo di vita, alla base della EPD, comprese le specifiche da applicare sulla qualità dei dati;
- definisce le condizioni per le quali i prodotti da costruzione possono essere confrontati sulla base delle informazioni fornite nella EPD.

Una EPD, o dichiarazione ambientale di prodotto, si basa su una verifica indipendente di dati di valutazione del ciclo di vita (LCA), ricavati da “analisi d’inventario” riferite al ciclo di vita (LCI) o a “moduli informativi” relativi a determinare fasi del ciclo di vita. Per aspetti pertinenti alla formazione di un giudizio di sostenibilità ambientale, in una EPD i dati possono essere completati con informazioni aggiuntive.

Sulla base della norma, per le diverse tipologie di prodotti sono definite le relative PCR – Product Category Rules (regole di categorie di prodotto), nelle quali è definito il procedimento da seguire per applicare una EPD al prodotto da costruzione.

Nel settore delle costruzioni è bene sottolineare che la valutazione di prestazione ambientale non può essere conclusa con una valutazione di prestazioni ambientali dei prodotti, e che è a livello di edificio che la valutazione è significativa. Gli EPD sono la base per una valutazione olistica dell’edificio, che prende in considerazione le prestazioni funzionali e tecniche in un dato contesto.⁴ La certificazione EPD è uno strumento importante per valutare l’impatto ambientale nel ciclo di vita di specifici prodotti o servizi, ma il produttore può dichiarare solo gli impatti relativi alle fasi del ciclo di vita di cui è direttamente responsabile (generalmente nel settore costruzioni le fasi “dalla culla ai cancelli”), dopo di che, sulla base dei prodotti utilizzati, è possibile analizzare la

⁴ Gargari, C., Hamans, C., Torricelli, M. C., *L’impegno dell’industria delle costruzioni per promuovere la sostenibilità dei prodotti: un approccio comune europeo per le prestazioni ambientali di prodotto*, Techne 5, 2013

prestazione ambientale di un edificio. In questo processo valutativo il riferimento va fatto alle etichette di tipo III ovvero alle Dichiarazioni ambientali di prodotto riferite agli specifici prodotti o servizi utilizzati, a partire dai quali elaborare la valutazione ambientale dell'edificio nel suo ciclo di vita. Il ricorso agli EPD permette una valutazione più puntuale del riferimento a dati generici contenuti nelle banche dati Life Cycle Inventory⁵.

4.5 Indicatori di impatto LCA e di consumo di risorse nella LCA nel settore delle costruzioni

Nella fase di valutazione degli impatti, i risultati dell'inventario vengono espressi come contributi a rilevanti categorie di impatto ambientale. In termini operativi, il processo di caratterizzazione dei flussi di inventario LCI (come definito in ISO 14040) assegna i flussi elementari alle categorie di impatto, quali "cambiamento climatico" e "salute umana", convertendoli alla medesima unità di misura, in modo da organizzare le informazioni elaborate per consentirne una successiva elaborazione ed interpretazione. Ciò permette di rappresentare i risultati della valutazione del ciclo di vita in modo più sintetico e comunicativo.

A livello Europeo il principale e più attuale riferimento per la identificazione delle categorie di impatto e dei relativi modelli di calcolo secondo la metodologia LCA è fornito dal *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook*, per il settore delle costruzioni a livello di edifici e di prodotti il riferimento è ai lavori del CEN TC 350.

Gli indicatori d'impatto connessi con i materiali consumati e le risorse utilizzate sono riferiti al consumo di risorse (*Abiotic Depletion Factor ADF*) e all'uso del suolo, mentre gli indicatori d'impatto che sono causati dai rilasci nell'ambiente di varie sostanze sono: riscaldamento globale (GWP), riduzione dell'ozono presente nella stratosfera (ODP), ossidazione fotochimica dell'ozono nella troposfera (POCP), eutrofizzazione (E), acidificazione (AP) (categorie d'impatto richieste dalla UNI EN 15804 per la valutazione d'impatto) e tossicità per l'uomo (HTP).

⁵ Lavagna, M., *Life Cycle Assessment in edilizia: lo stato dell'arte in Italia*, in Atti del Convegno, Cappellaro, F., Scalbi, S., (a cura di) *LA RETE ITALIANA LCA: PROSPETTIVE E SVILUPPI DEL LIFE CYCLE ASSESSMENT IN ITALIA*, Roma, 2011

Di seguito si descrivono gli indicatori d'impatto analizzati con la metodologia LCA nel presente studio.

CONSUMO DI RISORSE: ENERGIA E MATERIALI

I risultati dei consumi di energia e di materiali di un inventario di un ciclo di vita vengono comunemente forniti separatamente. Di solito si parla di consumo energetico diretto (espresso in MJ) e di consumo di materie prime necessarie allo svolgimento del processo (espresso in Kg). Come nel caso degli effetti ambientali, anche per l'uso di risorse è necessario stabilire un indice che possa correlare gli effetti prodotti dai consumi che si generano in un determinato sistema produttivo con la situazione generale di disponibilità di risorse naturali; in questo modo potrà essere evidenziato l'effetto della diminuzione di tale disponibilità, mettendo in luce il problema della scarsità delle risorse stesse. Possiamo distinguere due tipi di risorse: quelle rinnovabili e quelle non rinnovabili. Appartengono alla prima categoria l'aria, la radiazione solare e le risorse biotiche, alla seconda le materie prime minerarie e il territorio. In generale il concetto di risorsa è strettamente correlato a quello di riserva: ovvero le risorse diventano riserve man mano che la conoscenza della loro disponibilità fisica e le condizioni economiche della loro utilizzazione diventano compatibili con il loro sfruttamento industriale. Dato che il grado di conoscenza geologica dei giacimenti minerari e le condizioni di fattibilità economica dell'estrazione variano nel tempo, esiste un confine dinamico tra risorse e riserve. Il consumo di risorse è quindi riferito all'idea che le riserve e le risorse non rinnovabili diminuiscono in seguito ad attività umane in modo tale che in futuro non possano più essere utilizzate come input nel sistema produttivo. L'indicatore utilizzato è l'ADF (*Abiotic Depletion Factor*, fattore di esaurimento abiotico): esso viene determinato basandosi sulla stima delle riserve disponibili per le risorse considerate, nonché sul loro tasso di utilizzo.

RISCALDAMENTO GLOBALE (GWP)

Il Global Warming Potential (GWP, potenziale di riscaldamento globale) consente di misurare l'effetto serra dovuto al riscaldamento globale in periodi di tempo diversi, tipo 20 anni, 100 anni e 500 anni. Questo indicatore d'impatto è stato sviluppato per

consentire il confronto degli impatti del riscaldamento globale dei diversi gas che lo generano, fornendo una comune unità di misura. L'unità di misura è Kg CO₂ equivalente.

RIDUZIONE DELL'OZONO PRESENTE NELLA STRATOSFERA (ODP)

Alcune sostanze chimiche possono danneggiare lo strato di ozono protettivo della terra. Questo strato è composto da molecole di ozono e si estende da circa 15 a 50 km sopra la superficie terrestre. L'ozono stratosferico è un gas che filtra le radiazioni solari ultraviolette (UV), quindi l'assottigliamento dello strato di ozono permette alle radiazioni di raggiungere la superficie terrestre, causando cancro della pelle, cataratte, e indebolimento del sistema immunitario.

Mentre in termini di salute ecologica, l'aumento di UV può portare ad una riduzione della resa delle colture e interruzioni nella catena alimentare marina.

Le sostanze dannose per l'ozono sono i clorofluorocarburi (CFC), gli halon, e molti altri prodotti chimici che generano l'assottigliamento dello strato di ozono stratosferico. L'unità di misura con cui viene espresso è il kg CFC-11 equivalente.

OSSIDAZIONE FOTOCHIMICA DELL'OZONO NELLA TROPOSFERA (POCP)

L'ossidazione fotochimica è un particolare inquinamento dell'aria che si produce in giornate caratterizzate da condizioni meteorologiche di stabilità e di forte insolazione, in presenza di abbondanti concentrazioni di ossidi di azoto e di composti organici volatili (VOC). Questi inquinanti emessi nell'atmosfera da molti processi naturali o antropogenici, innescano un complesso sistema di reazioni fotochimiche indotte dalla luce ultravioletta presente nei raggi del sole portando alla formazione di ozono (O₃), acido nitrico (HNO₃), perossiacetil nitrato (PAN), perossibenzoil nitrato (PBN), aldeidi e centinaia di altre sostanze. Tali inquinanti secondari vengono indicati col nome collettivo di smog fotochimico perché sono generati da reazioni chimiche catalizzate dalla luce e costituiscono la componente principale dello smog che affligge molte città ed aree industrializzate. Il contributo di ogni singolo inquinante emesso alla formazione di ozono dipende dalla sua concentrazione nell'atmosfera, dalla velocità delle reazioni fotochimiche coinvolte e dalla reattività dell'inquinante stesso. Per confrontare questi contributi, ad ogni sostanza viene assegnato un Potenziale di Formazione Fotochimica di

Ozono (POCP, Photochemical Ozone Creation Potential), definito come il rapporto tra la variazione della concentrazione di ozono causata dall'emissione della sostanza in esame e la variazione della concentrazione di ozono causata dall'emissione della sostanza presa come riferimento, l'etilene (C₂H₄). L'indicatore della formazione fotochimica di ozono è quindi espresso in kg di C₂H₄ equivalenti.

EUTROFIZZAZIONE

Sostanze nutrienti come l'azoto e il fosforo limitano la crescita di organismi viventi, un rilascio di tali sostanze nell'ambiente genera un abbassamento della concentrazione di ossigeno e quindi si creano effetti negativi sull'intero ecosistema. L'uso agricolo di fertilizzanti e gli scarichi industriali e urbani, in genere ricchi in azoto e fosforo, sono le fonti principali di eutrofizzazione. Questo effetto deve essere considerato separatamente per i suoli e per le acque superficiali, poiché il comportamento della fauna e della flora è diverso nei due habitat. Nel caso di eutrofizzazione di acque superficiali, dove l'effetto più evidente è la crescita smisurata di alghe acquatiche, il conseguente consumo di ossigeno è la causa della diminuzione della quantità di ossigeno presente in acqua. L'indicatore di questa categoria di impatto è kg PO₄ equivalenti.

ACIDIFICAZIONE (AP)

La categoria d'impatto si riferisce al fenomeno delle piogge acide, con le quali ricadono dall'atmosfera particelle, gas e precipitazioni acide. Se questa deposizione acida avviene sotto forma di precipitazioni (piogge, neve, nebbie, rugiade, ecc.) si parla di deposizione umida, in caso contrario il fenomeno consiste in una deposizione secca. Le piogge acide sono causate essenzialmente dagli ossidi di zolfo (SO_x) e, in parte minore, dagli ossidi d'azoto (NO_x), presenti in atmosfera sia per cause naturali che per effetto delle attività umane. La combustione di combustibili fossili, in particolare gli ossidi di zolfo e gli ossidi d'azoto, è la principale responsabile del fenomeno delle piogge acide, che provoca l'abbassamento del pH di laghi, foreste e suolo, con gravi conseguenze per gli organismi viventi, gli ecosistemi ed i materiali. Per la quantificazione degli impatti provocati da tale fenomeno si impiegano fattori di caratterizzazione denominati potenziali di acidificazione (AP, Acidification Potential) che convertono tutte le emissioni in kg di SO₂ equivalenti.

4.6 Studi LCA del settore lapideo

Sono diversi gli studi di LCA applicati a prodotti lapidei e spesso i dati riportati risultano essere disomogenei e variabili. Per applicare la metodologia ad un prodotto lapideo specifico o svolgere uno studio sul settore lapideo è sempre opportuno fare riferimento a studi che utilizzano dati primari.

Nel contesto statunitense lo studio della *University of Tennessee per il NSC*, fornisce nel campo della pietra naturale dati di qualità, in gran parte campionari primari con una restituzione dei risultati in formati diversi in base ai possibili utilizzatori.

A livello nazionale, studi condotti su materiali lapidei per il settore delle costruzioni si riferiscono al Bianco di Carrara, al Perlato di Sicilia e alla pietra Serena.

Gli studi selezionati quali riferimento per la comparazione con il presente studio sono l'analisi LCA sul Perlato di Sicilia (marmo di Custonaci) e sulla pietra Serena.

In particolare lo studio condotto sul comparto lapideo di Custonaci, svolto nel 2009, aveva lo scopo di valutare le sue prestazioni ambientali lastre e piastrelle di Perlato di Sicilia.

Identificato il processo produttivo con i relativi input di ingresso ed output di uscita del processo, i risultati dell'analisi condotta su 1 m³ di piastrelle e di lastre sono i seguenti⁶:

CATEGORIE D'IMPATTO	Unit	PIASTRELLE	LASTRE
AP	kg SO2 eq	1,19	0,77
EP	kg PO4 eq	0,073	0,053
GWP	kg CO2 eq	314,8	200,1
POCP	kg C2H4 eq	0,046	0,029

Tabella 4.1. Impatti per m³ di piastrelle e lastre di Perlato di Sicilia

L'energia totale incorporata ai valori di piastrelle e lastre è, rispettivamente, 1.772 MJ/m³ e 1.168 MJ/m³. Nello studio sono stati applicati anche i criteri richiesti dall'Ecolabel Europeo sulle coperture dure, per pavimenti e per pareti.

Lo studio sulla pietra Serena è stato svolto nel 2010 dal Gruppo LCA del Dipartimento di Architettura della Università di Firenze, finanziato dai produttori e dalla Regione Toscana,

⁶ Dati riportati su *Traverso M., Rizzo G., Finkbeiner M., Environmental performance of building materials: life cycle assessment of a typical Sicilian marble, International J. Life Cycle Assess, 15: pp. 104 – 114, 2010*

volto a definire il profilo delle prestazioni ambientali della Pietra Serena di Firenzuola, nelle tipologie Filare e Masso Grosso, con riferimento alle fasi di produzione in lastre e relativa finitura. Inoltre, la ricerca ha definito anche il profilo delle prestazioni ambientali di sistemi di rivestimento in pietra serena di Firenzuola per pareti verticali e per pavimentazioni interne ed esterne, identificando alcune soluzioni tecniche e i prodotti complementari per la loro realizzazione.

L'unità dichiarata nell'analisi è di 1 tonnellata di pietra Serena per i moduli relativi alle fasi di estrazione e lavorazione primaria comprensiva di segagione dei blocchi e taglio delle lastre grezze per spessori 2-3 cm e 5 cm, e di 1 m² di lastre in Pietra Serena di spessore 2-3 cm e 5 cm per i moduli relativi alla fase di estrazione, di lavorazione primaria e lavorazione secondaria, quest'ultima relativa a finiture superficiali e perimetrali secondo il tipo di impiego. I risultati per una tonnellata di lastre dalla fase di estrazione per il taglio di lastre grezze sono riportati nella tabella seguente:

CATEGORIE D'IMPATTO	Unit	QUARRING		SAVING & CUTTING	TOTAL	
		Filare	Masso grosso		Filare	Masso grosso
AP	kg SO2 eq	2,7E-02	3,2E-02	4,9E-02	7,7E-02	8,1E-02
EP	kg PO4--- eq	7,3E-03	8,5E-03	1,4E-02	2,0E-02	2,2E-02
GWP	kg CO2 eq	5,6E+00	6,4E+00	3,4E+01	4,0E+01	4,0E+01
ODP	kg CFC-11 eq	1,0E-05	1,5E-05	2,9E-05	4,0E-05	4,4E-05
POCP	kg C2H4 eq	1,5E-03	1,8E-03	2,4E-03	3,9E-03	4,2E-03
NON RENEW. FOSSIL	MJ eq	119	163	440	560	603
WATER	m ³	0	0	0,58 (a) 0,48 (b)	0,58 (a) 0,48 (b)	0,58 (a) 0,48 (b)
a-Average value for single trimmed slabs, 2-3 cm thick						
b- Average value for lagstones or trimmed slabs, 5 cm thick						

Tabella 4.2. Impatti e consumo di risorse per tonnellata di lastre, (a)lastre spesse 2-3 cm , (b) lastre di spessore 5 cm, dalla fase di estrazione per il taglio di lastre grezze⁷

Entrambi gli studi hanno utilizzato l'approccio *cradle to gate* definendo tutte le fasi dall'estrazione delle materie prime fino alla messa sul mercato dei prodotti studiati e i dati di inventario sono stati caratterizzati con il metodo CML-IA baseline.

⁷ Dati riportati su *Torricelli M. C., Palumbo E., Measuring the Environmental Sustainability of the Sandstone of Firenzuola: the contribution of the Life Cycle Assessment*. In: *1st International Sustainable Stone Conference*, Carrara 20 Maggio 2016

4.7 Ecolabel europeo e sua applicazione

L'Ecolabel è un marchio europeo di certificazione ambientale per i prodotti e i servizi nato nel 1992 con l'adozione del Regolamento Europeo n. 880/92, e aggiornato secondo il nuovo Regolamento CE n. 66/2010.

Come già detto (paragrafo 4.1) fa parte delle etichettature ambientali di tipo I e fa riferimento alla metodologia LCA.

È uno strumento ad adesione volontaria che viene concesso a quei prodotti e servizi che rispettano criteri ecologici e prestazionali stabiliti a livello europeo.

I criteri ambientali Ecolabel si applicano a tutti i beni di consumo e ai servizi, con eccezione dei prodotti farmaceutici ed alimentari.

I criteri Ecolabel sono definiti a livello europeo per gruppi di prodotto/servizio, usando l'approccio "dalla culla alla tomba" e riguardano il consumo di energia, l'inquinamento delle acque e dell'aria, la produzione di rifiuti, il risparmio di risorse naturali, la sicurezza ambientale e la protezione dei suoli.

Per richiedere il marchio Ecolabel per un prodotto, l'azienda deve compilare la documentazione tecnica specifica seguendo i criteri ecologici della categoria di prodotto a cui deve fare riferimento e, successivamente, inviarla al Comitato dell'UE (CUEME), che avvalendosi del supporto di ISPRA (Istituto Superiore per la Ricerca e Protezione Ambientale) esamina, tramite un'istruttoria, i documenti ricevuti. Se la procedura ha esito positivo, si effettua la Notifica alla Commissione Europea e si rilascia il marchio al prodotto.

Il marchio costituisce un vantaggio competitivo legato all'aumento di visibilità sul mercato e all'allargamento del target clienti. Il logo del marchio è rappresentato da un fiore e garantisce ai prodotti la possibilità di avvalersi di un elemento distintivo, sinonimo di qualità ambientale e prestazionale, riconosciuto su tutto il territorio europeo e che può evidenziare il prodotto sul mercato e attirare il consumatore attento alla salvaguardia ambientale.

L'Ecolabel rientra tra gli strumenti preferiti per lo sviluppo di politiche di acquisto sostenibile, attuate sia nel settore pubblico che in quello privato.

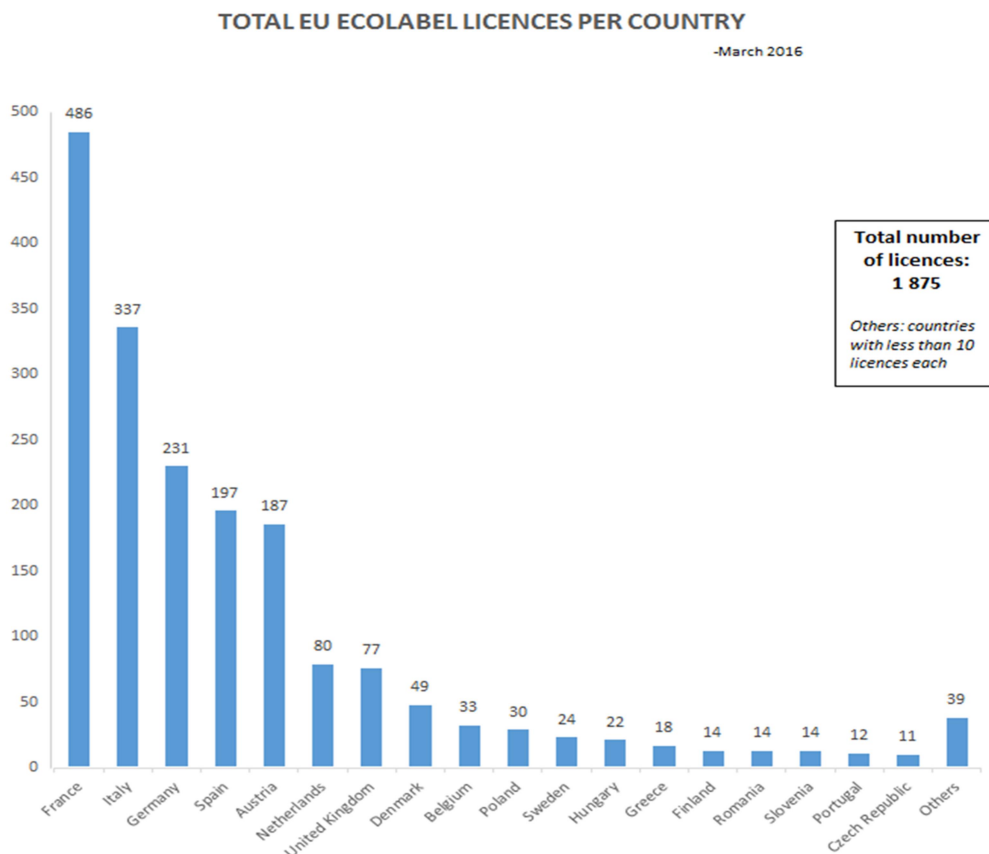


Immagine 3. Grafico per il maggior numero di licenze Ecolabel nelle Nazioni Europee

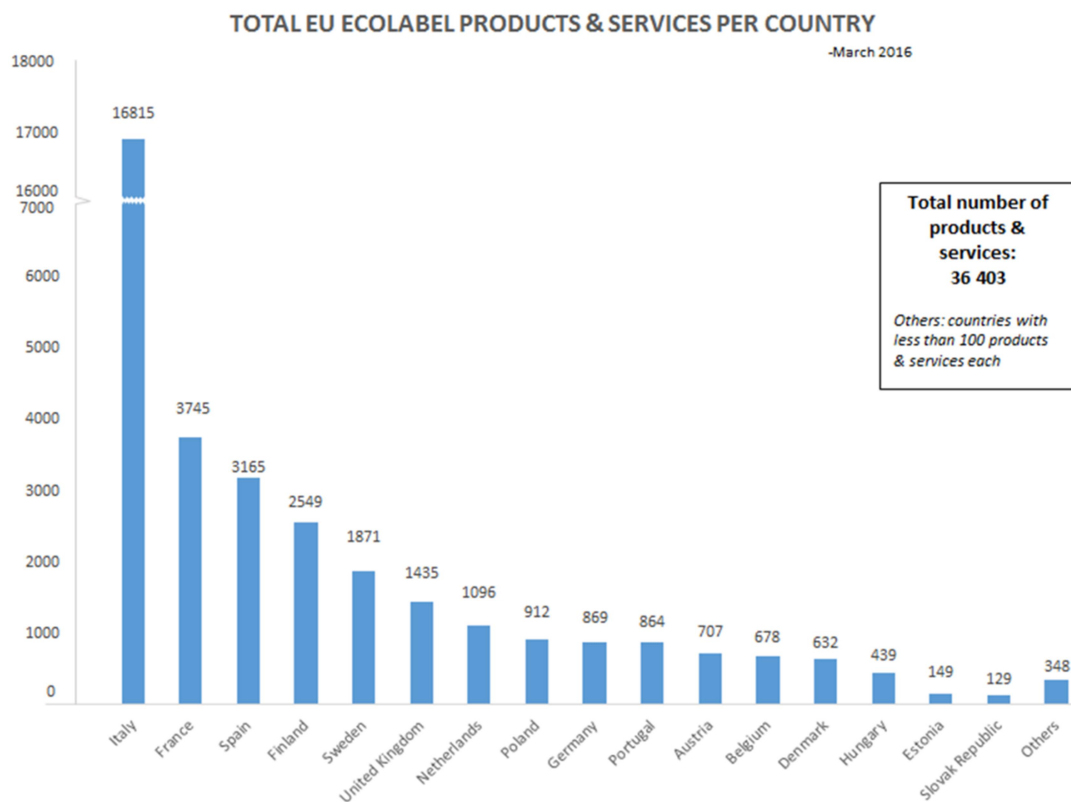


Immagine 4. Grafico per il maggior numero di prodotti e servizi a marchio Ecolabel nelle Nazioni Europee

Fin dalla sua introduzione nel 1992 l'Ecolabel ha visto il numero di servizi e prodotti certificati aumentare di anno in anno. Fino a marzo 2016, si possono contare 1875 licenze concesse e attualmente l'etichetta Ecolabel è presente su più di 36403 prodotti. Durante questo periodo di riferimento, il maggior numero di licenze Ecolabel è stato assegnato in Francia (26%), Italia (18%) e Germania (12%)⁸ (Immagine 3).

Sul totale di licenze, nel periodo di riferimento marzo 2016, la maggior parte dei prodotti/servizi derivano dall'Italia (46%), dalla Francia (10%) e dalla Spagna (9%)³ (Immagine 4).

4.8 Manuale tecnico Ecolabel per coperture dure, per pavimenti e pareti, ISPRA

Per poter beneficiare dell'assegnazione del marchio di qualità ecologica, i prodotti lapidei devono soddisfare tutti i criteri fissati dalla Decisione della Commissione (2009/607/CE), la quale stabilisce i criteri per le "coperture dure". I prodotti premiati con il marchio di qualità ecologica devono inoltre essere conformi alle disposizioni generali del marchio di qualità ecologica del Regolamento CE 66/2010, che stabilisce le norme fondamentali per il rilascio dell'EU Ecolabel.

Il gruppo di prodotti "coperture dure per pavimenti" comprende prodotti duri, per uso interno o esterno, che non abbiano rilevante funzione strutturale: pietra naturale, agglomerati lapidei, masselli, marmette di graniglia, piastrelle in ceramica e laterizi.

I criteri possono essere applicati alle coperture di pavimenti e di pareti se il processo di produzione è identico e si utilizzano gli stessi materiali e gli stessi metodi di fabbricazione. Le valutazioni e verifiche specifiche sono indicate per ciascun criterio.

I prodotti lapidei sono divisi in "prodotti naturali" e "prodotti lavorati". I prodotti naturali includono le pietre naturali (CEN TC 246), che sono pezzi di roccia presenti in natura, tra cui marmo, granito e altre pietre naturali, le cui caratteristiche tecniche sono nel complesso diverse da quelle del marmo e del granito secondo la definizione CEN/TC 246/N.237 EN 12670 "Pietre naturali — Terminologia". Tali pietre non possono

⁸ Dati riportati su www.ec.europa.eu/environment/ecolabel/facts-and-figures.html

generalmente essere lucidate a specchio e l'estrazione non avviene sempre sotto forma di blocchi, come avviene per arenaria, quarzite, ardesia, tufo, scisto.

I prodotti lavorati possono essere suddivisi in prodotti induriti (agglomerati lapidei, masselli e marmette di graniglia) e prodotti cotti (piastrelle in ceramica e laterizi).

I requisiti generali richiesti sono:

- la riduzione degli impatti sugli habitat e sulle rispettive risorse;
- la riduzione del consumo di energia;
- la riduzione delle sostanze tossiche o inquinanti rilasciate nell'ambiente;
- la riduzione dell'uso di sostanze pericolose nei materiali e nei prodotti finiti;
- la sicurezza e l'assenza di rischi per la salute nell'ambiente abitativo;
- le informazioni che consentano al consumatore di usare il prodotto in maniera efficiente, riducendo al minimo l'impatto ambientale complessivo.

Per l'applicazione del marchio *Ecolabel per coperture dure, per pavimenti e pareti* sono richiesti 10 Criteri, con dei sottopunti da rispettare, come riportato nella seguente tabella, in cui è possibile notare i rispettivi criteri da analizzare per tipologia di prodotto.

Schema dei criteri applicabili a ciascuna famiglia di prodotto								
Criterio	Pietre naturali			Prodotti lavorati				
	Marmo	Granito	Altro	Prodotti induriti			Prodotti cotti	
				Agglomerati lapidei	Masselli	Marmette di graniglia	Piastrelle di ceramica	Laterizi
1 Estrazione delle materie prime								
1.1 Gestione dell'estrazione	•	•	•					
1.2 Gestione dell'estrazione				•	•	•	•	•
2 Selezione dei materiali	•	•	•	•	•	•	•	•
3 Operazione di finitura	•	•	•					
4 Processo di produzione								
4.1 Consumo energetico				•		•	•	•
4.2 Consumo ed uso di acqua				•	•	•	•	•
4.3 Emissioni in aria				•	•	•	•	•
4.4 Emissioni in acqua				•	•	•	•	•
4.5 Cemento				•	•	•	•	•
5 Gestione dei rifiuti	•	•	•	•	•	•	•	•
5.1 Gestione dei rifiuti	•	•	•					
5.2 Riciclo dei rifiuti				•	•	•	•	•
6 Fase d'uso								
6.1 Rilascio di sostanze pericolose							•	•
7 Imballaggio	•	•	•	•	•	•	•	•
8 Idoneità all'uso	•	•	•	•	•	•	•	•
9 Informazioni per i consumatori	•	•	•	•	•	•	•	•
10 Informazioni da riportare sul Marchio Ecolabel	•	•	•	•	•	•	•	•

Immagine 5. Tabella dei criteri Ecolabel ripresa dal Manuale tecnico Ecolabel per coperture dure per pavimenti e pareti, ISPRA

Solo per le pietre naturali si applica il Criterio 3 – Operazione di finitura.

Per le pietre naturali non sono richiesti il Criterio 4 - *Processo di produzione* e il Criterio 6 – *Fase d'uso*, ma quest'ultimo è richiesto solo per i prodotti lavorati cotti.

Il criterio 1 – *Estrazione delle materie prime* è composto da due *sottocriteri* 1.1 - "*Gestione dell'estrazione*" e 1.2 - "*Gestione dell'estrazione*". Il primo *sottocriterio* si applica solo alle pietre naturali (secondo quanto riportato sulla Decisione della Commissione del 9 luglio 2009).

Le cave e le attività estrattive di pietra naturale per rispondere al Criterio 1.1 – *Gestione dell'estrazione*, devono ottenere un punteggio ponderato minimo di 19 punti calcolato sulla base di una matrice di 6 indicatori.

Invece il Criterio 1.2 – *Gestione delle materie prime*, riguarda la richiesta della documentazione relativa al "Progetto dell'attività di estrazione e recupero ambientale".

In particolare, il richiedente fornisce un rapporto tecnico e i documenti seguenti:

- l'autorizzazione dell'attività di estrazione;
- il piano di recupero ambientale e/o la relazione sulla valutazione dell'impatto ambientale;
- la cartina che indica l'ubicazione della cava;
- la dichiarazione di conformità alla direttiva 92/43/CEE del Consiglio (habitat) e alla direttiva 79/409/CEE del Consiglio (uccelli).

Per la definizione degli altri nove criteri, i quantitativi degli indicatori richiesti per ogni criterio devono rispettare le soglie definite dal manuale Ecolabel.

L'Ecolabel attesta ai consumatori determinati livelli di prestazioni ambientali offerti da un prodotto, fa una valutazione ambientale sull'intero ciclo di vita di un prodotto, basandosi su dati quali-quantificativi valutati per punteggi ponderati e da soglie limite.

4.9 Riferimento alla EPD e all'Ecolabel nella presente ricerca

Come descritto, EPD ed Ecolabel vengono applicati per determinare l'impatto ambientale di un prodotto o di un servizio.

L'EPD adotta in modo esclusivo l'LCA ponendo a base della dichiarazione ambientale di prodotto uno studio LCA con una visione globale, in cui sono presi in considerazione tutti i

processi di trasformazione, a partire dall'estrazione delle materie prime fino allo smaltimento (ed eventualmente riciclo/recupero) dei prodotti a fine vita, passando per le fasi di lavorazione ed utilizzo, con un approccio per moduli relativi a diverse fasi del ciclo di vita, così da potere distinguere EPD riferite a LCA per alcuni moduli e informazioni aggiuntive su ipotesi di scenari per altre fasi .

Nonostante le numerose applicazioni e la capacità nell'identificazione di impatto ambientale in riferimento al processo produttivo di un bene, un servizio o un prodotto, la metodologia LCA presenta dei limiti che riguardano soprattutto la raccolta e la disponibilità di dati completi e precisi. Questo può essere superato in vari modi, ad esempio effettuando ipotesi coerenti ed utilizzando dati provenienti da database ritenuti affidabili.

I modelli utilizzati per l'analisi d'inventario o per la valutazione degli impatti non sono adatti a qualunque applicazione e non sono in grado di descrivere in modo completo qualsiasi impatto ambientale. La disponibilità e qualità dei dati possono limitare l'affidabilità dei risultati pertanto sussiste la necessità di lavorare con un set di dati consistenti e documentato.

L'LCA inoltre elabora indicatori d'impatto su scala globale (ad esempio, cambiamenti climatici) o regionale (Europa, Europa centrale ecc.), allo stato delle conoscenze e della disponibilità di dati, gli impatti connessi a caratterizzazioni su scala locale quali impatto sul suolo e sull'acqua son ancora poco riconosciuti e condivisi in norme.

L'etichettatura Ecolabel, come già detto definisce prodotti e servizi a basso impatto ambientale, che viene garantito dal rispetto di definiti criteri ecologici riguarda aspetti ambientali valutabili anche a livello locale come la protezione del suolo e l'inquinamento locale dell'aria e dell'acqua, oltre a quelli di scala globale come il consumo di energie non rinnovabili, di risorse naturali e la produzione dei rifiuti.

Nello specifico, l'Ecolabel applicato a *Coperture dure, pavimenti e pareti*, distingue per i lapidei due categorie di prodotti, pietre naturali e prodotti lavorati, alle quali non richiede tutti e dieci i criteri enunciati per la categoria in genere, ma li stabilisce per categoria. Per le pietre naturali non è previsto il Criterio 4 relativo al processo di produzione, ma viene

richiesto il Criterio 3 attinente alle opere di finitura, il quale include solo indicatori di emissioni in acqua e in aria e il quantitativo di acqua riciclata.

Quindi secondo i criteri da applicare alle pietre naturali, non si definiscono i consumi energetici necessari all'estrazione e alla lavorazione dei prodotti. A differenza dell'analisi LCA (UNI EN 15804), lo strumento Ecolabel, stabilisce indicatori per tipologia di processo produttivo senza includere dettagliatamente tutte le fasi produttive. Gli indicatori richiesti nel criterio 1.1 – *Gestione dell'estrazione* vengono moltiplicati a dei fattori di pesatura che determinano l'impatto sul contesto locale, protezione del suolo, densità della popolazione in prossimità delle cava e interferenza del corpo idrico.

Facendo riferimento a queste considerazioni, il presente studio applicherà i due strumenti in modo da integrare più criteri. Con l'analisi *Life Cycle Assessment* secondo la UNI EN 15804 per gli EPD nelle costruzioni si otterranno dei risultati di impatto ambientale a livello globale, confrontabili con altri studi LCA svolti su prodotti lapidei e integrando con alcuni criteri del Ecolabel *Coperture dure, pavimenti e pareti* si svolgerà un'analisi sull'impatto ambientale locale generato dall'estrazione della pietra.

Di seguito si riportano i criteri Ecolabel *Coperture dure, pavimenti e pareti* che verranno applicati.

CRITERI ECOLABEL	PIETRE NATURALI
1 Estrazione delle materie prime	
1.1 Gestione dell'estrazione	•
2 Selezione dei materiali	•
3 Operazioni di finitura	•
4 Processo di produzione	
4.1 Consumo energetico	
4.2 Consumo ed uso di acqua	
4.3 Emissioni in aria	
4.4 Emissioni in acqua	
4.5 Cemento	
5 Gestione dei rifiuti	•
5.1 Gestione dei rifiuti	•
5.2 Riciclo dei rifiuti	
6 Fase d'uso	
6.1 Rilascio di sostanze pericolose	
7 Imballaggio	•
8 Idoneità all'uso	•
9 Informazioni per i consumatori	•
10 Informazioni da riportare sul Marchio EColabel	•

Immagine 6. Tabella Criteri Ecolabel per le pietre naturali. In verde è selezionato il criterio che viene analizzato nel presente studio.

La seguente immagine fa riferimento ai moduli di processo per la valutazione edilizia ed è riportata nella norma UNI EN 15804. La valutazione LCA del presente studio sarà applicata strettamente ai moduli A (A1: estrazione delle materie prime; A2: trasporto al produttore; A3: produzione).

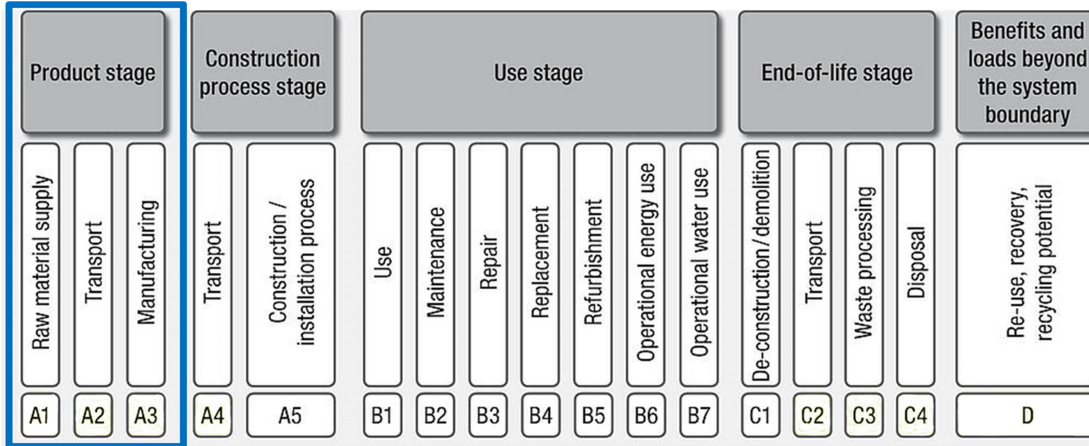


Immagine 7. Moduli di processo per la valutazione edilizia riportati nella norma ISO 15805. In blu sono selezionati i moduli che vengono analizzati nel presente studio.

BIBLIOGRAFIA

Asdrubali, F., *The Role Of Life Cycle Assessment (Lca) In The Design Of Sustainable Buildings: Thermal And Sound Insulating Materials*, Acta Acustica United With Acustica, pp. S118-, 2009

Commissione Europea, *Comunicazione della commissione al Parlamento Europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle Regioni. Opportunità per migliorare l'efficienza delle risorse nell'edilizia*, Bruxelles, 1/7/2014

EC, JRC, IES, (ILCD) Handbook Framework and requirements for LCIA models and indicators, First edition March 2010. EUR 24586 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union; 2010

Gargari, C., Hamans, C., Torricelli, M. C., *L'impegno dell'industria delle costruzioni per promuovere la sostenibilità dei prodotti: un approccio comune europeo per le prestazioni ambientali di prodotto*, Techne 5, 2013

Gargari, C., Palumbo, E., Torricelli, M.C., *"Profilo ambientale della pietra serena di Firenzuola: processo produttivo e nuovi impieghi"*. In: (a cura di) S.Scalbi, F.Reale, *Life Cycle Assessment e ottimizzazione ambientale: esempi applicativi e sviluppi metodologici*. p. 163-169, ENEA, ISBN: 9788882862923, Milano, 27-28.06.2013

Giordano, R. *I prodotti per l'edilizia sostenibile, la compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio*, Napoli, Esselibri, 2010

Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, *DECISIONE DELLA COMMISSIONE del 9 luglio 2009 che stabilisce i criteri ecologici per l'assegnazione del marchio comunitario di qualità ecologica alle coperture dure (notificata con il numero C(2009) 5613)*, 12.08.2009

ISPRA, *Manuale Tecnico Ecolabel per coperture dure, per pavimenti e pareti*.

Lavagna, M., *Life Cycle Assessment in edilizia: lo stato dell'arte in Italia*, in Atti del Convegno, Cappellaro, F., Scalbi, S., (a cura di) *LA RETE ITALIANA LCA: PROSPETTIVE E SVILUPPI DEL LIFE CYCLE ASSESSMENT IN ITALIA*, Roma, 2011

Mendoza, J. M. F., Feced, M., Feijoo, G., Josa, A., Gabarrell X., Eieradevall, J., *Life cycle inventory analysis of granite production from cradle to gate*. International J. Life Cycle Assess, 19: pp. 153 – 165, 2013

Mendoza, J. M. F., Sola, J.O., Gabarrell, X. Josa, A., Rieradevall, J., *Life Cycle assessment of granite applications in sidewalks*, International J. Life Cycle Assessment, 17: pp. 580 – 592, 2012

Nicoltti, G. M., Notarnicola, B., Tasselli, G., *Comparative Life Cycle Assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles*. Journal of Cleaner Production, 10: pp. 283 - 296, 2002

NSC Natural Stone Council, *A Life-Cycle Inventory of Limestone Dimension Stone Quarrying and Processing*, Report by the University of Tennessee, Center for Clean Products, 2008.

Palumbo, E., *Misurare la sostenibilità degli edifici: il valore della LCA*, in L'Ufficio Tecnico,

Maggioli Editore, n° 9 - 2015

Scalbi, S., Buttol, P., Naldesi, L., Rinaldi, C., Zamagni, A., *Valutazione ambientale di prodotto ed LCA: l'importanza di banche dati e criteri di qualità dei dati*, in Atti del Convegno di Ecomondo 2010, Maggioli Editore, 2010

Traverso M., Rizzo G., Finkbeiner M., *Environmental performance of building materials: life cycle assessment of a typical Sicilian marble*, International J. Life Cycle Assess, 15: pp. 104 – 114, 2010

Torricelli, M. C., Palumbo E., *Measuring the Environmental Sustainability of the Sandstone of Firenzuola: the contribution of the Life Cycle Assessment*. In: *1st International Sustainable Stone Conference*, Carrara 20 Maggio 2016

Torricelli, M. C., Palumbo E., *Profilo ambientale di materiali e prodotti lapidei nel ciclo di vita* in Garzonio, C.A., Montanari, F., Torricelli, M.C., (a cura di) *Pietra serena. Qualità del prodotto e sostenibilità ambientale*, Libria, Melfi, 2010

UNI EN 14044:2006 *Environmental management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines*

UNI EN 15804:2012 *Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products*

www.ec.europa.eu/environment/ecolabel/facts-and-figures.html [Consultazione Luglio 2016]

CAPITOLO 5

APPLICAZIONE DEGLI STRUMENTI ALLA PIETRA LECCESE IN LASTRE

5.1 Finalità e obiettivi dello studio e scelta di un caso studio

La ricerca di tesi dottorale propone lo studio di strumenti di valutazione ambientale nella loro applicazione a prodotti del settore lapideo nel campo delle costruzioni, al fine di valorizzarne i punti di forza e stimarne i punti di debolezza. Come caso studio è stata scelta la produzione della pietra Leccese. La ricerca ha sviluppato la valutazione ambientale di prodotti lapidei leccesi facendo riferimento al metodo LCA, secondo la norma europea UNI EN 15804:2014 “Sostenibilità delle costruzioni - Dichiarazioni ambientali di prodotto - Regole chiave di sviluppo per categoria di prodotto”, nei moduli relativi alle fasi di produzione, LCA “dalla culla ai cancelli”. Si è fatto riferimento nello specifico anche alle PCR (Product Category Rules) *Marble or other calcareous stone, granite, sandstone and monumental or building stone* – 2009, sviluppate da CET SERVIZI R&S di Isea (TN). La analisi LCA ha portato alla elaborazione di indicatori di impatto a scala globale riconosciuti a livello internazionale: Global warming (GWP100a), Ozone layer depletion (ODP), Photochemical oxidation, Acidification, Eutrophication, Uso di Energia non rinnovabile. Al fine di includere nella valutazione aspetti di impatto “locale” non compresi fra gli indicatori LCA secondo UNI EN 15804, in modo da ottenere una valutazione più efficace, si è fatto riferimento anche ad altri indicatori inclusi nello strumento ECOLABEL e in particolare nello “Ecolabel Europeo per Coperture dure, per pavimenti e pareti”, indicatori riferiti all’uso del suolo, di acqua, alla qualità dell’aria, al rumore.

Per la raccolta dei dati dell’inventario è stato scelto un interlocutore, un’azienda del settore lapideo di pietra Leccese: l’azienda PIMAR di Melpignano (LE), la quale si occupa, da ca. 150 anni, della estrazione e della lavorazione delle pietra Leccese.

L’azienda, che possiede cave di pietra Leccese, site rispettivamente nei comuni di Melpignano, Corsi e Corigliano d’Otranto, la cui estensione copre circa 30 ettari, si occupa dell’estrazione della pietra in blocchi e della trasformazione degli stessi in prodotti per l’edilizia e per l’architettura: dalle chianche, alle lastre per pavimentazione, rivestimenti, lastricati solari, oltre a materiali per l’arredo urbano e scultoreo.

L'azienda è impegnata per una produzione di qualità come testimoniano convenzioni di collaborazione con il Politecnico di Milano e di Bari, ed ha fornito prodotti per opere di grandi architetti come Steven Holl, Alvaro Siza e Ugo la Pietra.

I dati d'inventario, che costituiscono una fase importante dell'analisi LCA, sono stati raccolti in maniera diretta dagli specifici processi produttivi dell'azienda, limitando l'uso dei dati generici per i processi a monte relativi all'energia elettrica e ai carburanti per i trasporti.

Nello specifico i dati relativi alla fase di estrazione sono stati rilevati presso la cava Motta sita a Melpignano, mentre quelli relativi alla fase di lavorazione sono stati rilevati presso lo stabilimento produttivo di Melpignano.

5.2 Valutazione dell'impatto generato sul territorio (impatto locale) dalla estrazione della pietra Leccese secondo indicatori Ecolabel relativi alla estrazione materie prime

Per la elaborazione di indicatori di impatto non contemplati nella UNI EN 15804 al momento della ricerca (cfr. UNI EN 15804:2012-2014 p.6.5 e sg.) e che hanno rilevanza al fine di valutare impatti "locali" come già detto si è fatto riferimento a indicatori proposti per l'etichetta ecolabel, "Ecolabel Europeo per Coperture dure, per pavimenti e pareti"

Questa fornisce fra i dieci criteri da rispettare per ottenere il marchio Ecolabel al **Criterio 1 – Estrazione delle materie prime**, indicatori di valutazione che riguardano appunto la gestione dell'estrazione delle materie prime per i diversi prodotti contemplati e nel caso di nostro interesse per le pietre naturali.

La valutazione del criterio avviene attraverso l'analisi di sei indicatori, sintetizzati nella tabella 5.1¹ in cui si riportano anche i punteggi, valori di soglia e i fattori di ponderazione.

¹ Fonte: Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, *DECISIONE DELLA COMMISSIONE del 9 luglio 2009 che stabilisce i criteri ecologici per l'assegnazione del marchio comunitario di qualità ecologica alle coperture dure (notificata con il numero C(2009) 5613), 12.08.2009*

INDICATORE	Note	classe				Fattori di ponderazione
		5 (eccellente)	3 (buono)	1 (sufficiente)	Soglia	
I.1. Quoziente di riciclo dell'acqua	Acqua di scarico riciclata*100 acqua totale in uscita dal processo	> 80	80 — 70	69 — 65	< 65	W3
I.2. Quoziente di impatto della cava	m ² zona interessata (fronte di abbattimento + deposito attivo)/m ² di zona autorizzata (%)	< 15	15 — 30	31 — 50	> 50	W1, W2
I.3. Scarti di risorse naturali	m ³ di materiale utilizzabile/m ³ di materiale stratto (%)	> 50	50 — 35	34 — 25	< 25	—
I.4. Qualità dell'aria	Limite annuo misurato lungo il perimetro della zona estrattiva. Particelle in sospensione PM 10 (µg/Nm ³)	< 20	20 — 100	101 — 150	> 150	W2
I.5. Qualità dell'acqua	Solidi sospesi (mg/l)	< 15	15 — 30	31 — 40	> 40	W1, W2, W3
I.6. Rumore	Misurato lungo il perimetro della zona estrattiva [dB(A)]	< 30	30 — 55	56 — 60	> 60	W2

Tabella 5.1. Matrice per la valutazione della gestione dell'estrazione delle materie prime per le pietre naturali

Il manuale tecnico che guida l'ottenimento dell'etichettatura Ecolabel stabilisce innanzitutto che le cave e le attività estrattive di pietre naturali devono rispettare le seguenti condizioni:

- assenza di interferenze con l'eventuale acquifero confinato
- assenza di interferenze con corpi idrici superficiali
- esistenza di un sistema chiuso per il recupero delle acque di scarico (l'acqua deve essere riciclata dopo la depurazione)

e richiede l'applicazione di sei indicatori necessari per la valutazione del criterio stesso.

Per poter ricevere il marchio Ecolabel la gestione dell'estrazione delle materie prime viene valutata con un punteggio ponderato di minimo 19 punti. Inoltre, il punteggio per ogni indicatore deve essere superiore o inferiore alla soglia specificata, a seconda del caso. Il punteggio totale è basato sulla somma dei punteggi dei sei indicatori moltiplicati per i fattori di ponderazione (W).

I fattori di pesatura (W) sono tre e corrispondono, **W1** alla protezione del suolo, **W2** alla densità della popolazione in prossimità delle cava e **W3** alla interferenza del corpo idrico.

Il fattore di pesatura **W1** riporta tre valori diversi in funzione delle potenzialità di utilizzo del territorio.

Secondo l'indicazione dell'European Soil Bureau, i terreni sono classificati sulla base delle proprie potenzialità e della complessità delle limitazioni della crescita dei raccolti, in otto classi di capacità. Una descrizione indicativa delle classi viene riportata di seguito:

Classe I: suoli con lievi limitazioni per l'uso.

Classe II: suoli con limitazioni moderate che riducono la scelta di piante o richiedono moderate pratiche di conservazione.

Classe III: suoli con limitazioni gravi che riducono la scelta di piante o richiedono pratiche di conservazione speciali, o entrambi.

Classe IV: suoli con limitazioni molto gravi che limitano la scelta di piante o richiedono una gestione molto attenta, o entrambi.

Classe V: suoli che presentano nessun o leggero pericolo di erosione, ma con altre limitazioni, non facilmente eliminabili, che ne limitano l'uso principalmente a pascoli, uso forestale o alimentazione della fauna selvatica e la copertura.

Protezione del suolo	Classi I - II	Classi III – IV - V	Classi VI – VII - VIII
Fattore di pesatura	0,3	0,5	0,8

Tabella 5.2. Classificazione dei terreni con relativi fattori di pesatura

Mentre il fattore **W2** determina il valore di pesatura per la densità di popolazione degli insediamenti situati entro un raggio di 5 KM dal sito di estrazione:

Densità di popolazione	> 100 hab/Km ²	20 – 100 hab/km ²	< 20 hab/km ²
Fattore di pesatura	0,5 (0,6)	0,7 (0,84)	0,9

Tabella 5.3. Fattori di pesatura rispettivi alle fasce di densità di popolazione

Ed infine, per le interazioni con il corpo idrico, se la cava interferisce con corpi idrici superficiali di medio flusso (< 5/s), è previsto un fattore di ponderazione (**W3**) pari a 0,5.

Gli indicatori richiesti per la valutazione del criterio 1 sono:

- Quoziente di riciclo dell'acqua
- Quoziente di impatto della cava
- Scarti di risorse naturali
- Qualità dell'aria
- Qualità dell'acqua

- Rumore

Al valore di ogni indicatore corrisponde un punteggio, questo poi viene moltiplicato per il fattore di pesatura corrispondente.

Di seguito si riportano le formule da svolgere per ogni indicatore con le relative tabelle contenenti i punteggi per soglie e il fattore di pesatura da moltiplicare.

5.2.1 Analisi degli indicatori Ecolabel relativi a estrazione materie prime e applicazione al caso studio

Per l'analisi del criterio "Estrazione delle materie prime" lo studio analizza i sei principali indicatori previsti dal sistema Ecolabel per coperture dure.

Il primo indicatore **(I.1) "quoziente di riciclo dell'acqua"** viene determinato attraverso la seguente formula (5.1):

$$\text{quoziente di riciclo} = \frac{\text{acqua di scarico riciclata}}{\text{acqua totale in uscita dal processo}} * 100 = \frac{R}{W1} * 100 \quad (5.1)$$

R = Acqua di scarico riciclata

W1 = Acqua totale che esce dal processo

Il risultato ottenuto si associa al punteggio riportato nella tabella seguente dove è anche riportato il fattore di pesatura.

Fattore correttivo applicabile	W3	Valore	Punteggio
		> 80	5
		80 - 70	3
		69 - 65	1

Tabella 5.4. Punteggi da attribuire alle fasce dei valori dell'indicatore I.1

I.2) Quoziente di impatto della cava

Il calcolo del *quoziente di impatto della cava* consiste nella percentuale di area interessata dalla cava che comprende l'area che viene utilizzata effettivamente, cioè il fronte di cava, aree di deposito attivo e della zona autorizzata. Per area autorizzata è intesa l'area autorizzata dalle autorità per le attività estrattive.

Per calcolare il quoziente di impatto della cava si utilizza la formula (5.2):

$$I.2 [\%] = \frac{\text{zona interessata (fronte cava + deposito attivo)} [m^2]}{\text{Zona autorizzata} [m^2]} \quad (5.2)$$

Al risultato ottenuto si assegna il punteggio relativo moltiplicato per i fattori di pesatura.

Fattore correttivo applicabile	W3; W2	Valore	Punteggio
		< 15	5
		15 – 30	3
		31 - 50	1

Tabella 5.5. Punteggi da attribuire alle fasce dei valori dell'indicatore I.2

I.3) Scarti di risorse naturali

Con il calcolo I.3 si valuta il materiale utilizzabile e il materiale estratto annualmente. Il materiale utilizzabile si riferisce all'intero volume che non è destinato a discarica.

Si applica la formula (5.3):

$$I.3 [\%] = \frac{\text{materiale utilizzabile} [m^3]}{\text{materiale estratto} [m^3]} \quad (5.3)$$

Nella tabella seguente il punteggio rispettivo al risultato ottenuto dalla formula (5.3).

Fattore correttivo applicabile	n.a.	Valore	Punteggio
		> 50	5
		50 - 35	3
		34 – 25	1

Tabella 5.6. Punteggi da attribuire alle fasce dei valori dell'indicatore I.3

I.4) Qualità dell'aria

Il calcolo I.4 consiste nella misurazione, lungo il perimetro della zona della cava, delle particelle di PM 10 in sospensione sulla base dei requisiti specifici del metodo di prova e delle disposizioni generali della direttiva del Consiglio.

La formula (5.4) per il calcolo dell'indicatore "qualità dell'aria":

$$I.4 [\mu g/m^3] = \text{valore limite annuo misurato lungo il perimetro della zona autorizzata: particelle sospese di PM 10} \quad (5.4)$$

Le soglie dei valori e i relativi punteggi sono:

Fattore correttivo applicabile	W2	Valore	Punteggio
		< 20	5
		20 - 100	3
		101 - 150	1

Tabella 5.7. Punteggi da attribuire alle fasce dei valori dell'indicatore I.4

I.5) Qualità dell'acqua

L'indicatore I.5 consiste nella misurazione del totale dei solidi sospesi con il metodo di prova della ISO 5667-17.

Indica le emissioni totali di solidi sospesi, dopo il trattamento dell'acqua superficiale che esce dal sito della cava.

La formula (5.5) da applicare è la seguente:

$$I.5 \text{ [mg/l]} = \text{Solidi sospesi} \quad (5.5)$$

Il valore va associato al punteggio riportato in tabella 5.8 e moltiplicato per i fattori di pesatura

Fattore correttivo applicabile	W1; W3; W2	Valore	Punteggio
		< 15	5
		15 - 30	3
		31 - 50	1

Tabella 5.8. Punteggi da attribuire alle fasce dei valori dell'indicatore I.5

I.6) Rumore

L'indicatore I.6 riguarda il livello di rumore registrato lungo il perimetro dell'area di cava. Se la cava confina con altre fonti rumorose al di fuori della zona autorizzata (autostrade, ferrovia, attività industriali, ecc), le misurazioni devono essere fatte durante l'orario di lavoro della cava e quando le attività di tali fonti contrastanti siano ferme, o almeno ad un livello minimo.

La formula (5.6) per il calcolo:

$$I.6 \text{ [dB (A)]} = \text{livello di rumore misurato lungo il perimetro della zona estrattiva} \quad (5.6)$$

Il risultato ottenuto va poi associato al punteggio riportato in tabella 5.9 e moltiplicato per i fattori di pesatura.

Fattore correttivo applicabile	w2	Valore	Punteggio
		< 30	5
		30 – 55	3
		56 - 60	1

Tabella 5.9. Punteggi da attribuire alle fasce dei valori dell'indicatore I.6

Il calcolo del punteggio complessivo del criterio I – **Estrazione delle materie prime** si effettua tramite una matrice dove si inseriscono i valori dei sei indicatori e i rispettivi fattori di pesatura.

Indicatori	Pesi	Valore indicatore	Punteggio relativo	W1	W2	W3	Punteggio pesato
I.1 Quoziente di riciclo dell'acqua							
I.2 Quoziente d'impatto della cava							
I.3 Scarti di risorse naturali							
I.4 Qualità dell'aria							
I.5 Qualità dell'acqua							
I.6 Rumore							
Totale							

Tabella 5.10. Matrice di calcolo per il Criterio 1 Ecolabel

Come è stato già scritto, per ottenere il marchio il punteggio minimo del Criterio 1 deve essere di 19 punti.

Dal momento che l'etichettatura Ecolabel usa i parametri di misurazione per valutare in senso positivo la qualità della cava, e non misurano il suo impatto, gli indicatori sono espressi in rapporto a soglie minime che devono essere rispettate o superate.

Diversamente la LCA misura gli impatti. Pertanto per utilizzare gli indicatori Ecolabel ad integrazione (come informazioni aggiuntive) degli impatti risultanti dalla LCA si è deciso di applicare gli indicatori presenti nel Criterio 1 Ecolabel ma invertendo l'ordine di assegnazione del punteggio, e dei pesi, ovvero assegnando il punteggio pesato più alto al valore dell'indicatore più gravoso, ovvero a maggiore impatto. In questo modo il punteggio totale indicherà quanto è impattante la cava sul territorio.

Di seguito si presenta l'applicazione svolta sulla cava di pietra Leccese secondo il metodo di valutazione d'impatto descritto.

Fattori di pesatura con punteggio rivisto

W1

Protezione del suolo	Classi I - II	Classi III – IV - V	Classi VI – VII - VIII
Fattore di pesatura	0,8	0,5	0,3

Tabella 5.11. Classificazione dei terreni con relativi fattori di pesatura rivisti

W2

Densità di popolazione	> 100 hab/Km ²	20 – 100 hab/km ²	< 20 hab/km ²
Fattore di pesatura	0,9	0,7 (0,84)	0,5

Tabella 5.12. Fattori di pesatura rivisti rispettivi alle fasce di densità di popolazione

Il fattore (**W3**) si applica se la cava interferisce con corpi idrici superficiali di medio flusso (< 5/s). La cava analizzata non interferisce con corpi idrici quindi il fattore W3 non viene applicato.

I.1) Quoziente di riciclo dell'acqua

Nell'estrazione di pietra Leccese non si fa uso di acqua, quindi il calcolo non si svolge e il punteggio relativo è di zero punti, punteggio che favorisce il punteggio totale.

Di seguito si riporta comunque la tabella con i punteggi per la valutazione dell'impatto.

Fattore correttivo applicabile	W3	Valore	Punteggio
		> 80	1
		80 - 70	3
		69 - 65	5

Tabella 5.13. Punteggi rivisti da attribuire alle fasce dei valori dell'indicatore I.1

I.2) Quoziente di impatto della cava

La formula per calcolare il quoziente di impatto della cava è:

$$I.2 [\%] = \frac{\text{zona interessata (fronte cava + deposito attivo)} [m^2]}{\text{Zona autorizzata} [m^2]} \quad (5.2)$$

I dati riferiti alla cava Motta di pietra Leccese sono²:

- Zona autorizzata = 21695 m²
- Fronte di cava = 4236 m²
- Deposito attivo = 400 m²

Applicando la formula (5.2) abbiamo:

$$I.2 = \frac{4236 [m^2] + 400 [m^2]}{21695 [m^2]} = 0,21 m^2 \rightarrow I.2 [\%] = 21$$

In tabella 5.14 i punteggi rivisti a cui si fa riferimento. Dal risultato ottenuto si attribuisce il punteggio 3.

Fattore correttivo applicabile	w3; w2	Valore	Punteggio
		< 15	1
		15 – 30	3
		31 - 50	5

Tabella 5.14. Punteggi rivisti da attribuire alle fasce dei valori dell'indicatore I.2

I.3) Scarti di risorse naturali

Per misurare gli scarti naturali si calcola il rapporto tra materiale utilizzabile e materiale estratto:

$$I.3 [\%] = \frac{\text{materiale utilizzabile [m}^3\text{]}}{\text{materiale estratto [m}^3\text{]}} \quad (5.3)$$

I dati riferiti alla cava Motta di pietra Leccese sono²:

- Materiale estratto anno 2014 = 2750 m³
- Materiale utilizzabile = 1650 m³

Applicando la formula (5.3) si ottiene:

$$I.3 = \frac{1650 [m^3]}{2750 [m^3]} = 0,60 [m^3] \rightarrow I.3 [\%] = 60$$

Valore che viene attribuito al punteggio 1 riportato in tabella 5.15. Per questo indicatore non si applicano i fattori di pesatura.

² I dati sono stati ripresi dal documento *Scheda statistica in caso di scavi nell'anno di riferimento, 2013 e 2014*, relativa all'azienda PIMAR

Fattore correttivo applicabile	n.a.	Valore	Punteggio
		> 50	1
		50 - 35	3
		34 – 25	5

Tabella 5.15. Punteggi rivisti da attribuire alle fasce dei valori dell'indicatore I.3

I.4) Qualità dell'aria

Conoscendo i processi di estrazione, i quali vengono effettuati a secco, le polveri prodotte durante l'estrazione non vengono abbattute con acqua, e in assenza di dati rilevati per questo indicatore, si assegna il punteggio più alto 5, cioè il punteggio più negativo.

Fattore correttivo applicabile	W2	Valore	Punteggio
		< 20	1
		20 - 100	3
		101 – 150	5

Tabella 5.16. Punteggi rivisti da attribuire alle fasce dei valori dell'indicatore I.4

I.5) Qualità dell'acqua

L'indicatore nel caso della cava di pietra Leccese non si calcola, si riportano comunque i punteggi rivisti associati all'impatto.

Fattore correttivo applicabile	W1; W3; w2	Valore	Punteggio
		< 15	1
		15 – 30	3
		31 - 50	5

Tabella 5.17. Punteggi rivisti da attribuire alle fasce dei valori dell'indicatore I.5

I.6) Rumore

Conoscendo i processi di estrazione della pietra Leccese e quelli del Marmo di Custonaci (studiati da letteratura), al quale viene riportato un dato di rumore ≤ 60 dB (A)³, si presume che il rumore provocato dall'estrazione della pietra Leccese sia più basso perché vengono usate macchine con seghe circolari di piccola-media dimensione, a differenza dell'estrazione del marmo di Custonaci che avviene per esplosione e tramite uso di tagliablocchi di notevole grandezza.

³ Traverso M., Rizzo G., Finkbeiner M., *Environmental performance of building materials: life cycle assessment of a typical Sicilian marble*, International J. Life Cycle Assess, 15: pp. 104 – 114, 2010

Si assegna il punteggio intermedio 3, considerando un impatto di rumore compreso tra 30-55 dB (A).

Fattore correttivo applicabile	W2	Valore	Punteggio
		< 30	1
		30 – 55	3
		56 - 60	5

Tabella 5.18. Punteggi rivisti da attribuire alle fasce dei valori dell'indicatore I.6

Inserendo i valori degli indicatori misurati nella matrice di calcolo si ottiene un punteggio totale di 11,2 punti, quindi la cava di pietra Leccese ha un impatto di 11,2 punti.

Per le finalità del presente studio non si stabiliscono valori di soglia.

Indicatori	Pesi	Valore indicatore	Punteggio relativo	W1	W2	W3	Punteggio pesato
I.1 Quoziente di riciclo dell'acqua		0	0				0
I.2 Quoziente d'impatto della cava		21%	3				3
I.3 Scarti di risorse naturali		60%	1				1
I.4 Qualità dell'aria		≤ 150 g/Nm ³	5		0,9		4,5
I.5 Qualità dell'acqua		0	0	0,8	0,9		0
I.6 Rumore		30-50 dB (A)	3		0,9		2,7
Totale							11,2

Tabella 5.19. Matrice di calcolo per il Criterio 1Ecolabel con inserimento dei punteggi e dei fattori di pesatura per ogni indicatore

5.3 Tipologie di prodotti in pietra Leccese

Nel settore delle costruzioni sono presenti diversi prodotti in pietra Leccese. Il loro impiego avviene soprattutto nel Salento fino al territorio barese, ma la loro richiesta sta crescendo anche in diverse città italiane ed estere.

Il prodotto più utilizzato nel territorio pugliese è la chianca, come descritto nel capitolo 3 "La pietra Leccese", viene utilizzata per il rivestimento delle coperture piane degli edifici e

per pavimentazioni esterne, gli spessori presenti sul mercato vanno da tre a cinque centimetri.

In pietra Leccese si producono altre tipologie di pavimentazione, sia per uso interno che esterno, queste si differenziano dalle chianche per le dimensioni e soprattutto per i trattamenti di finitura, sono calibrate, rettificate a finitura antichizzata o levigata.

Le lastre per rivestimento di pareti, le più originali, riportano in superficie texture a basso rilievo, decorando spazi interni e facciate esterne. Le lastre tradizionali, a superficie liscia, bocciardata e a lati bisellati si differenziano per dimensione e spessore, e per tipologia di impiego, dagli ultimi anni sono messe sul mercato anche lastre per pareti ventilate.

L'impiego dei blocchi da costruzione in pietra Leccese, con l'introduzione di prodotti e sistemi più innovativi, è limitato. Oggi sono impiegati nella costruzione di camini con muratura a faccia vista.

Elemento di finitura dei parapetti, molto utilizzato nel territorio pugliese è il coprimuro (cimasa), che si differenzia in elemento liscio o con modanatura.

Ad impreziosire facciate o spazi interni di edifici, non mancano elementi come archi, colonne, imbotti, cornici e balaustre.

L'uso della pietra Leccese, negli ultimi anni si sta affermando nel campo del design, numerosi complementi di arredo come lampade, e complementi da bagno, lavabi e piatti doccia.

Immagini della pagina successiva:

Immagine 1. Spazzole per finitura lastra ruvida

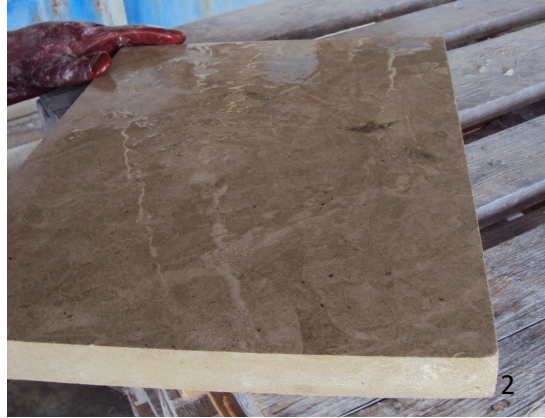
Immagine 3. Lastre per rivestimento decorate

Immagine 5. Lastre per parete ventilata

Immagine 2. Lastra levigata

Immagine 4. Oggetti di design, lavabi

Immagine 6. Elementi decorativi



5.4 Il processo produttivo della pietra Leccese e le differenziazioni per tipologie di prodotti

Il processo produttivo della pietra Leccese si può descrivere per due fasi principali, fase di estrazione e fase di lavorazione.

Per la fase di estrazione, la prima operazione che viene eseguita è quella di rimuovere lo strato di vegetazione e lo strato di pietra non idonea per la realizzazione dei prodotti⁴.

Per cavare la pietra Leccese, non viene impiegato uso di esplosivo, ma macchinari a energia elettrica.

In base alle dimensioni dei blocchi che si vogliono ricavare, si utilizzano macchinari differenti. I blocchi vengono distinti per le loro dimensioni in blocchi piccoli, medi e grandi.

Per cavare i blocchi piccoli si utilizzano due segatrici le quali effettuano singolarmente dei tagli in senso verticale per definire le dimensioni dei blocchi (*Immagine 7*), e l'altra dei tagli orizzontali, per staccare gli stessi dal pavimento di cava (*Immagine 8*). Entrambe si muovono su binari posti sulla superficie da tagliare a distanze stabilite in base alle dimensioni dei blocchi che si vogliono realizzare. Si ottengono così i blocchi piccoli di dimensione 51x37x27 cm, questi vengono poi separati l'uno dall'altro con l'uso di un piccone adoperato da un operatore, successivamente vengono spostati da un carrello elevatore (*Immagine 9*).

I blocchi medi sono di dimensioni 50-100x70x200 cm e vengono tagliati con una segatrice, che dispone una lama di sega circolare che effettua tagli in senso orizzontale e verticale (*Immagine 10*), questa viene sempre disposta lungo dei binari per facilitare i tagli in maniera squadrata ed effettua blocchi ad un'altezza massima di 70 cm, per i blocchi grandi, i quali raggiungono dimensioni di 130x130x200-300 si utilizza la tagliablocchi con sega a nastro, che oltre ai tagli orizzontali e verticali, può effettuare tagli obliqui (*Immagine 11*). Oltre ai blocchi semisquadrati, si hanno dei blocchi grezzi, i quali si ottengono tramite rottura della pietra, questi sono il risultato dell'estrazione vicino al perimetro di cava e per dimensione rientrano nei blocchi grandi.

⁴ Il materiale lapideo rimosso per la preparazione dell'area di cava, viene tenuto in cava e sarà riutilizzato per il riempimento della stessa.

I blocchi vengono trasportati negli stabilimenti di lavorazione, che spesso distano a una piccola distanza.

Alcuni blocchi piccoli vengono tenuti in cava per la produzione di chianche, i quali vengono sottoposti a tagli a secco tramite una macchina che dispone diverse lame parallele, poste a una distanza pari allo spessore che si vuole dare alle lastre (*Immagine 14*). Effettuando i tagli a secco si ottiene una superficie più ruvida rispetto al prodotto ottenuto con lavorazione ad umido. Effettuata la segagione del blocco, il prodotto è pronto e viene imballato solo con fascettine di plastica.

Per la fase di lavorazione, una volta che i blocchi hanno raggiunto lo stabilimento produttivo, si hanno diversi procedimenti in base al tipo di prodotto che bisogna realizzare e alla tipologia di blocco da lavorare.

Le macchine utilizzate sono alimentate da energia elettrica e utilizzano acqua per raffreddare le lame e abbattere le polveri.

Nel comparto di lavorazione sono presenti diverse taglia blocchi che possono effettuare anche tagli obliqui e sono impiegate per lastre fuori misura standard, blocchi da costruzione ed elementi con facce non ortogonali; presenti anche la macchina tornio per la realizzazione di elementi circolari, la macchina per la realizzazione di basso rilievi e tagli per estrazione programmata tramite software. I prodotti con decorazioni ad intaglio vengono perfezionati dagli scalpellini. Come in tutto il settore lapideo la lavorazione della pietra Leccese avviene ormai prevalentemente con le macchine, ma alcuni prodotti sono rifiniti dalla manualità artigianale, dove la macchina non riesce a definire il prodotto come le abili mani degli scalpellini.

Le lastre per pavimentazione e rivestimenti di dimensioni standard vengono lavorate da macchine disposte a nastro; la prima macchina divide i blocchi in lastre, poi le successive ne effettuano i relativi tagli e finiture.

Immagine della pagina successiva:

Immagine 7. Tagliablocchi piccoli, tagli verticali

Immagine 9. Estrazione blocchi piccoli

Immagine 11. Tagliablocchi per blocchi grandi

Immagine 13. Blocchi medi

Immagine 8. Tagliblocchi piccoli, tagli orizzontali

Immagine 10. Tagliablocchi per blocchi medi

Immagine 12. Blocco grande





14



15

Immagine 14. Taglia blocchi per chianche

Immagine 15. Taglia blocchi con braccio inclinabile

Il processo della pietra Leccese è riportato nello schema seguente, si differenzia per blocchi regolari e per blocchi irregolari, sono riportate le fasi principali di lavorazione dei prodotti in lastre, le quali sono illustrate da foto.

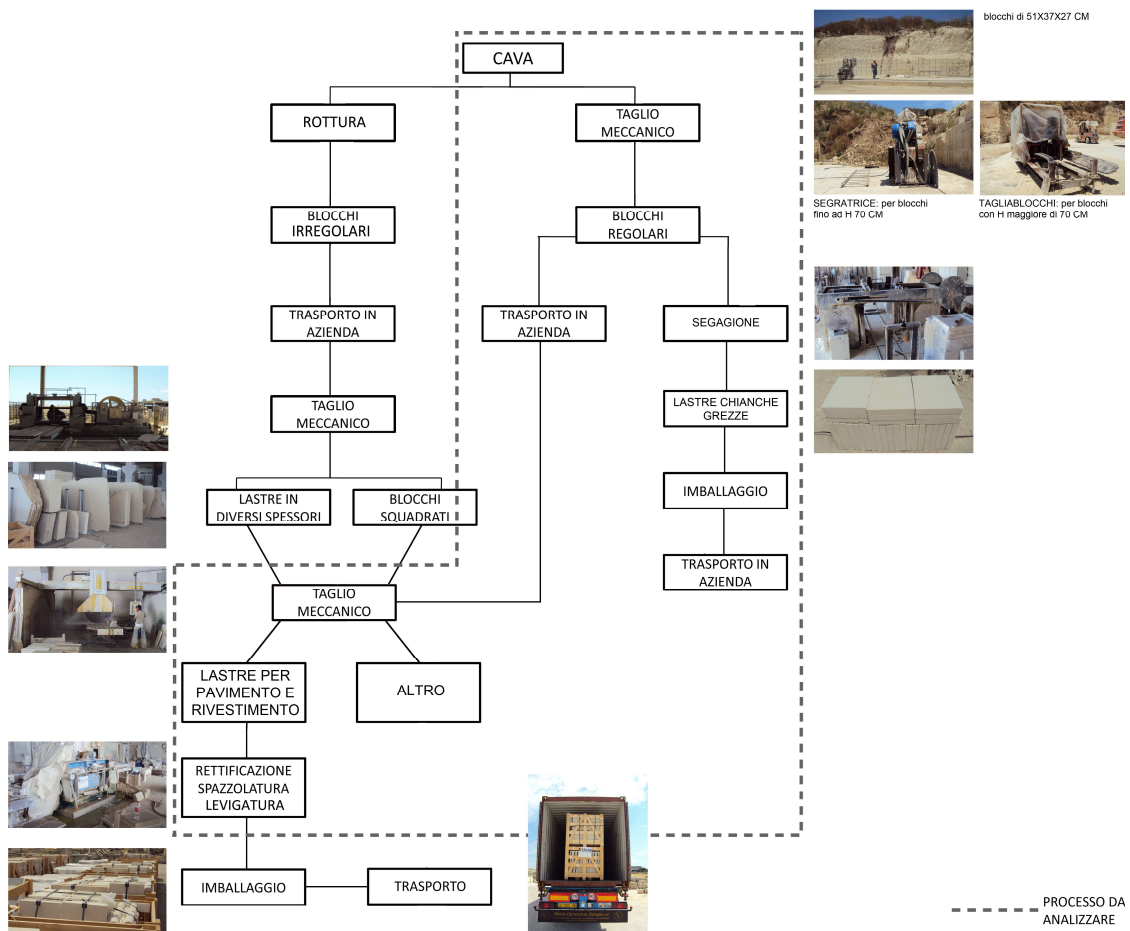


Immagine 16. Processo produttivo della pietra Leccese

5.5 Analisi LCA fino ai cancelli

L'analisi del ciclo di vita (Life Cycle Assessment, LCA) è uno strumento per valutare il potenziale impatto ambientale di un prodotto, un processo o un servizio durante l'intero ciclo di vita attraverso la quantificazione degli input (utilizzo di materie prime e risorse) e degli output (emissione in aria, acqua, suolo e rifiuti) associati al sistema oggetto di analisi.

La struttura di un'analisi LCA, in accordo con la ISO 14040, si articola nelle seguenti fasi:

- Definizione scopi e obiettivi (Goal and Scope Definition)
- Analisi di inventario (Life Cycle Inventory)
- Valutazione degli impatti (Life Cycle Impact Assessment)
- Interpretazione e miglioramento (Life Cycle Interpretation)

Lo svolgimento dell'analisi LCA prevede una articolazione per fasi del ciclo di vita cui corrispondono diversi moduli di informazione da fornire nelle dichiarazioni EPD.

Un LCA completo riguarda tutte le fasi del ciclo di vita from **cradle to grave** (dalla culla alla tomba) Mentre l'analisi from **Cradle to cradle** (dalla culla alla culla) considera oltre a tutte le fasi del ciclo di vita anche la fase di nuova vita, il riciclo dei prodotti al fine di enfatizzare la rivalorizzazione del prodotto a fine vita sotto forma di recuperi energetici e di materiali, nell'ottica di diminuire progressivamente la qualità di rifiuti da inviare allo smaltimento in discarica.

Infine la valutazione from **Cradle to gate** (dalla culla al cancello) considera le fasi relative alla trasformazione del prodotto, dall'estrazione della materia prima fino alla immissione sul mercato.

Nel settore delle costruzioni e dei prodotti da costruzione secondo la UNI EN 15804 e la UNI EN 15643, si prevede una articolazione per fasi del ciclo di vita dell'edificio e dei prodotti e servizi che lo costituiscono, cui corrispondono diversi moduli di informazione da fornire nelle dichiarazioni EPD e nella LCA dell'edificio.

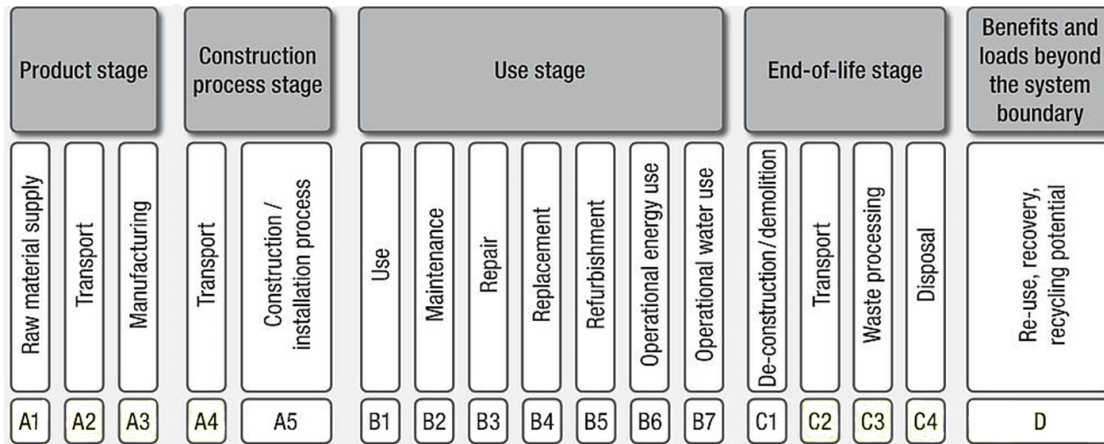


Immagine 17. Moduli di processo per la valutazione edilizia riportati nella norma ISO 15805 (figura 1 di tale norma)

La norma UNI EN 15805 nel paragrafo 5.2 *Types of EPD with respect to life cycle stages covered* definisce che le informazioni base dell’LCA in un EPD possono essere:

- Solo *Product Stage*. Tale EPD copre la fornitura di materie prime, i trasporti, la produzione e i processi associati; questo EPD si definisce "cradle to gate" e diventa un EPD con informazioni relative ai moduli A1, A2 e A3;
- *Product Stage* e le fasi del ciclo di vita ulteriormente selezionate. Tale EPD è detto "*cradle to gate with options*" e diventa un EPD con informazioni relative ai moduli da A1, A2 e A3, più altri moduli opzionali scelti, per esempio moduli relativi alla fase *end-of-life* (da C1 a C4) e modulo informazioni D;
- Il ciclo di vita di un prodotto in base al confine del sistema. In questo caso l'EPD copre la fase del prodotto, l'installazione nell'edificio, uso e manutenzione, sostituzione, demolizione, trattamento dei rifiuti per il riutilizzo, il recupero, il riciclaggio e lo smaltimento, e lo smaltimento. L’EPD detiene approccio definito “*cradle to grave*” e diventa un EPD dei prodotti da costruzione basato su una LCA, in quanto copre tutte le informazioni moduli che vanno dal A1 al C4. In questo EPD la informazioni modulo D può essere inclusa.

Lo studio svolto fa riferimento a un’analisi LCA *Product Stage*, “*dalla culla al cancello*” secondo il punto 5.2 sopra citato della UNI EN 15804.

5.6 Life Cycle Assessment Inventory (LCI) per chianche e lastre

L'analisi LCI è stata svolta su lastre per pavimentazione e rivestimento da parete e chianche, prodotti ottenuti dalla segagione di blocchi piccoli (Immagine 18).

Per l'analisi dei tre prodotti si sono costruiti i rispettivi cicli produttivi. Le chianche vengono lavorate direttamente in cava, essendo un prodotto grezzo richiedono una lavorazione differente rispetto alle lastre per rivestimento e per pavimentazione. I cicli produttivi di quest'ultimi due prodotti sono uguali nelle fasi di lavorazione.

I dati d'inventario sono stati rapportati ad 1 tonnellata di lastre finite che costituiscono pertanto la unità dichiarata (nella norma UNI EN 15804 *al p. 3.8 Declared Unit* si definisce l'unità dichiarata e si riporta: *quantity of a construction product for use as a reference unit in an EPD for an environmental declaration based on one or more information modules EXAMPLE Mass (kg), volume (m³). NOTE Adapted from the definition in ISO 21930-1:2007*).

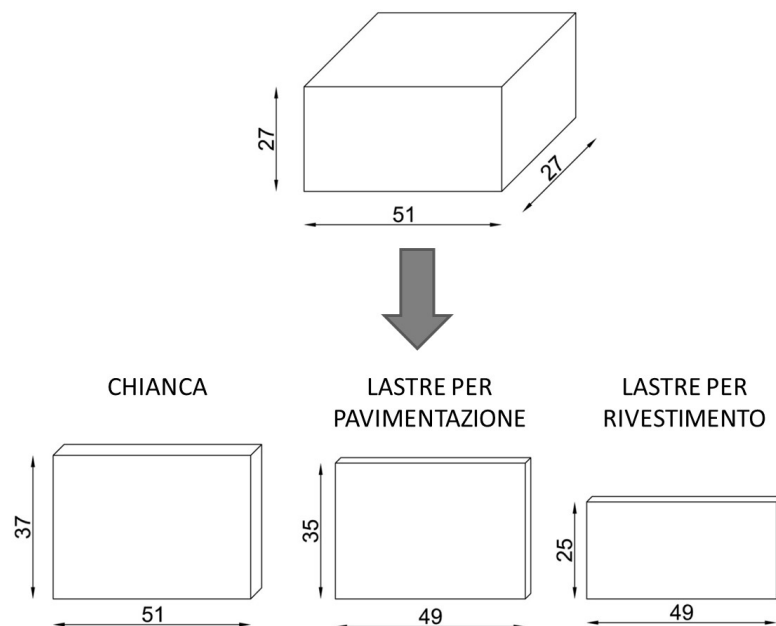


Immagine 18. Prodotti realizzati da blocchi piccoli (dimensioni in cm)

Il processo produttivo delle chianche avviene direttamente in cava, i blocchi cavati vengono trasportati a una distanza di 100 m tramite un carrello elevatore, il quale ne può trasportare per volta circa 12 blocchi. Questi vengono poi lavorati da una macchina la quale dispone di un piano che si muove lungo dei binari posti ortogonalmente alla

macchina, sul quale l'operatore A dispone il blocco e lo trascina verso il centro della macchina, poi viene sollevato e va ad incontrare le lame che dividono il blocco in lastre. Una volta terminato il taglio, il piano si riporta in basso e si sposta lungo i binari dal lato opposto dei blocchi, dove l'operatore B prende le lastre e le dispone per l'imballaggio.

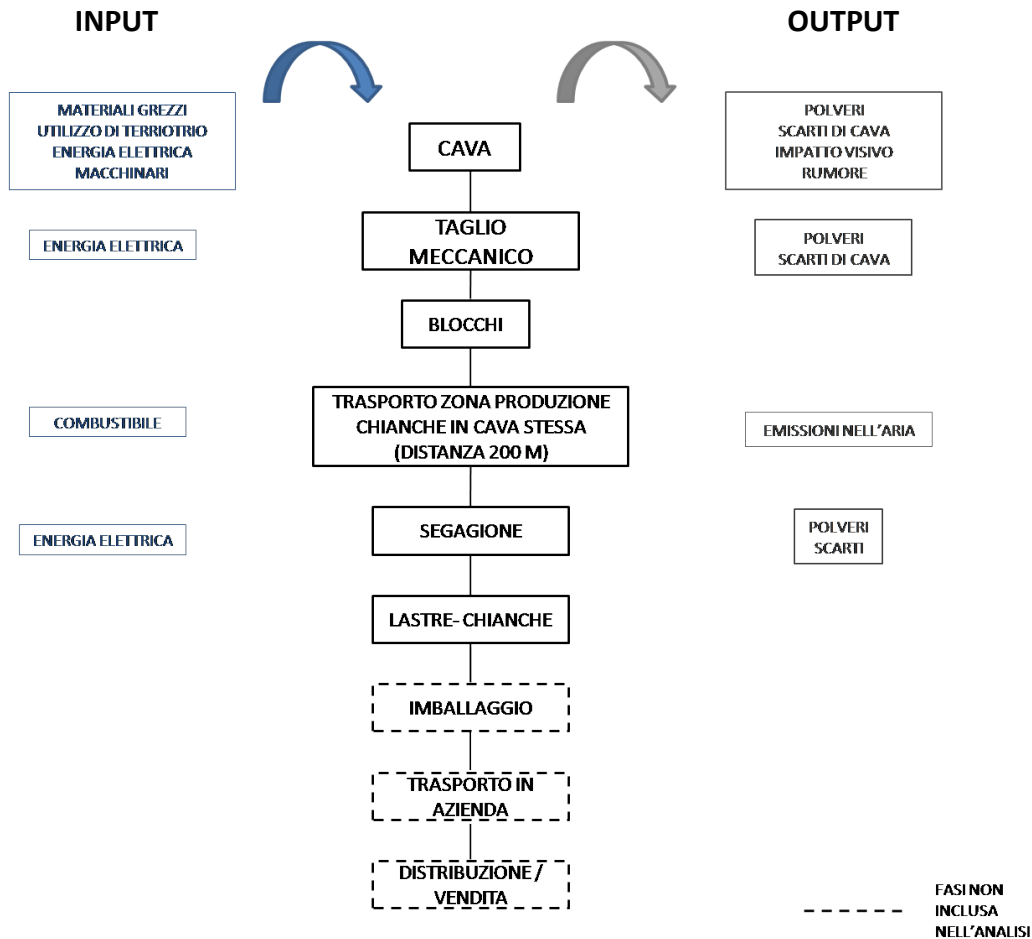


Immagine 19. Ciclo produttivo analizzato per le chianche



Immagine 20. Lavorazione chianche



Immagine 21. Chianche

La lavorazione delle lastre per pavimentazione e per rivestimento avviene nello stabilimento di produzione. I macchinari sono collegati tra di loro da un nastro scorrevole, sul quale l'operatore A dispone i blocchi che vengono portati verso la taglia blocchi per la segagione. Ottenute le lastre, l'operatore B le seleziona e le dispone lungo la seconda parte del nastro per la fase di spazzolatura/lucidatura e per le fasi di rifilatura. Al termine del nastro, l'operatore C e D selezionano le lastre e le dispongono per l'imballaggio.

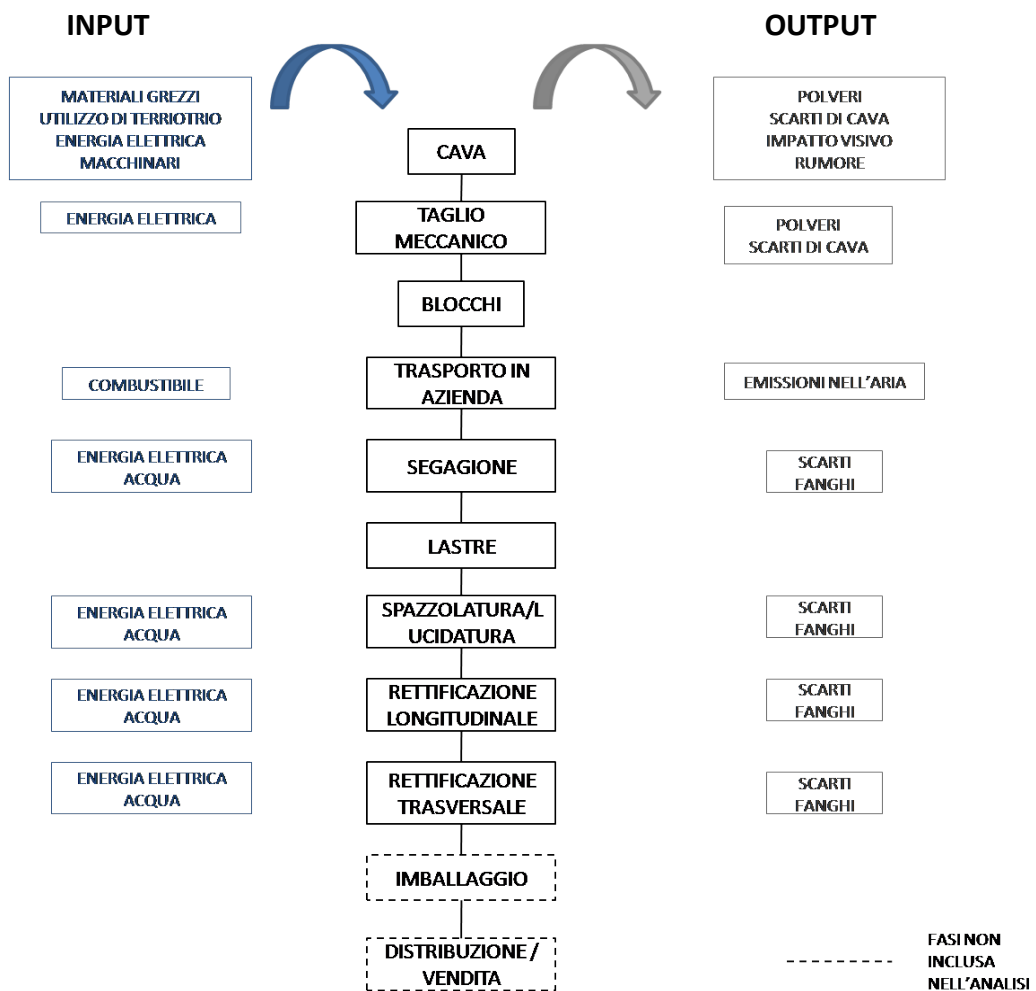


Immagine 22. Ciclo produttivo analizzato per le lastre di rivestimento e di pavimentazione

Immagini della pagina successiva:

Immagine 23. Fase di selezione delle lastre dopo la segagione, operatore B

Immagine 24. Lastre dopo la levigatura

Immagine 25. Fase di rettificazione

Immagine 26. Imballaggio lastre



5.6.1 La raccolta dei dati

Una volta individuati i prodotti da analizzare, si è proceduto alla raccolta dati relativamente ai volumi di produzione per l'anno 2014, e agli spessori maggiormente prodotti in modo da applicare lo studio sulle lastre più richieste dal mercato.

Si è ricavato che nell'anno 2014 c'è stata una produzione di 1274 mq di lastre per rivestimento di 25x49 cm con spessore 2 cm e 1159 m² con spessore 3 cm, mentre per le lastre per pavimentazione di 35x49 cm di spessore 2 cm si conta una produzione di 798 m², di spessore 3 cm 608 m² e di spessore 4 cm solo 325 m².

QUANTITA' PRODOTTI IN MQ ANNO 2014	RIVESTIMENTO m ²		PAVIMENTO m ²		
	25x49x2 cm	25x49x3 cm	35x49x2 cm	35x49x3 cm	35x49x4
	1274	1159,07	798	608	325

Tabella 5.20. Produzione di lastre per rivestimento e per pavimento nell'anno 2014.

Stesso procedimento di indagine è stato fatto per le chianche e nell'anno 2014 si sono prodotte 93171 pezzi di spessore 4cm e 24505 di spessore 3,5 cm.

PRODUZIONE ANNO 2014	CHIANCHE pz	
	37x51x4	37x51x3,5
	93171	24505

Tabella 5.21. Produzione di chianche nell'anno 2014

Tramite questi dati si è poi ottenuto il numero di blocchi 51X37x27 cm cavati per la realizzazione di lastre per pavimentazione, rivestimento e chianche.

	RIVESTIMENTO MQ		PAVIMENTO MQ		
	25x49x2 cm	25x49x3 cm	35x49x2 cm	35x49x3 cm	35X49X4 cm
MQ LASTRA	0,1225	0,1225	0,1715	0,1715	0,1715
N° PEZZI LASTRE	10400	9461,795918	4653,061224	3545,189504	1895,043732
N° LASTE PRODOTTE DA UN BLOCCO	13	9	9	7	5
N° BLOCCHI UTILIZZATI	800	1051,310658	517,0068027	506,4556435	379,0087464

Tabella 5.22. Quantità di blocchi impiegati per la produzione di lastre per rivestimento e pavimentazione.

	CHIANCHE	
	37x51x4 cm	37x51x3,5 cm
N° LASTE PRODOTTE DA UN BLOCCO	5	6
N° BLOCCHI UTILIZZATI	18634,2	4084

Tabella 5.23. Quantità di blocchi impiegati per la produzione di chianche.

Secondo l'indagine svolta, lo studio si applica su lastre per pavimento e rivestimento di spessore 2 cm e su chianche di spessore 4 cm.

5.6.2 Consumi energetici e di acqua

Per quantificare l'energia e l'acqua necessari per l'estrazione e la lavorazione dei prodotti si è fatto riferimento alle schede tecniche dei macchinari, dopo aver quantificato i tempi di lavorazione dei prodotti, i consumi sono stati rapportati all'unità di 1 tonnellata di

prodotto finito (vedi schede LCI di ogni prodotto analizzato riportate a fine del sottoparagrafo 5.6.4).

5.6.3 Gli scarti di estrazione e di lavorazione

Gli scarti⁵ della pietra di estrazione e di lavorazione sono stati classificati in:

- Scarti (porzione di blocco/lastra non idonei al prodotto finale e porzioni di materiale derivanti da rettificazioni)
- Polvere (porzione di materiale frantumato dalla lama del macchinario di estrazione e di lavorazione)
- Fanghi

Gli scarti nella fase di estrazione corrispondono al 25% rispetto al prodotto cavato, questo dato è stato fornito dagli operatori di cava, mentre per la polvere si è svolto un calcolo conoscendo le dimensioni dei blocchi, le modalità di estrazione e lo spessore della lama della macchina tagliablocchi. Ricavato il volume della porzione di materiale frantumata si è poi moltiplicato per il peso specifico del materiale e si sono ottenuti i Kg di polvere. Questo metodo di calcolo è stato effettuato anche per la lavorazione di chianche.

Nell'immagine 27 è rappresentata la porzione di polvere su un blocco per la segazione di lastre 49x25x2 cm.

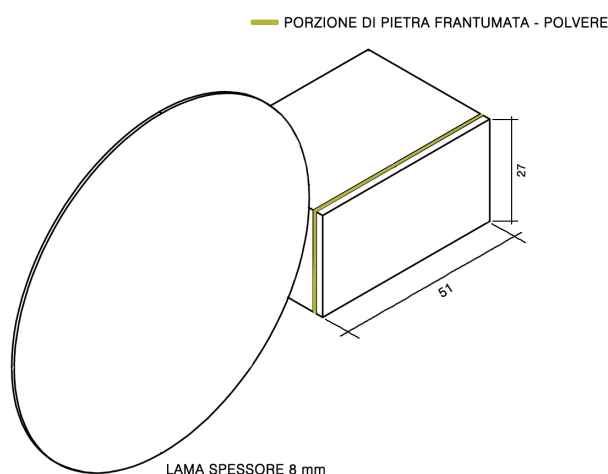


Immagine 27. Rappresentazione fase segazione con indicazione della porzione di pietra frantumata dalla lama

⁵ Tutti gli scarti di estrazione e di lavorazione della pietra Leccese non vengono riciclati, ma impiegati per i riempimenti delle cave.

La fase di lavorazione delle lastre nello stabilimento ovvero le lastre 49x25x2 e 35x49x2 cm prevede l'utilizzo di acqua per l'abbattimento dell'emissioni di polvere in aria. Quindi in queste fasi gli scarti di produzione sono i fanghi e le porzioni di pietra rifilata.

Per quantificare le porzioni di pietra si è sempre svolto un calcolo conoscendo la geometria dei prodotti, lo spessore della lama della macchina e il numero di tagli effettuati per ogni fase di lavorazione.

Il quantitativo dei fanghi non si è potuto misurare in maniera diretta a fine del processo perché essi sono raccolti in grandi vasche in cui sono ricondotti i fanghi prodotti da altre lavorazioni. Il fango raccolto viene lasciato riposare per poter filtrare l'acqua in superficie da rimettere nel processo di lavorazione. Filtrata l'acqua, i fanghi vengono recuperati dalla vasca e fatti asciugare al sole, in modo da diventare polvere da riportare in cava per il riempimento.

Quindi per quantificarli, è stata presa una quantità di polvere che è stata unita a una porzione di acqua e lasciata riposare per venti ore. L'acqua in superficie è stata separata dal fango, e questo è stato pesato. Il rapporto ricavato tra peso di polvere asciutta e fango è stato poi riportato al quantitativo di pietra frantumata dalle lame per ogni fase di lavorazione ad umido.

La prova è stata fatta su 1 kg di polvere unita a 2 l di acqua. Dopo sei ore l'acqua è stata separata dal fango e fatta riposare per 14 ore, poi è stata rinfiltrata perché nel fondo si era depositato una porzione di fango, il quale è stato unito all'altro e infine si è pesato il tutto.



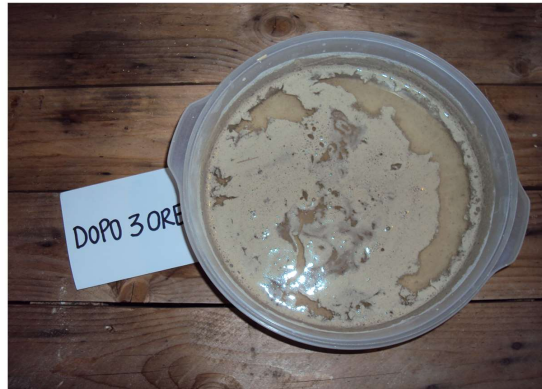
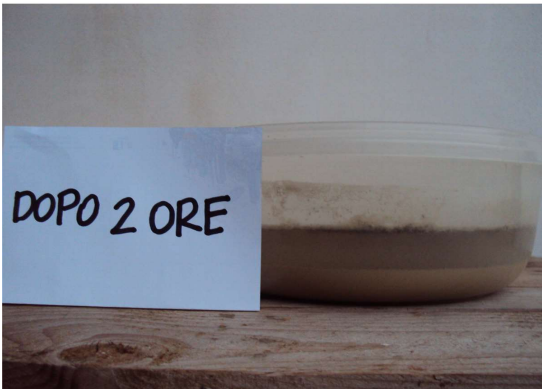




Immagine 28. Fasi procedimento calcolo quantità fanghi

Il risultato della prova porta a 1,5 Kg di fango e circa 1,350 l di acqua. La quantità dell'acqua non può essere presa in considerazione, perché essa varia in base all'umidità della polvere, al tempo di posatura dei fanghi in relazione alla stagione.

La prova è stata svolta una sera di Gennaio con una temperatura di 10°C e il composto è stato lasciato posare fino alla mattina successiva all'ombra. Le vasche raccolta fanghi presenti in azienda sono di notevoli dimensioni ed esposte sempre al sole, questo incide sulla quantità dell'acqua recuperata. Il dato di acqua recuperata rimessa nel processo non è stato considerato.

5.6.4 L'emissione di polveri nell'aria

La raccolta dati è avvenuta considerando le due principali fasi lavorative:

- a- ad umido
- b- a secco

a. Fasi lavorative a umido

Per il calcolo delle emissioni di polvere in aria per le fasi di lavorazione ad umido è stato ripreso il procedimento riportato nel processo **Natural Stone Plat Cut** inserito nel

Software *SimaPro*⁶. I dati di emissioni di polvere in aria sono ottenuti calcolando la porzione di materiale che viene sbriciolata dalla lama della macchina, e sul quantitativo di polvere ottenuto (m³ pietra frantumata per peso specifico), si considera solo il 5% come polveri emesse in aria, mentre il 95% restante viene abbattuto dall'acqua prevista per la fase di taglio.

Questo procedimento è stato adottato per il calcolo delle emissioni in aria per le fasi di taglio ad umido per i processi produttivi delle lastre 25X49x2 cm e 35X49x2 cm.

Il processo **Natural Stone Plat Cut** si riferisce alla lavorazione del granito, quindi per la percentuale del particolato è stato fatto riferimento al processo **Limestone cava CH Svizzera** (inserito in Simapro), il quale in mancanza di dati distribuisce le percentuali di particolato secondo il processo di bauxite.

Le percentuali riportate sono:

- 50% polvere > 10 µm
- 45% polvere < 10 µm > 2,5 µm
- 5% polvere < 2,5 µm

Applicando quanto descritto si ottengono dei quantitativi simili al processo di Simapro analizzato, le quantità riportate si riferiscono ad un kg di prodotto (Tabella 5.24).

		SIMAPRO	P. LECCESE LASTRE 35X49	P. LECCESE LASTRE 25X49
EMISSIONS TO AIR	unità di misura	FASE TAGLIO	FASE TAGLIO	FASE TAGLIO
Particulates, > 10 µm	kg	0,0028	0,006250016	0,00625005
Water/m ³	m ³	0,0005595		
Particulates, > 2.5 µm, and < 10µm	kg	0,0102666 67	0,005625015	0,005625045
Particulates, < 2.5 µm	kg	0,0056	0,000625002	0,000625005

Tabella 5.24. Comparazione delle emissioni fra processo Natural Stone Plat Cut e i processi di pietra Leccese

Il metodo di calcolo viene applicato per le varie lavorazioni ad umido della pietra Leccese, nella *Tabella 5.25* sono riportati i dati per la fase *Segagione* delle lastre cm 35X49x2 rapportati ad 1 t di lastre.

⁶ Il software Simapro è uno strumento efficace per realizzare studi LCA, permette di modellare in modo sintetico e trasparente modelli complessi. È in linea con le norma Iso ed è dotato di diverse banche dati LCI.

LASTRA GREZZA 37X51X2	lunghezza	larghezza	spessore lama	peso specifico kg/m3	n° lastre per blocco	n° blocchi per una t di lastre	polveri emesse nell'aria
	0,37	0,51	0,008				
	<u>m³ di polvere</u>		0,002	1634			
	<u>kg polvere prodotte per lastra</u>			2,467	9		
	<u>kg polvere prodotte da un blocco</u>				22,200	19,82	
	<u>kg polvere prodotte per una t di prodotto</u>					440,008	5%
	<u>kg polvere emesse nell'aria</u>						22,00038

Tabella 5.25. Calcolo emissioni polveri in aria secondo processo Natural Stone Plat Cut applicato alla fase di segazione per le lastre 35X49X2

E le percentuali del particolato corrispondono a:

Particolato > 10 µm = 11 kg/t

Particolato < 10 µm > 2,5 µm = 9,9 kg/t

Particolato < 2,5 µm = 1,1 kg/t

b. Fasi lavorative a secco

La lavorazione della pietra Leccese prevede delle fasi di lavorazione a secco, senza l'uso di strumenti per l'abbattimento delle polveri. Tali fasi sono l'estrazione e la produzione delle chianche.

Per queste lavorazioni non è presente nel software un processo Simapro come per le fasi di lavorazione ad unido su cui basare il calcolo, per cui si può fare riferimento ai limiti e ipotizzare che nei processi oggetto di studio siano rispettati.

I limiti emissivi previsti dalla legge D. lgs. 152/06 sono riportati nel documento *EX PROVINCIA DI CARBONIA IGLESIAS - AREA DEI SERVIZI AMBIENTALI - SERVIZIO TUTELA DEL TERRITORIO*.

INQUINANTE	*VALORE LIMITE	Riferimento normativo
Polveri (quarzo in polvere se sotto forma di silice cristallina espressi come SiO ₂)	5 mg /Nm ³ se il flusso di massa è pari o superiore a 25 g/h	D.Lgs. 152/06 parte quinta Allegato I – parte II- tabella B classe III
Polveri totali	50 mg /Nm ³ se il flusso di massa è pari o superiore a 0,5 kg/h	D.Lgs. 152/06 parte quinta Allegato I parte II - punto 5
	150 mg /Nm ³ se il flusso di massa è pari o superiore alla soglia di rilevanza corrispondente a 0,1 kg/h ed è inferiore a 0,5 kg/h	

Il flusso di massa della pietra Leccese non si conosce.

Per calcolare le emissioni delle polveri di pietre ornamentali non sono previste delle linee guida, ma si possono applicare le LINEE GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELLE EMISSIONI DI POLVERI PROVENIENTI DA ATTIVITÀ DI PRODUZIONE, MANIPOLAZIONE, TRASPORTO, CARICO O STOCCAGGIO DI MATERIALI POLVERULENTI - *Antongiulio Barbaro, Franco Giovannini, Silvia Maltagliati.*⁷

I metodi di valutazione proposti nelle linee guida provengono principalmente da dati e modelli dell'US-EPA (AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors).

Le fasi di lavorazione principali considerate nel documento Linee guida per il calcolo delle emissioni di polvere in aria sono:

- Processi relativi alle attività di frantumazione e macinazione del materiale e all'attività di agglomerazione del materiale (AP-42 11.19.2)
- Scotico e sbancamento del materiale superficiale (AP-42 13.2.3)
- Formazione e stoccaggio di cumuli (AP-42 13.2.4)
- Erosione del vento dai cumuli (AP-42 13.2.5)
- Transitio di mezzi su strade non asfaltate (AP-42 13.2.2)
- Utilizzo di mine ed esplosivi (AP-42 11.9)

In parentesi vengono indicati i riferimenti all'AP-42 dell'US-EPA.

Per tutte le diverse fasi e operazioni d'interesse occorre individuare il corrispondente caso all'interno dell'elenco dei fattori di emissione; in caso di mancanza del fattore di emissione o nel caso in cui la lavorazione o l'operazione non sia censita, occorre determinare o scegliere un fattore di emissione alternativo, tenendo presente la similitudine tra le attività considerate, la corrispondenza in termini di materiale trattato, e adottando un criterio di norma conservativo. Ovviamente la scelta deve essere indicata e giustificata nella documentazione redatta.

Si potrebbe scegliere la fase ***estrazione con perforazione (drilling unfragment stone) 3-05-020-10***, con valore emissivo riportato in tabella 2 dello stesso documento, ma

⁷ Le sorgenti di polveri diffuse individuate si riferiscono essenzialmente ad attività e lavorazioni di materiali inerti quali pietra, ghiaia, sabbia ecc.; i metodi ed i modelli di stima proposti possono essere utilizzati anche per valutazioni emissive di attività simili con trattamento di materiali diversi, all'interno di cicli produttivi non legati all'edilizia ed alle costruzioni in generale.

bisognerebbe conoscere le dimensioni delle perforazioni per poterle rapportare ai tagli per l'estrazione dei blocchi della pietra Leccese.

In relazione alle linee guida sono stati studiati dei documenti che fanno riferimento alle stesse, e sono relazioni per cave di inerti e pietre ornamentali:

- Cava Sbasso confine – pietra ornamentale⁸
- Cava Sferracavalli – inerti
- Cava latereto – inerti
- Cava di pietra arenaria denominata Sassicheto – ornamentale, inerti⁹.

I metodi utilizzati per il calcolo delle emissioni di polvere in aria nei documenti studiati non possono essere associati al tipo di lavorazione della pietra Leccese.

Quindi, si applica il metodo di calcolo presente nel processo **Natural Stone Plat Cut** anche alle lavorazioni a secco, considerando che in questo caso le percentuali da considerare come emissioni sono diverse in quanto non è una lavorazione con abbattimento di polvere¹⁰.

Da un'osservazione visiva si è dedotto che la granulometria della porzione di pietra sbriciolata è costituita circa del 60% da limi e sabbie aventi granulometria maggiore di 10 µm depositandosi velocemente a terra, la velocità della lama è moderata e contribuisce poco al sollevamento delle polveri, il 5% resta nei tagli, si valuta che per la fase di estrazione, il restante 35% sia rappresentativo del rapporto PM₁₀/PTS, mentre per la fase di segagione delle chianche la velocità della lama è bassa e si considera il 30%.

Applicando quindi il metodo del processo **Natural Stone Plat Cut** anche per le lavorazioni a secco, la percentuale di polveri su cui si applica la classificazione di particolato per la **fase estrattiva è del 35% e per la fase di segagione delle chianche è del 30%**.

Se applichiamo questa teoria alla fase di segagione dei blocchi per la realizzazione delle chianche di dimensione 37x51x4 cm otteniamo:

⁸ L'estrazione di questa pietra avviene con l'uso dell'acqua per l'abbattimento delle polveri, perciò in questo studio le emissioni di polveri in aria si dichiarano nulle.

⁹ Per il calcolo delle emissioni nella fase di perforazione non utilizzano i dati suggeriti dalle linee guida e vengono considerati i m³ di pietre frantumata e in relazione a questo quantitativo e a dei fattori da considerare si ottiene il quantitativo di polveri emesse nell'aria.

¹⁰ Come già citato per il calcolo delle emissioni di polveri in aria per le fasi di lavorazioni a umido, il metodo di calcolo riportato nel processo **Natural Stone Plat Cut** nel software Sima Pro, distribuisce il quantitativo di polvere prodotta dalla lama come 95% abbattuta dall'acqua e 5% emessa nell'aria, in questo caso questa distribuzione varia perché si tratta di lavorazioni a secco.

PERCENTUALE PARTICOLATO	POLVERE PIETRA LECCESE LAVORAZIONE A SECCO
50% polveri > 10 µm	0,0187
45% polveri < 10 µm > 2,5 µm	0,016
5% polveri < 2,5 µm	0,0018

Tabella 5.26. Valori di particolato su 0,0437kg (il 30% del totale) di polvere di pietra Leccese sul taglio di 1kg di lastre

I quantitativi di particolato calcolati non andranno ad influire sui risultati delle categorie d'impatto scelte per la valutazione LCA (Global Warming Potential - kg CO2 eq, Riduzione dell'ozono – kg CFC-11 eq., Acidificazione Potential – kg SO2 eq., Eutrophication Potential – kg PO4 eq., Photochemical Oxidation – kg C2H4 eq.). I quantitativi di particolato sono riportati nell'LCI come richiesto dalla normativa UNI EN 14044.

Transito di mezzi su strade non asfaltate

Per il calcolo dell'emissione di particolato dovuto al transito di mezzi su strade non asfaltate si

ricorre al modello emissivo proposto nel paragrafo 13.2.2 "Unpaved roads" dell'AP-42 documento a cui fanno riferimento le *LINEE GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELLE EMISSIONI DI POLVERI PROVENIENTI DA ATTIVITÀ DI PRODUZIONE, MANIPOLAZIONE, TRASPORTO, CARICO O STOCCAGGIO DI MATERIALI POLVERULENTI*.

Il rateo emissivo orario risulta proporzionale a (i) il volume di traffico e (ii) il contenuto di limo (silt) del suolo, inteso come particolato di diametro inferiore a 75 µm. Il fattore di emissione lineare dell'iesimo tipo di particolato per ciascun mezzo EF_i (kg/km) per il transito su strade non asfaltate all'interno dell'area industriale è calcolato secondo la formula (5.7):

$$EF_i = (\text{kg/km}) = k_i \cdot (s/12)^{a_i} \cdot (w/3)^{b_i} \quad (5.7)$$

i particolato (PTS, PM10, PM2.5)

s contenuto in limo del suolo in percentuale in massa (%)

W peso medio del veicolo (Mg)

K_i , a_i e b_i sono coefficienti che variano a seconda del tipo di particolato ed i cui valori sono forniti e riportati nella tabella 5.27.

	K_i	α_i	b_i
PTS	1.38	0.7	0.45
PM ₁₀	0.423	0.9	0.45
PM _{2,5}	0.0423	0.9	0.45

Tabella 5.27. Valori dei coefficienti K_i , α_i e b_i e al variare del tipo di particolato

Il peso medio dell'automezzo W deve essere calcolato sulla base del peso del veicolo vuoto e a pieno carico. La formula riportata è valida per veicoli con un peso medio inferiore a 260 Mg e velocità media inferiore a 69 km/h. Per il calcolo dell'emissione finale si deve determinare la lunghezza del percorso di ciascun mezzo riferito all'unità di tempo (numero di km/ora, kmh), sulla base della lunghezza della pista (km); quindi si devono considerare il numero medio di viaggi al giorno all'interno del sito ed il numero di ore lavorative al giorno.

Non possedendo i dati specifici di limo per la pietra Leccese, questi sono stati ripresi dallo studio *Stima emissioni di polveri* per la cava di Sferracavalli sita a Sarteano (SI), in quanto si tratta di una cava di calcare marnoso, simile alla pietra Leccese. Il quantitativo di limo considerato è dell'8%.

Nel caso studiato, il trasporto del materiale viene eseguito con un camion di 33 t, il quale ha un peso di 11 t a vuoto, quindi il peso medio durante il trasporto è pari a 22 t.

Sapendo che:

$$s = 8\%$$

$$w = 22$$

possiamo sostituire i valori nella formula (5.7) per ogni tipo di particolato.

$$EF_{PTS}=(\text{kg/km}) = 1,38 \cdot (8/12)^{0,7} \cdot (22/3)^{0,45} = 2,54 \text{ Kg/Km}$$

$$EF_{PM10}=(\text{kg/km}) = 0,423 \cdot (8/12)^{0,9} \cdot (22/3)^{0,45} = 0,715 \text{ Kg/Km}$$

$$EF_{PM2,5}=(\text{kg/km}) = 0,0423 \cdot (8/12)^{0,9} \cdot (22/3)^{0,45} = 0,0715 \text{ Kg/Km}$$

Il materiale viene trasportato lungo una strada non pavimentata di un lunghezza media di 100 m. Durante la giornata lavorativa di 8 ore, i viaggi effettuati sono due, per cui i viaggi medi della giornata lavorativa sono 1 e relazionati all'interno delle 8 ore sono 0,125.

Per l'emissione di particolato PTS uguale a 2,54 kg/km, poiché il viaggio risulta mediamente 100 m, si ha un'emissione di 0,254 kg/Km per viaggio e quindi si assegna una emissione di $254 \text{ g/viaggio} \times 0,125 \text{ viaggi/h} = 31,75 \text{ g/h}$

Per l'emissione di particolato PM₁₀ si ha un'emissione di 0,715 kg/km rapportandola alla lunghezza del viaggio si ha 0,0715 kg/km, quindi $72 \text{ g/viaggio} \times 0,125 = 9 \text{ g/h}$.

Per l'emissione di PM_{2,5} secondo i calcoli già riportati per gli altri particolati si hanno 0,9 g/h.

I dati raccolti per l'inventario sono riportati nelle tabelle seguenti rispettivamente per ogni tipologia di prodotto.

LCI chianche su 1 tonnellata di prodotto finito

CALCOLO INPUT E OUTPUT ESTAZIONE CHIANCHE					
DATI RACCOLTI IN CAVA	UNITA'	ESTRAZIONE		TRASPORTO LAVORAZIONE CHIANCHE	
		INPUT	OUTPUT	INPUT	OUTPUT
ENERGIA ELETTRICA	kwh	7,6			
CARBURANTE diesel	lt			1,4	
PRODOTTO- MATERIA PRIMA - PIETRA	kg	1755	1350		
SCARTI	kg		207		
POLVERI	kg		198		
EMISSIONE DI POLVERE IN ARIA					
Particulates, > 10 um	kg		34,4375		0,027
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	kg		30,9937		0,0027
Particulates, < 2.5 um	kg		3,4437		

CALCOLO INPUT E OUTPUT LAVORAZIONE CHIANCHE			
DATI RACCOLTI IN CAVA	UNITA'	SEGAGIONE	
		INPUT	OUTPUT
ENERGIA ELETTRICA	kwh	8,43	
PRODOTTO	kg	1350	1000
SCARTI	kg		149,94
POLVERI	kg		199,92
EMISSIONE DI POLVERE IN ARIA			
Particulates, > 10 um	kg		29,6
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	kg		26,64
Particulates, < 2.5 um	kg		2,96

LCI lastre 35x49x2 cm su 1 tonnellata di prodotto finito

CALCOLO INPUT E OUTPUT LASTRE 35X49X2					
DATI RACCOLTI IN CAVA	UNITA'	ESTRAZIONE		TRASPORTO REPARTO PRODUZIONE	
		INPUT	OUTPUT	INPUT	OUTPUT
ENERGIA ELETTRICA	kwh	9,33			
CARBURANTE gasolio	lt			0,392	
PRODOTTO	kg	2145,577	1650,44		
SCARTI	kg		249,152		
POLVERI	kg		245,98		
EMISSIONE DI POLVERE IN ARIA					
Particulates, > 10 um	kg		43,047		0,0715
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	kg		38,742		0,0071
Particulates, < 2.5 um	kg		4,3047		

CALCOLO INPUT E OUTPUT LAVORAZIONE LASTRE 35X49X2									
DATI RACCOLTI NELLO STABILIMENTO DI PRODUZIONE	UNITA'	SEGAGIONE		SPAZZOLATURA / LUCIDATURA		RETTIFICAZIONE 1		RETTIFICAZIONE 2	
		INPUT	OUTPUT	INPUT	OUTPUT	INPUT	OUTPUT	INPUT	OUTPUT
ENERGIA ELETTRICA	kwh	74,54		35,68		25,37		26,96	
ACQUA	l	317,2		126,88		95,16		95,16	
PRODOTTO	kg	1650,44	1100	1100	1100	1100	1040,53	1040,53	1000
SCARTI	kg		110				11,89		8,16
FANGHI	kg		660				71,37		48,97
EMISSIONE DI POLVERE IN ARIA									
Particulates, > 10 um	kg		11				1,189504373		0,8163
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	kg		9,9				1,070553936		0,7346
Particulates, < 2.5 um	kg		1,1				0,118950437		0,08163

LCI lastre 25x49x2 cm su 1 tonnellata di prodotto finito

CALCOLO INPUT E OUTPUT LASTRE 25X49X2					
DATI RACCOLTI IN CAVA	UNITA'	ESTRAZIONE		TRASPORTO REPARTO PRODUZIONE	
		INPUT	OUTPUT	INPUT	OUTPUT
ENERGIA ELETTRICA	kwh	9,05			
CARBURANTE	lt			0,392	
PRODOTTO	kg	2079,5545	1599,655		
SCARTI	kg		233,9195		
POLVERI	kg		245,98		
EMISSIONE DI POLVERE IN ARIA					
Particulates, > 10 um	kg		40,8946		0,0715
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	kg		36,8051		0,0071
Particulates, < 2.5 um	kg		4,08946		

CALCOLO INPUT E OUTPUT LAVORAZIONE LASTRE 25X49X2									
DATI RACCOLTI NELLO STABILIMENTO DI PRODUZIONE	UNITA'	SEGAGIONE		SPAZZOLATURA/LUCIDATURA		RETTIFICAZIONE 1		RETTIFICAZIONE 2	
		INPUT	OUTPT	INPUT	OUTPUT	INPUT	OUTPT	INPUT	OUTPUT
ENERGIA ELETTRICA	kwh	98,85		47,33		33,65		35,75	
ACQUA	l	420,66		168,26		126,22		126,22	
PRODOTTO	kg	1599,665	1123,7	1123,79	1123,79	1123,7	1040,5	1040,5	1000
SCARTI	kg		25,93				16,652		8,16
FANGHI	kg		674,26				99,916		48,97
EMISSIONE DI POLVERE IN ARIA									
Particulates, > 10 um	kg		11,23				1,665306122		0,816326
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	kg		10,11				1,49877551		0,734693
Particulates, < 2.5 um	kg		1,12				0,166530612		0,081632

5.7 Costruzione del processo ed elaborazione dei dati: riferimenti assunti

Per l'impostazione del lavoro di analisi LCA *cradle to gate* si è fatto riferimento alle PCR (Product Category Rules) *Marble or other calcareous stone, granite, sandstone and monumental or building stone* – 2009, sviluppate da CET SERVIZI R&S di Isea (TN) e alla norma UNI EN 15804 *Environmental product declarations* (2012).

L'unità di riferimento usata, come riportato nelle PCR, è la pietra naturale di 1000 kg (1t) pronta per essere venduta nelle differenti tipologie commerciali.

Il ciclo di vita dei prodotti considerato è stato suddiviso per fasi come riportato nella norma UNI EN 15804.

- FASE A1: estrazione delle materie prime
- FASE A2: trasporto al produttore
- FASE A3: produzione

Seguendo le indicazioni previste dalle PCR il ciclo di vita si suddivide nei seguenti moduli:

- MODULO 1: modulo di estrazione (produzione di blocchi e trasporto per lo stabilimento di lavorazione)
- MODULO 2: modulo di lavorazione primaria (taglio primario di blocchi/lastre, resinatura e/o trattamenti superficiali delle lastre)
- MODULO 3: modulo di lavorazione secondaria (taglio secondario, resinatura e/o trattamenti superficiali, riciclabilità degli scarti, stoccaggio).

Procedure di esclusione

Il consumo di imballaggi utilizzati durante la fase di approvvigionamento non deve essere considerato. Si possono escludere anche i consumi di imballaggi in sede di fornitura poiché scarsamente incidenti. (PCR)

Procedure di inclusione

Il materiale che sarà recuperato dovrà essere considerato come flusso in uscita dal sistema che lo ha generato e in entrata nel sistema o sistemi che lo utilizzano. (PCR)

Per la lavorazione delle chianche non viene recuperato nessun materiale. Gli scarti di lavorazione vengono impiegati per il riempimento della cava.

Per la lavorazione delle lastre 35x49x2 e 25x49x2 cm l'acqua immessa nel processo per l'abbattimento di polvere, viene poi riutilizzata nel processo stesso. L'acqua immessa nel processo, incontrando le polveri generate dai tagli, diventa fango, questo viene raccolto in delle vasche il quale viene fatto posare in modo che l'acqua vada in superficie e venga filtrata e rimessa in produzione. Quindi l'acqua recuperata non può essere riutilizzata al 100% in quanto una parte viene assorbita dalle polveri, diventando fango, e un'altra parte evapora in quantità diverse in base alle stagioni. I mezzi utilizzati per recuperare i dati quantitativi di acqua immessi nel processo e dei fanghi non possono restituire un dato preciso sulla quantità di acqua recuperata.

Regole di qualità dei dati

Preferibilmente dovranno essere utilizzati dati specifici; in alternativa potranno essere impiegati dati generici.

I dati specifici sono riferiti esclusivamente al processo produttivo considerato o ad altri sistemi equivalenti dal punto di vista tecnologico e sono quelli caratteristici del processo e del ciclo di vita considerato. I dati generici riguardano anche altri sistemi produttivi della stessa tipologia o con caratteristiche differenti da quello considerato. (PCR)

I dati sono stati ricavati e calcolati direttamente sul sito di estrazione e di lavorazione nell'estate – autunno 2015.

Di seguito si riporta la tabella 5.28 indicata dalle PCR per le fonti di dati generici selezionati utilizzabili in Europa, nella quale è stata aggiunta una colonna dove sono inserite le fonti dei dati utilizzati per l'analisi della pietra Leccese.

	PCR	PIETRA LECCESE
Materiali	Tipologia di database	
Acciaio	IISI (International Iron and Steel Institute)	
Calcestruzzo Ecoinvent	Ecoinvent	
Pietra naturale (fratturata)	Ecoinvent	Dati raccolti direttamente nell'azienda
Rame primario e prodotti di rame	ICA (International Copper Association) European Copper Institute (Deutsches Kupferinstitut – Life Cycle Center)	
Elettricità	Ecoinvent Data combined with IEA (International Energy Agency) statistics.	Dati raccolti direttamente nell'azienda
Carburanti	Ecoinvent	Dati raccolti direttamente nell'azienda
Alluminio	EAA (European Aluminum Association)	
Plastica	PE Plastics Europe (former APME Association of Plastics Manufacturers in Europe)	
Prodotti chimici	PE Plastics Europe (former APME Association of Plastics Manufacturers in Europe)	
Componenti elettronici	EIME (Environmental Information and Management Explorer) EcoBilan	
Trasporti	NTM or regional alternatives	Database ISPRA e SimaPro
Emissioni per la costruzione di macchinari	CORINAIR	
Gestione scarti	Ecoinvent	

Tabella 5.28. Fonti di dati per dati generici selezionati utilizzabili in Europa

5.7.1 Definizione dell'inventario per fasi

- FASE A1: estrazione delle materie prime

Per la definizione dell'inventario della fase A1, si sono indicati i quantitativi di energia elettrica consumata, i quantitativi di materia prima cavati e le rispettive emissioni in aria. A questi sono stati assegnati i materiali e i processi di analisi presenti nel software di calcolo SimaPro, e rispettivamente è stato attribuito *Ecoinvent*, *Electricity, medium voltage, at grid/IT U* all'energia consumata, *Limestone, in ground* alla materia prima e i quantitativi di emissioni in aria sono stati distribuiti per le granulometrie presenti nel suddetto software.

- FASE A2: trasporto dalla cava allo stabilimento

La definizione dell'inventario della fase A2 fa riferimento a quanto riportato nelle PCR di prodotto applicate.

“La Dichiarazione Ambientale di Prodotto dovrà includere la valutazione dell’impatto ambientale associato a tutti i trasporti necessari all’ottenimento dei prodotti d’uso; nel caso di utilizzo dei moduli 2 e 3 dovrà pertanto essere considerata la distanza percorsa dalla materia prima (pietra naturale) proveniente dal modulo 1. Tale dato verrà espresso in termini di trasporto di distanza media percorsa dall’unità funzionale considerata 1.000 kg. (PCR)

La distanza media dovrà essere calcolata secondo la seguente formula (5.8):

$$\text{Distanza coperta totale} / \text{Prodotti trasportati} = \text{Distanza media per 1000 kg} \quad (5.8)$$

La cava Motta dista dallo stabilimento di produzione 3 Km e il mezzo impiegato può trasportare 22 t di pietra. Applicando la formula si ottiene una distanza media di 0,136 km/t.

Per il processo dei trasporti si è fatto riferimento alle disposizioni date dalle PCR. È stato creato un nuovo processo riprendendo i dati relativi alle emissioni dei trasporti ISPRA¹¹.

Il database ISPRA, fornisce i dati in base alla tipologia di:

1. mezzo di trasporto (automobile, veicoli leggeri, veicoli pesanti ecc.)
2. mezzo di trasporto per tipologia di carburante (veicoli leggeri – diesel, veicoli leggeri – gasolio ecc.)
3. mezzo di trasporto con peso di portata per tecnologia di mezzo di trasporto (veicoli pesanti 28 – 32 t - Euro I, veicoli pesanti 28 – 32 t - Euro II ecc.)

Inoltre le tre sezioni di dati sono suddivisi per ambito urbano, ambito extraurbano, ambito autostradale e ambito totale.

Per la ricerca sono stati scelti i dati del punto tre, in quanto il mezzo utilizzato per trasportare la pietra dalla cava allo stabilimento è un veicolo pesante di 33 t, quindi è

¹¹ La banca dati dei fattori di emissione medi relativi al trasporto stradale, si basa sulle stime effettuate ai fini della redazione dell'inventario nazionale delle emissioni in atmosfera, realizzato annualmente da Ispra. La metodologia elaborata ed applicata alla stima delle emissioni degli inquinanti atmosferici è basata sull'EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013 ed è coerente con le Guidelines IPCC 2006 relativamente ai gas serra.

stata scelta la voce **Heavy Duty Trucks – Rigid >32 t HD Euro III - 2000 Standards – ambito extraurbano**.

I dati ISPRA sono stati messi a confronto con il processo **Transport, lorry >32t, EURO3/RER U** presente in SimaPro il quale contiene dati svizzeri. Le sostanze presenti nei due processi sono riportate nella *Tabella 5.29*.

EMISSIONI	unità di misura	SIMAPRO	ISPRA
EMISSIONI IN ARIA			
Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	kg	0,00000229	/
Carbon dioxide, fossil	kg	0,94866	0,768641188
Sulfur dioxide	kg	0,00002993	0,00000361
Cadmium	kg	3,5324E-09	2,64631E-09
Copper	kg	2,1522E-06	7,46054E-07
Chromium	kg	3,7891E-08	4,14911E-08
Nickel	kg	3,7279E-08	7,49456E-09
Zinc	kg	9,0736E-07	6,99214E-07
Lead	kg	1,0485E-07	9,06092E-08
Selenium	kg	2,993E-09	6,52926E-10
Mercury	kg	5,9859E-12	/
Chromium VI	kg	2,993E-11	/
Carbon monoxide, fossil	kg	0,0016383	0,001858768
Nitrogen oxides	kg	0,0082825	0,007180444
Particulates, < 2.5 um	kg	0,00019582	0,000182373
Particulates, > 10 um	kg	0,00005664	0,000211459
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	kg	0,00006228	/
NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	kg	0,00016875	0,000305925
Methane, fossil	kg	0,000075648	0,000024
Benzene	kg	1,1813E-10	2,16E-07
Toluene	kg	1,6875E-11	/
Xylene	kg	1,485E-09	/
Formaldehyde	kg	1,4175E-08	/
Acetaldehyde	kg	7,7119E-09	/
Ammonia	kg	0,000005	0,000003
Dinitrogen monoxide	kg	0,00003	/
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	kg	0,000000001	/
Heat, waste	MJ	13,588	/
Anidride solforosa	kg	/	3,61E-06
VOC 2013 g/km R	kg	/	0,000329925
PM_exhaust 2013	kg	/	0,000151016
EC_Elementar Carbon	kg	/	0,000105711
OM_ Organic Matter	kg	/	3,17133E-05
FC_Fuel Consumption	kg	/	0,25787282
EMISSIONE IN ACQUA			
Zinc, ion	kg	5,9491E-06	/
Copper, ion	kg	1,4097E-07	/

Cadmium, ion	kg	2,1064E-09	/
Chromium, ion	kg	1,0046E-08	/
Nickel, ion	kg	2,7222E-08	/
Lead	kg	8,6688E-08	/
EMISSIONE NEL SUOLO			
Zinc	kg	5,9491E-06	/
Copper	kg	1,4097E-07	/
Cadmium	kg	2,1064E-09	/
Chromium	kg	1,0046E-08	/
Nickel	kg	2,7222E-08	/
Lead	kg	8,6688E-08	/

Tabella 5.29. Confronto fra i processi Simapro e ISPRA

La prima considerazione che si può fare è che il database ISPRA contiene solo i dati riferiti a emissioni in aria, mentre nel processo di SimaPro sono presenti anche emissioni in acqua e nel suolo. Quindi si è creato un nuovo processo unendo i dati SimaPro (inclusi gli impatti legati alla costruzione delle infrastrutture) ai dati mancanti ISPRA.

Nel processo ISPRA sono presenti delle sostanze non inserite nel processo Simapro, quali Anidride solforosa, VOC, PM_exhaust, EC_Elementar Carbon, OM_ Organic Matter, FC_Fuel Consumption.

L'anidride solforosa e il VOC sono stati inseriti nel processo in quanto presenti nel database di SimaPro.

Per le altre sostanze è stata svolta una ricerca per capire come catalogarle all'interno del processo.

Le emissioni di particolato dei motori diesel sono composte prevalentemente da carbonio elementare (EC) e carbonio organico (OC)¹².

Tra i principali componenti di particolato di PM2.5 e PM10, OC e EC rispetto ai campionamenti e le analisi sono i dati più incerti.

Il carbonio elementare (noto anche come nerofumo) viene emesso durante la combustione di combustibili fossili come piccole particelle carboniose spesso con altre sostanze chimiche presenti sulla loro superficie¹³. Il nerofumo è sinonimo del particolato carbonioso (in ambito tecnico anche indicato con il termine inglese di **soot**).

¹² Engnes, Shah, Cocker III, Miller, Norbeck, *Emission Rates of Particulate Matter and Elemental and Organic Carbon from In-Use Diesel Engines*, in *Environmental Science and Technology*, Marzo 2004

¹³ National Physical Laboratory, *Particle Composition – Organic and Elemental Carbon*, in *Environmental Measurement - Science + Technology*, 2010

Fatte queste considerazioni ai valori EC del database ISPRA si attribuisce la sostanza *soot presente in SimaPro*.

Il resto del materiale carbonioso è materia organica che è una miscela complessa di centinaia di composti organici che coprono una vasta gamma di forme e volatilità molecolari¹⁴.

A causa della grande superficie dei composti organici, le particelle di scarico diesel possono assorbire quantità relativamente grandi di materiale organico proveniente dal carburante incombusto, olio lubrificante, e pirosintesi durante la combustione del carburante stesso.

Il dato *OM_ Organic Matter* presenti nel database ISPRA viene associato alla sostanza *organic substances, unspecified* in quanto le sostanze organiche presenti nel particolato non sono specificate.

Per i dati exhaust particulate viene invece scelta la sostanza *Particulates, diesel soot*.

Invece *FC_Fuel Consumption* non è stato inserito nel processo perché non sono presenti in Simapro sostanze da attribuire.

- FASE A3: produzione

Nell'inventario della Fase A3 si riportano i quantitativi di pietra in ingresso, i consumi di energia elettrica, i consumi di acqua e le rispettive emissioni in aria per ogni fase di lavorazione. A questi sono stati attribuiti gli stessi materiali e gli stessi processi di analisi presenti nel Software SimaPro assegnati alla fase A1.

5.8 Life Cycle Impact Assessment

Con la fase di valutazione degli impatti (LCIA, Life Cycle Impact Assessment) si evidenzia l'entità delle modificazioni ambientali che si generano a seguito dei rilasci nell'ambiente e del consumo di risorse provocati dall'attività produttiva. Consente di attribuire i consumi e le emissioni a specifiche categorie di impatto riferibili ad effetti ambientali conosciuti e nel quantificare l'entità del contributo che il processo arreca agli effetti considerati.

¹⁴ Watson J.G., Chow J. C., Chen A., *Summary of Organic and Elemental Carbon/Black Carbon Analysis Methods and Intercomparisons*, in *Watson et al., Aerosol and Air Quality Research*, Vol. 5, 2005

Categorie d'impatto ambientale e uso di risorse e indicatori

La valutazione d'impatto è stata effettuata utilizzando il metodo di caratterizzazione CML 2 baseline 2000 – Eur 25+3.

Sono stati stimati i seguenti indicatori d'impatto:

ENVIRONMENTAL INDICATOR	INDICATOR UNIT
Cambiamento climatico GWP	kg CO2 eq
Esaurimento abiotici (combustibili fossili)	MJ
Distruzione dello strato stratosferico dell'ozono	kg CFC-11 eq
Acidificazione del terreno e delle sorgenti di acqua	kg SO2 eq
Eutrofizzazione	kg PO4 eq
Formazione al livello del suolo di ozono espresso come ossidanti fotochimici	kg C2H4 eq

Tabella 5.30. Indicatori d'impatto stimati nello studio

Tabella di sintesi

Unità dichiarata	1 t
Età dei dati	La raccolta dei dati è stata effettuata da Giugno-Novembre 2015
Fonte delle informazioni	Tutti i dati sono stati raccolti direttamente nell'azienda di pietra Leccese, qualora non possibile fanno riferimento al database Ecoinvent
Metodo di raccolta dei dati	Tutti i dati sono stati misurati direttamente in cava e nell'azienda pietra Leccese
FASI DEL CICLO DI VITA	
MATERIE E PROCESSI SCELTI PER L'ANALISI	
ESTRAZIONE	
Pietra	Limestone, in ground
Elettricità	Ecoinvent, Electricity, medium voltage, at grid/IT U
TRASPORTO	
Carburante	Ecoinvent, Diesel, low-sulphur, at regional storage/CH U
Emissioni	ISPRA – SimaPro (Ecoinvent)
SEGAGIONE – LEVIGATURA - RIFILATURA	
Elettricità	Ecoinvent, Electricity, medium voltage, at grid/IT U
Acqua	Water, well, in ground
Metodo	CML 2 – IA/ Eur 25+3

Tabella 5.31. Tabella di sintesi della costruzione del processo

Lo studio di analisi LCA è stato svolto su tre prodotti in lastre di pietra Leccese:

- lastre 35 cm x 49 cm x 2 cm;
- lastre 25 cm x 49 cm x 2 cm;
- lastre 37 cm x 51 cm x 4 cm dette chianche.

Le prime sono utilizzate come rivestimento per pavimentazioni interne, mentre le lastre 25x49x2 cm per rivestimenti di parete. Le restanti, dette chianche, non subiscono lavorazioni superficiali e trovano impiego soprattutto come rivestimento di coperture piane. Tutti e tre i prodotti vengono ottenuti da blocchi di dimensioni 37x51x27 cm.

L'analisi svolta tratta un LCA *cradle to gate*, ovvero comprende tutte le fasi incluse nel processo produttivo fino ai cancelli, cioè dalla fase di estrazione delle materie prime (la culla) alla fase di messa sul mercato del prodotto (cancello), non contemplando tutte le fasi del ciclo di vita in relazione all'uso in un edificio.

L'unità di riferimento è 1 tonnellata di lastre pronte per essere vendute.

Le fasi relative al ciclo di vita dei prodotti in lastra sono riportate nella tabella 5.31 seguente in cui si definiscono le fasi sottoposte ad analisi.

FASI DEL CICLO DI VITA	FASI ANALIZZATE
Estrazione	●
Trasporto dalla cava allo stabilimento di produzione	●
Segagione dei blocchi	●
Spazzolatura	●
Rettificazione longitudinale	●
Rettificazione trasversale	●
Imballaggio	
Uso	
Fine vita	

Tabella 5.31. Fasi del ciclo di vita dei prodotti analizzate

L'analisi ha riguardato i processi di lavorazione e non ha incluso i processi di riciclaggio di scarti di lavorazione e di fanghi e il confezionamento dei prodotti.

In particolare il processo produttivo relativo al prodotto "chianche" non include la fase di lavorazione poiché viene immesso sul commercio sottoforma di lastre grezze.

Per facilitare la lettura dei dati le lastre 35x49 cm saranno denominate lastre A e le lastre 25x49 cm lastre B.

L'incidenza del materiale utilizzabile come lastre rispetto al materiale cavato è pari 35% per le lastre A, 37,5% per le lastre B e il 49% per le chianche.

Durante la fase di estrazione si considera il 25% di scarto e per la fase di lavorazione 40% per le lastre A, 37,5% per le lastre B, mentre 26% per le chianche.

QUANTITATIVO DI SCARTO %	LASTRE A	LASTRE B	CHIANCHE
ESTRAZIONE	25	25	25
LAVORAZIONE	40	37,5	26
TOTALE	65	62,5	51

Tabella 5.32. Quantitativi di scarti in percentuale per 1 tonnellata di prodotti

Tutti gli impatti, in linea con le regole definite dalle PCR sui Lapedei (2009) e con la normativa UNI EN 15804, sono stati attribuiti alla Unità di pietra Leccese utile, gli scarti prodotti in fase di estrazione, quelli riciclabili e quelli trattenuti in loco, e gli scarti di lavorazione sono stati considerati come flussi in uscita dal sistema analizzato, senza che essi siano stati associati ad un impatto ambientale, e pertanto i relativi processi di riciclaggio non sono inclusi e nessun impatto è allocato ad essi come coprodotti.

I processi produttivi sono stati analizzati in tre fasi, come viene riportato nella normativa UNI EN 15804.

Le fasi sono:

- fase A1 – Estrazione delle materie prime
- fase A2 – Trasporto allo stabilimento di produzione
- fase A3 - Lavorazione

Quest'ultima comprende la fase di segazione, spazzolatura, rettificazione longitudinale e rettificazione trasversale.

L'analisi di valutazione è stata svolta tramite il software SimaPro 8.0.3.14.

I metodi di caratterizzazione utilizzati sono CML-IA baseline, con set di normalizzazione EU25+3 ed EPD Draft solo per definire l'energia incorporata nel processo di estrazione e produzione.

Di seguito si riportano le analisi *cradle to gate* effettuate sui tre prodotti, i dati sono espressi con i parametri delle categorie d'impatto LCIA che la normativa UNI EN 15804 richiede e che devono essere inclusi nell'EPD (paragrafo 7.2.3 norma UNI EN 15804). Inoltre sono riportati i parametri ambientali presenti nell'inventario LCI riferiti all'energia

(dati normalizzati con EPD Draft) e al consumo di acqua. Per quanto riguarda i rifiuti (paragrafo 7.2.5 norma UNI EN 15804) si rinvia direttamente ai dati di inventario presenti alla conclusione del paragrafo 5.6.4 *L'emissione di polveri nell'aria*.

5.9 Risultati LCA

ANALISI DEL PROCESSO PRODUTTIVO DELLE LASTRE A

Le lastre A presentano un impatto maggiore nella fase di Lavorazione (A3), incidendo sul totale del processo per il 95%; mentre la fase di Estrazione (A1) incide per il 5% e quella relativa al Trasporto (A2) non risulta rilevante (Grafico 1). Le categorie di impatto più considerevoli nelle fasi estrazione e lavorazione, sono il *Global Warming Potential* (Effetto serra, kg CO₂ eq) e l'Acidificazione (kg SO₂ eq). Il contributo maggiore a queste categorie di impatto è dato dai consumi di energia elettrica.

LASTRE A (35X49X2)				
Impact category and Resources by LCI	Unit	A1 - ESTRAZIONE	A2 - TRASPORTO	A3 - LAVORAZIONE
Global warming (GWP100a)	kg CO ₂ eq	5,43	0,11	94,59
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	4,78E-07	3,80E-09	8,32E-06
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄ eq	0,001	9,51E-06	0,02
Acidification	kg SO ₂ eq	0,03	0,0005	0,46
Eutrophication	kg PO ₄ eq	0,006	0,0001	0,10
Energia non rinnovabile	Mj eq	83,4	0,384	1450
Acqua	m ³	/	/	0,634

Tabella 5.33. Impatti e consumo di risorse per le fasi di processo delle lastre A riferite a 1 tonnellata di lastre finite

Nella fase di Estrazione (A1):

- Tutte le categorie d'impatti incidono per il 5%;

Nella fase di trasporto (A2):

- Tutte le categorie d'impatto incidono per l'0,1%;

Nella fase di lavorazione (A3):

- Tutte le categorie d'impatto incidono per il 95%.

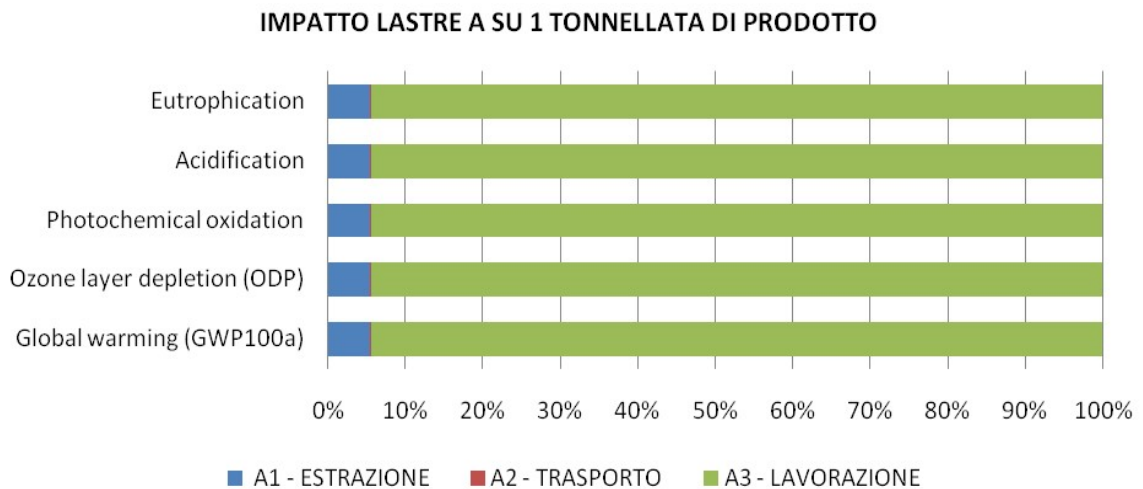


Grafico 1. Contributo percentuale per fasi e per categorie di impatto per lastre 35x49 riferito a 1 tonnellata di lastre finite

ANALISI DEL PROCESSO PRODUTTIVO DELLE LASTRE B

Il processo produttivo delle lastre B è simile a quello delle lastre A, infatti i risultati dell'analisi ne sono affini, in questo caso leggermente più alti.

La fase più impattante risulta la fase di Lavorazione (A3), con un impatto sull'intero processo del 95%. Il restante 5% è attribuito alla fase di Estrazione (A1) mentre la fase del trasporto risulta 0,1%. Gli indicatori d'impatto più rilevanti sono GWP e AC.

LASTRE B (25X49X2)				
Impact category and Resources by LCI	Unit	A1 - ESTRAZIONE	A2 -TRASPORTO	A3 - LAVORAZIONE
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	5,27	0,11	94,59
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	4,63E-07	3,80E-09	8,32E-06
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	0,001	9,51E-06	0,02
Acidification	kg SO2 eq	0,03	0,001	0,46
Eutrophication	kg PO4--- eq	0,006	0,0001	0,10
Energia non rinnovabile	Mj eq	80,9	0,384	1500
Acqua	m ³	/	/	0,841

Tabella 5.34. Impatti e consumo di risorse per le fasi di processo delle lastre B riferite a 1 tonnellata di lastre finite

Nella fase di Estrazione (A1):

- Tutte le categorie d'impatto incidono per il 5%;

Nella fase di Trasporto (A2):

- Tutte le categorie d'impatto incidono per l'0,1%;

Nella fase di Lavorazione (A3):

- Tutte le categorie d'impatto incidono per il 95%.

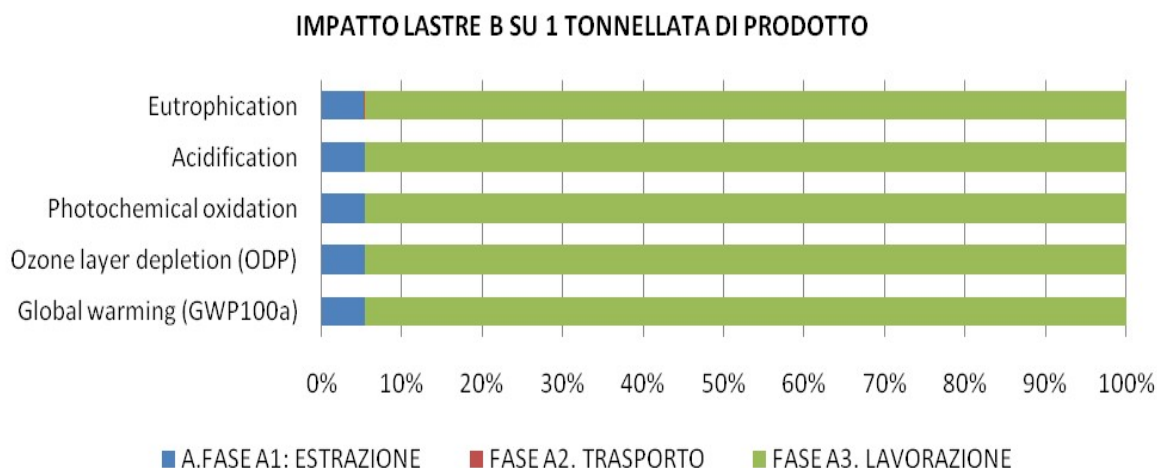


Grafico 2. Contributo percentuale per fasi e per categorie di impatto di lastre 25x49 riferito a 1 tonnellata di lastre finite

ANALISI DEL PROCESSO PRODUTTIVO DELLE CHIANCHE

Nell'analisi del processo delle chianche, la fase più impattante risulta la fase di lavorazione. Gli impatti della fase A1 e della fase A2 presentano valori non eccessivamente distanti tra loro, come invece risulta per le lastre A e B. Gli indicatori d'impatto più alti sono il GWP e AP.

CHIANCHE (37X51X4)				
Impact category and Resources by LCI	Unit	A1. ESTRAZIONE	A2. TRASPORTO	A3. LAVORAZIONE
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	4,42	0,23	4,91
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	3,89E-07	6,76E-08	4,31E-07
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	0,001	4,52E-05	0,001
Acidification	kg SO2 eq	0,02	0,001	0,02
Eutrophication	kg PO4--- eq	0,005	0,0002	0,005
Energia non rinnovabile	Mj eq	68	6,5	75,4
Acqua	m ³	/	/	/

Tabella 5.35. Impatti e consumo di risorse per le fasi di processo delle chianche riferito a 1 tonnellata di lastre finite

Nelle fase di Estrazione (A1) le categorie d'impatto incidono in percentuale per:

- GWP (kg CO2 eq): 46%
- ODP (kg CFC-11 eq): 44%
- POCP (kg C2H4 eq): 46%
- AP (kg SO2 eq): 47%
- EP (kg PO4 eq): 46%

Nella fase di Trasporto (A2) invece sia ha:

- GWP (kg CO2 eq): 3%
- ODP (kg CFC-11 eq): 8%
- POCP (kg C2H4 eq): 3%
- AP (kg SO2 eq): 1%
- EP (kg PO4 eq): 2%

Nella fase di Lavorazione (A3):

- GWP (kg CO2 eq): 51%
- ODP (kg CFC-11 eq): 48%
- POCP (kg C2H4 eq): 51%
- AP (kg SO2 eq): 52%
- EP (kg PO4 eq): 52%

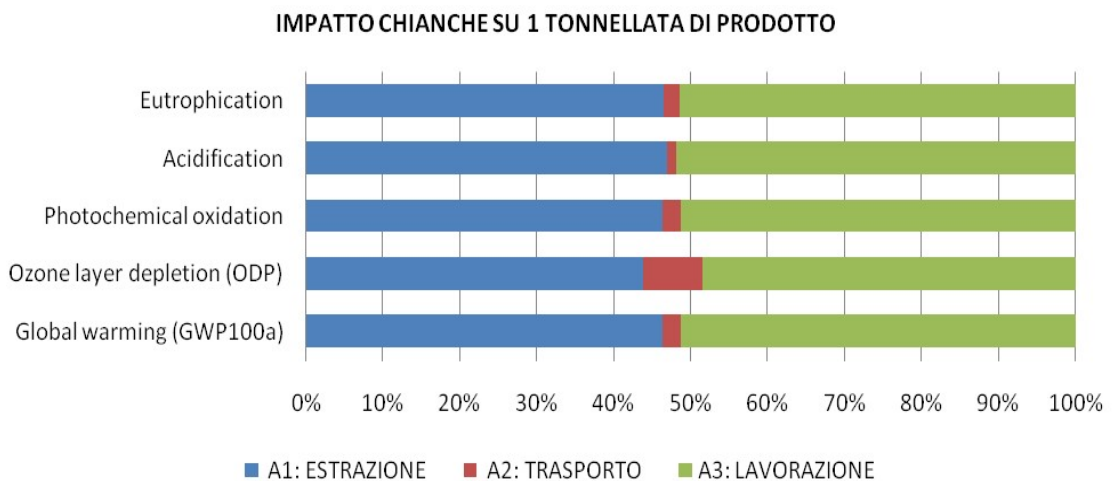


Grafico 3. Contributo percentuale per fasi e per categorie di impatto di chianche riferito a 1 tonnellata di lastre finite

Analizzando i processi di ogni prodotto secondo le fasi A1 – A2 – A3, possiamo notare che per ogni prodotto (lastre e chianche) la fase più impattante è la fase di produzione (A3) (Tabella 5.36). La fase di Trasporto (A2) è la fase che impatta meno, la distanza tra cava e stabilimento di produzione è di 3 km per le lastre A e B, le chianche vengono prodotte direttamente in cava, quindi viene considerata la distanza dalla zona di estrazione al deposito/lavorazione chianche che misura 100 m.

Impact category	Unit	A1 - ESTRAZIONE			A2 - TRASPORTO			A3 - PRODUZIONE		
		LASTR E A	LASTR E B	CHIAN CHE	LASTR E A	LASTR E B	CHIAN CHE	LASTR E A	LASTR E B	CHIAN CHE
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	5,43	5,26	4,42	0,11	0,11	0,23	94,58	97,9	4,9
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	4,77E-07	4,63E-07	3,89E-07	3,8E-09	3,8E-09	6,75E-08	8,32E-06	8,61E-06	4,31E-07
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	0,001	0,001	0,0008	9,5E-06	9,5E-06	4,52E-05	0,01	0,02	0,001
Acidification	kg SO2 eq	0,03	0,03	0,02	0,0005	0,0005	0,0006	0,46	0,47	0,02
Eutrophication	kg PO4-eq	0,006	0,006	0,005	0,0001	0,0001	0,0002	0,1	0,1	0,005

Tabella 5.36. Impatti e consumo di risorse per fasi di ciclo di vita per lastre A,B e chianche riferiti a 1 tonnellata di prodotto finito

Per determinare la derivazione dei valori alti corrispondenti nella fase di Produzione (A3), nella Tabella 5.37 vengono riportati i dati degli indicatori di impatto riferiti ad ogni singola fase del ciclo di produzione. I dati riportati si riferiscono al ciclo produttivo delle lastre A (35x49 cm).

Impact category	Unit	Total	1- Estrazione in cava	2- Trasporto da cava in azienda	3- Segagione	4- Lucidatura/spazzolatura	5- Rettificazione longitudinale	6- Rettificazione trasversale
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	100,13	5,42	0,11	43,37	20,76	14,76	15,68
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	8,8E-06	4,7E-07	3,8E-09	3,8E-06	1,82E-06	1,3E-06	1,37E-06
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	0,02	0,001	9,5E-06	0,009	0,004	0,003	0,003
Acidification	kg SO2 eq	0,49	0,02	0,0005	0,21	0,10	0,07	0,076
Eutrophication	kg PO4-- eq	0,11	0,006	0,0001	0,046	0,02	0,02	0,016

Tabella 5.37. Categorie d'impatto del processo di lastre per pavimentazione (35x49cm) riferite a 1 tonnellata di prodotto finto

Gli indicatori di impatto più rilevanti nel processo delle lastre 35x49 cm si confermano il Global Warming e l'Acidificazione.

La fase del trasporto incide poco, quindi la determinazione di questi dati è data dall'uso di energia elettrica.

Il dato maggiore di GWP nella fase di lavorazione è dato dalla fase di segagione.

Le categorie di impatto analizzate incidono in ogni fase del ciclo di produzione per le percentuali riportate nel grafico 4:

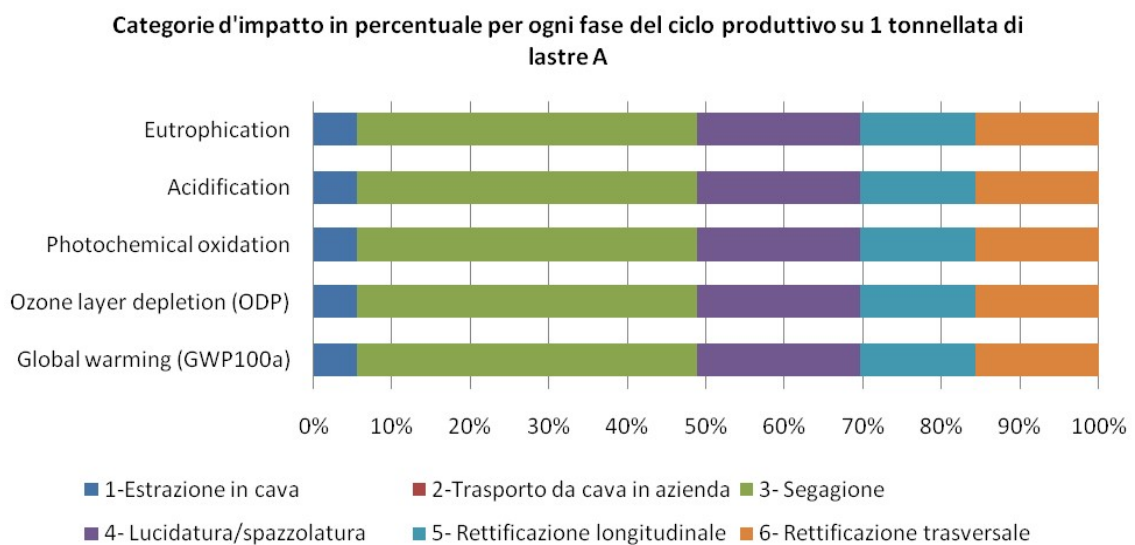


Grafico 4. Contributo percentuale per categoria di impatto e per fasi del ciclo produttivo delle lastre A (35x49 cm) riferite a 1 tonnellata di prodotto finto

Sul totale dell'intero processo, ogni categoria d'impatto incide per:

- fase di estrazione: 5 %
- fase di trasporti da cava in azienda: 0,1 %
- fase di segazione: 43%
- fase di spazzolatura: 21%
- fase rettificazione longitudinale: 15%
- fase rettificazione trasversare: 16%

La sostanza di maggiore importanza per l'impatto GWP è l'anidride carbonica, misurando 95% sul totale delle sostanze considerate per determinare l'indicatore d'impatto. Nella fase di segazione corrisponde al 41%. Anche l'indicatore d'impatto acidificazione ha il punteggio più alto nella fase di segazione e lucidatura, contando anidride solforosa al 78,8% sul totale, di cui il 34,1% corrisponde alla fase di segazione.

Comparazione tra le tre tipologie di prodotti

I risultati d'impatto ottenuti per ogni prodotto in pietra Leccese vengono messi a confronto nella Tabella 5.38.

Impact category and Resources by LCI	Unit	LASTRE A (35x49)	LASTRE B (25x49)	CHIANCHE
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	100,127	103,280	9,560
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	8,80E-06	9,078E-06	8,880E-07
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	0,019	0,0205	0,002
Acidification	kg SO2 eq	0,488	0,503	0,046
Eutrophication	kg PO4--- eq	0,106	0,109	0,010
Energia non rinnovabile	Mj eq	1537,197	1585,659	149,830
Acqua	m ³	0,634	0,841	/

Tabella 5.38. Impatti e consumo di risorse per lastre 35x49, Lastre 25x49 e chianche riferite a 1 tonnellata di prodotto finito

Benché il confronto non sia significativo dal momento che i tre prodotti hanno destinazione di uso diverso e quindi la tonnellata non rappresenti nei tre casi la stessa unità funzionale di riferimento, tuttavia si può osservare che dei tre prodotti analizzati quelli che presentano valori di impatto minori *riferiti a 1 tonnellata di prodotto finito* sono le chianche, infatti esse, rispetto alle altre tipologie non subiscono trattamenti superficiali, fase quest'ultima che ha una grande incidenza rispetto alla totalità del

processo produttivo. L'indicatore più significativo è il GWP (Global Warming Potential), espresso in Kg CO₂ equivalente, è notevolmente più basso rispetto alle altre lastre, questo perché il processo delle chianche impiega meno energia elettrica nella fase di lavorazione.

Confrontando la lastra A e la lastra B, l'impatto maggiore risulta per lastra B.

Confronto con altri prodotti in lastre lapidee

Per avere dei parametri di misura, l'analisi effettuata sulla pietra Leccese viene confrontata con i risultati di altri studi condotti su prodotti in lastre lapidee. Il confronto viene fatto con lastre per pavimentazione in Pietra Serena [Torricelli, Palumbo (2016)] e in Marmo di Custonaci (perlato di Sicilia) [Traverso, Rizzo & Finkbeiner (2010)].

TIPOLOGIA DI PIETRA	CATEGORIE DI IMPATTO SU 1 TONNELLATA DI PRODOTTO			
	GWP (kg CO ₂ eq)	POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	AP (kg SO ₂ eq)	EP (kg PO ₄ ---eq)
Marmo di Custonaci (Perlato di Sicilia)*	117,2	0,017	0,440	0,027
Pietra Serena** Firenzuola	81,1	0,005	0,11	0,030
Pietra leccese (35x49)	100,12	0,019	0,49	0,11

Tabella 5.39. Comparazione degli indicatori d'impatto tra Marmo di Custonaci, Pietra Serena e Pietra leccese su 1 ton di prodotto lastre per pavimentazione * Traverso, Rizzo & Finkbeiner (2010) **Torricelli, Palumbo (2016)

Dal confronto dei dati riportati in Tabella 5.39 si può dedurre che la pietra Leccese ha un impatto maggiore rispetto alla pietra Serena e minore rispetto al marmo di Custonaci.

In questo caso, la comparazione dei dati riferiti ad una tonnellata di prodotto non può dare un giusto confronto poiché la pietra Leccese ha peso specifico inferiore alle altre due pietre.

Il suo peso specifico è 1634 Kg/m³ mentre quello della pietra Serena è 2450 Kg/m³ e 2687 Kg/m³ il peso del marmo di Custonaci.

Mentre la comparazione fra pietra Serena e marmo di Custonaci può essere valutata perché hanno una differenza di peso per unità di volume non incidente sulla produzione di una tonnellata di lastre, per la pietra Leccese, avendo un peso di 2/3 rispetto alla pietra

Serena e ancora meno per il marmo di Custonaci, si impiegano più risorse per poter raggiungere l'unità di una tonnellata di prodotto, ma il maggior volume lavorato produce una maggiore quantità di lastre, a parità di dimensioni delle stesse fra i tre prodotti.

Quindi in questa comparazione si sceglie il riferimento alla unità funzionale di 1 m^3 , che permette di riferirsi allo stesso volume di pietra dal quale si può ipotizzare di ricavare le stesse quantità di lastre per pavimentazione nei tre materiali facendo l'ipotesi di uno spessore di 2 cm e dimensioni comparabili nei tre casi a confronto (Tabella 5.40).

Rapportando i dati su 1 m^3 la pietra Leccese ha l'impatto GWP più basso delle altre due pietre, 163,60 kg CO₂ eq contro 198,77 kg CO₂ eq per la pietra Serena e 314,8 kg CO₂ eq per il marmo.

Nella Tabella 5.39, i dati GWP non hanno valori molto distanti tra di loro, mentre comparandoli su

1 m^3 (Tabella 5.40) si nota quanto è più alto il dato del marmo di Custonaci rispetto alle altre pietre. Per gli indicatori d'impatto POCP, AP e EP, i risultati della pietra Leccese sono più vicini ai valori del marmo, rimanendo più bassi, mentre risultano più alti rispetto a quelli della pietra Serena.

TIPOLOGIA DI PIETRA	CATEGORIE DI IMPATTO SU 1 M^3 DI PRODOTTO			
	GWP (kg CO ₂ eq)	POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	AP (kg SO ₂ eq)	EP (kg PO ₄ ---eq)
Marmo di Custonaci (perlato di Sicilia)*	314,8	0,046	1,19	0,073
Pietra Serena** Firenzuola	198,77	0,013	0,27	0,075
Pietra Leccese (35x49)	163,6	0,033	0,79	0,17

Tabella 5.40. Comparazione degli indicatori d'impatto tra Marmo di Custonaci, Pietra Serena e Pietra leccese su 1 m^3 di prodotto lastre per pavimentazione

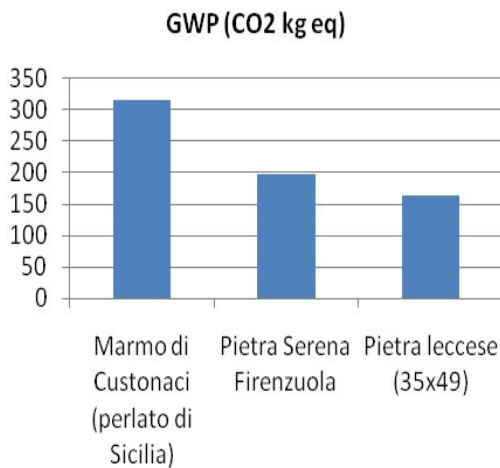


Grafico 5

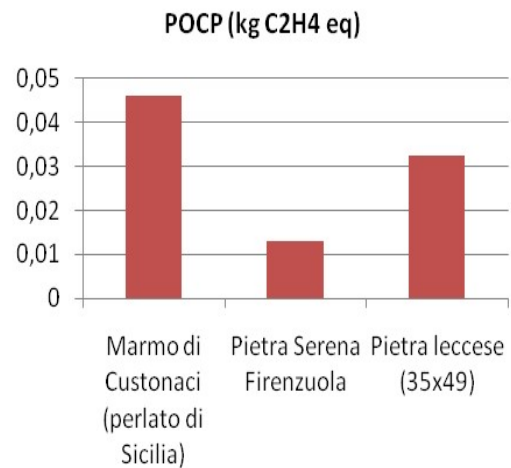


Grafico 6

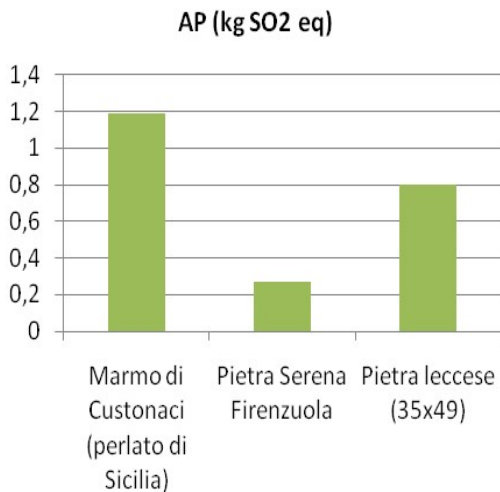


Grafico 7

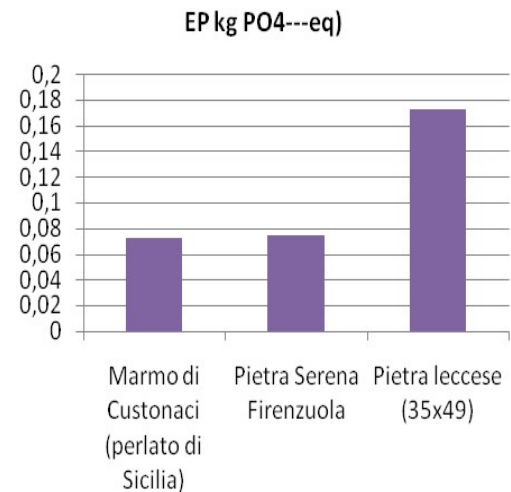


Grafico 8

Grafico 5 – 6 -7- 8. Confronto tra Marmo di Custonaci, Pietra Serena e Pietra leccese su 1 m³ di prodotto lastre per pavimentazione

È importante tuttavia evidenziare che il confronto tra i dati d'impatto della pietra Leccese e della pietra Serena è data, oltre ai quantitativi di risorse utilizzate, dalla tipologia di processo di calcolo scelto per l'energia elettrica.

Per la pietra Serena è stato scelto il processo *Electricity mix I + import S* e per la pietra Leccese *Electricity, medium voltage, at grid/IT U*.

Entrambi i processi di calcolo includono la produzione di energia elettrica in Italia e di importazione, la rete di trasmissione e le emissioni dirette in atmosfera, perdite di

energia elettrica durante la trasmissione di media tensione e la trasformazione da alta tensione.

Le perdite e le emissioni si basano su dati svizzeri. Appartengono alla stessa categoria locale, sottocategoria e file di origine.

È differente la banca dati, il primo appartiene a *EHT-ESU 96* e il secondo ad *Ecoinvent*.

Impact category	Unit	Electricity, medium voltage, at grid/IT U	Electricity mix I + imports S
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	0,161	0,192
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1,42E-08	1,53E-07
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	3,21E-05	9,16E-06
Acidification	kg SO2 eq	0,000787	0,000204
Eutrophication	kg PO4--- eq	0,000171	5,73E-05

Tabella 5.41. Impatti dei processi di calcolo usati per l'analisi della pietra Serena e della pietra Leccese

Comparazione di due processi di calcolo di energia elettrica

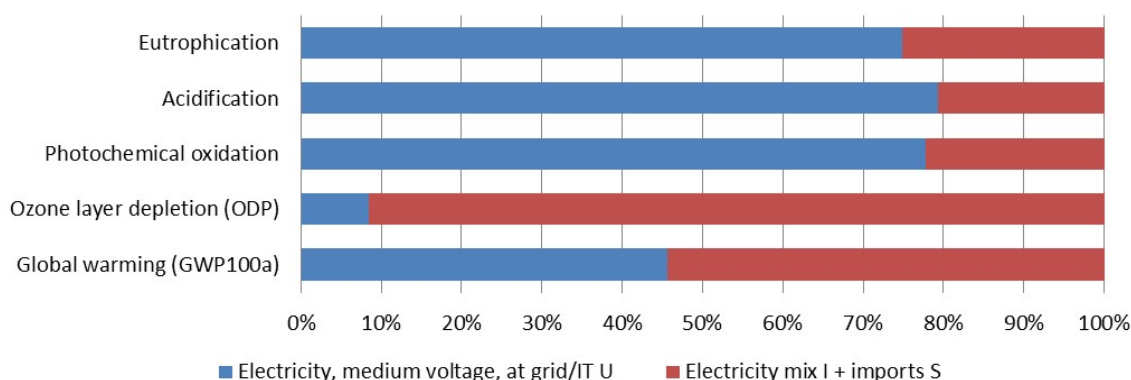


Grafico 9. Contributo in percentuale per gli impatti dei processi di calcolo usati per la pietra Serena e la pietra Leccese

Analizzando i processi di calcolo dell'energia elettrica, si motivano i valori più alti degli indicatori d'impatti AP e EP della pietra Leccese rispetto alla pietra Serena.

Questo confronto non può essere fatto con il marmo di Customaci per mancanza di dati.

5.10 Considerazioni sui risultati della valutazione ambientale della pietra Leccese

La valutazione degli impatti a livello locale della fase di estrazione della pietra Leccese è stata condotta rielaborando il criterio relativo a tale fase nella etichetta Ecolabel “Ecolabel Europeo per Coperture dure, per pavimenti e pareti”.

Questa fornisce fra i dieci criteri da rispettare per ottenere il marchio Ecolabel al **Criterio 1 – Estrazione delle materie prime**, indicatori di valutazione della prestazione ambientale che riguardano la gestione dell'estrazione delle materie prime per i diversi prodotti contemplati e nel caso di nostro interesse per le pietre naturali. Per considerare l'applicazione del criterio come una informazione sull'impatto della cava e non come una determinazione del livello di qualità della gestione della cava rispetto ad una soglia minima, come richiede l'applicazione dell'etichettatura, nel presente studio si invertono i punteggi stabiliti dall'etichettatura, cioè si attribuisce un punteggio alto al valore dell'indicatore più svantaggioso e non si stabiliscono soglie. Il punteggio totale definisce l'impatto della cava ed un punteggio totale alto corrisponderà un impatto alto.

Inoltre si evidenzia che con il metodo di applicazione della etichetta Ecolabel sopra citata la valutazione della cava di pietra Leccese non avrebbe avuto un punteggio totale “coerente” in quanto non impiegando acqua per l'estrazione gli indicatori **I.1 Quoziente di riciclo dell'acqua** e **I.5 Qualità dell'acqua**, secondo il parere di ISPRA non sarebbero stati applicati¹⁵.

Eseguendo una valutazione con punteggio ponderato e richiedendo un punteggio minimo da rispettare, non applicare due indicatori grava la situazione totale.

A livello ambientale non fare uso di acqua per la fase di estrazione significa risparmiare una grande risorsa naturale. Secondo il metodo di applicazione del Criterio 1 Ecolabel invece, tale inutilizzo va a gravare sul punteggio totale. Ignorare entrambi gli indicatori, equivale a considerare meno impattante l'ipotesi del riciclo parziale dell'acqua inserita nel processo, rispetto al suo totale disimpiego.

¹⁵ Sono stati contattati gli uffici ISPRA per avere dei chiarimenti su come applicare l'indicatore, in questo caso non usufruendo di acqua per l'estrazione, l'indicatore non è applicabile, quindi non si assegna nessun punteggio.

Dall'analisi LCA si evince che il prodotto in pietra Leccese meno impattante tra i tre analizzati

- lastre A: per pavimentazione di cm 35x49x2;
- lastre B: per rivestimento di cm 25x49x2;
- chianche: lastre grezze di cm 37x51x4);

risulta essere la chianca.

È una lastra a cui non vengono effettuate lavorazioni di finitura, quindi impiega meno energia elettrica, per niente uso di acqua e produce meno scarti, tuttavia bisogna evidenziare che la comparazione non tiene conto del diverso spessore delle chianche rispetto alle lastre. Se il riferimento fosse fatto al mq di superficie di rivestimento (unità funzionale) il risultato sarebbe conto di una minore superficie rivestita con 1 ton di chianche rispetto a quella rivestita con 1 ton. di lastre per il maggiore spessore delle chianche (4 cm contro 2 cm delle lastre).

Tra le lastre A e B, la più impattante risulta la lastra B. La determinazione di questo risultato è dipesa dalle dimensioni della lastra stessa. Avendo volume inferiore rispetto alla lastra A, per raggiungere l'unità stabilita sia 1 Ton e sia 1 m³¹⁶, bisogna produrre più lastre, quindi impiegare più risorse.

Anche se risulta più impattante rispetto alla lastra A, la lastra B produce meno scarti.

La segazione del blocco di 37x51x27cm lungo il lato di 37 cm per lastre di spessore 2 cm (da considerare spessore lama di 0.8 cm), comporta un uso migliore del blocco, si ottengono 13 lastre e una lastra di scarto spessa 0.6 cm.

Mentre per le lastre A, la segazione del blocco avviene lungo il lato di 27 cm, tagliando il blocco ogni 2 cm (più spessore lama 0.8 cm), si ottengono 9 lastre e una di scarto con spessore 1.8 cm.

Le categorie d'impatto più rilevanti per tutti e tre i processi sono il Global Warming (kg CO2 eq) e l'Acidificazione (kg SO2 eq), influenzati dal quantitativo di energia elettrica utilizzata nella fase di estrazione e nella fase di lavorazione, vista la bassa incidenza della fase di trasporto.

¹⁶ Questo riferimento si può fare perché i prodotti vengono lavorati nello stesso modo e con gli stessi macchinari.

Quest'ultima fase ha una rilevanza dello 0,1% in ogni categoria d'impatto per le lastre A e B e circa il 3% per le categorie d'impatto delle chianche.

La distanza percorsa tra la cava e lo stabilimento di produzione è maggiore rispetto alla distanza condotta dal carrello elevatore che trasporta i blocchi per la produzione delle chianche nella cava stessa, ma nel processo delle chianche l'impatto della fase trasporto è maggiore.

Questo dipende dalla differenza della macchina e dalla capacità di trasporto, il trasporto dei blocchi per le lastre avviene con un camion 33t con una capacità di trasporto di 22t , mentre i blocchi per le chianche vengono trasportati da un carrello elevatore con una capacità di trasporto di 2 t.

I risultati dell'impatto delle lastre per pavimentazione in pietra Leccese non risultano molto distanti dall'impatto dato dei prodotti in lastre di pietra Serena e in marmo Custonaci.

Si colloca con un impatto più basso rispetto al marmo di Custonaci e più alto rispetto alla pietra Serena, ad eccezione dell'indicatore d'impatto Global Warming Potential (kg CO₂) che risulta più basso.

BIBLIOGRAFIA

De Angelis, E., Andrea Campioli, Lavagna, M., Paleari, M., *Valutazione LCA degli interventi per la conservazione e manutenzione delle superfici di facciata*, in Atti del Convegno, VIII Convegno della Rete Italiana LCA, Scalbi, S., Loprieno, A. D., *I NUOVI ORIZZONTI DELL’LCA: verso un approccio sistemico e integrato alla progettazione dei prodotti, processi e servizi*, Firenze, Giugno 2014

EC, JRC, IES, (ILCD) Handbook Framework and requirements for LCIA models and indicators, First edition March 2010. EUR 24586 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union; 2010

Engines, Shah, Cocker III, Miller, Norbeck, *Emission Rates of Particulate Matter and Elemental and Organic Carbon from In-Use Diesel Engines*, in *Environmental Science and Technology*, Marzo 2004

Gargari, C., Palumbo, E., Torricelli, M.C, *“Profilo ambientale della pietra serena di Firenzuola: processo produttivo e nuovi impieghi”*. In: (a cura di) S.Scalbi, F.Reale, *Life Cycle Assessment e ottimizzazione ambientale: esempi applicativi e sviluppi metodologici*. p. 163-169, ENEA, ISBN: 9788882862923, Milano, 27-28.06.2013

Giordano, R. *I prodotti per l’edilizia sostenibile, la compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio*, Napoli, Esselibri, 2010

Garzonio, C.A., Montanari, F., Torricelli, M.C., (a cura di) *Pietra serena Qualità del prodotto e sostenibilità ambientale*, Libria, Melfi, 2010

Gazzetta Ufficiale dell’Unione Europea, *DECISIONE DELLA COMMISSIONE del 9 luglio 2009 che stabilisce i criteri ecologici per l’assegnazione del marchio comunitario di qualità ecologica alle coperture dure (notificata con il numero C(2009) 5613), 12.08.2009*

ISPRA, Manuale Tecnico Ecolabel per coperture dure, per pavimenti e pareti.

Lavagna, M., *Life Cycle Assessment in edilizia: lo stato dell’arte in Italia*, in Atti del Convegno, Cappellaro, F., Scalbi, S., (a cura di) *LA RETE ITALIANA LCA: PROSPETTIVE E SVILUPPI DEL LIFE CYCLE ASSESSMENT IN ITALIA*, Roma, 2011

Mendoza, J. M. F., Feced, M., Feijoo, G., Josa, A., Gabarrell X., Eieradevall, J., *Life cycle inventory analysis of granite production from cradle to gate*. International J. Life Cycle Assess, 19: pp. 153 – 165, 2013

Notter, D., Althaus, H. J., *Human health damage characterisation factors for particulate matter emissions to air for application in life cycle analysis*, Empa - Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, 2014

NSC Natural Stone Council, *A Life-Cycle Inventory of Limestone Dimension Stone Quarrying and Processing*, Report by the University of Tennessee, Center for Clean Products, 2008.

National Physical laboratory, *Particle Composition – Organic and Elemental Carbon*, in *Environmental Measurement - Science + Technology*, 2010

PCR (Product Category Rules) *Marble or other calcareous stone, granite, sandstone and monumental or building stone* – 2009, sviluppate da CET SERVIZI R&S di Isea (TN)

Scalbi, S., Buttol, P., Naldesi, L., Rinaldi, C., Zamagni, A., *Valutazione ambientale di prodotto ed LCA: l'importanza di banche dati e criteri di qualità dei dati*, in Atti del Convegno di Ecomondo 2010, Maggioli Editore, 2010

Summary of Organic and Elemental Carbon/Black Carbon Analysis Methods and Intercomparisons John G. Watson , Judith C. Chow, and L.-W. Antony Chen, 2005

Traverso M., Rizzo G., Finkbeiner M., *Environmental performance of building materials: life cycle assessment of a typical Sicilian marble*, International J. Life Cycle Assess, 15: pp. 104 – 114, 2010

Torricelli M. C., Palumbo E., *Measuring the Environmental Sustainability of the Sandstone of Firenzuola: the contribution of the Life Cycle Assessment*. In: *1st International Sustainable Stone Conference*, Carrara 20 Maggio 2016

UNI EN 14044:2006 *Environmental management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines*

UNI EN 15804:2012 *Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products*

Watson J.G., Chow J. C., Chen A., *Summary of Organic and Elemental Carbon/Black Carbon Analysis Methods and Intercomparisons*, in *Watson et al., Aerosol and Air Quality Research*, Vol. 5, 2005

www.npl.co.uk/environmental-measurement/products-and-services/particle-composition-organic-and-elemental-carbon [Consultato Novembre 2016]

www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/fetransp/ [Consultato Maggio 2016]

NOTA: Nel presente capitolo tutte le foto sono state scattate da Angela Masciullo (A. M.)



*Foto di Angela Masciullo. Lingua di Tuono, dente di Squalo.
Melpignano - 2015*

*[...] come nella pietra Maltese, così anche nella Leccese si trovano
abbondantissime le glossopetre dette appunto taluni naturalisti lingue
melitenses, e le quali si chiamano da' Leccesi Lingue di Tuono. È questa
un'osservazione importante per chi volesse avanzare delle congetture
geologiche [...]*

*Giovine, G. M., Lettera al Cav. Ab. Carlo Amoretti, in Notizie Geologiche e
Meteorologiche della Japigia ossia Provincia di Terra d'Otranto nel Regno di
Napoli, Dalla Tipografia di Luigi Mainardi, Verona, 1810*

CAPITOLO 6

INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DELL'ANALISI AMBIENTALE

6.1 Individuazione dei punti critici e dei punti di forza presenti nell'attuale processo

Il processo produttivo della pietra Leccese studiato, come si evince dal capitolo precedente che confronta gli impatti su unità funzionale di 1 m³ di lastre finite di rivestimento e dimensioni comparabili in base ai risultati LCA su pietra Leccese, marmo di Custonaci (perlato di Sicilia) e pietra Serena di Firenzuola, risulta avere un impatto minore rispetto al Marmo Custonaci e leggermente superiore rispetto alla Pietra Serena.

I prodotti in lastre di pietra Leccese non richiedono particolari finiture con agenti chimici che contribuirebbero all'impatto ambientale. Il loro processo consiste principalmente in fasi di lavorazione legate ad azioni di taglio.

Sempre grazie alle proprietà della pietra, l'estrazione avviene senza l'uso di esplosivi ma solo con tagli meccanici a secco, così non si generano ulteriori emissioni di polveri in aria dovute all'esplosivo, preservando inoltre l'impatto acustico nell'ambiente cava.

Per l'estrazione e la lavorazione dei lapidei l'utilizzo dell'acqua viene impiegato per il raffreddamento della lama della macchina e per l'abbattimento delle polveri, la pietra Leccese nella fase estrattiva risulta essere molto umida e l'uso dell'acqua la renderebbe troppo morbida e ne faciliterebbe la rottura. Questa caratteristica, limita la emissione di polveri nell'aria generate dai tagli (*vedi paragrafo 5.6.4 "L'emissione delle polveri in aria"*) e secondo uno studio condotto da ConTARP INAIL Puglia¹ non ancora pubblicato risulta che durante la lavorazione della pietra Leccese non è presente un importante quantitativo di silice libera cristallina.

Lo studio è stato finalizzato alla individuazione di polveri respirabili di quarzo nell'ambito delle lavorazioni della Pietra Leccese.

Il campionamento del particolato aerodisperso (limitatamente alla frazione respirabile che determina l'insorgenza di patologie in particolare la silicosi) è stato effettuato a livello

¹ Lo studio condotto da ConTARP INAIL Puglia sui quantitativi di silice libera cristallina presenti nelle lavorazioni di pietra Leccese è stato svolto dal geologo Papapietro, l'ing. Carluccio, i periti industriali Cavallo, D'Incognito e Orsini.

personale, operando con prelevatori portatili, indossati direttamente dal lavoratore per testarne l'esposizione individuale.

Sono state valutate le diverse lavorazioni della pietra e nella quasi totalità dei casi il quarzo depositato sulla membrana dei prelevatori, a causa della sua bassa concentrazione, non è risultato essere dosabile. In un solo caso è risultato essere dosabile in una percentuale, peraltro, estremamente bassa. Ciò è legato, soprattutto, alla notevole quantità di polvere depositata sul filtro legata, a sua volta, alle modalità lavorative effettuate a secco e con l'uso manuale di attrezzi motorizzati. Va tuttavia evidenziato che, pur dosandolo, il quarzo è presente in una percentuale estremamente bassa, inferiore all'1%.

Trattandosi di una calcarenite di natura organogena, non è ragionevole ipotizzare una presenza importante di silice libera cristallina. La stessa analisi condotta preliminarmente su campioni massivi di pietra Leccese, ha mostrato come il contenuto in quarzo è inferiore al 5%.

L'acqua impiegata nel processo di lavorazione viene riciclata, filtrata dal fango prodotto e riinserita nel processo. Non utilizzare acqua in fase estrattiva e riinserire nel processo lavorativo l'acqua già impiegata in altri cicli di produzione è un aspetto positivo che limita l'impiego di una risorsa di notevole importanza.

Tutti gli scarti prodotti sia in fase di estrazione e sia in fase di lavorazione compresi i fanghi non vengono riciclati. Le aziende possedenti cave di proprietà i rifiuti di lavorazione li impiega come riempimento di cava, mentre le aziende di sola lavorazione di pietra Leccese smaltiscono gli scarti prodotti presso degli stabilimenti di recupero e riciclo di rifiuti inerti ad un costo rispettivo di 11,50 €/tonnellata per le polveri provenienti da fanghi e di 8,50 €/tonnellata² per gli scarti di dimensione grande (dimensioni di diversi centimetri, che hanno origine da lastre rotte o difettose) e media (dimensioni piccole, composti da stecche, scaglie, trucioli, derivati dal taglio di blocchi o lastre)³. Giunti in

² Prezzi medi ricavati tramite sopralluogo e interviste presso tre stabilimenti di recupero e riciclo di rifiuti inerti siti nella provincia di Lecce.

³ In AIDICO. AITEMIN, CEVALOR and IMM CARRARA, *Deliverable: Guideline of possible application of slurries in industries demanding micronized materials and valorization of slurries*, In Valorisation and recycling of slurries produced during manufacturing stone sector to use as raw materials for industrial applications, LIFE10 ENV/ES/000480, 30/03/2012.

questo stabilimento, gli scarti vengono frantumati da un frantoio e uniti ad altri scarti di materiali da costruzione, per essere poi venduti per impieghi come materiale per riempimento e sottofondi.

La produzione di scarti è notevole, per produrre una tonnellata di lastre si producono una tonnellata di scarti tra la fase di estrazione e lavorazione. Al materiale di risulta non viene dato nessun valore, i fanghi vengono fatti asciugare al sole o vengono sottoposti a disidratazione mediante un filtropressa e diventati polvere vengono portati in cava o negli stabilimenti di recupero con il resto degli scarti.

Questi potrebbero essere una grande risorsa, soprattutto se si valuta che i materiali lapidei non si rigenerano, gli scarti riportati in cava non daranno altri "frutti" e oltre tutto generano dei costi di smaltimento. Se si fa riferimento alla *Carta litologica del Salento (Ciaranfi, Pieri, Ricchetti, 1988)* riportata nel paragrafo 3.1 *Composizione e caratteristiche* si può notare che l'estensione territoriale di questo materiale non è elevatissima considerando la lunga storia di lavorazione e applicazione.

Per quanto riguarda l'impatto legato al trasporto dalla cava allo stabilimento di produzione l'impatto non è rilevante. Le aziende di produzione della pietra Leccese spesso sono a poca distanza dalle cave.

Descrivendo gli aspetti del processo produttivo delle lastre di pietra Leccese i punti critici rilevati sono associati al grande quantitativo di scarti di materia prima e ai quantitativi di energia elettrica impiegati sia in fase di estrazione e di lavorazione, ma su questo aspetto c'è da sottolineare che ad alimentare tutto il processo non vengono impiegate altre risorse energetiche, come per la fase dell'estrazione che in altre tipologie di lapidei impiega l'uso di esplosivi.

Gli scarti di lavorazione lapidei possono essere classificati in tre categorie principali a seconda delle dimensioni del pezzo:

- Rifiuti grandi, rifiuti di medie dimensioni chiamati rottami, con dimensioni di diversi centimetri, che hanno origine da lastre rotte o difettose. Uno o più superfici possono essere lucidate, a seconda della fase di lavorazione in cui è stato creato il rifiuto.
- Rifiuti medi, rifiuti di piccole dimensioni composti da stecche, scaglie, trucioli. Questi sono creati durante il taglio di blocchi o lastre.
- Rifiuti piccoli, rifiuti costituiti da particelle fini come polvere o liquami.

6.2 Identificazione di aspetti ambientali e loro rilevanza

Un aspetto ambientale è il modo in cui la propria attività, servizio o prodotto influisce sull'ambiente determinando impatti ambientali.

Per decidere se gli aspetti ambientali siano o meno significativi, è necessario esaminarli e valutarli.

Gli aspetti ambientali individuati come significativi devono essere inclusi nel sistema di ecogestione e nel processo di riesame in corso. Quelli individuati come non significativi devono essere comunque ripresi in considerazione per tenere conto dell'evolvere della situazione.

Il Regolamento EMAS⁴ opera un'importante distinzione fra due tipi di aspetti ambientali: sono considerati "diretti" tutti quegli aspetti ambientali su cui l'organizzazione può esercitare un controllo diretto, ovvero quelli che derivano direttamente dalle sue attività; vengono invece considerati "indiretti" tutti gli aspetti ambientali su cui l'organizzazione pur non avendo un controllo, può esercitare un'influenza significativa.

Nel presente studio si individuano gli aspetti ambientali diretti.

Gli aspetti ambientali legati all'estrazione e alla lavorazione dei materiali lapidei riguardano:

- le modifiche del suolo e del sottosuolo a seguito dell'attività estrattiva;
- i consumi idrici connessi sia all'attività estrattiva che al processo di lavorazione (segazione dei blocchi e frantumazione degli scarti);
- il rilascio di scarichi idrici imputabili all'attività di estrazione e di lavorazione della pietra;
- le emissioni in atmosfera di polveri derivanti dall'attività della cava e dei frantoi, gas di scarico generati dalla movimentazione degli automezzi e di polveri da esplosivo;
- i consumi energetici legati alle attività di estrazione e di trasformazione;

⁴ EMAS (*Eco-Management and Audit Scheme*) è un sistema a cui possono aderire volontariamente le imprese e le organizzazioni, sia pubbliche che private, aventi sede nel territorio della Comunità Europea o al di fuori di esso, per valutare e migliorare le proprie prestazioni ambientali e fornire al pubblico e ad altri soggetti interessati informazioni sulla propria gestione ambientale. Lo scopo prioritario è contribuire alla realizzazione di uno sviluppo economico sostenibile, ponendo in rilievo il ruolo e le responsabilità delle imprese.

- la produzione di rumore proveniente dall'attività di escavazione, frantumazione e segazione;
- produzione di scarti/rifiuti

Nel caso della produzione di pietra Leccese gli aspetti ambientali sono leggermente ridotti, riprendendo i punti su:

- le modifiche del suolo e del sottosuolo a seguito dell'attività estrattiva;
- i consumi idrici connessi al processo di lavorazione (segazione dei blocchi e tagli successivi dei prodotti);
- le emissioni in atmosfera di polveri derivanti dall'attività della cava, gas di scarico generati dalla movimentazione degli automezzi;
- i consumi energetici legati alle attività di estrazione e di trasformazione;
- la produzione di rumore proveniente dall'attività di escavazione.
- produzione di scarti.

Gli aspetti ambientali più significativi della pietra Leccese tra quelli elencati riguardano la modifica del suolo e del sottosuolo, l'uso di energia elettrica e la produzione di scarti.

Le cave di pietra Leccese sono molto estese per superficie e per profondità, si arriva a cavare ad una profondità anche di 50 m.

Le zone estrattive sono caratterizzate da profondi buchi, dove diverse cave esaurite sono abbandonate senza un recupero.

L'aspetto dei consumi elettrici è rilevante ma è l'unica energia impiegata. Dall'analisi LCA le categorie d'impatto più alte riguardano il Global Warming (kg CO₂ eq) e l'Acidificazione (kg SO₂ eq) le quali possono essere associate all'uso di energia elettrica.

La quantità di scarti è dovuta principalmente alla tipologia del materiale, la pietra Leccese essendo una pietra morbida al contatto con le lame di taglio genera notevoli sfridi di lavorazione.

Nella tabella 6.1 sono riportati i quantitativi in kg di scarti prodotti in ogni fase del processo e per ogni prodotto studiato, divisi in scarti intesi come pezzi di materiale non idoneo e porzione di pietra frantumata dalla lama durante i tagli, rilevati in maniera diretta conoscendo la geometria dei blocchi e delle lastre, il numero di tagli per ogni lavorazione e lo spessore della lama.

Nella tabella 6.2 invece si riportano i quantitativi di scarti per la produzione di lastre effettuata nell'anno 2014.

SCARTI SU 1 TON DI LASTRE FINITE (KG)		LASTRA A (35X49)	LASTRA B(25X49)	CHIANCHE
ESTRAZIONE	SCARTI	249,152	233,9195	207
	PORZIONE FRANTUMATA DALLA LAMA	245,98	245,98	198
LAVORAZIONE	SCARTI	130,05	50,7	149,94
	PORZIONE FRANTUMATA DALLA LAMA	520,241	548,7813	199,92
TOTALE ESTRAZIONE/LAVORAZIONE		1.145,42	1.079,38	754,86
TOTALE COMPLESSIVO		2.979,66		

Tabella 6.1. Scarti su 1 tonnellata di lastre A, B e chianche.

SCARTI SU PRODUZIONE ANNO 2014 LASTRE (KG)	LASTRA A (35X49)	LASTRA B(25X49)	CHIANCHE
PRODUZIONE LASTRE ANNO 2014 (ton)	7.603,10	17.000,00	152.241,41
PRODUZIONE SCARTI ANNO 2014 (ton)	8.708,59	18.349,80	114.927,04

Tabella 6.2. Scarti sulla produzione di lastre nell'anno 2014



Immagine 1. Scarti di blocchi e polvere in cava

I consumi idrici per la fase di lavorazione, l'emissione di polvere durante l'estrazione, lo smog generato dai mezzi di trasporto per lo spostamento del materiale dalla cava allo stabilimento e il rumore derivato dalla fase di estrazione non sono ritenuti aspetti ambientali significativi, in quanto come descritto nel paragrafo precedente l'acqua viene riciclata, la distanza che separa la cava dallo stabilimento è esigua e il rumore causato in cava è contenuto perché non si fa uso di esplosivo.



Immagine 2. Scarti dalla segazione dei blocchi

Immagine 3. Scarti da rifilature lastre

Immagine 4. Fanghi essiccati

6.3 Individuazione delle azioni necessarie a ridurre l'impatto ambientale nelle fasi estrattive e produttive in ottica di green economy

L'importanza della gestione delle risorse naturali, dell'inquinamento e dei cambiamenti climatici sono temi su cui si affrontano dibattiti da diversi anni.

L'ambiente è ancora percepito come un problema economico da gestire, che richiede nuovi investimenti in infrastrutture e ricerca, e significativi cambiamenti del processo produttivo, con evidenti conseguenze in termini di aumento del costo di produzione e di perdita della competitività.

Le industrie, i servizi devono puntare alla green economy la quale mira a migliorare la qualità della vita di tutto il genere umano riducendo le disuguaglianze nel lungo termine senza esporre le generazioni future ai preoccupanti rischi ambientali e a significative scarsità ecologiche.

Per una produzione green economy le strategie possono essere l'uso di tecnologie ambientali e l'eco-innovazione.

Le tecnologie ambientali (anche dette *cleantech*) rappresentano un sostanziale strumento strategico per stimolare e rigenerare importanti comparti economici. Esse affrontano la riduzione delle risorse umane e la loro gestione per limitarne gli effetti e tendono a favorire il miglioramento dei processi produttivi e le politiche di innovazione del prodotto. La percentuale delle imprese italiane che investono in tecnologie ambientali è fortemente cresciuta nel 2010-2011, raggiungendo circa il 57%. Soprattutto le imprese del settore elettronico e metalmeccanico nel periodo 2008-2011 hanno investito in prodotti a tecnologia a maggior risparmio energetico e/o minor impatto ambientale.

Dalla ricerca di Unioncamere in collaborazione con la fondazione Symbola "*Green Italy 2011: l'economia verde sfida la crisi*" (la ricerca è basata su un'indagine, a cadenza annuale, realizzata attraverso la somministrazione di un questionario strutturato ad un campione di 1.500 imprese, rappresentante l'universo di circa 23.000 mila imprese manifatturiere, con un numero di dipendenti tra i 20 ed i 499 unità (PMI)), emerge inoltre come il 55% delle imprese che investono in tecnologie ambientali abbia come obiettivo il miglioramento dell'efficienza nella gestione delle risorse (materie prime ed energia),

mentre gli investimenti finalizzati al processo produttivo sono relativi al 35% delle imprese, e solo il 10% investe in *cleantech* per il miglioramento del prodotto⁵.

A sopperire il cambiamento climatico, l'esaurimento delle risorse non rinnovabili, la disponibilità di fonti energetiche, la gestione dei rifiuti e l'utilizzo di sostanze tossiche, l'eco-innovazione è stata identificata dalla Commissione Europea come una delle modalità più efficaci ed efficienti con cui affrontare le sfide ambientali e promuovere la *green economy*.

Il processo di eco-innovazione è un sistema di produzione o valorizzazione di un prodotto, processo produttivo/organizzativo o servizio, che risulti nuovo per l'organizzazione comportando una riduzione dell'inquinamento e dell'impiego delle risorse nel suo intero ciclo di vita.

Il riciclaggio dei rifiuti è incluso nei processi di eco-innovazione, favorisce la *green economy* e ricopre uno dei settori più importanti in termini di potenzialità di sviluppo di occupazione; infatti crea un numero maggiore di posti di lavoro rispetto ai settori dello smaltimento e dell'incenerimento.

L'Unione Europea si è mossa già da tempo nella direzione della gestione dei rifiuti con una serie di provvedimenti e normative. Con la Direttiva Quadro sui Rifiuti 2008/98/EC, si impone agli Stati membri una soglia minima di recupero rifiuti al 50% mediante raccolta differenziata, orientando meccanismi di produzione sempre più indirizzati alla virtuosità ed al recupero. La norma stabilisce un quadro giuridico per il trattamento dei rifiuti, inclusa la definizione di materia prima-seconda e di sottoprodotto, stabilendo regole più semplici per il loro riutilizzo.

A riguardo della produzione della pietra Leccese, emersi gli aspetti ambientali più significativi, è necessario introdurre un approccio a tecnologie ambientali pensando di usufruire di energia rinnovabile prodotta da pannelli solari fotovoltaici in modo da gestire i grandi quantitativi di energia elettrica necessari ad avviare il processo. L'utilizzo di energia pulita contribuirebbe a ridurre le emissioni di CO₂, sostanza principale nei gas serra i quali rappresentano il principale fattore determinante del riscaldamento globale.

⁵Jorizzo, M., *La dimensione economica delle tecnologie ambientali nell'ambito della green economy*, in Energia, Ambiente e Innovazione, ENEA, Maggio - Giugno 2012

La riduzione delle emissioni di CO₂ è la principale strategia di mitigazione dei cambiamenti climatici. La Commissione Europea ha recentemente proposto nuovi obiettivi di riduzione delle emissioni atmosferiche da raggiungere entro il 2030. Tali obiettivi prevedono la riduzione delle emissioni totali del 40% rispetto al 1990, l'aumento dell'energia da fonti rinnovabili al 27% del consumo finale e il risparmio del 30% di energia attraverso l'aumento dell'efficienza energetica⁶.

L'aspetto ambientale più rilevante del processo della pietra Leccese è risultato il quantitativo di scarti non recuperati. Per un processo *green* risulta necessario investire delle risorse (*economiche, materiali e dell'ingegno*) per recuperare la materia prima seconda scartata valorizzandola rendendola utile a generare nuovi prodotti e/o nuove applicazioni in altre filiere produttive oppure nella filiera edilizia stessa. Il recupero e il riciclo è uno strumento fondamentale per tutelare il consumo di risorse naturali.

Christian Ekberg, docente di "Riciclaggio Industriale"⁷ presso l'Università di Tecnologia di Chalmers in Svezia sostiene che *"Il riciclo offre una serie di potenziali vantaggi sia in termini finanziari che sul piano della ricerca. Lo sviluppo di nuovi metodi di riciclaggio applicabili industrialmente è d'interesse capitale e costituisce una sfida cruciale, assolutamente necessaria per la nostra società in un'ottica di sviluppo sostenibile e di tutela dell'ambiente."*

Il riuso e la valorizzazione dello scarto è uno dei metodi per poter contenere la pressione ambientale che le attività umane esercitano sul pianeta, tuttavia è uno strumento che sicuramente permette il recupero di un notevole quantitativo di materia prima, fondamentale per il controllo dell'uso delle risorse e per il contenimento degli sprechi.⁸

⁶ Caputo, A., Sarti, C., *Fattori di emissione atmosferica di CO₂ e sviluppi delle fonti rinnovabili nel settore elettrico*, ISPRA – Settore Edilizia, 2015

⁷ Prima cattedra universitaria al mondo dedicata nello specifico al "Riciclaggio Industriale" a confermare l'importanza del tema di interesse internazionale e l'esigenza di sviluppare studi e ricerche di nuove tecnologie applicate alla raccolta, allo smaltimento e riciclo dei rifiuti.

⁸ Lavagna, M., Migliore, M., Talamo, C., *Management of production processes, for the improvement of the environmental situation at the local level. The case of place affected by the presence of marble quarries*, in Atti di Convegno *Abitare insieme*, Napoli, 1/10/2015

BIBLIOGRAFIA

AIDICO, AITEMIN, CEVALOR and IMM CARRARA, *Deliverable: Guideline of possible application of slurries in industries demanding micronized materials and valorization of slurries*, In Valorisation and recycling of slurries produced during manufacturing stone sector to use as raw materials for industrial applications, LIFE10 ENV/ES/000480, 30/03/2012.

Campioli, A., Lavagna, M., Migliore, M., Oberti, I., Paganin, G., Talamo, C., *Eco Innovazione. La valorizzazione degli scarti e rifiuti industriali pre-consumo. Le potenzialità per l'edilizia in una ricerca del Politecnico di Milano*, in Modulo, n° 391/Settembre-Ottobre 2014

Caputo, A., Sarti, C., *Fattori di emissione atmosferica di CO₂ e sviluppi delle fonti rinnovabili nel settore elettrico*, ISPRA – Settore Edilizia, 2015

EMAS, *Orientamenti per l'individuazione degli aspetti ambientali e la valutazione della loro significatività*, ISPRA - www.isprambiente.gov.it/files/emas/aspetti-ambientali-it.pdf/view [Consultato Ottobre 2016]

Garavini, G., Zamagni, A., *L'approccio di ciclo di vita e l'eco-innovazione come strategia di sviluppo territoriale*, in Atti del Convegno, VIII Convegno della Rete Italiana LCA, Scalbi, S., Loprieno, A. D., *I NUOVI ORIZZONTI DELL'LCA: verso un approccio sistemico e integrato alla progettazione dei prodotti, processi e servizi*, Firenze, Giugno 2014

Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea, Direttiva 2008/98/ce del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008 relativa ai Rifiuti e che abroga alcune direttive

Jorizzo, M., *La dimensione economica delle tecnologie ambientali nell'ambito della green economy*, in Energia, Ambiente e Innovazione, ENEA, Maggio - Giugno 2012

Lavagna, M., Migliore, M., Talamo, C., *Management of production processes, for the improvement of the environmental situation at the local level. The case of place affected by the presence of marble quarries*, in Atti di Convegno *Abitare insieme*, Napoli, Ottobre 2015

Mancuso, E., Morabito, R., *La green economy nel panorama delle strategie internazionali*, in Energia, Ambiente e Innovazione, ENEA, Maggio - Giugno 2012

Masoni, P., Buttol, P., Rinaldi, C., Zamagni, A., *Strumenti per l'eco-innovazione di prodotto: il portale Ecosmes.net*, in Energia, Ambiente e Innovazione, ENEA, Maggio - Giugno 2012

Verbanac, R., *Le 4 fasi per l'identificazione e la valutazione degli aspetti ambientali*, www.advisera.com [Consultato Ottobre 2016]

NOTA: Nel presente capitolo tutte le foto sono state scattate da Angela Masciullo (A. M.)



*Foto di Angela Masciullo. Dettagli Basilica di Santa Croce.
Lecce - 2015*

*[...]Ho veduto de' lavori traforati di questa pietra, che imitavano almeno
da lontano li trafori famosi de' Chinesi in avorio. [...]*

*Giovine, G. M., Lettera al Cav. Ab. Carlo Amoretti, in Notizie Geologiche e
Meteorologiche della Japigia ossia Provincia di Terra d'Otranto nel Regno di
Napoli, Dalla Tipografia di Luigi Mainardi, Verona, 1810*

CAPITOLO 7

PROPOSTE SU ALCUNE CRITICITA'

7.1 Soluzioni legate al consumo di risorse

Avendo un quadro più preciso della situazione lapidea pugliese e nello specifico del comparto produttivo della pietra Leccese, si evince che diversi sono i punti critici legati a questo settore.

In primis la situazione riguardante l'uso del suolo e l'impatto sul paesaggio: sono presenti in tutto il territorio pugliese cave di estrazione con aree estese e molte non rinaturalizzate a causa di lacune nelle normative che gestiscono il comparto dell'estrazione.

Non sono da sottovalutare neanche i quantitativi di energia elettrica consumati e gli scarti di estrazione e produzione.

Con il presente studio si propongono in termini generali qui di seguito delle soluzioni riferite ai punti critici.

Come già indicato nel Rapporto Cave 2014 Legambiente, i canoni di estrazione della regione Puglia sono irrisori. Sarebbe opportuno rivalutarli in modo da sensibilizzare le imprese alla quantità di materiale cavato e scartato.

Maggiore attenzione si pone su recuperare gli scarti derivanti da estrazione e lavorazione della pietra Leccese.

Gli scarti in fase estrattiva sono generati dai tagli da cui si ottengono delle polveri e da blocchi non conformi alla lavorazione, blocchi che si rompono durante l'estrazione.

Questi vengono accantonati in cava, ammassati a formare dei dossi insieme a polvere, solo perché non rispettano le dimensioni dei prodotti a cui devono dare vita.

I blocchi scartati ed etichettati tali, potrebbero essere selezionati e impiegati per la realizzazione di prodotti, con diversa destinazione.

Ad esempio, potrebbero essere destinati ad artigiani scalpellini che realizzano sculture, oppure agli studenti dell'Accademia delle Belle Arti di Lecce, settore scultura.

Come già descritto nel paragrafo 5.10 "Considerazioni sui risultati della valutazione ambientale della pietra Leccese", per la realizzazione delle lastre di rivestimento 25x49x2 cm, durante la fase di segagione, si presenta un notevole quantitativo di scarto. Per evitare ciò si potrebbero ridimensionare i blocchi in rapporto alle dimensioni dei prodotti

da realizzare; l'estrazione avviene tramite macchinari meccanici che scorrono su binari, ridefinire le dimensioni dei blocchi non sarebbe un problema, considerando che comunque già adesso per le produzioni di formati non standard queste variano.

Un'altra strategia riguarda il recupero delle polveri, rimpiegandole nella produzione di nuovi prodotti. Nello specifico, lo studio pone attenzione su questo punto, studiando letteratura di materiali derivanti da riciclo di materie prime seconde e facendo delle proposte di sperimentazione.

7.2 Impieghi e prodotti con utilizzo degli scarti lapidei. Stato dell'arte nel settore lapideo

La produzione di un materiale genera rifiuti in ogni fase del suo ciclo di vita, a partire dall'estrazione delle materie prime, passando per la lavorazione, la distribuzione sul mercato, l'uso e il fine vita; per quanto essi possano essere contenuti, la loro generazione è un aspetto inevitabile nella creazione di qualsiasi oggetto.

Come riportato nel paragrafo 6.3 *"Individuazione delle azioni necessarie a ridurre l'impatto ambientale nelle fasi estrattive e produttive in ottica di green economy"*, considerare e rendere possibile l'utilizzo degli scarti/rifiuti nel settore di appartenenza o in altri settori, è una strategia per contenere gli impatti ambientali e incrementare la sostenibilità di un prodotto.

Per entrare nell'ottica del riciclo e del riutilizzo sarebbe opportuno considerare i "rifiuti" come preziose risorse, pensare che un oggetto o un materiale che in un determinato momento ha smesso di svolgere la sua funzione ne potrà svolgere altre riadattato a contesti diversi¹.

La lavorazione della pietra genera dei sottoprodotti che possono essere impiegati in maniera vantaggiosa in molteplici settori.

Per esempio, l'impiego del limo di segagione della pietra come fertilizzante è conosciuto fin da tempi remoti; l'utilizzo come ammendante è praticato con le rocce carboniche

¹In Pauli, G. [1996]. Upsizing: The Road to Zero Emissions, More Jobs, More Income and No Pollution. Greenleaf publishing, Sheffield UK. I rifiuti sono presentati come un mondo di opportunità nel quale muoversi attraverso tecniche di produzione sostenibili, in un'ottica volta a reinventare prodotti e processi industriali.

(calcarei, dolomie e marmi) ed in Europa, il Paese che fa buon uso di farina di roccia in agricoltura (biologica) è la Germania².

I tipi di recupero possibili dei fanghi di marmo sono svariati, in quanto l'elevata concentrazione di carbonato di calcio può rendere questi scarti, tramite essiccazione con vari processi produttivi, sostitutivi del calcare di cava. Il carbonato di calcio è impiegato in molteplici settori produttivi: l'industria della plastica, della carta, della ceramica, del cemento, del calcestruzzo, degli intonaci, del vetro, dell'acciaio, delle vernici, dei concimi e come correttivo di acidità nel settore dell'agricoltura³.

A Verona il fango di marmo è recuperato grazie ad un impianto centralizzato, dove viene raccolto in maniera differenziata dai vari produttori, conferito in forma liquida pompabile ed in parte già addensato viene poi trasferito in una vasca di stoccaggio. Successivamente segue la filtropressatura del fango che permette l'asportazione di una notevole percentuale di acqua. Il prodotto viene poi addensato o essiccato, eliminando anche la quota residua di umidità.

Dopo questo processo, viene impiegato come materiale di riempimento nella produzione di guaine bituminose e materie plastiche; per dosiforazione dei fumi di combustione nei sistemi di filtrazione dell'aria; come materiale di riempimento nelle formulazioni degli strati di asfalto superficiale per pavimentazioni stradali³.

Dal granito, invece, è possibile ottenere concentrati di quarzo-feldspato (sodico e potassico), da destinare all'industria ceramica e vetraria; è necessario però eliminare soprattutto i minerali contenenti ferro⁴.

Rimanendo in ambito edilizio, si è sperimentata la possibilità di utilizzare gli scarti in polvere fine dalla lavorazione del calcare pugliese di Trani (comunemente detti

² Carraro, G., Castelli, S., *Biorisanamento e potenzialità di impiego del limo di segazione nel settore verde, Rapporto finale di ricerca, Mandante: Associazione Industrie dei Graniti, marmi e pietre naturali del Ticino, Novembre 2005*

³ Mansoldo, C., Piazzì, O., *La lavorazione dei materiali lapidei, Rapporto sullo stato dell'ambiente, Provincia di Verona*

⁴ Dino, G. A., Fornaro, M., *L'utilizzo integrale delle risorse lapidee negli aspetti estrattivi, di lavorazione e di recupero ambientale dei siti, in "Giornale di Geologia Applicata", pp 320–327, N° 2, 2005*

“marmettola”), a parziale sostituzione del cemento nella produzione di malte da muratura.⁵

Numerosi sono gli studi sull'utilizzo di polvere di pietra da impiegare nel campo del cemento, alcuni ricercatori suggeriscono che i rifiuti della pietra possono sostituire in modo efficiente una parte o la totalità di aggregati grossolani e fini mentre altri sostengono che una parte di cemento può anche essere sostituito da rifiuti pietra⁶.

Un gruppo di *maker* creativi di Frosinone ha lanciato la piattaforma *Marble EcoDesign* dove la polvere di scarto delle lavorazioni del marmo viene miscelata ad altri materiali e consolidata alla luce ultravioletta, per diventare materiale da estrarre in stampanti 3D opportunamente adattate allo scopo⁷.

Sempre grazie all'uso di stampanti 3d, una giovane architetto pugliese partecipando al concorso di *Arti Puglia per “Giovani innovatori in azienda” 2015*, propone elementi di arredo urbano realizzati con materiali di scarto e di risulta dalle lavorazioni estrattive; realizzati per mezzo della stampante 3d, progetto che poi è stato accolto da un'azienda marmifera di Trani.

Il metodo di recupero dei lapidei più diffuso e consolidato consiste negli agglomerati o pietre ricostruite.

Il concetto di agglomerato si ritrova fin dall'epoca romana, con la tecnica di pavimentazione più diffusa nell'antica Roma, definita *opus signinum*. La pavimentazione veniva realizzata con uno strato di calcestruzzo ricoperto da un altro più sottile costituito da un impasto di piccoli frammenti di terracotta e malta di calce, spesso colorata con terre rosse. Successivamente, su questo strato venivano cosparsi piccoli frammenti di pietra bianca o pezzi di marmo.

⁵ “Operando introduzioni di marmettola dal 5% al 15% in peso sul secco in luogo delle analoghe quantità di cemento, si evince come le resistenze diminuiscano al diminuire della quantità di cemento inserito nell'impasto, ma che tutte le malte ottenute hanno resistenze meccaniche che rientrano ampiamente nei valori individuati dalla normativa relativa alla classificazione delle malte da muratura.” (Scioti, A. Petrella, M., Fatiguso, F., De Tommasi, G., Petrella, A. *Scarti di lavorazione della pietra di Trani nel confezionamento di malte non convenzionali a matrice cementizia* in Atti del IX Convegno nazionale AIMAT – Piano di Sorrento – 29/62/7/2008, Edizioni Ziino ISBN 9788890094866, 2008)

⁶ In Rana, A., Kalla, P., Verma, H.K., Mohnot, J.K., *Recycling of dimensional stone waste in concrete: A review*, Journal of Cleaner Production, 135 pp 312-331, 2016

⁷ Casarin, D., *Marble Ecodesign: dagli scarti del marmo nuove creazioni attraverso la stampante 3d*, in Genitron, 2013 <http://www.genitronsviluppo.com/2013/10/29/marble-ecodesign-stampa3d/>

Nel corso dei secoli, la pavimentazione romana è stata interpretata dall'architetto Andrea Palladio prende il nome di pavimento "*alla palladiana*", nel quale è previsto l'inserimento, con studiato gusto estetico, di frammenti di marmo non uniformi e di varia dimensione in un getto di legante cementizio, in modo da lasciare in evidenza la superficie del marmo. Da questa tecnica ne deriva il pavimento "*alla veneziana*" in cui nello strato cementizio si versavano graniglie di varie dimensioni e colori. Al termine di questa operazione e dell'indurimento del legante, la superficie veniva levigata o lucidata per mettere in evidenza le caratteristiche dimensionali, la cromia e la disposizione del disegno della graniglia utilizzata.

Nei primi anni Cinquanta, le due tipologie di pavimentazione sono state industrializzate, ovvero, l'evoluzione industriale ha permesso di produrre i pavimenti "*alla veneziana*" e "*alla palladiana*" in stabilimenti con formato a lastre di piccole dimensioni chiamate *marmette* (dimensioni da 10x10 cm fino a 40x40 cm). Le marmette hanno avuto un grande successo in quanto, la loro produzione in serie ha permesso la riduzione del lavoro di posa in opera a un semplice montaggio di elementi regolari prefabbricati.

Le materie prime sono rappresentate da cemento, polvere di marmo, eventuale pigmento colorante, acqua e graniglia di marmo, miscela che viene posta in degli stampi.

L'agglomerato si può definire un materiale composito, perché costituito dall'unione di varie materie prime diverse. Un composto è una sostanza derivante dalla combinazione di due o più elementi secondo un rapporto in peso ben definito e costante in ogni suo campione rappresentativo⁸.

Gli agglomerati lapidei, materiali compositi, vengono fabbricati utilizzando sia leganti inorganici tradizionali sia leganti organici sintetici. Il legante inorganico più utilizzato è il cemento Portland, bianco o grigio, a volte modificato con resine epossidiche, viniliche o metacriliche; i leganti sintetici più utilizzati si riferiscono alla resina appartenente alla famiglia dei poliesteri insaturi. Le materie prime sono il marmo, il granito, il quarzo.

⁸ In Tassone, P., *Agglomerati Lapedei. Produzione industriale – Caratteristiche – Prestazioni*, Ulrico Hoepli Editore, Milano, 2004.

Tra i prodotti innovativi costituiti da scarti di produzione, presentati alla manifestazione Carrara Marmotec 2016, si cita un agglomerato lapideo con legante di resina, ideato dal designer Marco Guazzini e il “Carrara-Block”.

L’agglomerato lapideo è composto da polvere recuperata dagli scarti di marmo di Carrara, resine e scarti del comparto tessile (*Immagine 4*). Nell’ideazione del nuovo materiale, il designer ha fatto una ricerca sui luoghi in cui è cresciuto ed ha unito i prodotti che rappresentano la sua terra, il marmo di Carrara che caratterizza la Versilia e i tessuti prodotti a Prato. Dall’unione di questi materiali, realizza dei blocchi di marmo ricomposto caratterizzati da striature colorate date dai filamenti del tessuto. Con questo materiale ricomposto realizza prodotti d’arredo come vasi o piani per tavoli.

Il prodotto “Carrara-Block” è costituito da polveri di cavatura e segazione del marmo di Carrara, è un mattone smart, che è in grado di rispondere contemporaneamente in modo efficace sia alle richieste strutturali, sia alle richieste estetiche, infatti la finitura dei lati esposti è particolarmente curata da poter utilizzare il prodotto a “faccia a vista”. Il sistema di produzione permette di realizzare dei mattoni perfettamente uguali senza bisogno di essere rettificati; questa caratteristica permette la posa con impiego di colla, risparmiando tempo di esecuzione e costi. Le materie prime di cui è costituito il *Carrara-Block* sono granulati e sabbie derivati dalla lavorazione del marmo e cemento bianco; l’assenza di acqua è strettamente connessa al sistema di produzione che prevede la compressione dei componenti ed utilizza quindi l’umidificazione sfruttando l’acqua naturale contenuta nelle materie prime che l’alta pressione di lavorazione fa emergere e reagire.

I materiali descritti hanno conferito valore agli scarti, il riciclo contribuisce a limitare gli impatti sull’ambiente e a reinterpretare l’uso di un materiale inquinante, come i fanghi di marmo, che invece assume un ruolo di primo piano per la realizzazione di nuovi prodotti.



Immagine 1. Realizzazione di pavimentazione "alla veneziana"(Fonte www.lucamezzini.it)

Immagine 2. Pavimentazione "alla veneziana" (Fonte it.pinterest.com)

Immagine 3. Marmette di graniglia di marmo anni '50 (Fonte web)

Immagine 4. Agglomerato di marmo di Carrara, resina e tessuto (Fonte www.marcoguazzini.com)

7.3 Proposte di impiego di scarti di pietra Leccese

Ad oggi gli scarti di pietra Leccese vengono recuperati solo a fini di riempimento, lo smaltimento nei centri di recupero e riciclo di inerti genera anche dei costi e se si considerano infatti i grandi quantitativi di scarti prodotti in tutto il processo di lavorazione, le aziende produttrici hanno delle spese notevoli per la gestione dei rifiuti. La pietra Leccese è una pietra calcarea e i rifiuti di tale tipologia, a causa del loro alto contenuto di CaCO_3 , possono essere destinati a diversi riutilizzi in diversi settori industriali. Come descritto nel paragrafo precedente, gli usi potenziali dei carbonati sono molteplici. Il recupero degli scarti della pietra Leccese non solo non si applica ai diversi settori industriali possibili, come riportato in letteratura per le pietre calcaree⁹, ma non

⁹Non sono presenti studi di reimpiego di scarti di pietra Leccese in altri settori e non è possibile quindi ritenere che le applicazioni della pietra Leccese possano dare gli stessi risultati che si hanno con quelle dei fanghi di marmo, essendo anch'esso una pietra calcarea.

viene impiegato nemmeno nel settore delle costruzioni, a cui prevalentemente la pietra è destinata. Gli scarti non sono riciclati per la realizzazione di prodotti costituiti da materia prima seconda come avviene in altri settori lapidei.

Le proposte di impiego degli scarti di pietra Leccese che si presentano con la tesi dottorale si collocano nell'ambito edilizio e fanno riferimento all'uso delle polveri di pietra Leccese prodotte in estrazione e durante la lavorazione, in quest'ultima fase, si producono i fanghi, ma rimpiegando l'acqua nel processo di lavorazione questi vengono poi fatti asciugare al sole o vengono sottoposti a disidratazione mediante un filtropressa e ritornano polvere.

Sono state fatte due proposte di reimpiego della polvere: **intonaco di finitura** e **agglomerato lapideo**, per le quali sono state svolte delle sperimentazioni¹⁰ in modo da definire le porzioni dei materiali e i tipi di materiali costituenti il composto. In questa parte dello studio, si valutano **aspetti tecnici-produttivi**, quali la **lavorabilità**, la **presa**, **l'indurimento** e **gli aspetti cromatici**.

7.3.1 Intonaco di finitura in pietra Leccese

La proposta dell'utilizzo della polvere per realizzare l'intonaco di finitura in pietra Leccese nasce dalla conoscenza del composto tradizionale quale, inerte, grassello di calce e acqua, quindi si pensa di sostituire la porzione di inerte con la polvere di pietra Leccese. Concetto simile al cocciopesto, composto da frammenti di laterizi (tegole o mattoni) minutamente frantumati e malta fine a base di calce aerea. Dalle ricerche effettuate, non risulta che in passato la polvere di pietra Leccese venisse impiegata per realizzare intonaci, il suo utilizzo era impiegato per ripristinare parti di decori mancanti, e veniva modellata con albume d'uovo (vedi sotto capitolo 3.3.1 *Metodi di estrazione antichi e nomenclatura tradizionale*). Oggi invece la polvere di pietra Leccese, chiamata *piuma*, aggiunta allo stucco è impiegata per rifinire le lesioni superficiali.

¹⁰Le sperimentazioni sono state svolte in maniera diretta, facendo prima ricerca su letteratura, prodotti e materiali presenti sul mercato e poi misurando, setacciando e impastando tutti i composti. La polvere di pietra Leccese utilizzata per le sperimentazioni deriva dagli scarti dall'azienda presa come caso studio per svolgere l'analisi ambientale.

Per definire il composto dell'intonaco di finitura si sono svolte cinque sperimentazioni, le quali sono state praticate con l'aiuto di un imbianchino esperto nella stesura di intonaco, stucchi e rifiniture particolari. I composti sono stati lavorati con l'utilizzo del frattazzo su superfici di cartongesso con stesura a due strati. Come idea iniziale, ai componenti dell'intonaco tradizionale si è sostituito l'inerte con la polvere di pietra Leccese, quindi il campione 1IN è costituito da polvere di pietra Leccese di granulometria fine (polvere setacciata con l'uso di collant), acqua e grassello di calce, con proporzioni in volume di:

- n° 3 di polvere di pietra Leccese;
- n° 1 di grassello di calce;
- n° 1 di acqua.

Per la miscelazione dei componenti si è prima ammorbidito il grassello di calce con l'acqua e poi si è aggiunta la polvere di pietra.



Immagine 5. Porzioni in volume campione 1IN

Immagine 6. Unione delle parti in polvere dopo che il grassello di calce è stato ammorbidito con l'acqua

Immagine 7. Miscelazione del composto

Immagine 8. Stesura del secondo strato di intonaco di finitura su supporto in cartongesso

La stesura del campione è risultata difficile, il composto risulta poco plastico, non della giusta consistenza, con l'asciugatura si ritira molto facilmente ed applicando il secondo strato si rischia di ritirare il primo. Dopo l'asciugatura la superficie intonacata rilascia polvere al tatto.

Per evitare il rilascio di polvere si aggiunge al composto del campione 1IN dell'adesivo di presa, ovvero un modificante per cementi e calci idrauliche a base di lattici speciali, molto resistente alla saponificazione, con effetto flessibilizzante e fortemente adesivante, migliorando in tal modo l'aderenza e aumentando l'impermeabilità. Nelle porzioni utilizzate è già compreso il quantitativo di acqua con cui l'adesivo va diluito. Il rapporto tra acqua e adesivo è 1:1.

Quindi il campione 2IN è costituito dal composto del campione 1IN più:

- ¼ porzione di adesivo di presa;
- 1 porzione di polvere di pietra.

Il secondo strato, prima dell'asciugatura è stato schiacciato con il frattazzo umido, in modo da compattare maggiormente il composto e rendere la superficie più liscia.



Immagine 9. Composto campione 1IN più collante di presa e un'altra porzione di polvere di pietra

Immagine 10. Stesura del campione 2IN su supporto in cartongesso

Al campione 3IN oltre alla pietra Leccese si aggiunge della sabbia di fiume per ottenere una superficie più ruvida. Le proporzioni in volume sono:

- n° 3 polvere pietra Leccese
- n° 1 grassello di calce
- n° 1 acqua

- n° ½ sabbia di fiume
- n° ¼ adesivo di presa



Immagine 11. Porzioni composte campione 3IN
Immagine 13. Stesura del primo strato su superficie

Immagine 12. Giusta consistenza del composto
Immagine 14. Stesura secondo strato in cartongesso

Dai risultati ottenuti da primi tre campioni si considera che:

- non sono presenti variazioni di colore rispetto alla cromia della pietra naturale;
- dal campione 2IN si ha una giusta consistenza;
- il campione 1IN dopo l'asciugatura rilascia polvere al tatto;
- il composto si rivela di difficile stesura per superfici più ampie rispetto alla superficie di prova (30x40cm).

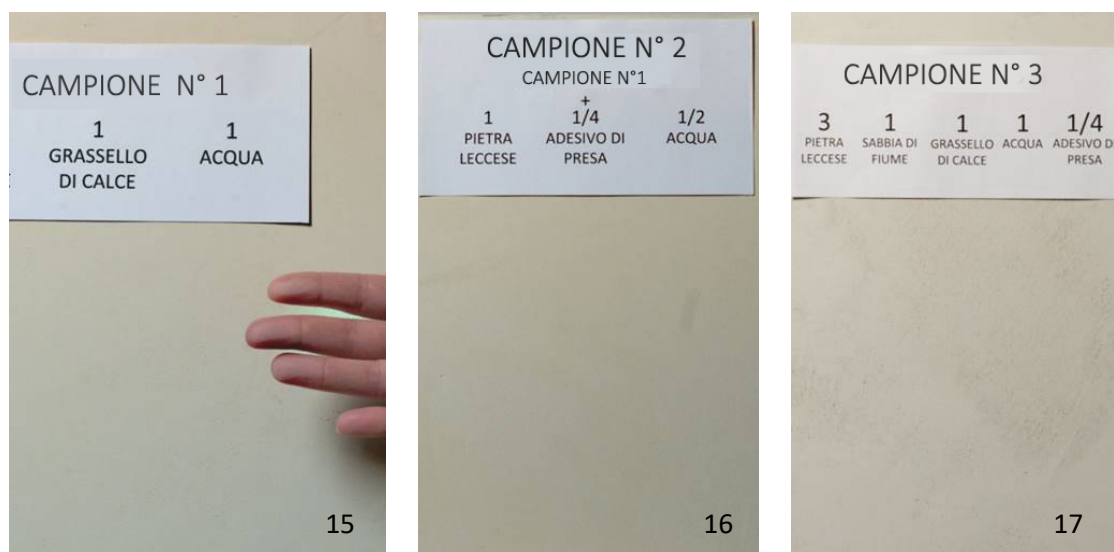


Immagine 15. Intonaco campione 1IN

Immagine 16. Intonaco campione 2IN

Immagine 17. Intonaco campione 3IN

Per migliorare l'aspetto della difficile stesura, si confezionano altri due campioni modificando il composto: polvere di pietra Leccese, adesivo di presa a base di lattici, adesivo rasante eco-compatibile (contenente sostanze a bassa emissione di contaminanti chimici e sabbie sferoidali quarzifere e rocce calcaree purissime delle cave di marmo di Carrara, le quali conferiscono all'adesivo una reologia ottimale e un bassissimo assorbimento di acqua) e acqua.

I campioni 4IN e 5IN hanno le stesse proporzioni di composto, ma varia l'inerte, uno contiene polvere di pietra Leccese paglierina e l'altro polvere di pietra Leccese grigia.

Le proporzioni in volume sono:

- n° 2 polvere pietra Leccese paglierina/grigia;
- n° 2 adesivo-rasante eco-compatibile;
- n° 1 adesivo di presa;
- n° 1 acqua.



Immagine 18. Porzioni campione 3IN



Immagine 19. Stesura secondo strato campione 3IN



Immagine 20. Porzioni campione 4IN



Immagine 21. Stesura secondo strato campione 4IN

Il composto dei campioni 4IN e 5IN, rispetto ai primi campioni, risulta avere una migliore stesura e non riporta difficoltà nell'applicazione del secondo strato. Avendo una consistenza più plastica, l'intonaco di pietra Leccese così costituito può essere impiegato con facilità per rifinire pareti di media grandezza, tipo superfici di 6 m².

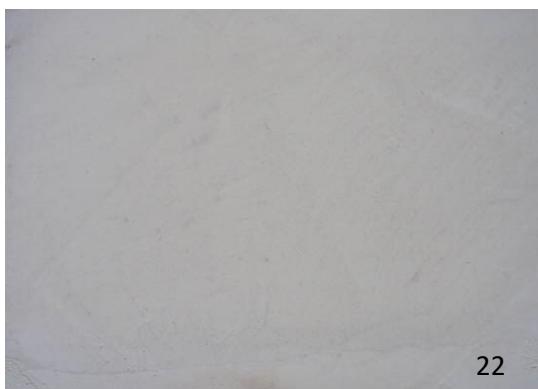


Immagine 22. Intonaco campione 3IN



Immagine 23. Intonaco campione 4IN

CAMPIONE INTONACO	COMPOSTO Porzioni in volume	NOTE POSITIVE	NOTE NEGATIVE
CAMPIONE 1IN	<ul style="list-style-type: none"> - n° 3 polvere di pietra Leccese - n° 1 grassello di calce; - n° 1 d acqua 	<ul style="list-style-type: none"> - rispetta la cromia della pietra naturale 	<ul style="list-style-type: none"> - non presenta una buona consistenza; - dopo l'asciugatura rilascia polvere al tatto; - difficile stesura per superfici più ampie della superficie di prova (30x40cm)
CAMPIONE 2IN	<ul style="list-style-type: none"> - composto 1IN - ¼ porzione di adesivo di prese - 1 porzione di polvere di pietra 	<ul style="list-style-type: none"> - rispetta la cromia della pietra naturale - si presenta della giusta consistenza - dopo l'asciugatura non rilascia polvere al tatto 	<ul style="list-style-type: none"> - difficile stesura per superfici più ampie della superficie di prova (30x40cm)
CAMPIONE 3IN	<ul style="list-style-type: none"> - n° 3 polvere di pietra Leccese - n° 1 grassello di calce - n° 1 acqua - n° ½ sabbia di fiume - n° ¼ adesivo di presa 	<ul style="list-style-type: none"> - rispetta la cromia della pietra naturale - si presenta della giusta consistenza - dopo l'asciugatura non rilascia polvere al tatto -con l'aggiunta della sabbia di fiume si ottiene una superficie ruvida 	<ul style="list-style-type: none"> - difficile stesura per superfici più ampie della superficie di prova (30x40cm)
CAMPIONE 4IN	<ul style="list-style-type: none"> - n° 2 polvere di pietra Leccese paglierina - n° 2 adesivo-rasante eco-compatibile - n° 1 adesivo di presa - n° 1 acqua 	<ul style="list-style-type: none"> - rispetta la cromia della pietra naturale - si presenta della giusta consistenza - dopo l'asciugatura non rilascia polvere al tatto -buona stesura per superfici di media grandezza 	
CAMPIONE 5IN	<ul style="list-style-type: none"> - n° 2 polvere di pietra Leccese grigia - n° 2 adesivo-rasante eco-compatibile - n° 1 adesivo di presa - n° 1 acqua 	<ul style="list-style-type: none"> - rispetta la cromia della pietra naturale - si presenta della giusta consistenza - dopo l'asciugatura non rilascia polvere al tatto -buona stesura per superfici di media grandezza 	

Tabella 7.1.Descrizione campioni prime sperimentazioni

7.3.2 Lastre in agglomerato di pietra Leccese

La proposta dell'agglomerato di pietra Leccese è applicata anche ad altri prodotti lapidei, metodo di recupero presente in letteratura e presentato con diversi casi studio a un convegno presso la manifestazione Marmotec di Carrara svoltosi a Giugno 2016. Sono diversi i prodotti realizzati con gli scarti lapidei di polvere di marmo uniti a resina o a cemento bianco, che costituiscono blocchi per impiego costruttivo o impiego di arredo.

Da questo tipo di approccio si è sperimentato una lastra di pietra ricomposta utilizzando polvere di pietra Leccese, cemento, adesivo di presa e acqua. La scelta di legare la polvere di pietra Leccese al cemento e all'adesivo di presa, deriva da studi di agglomerati lapidei presenti sul mercato e dall'impiego di questi materiali per la realizzazione delle fughe dei lastricati solari in chianche.

È stato scelto il cemento bianco in modo da non conferire variazioni di cromia alla pietra e l'adesivo di presa utilizzato è lo stesso per le sperimentazioni dell'intonaco di finitura.

I campioni realizzati, 1A e 2A, si differenziano soprattutto per l'inerte, il campione 1A è costituito da polvere di pietra Leccese grigia mentre il 2A da polvere di pietra Leccese paglierina. Le proporzioni in volume usate per il campione 1A sono:

- n° 3 polvere di pietra Leccese grigia
- n° 2 cemento bianco
- n° 1 adesivo di presa
- n° 2 acqua

Sono state miscelate prima le polveri e poi sono stati aggiunti i liquidi in modo da garantire al composto una consistenza equilibrata.





Immagine 24. Porzioni campione 1A

Immagine 26. Miscelazione con le parti liquide



Immagine 25. Unione delle polveri del composto

Immagine 27. Composto disposto nello stampo

Il composto 2A invece è costituito da:

- n° 4 polvere di pietra Leccese paglierina
- n° 2 cemento bianco
- n° 1 adesivo di presa
- n° 3 di acqua



Immagine 28. Porzioni campione 2A



Immagine 29. Miscelazione composto 2A

Entrambi i campioni sono stati versati in dei contenitori di plastica di dimensioni 10 cm x 17 cm fino a raggiungere un'altezza di circa 1,5 cm e sono stati sformati dopo 5 giorni.

Secondo gli aspetti tecnici-produttivi valutati, il composto costituito con la pietra Leccese grigia (campione 1A) presenta un tono di colore più chiaro rispetto a quello della pietra naturale, possibilmente dovuto ad un quantitativo basso di polvere di pietra in relazione al quantitativo del cemento bianco, mentre il campione 2A risulta dello stesso tono, infatti presenta una porzione di polvere di pietra in più rispetto al campione 1A. Dopo

l'asciugatura non vi è nessun rilascio di polvere al tatto e il composto riporta perfettamente i segni in rilievo presenti sul fondo del contenitore.

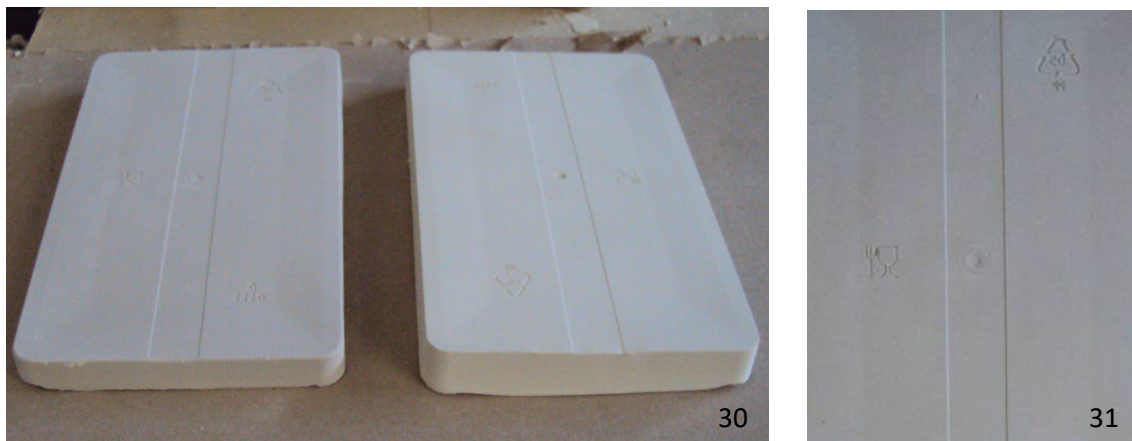


Immagine 30. Lastre in pietra Leccese ricomposta. A sinistra il campione 1A e a destra il campione 2A
 Immagine 23. Dettaglio segni presenti sul fondo del campione

CAMPIONE AGGLOMERATO	COMPOSTO Porzioni in volume	NOTE POSITIVE	NOTE NEGATIVE
CAMPIONE 1A	-n° 3 polvere di pietra Leccese grigia -n° 2 cemento bianco -n° 1 adesivo di presa -n° 2 acqua	-dopo l'asciugatura non rilascia polvere al tatto; -riporta con molta precisione i segni del contenitore	- non rispetta la cromia della pietra naturale
CAMPIONE 2A	-n° 4 polvere di pietra Leccese paglierina -n° 2 cemento bianco -n° 1 adesivo di presa -n° 3 di acqua	-rispetta la cromia della pietra naturale -riporta con molta precisione i segni del contenitore -dopo l'asciugatura non rilascia polvere al tatto	

Tabella 7.2. Descrizione campioni seconde sperimentazioni

7.3.3. Rendimento del quantitativo di scarto in polvere dalla lavorazione di lastre nella proposta di intonaco e di agglomerato lapideo

È stata svolta una valutazione sul rendimento del quantitativo di scarto in polvere derivato dalla lavorazione di prodotti in lastre di pietra Leccese se impiegato per realizzare le proposte descritte.

Secondo i quantitativi usati nel campione 4IN, per realizzare **1 m²** di intonaco per finitura si impiegano **680 g di polvere di pietra Leccese**. Considerando il quantitativo di polvere prodotta in fase di lavorazione per **1 tonnellata di lastre A** (ovvero 30 m²), quali **520 kg di polvere** (vedi tabella 1 capitolo 6 *“Interpretazione dei risultati dell’analisi ambientale”*), si potrebbero realizzare circa **765 m²** di intonaco di finitura a due strati.

Per la lastra ricomposta realizzata con composto 1A (con riferimento alle dimensioni 10x17x1,5 cm utilizzate nella sperimentazione) si impiegano **340 g di polvere di pietra Leccese**, facendo sempre riferimento al quantitativo di scarto citato precedentemente (520 kg) si produrrebbero circa **1530 lastre ricomposte** per un corrispettivo di **26 m²**.

Questa valutazione va a sottolineare l’importanza di riciclare gli scarti per la realizzazione di co-prodotti a vantaggio non solo dell’ambiente ma anche dell’azienda che differenzerebbe così la sua offerta sul mercato.

7.3.4. Processo produttivo per la realizzazione di “co-prodotti” da riciclaggio delle polveri e analisi SWOT

Per recuperare la polvere per la realizzazione di intonaco come “co-prodotto” del processo principale, il processo produttivo attuale non sarebbe soggetto a modifiche, ci sarebbero da inserire delle nuove fasi.

In fase di estrazione si potrebbero aggiungere degli aspiratori per la raccolta della polvere e per garantire soprattutto un confort migliore agli operatori. La polvere sarebbe trasportata in azienda insieme al materiale cavato.

I fanghi vengono già fatti asciugare al sole, quindi richiedono lavorazioni solo la polverizzazione per farli ritornare polvere.

Nello stabilimento di produzione bisognerebbe aggiungere la fase di “setacciatura” per conferire la giusta granulometria e la fase di confezionamento.

Il prodotto è immaginato puro da comporre poi in cantiere con relative istruzioni.

Anche per l’agglomerato lapideo il processo attuale non subirebbe modifiche e si dovrebbero aggiungere delle fasi lavorative.

La raccolta delle polveri sarebbe effettuata come descritto per la proposta dell'intonaco. I fanghi si potrebbero impiegare umidi in modo da limitare l'aggiunta di acqua necessaria per la miscelazione.

Dopo la fase della setacciatura si dovrebbero inserire la fase di miscelazione del composto e quella di distribuzione negli appositi stampi, la fase di stagionatura e il confezionamento.

La capacità di riportare con molta precisione i segni presenti sul fondo del contenitore, porta all'idea di realizzare lastre con decori a basso rilievo, lastre già presenti in produzione, si tratta di lastre di pregio con incisione delle texture, che le lastre agglomerate stampate imiterebbero se pur con una qualità estetica diversa.

Le due proposte sono sottoposte ad un'analisi SWOT per individuare i punti critici e di forza, per indicare il prodotto più favorevole ad una possibile produzione su cui eseguire prove fisiche e meccaniche.

Analisi SWOT

L'analisi SWOT è un'analisi di supporto alle scelte che risponde ad un'esigenza di razionalità dei processi decisionali. È una tecnica sviluppata da più di 50 anni come supporto alla definizione di strategie in contesti caratterizzati da incertezza e forte competitività. È un procedimento logico che consente di rendere sistematiche e fruibili le informazioni raccolte di un tema specifico.

Può aiutare ad identificare le Forze (**S**trengths), le Debolezze (**W**eaknesses), le Opportunità (**O**pportunities) e le Minacce (**T**hreats).

L'analisi SWOT consente di distinguere fattori esogeni ed endogeni che corrispondono rispettivamente a minacce – opportunità e a forza – debolezza.

I fattori endogeni (forza – debolezza) sono tutte quelle variabili che fanno parte integrante del sistema sulle quali è possibile intervenire, i fattori esogeni (minacce – opportunità) invece sono le variabili esterne al sistema che possono però condizionarlo, su di esse non è possibile intervenire direttamente ma è necessario tenerle sotto controllo in modo da sfruttare gli eventi positivi e prevenire quelli negativi.

L'efficacia dell'analisi dipende dalla possibilità di effettuare una lettura incrociata dei fattori individuati nel momento in cui si decidono le linee da seguire per raggiungere gli obiettivi prefissati. I punti da individuare si inseriscono in una matrice.



Individuati i punti sulle proposte di recupero di scarti dell'intonaco di finitura e della pietra ricomposta essi sono stati inseriti nelle matrici di seguito riportate:

INTONACO	
FORZA	DEBOLEZZA
<ul style="list-style-type: none"> - Impiego di scarti - Processo produttivo facilmente integrabile (co-prodotto) 	<ul style="list-style-type: none"> - Campo di applicazione limitato
OPPORTUNITA'	MINACCE
<ul style="list-style-type: none"> - Valorizzazione degli scarti e prodotti a basso valore aggiunto - Messa a sistema di più prodotti (rivestimenti + intonaco) - Apertura di nuovi mercati 	<ul style="list-style-type: none"> - Competitività con altri prodotti per intonaci - Altre strategie di riempimento delle cave

Tabella 7.3. Matrice SWOT per l'intonaco di finitura in polvere di pietra Leccese

AGGLOMERATO LAPIDEO	
FORZA	DEBOLEZZA
<ul style="list-style-type: none"> - Impiego di scarti - Più campi di applicazione (lastre per pavimentazione, per rivestimento, prodotti da stampo) 	<ul style="list-style-type: none"> - Gestione dei costi (macchinari e altri materiali) - Nuovo processo produttivo da affiancare
OPPORTUNITA'	MINACCE
<ul style="list-style-type: none"> - Valorizzazione degli scarti e prodotti ad alto valore aggiunto - Possibile riduzione dell'estrazione di pietra Leccese - Introduzione sul mercato di nuovi prodotti 	<ul style="list-style-type: none"> - Competitività con altri prodotti lapidei - Altre strategie di riempimento delle cave

Tabella 7.4. Matrice SWOT per agglomerato lapideo in polvere di pietra Leccese

L'intonaco di pietra Leccese presenta come punto di forza un processo produttivo facilmente integrabile, infatti come descritto precedentemente non è prevista la fase di preparazione del composto ma solo la distribuzione della polvere selezionata; mentre per l'agglomerato lapideo bisogna aggiungere nuove fasi infatti questo punto lo troviamo sotto la sezione dei punti di debolezza, insieme alla gestione dei costi dei macchinari e degli altri materiali del composto.

Per quanto attiene al campo di applicazione, per l'intonaco è ritenuto un punto di debolezza perché è limitato, per l'agglomerato è un punto di forza, il materiale può costituire diversi prodotti da stampo di diversi usi.

Le opportunità riguardano, per l'intonaco, la valorizzazione degli scarti e prodotti a basso valore aggiunto, la possibile messa a sistema di due prodotti come rivestimento e intonaco e l'apertura di nuovi mercati; per l'agglomerato si ha invece la valorizzazione degli scarti e prodotti ad alto valore aggiunto, la messa sul mercato di nuovi prodotti e la possibile riduzione dell'estrazione di pietra Leccese.

Le minacce riportate sono uguali per i due materiali, competitività con altri prodotti di impiego e natura simile e la necessità di adottare altre strategie di riempimento delle cave, visto che gli scarti sono valorizzati anziché riportati in cava.

Dall'analisi SWOT il materiale che presenta migliori punti di forza e di opportunità risulta l'agglomerato lapideo, si decide quindi di approfondire la verifica sul composto per valutare le sue prestazioni tramite prove fisiche meccaniche.

Si analizzeranno la resistenza a flessione, la resistenza a flessione dopo cicli di gelo e disgelo, la resistenza a compressione, l'assorbimento d'acqua e la massa volumica apparente.

Si decide di svolgere tali prove per valutare il materiale ricomposto, per verificare le sue caratteristiche e determinare le tipologie di prodotti e i possibili usi (*vedi capitolo 8 "CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI DELL'AGGLOMERATO LAPIDEO IN PIETRA LECCESE"*).

BIBLIOGRAFIA

AIDICO, AITEMIN, CEVALOR and IMM CARRARA, *Deliverable: Guideline of possible application of slurries in industries demanding micronized materials and valorization of slurries*, In Valorisation and recycling of slurries produced during manufacturing stone sector to use as raw materials for industrial applications, LIFE10 ENV/ES/000480, 30/03/2012.

Rana, A., Kalla, P., Verma, H.K., Mohnot, J.K., *Recycling of dimensional stone waste in concrete: A review*, Journal of Cleaner Production, 135 pp 312-331, 2016

Baratta, A. F. L., Catalano A., (a cura di), *Il riciclaggio come pratica virtuosa per il progetto sostenibile*, Edizioni ETS, Pisa, 2015

Carraro, G., Castelli, S., *Biorisanamento e potenzialità di impiego del limo di segazione nel settore verde*, Rapporto finale di ricerca, Mandante: Associazione Industrie dei Graniti, marmi e pietre naturali del Ticino, Novembre 2005

Casarin, D., *Marble Ecodesign: dagli scarti del marmo nuove creazioni attraverso la stampante 3d*, in Genitron, 2013 www.genitronsviluppo.com [Consultato Novembre 2016]

Dino, G. A., Fornaro, M., *L'utilizzo integrale delle risorse lapidee negli aspetti estrattivi, di lavorazione e di recupero ambientale dei siti*, in "Giornale di Geologia Applicata", pp 320–327, N° 2, 2005

Guzman, I., *Idee di design per non sprecare il marmo*, in *Abitare*, Giugno 2015 www.abitare.it [Consultato Novembre 2016]

Lavagna, M., Migliore, M., Talamo, C., *Management of production processes, for the improvement of the environmental situation at the local level. The case of place affected by the presence of marble quarries*, in Atti di Convegno, *Abitare insieme*, Napoli, Ottobre 2015

Mansoldo, C., Piazzì, O., *La lavorazione dei materiali lapidei*, Rapporto sullo stato dell'ambiente, Provincia di Verona, www.portale.provincia.vr.it/files/newweb/Area-servi/Settore-Ec/Agenda-21/Rapporto-s/10_Lavorazione_materiali_lapid.pdf [Consultato Novembre 2016]

Pauli, G. *Upsizing: The Road to Zero Emissions, More Jobs, More Income and No Pollution*. Greenleaf publishing, Sheffield UK, 1996

Scioti, A. Petrella, M., Fatiguso, F., De Tommasi, G., Petrella, A. *Scarti di lavorazione della pietra di Trani nel confezionamento di malte non convenzionali a matrice cementizia* in Atti del IX Convegno nazionale AIMAT – Piano di Sorrento – 29/62/7/2008, Edizioni Ziino ISBN 9788890094866, 2008

Tassone, P., *Agglomerati Lapidari. Produzione industriale – Caratteristiche – Prestazioni*, Ulrico Hoepli Editore, Milano, 2004

Una startup per stampare in 3D con gli scarti della produzione del marmo, in Marmo news, 19 Novembre 2015, www.marmonews.it [Consultato a Novembre 2016]

www.marbleecodesign.com [Consultato a Novembre 2016]

www.catalyst-group.it/#carrarablock [Consultato a Novembre 2016]

NOTA: Nel presente capitolo le foto da n° 5 a n° 31 sono state scattate da Angela Masciullo (A.M.)

CAPITOLO 8

CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI DELL'AGGLOMERATO LAPIDEO IN PIETRA LECCESE

8.1 Proposta di agglomerato lapideo con scarti in polvere di pietra leccese

Dalla valutazione SWOT svolta su intonaco di finitura e pietra ricomposta, risulta più vantaggiosa la proposta dell'agglomerato lapideo, in quanto a differenza dell'intonaco di finitura, la sua produzione avrebbe maggiori campi di applicazione, poiché il composto si adatta bene alla produzione in stampi.

L'introduzione sul mercato di questi nuovi prodotti se, competitivi con i prodotti lapidei, porterebbe a una possibile riduzione dell'estrazione di pietra Leccese, aspetto fondamentale per la salvaguardia del paesaggio. Il recupero degli scarti per la realizzazione di nuovi prodotti conferirebbe loro la corretta accezione di risorsa piuttosto che di rifiuto da dismettere.

Per verificarne la fattibilità del composto agglomerato e la sua idoneità all'impiego per rivestimenti si stimano le caratteristiche delle lastre ricomposte sottoponendo il materiale a prove fisiche e meccaniche.

Il materiale è stato sottoposto a

- prova per la determinazione della massa volumica apparente;
- prova per la determinazione dell'assorbimento d'acqua;
- prova di resistenza all'abrasione;
- prova di resistenza a flessione;
- prova di resistenza a flessione dopo cicli di gelo e disgelo;
- prova di resistenza a compressione.

8.2 Preparazione dei campioni

Prima di procedere con il confezionamento dei campioni secondo le indicazioni riportate nelle norme citate, è stata fatta una valutazione sul campione 2A già prodotto in precedenza (*vedi capitolo 7*). Applicando un taglio, l'interno del campione

rilasciava polvere al tatto, quindi sono state rivalutate le porzioni del composto aumentando di 1/2 quantità l'adesivo di presa.

Oltre ai campioni di agglomerato lapideo con polvere di pietra Leccese sono stati confezionati dei campioni di riferimento, in modo da confrontare i risultati delle prove, in cui l'inerte di pietra Leccese è stato sostituito con sabbia tradizionale.

I campioni da analizzare sono stati preparati secondo il composto con porzioni in volume di:

- n° 4 di polvere di pietra Leccese/ sabbia tradizionale;
- n° 2 di cemento bianco;
- n° 1,5 di colla di presa;
- n° 1 di acqua;

ovvero, espresso in peso e litri:

- 344 g di polvere di pietra Leccese / 355 g di sabbia tradizionale;
- 146 g di cemento bianco;
- 0,12 l di colla di presa;
- 0,08 l di acqua.

La polvere di pietra Leccese deriva dagli scarti prodotti dalla stessa azienda che è stata scelta come caso studio, quindi corrisponde alle stesse caratteristiche descritte in *Tabella 3.2 Caratteristiche tecniche pietra Leccese di Corsi* della presente Tesi. Il cemento utilizzato corrisponde al i.design AQUILABIANCA® 32,5 R prodotto da Italcementi S.p.a, cemento Portland¹ con resistenza caratteristica a compressione di 32,5 N (Allegato 1), mentre il collante² di presa a base di lattici si riferisce a NEOPLAST GRIP prodotto da Torggler (Allegato 2) ed è un modificante per cementi e calce idrauliche, esso migliora l'aderenza, aumenta la resistenza alla flessione, la resistenza all'abrasione, l'impermeabilità e migliora la resistenza chimica.

La sabbia impiegata per i campioni di riferimento è l'inerte tradizionale impiegato negli impasti per agglomerati, deriva dall'estrazione di pietra dura locale per inerti

¹ Scheda tecnica cemento bianco www.italcementi.it/NR/rdonlyres/F74D165D-02F7-4F87-A34A-C0503BBE51CC/0/AQUILABIANCABLL325R.pdf

² Scheda tecnica collante di presa
www.torggler.com/sites/default/files/files/products/st_neoplast_grip.pdf

(Immagine 2). Per la prova di flessione a secco e di flessione a gelo/disgelo, il composto è stato colato in dei recipienti in plastica, dopo la presa (i campioni sono stati sformati dopo 5 giorni) è stato tagliato tramite una taglierina a disco liscio, impiegata per i tagli di piastrelle in ceramica. Ai campioni è stata conferita la dimensione minima definita dalla normativa, 42x21x6,5 mm.

Per la prova a compressione si sono preparati dei campioni di forma cilindrica utilizzando dei tubi in plastica, i quali poi sono stati tagliati con sega circolare a disco diamantato utilizzata per il marmo e il granito, tale macchina è stata impiegata anche per definire le dimensioni dei campioni per la prova dell'assorbimento dell'acqua. Questi campioni sono stati confezionati distribuendo il composto in dei contenitori costruiti con lastre di cartongesso precedentemente rivestite di pellicola in modo da rendere la superficie impermeabili e permettere una facile estrazione del composto. I campioni sono stati sformati dopo cinque giorni e tenuti al sole ad asciugare.

Le dimensioni dei campioni, stabilite da ogni norma corrispondono a:

- (42x21x6,5±1) mm per le prove a flessione a secco e a gelo/disgelo;
- cilindri di 47 mm diametro e 49 mm di altezza per la prova a compressione;
- (100x100x12±1mm) per la prova di assorbimento d'acqua, massa apparente e determinazione ad abrasione;

Ogni tipologia di campione, prima di essere sottoposta a prova, è stata disposta in forno a 70°±5° fino a quando la differenza tra le due pesate successive ad un intervallo di 24 ore era inferiore allo 0,1% della massa del campione (i campioni sono stati tenuti in forno per una settimana).

Le prove sono state svolte dopo venti giorni dal confezionamento dei campioni.

Immagini della pagina successiva:

Immagine 1. Confronto tra lastra di pietra Leccese e il campione di agglomerato 2A

Immagine 2. Sabbia tradizionale usata per i campioni di riferimento

Immagine 3. Confezionamento provini per la prova di resistenza a compressione

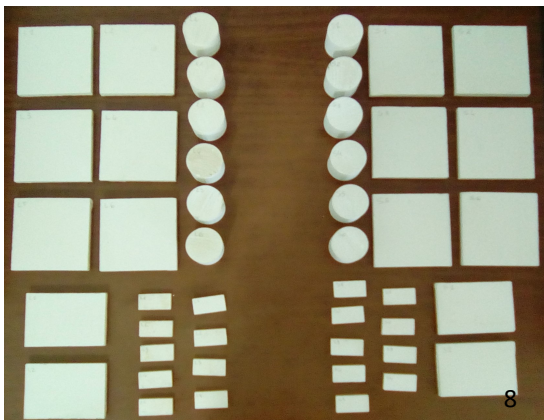
Immagine 4. Confezionamento provini per la prova di resistenza a flessione

Immagine 5. Confezionamento provini di p. Leccese per la prova di assorbimento d'acqua

Immagine 6. Confezionamento provini di sabbia tradizionale per la prova di assorbimento d'acqua

Immagine 7. Taglio dei provini per la prova a flessione

Immagine 8. Provini di pietra Leccese e di sabbia tradizionale



8.3 Normativa applicata per i metodi di prova

Per effettuare le prove sui campioni confezionati si è fatto riferimento alle norme UNI EN per gli agglomerati lapidei e per le pietre naturali.

Nello specifico sono stati studiati i seguenti metodi di prova:

- UNI EN 14617-1:2005 - Lapedei agglomerati - Metodi di prova - Parte 1: Determinazione della massa volumica apparente e dell'assorbimento d'acqua;
- UNI EN 14617-2:2005 - Lapedei agglomerati - Metodi di prova - Parte 2: Determinazione della resistenza a flessione (curvatura);
- UNI EN 14157:2005 - Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione della resistenza all'abrasione;
- UNI EN 14617-5:2005 - Lapedei agglomerati - Metodi di prova - Parte 5: Determinazione della resistenza al gelo e al disgelo;
- UNI EN 14617-15:2005 - Lapedei agglomerati - Metodi di prova - Parte 15: Determinazione della resistenza a compressione;

ogni normativa descrive le dimensioni e forma geometrica che devono avere i campioni, le tipologie delle apparecchiature, le condizioni e il metodo di prova da svolgere. Tutte le prove sono state svolte sia sull'agglomerato in pietra Leccese che su un composto analogo con inerte sabbioso.

8.3.1 Determinazione della massa volumica apparente e dell'assorbimento d'acqua

La determinazione della massa volumica apparente e dell'assorbimento di acqua è stata definita secondo la norma UNI EN 14617-1:2005. La campionatura deve essere essiccata in una stufa a (70 ± 5) °C fino a quando la differenza tra le due pesate successive ad un intervallo di (24 ± 2) h è inferiore allo 0,1% della massa del campione; raggiunto un valore stabile, i campioni vengono pesati per determinare il peso iniziale (M_0). Successivamente, i campioni vengono disposti in un contenitore coperto comprendente dei supporti per i provini, in modo che la loro superficie non sia a contatto con la superficie del contenitore, e coperti di acqua distillata fino a

sommergerli completamente, con il livello dell'acqua di circa 20 ± 5 mm al di sopra delle facce superiori dei campioni.

I campioni hanno dimensioni di $(100 \times 100 \times 12 \pm 1 \text{ mm})$ e sono stati testati sei campioni sia per l'agglomerato di pietra Leccese che per quello di sabbia.

Dopo circa 1, 8, e 24 ore dall'inizio del test, e successivamente ad intervalli regolari di 24 h, i campioni devono essere prelevati dall'acqua e pesati in aria.

Quando le variazioni di peso (**Mt**) in 3 pesate successive sono inferiori allo 0,1% della massa del campione si procede con la pesatura finale di ogni campione e per determinare la massa apparente (**Ma**) si pesano i campioni in acqua utilizzando una bilancia idrostatica.

La densità apparente M_v , in Kg/m^3 è misurata tramite la formula (8.1):

$$M_v = \frac{M_o \times \rho_{H_2O}}{M_t - M_a} \quad (8.1)$$

dove:

M_o = massa del campione pesato in aria dopo l'essiccazione, in Kg;

M_t = massa del campione imbevuto di acqua e pesato in aria, in Kg;

M_a = massa del campione imbevuto di acqua e pesato in acqua, in Kg;

ρ_{H_2O} = è la vera densità dell'acqua alla temperatura di misurazione, in Kg/m^3

mentre l'assorbimento d'acqua C in percentuale (%) viene misurato applicando la formula (8.2):

$$C = \frac{100 \times (M_t - M_o)}{M_o} \quad (8.2)$$

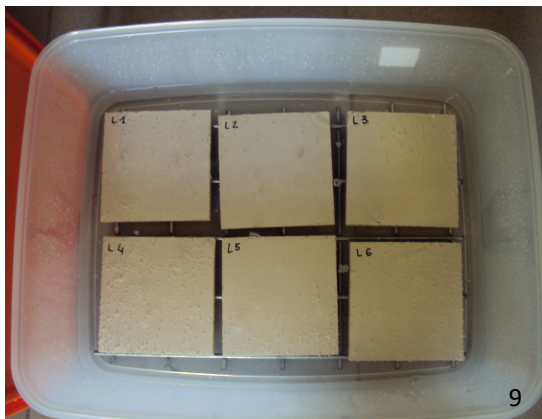


Immagine 9. Campioni di pietra Leccese immersi in acqua

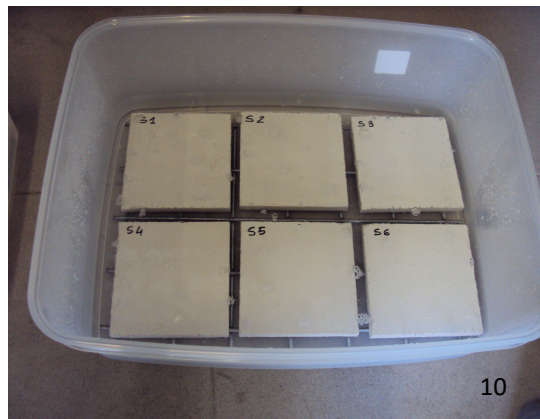


Immagine 10. Campioni di pietra sabbia immersi in acqua



Immagine 11. Misurazione delle pesate dei campioni in aria

Immagine 12. Misurazione delle pesate dei campioni in acqua

8.3.2 Determinazione della resistenza a flessione

La prova applicata fa riferimento alla norma UNI EN 14617-2:2005, la quale specifica un metodo per la determinazione della resistenza a flessione sotto un carico concentrato (resistenza alla curvatura) di prodotti lapidei agglomerati piani.

Il principio del presente metodo consiste nel collocare un provino su due rulli cilindrici e di caricare progressivamente il provino al centro. Si misura il carico di rottura e si calcola la resistenza a flessione.

I campioni (42x21x6,5±1 mm) devono essere essiccati in una stufa a (70±5) °C e prima della prova i provini devono essere tenuti a (20 ± 5) °C fino a che l'equilibrio termico non è raggiunto. Dopodiché la prova deve essere eseguita entro 24 h. La prova è stata svolta su cinque campioni per tipo di agglomerato.

La resistenza a flessione R_{tf} di ogni provino è calcolata utilizzando la formula (8.3):

$$R_{tf} = \frac{3Fl}{2bh^2} \quad (8.3)$$

dove:

F = carico di rottura, in N;

L = distanza fra i rulli di supporto, in mm;

b = larghezza del provino adiacente al piano di frattura, in mm;

h = spessore del campione adiacente al piano di frattura, in mm;

8.3.3 Determinazione della resistenza al gelo e al disgelo

Per misurare la resistenza a gelo e disgelo è stata applicata la prova UNI EN 14617-5:2005.

Il principio del metodo di prova consiste nel misurare il rapporto tra la resistenza alla flessione di campioni dopo 25 cicli di gelo/disgelo e quella dei campioni senza cicli di invecchiamento. Ciascun ciclo prevede una fase di congelamento dei campioni saturi d'acqua (ovvero quando le variazioni di peso in 3 pesate successive sono inferiori allo 0,1% della massa del campione) in aria per almeno 4 ore da quando la temperatura del campione raggiunge i $(-20 \pm 5) ^\circ\text{C}$, seguita da una fase di disgelo in cui i campioni si immergono in acqua per almeno 2 ore dopo che la temperatura si sia stabilita a $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

Al termine dell'ultimo ciclo, i campioni vengono rimossi dall'acqua e viene misurata immediatamente la resistenza alla flessione con la stessa procedura con cui è stata svolta la prova a flessione sui campioni a secco.

La resistenza a flessione dopo cicli di gelo/disgelo è calcolata per ogni provino dalla seguente formula:

$$KM_{f25} = \frac{RM_f}{R_f} \quad (8.4)$$

dove:

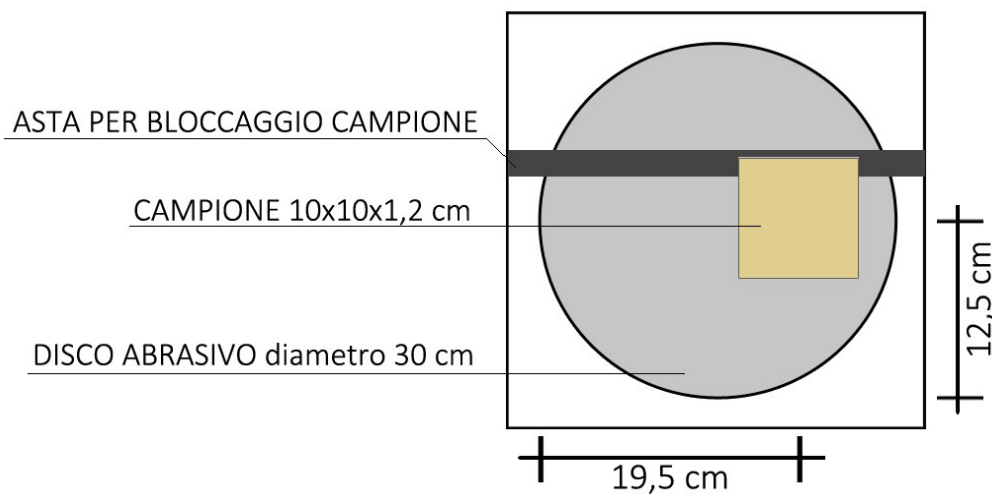
RM_f = valore di resistenza alla flessione media (MPa) dei campioni dopo 25 cicli di gelo/disgelo;

R_f = valore medio della resistenza alla flessione (MPa) dei campioni secchi.

I quattro campioni per agglomerato su cui si effettua la prova hanno le stesse dimensioni dei provini testati per la prova a flessione a secco, cioè $42 \times 21 \times 6,5 \pm 1$ mm.

8.3.4 Determinazione della resistenza all'abrasione

Lo svolgimento della prova è stato svolto adottando le procedure descritte nel metodo B e C della norma UNI EN 14157:2005. I campioni (100x100x12) mm sono stati posizionati su un disco di carta abrasiva in carburo di silicio P320, con dimensione dei grani di $(46.2 \pm 1.5) \mu\text{m}$ (secondo la classificazione FEPA - Fédération Européenne des Fabricant des Produits Abrasifs). Quest'ultimo è stato collocato su un disco metallico rotante dal diametro di 30 cm e i campioni sono stati tenuti fermi da un'asta con un opportuno alloggiamento e posizionati come riportato nel disegno 1. Per ogni campione (6 campioni per agglomerato) sono stati applicati 16 cicli con velocità di rotazione a 100 rpm per 30 s, ad ogni ciclo il campione è stato ruotato di 90° e prima del ciclo successivo il disco è stato pulito dal materiale rilasciato. Durante l'esecuzione della prova è stato collocato un peso di 1 Kg sulla faccia superiore dei provini ed è stata fatta cadere costantemente dell'acqua sul disco.



Disegno1. Schema posizione campione per la prova di abrasione

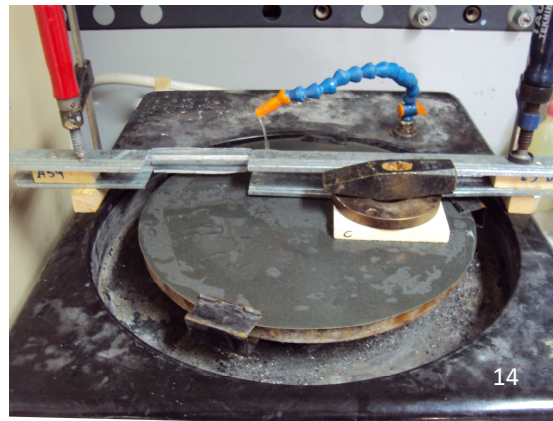
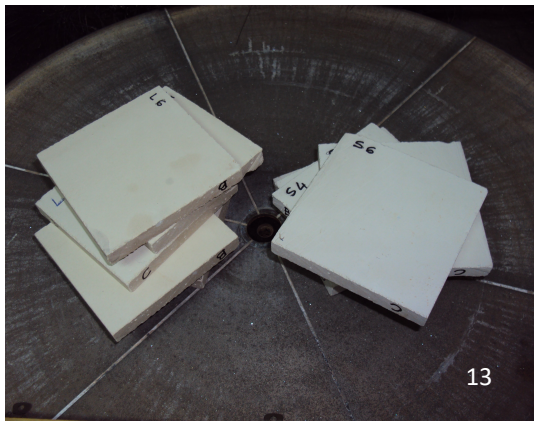


Immagine 13. Campioni di agglomerato lapideo di polvere di pietra Leccese e di sabbia tradizionale

Immagine 14. Campione posizionato su disco abrasivo con peso di 1 Kg

L'usura dovuta ad abrasione per ogni campione è stata misurata con un calibro manuale ed è stata calcolata con l'equazione (8.5):

$$L_1 - L_2 \quad (8.5)$$

dove:

L_1 è lo spessore del provino prima del test, in millimetri;

L_2 è lo spessore del provino dopo del test, in millimetri;

8.3.5 Determinazione della resistenza a compressione

Applicando la norma UNI EN 14617-15:2005 si determina la resistenza alla compressione.

I provini vengono posti e centrati sul piano della macchina di prova. Un carico uniformemente distribuito viene applicato e aumentato in modo continuo fino alla rottura del campione.

I campioni testati sono cilindri circolari retti il cui diametro e altezza corrisponde a (49 ± 2) mm. Questi sono stati essiccati in una stufa a (70 ± 5) °C per circa 7 giorni e poi sono stati sottoposti al test ponendo il provino al centro del piano della macchina di prova in modo da ottenere una distribuzione uniforme del carico.

La resistenza a compressione uniassiale R di ogni provino viene espressa dal rapporto fra il carico di rottura del provino (F , in Newton) e l'area della sezione trasversale (A , in millimetri) misurata prima della prova, per mezzo dell'equazione (8.6):

$$R = \frac{F}{A} \quad (8.6)$$

indicando il tipo di campione di Rc e Rcyl rispettivamente nel caso di provini cubici o cilindrici.

8.4 Risultati delle prove svolte

Le prove effettuate sui campioni di agglomerato lapideo di polvere di pietra Leccese e di sabbia sono state svolte presso il laboratorio del Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione dell'Università del Salento.

8.4.1 Assorbimento d'acqua e determinazione della massa apparente

Dopo l'essiccamento e la pesata a secco (M_0) i campioni (100x100x12 mm) per la prova di assorbimento di acqua sono stati disposti in contenitori su un supporto metallico in modo da non permettere il contatto diretto della superficie del campione al contenitore e coperti di acqua deionizzata fino a due centimetri delle facce superiori dei campioni. I campioni sono stati pesati dopo 1, 8 e 24 ore dall'inizio del test e successivamente ad intervalli regolari di 24 h. Le pesature sono state effettuate fino a quando le variazioni di peso (Mt) in 3 pesate successive erano inferiori allo 0,1% della massa del campione.

CAMPIONI CON POLVERE DI P. L.	PESATA A SECCO (M_0) in Kg	PESATE IMMERSIONE IN ACQUA (Kg)					
		DOPO 1 ORE	DOPO 8 ORE	DOPO 24 ORE	DOPO 48 ORE	DOPO 72 ORE	DOPO 96 ORE (Mt)
	1° PES	2° PES	3° PES	4° PES	5° PES	6° PES	7° PES
L1 A	0,183	0,220	0,221	0,221	0,221	0,222	0,222
L2 A	0,201	0,238	0,239	0,239	0,240	0,240	0,240
L3 A	0,195	0,233	0,233	0,234	0,234	0,235	0,235
L4 A	0,181	0,217	0,218	0,219	0,219	0,220	0,220
L5 A	0,188	0,224	0,225	0,225	0,226	0,226	0,226
L6 A	0,191	0,228	0,228	0,229	0,229	0,229	0,230

Tabella 8.1. Dati relativi alle pesate effettuate per determinare l'assorbimento di acqua dei campioni in polvere di pietra Leccese

CAMPIONI CON SABBIA TRADIZIONALE	PESATA A SECCO (M0) in Kg	PESATE IMMERSIONE IN ACQUA (Kg)					
		DOPO 1 ORE	DOPO 8 ORE	DOPO 24 ORE	DOPO 48 ORE	DOPO 72 ORE	DOPO 96 ORE (Mt)
	1° PES	2° PES	3° PES	4° PES	5° PES	6° PES	6° PES
S1 A	0,220	0,245	0,248	0,248	0,249	0,248	0,249
S2 A	0,226	0,251	0,255	0,255	0,253	0,256	0,256
S3 A	0,216	0,239	0,243	0,244	0,244	0,244	0,244
S4 A	0,221	0,244	0,248	0,249	0,249	0,249	0,250
S5 A	0,223	0,243	0,250	0,250	0,251	0,251	0,251
S6 A	0,228	0,254	0,257	0,258	0,258	0,258	0,258

Tabella 8.2. Dati relativi alle pesate effettuate per determinare l'assorbimento di acqua dei campioni in sabbia tradizionale

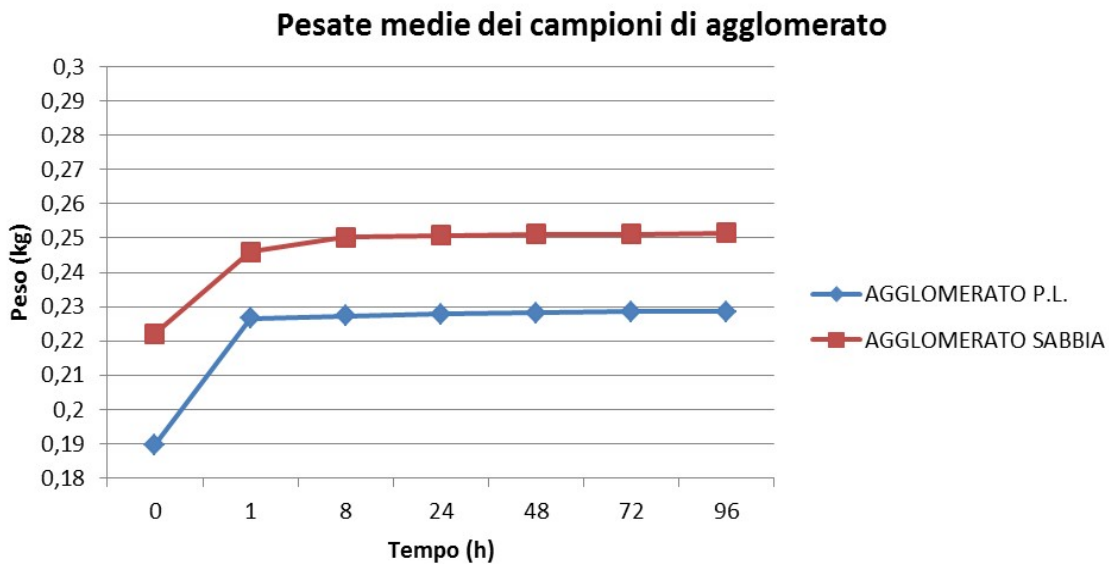


Grafico 8.1. Pesate medie ad intervallo di tempo dei campioni di agglomerato di pietra Leccese e di sabbia

Rilevate la pesatura di ogni campione, si è applicata la formula (8.2) riportata in normativa per misurare l'assorbimento d'acqua C in percentuale (%).

I risultati delle percentuali di assorbimento di ogni campione sono riportati nelle tabelle 8.3 e tabella 8.4 con la relativa media e il valore di deviazione standard.

CAMPIONI IN POLVERE DI P.L	ASSORBIMENTO D'ACQUA (%)	CAMPIONI IN SABBIA TRADIZ.	ASSORBIMENTO D'ACQUA (%)
FORMULA	$C = 100x (Mt - M0)/M0$	FORMULA	$C = 100x (Mt - M0)/M0$
L1 A	21,343	S1 A	13,369
L2 A	19,678	S2 A	13,204
L3 A	20,332	S3 A	13,420
L4 A	21,377	S4 A	13,187
L5 A	20,307	S5 A	12,753
L6 A	20,062	S6 A	13,07
MEDIA	20,517	MEDIA	13,167
DEV. ST.	0,694	DEV. ST.	0,24

Tabella 8.3 e 8.4. Percentuale di assorbimento per ogni campione di polvere di pietra leccese e di sabbia tradizionale.

Dopo la pesatura finale il campione è stato pesato in acqua (**Ma**) utilizzando una bilancia idrostatica per determinare poi il valore della massa apparente. Tutte le misurazione nelle tabelle che seguono in cui si riporta anche la formula (8.1).

CAMPIONI IN POLVERE DI P.L	PESATA IN ACQUA (Ma)	DENSITA' APPARENTE (Kg/m3)
		FORMULA $Mv = M0 \times PH2O / Mt - Ma$
L1 A	0,102	821,539
L2 A	0,113	832,957
L3 A	0,109	828,430
L4 A	0,101	821,305
L5 A	0,105	828,612
L6 A	0,107	830,292
MEDIA	0,106	827,189
DEV. ST.	0,004	4,340

Tabella 8.5. Dati relativi alle pesate effettuate in acqua e dati della densità apparente dei campioni in polvere di pietra Leccese

CAMPIONI IN SABBIA TRADIZ.	PESATA IN ACQUA (Ma)	DENSITA' APPARENTE (Kg/m3)
		FORMULA $M0 \times PH2O / Mt - Ma$
L1 A	0,125	879,308
L2 A	0,129	880,580
L3 A	0,123	878,911
L4 A	0,126	880,717
L5 A	0,129	884,104
L6 A	0,132	881,625
MEDIA	0,127	880,874
DEV. ST.	0,003	1,8662

Tabella 8.6. Dati relativi alle pesate effettuate in acqua e dati della densità apparente dei campioni in sabbia tradizionale

Dai risultati ottenuti deriva che l'agglomerato di sabbia ha un minore assorbimento di acqua e una massa apparente maggiore dell'agglomerato di pietra Leccese.

8.4.2 Resistenza a flessione

La prova a flessione è stata svolta tramite la macchina Lloyd LR50K Plus con cella di carico di 50KN.

Le dimensioni della sezione trasversale delle facce superiori ed inferiori dei provini e dello spessore sono state misurate prima della prova.

I campioni (42x21x6,5±1 mm) sono stati disposti sui rulli di appoggio posti ad una distanza di interasse di 300 mm. Il carico è stato applicato progressivamente ad una velocità costante di 1 mm/min.

Le prove sono state effettuate su cinque campioni di entrambi i composti, in quanto è stata svolta precedentemente una prova su un campione da cui si sono ottenuti dei risultati non convincenti e si è preferito svolgere le prove dopo qualche giorno per far maturare ancora il cemento, questo vale anche per i campioni di compressione.

I risultati ottenuti dalla prova si riportano nelle tabelle 8.7 e 8.8.

CAMPIONI IN POLVERE DI P.L	σ (MPa)
L1F	3,36
L2F	4,15
L3F	4,67
L4F	3,3
L5F	3,84
MEDIA	3,81
DEV. ST.	0,69

CAMPIONI IN SABBIA TRADIZ.	σ (MPa)
S1F	7,5
S2F	4,67
S3F	7,48
S4F	7,74
S5F	6,12
MEDIA	6,70
DEV. ST.	1,30

Tabella 8.7 e 8.8. Risultati della prova a flessione per i campioni di polvere di pietra Leccese e di sabbia tradizionale

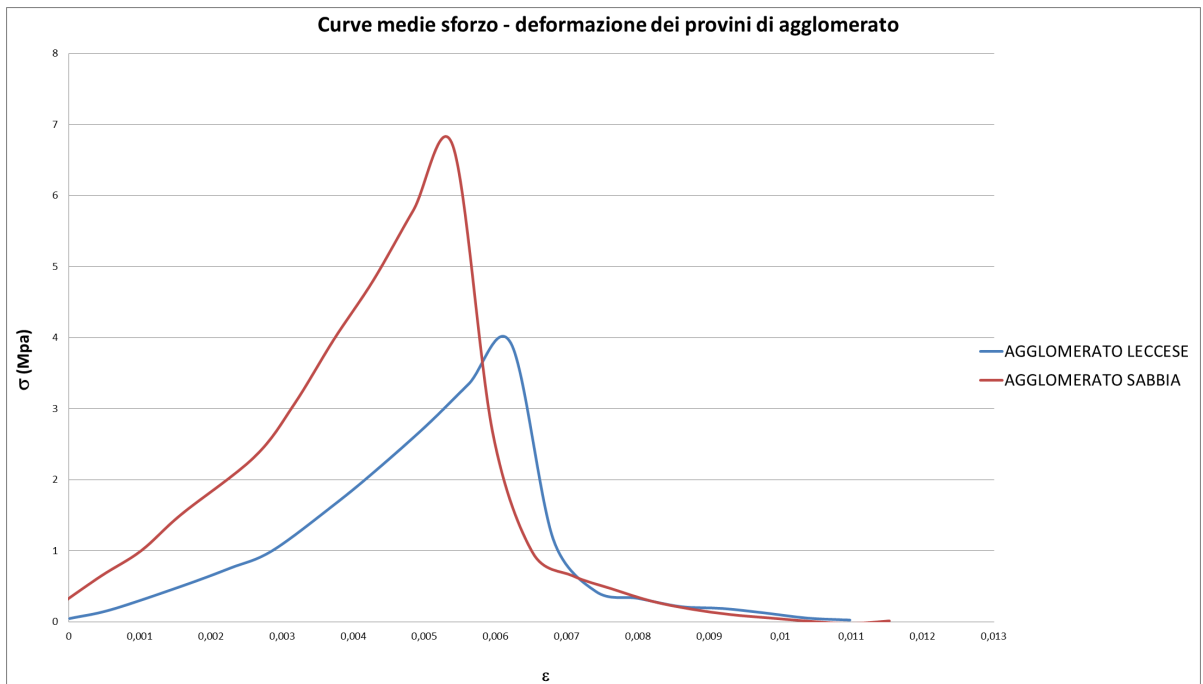


Grafico 8.2 Diagramma sforzo-deformazione a flessione dei provini in agglomerato di pietra Leccese e sabbia

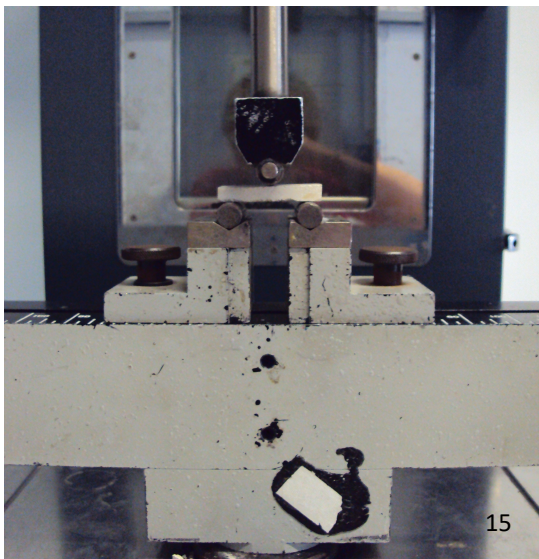


Immagine 15. Svolgimento della prova a flessione

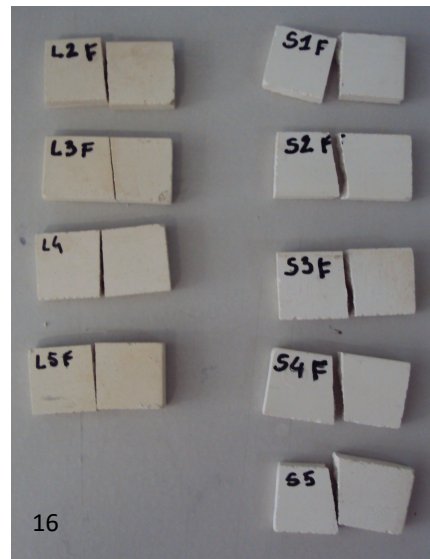


Immagine 16. Provini dopo la prova a flessione

La differenza del risultato medio tra i campioni di pietra Leccese e di sabbia è quasi il doppio, gli agglomerati in sabbia hanno una resistenza a flessione maggiore.

8.4.3 Resistenza a flessione dopo cicli di gelo e disgelo

Per eseguire la suddetta prova, i campioni di dimensioni (42x21x6,5±1) mm sono stati immersi in acqua di rubinetto fino a saturazione e poi disposti in congelatore per almeno 6 ore per poi essere rimmersi in acqua a temperatura ambiente per almeno 4 ore. I cicli di gelo e disgelo sono stati ripetuti per 25 volte. Dopo l'ultimo ciclo, i campioni sono stati prelevati dall'acqua e sono stati sottoposti alla prova a flessione con le stesse modalità della prova a flessione senza gelo e disgelo. Quindi la prova è stata effettuata con macchina Lloyd LR50K Plus con cella di carico di 50KN e con carico ad una velocità costante di 1mm/min.

I risultati ottenuti dalla prova si riportano nelle tabelle 8.9 e 8.10.

CAMPIONI IN POLVERE DI P.L	σ (Mpa)
L1G	3,61
L2G	4,97
L3G	3,82
L4G	4,65
MEDIA	4,26
DEV. ST.	0,59

CAMPIONI IN SABBIA TRADIZ.	σ (Mpa)
S1G	10,09
S2G	8,52
S3G	8,84
S4G	5,26
MEDIA	8,18
DEV. ST.	2,06

Tabella 8.9 e 8.10. Risultati della prova a flessione dopo cicli di gelo/disgelo per i campioni di polvere di pietra Leccese e di sabbia tradizionale

Confrontando i risultati con quelli conseguiti dalla prova di flessione a secco, si può notare che i valori della prova a flessione dopo cicli di gelo e disgelo sono maggiori per tutte e due le tipologie di materiale. La prova di gelo e disgelo è stata condotta a distanza di circa 20 giorni dalla prova di flessione a secco, questo aspetto potrebbe essere la motivazione dell'incremento dei valori, il composto è maturato maggiormente. Un altro motivo che potrebbe condurre ad una spiegazione dell'aumento dei valori, potrebbe essere ricondotto al fatto che i campioni presentano rilevante porosità, questi saturi di acqua conferiscono alle particelle del composto una situazione di compressione, quindi partendo da uno stato posto a compressione, il campione resiste maggiormente alle sollecitazioni a trazione per flessione.

Per analizzare il caso si sono condotte altre prove a flessione con campioni a secco e campioni saturi di acqua proprio per verificare che i provini testati per la prova a gelo

e disgelo fossero già maturi, rispetto ai campioni testati 20 giorni prima con le prove a flessione a secco.

Le prove sono state svolte con le stesse procedure con cui sono state condotte le precedenti.

I risultati della prova a flessione a secco, a flessione dopo cicli di gelo e disgelo e le prove di verifica (flessione a secco con campioni maturati maggiormente e ad umido cioè con campioni saturi di acqua) sono state riportate in un'unica tabella in modo da avere un confronto diretto (Tabella 8.11 – 8.12).

CAMPIONI AGGLOMERATO P. LECCESE							
PRIMA PROVA (5/10/20016)		G/GD dopo 20 giorni dalla prima prova (26/10/2016)		flessione a secco VERIFICA (4/11/2016)		flessione ad umido VERIFICA (4/11/2016)	
CAMPIONI IN POLVERE DI P.L.	σ (MPa)	CAMPIONI IN POLVERE DI P.L.	σ (MPa)	CAMPIONI IN POLVERE DI P.L.	σ (MPa)	CAMPIONI IN POLVERE DI P.L.	σ (MPa)
MEDIA	3,81	MEDIA	4,2625	MEDIA	6,35	MEDIA	4,197
DEV. ST.	0,68650	DEV. ST.	0,5935	DEV. ST.	1,172	DEV. ST.	0,908

Tabella 8.11. Confronto dei risultati ottenuti tra prove di flessione a secco ed a umido a distanza di tempo su agglomerati di pietra Leccese

CAMPIONI AGGLOMERATO SABBIA							
PRIMA PROVA (5/10/20016)		G/GD dopo 20 giorni dalla prima prova (26/10/2016)		flessione a secco VERIFICA (4/11/2016)		flessione ad umido VERIFICA (4/11/2016)	
CAMPIONI IN SABBIA TRADIZ.	σ (Mpa)	CAMPIONI IN SABBIA TRADIZ.	σ (Mpa)	CAMPIONI IN SABBIA TRADIZ.	σ (Mpa)	CAMPIONI IN SABBIA TRADIZ.	σ (Mpa)
MEDIA	6,706	MEDIA	8,1775	MEDIA	6,451	MEDIA	5,554
DEV. ST.	1,30571	DEV. ST.	2,0595	DEV. ST.	1,2177	DEV. ST.	1,344

Tabella 8.12. Confronto dei risultati ottenuti tra prove di flessione a secco ed a umido a distanza di tempo su agglomerati di sabbia tradizionale

I risultati delle diverse prove dei campioni in pietra Leccese sono confrontabili tra di loro, e dai valori ottenuti con le prove di verifica si può ipotizzare che l'aumento dei valori sia dipeso dalla differenza di stagionatura dei campioni. Inoltre confrontando le due ultime colonne si può notare che l'umidità residua diminuisce la resistenza, il che fa escludere che l'aumento osservato tra le prime due colonne sia dovuto alla compressione della particelle dovuto all'acqua assorbita.

I risultati dei campioni in sabbia non sono confrontabili, i valori della prova di gelo e disgelo risultano i più alti, le prove di verifica non confermano questi dati come nel caso dei campioni in pietra Leccese.

I risultati della prova a flessione di verifica con campioni saturi di acqua non si includono nei risultati finali, in quanto queste prove sono state svolte solo per determinare se la resistenza a flessione su campioni umidi desse risultati maggiori sui risultati di campioni testati a secco, come successo per le prove dopo gelo/disgelo. Siccome si è dimostrato che l'aumento dei valori è dipeso dalla maturazione del composto, i dati dell'ultima colonna delle tabelle 8.11 e 8.12 non si includono nei calcoli finali e si fa riferimento solo ai risultati ottenuti dalla prova di flessione dopo cicli di gelo e disgelo

Per determinare il valore della resistenza a flessione a secco si calcola la media dei risultati ottenuti dalla prima prova a flessione a secco e dalla prova a flessione a secco svolta a distanza di 30 giorni. Si ottiene così una resistenza a flessione a secco di 5,08 MPa per l'agglomerato di polvere di pietra Leccese e di 6,57 MPa per l'agglomerato di sabbia.

Per determinare il rapporto tra la resistenza alla flessione di campioni dopo 25 cicli di gelo/disgelo e quella dei campioni a secco si applica la formula (8.4):

$$KM_{f25} = \frac{RM_f}{R_f} \quad (8.4)$$

dove:

RM_f = valore di resistenza alla flessione media (MPa) dei campioni dopo 25 cicli di gelo/disgelo;

R_f = valore medio della resistenza alla flessione (MPa) dei campioni secchi (media dei risultati delle prove a secco);

Si ottiene che il rapporto per l'agglomerato di pietra Leccese corrisponde a **0,84** KM_{f25} e l'agglomerato di sabbia a **1,24** KM_{f25} .

8.4.4 Resistenza all'abrasione

Per lo svolgimento della prova non si è potuto fare riferimento alla normativa UNI EN 14617-4:2005 riferita agli agglomerati lapidei perché non si disponeva della apparecchiatura richiesta, per questo si sono adottati i metodi B e C della norma UNI EN 14157:2005 riferita alle pietre naturali. I campioni (100x100x12)mm sono stati disposti su un disco rotante rivestito di carta abrasiva in carburo di silicio P320 con rotazione stabilita a velocità di 100 rpm. Su ogni campione sono stati effettuati 16 cicli di abrasione di 30 s e per ogni ciclo il campione è stato ruotato di 90° e il disco abrasivo è stato pulito. Il disco abrasivo è stato sostituito ad ogni campione, per garantire a tutti la stessa grana abrasiva.

Sui campioni è stato disposto un peso di 1 Kg ed è stata fatta cadere costantemente dell'acqua sul disco.

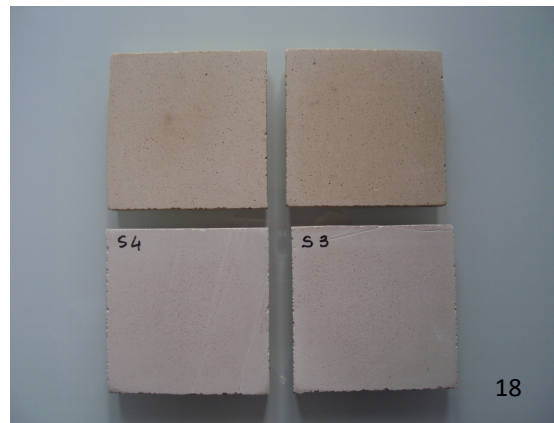
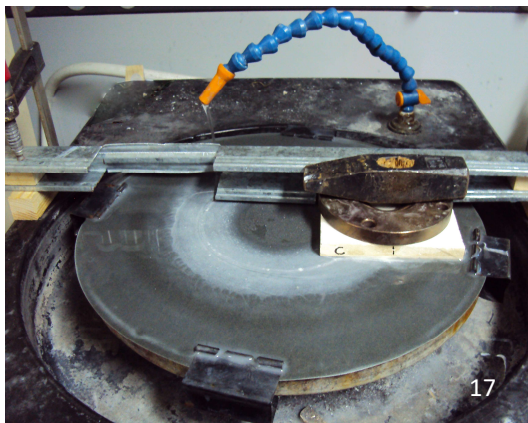


Immagine 17. Campione di polvere di pietra Leccese dopo un ciclo

Immagine 18. Campioni di polvere di pietra Leccese (in alto) e di sabbia (in basso) dopo 16 cicli

Come si può notare dall'immagine 18, i campioni di polvere di pietra Leccese sono maggiormente usurati, mentre i campioni di sabbia riportano quasi perfettamente la denominazione scritta.

Terminati i 16 cicli, è stato misurato lo spessore al centro di ogni faccia laterale del campione, applicando la formula citata nel metodo C della normativa.

Si ottengono i valori di:

- (0,32±0,11) mm per i campioni di polvere di pietra Leccese
- (0,12±0,08) mm per i campioni di sabbia tradizionale.

8.4.5 Resistenza a compressione

La prova a compressione è stata eseguita su campioni di forma cilindrica di dimensioni 47 mm di diametro e di 49 mm di altezza, tramite la macchina Lloyd LR50K Plus con cella di carico di 50KN e con velocità di carico di 1 mm/min. I risultati della prova a compressione si sono ottenuti applicando la formula (8.6):

$$R = \frac{F}{A} \quad (8.6)$$

i quali sono riportati nelle tabelle 8.13 e 8.14.

CAMPIONI IN POLVERE DI P.L	σ (Mpa)
L2C	11,19
L3C	11,06
L4C	10,14
L5C	10,26
L6C	9,82
MEDIA	10,49
DEV. ST.	0,60

CAMPIONI IN SABBIA TRADIZ.	σ (Mpa)
S1C	17,32
S2C	18,52
S3C	16,55
S4C	16,62
S5C	18,04
MEDIA	17,41
DEV. ST.	0,87

Tabella 8.13 e 8.14. Risultati della prova a compressione per i campioni di polvere di pietra Leccese e di sabbia tradizionale

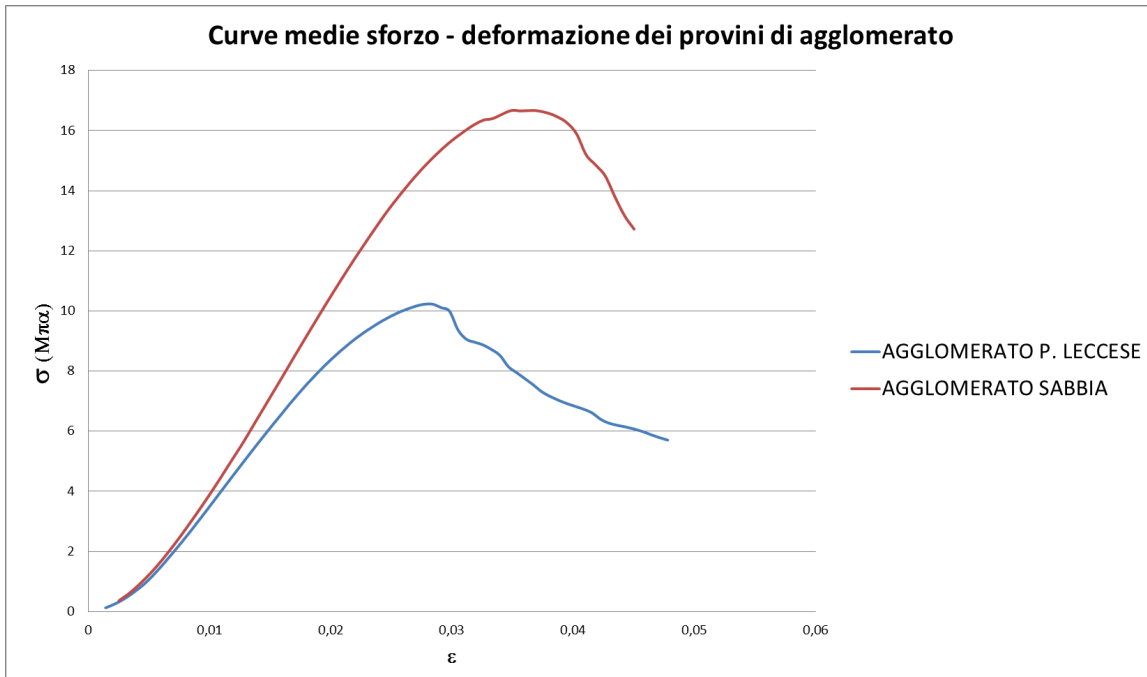


Grafico 8.3 Diagramma sforzo-deformazione a compressione dei provini in agglomerato di pietra Leccese e sabbia

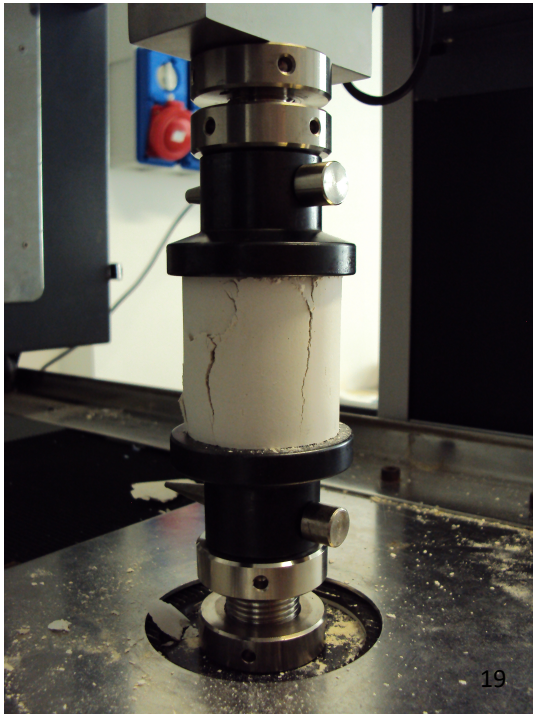


Immagine 19. Svolgimento della prova a compressione
Immagine 20. Provini dopo la prova a compressione



Anche in questa prova, gli agglomerati in sabbia corrispondono ad una resistenza a compressione maggiore rispetto al composto di pietra Leccese. Dal confronto di tutti i risultati evince e si conferma, che una tipologia di pietra dura come la sabbia utilizzata risponde meglio alle di prove effettuate rispetto ad una pietra calcarenite, come la pietra Leccese. Nel caso di questa sperimentazione ne fa differenza anche la dimensione di granulometria diversa, la polvere di pietra Leccese è più fine rispetto alla sabbia.

I risultati delle prove a flessione e a compressione sono stati analizzati con il software OriginPro 8, adatto per analisi tecnica di dati, grafica scientifica e statistica.

8.5 Caratteristiche tecniche dell'agglomerato in pietra Leccese

Dalle tipologie di prove effettuate, ovvero assorbimento d'acqua, determinazione della massa apparente, resistenza a flessione, resistenza a flessione dopo gelo/disgelo, resistenza a compressione e resistenza all'abrasione, le maggiori prestazioni si ottengono dall'agglomerato di sabbia. Lo scopo dei campioni di riferimenti

(agglomerato di sabbia) non è dovuto ad un confronto di qualità tra i due materiali, ma ha il fine unico di paragone per lo svolgimento delle prove.

Le prove sull'agglomerato di pietra Leccese sono state svolte per definire le caratteristiche del materiale per le dimensioni dei provini, misurarlo con la pietra naturale e stimare dei possibili usi.

Nella tabella seguente si riportano i dati rispettivi delle prove svolte sui campioni di agglomerato esaminati e i relativi dati della pietra Leccese di Corsi forniti dall'azienda scelta come caso studio³.

	unità di misura	PIETRA LECCESE	AGGLOMERATO PIETRA LECCESE	AGGLOMERATO SABBIA
DENSITA' APPARENTE	Kg/m ³	1634	827	881
ASSORBIMENTO D'ACQUA	%	32,6	20,51	13,16
RESISTENZA A FLESSIONE	Mpa	4	5,8	-
RESISTENZA A COMPRESSIONE	MPa	25,1	10,49	17,41
RESISTENZA A FLESSIONE DOPO GELO E SIGELO	MPa	3,3	4,26	-
RESISTENZA ALL'ABRASIONE	mm	-	0,32±0,11	0,12±0,12

Tabella 15. Confronto delle caratteristiche prestazionali tra agglomerato di pietra Leccese, agglomerato di sabbia e pietra Leccese.

Dal confronto con la pietra naturale, l'agglomerato di pietra Leccese risulta avere:

- densità apparente minore, pari a circa la metà;
- coefficiente di assorbimento d'acqua inferiore;
- resistenza a flessione maggiore;
- resistenza a compressione notevolmente più bassa⁴.

La resistenza ad abrasione non si confronta in quanto sui dati di letteratura è determinata con unità di misura differente.

In tabella non vengono riportati i dati di resistenza a flessione e flessione dopo cicli di gelo/disgelo dei provini di agglomerato di sabbia perché i risultati ottenuti dalle prove svolte non sono attendibili (vedi Tabella 8.12).

³ Le prove sulla pietra Leccese sono state svolte secondo le norme UNI EN e ASTM

⁴ Visti i risultati ottenuti con le prove di verifica a flessione, il valore basso di resistenza a compressione potrebbe dipendere dal periodo di maturazione

Il vantaggio rispetto alla pietra naturale sta nelle caratteristiche di minor assorbimento di acqua, di minor peso e di avere una resistenza a flessione maggiore, punti favorevoli per la realizzazione di prodotti notevolmente più leggeri, con buona risposta a flessione ed esposizione ad ambienti umidi con possibilità di non effettuare trattamenti impermeabilizzanti.

L'agglomerato lapideo è stato pensato per essere destinato a lastre di rivestimento verticale e orizzontale (pavimentazioni di interni ed esterni non carrabili), ma secondo le prove effettuate sul materiale appare al momento più conveniente determinare l'impiego a rivestimenti verticali, in quanto per definire le prestazioni di lastre per pavimentazione, si dovrebbero verificare ulteriori caratteristiche fondamentali, come ad esempio requisito importante quello dell'antiscivolo e approfondire la verifica di resistenza a compressione. Come definito in precedenza il composto si adatta bene in degli stampi e riporta perfettamente i segni posti sul fondo del contenitore, questo particolare spinge all'idea di realizzare lastre decorate a basso rilievo, prodotti già presenti nella produzione in pietra Leccese e molto richiesti sul mercato.

8.6. Valutazione dei costi di produzione di lastre in pietra Leccese ricostruita

Oltre a verificare le prestazioni del materiale è opportuno verificare la fattibilità della produzione e messa sul mercato, quindi valutare quanto il prodotto può essere competitivo ai fini economici.

Per determinare ciò, si è svolta una valutazione dei possibili costi di produzione partendo dai costi delle materie prime e ipotizzando i consumi energetici.

Per realizzare le lastre ricomposte come co-prodotto del processo principale si dovrebbero aggiungere la fase di raccolta dell'inerte che si può effettuare tramite il filtraggio manuale dei fanghi di lavorazione, in modo da non impiegare altra acqua per la miscelazione del composto, la fase di miscelazione del composto, la fase di distribuzione negli appositi stampi e la fase di stagionatura.

Stando alle quantità di materiali impiegate per il campione di sperimentazione 2A di dimensioni 10X17X1,5 cm corrispondente a 0,017 m² si riportano i relativi prezzi di mercato dei materiali impiegati:

- 4 porzioni in volume (344 g) POLVERE PIETRA LECCESE → RECUPERO DEGLI SCARTI DI PRODUZIONE
- 2 porzioni in volume (146g) di CEMENTO BIANCO → 0,27 €/kg
- 1,5 porzioni in volume (0,12 l) di COLLA DI PRESA (DILUITO CON ACQUA RAPPORTO 1:1) → 0,91 €/l
- 1 porzioni in volume (0,08 l) di ACQUA → SOSTITUIBILE CON UTILIZZO DI POLVERE RICAIVATA DAI FANGHI QUINDI GIA' UMIDA

Rapportandoli ad un 1 m² di 2 cm di spessore si ha un costo complessivo dei materiali impiegati pari a 8,80 €/m².

I prezzi dei materiali riportati fanno riferimento ai prezzi listino prezzi dei produttori.

A questi costi ci sarebbe da aggiungere il costo della manodopera, dei macchinari, dei consumi di risorse e i costi fissi d'impresa.

Per stimare quest'ultimi, si fa riferimento al processo produttivo⁵ delle marmette, agglomerato lapideo con legante di cemento come proposto per la pietra Leccese ricostruita.

Del processo produttivo della marmette si fa riferimento solo alle fasi di miscelazione e distribuzione negli stampi posti sulla macchina *rotativa* che permette di vibrare il composto. Le rimanenti fasi del processo quali, pressatura del composto e levigatura non vengono considerate in quanto il processo degli agglomerati di pietra Leccese non prevede tali fasi.

Quindi sapendo che una betoniera con capienza di 500 l ha un consumo 2,25 Kwh e la capacità di miscelare 13 m² di composto per volta (in 1 ora si miscelano 26 m²) e che la macchina *rotativa* ha un consumo di 11,03 Kwh per produrre circa 23 m² all'ora, si stima un costo di energia elettrica pari a 0,11 €/m² con costo di Kwh pari a 20,17 c€⁶.

⁵ Dati ricavati tramite un sopralluogo di indagine presso alcuni stabilimenti produttivi di marmette.

⁶ Dato ricavato da Tab. 2 Prezzi dell'energia elettrica per consumatori industriali 2014, fonte Elaborazione AEEGSI su dati Eurostat 2014 in www.assoelettrica.it/blog/?p=14451

Per il processo produttivo ipotizzato per l'agglomerato di pietra Leccese si necessita di quattro operatori, di cui uno è impiegato alla selezione del fango e alla miscela del composto, due sono impegnati alla macchina *rotativa*, dove un operatore si occupa della distribuzione del composto negli stampi, e l'altro, posto all'ultima postazione della macchina, recupera gli stampi con il composto e li sostituisce con i vuoti. Il quarto operatore è l'addetto a sformare l'agglomerato dagli stampi dopo i 5 giorni di presa del composto e selezionare le lastre idonee.

Considerando il costo medio di un dipendente di circa 24 €/h⁷, il costo della manodopera da attribuire a 1 m² di pietra ricostruita è pari a 3.84 €/m².

Premesso che è necessario l'acquisto di macchinari specifici per la produzione delle lastre, spesa che comunque sarà ammortizzata nei primi anni di attività produttiva, in totale sommando i costi delle materie prime, dei consumi di energia elettrica e della manodopera, per produrre 1 m² di agglomerato lapideo di pietra Leccese è previsto un costo complessivo di 12,75 €/m² oltre ai costi fissi d'impresa.

Le marmette di graniglia di marmo di dimensione 40X40 cm hanno attualmente un prezzo di mercato di 20 €/m² con un costo⁸ di materie prime (graniglia di marmo, cemento bianco, polvere di marmo, sabbione per sottofondo) pari a 9 €/m² e costo per l'energia e la manodopera di circa 8 €/m²: si può ragionevolmente concludere che un possibile prezzo di mercato da affidare al nuovo agglomerato lapideo potrebbe essere di circa 20 €/m² con un utile per l'azienda produttrice di 7 € pari al 35% circa del prezzo del prodotto.

Avendo stimato un possibile prezzo di mercato, è opportuno fare un confronto con il relativo prezzo di mercato delle lastre di rivestimento verticale di pietra Leccese. I prezzi indicati sono quelli medi relativi alle tre maggiori aziende produttrici di lastre di pietra Leccese.

Per le lastre standard si ha un prezzo che varia dai 30 ai 34 €/m², mentre per le lastre con decorazioni in basso rilievo per incisione i prezzi si aggirano intorno a 800-1300 €/m².

⁷Media annuale 2014 elaborata dai costi orari/mensili per dipendenti di imprese edili ed affini della provincia di Lecce

⁸Dati ricavati tramite sopralluogo e interviste presso alcuni stabilimenti produttivi di marmette.

LASTRE RICOMPOSTE CON SCARTI DI PIETRA LECCESE	LASTRE PIETRA LECCESE STANDARD	LASTRE PIETRA LECCESE DECORATE A RILIEVO
20 €/m ²	30-34 €/m ²	800-1300 €/m ²

Tabella 8.16. Confronto dei prezzi di mercato di lastre in pietra Leccese e lastre ricomposte con gli scarti

Le lastre decorate a rilievo hanno un tempo di produzione che varia dalle 2 alle 5 ore a lastra in base al tipo di texture da incidere, e le dimensioni di queste lastre sono circa di 60x60x3 cm corrispettivi m² 0,36, con una produzione giornaliera di circa 1 m², mentre la produzione di lastre di rivestimento standard (25x49x2 cm) analizzate nel Capitolo 5, prevede la realizzazione di circa 230 m².

Secondo il processo produttivo ipotizzato, si riuscirebbe a realizzare al giorno circa 200 m² di lastre "lisce" o decorate di dimensioni 40x40x2⁹ cm, con 5 giorni di presa del composto negli stampi e 20 giorni di stagionatura.

8.7. Valutazione ambientale del ciclo produttivo delle lastre di pietra Leccese ricostruita

Come specificato nel paragrafo precedente, il processo produttivo dell'agglomerato lapideo di pietra Leccese si compone di fasi riconducibili al processo produttivo delle marmette, in quanto la graniglia di marmo viene legata da cemento e disposta in degli stampi, come proposto per l'agglomerato studiato.

Le fasi da considerare per misurare l'impatto ambientale del "co-prodotto" della produzione principale, rappresentata dalla produzione di lastre in pietra Leccese, si riferiscono esclusivamente alla fase di produzione dell'agglomerato a partire dalla materia seconda, ovvero la polvere da scarto del processo produttivo principale, e dalle materie prime usate come legante (cemento e colla a base di lattice), senza includere nella LCA dell'agglomerato i processi di produzione di scarti attribuita al processo delle lastre in pietra Leccese.

Le fasi di produzione delle lastre in agglomerato sono pertanto costituite da:

⁹ Le dimensioni delle lastre sono ipotizzate solo per stimare il processo produttivo al fine di individuare i consumi relativi al numero di lastre prodotte. Ovvio che le dimensioni delle lastre, per lo più lo spessore, andrebbero verificate e nel caso ci fosse una variazione di dimensioni bisognerebbe riguardare il consumo legato alla betoniera che miscela il composto.

1. miscelazione praticata con una betoniera da 500 l di legante, polvere di pietra e acqua
2. distribuzione negli stampi con vibrazione effettuata dalla macchina *rotativa* con sei postazioni di stampi.

I processi a monte (*upstream*) sono quelli relativi alla produzione del cemento e della colla e alla generazione di energia elettrica, per i quali sono stati utilizzati dati generici applicati alle quantità di input ipotizzate. Per la colla si è fatto riferimento ai dati riportati in una ricerca condotta da European Polymer Dispersion & Latex Association¹⁰ (Allegato 3) invece, per il cemento a dati riportati su EPD¹¹ (Allegato 4) e per l'energia elettrica si impiega il processo di analisi presente in SimaPro quale: *Electricity, medium voltage, at grid/IT U*.

I processi di packaging non sono stati inclusi nei confini di analisi per quanto già dichiarato per LCA delle lastre in pietra Leccese.

Facendo riferimento sempre ai consumi energetici riportati nel paragrafo precedente si valuta l'impatto ambientale delle fasi citate con unità funzionale di 1 m² di agglomerato di pietra Leccese.

L'analisi LCA è stata svolta tramite software SimaPro 8.0.3.14 utilizzando i metodi di caratterizzazione CML-IA baseline, con set di normalizzazione EU25+3 ed EPD Draft solo per definire l'energia incorporata nelle fasi analizzate.

Sono state valutate le categorie d'impatto richieste dalla norma UNI EN 15804 quali, Global Warming (Kg CO₂ eq), Riduzione dell'ozono (kg CFC-11 eq), Acidificazione (kg SO₂ eq.), Eutrofizzazione (kg PO₄ eq.) e Ossidazione fotochimica (kg C₂H₄ eq.).

¹⁰ La ricerca condotta da European Polymer Dispersion & Latex Association (EPDLA) si riferisce allo studio di Valutazione del ciclo di vita di diverse famiglie di prodotti polimeri acquosi. Lo studio è stato condotto su 14 aziende produttrici site in 11 paesi dell'Europa Occidentale e della Turchia. Nel presente studio di tesi dottorale si fa riferimento alle categorie d'impatto del polimero stirene e butadiene, componenti della colla impiegata come legante nell'agglomerato.

¹¹ I dati a cui si fa riferimento per il processo del cemento sono contenuti nell'EPD, Dichiarazione ambientale Cemento, REGISTRATION NUMBER: S-P-00347 Rev. 03 – Lugno 2012 e nello specifico si fa riferimento alla produzione della città di Barletta.

Dai risultati ottenuti dall'analisi, le categoria di impatto più alte corrisponde al Global Warming e all'energia non rinnovabile. La fase più incidente risulta essere la Fase 1 riferita all'approvvigionamento delle materie prime.

LASTRE DI AGGLOMERATO DI PIETRA LECCESE 1 M ²					
Impact category	Unit	FASE 1_Approvvig Materie Prime	FASE 2_Trasporto Materie Prime	FASE 3_Manufactu ring	TOTALE
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	11,04	0,16	0,34	11,53
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0,17	2,49E-08	2,9E-08	0,17
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	1,06	2,08E-05	6,71E-05	1,06
Acidification	kg SO2 eq	14,49	0,0006	0,002	14,49
Eutrophication	kg PO4--- eq	1,06	0,0002	0,0004	1,06
Non renewable, fossil	MJ eq	133,47	2,75	5,19	141,42

Tabella 8.17. Impatti e consumo di risorse per agglomerato lapideo in pietra Leccese

Nella tabella di seguito si riportano a fianco i valori per categorie di impatto per 1 m² di lastra in Pietra Leccese e 1 m² di lastra agglomerato. In accordo con la UNI EN 15804 p.6.3.4.2 gli impatti di tutte le fasi a monte della produzione di materia-seconda (gli scarti) si sono attribuiti al prodotto principale, (1 m² di lastre in P.L. che produce scarti in quantità corrispondenti alla produzione di pari superficie di lastre agglomerate).

Tuttavia come anche illustrato in *ILCD Handbook General Guide p.7.9 "Solving multifunctionality of processes in attributional modelling"* se consideriamo il processo nel suo insieme come un sistema che produce più prodotti (le lastre di P.L. e le lastre agglomerate) gli impatti attribuiti per intero alla P.L. per la estrazione e lavorazione in lastre dovrebbero essere condivisi con il processo che ne usa gli scarti allocando alle due linee produttive in base ai costi al m² o in base alle quantità dei due prodotti, gli impatti del sistema nel suo complesso per le fasi che sono "condivise".

IMPATTI SU 1m ² DI LASTRE			
CATEGORIE D'IMPATTO	Unità	Lastre pietra Leccese (25x35x2 cm)	Lastre agglomerato pietra Leccese (40x40x2 cm)
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	3,44	11,53
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	3,03E-07	0,17
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	0,000685	1,06
Acidification	kg SO2 eq	0,01678	14,49
Eutrophication	kg PO4 ⁻⁻⁻ eq	0,003646	1,06
Non renewable, fossil	MJ eq	50	141,42

Tabella 8.18. indicatori d'impatto delle lastre in pietra Leccese e in pietra Leccese ricomposta su 1 m³ di prodotto.

L'utilizzo della materia prima seconda contribuisce ad abbassare l'impatto ambientale della filiera produttiva; se si fa riferimento all'impatto generato dalla fase di estrazione della pietra e del trasporto allo stabilimento, con il riutilizzo degli scarti di produzione, questo impatto è esteso sia ai prodotti di produzione di filiera classica sia sul co-prodotto. Inoltre, impiegando quasi interamente il materiale cavato per produrre circa 2/3¹² in più dei prodotti realizzati con la stessa quantità di materiale si ha un minore impatto ambientale a scala locale e globale.

Le categorie d'impatto riferite all'agglomerato lapideo risultano più impattanti rispetto a quella relativa alla pietra Leccese, come si nota dalla tabella 8.17 questo è attribuibile ai processi *upstream* della colla e del cemento.

¹² Vedi valutazione sul rendimento del quantitativo di scarto nel paragrafo 7.3 Proposte d'impiego di scarti di pietra Leccese

BIBLIOGRAFIA

Commissione Regionale istituita ai sensi della Circolare del Ministro dei LL. PP. n 505/AC in data 28/01/1978, (a cura di), *Rilevamento dei costi della mano d'opera dei trasporti, dei noli e dei materiali anno 2014*, Provveditorato interregionale per le opere pubbliche, per la Campania, il Molise, la Puglia e la Basilicata

EC, JRC, IES, International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook. Series of guidance documents for good practice in Life Cycle assessment, Luxembourg Publication Office of the European Union, 2010-2011

EPD, *Dichiarazione ambientale Cemento*, REGISTRATION NUMBER: S-P-00347 Rev. 03 – Lugno 2012

Tassone, P., *Agglomerati lapidei*. Produzione industriale, Caratteristiche, Prestazioni, Hoepli Milano, 2004

UNI EN 14617-1:2005 - Lapedei agglomerati - Metodi di prova - Parte 1: Determinazione della massa volumica apparente e dell'assorbimento d'acqua

UNI EN 14617-2:2005 - Lapedei agglomerati - Metodi di prova - Parte 2: Determinazione della resistenza a flessione (curvatura)

UNI EN 14157:2005 – Metodo B e C, in Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione della resistenza all'abrasione

UNI EN 14617-5:2005 - Lapedei agglomerati - Metodi di prova - Parte 5: Determinazione della resistenza al gelo e al disgelo

UNI EN 14617-15:2005 - Lapedei agglomerati - Metodi di prova - Parte 15: Determinazione della resistenza a compressione
www.italcementi.it/NR/rdonlyres/F74D165D-02F7-4F87-A34A-C0503BBE51CC/0/AQUILABIANCABLL325R.pdf [Consultato Novembre 2016]

www.torggler.com/sites/default/files/files/products/st_neoplast_grip.pdf [Consultato Novembre 2016]

www.assoelettrica.it/blog/?p=14451 [Consultato Novembre 2016]

European Polymer Dispersion & Latex Association (EPDLA), *Life Cycle Inventory of Polymer Dispersions, 2015* www.cefic.org/About-us/How-Cefic-is-organised/Fine-Speciality-and-Consumer-Chemicals/European-Polymer-Dispersion-and-Latex-Association-EPDLA-/Documents--Positions/ [Consultato Novembre 2016]

NOTA: Nel presente capitoli tutte le foto sono state scattate da Angela Masciullo (A. M.)

CAPITOLO 9

DISCUSSIONE, CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI DELLA RICERCA

9.1 Discussioni e conclusioni

La ricerca ha svolto uno studio di metodi LCA e strumenti di valutazione ambientale (EPD e Ecolabel) applicati al settore lapideo. Si è scelto di condurre lo studio di metodi e strumenti di valutazione ambientale con la verifica di un caso e con riferimento al comparto della pietra Leccese. L'efficacia della analisi/valutazione ambientale è stata testata lungo un percorso di sviluppo della ricerca che finalizza l'analisi alla individuazione di punti di forza e di debolezza della produzione esaminata e alla proposta di innovazioni di prodotto che riducano l'impatto dei processi produttivi con la valorizzazione degli scarti in un co-prodotto del processo produttivo tradizionale.

Per la valutazione ambientale dei prodotti in pietra Leccese, la ricerca fa riferimento al metodo *Life Cycle Assessment* (LCA), secondo la norma europea UNI EN 15804:2014 "Sostenibilità delle costruzioni - Dichiarazioni ambientali di prodotto - Regole chiave di sviluppo per categoria di prodotto". Si fa riferimento, nello specifico, anche alle PCR (Product Category Rules) *Marble or other calcareous stone, granite, sandstone and monumental or building stone* – 2009, sviluppate da CET SERVIZI R&S di Isea (TN).

Lo sviluppo dell'analisi LCA adotta un approccio articolato per fasi del ciclo di vita e con riferimento ai prodotti da costruzione, la UNI EN 15804:2014 indica che le dichiarazioni ambientali (EPD) devono essere riferite obbligatoriamente alla fase "dalla culla ai cancelli" includendo i moduli informativi relativi alle fasi di produzione, quali fornitura della materia prima, trasporto e produzione. Nel caso dei prodotti lapidei le fasi di produzione concernono l'estrazione in cava, il trasporto dalla cava allo stabilimento, la produzione di prodotti finiti.

Con l'analisi LCA si sono elaborati gli indicatori di impatto a scala globale indicati dalla UNI EN 15804:2014: Global warming (GWP100a), Ozone layer depletion (ODP), Photochemical oxidation, Acidification, Eutrophication, Uso di Energia non rinnovabile.

Per includere anche aspetti di impatto sul territorio alla scala locale, quali uso del suolo, uso di acqua, qualità dell'aria e qualità dell'acqua, rumore, la ricerca ha fatto riferimento a indicatori inclusi nel metodo di valutazione adottato per l'etichette ECOLABEL, in

particolare si è fatto riferimento allo “Ecolabel Europeo per Coperture dure, per pavimenti e pareti”. Gli indicatori citati sono stati rielaborati al fine di fornire delle informazioni aggiuntive da poter affiancare agli indicatori elaborati con il metodo LCA.

Si sono rielaborati gli indicatori presenti nel Criterio I. *Gestione delle materie prime* dell’ECOLABEL citato, al fine di ottenere un valore di impatto della cava e non una valutazione di qualità della cava, come invece richiesto dallo strumento Ecolabel.

Considerazioni comparative

Dal confronto con altri studi LCA relativi a prodotti lapidei presenti in letteratura recente, risulta che l’impatto ambientale di lastre in pietra Leccese è più basso rispetto al marmo di Custonaci e leggermente più alto rispetto alla pietra Serena.

Naturalmente le comparazioni tra dati LCA andrebbero approfondite in base alle banche dati e ai “processi a monte” (tipo energia elettrica) impiegati.

Alcune caratteristiche fisiche delle pietre hanno diretta influenza sui risultati degli impatti del loro processo produttivo, poiché determinano differenze nei metodi di estrazione e di lavorazione. La raccolta dei dati dovrebbe essere fatta nello stesso periodo, inoltre è da tener presente che i dati rilevati per i tre tipi di pietra sopracitati fanno riferimento ad aziende collocate in luoghi diversi, se pure italiane.

La comparazione dei risultati LCA della pietra Leccese con le altre due tipologie di pietre è stata qui condotta con riferimento ad una unità di misura del volume, il m³, poiché il riferimento alla tonnellata, unità in peso indicata dalle PCR, risulta meno significativo in quanto i tre tipi di pietra hanno diverso peso specifico e quindi il riferimento alla tonnellata porta a confrontare volumi di pietra diversi, che danno origine a un numero di prodotti lavorati diversi. In particolare, trattandosi di prodotti per rivestimento (le lastre) tagliate in dimensioni assimilabili in tutte e tre le tipologie di pietra, il riferimento al m³ permette di confrontare volumi corrispondenti a quantità simili in numero di lastre e conseguentemente in superficie di rivestimento realizzabile, se pure non precisamente la stessa, nei tre casi.

Analisi SWOT e proposte sul riciclaggio degli scarti

Grazie alla valutazione ambientale si sono individuati i punti di forza e di debolezza del settore lapideo Leccese, tra i punti critici vi è la produzione di scarti in fase di estrazione e di produzione, i quali non vengono recuperati nella produzione ma, poiché non contengono sostanze nocive per l'ambiente, sono destinati al riempimento delle cave o smaltiti presso stabilimenti di recupero e riciclo di rifiuti inerti ed impiegati sempre come materiale per riempimento e sottofondi.

L'attenzione viene puntata su questo aspetto proponendo di valorizzare gli scarti di produzione per prodotti di qualità nel campo delle costruzioni: un intonaco di finitura e lastre di pietra ricomposta per rivestimenti.

Si sono svolte diverse prove di sperimentazione per definire i composti. Si deve sottolineare che le sperimentazioni sono state condotte con i limiti dei mezzi a disposizione della ricerca dottorale, per cui il mix dei materiali è influenzato dal processo di lavorazione che si è utilizzato nella realizzazione dei due prodotti da sottoporre a verifiche, processo che non poteva avvalersi di apparecchiature industriali. Ad esempio la pietra ricomposta per lastre è stata realizzata per stampaggio senza utilizzare sistemi industriali di compattazione (vibro compressione, indurimento sotto vuoto, ecc.) che avrebbero permesso un mix con minore contenuto di legante.

Definiti i composti dell'intonaco e della pietra ricomposta, tramite una valutazione SWOT si sono stimati i punti di forza, di debolezze, di opportunità e di minaccia dei due prodotti proposti. Da questa analisi risulta più vantaggiosa la produzione di lastre in agglomerato lapideo perché, a differenza dell'intonaco di finitura, presenta un campo di applicazione più ampio, una valorizzazione degli scarti trasformati in prodotti ad alto valore aggiunto, l'accesso ad un mercato con un rapido trend di crescita a livello internazionale e che attualmente presenta ancora notevoli possibilità di sviluppo. Inoltre l'affermazione di lastre in pietra ricomposta sul mercato favorisce lo sviluppo del settore lapideo senza incidere negativamente sulle quantità di pietra Leccese estratta, con una riduzione dell'impatto paesaggistico e dell'uso della risorsa naturale.

Proposta di un agglomerato lapideo, verifiche sperimentali e valutazioni economiche e ambientale

A seguito della analisi SWOT si è quindi proceduto a definire e mettere in atto delle verifiche sulle caratteristiche fisiche-meccaniche dell'agglomerato lapideo, svolgendo i metodi di prova riportati nella normativa UNI EN per agglomerati lapidei e per pietre naturali. I campioni di pietra Leccese ricostruita sono stati sottoposti a prove di: determinazione dell'assorbimento d'acqua, resistenza all'abrasione, resistenza a flessione, resistenza a flessione dopo cicli di gelo e disgelo e resistenza a compressione.

I risultati ottenuti sui campioni in agglomerato lapideo (con i limiti di cui sopra per quanto riguarda la composizione dell'agglomerato) sono stati confrontati con le caratteristiche della pietra Leccese e ne risulta che l'agglomerato lapideo rispetto a quest'ultima ha una densità apparente e un assorbimento d'acqua inferiore, una maggiore resistenza a flessione ma una resistenza a compressione notevolmente inferiore.

In seguito ai risultati del tipo di prove svolte, l'agglomerato lapideo in oggetto, può essere impiegato come lastre di rivestimento verticale, ma non è da escluderne la possibilità di utilizzo anche per rivestimenti orizzontali, tuttavia quest'ultima possibilità d'impiego dovrebbe essere verificata con prove specifiche aggiuntive.

Per verificare la competitività sul mercato è stata svolta una valutazione dei costi di produzione tramite i quali si è potuto stimare un prezzo di mercato che risulta simile a quello di analoghi agglomerati lapidei. Anche in questa valutazione è da tener presente quanto detto sulle proporzioni dei materiali leganti aggiunti alla polvere di pietra Leccese recuperata, in quanto con una sperimentazione che possa valersi di attrezzature industriali si dovrebbe avere una riduzione dei quantitativi di legante e una conseguente riduzione dei costi delle materie prime.

Lo stesso discorso sui limiti della sperimentazione condotta vale per la valutazione di impatto ambientale della lastra ricomposta. La quantità di legante incide ovviamente molto su alcuni indicatori ambientali. C'è poi un altro aspetto da tener presente nella valutazione di impatto ambientale del prodotto: se consideriamo le lastre ricomposte come un co-prodotto dello stesso processo che origina gli scarti con la sua produzione principale, si può considerare l'impatto attribuibile nel suo complesso a un sistema di

produzione ipotizzato come processo “multi-funzionale” che origina due prodotti (un prodotto principale e un co-prodotto): le lastre in pietra e le lastre in agglomerato. Pur trattandosi di prodotti con caratteristiche diverse di qualità, si tratta nel complesso di prodotti per rivestimento lapideo i cui processi produttivi presentano nel loro insieme una riduzione del consumo di risorse naturali ed energetiche. In ultimo, ma non con minore importanza, le ricadute anche economiche e sociali, dovrebbero essere positive per la tenuta del settore lapideo locale e la creazione di nuovi posti di lavoro.

9.2 Sviluppi futuri della ricerca

Visti i risultati finora raggiunti, viste le condizioni di mercato che potrebbero favorevolmente accogliere l’inserimento del nuovo agglomerato lapideo, è ragionevole ipotizzare un ulteriore sviluppo della ricerca sia per la prototipazione e ingegnerizzazione del prodotto che per ottenere uno studio completo che approfondisca alcuni aspetti non trattati.

Per quanto riguarda la prototipazione/ingegnerizzazione occorre arrivare a definire un mix adeguato con l’uso di processi di produzione industriale per gli stampi delle lastre.

Su queste basi occorre portare avanti uno studio di mercato su lastre di agglomerato lapideo, o lapidei “ricostituiti”, già presenti sul mercato, per valutare la competitività dell’agglomerato in pietra Leccese quanto a prestazioni tecniche, prestazioni ambientali e costi di produzione.

Inoltre il lavoro di analisi ambientale e analisi dei costi dovrebbe essere esteso alle soluzioni tecniche di rivestimento con la messa in opera e relativi sistemi di ancoraggio, ampliando la analisi LCA oltre i cancelli e sviluppando una analisi dei costi in ottica Life Cycle Cost.

Per quanto riguarda la qualificazione tecnica dell’agglomerato sarebbe opportuno incrementare il quadro delle caratteristiche prestazionali dell’agglomerato lapideo proposto svolgendo altre prove fisiche-meccaniche quali, ad esempio, resistenza all’urto, resistenza chimica, resistenza allo scivolamento, in modo da estendere l’uso anche alle pavimentazioni (tali test non sono stati svolti per la non disponibilità dell’apparecchiatura necessaria per lo svolgimento della prova).

In base ai risultati ottenuti dalle prove fisiche-meccaniche condotte sulla pietra Leccese ricostruita si potrebbero svolgere delle considerazioni per migliorare le prestazioni del composto. Ovvero valutare l'aggiunta nel composto di materiali che ne migliorino le caratteristiche meccaniche, quali le fibre di vetro, le fibre di propilene e di biossido di titanio.

Dai risultati ottenuti dall'analisi LCA svolta sull'agglomerato lapideo risulta che la pietra ricostruita ha un impatto maggiore rispetto alla pietra Leccese naturale. La fase più impattante risulta la *fase 1* relativa all'approvvigionamento delle materie prime, gli impatti sono dovuti al processo a monte del cemento e della colla. Per ottenere un prodotto più competitivo dal punto di vista ambientale è necessario sostituire tali leganti con materiali meno impattanti.

Anche la proposta di recupero degli scarti come materiale componente premiscelati per intonaco di finitura potrebbe essere portata avanti, svolgendo prove fisiche-meccaniche relative agli intonaci al fine di valutare la fattibilità del materiale, i costi di produzione e i relativi impatti ambientali.



Foto di Angela Masciullo. Cava e Città. Melpignano - 2015

ALLEGATO 1



AQUILA BIANCA B-LL 32,5 N

CEMENTO PORTLAND AL CALCARE EN 197-1 – CEM II / B-LL 32,5 N

Descrizione

AQUILA BIANCA B-LL 32,5 N è un cemento bianco Portland al calcare tipo II.

Composizione

Contiene, conformemente alla composizione prescritta dalla norma UNI EN 197-1 (riferita cioè alla massa del cemento ad esclusione del solfato di calcio e degli additivi), 65% ÷ 79% di clinker bianco, mentre la restante parte è costituita da calcare con TOC $\leq 0,20\%$ in massa (LL) ed eventuali costituenti secondari

Requisiti di norma (UNI EN 197-1)

Requisiti chimici	Requisiti fisici	Requisiti meccanici
Perdita al fuoco N.R.	Tempo di inizio presa ≥ 75 min.	Resistenze alla compressione
Residuo insolubile N.R.	Espansione ≤ 10 mm	2 giorni N.R.
Solfati (come SO_3) $\leq 3,5\%$		7 giorni $\geq 16,0$ MPa
Cloruri $\leq 0,10\%$		28 giorni $\geq 32,5$ MPa

Utilizzo

I suoi impieghi abituali riguardano:

- getti faccia a vista con rilievi di inerti colorati;
- pavimentazioni di pregio;
- malte e calcestruzzi colorati;
- sculture, panchine, fioriere, vasi;
- intonaci e pitture a base cementizia;
- premiscelati;
- colle cementizie;
- elementi per l'arredo urbano;
- elementi per la segnaletica stradale;
- piastrelle e marmette;
- stucchi bianchi, chiari o colorati a base cementizia;
- riparazioni di varia natura.

Vantaggi

AQUILA BIANCA B-LL 32,5 N è un cemento bianco costante e stabile che consente, con l'aggiunta di pigmenti, di ottenere la più versatile gamma di colori e una grande purezza di tinte.

La sua caratteristica specifica è quella di essere bianco e sempre dello stesso bianco. Le sue ottime resistenze meccaniche, il ritiro, il calore d'idratazione nonché il modulo elastico inferiore a quello del cemento grigio di pari classe, ne rendono idoneo l'impiego in realizzazioni particolari (pavimentazioni, pietre artificiali, collanti ecc.), dove l'uso di un cemento comune potrebbe comportare alcuni inconvenienti.

Gli impasti di AQUILA BIANCA B-LL 32,5 N presentano una notevole aderenza e offrono la possibilità di poter utilizzare il prodotto per tutti i tipi di intonaci, dove la funzione principale è quella di costituire un rivestimento flessibile in grado di adattarsi a tutti i movimenti del supporto per variazioni termiche e igrometriche.

ALLEGATO 2



NEOPLAST GRIP

ADESIVO DI PRESA

- Migliora l'aderenza
- Aumenta la resistenza alla flessione
- Aumenta la resistenza all'abrasione
- Aumenta l'impermeabilità
- Migliora la resistenza chimica

NEOPLAST GRIP è un modificante per cementi e calci idrauliche a base di lattici speciali, molto resistenti alla saponificazione, con effetto flessibilizzante e fortemente adesivante.

CAMPI D'IMPIEGO

- Sprizzi/rinzaffi di ripresa su calcestruzzo o muratura.
- Lavori di riparazione.
- Riprese di getto.
- Malte di sigillatura.
- Incollaggio di piastrelle.

TIPI DI SOTTOFONDO

- Muratura in laterizio.
- Calcestruzzo.
- Massetti cementizi.
- Sottofondi minerali in genere.

TIPOLOGIA DI MATERIALI DA POSARE

- Miscele di sabbia/cemento come sprizzo/rinzaffo d'ancoraggio.
- Malte di sigillatura per giunti.
- Adesivi cementizi.
- Malte da ripristino.

1/4



Torggler
Chimica
S.p.A.

*Da oltre 140 anni,
leader tecnologico
nei prodotti per l'edilizia.*

SPessori MASSIMI REALIZZABILI

Gli spessori realizzabili dipendono dalla tipologia di malta impiegata.

CARATTERISTICHE

NEOPLAST GRIP è un modificante per cementi e calci idrauliche a base di lattici specificatamente formulati, resistenti alla saponificazione ed all'azione dell'acqua, fortemente adesivanti, che riducono il fattore acqua/cemento pur conferendo all'impasto un'ottima tixotropia.

AVVERTENZE

NEOPLAST GRIP deve essere rimescolato fino a completa omogeneità, prima dell'uso.

Malte modificate con **NEOPLAST GRIP** non devono essere applicate al di sotto dei +5 °C.

ISTRUZIONI PER L'IMPIEGO

In tutte le applicazioni con **NEOPLAST GRIP** bisogna curare scrupolosamente la preparazione del sottofondo. Questo deve essere pulito, sano, libero da ogni traccia di oli, grassi, residui di disarmanti, antievaporanti o vernici, ed opportunamente rattivato. Particelle sciolte e patine di cemento devono essere accuratamente rimosse. Il sottofondo deve inoltre essere preliminarmente bagnato fino a completa saturazione.

In tutti gli impieghi successivamente descritti è necessario osservare scrupolosamente le regole generali di una adeguata composizione ed applicazione di malte e calcestruzzi:

- sabbia pulita e di buona granulometria
- giusta concentrazione di cemento
- dosaggio più basso possibile dell'acqua d'impasto
- prevenire l'essiccamento troppo rapido
- protezione da temperature basse e da vento
- opportuna sistemazione di giunti.

Successivamente alla posa di intonaci, rivestimenti e ripristini posati con malte modificate con **NEOPLAST GRIP**, questi devono essere tenuti umidi per alcuni giorni.

IMPIEGHI PARTICOLARI:

A. Sprizzo di ripresa per intonaci (rinzafo)

1. Si miscelano i seguenti volumi:
2-3 parti di sabbia viva (possibilmente 0/4)
1 parte di calce:cemento 1:1
2. Si diluisce 1 parte in volume di **NEOPLAST GRIP** con 2 parti in volume di acqua.
3. Si impasta la miscela calce:cemento - sabbia con **NEOPLAST GRIP** diluito, fino ad ottenere una malta di consistenza adatta per essere applicata a cazzuola come sprizzo (18% - 20%).



4. Appena lo sprizzo ha fatto la prima presa si passa all'applicazione dell'intonaco normale o idrofugato con NEANTOL.

B. Riparazioni, riporti e riprese di getto

1. Si mescolano volumi uguali di cemento e sabbia viva.
2. Si diluisce 1 parte in volume di **NEOPLAST GRIP** con 1 parte in volume di acqua.
3. Si impasta la miscela cemento - sabbia con **NEOPLAST GRIP** diluito, fino ad ottenere una malta molto fluida (boiaccia). Si stende questa boiaccia sul sottofondo opportunamente preparato (come già descritto) spazzolando energicamente con scopa rigida o spalmando con pennello per lavori di riparazione limitati.
4. Su questa mano di ancoraggio ancora fresca si applica la malta di riparazione od il calcestruzzo di riporto.

Per riparazioni e riporti sottili si consiglia un'aggiunta del 10% ca. di **NEOPLAST GRIP** rispetto al peso del legante della malta. Tale percentuale si realizza diluendo preventivamente 1 parte in volume di **NEOPLAST GRIP** con 4 parti in volume di acqua ed impastando malta con il **NEOPLAST GRIP** così diluito.

C. Malte di sigillatura

Poiché in questo caso è importantissimo che la malta sigillante presenti un ritiro il più basso possibile, bisogna preparare una malta omogenea ma molto rigida.

Composizione della malta

1 parte in volume di cemento
3 parti in volume di sabbia (la granulometria sarà in funzione delle dimensioni del giunto, della crepa, della cavità, ecc. da sigillare).

Soluzione d'impasto

1 parte in volume di **NEOPLAST GRIP**
4 parti in volume di acqua

D. Incollaggio di piastrelle

Impiegando **NEOPLAST GRIP** in combinazione con l'adesivo in polvere **PIASTRELLITE MASTER PLUS** si ottiene un letto collante impermeabile, fortemente adesivo, con buona resistenza chimica (per piscine, pavimenti e rivestimenti per l'industria ecc.).

Impastando **PIASTRELLITE MASTER PLUS** con **NEOPLAST GRIP** diluito 1:1 si ottiene un letto collante che soddisfa i requisiti C2 della EN 12004. Se è richiesto anche il raggiungimento della specifica S1 oppure S2 della EN 12002, consigliamo l'impiego del nostro **ANTOL FLEX** (vedere apposita scheda tecnica).

1. Si diluisce 1 parte in volume di **NEOPLAST GRIP** con 1 parte in volume di acqua.
2. Si impasta il **PIASTRELLITE MASTER PLUS** con il 28% di **NEOPLAST GRIP** diluito come sopra.
3. Si seguono le istruzioni relative all'impiego del **PIASTRELLITE MASTER PLUS**.

L'applicazione dell'impasto deve essere abbondante in modo da creare un letto collante continuo e quindi impermeabile. Nel caso di

VOCE DI CAPITOLATO

NEOPLAST GRIP

*Preparare l'impasto mescolando la miscela secca sabbia-legante idraulico o malta premiscelata oppure adesivo cementizio con NEOPLAST GRIP preventivamente diluito con acqua (in rapporti variabili da 1:1 fino 1:4 a seconda delle specifiche di posa e/o dell'intervento) fino ad ottenere la corretta consistenza dell'impasto; procedere quindi all'applicazione dell'impasto realizzato, procedendo con la successiva lavorazione (intonacatura, ricostruzione con malta, etc) fresco su fresco.
Consumo indicativo di kg/m²*

DATI TECNICI

Parametro	Valore
Colore:	bianco
Massa volumica (sec. ISO 28111):	1,02 kg/l
Residuo secco (sec. MIT 01*):	31%
pH (sec. ISO 4316):	8
Contenuto in cloruri (sec. MIT 17*):	< 0,01%

(*) I Metodi Interni Torggler (MIT) sono disponibili su richiesta.

applicazioni particolarmente impegnative come piscine, vasche di acqua potabile, ecc. e di piastrelle con intradosso molto profilato è indispensabile spalmare l'adesivo anche sul rovescio della piastrella per non avere vuoti (sistema "buttering-floating").

CONSUMO

Applicazione	Consumo
Sprizzo di ripresa per intonaci (rinzaffo)	200 g - 400 g/m ²
Riparazioni, riporti e riprese di getto	200 g - 400 g/m ²
Malta di sigillatura	100 g - 200 g/kg di cemento
Incollaggio di piastrelle (con PIASTRELLITE MASTER PLUS)	300 g - 700 g/m ²

STOCCAGGIO

Nelle confezioni originale chiuso e se stoccato a temperature tra +5 °C e +35 °C, il prodotto è stabile almeno 12 mesi.

CONFEZIONI

Canestri da 5 kg.

LINEA ADDITIVI



Le informazioni contenute in questo prospetto sono, per quanto risulta a nostra conoscenza, esatte ed accurate, ma ogni raccomandazione e suggerimento dato è senza alcuna garanzia, non essendo le condizioni di impiego sotto il nostro diretto controllo. In caso di dubbi è sempre consigliabile fare delle prove preliminari e/o chiedere l'intervento dei nostri tecnici. L'azienda Torggler Chimica Spa si riserva il diritto di modificare, sostituire e/o eliminare gli articoli, nonché variare i dati dei prodotti riportati in questo prospetto, senza alcun preavviso; in tal caso le indicazioni qui riportate potrebbero non risultare più valide. Il presente stampato sostituisce quello precedente. Versione 06.2011

Torggler
Chimica
S.p.A.

SPECIALIST INSIDE SINCE 1865

Via Prati Nuovi, 9
39020 Marlengo (BZ) - ITALIA
Tel. +39 0473 282500 - Fax +39 0473 282501
www.torggler.com - info@torggler.com

Scheda di Dati di Sicurezza

SEZIONE 1. Identificazione della sostanza o della miscela e della società/impresa

1.1. Identificatore del prodotto

Denominazione Neoplast Grip

1.2. Pertinenti usi identificati della sostanza o miscela e usi sconsigliati

Descrizione/Utilizzo Additivo per adesivi cementizi - adesivo di presa.

1.3. Informazioni sul fornitore della scheda di dati di sicurezza

Ragione Sociale Torggler Chimica SpA
Indirizzo Via Verande 1/a
Località e Stato 39012 Merano (BZ)
Italia
tel. +39 0473 282500
fax +39 0473 282501

e-mail della persona competente,
responsabile della scheda dati di sicurezza reach@torggler.com

1.4. Numero telefonico di emergenza

Per informazioni urgenti rivolgersi a +39 348 580 95 65 (08.00 - 17.30)

SEZIONE 2. Identificazione dei pericoli.

2.1. Classificazione della sostanza o della miscela.

Il prodotto non è classificato pericoloso ai sensi delle disposizioni di cui al Regolamento (CE) 1272/2008 (CLP) (e successive modifiche ed adeguamenti).

2.1.1. Regolamento 1272/2008 (CLP) e successive modifiche ed adeguamenti.

Classificazione e indicazioni di pericolo: --

2.2. Elementi dell'etichetta.

Pittogrammi di pericolo: --

Avvertenze: --

Indicazioni di pericolo:
EUH208 Contiene: Massa di reazione di: 5-cloro-2-metil-2H-isotiazol-3-one [EC no. 247-500-7];
2-metil-2H-isotiazol-3-one [EC no. 220-239-6] (3:1)
Può provocare una reazione allergica.

Consigli di prudenza: --

2.3. Altri pericoli.

Informazioni non disponibili.

SEZIONE 3. Composizione/informazioni sugli ingredienti.

Dispersione acquosa di un copolimero a base di stirene e butadiene.

3.1. Sostanze.

Informazione non pertinente.

3.2. Miscele.

Il prodotto non contiene sostanze classificate pericolose per la salute o per l'ambiente ai sensi delle disposizioni di cui alle direttive 67/548/CEE e/o del Regolamento (CE) 1272/2008 (CLP) (e successive modifiche ed adeguamenti).

SEZIONE 4. Misure di primo soccorso.

4.1. Descrizione delle misure di primo soccorso.

OCCHI: Eliminare eventuali lenti a contatto. Lavarsi immediatamente ed abbondantemente con acqua per almeno 30/60 minuti, aprendo bene le palpebre. Consultare subito un medico.

PELLE: Togliersi di dosso gli abiti contaminati. Farsi immediatamente la doccia. Consultare subito un medico.

INGESTIONE: Far bere acqua nella maggior quantità possibile. Consultare subito un medico. Non indurre il vomito se non espressamente autorizzati dal medico.

INALAZIONE: Chiamare subito un medico. Portare il soggetto all'aria aperta, lontano dal luogo dell'incidente. Se la respirazione cessa, praticare la respirazione artificiale. Adottare precauzioni adeguate per il soccorritore.

4.2. Principali sintomi ed effetti, sia acuti che ritardati.

Per sintomi ed effetti dovuti alle sostanze contenute, vedere al cap. 11.

4.3. Indicazione dell'eventuale necessità di consultare immediatamente un medico e trattamenti speciali.

Informazioni non disponibili.

SEZIONE 5. Misure antincendio.

5.1. Mezzi di estinzione.

MEZZI DI ESTINZIONE IDONEI

I mezzi di estinzione sono quelli tradizionali: anidride carbonica, schiuma, polvere ed acqua nebulizzata.

MEZZI DI ESTINZIONE NON IDONEI

Nessuno in particolare.

5.2. Pericoli speciali derivanti dalla sostanza o dalla miscela.

PERICOLI DOVUTI ALL'ESPOSIZIONE IN CASO DI INCENDIO

Evitare di respirare i prodotti di combustione.

5.3. Raccomandazioni per gli addetti all'estinzione degli incendi.

INFORMAZIONI GENERALI

Raffreddare con getti d'acqua i contenitori per evitare la decomposizione del prodotto e lo sviluppo di sostanze potenzialmente pericolose per la salute. Indossare sempre l'equipaggiamento completo di protezione antincendio. Raccogliere le acque di spegnimento che non devono essere scaricate nelle fognature. Smaltire l'acqua contaminata usata per l'estinzione ed il residuo dell'incendio secondo le norme vigenti.

EQUIPAGGIAMENTO

Indumenti normali per la lotta al fuoco, come un autorespiratore ad aria compressa a circuito aperto (EN 137), completo antifiama (EN469), guanti antifiama (EN 659) e stivali per Vigili del Fuoco (HO A29 oppure A30).

SEZIONE 6. Misure in caso di rilascio accidentale.

6.1. Precauzioni personali, dispositivi di protezione e procedure in caso di emergenza.

Bloccare la perdita se non c'è pericolo.

Indossare adeguati dispositivi di protezione (compresi i dispositivi di protezione individuale di cui alla sezione 8 della scheda dati di sicurezza) onde prevenire contaminazioni della pelle, degli occhi e degli indumenti personali. Queste indicazioni sono valide sia per gli addetti alle lavorazioni che per gli interventi in emergenza.

6.2. Precauzioni ambientali.

Impedire che il prodotto penetri nelle fognature, nelle acque superficiali, nelle falde freatiche.

6.3. Metodi e materiali per il contenimento e per la bonifica.

Aspirare il prodotto fuoriuscito in recipiente idoneo. Valutare la compatibilità del recipiente da utilizzare con il prodotto, verificando la sezione 10. Assorbire il rimanente con materiale assorbente inerte.

Provvedere ad una sufficiente areazione del luogo interessato dalla perdita. Verificare le eventuali incompatibilità per il materiale dei contenitori in sezione 7. Lo smaltimento del materiale contaminato deve essere effettuato conformemente alle disposizioni del punto 13.

6.4. Riferimento ad altre sezioni.

Eventuali informazioni riguardanti la protezione individuale e lo smaltimento sono riportate alle sezioni 8 e 13.

SEZIONE 7. Manipolazione e immagazzinamento.

7.1. Precauzioni per la manipolazione sicura.

Manipolare il prodotto dopo aver consultato tutte le altre sezioni di questa scheda di sicurezza. Evitare la dispersione del prodotto nell'ambiente. Non mangiare, nè bere, nè fumare durante l'impiego. Togliere gli indumenti contaminati e i dispositivi di protezione prima di accedere alle zone in cui si mangia.

7.2. Condizioni per l'immagazzinamento sicuro, comprese eventuali incompatibilità.

Conservare solo nel contenitore originale. Conservare i recipienti chiusi, in luogo ben ventilato, al riparo dai raggi solari diretti. Conservare i contenitori lontano da eventuali materiali incompatibili, verificando la sezione 10.

SEZIONE 7. Manipolazione e immagazzinamento. ... / >>**7.3. Usi finali particolari.**

Informazioni non disponibili.

SEZIONE 8. Controllo dell'esposizione/protezione individuale.**8.1. Parametri di controllo.**

Informazioni non disponibili.

8.2. Controlli dell'esposizione.

Considerato che l'utilizzo di misure tecniche adeguate dovrebbe sempre avere la priorità rispetto agli equipaggiamenti di protezione personali, assicurare una buona ventilazione nel luogo di lavoro tramite un'efficace aspirazione locale.

Per la scelta degli equipaggiamenti protettivi personali chiedere eventualmente consiglio ai propri fornitori di sostanze chimiche.

I dispositivi di protezione individuali devono riportare la marcatura CE che attesta la loro conformità alle norme vigenti.

PROTEZIONE DELLE MANI

Proteggere le mani con guanti da lavoro di categoria III (rif. norma EN 374).

Per la scelta definitiva del materiale dei guanti da lavoro si devono considerare: compatibilità, degradazione, tempo di rottura e permeazione.

Nel caso di preparati la resistenza dei guanti da lavoro agli agenti chimici deve essere verificata prima dell'utilizzo in quanto non prevedibile. I guanti hanno un tempo di usura che dipende dalla durata e dalla modalità d'uso.

PROTEZIONE DELLA PELLE

Indossare abiti da lavoro con maniche lunghe e calzature di sicurezza per uso professionale di categoria I (rif. Direttiva 89/686/CEE e norma EN ISO 20344). Lavarsi con acqua e sapone dopo aver rimosso gli indumenti protettivi.

PROTEZIONE DEGLI OCCHI

Si consiglia di indossare occhiali protettivi ermetici (rif. norma EN 166).

PROTEZIONE RESPIRATORIA

In caso di superamento del valore di soglia (es. TLV-TWA) della sostanza o di una o più delle sostanze presenti nel prodotto, si consiglia di indossare una maschera con filtro di tipo B la cui classe (1, 2 o 3) dovrà essere scelta in relazione alla concentrazione limite di utilizzo. (rif. norma EN 14387). Nel caso fossero presenti gas o vapori di natura diversa e/o gas o vapori con particelle (aerosol, fumi, nebbie, ecc.) occorre prevedere filtri di tipo combinato.

L'utilizzo di mezzi di protezione delle vie respiratorie è necessario in caso le misure tecniche adottate non siano sufficienti per limitare l'esposizione del lavoratore ai valori di soglia presi in considerazione. La protezione offerta dalle maschere è comunque limitata.

Nel caso in cui la sostanza considerata sia inodore o la sua soglia olfattiva sia superiore al relativo TLV-TWA e in caso di emergenza, indossare un autorespiratore ad aria compressa a circuito aperto (rif. norma EN 137) oppure un respiratore a presa d'aria esterna (rif. norma EN 138). Per la corretta scelta del dispositivo di protezione delle vie respiratorie, fare riferimento alla norma EN 529.

Le emissioni da processi produttivi, comprese quelle da apparecchiature di ventilazione dovrebbero essere controllate ai fini del rispetto della normativa di tutela ambientale.

SEZIONE 9. Proprietà fisiche e chimiche.**9.1. Informazioni sulle proprietà fisiche e chimiche fondamentali.**

Stato Fisico	liquido
Colore	bianco
Odore	caratteristico
Soglia olfattiva.	Non disponibile.
pH.	ca. 8
Punto di fusione o di congelamento.	Non disponibile.
Punto di ebollizione iniziale.	100 °C.
Intervallo di ebollizione.	Non disponibile.
Punto di infiammabilità.	Non disponibile.
Tasso di evaporazione	Non disponibile.
Infiammabilità di solidi e gas	Non disponibile.
Limite inferiore infiammabilità.	Non disponibile.
Limite superiore infiammabilità.	Non disponibile.
Limite inferiore esplosività.	Non disponibile.
Limite superiore esplosività.	Non disponibile.
Tensione di vapore.	ca. 23 mbar
Densità Vapori	Non disponibile.
Densità relativa.	1,000 Kg/l
Solubilità	miscibile con acqua
Coefficiente di ripartizione: n-ottanolo/acqua:	Non disponibile.
Temperatura di autoaccensione.	Non disponibile.
Temperatura di decomposizione.	Non disponibile.
Viscosità	ca. 10 mPa*s
Proprietà esplosive	Non disponibile.
Proprietà ossidanti	Non disponibile.

9.2. Altre informazioni.

Residuo Secco. 30,00 %

SEZIONE 10. Stabilità e reattività.**10.1. Reattività.**

Non vi sono particolari pericoli di reazione con altre sostanze nelle normali condizioni di impiego.

10.2. Stabilità chimica.

Il prodotto è stabile nelle normali condizioni di impiego e di stoccaggio.

10.3. Possibilità di reazioni pericolose.

In condizioni di uso e stoccaggio normali non sono prevedibili reazioni pericolose.

10.4. Condizioni da evitare.

Nessuna in particolare. Attenersi tuttavia alla usuali cautele nei confronti dei prodotti chimici.

10.5. Materiali incompatibili.

Informazioni non disponibili.

10.6. Prodotti di decomposizione pericolosi.

Informazioni non disponibili.

SEZIONE 11. Informazioni tossicologiche.**11.1. Informazioni sugli effetti tossicologici.**

In mancanza di dati tossicologici sperimentali sul prodotto stesso, gli eventuali pericoli del prodotto per la salute sono stati valutati in base alle proprietà delle sostanze contenute, secondo i criteri previsti dalla normativa di riferimento per la classificazione.

Considerare perciò la concentrazione delle singole sostanze pericolose eventualmente citate in sez. 3, per valutare gli effetti tossicologici derivanti dall'esposizione al prodotto.

SEZIONE 12. Informazioni ecologiche.

Utilizzare secondo le buone pratiche lavorative, evitando di disperdere il prodotto nell'ambiente. Avvisare le autorità competenti se il prodotto ha raggiunto corsi d'acqua o fognature o se ha contaminato il suolo o la vegetazione.

12.1. Tossicità.

Informazioni non disponibili.

12.2. Persistenza e degradabilità.

Informazioni non disponibili.

12.3. Potenziale di bioaccumulo.

Informazioni non disponibili.

12.4. Mobilità nel suolo.

Informazioni non disponibili.

12.5. Risultati della valutazione PBT e vPvB.

In base ai dati disponibili, il prodotto non contiene sostanze PBT o vPvB in percentuale superiore a 0,1%.

12.6. Altri effetti avversi.

Informazioni non disponibili.

SEZIONE 13. Considerazioni sullo smaltimento.

CER: 080416.

13.1. Metodi di trattamento dei rifiuti.

Riutilizzare, se possibile. I residui del prodotto tal quali sono da considerare rifiuti speciali non pericolosi.

Lo smaltimento deve essere affidato ad una società autorizzata alla gestione dei rifiuti, nel rispetto della normativa nazionale ed eventualmente locale.

Evitare assolutamente di disperdere il prodotto nel terreno, in fognature o corsi d'acqua.

IMBALLAGGI CONTAMINATI

Gli imballaggi contaminati devono essere inviati a recupero o smaltimento nel rispetto delle norme nazionali sulla gestione dei rifiuti.

SEZIONE 14. Informazioni sul trasporto.

Il prodotto non è da considerarsi pericoloso ai sensi delle disposizioni vigenti in materia di trasporto di merci pericolose su strada (A.D.R.), su ferrovia (RID), via mare (IMDG Code) e via aerea (IATA).

SEZIONE 15. Informazioni sulla regolamentazione.**15.1. Norme e legislazione su salute, sicurezza e ambiente specifiche per la sostanza o la miscela.**

Categoria Seveso. Nessuna.

Restrizioni relative al prodotto o alle sostanze contenute secondo l'Allegato XVII Regolamento (CE) 1907/2006.
Nessuna.

Sostanze in Candidate List (Art. 59 REACH).

Nessuna.

Sostanze soggette ad autorizzazione (Allegato XIV REACH).

Nessuna.

Sostanze soggette ad obbligo di notifica di esportazione Reg. (CE) 649/2012:

Nessuna.

Sostanze soggette alla Convenzione di Rotterdam:

Nessuna.

Sostanze soggette alla Convenzione di Stoccolma:

Nessuna.

Controlli Sanitari.

Informazioni non disponibili.

15.2. Valutazione della sicurezza chimica.

Non è stata elaborata una valutazione di sicurezza chimica per la miscela e le sostanze in essa contenute.

SEZIONE 16. Altre informazioni.**LEGENDA:**

- ADR: Accordo europeo per il trasporto delle merci pericolose su strada
- CAS NUMBER: Numero del Chemical Abstract Service
- CE50: Concentrazione che dà effetto al 50% della popolazione soggetta a test
- CE NUMBER: Numero identificativo in ESIS (archivio europeo delle sostanze esistenti)
- CLP: Regolamento CE 1272/2008
- DNEL: Livello derivato senza effetto
- EmS: Emergency Schedule
- GHS: Sistema armonizzato globale per la classificazione e la etichettatura dei prodotti chimici
- IATA DGR: Regolamento per il trasporto di merci pericolose della Associazione internazionale del trasporto aereo
- IC50: Concentrazione di immobilizzazione del 50% della popolazione soggetta a test
- IMDG: Codice marittimo internazionale per il trasporto delle merci pericolose
- IMO: International Maritime Organization
- INDEX NUMBER: Numero identificativo nell'Annesso VI del CLP
- LC50: Concentrazione letale 50%
- LD50: Dose letale 50%
- OEL: Livello di esposizione occupazionale
- PBT: Persistente, bioaccumulante e tossico secondo il REACH
- PEC: Concentrazione ambientale prevedibile
- PEL: Livello prevedibile di esposizione
- PNEC: Concentrazione prevedibile priva di effetti
- REACH: Regolamento CE 1907/2006
- RID: Regolamento per il trasporto internazionale di merci pericolose su treno
- TLV: Valore limite di soglia
- TLV CEILING: Concentrazione che non deve essere superata durante qualsiasi momento dell'esposizione lavorativa.
- TWA STEL: Limite di esposizione a breve termine
- TWA: Limite di esposizione medio pesato
- VOC: Composto organico volatile
- vPvB: Molto persistente e molto bioaccumulante secondo il REACH
- WGK: Classe di pericolosità acquatica (Germania).

SEZIONE 16. Altre informazioni. ... / >>**BIBLIOGRAFIA GENERALE:**

1. Direttiva 1999/45/CE e successive modifiche
2. Direttiva 67/548/CEE e successive modifiche ed adeguamenti
3. Regolamento (CE) 1907/2006 del Parlamento Europeo (REACH)
4. Regolamento (CE) 1272/2008 del Parlamento Europeo (CLP)
5. Regolamento (CE) 790/2009 del Parlamento Europeo (I Atp. CLP)
6. Regolamento (CE) 453/2010 del Parlamento Europeo
7. Regolamento (CE) 286/2011 del Parlamento Europeo (II Atp. CLP)
8. Regolamento (CE) 618/2012 del Parlamento Europeo (III Atp. CLP)
9. The Merck Index. Ed. 10
10. Handling Chemical Safety
11. Niosh - Registry of Toxic Effects of Chemical Substances
12. INRS - Fiche Toxicologique
13. Patty - Industrial Hygiene and Toxicology
14. N.I. Sax - Dangerous properties of Industrial Materials-7 Ed., 1989
15. Sito Web Agenzia ECHA

Nota per l'utilizzatore:

Le informazioni contenute in questa scheda si basano sulle conoscenze disponibili presso di noi alla data dell'ultima versione. L'utilizzatore deve assicurarsi della idoneità e completezza delle informazioni in relazione allo specifico uso del prodotto.

Non si deve interpretare tale documento come garanzia di alcuna proprietà specifica del prodotto.

Poichè l'uso del prodotto non cade sotto il nostro diretto controllo, è obbligo dell'utilizzatore osservare sotto la propria responsabilità le leggi e le disposizioni vigenti in materia di igiene e sicurezza. Non si assumono responsabilità per usi impropri.

Fornire adeguata formazione al personale addetto all'utilizzo di prodotti chimici.

Modifiche rispetto alla revisione precedente.

Sono state apportate variazioni alle seguenti sezioni:

02 / 03 / 04 / 06 / 07 / 08 / 11 / 12.

ALLEGATO 3

EPDLA Life Cycle Inventory of Polymer Dispersions

On behalf of several participating members of the European Polymer Dispersions and Latex Association ('EPDLA'), PricewaterhouseCoopers Advisory conducted a Life Cycle Assessment (LCA) of the production of the following different families of aqueous polymer dispersions:

- SB (Styrene Butadiene) covering "hot and cold" processes;
- SA (Styrene Acrylate);
- ACR (Pure Acrylate);
- VAM (Polyvinyl acetate), it covers also copolymers like Vinyl acetate/Veova and Vinyl acetate / Acrylic;
- VAE (Vinyl acetate ethylene);
- ALK (Alkyds); and
- PU (Polyurethane).

The 14 participating companies were Alberdingk Boley, Arkema, BASF, Bayer MaterialScience, Celanese, Dow, DSM, EOC, Organik Kimya, Styron, Synthomer, Versalis, Vinavil and Wacker Polymers.

The aim of this LCA was to provide EPDLA with state-of-the art LCIs (Life Cycle Inventories compliant with ISO 14040 series; ILCD format) representing industry-average data for the aforementioned dispersion families produced in Western Europe. The current summary provides besides the former results an update for Vinylacetate-Ethylene and for Polyurethane based polymer dispersions, due to three additional EPDLA members having joined the original study from 2013.

LCIs help producers quantify the environmental impacts of their activities.

Precise data on the current environmental impacts of the production of polymer dispersions were collected from the participating companies across production sites in 11 countries and compiled over a wide perimeter. The evaluation covers all aspects of the production, since process data collected covers raw materials and energy inputs and outputs - including water and air emissions - and side processes such as transportation and auxiliaries.

The following indicators were calculated in the study:

- climate change (global warming potential – IPCC 100 years);
- photochemical ozone creation potential (CML version 3.9);
- depletion of abiotic resources (CML version 3.9);
- air acidification and eutrophication (CML version 3.9);
- three indicators on energy flows:
 - total primary energy (MJ);
 - primary energy from renewable resources (MJ); and
 - primary energy from non renewable resources (MJ).

The production processes of all polymer dispersions included in the study were modeled individually with the latest available data.

A 99 % cut-off rule was applied, however, dangerous or toxic compounds have systematically been included even if their relative weight was below the cut-off threshold.

All average results and models have been provided to the respective companies. These were then reviewed and finalized in iterations. No confidential or otherwise legally sensitive information was passed between participants, ensuring compliance with competition laws.

The following table gives the average value of indicators (impact & flow) for each dispersion family:

Indicator [per 1 kg of wet dispersion]	unit	Polyvinyl acetate	Vinyl- acetate Ethylene	Styrene Butadiene	Styrene Acrylate	Alkyd	Pure Acrylate	Poly urethane
Global Warming Potential (GWP) over a 100 years	kg eq CO2	1,0	1,2	1,2	1,5	1,5	1,7	3,4
Photochemical oxidation	g eq C2H4	0,3	0,3	0,3	0,4	1,1	0,5	1,0
Depletion of abiotic resources	g eq Sb	13,2	15,4	16,6	16,5	13,6	15,3	25,5
Air acidification	g eq SO2	3,3	3,1	4,1	6,2	6,3	8,0	13,1
Eutrophication	g eq PO4	0,4	0,5	0,3	0,4	2,4	0,7	1,9
Total Primary Energy	MJ	30,3	35,4	38,1	37,4	47,6	36,6	60,6
Renewable Energy	MJ	0,5	0,4	0,3	0,4	15,8	0,7	1,3
Non Renewable Energy	MJ	29,8	35,0	37,8	37,0	31,8	35,9	59,3
Solids	%	51	51	50	50	50	50	44

The functional unit of the LCA is 1 kg of wet dispersion. The uncertainties of the results are in the typical range of a Life Cycle Assessment based on industry data.

The resulting LCI represents a comprehensive and up-to-date cradle-to-gate analysis (i.e. from the raw materials to the factory gate of the polymer dispersion producer) for the production sites of the participating companies. This does thus not take into account the lifespan of the downstream product (like e.g. a paint or an adhesive).

In addition, the results of the data analysis enable producers to identify key factors of environmental impact to be able to take measures to further reduce this impact where possible.

The results can be considered as representative for Western European polymer dispersions since the 14 companies involved are the major producers of polymer dispersions within the Western European market (EU-28) and Turkey. The plants covered by the data collection are located in 11 countries (Austria, Belgium, Finland, France, Germany, Italy, Netherlands, Spain, Sweden, Turkey, United Kingdom).

Main learnings out of the LCI study:

- The main origin of impacts are the monomers and the main raw materials (in case of dispersion polymers).
- We see that at the gate of the factory several dispersion families show quite similar impacts within the margin of error typical for the methodology used.
- In order to consider the environmental impact of a polymer dispersion in across the entire life cycle, all steps (raw materials, manufacturing, application, use phase and end of life) have to be calculated.

The present industry average LCI data may thus serve as a good basis for a total life cycle (cradle to grave) calculation for any downstream product.

For further information please contact the EPDLA Secretary General

Flore Cognat
The European Chemical Industry Council - CEFIC
Avenue E. van Nieuwenhuysse 4 (box 2)
B - 1160 Brussels - Belgium
Tel: + 32.2.676.72.03
Mail: fco@cefic.be

Warnings from PwC:

The present information which is an extraction of the report supplied to some members of EPDLA (Alberdingk Boley, Arkema, BASF, Bayer MaterialScience, Celanese, Dow, DSM, EOC, Organik Kimya, Styron, Synthomer, Versalis, Vinavil and Wacker Polymers) on February 18, 2015 is not at all exhaustive. It concerns a study aiming at supplying factual data based on a methodology of life cycle assessments (LCA). This study is only based on the facts, circumstances and hypothesis that have been submitted by the EPDLA and that are described in the report. If these facts, circumstances and hypotheses differ, our conclusions are likely to change.

Should participating members of EPDLA wish to broadcast the summary to their clients, we won't accept any responsibility towards third parties. The use of the summary under the care of the participating members of EPDLA comes within their own responsibility.

One should consider the results of this study as a whole regarding the principles and methodological limits, and not analyze them separately.

In addition, it is not part of our responsibilities to update the study nor the synthesis according to a fact or event that could occur after our work.

Every communication of PricewaterhouseCoopers Advisory's synthesis to third parties must include this warning.

(c)2012 PricewaterhouseCoopers Advisory. All rights reserved

ALLEGATO 4



Dichiarazione Ambientale **Cemento**





Dichiarazione Ambientale **Cemento**

CPC CODE: 3744 – Cement
PCR: 2010:09 Version 1.0 - Cement
REGISTRATION NUMBER: S-P-00347
Rev. 03 – Giugno 2012



Stabilimenti Buzzi Unicem in Italia

1. L'azienda

Buzzi Unicem è un moderno gruppo industriale con un organico di circa 11.000 addetti, una capacità produttiva cemento pari a 38 milioni di t/anno e circa 15 milioni di metri cubi di calcestruzzo preconfezionato. Gli impianti produttivi sono dislocati in Italia, Germania, Lussemburgo, Polonia, Repubblica Ceca, Ucraina, Russia, Stati Uniti, Messico e Olanda.

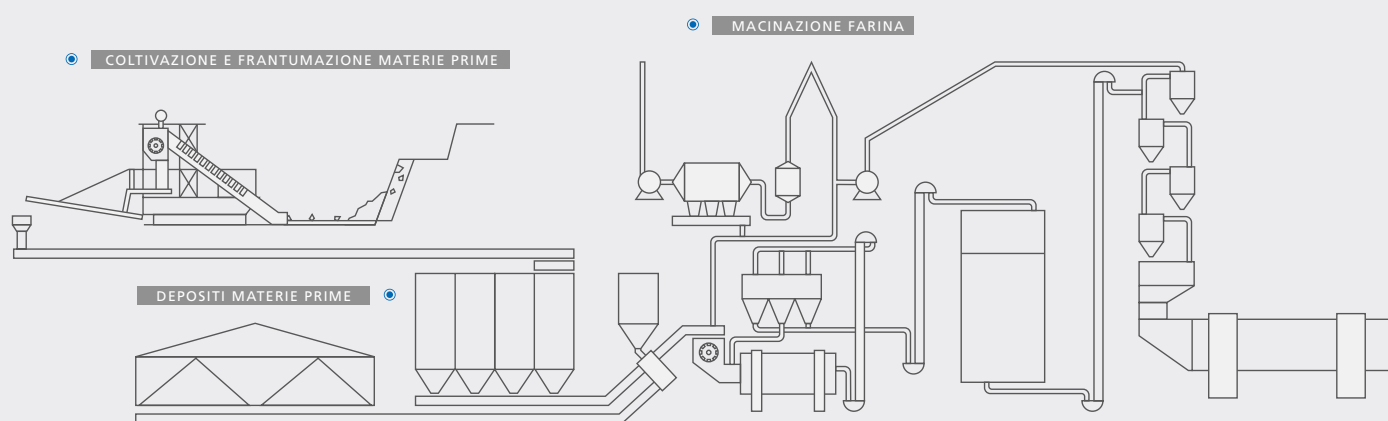
In Italia, con 13 stabilimenti, Buzzi Unicem dispone di una capacità produttiva di circa 10,4 milioni di tonnellate annue.

Buzzi Unicem, nel 2004, ha effettuato la prima registrazione di un EPD relativo al Cemento prodotto nella Cementeria di Vernasca, primo caso al mondo. Da quest'anno il gruppo ha deciso di estendere lo studio, la conseguente certificazione e registrazione a tutti i cementi prodotti nelle Unità Produttive italiane.



2. Il prodotto

Il **cemento** è un materiale inorganico finemente macinato, composto da materiali essenzialmente di origine naturale differenti tra loro, ma di composizione statisticamente omogenea. È un legante idraulico che, opportunamente dosato e miscelato con aggregato ed acqua, reagisce dando origine ad una massa progressivamente indurente, caratterizzata dalla proprietà di legare solidi inerti, come sabbie e ghiaie, per formare i conglomerati cementizi, i premiscelati e le malte, componenti base di ogni struttura edile.



ESCAVAZIONE E FRANTUMAZIONE

MACINAZIONE

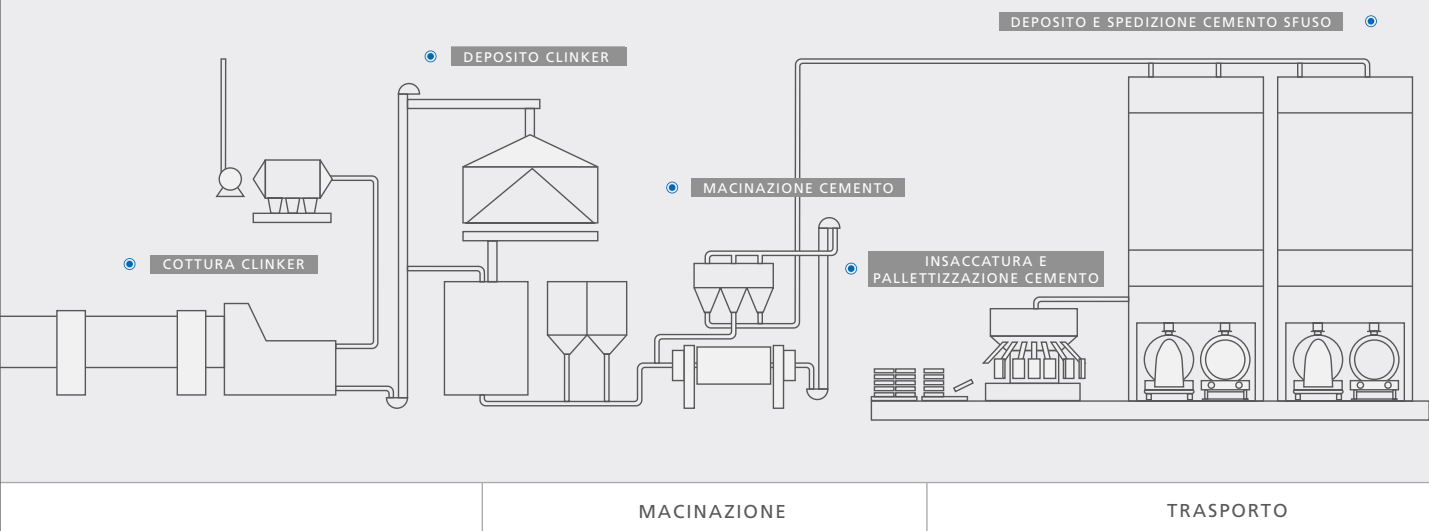
COTTURA

3. La produzione del cemento

Le fasi principali del ciclo produttivo del cemento sono le seguenti:

- Estrazione delle materie prime e produzione dei correttivi
- Estrazione – produzione dei combustibili
- Trasporto delle materie prime, dei correttivi e dei combustibili
- Preomogeneizzazione delle materie prime
- Macinazione della materie prime e produzione della “farina”
- Omogeneizzazione e stoccaggio della “farina”
- Cottura – produzione clinker
- Stoccaggio clinker
- Macinazione miscela clinker-correttivi – produzione cemento
- Stoccaggio ed insaccatura cemento
- Spedizione cemento sfuso

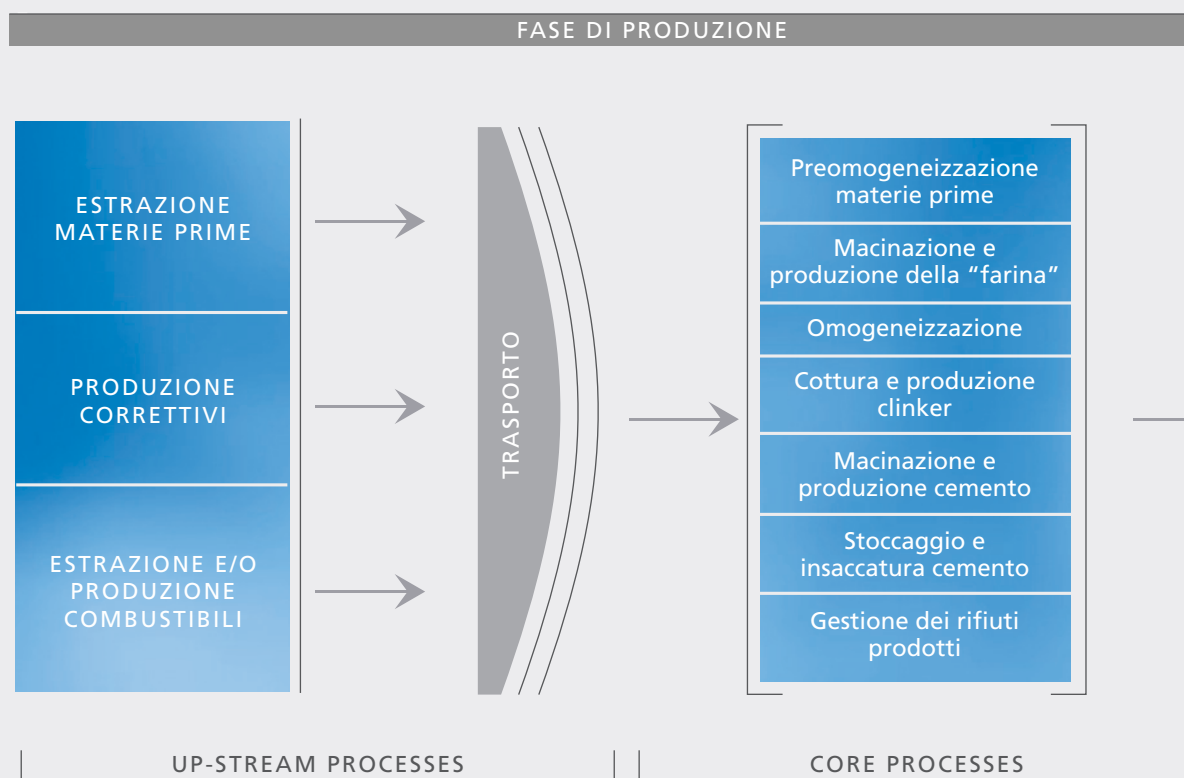
Il ciclo di produzione del cemento



4. Confini del sistema

UNITÀ FUNZIONALE	1.000 kg di cemento
ANNO DI STUDIO	2010
PARTI DEL CICLO DI VITA INCLUSE	Dall'estrazione delle materie prime alla produzione del cemento "dalla culla al cancello"

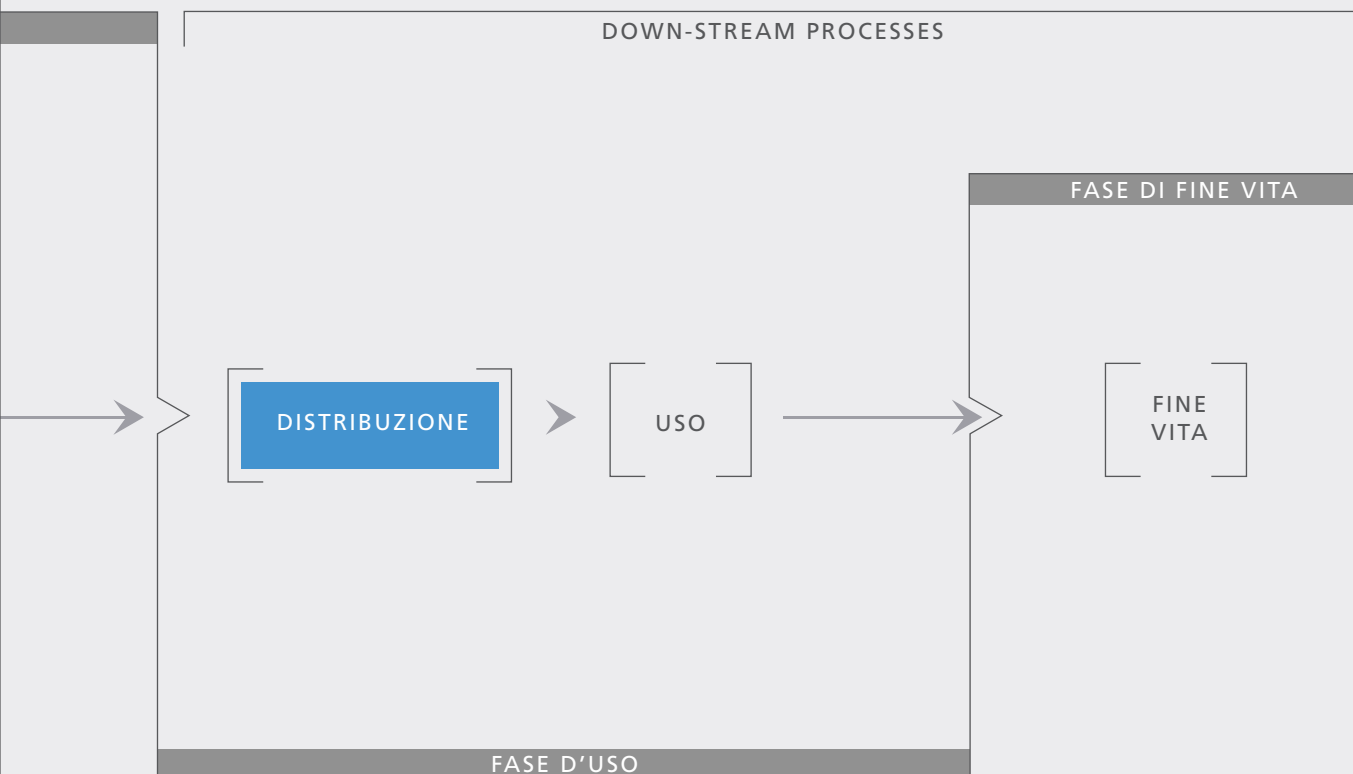
Le prestazioni ambientali riportate nei capitoli seguenti sono relative alle fasi di estrazione e/o produzione di materie prime combustibili ed alle relative operazioni di trasporto (Up-Stream Processes) oltre che alle attività svolte all'interno degli stabilimenti Buzzi Unicem (Core Processes).



Per quanto riguarda la **fase d'uso** del prodotto, si rileva che il cemento viene prevalentemente impiegato come materia prima per la produzione di conglomerati cementizi, premiscelati e malte.

Nella **"Scheda Dati di Sicurezza del Cemento"** (rif. Regolamento 453/2010/CE) sono riportate dettagliate informazioni sulle modalità d'uso e sulle misure preventive per evitare ogni potenziale rischio per la salute e sicurezza dei lavoratori ed impatti ambientali negativi.

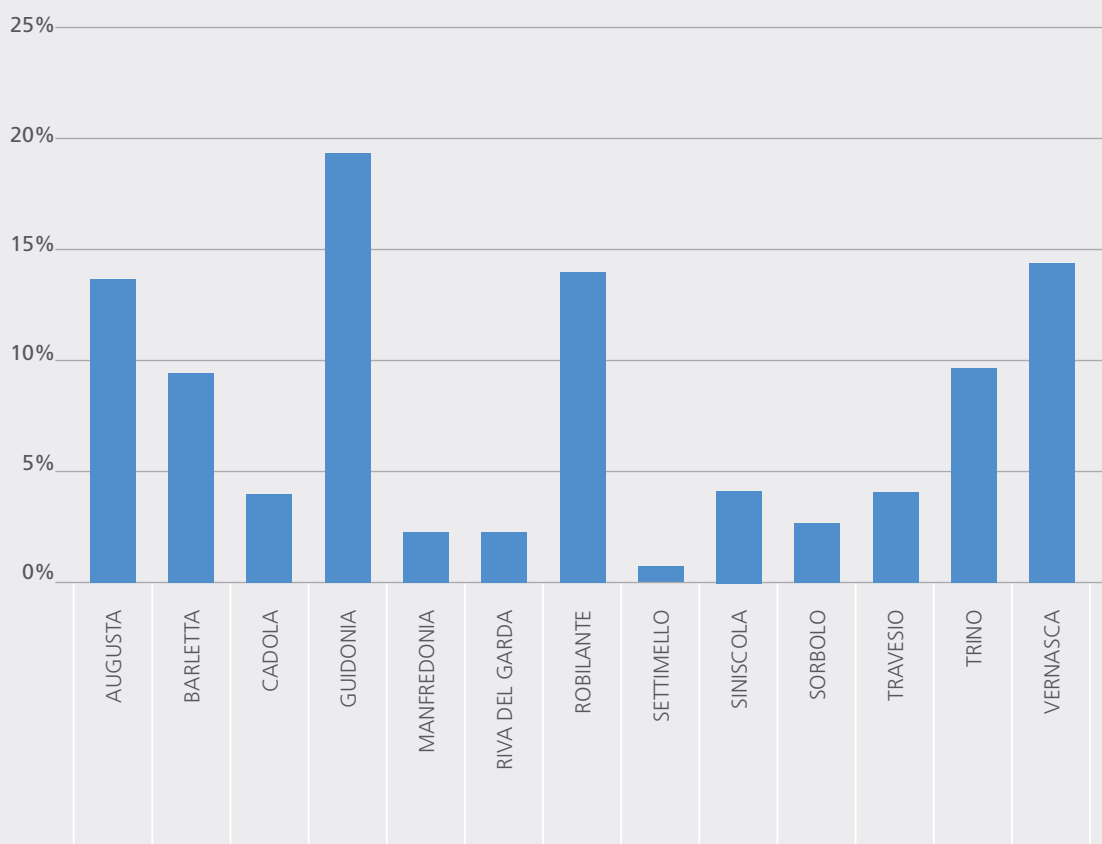
Per quanto riguarda la **fase di fine vita** dei manufatti in cemento, per edilizia residenziale ed infrastrutture, si evidenzia che la vita operativa è strettamente correlata alla tipologia del manufatto e, comunque, l'attività di demolizione è finalizzata al massimo recupero dei materiali residuali (aggregati, inerti e mattoni) nello stesso ciclo di produzione del cemento e/o del calcestruzzo.



5. Le prestazioni ambientali

Il "cemento medio", viene calcolato come la media pesata, in base alla produzione, delle singole tipologie di cemento, al netto della produzione di calce idraulica e premiscelati.

Nel 2010 la suddivisione percentuale delle produzioni è espressa nel grafico seguente:



La composizione media dei cementi prodotti nelle Unità produttive, oggetto dello studio, è rappresentata nella tabella seguente:

		CEMENTO [kg/t]	[%]
MATERIE PRIME NATURALI	CALCARE	1.113	69,0
	ARGILLA	210	13,0
	MARNA	132	8,2
	GESSO	28	1,7
	POZZOLANA	51	3,2
	SABBIA	17	1,1
	MINERALE DI FERRO	13	0,8
PRODOTTI	MATRIX, UREA, SOLFATO FERROSO, ADDITIVI , ECC...	21	1,3
RIFIUTI RECUPERATI	SCAGLIE DI LAMINAZIONE, FANGHI, GESSI DESOLFORAZIONE, CENERI VOLANTI, MATTONI REFRATTARI, POLVERI ALLUMINA	29	1,8
CEMENTO MEDIO		1.614	100

5. Le prestazioni ambientali

Nelle tabelle seguenti, si riportano gli impatti ambientali (con relative unità di misura) ascrivibili alla produzione di 1 t delle diverse tipologie di cementi nelle varie Unità Produttive italiane, nonché il valore medio.

1. Consumo di risorse non rinnovabili con contenuto energetico [MJ]
2. Consumo di risorse rinnovabili con contenuto energetico [MJ]
3. Sostituzione calorica [MJ linea di cottura da combustibili alternativi]
4. Sostituzione calorica [% linea di cottura da combustibili alternativi]
5. Consumo di energia elettrica [kWh consumati in cementeria]

STABILIMENTO	CEMENTO	1. risorse non rinnovabili [MJ]	2. risorse rinnovabili [MJ]	3. sostituzione calorica [MJ]	4. sostituzione calorica [%]	5. energia elettrica [kWh]
AUGUSTA	I 52,5	7.189	370	0	0	138
	II ALL 42,5	6.289	299	0	0	100
	II BLL 32,5	5.483	274	0	0	92
	IV AP 42,5	5.336	256	0	0	85
	I 42,5	6.935	317	0	0	112
	IV BP 32,5	5.159	241	0	0	82
	CEMENTO MEDIO	5.993	288	0	0	97
BARLETTA	I 52,5	6.380	1.516	1.068	29,5	170
	II ALL 42,5	5.280	1.242	901	29,5	121
	II BLL 32,5	4.983	1.168	822	29,5	122
	IV BP 32,5	4.210	970	667	29,5	113
	CEMENTO MEDIO	5.065	1.183	838	29,5	122
CADOLA	I 52,5	7.459	356	0	0	134
	II ALL 42,5	6.389	284	0	0	100
	II BLL 32,5	5.997	270	0	0	95
	CEMENTO MEDIO	6.369	85	0	0	101
GUIDONIA	I 52,5	7.656	417	0	0	166
	II ALL 42,5	6.549	331	0	0	130
	II BLL 32,5	5.507	290	0	0	113
	IV A 42,5	6.205	361	0	0	126
	IV BP 32,5	5.177	289	0	0	110
	CEMENTO MEDIO	5.941	311	0	0	121
MANFREDONIA	II ALL 42,5	5.480	1.289	937	29,5	125
	II BLL 32,5	4.671	1.098	768	29,5	114
	CEMENTO MEDIO	5.469	1.282	930	29,5	125

STABILIMENTO	CEMENTO	1. risorse non rinnovabili [MJ]	2. risorse rinnovabili [MJ]	3. sostituzione calorica [MJ]	4. sostituzione calorica [%]	5. energia elettrica [kWh]
RIVA DEL GARDA	II ALL 32,5	7.337	334	0	0	104
	II ALL 42,5	8.174	399	0	0	129
	II BLL 32,5	7.101	330	0	0	109
	IV A 32,5	6.579	320	0	0	104
	CEMENTO MEDIO	7.615	363	0	0	117
ROBILANTE	I 52,5	6.888	1.387	710	20,0	153
	II ALL 42,5	6.225	1.193	663	20,0	124
	II BLL 32,5	4.852	926	498	20,0	99
	I 42,5	6.539	1.253	697	20,0	131
	II ALL 32,5	5.558	1.041	591	20,0	108
	II ALL C 42,5	5.868	1.146	597	20,0	129
	CEMENTO MEDIO	6.048	1.161	621	20,0	122
SETTIMELLO	II ALL 42,5	7.279	326	0	0	127
	II BLL 32,5	6.312	291	0	0	108
	IV BP 32,5	5.778	279	0	0	107
	IV B 32,5	5.492	281	0	0	116
	III A 32,5	5.093	321	0	0	103
	CEMENTO MEDIO	5.690	295	0	0	122
SINISCOLA	I 52,5	8.246	443	0	0	167
	II ALL 42,5	7.171	345	0	0	125
	IV A 32,5	5.967	292	0	0	106
	CEMENTO MEDIO	6.520	319	0	0	116
SORBOLO	II ALL 42,5	6.176	336	0	0	110
	II BLL 32,5	5.048	295	0	0	92
	II BP 32,5	4.918	298	0	0	97
	CEMENTO MEDIO	5.521	312	0	0	99
TRAVESIO	I 42,5	6.111	1.592	795	23,8	136
	II ALL 42,5	5.593	1.524	729	23,8	119
	II BLL 32,5	4.696	1.210	606	23,8	95
	CEMENTO MEDIO	5.360	1.385	693	23,8	113
TRINO	II BP 32,5	5.099	956	482	20,0	111
	II ALL 42,5	6.542	1.218	647	20,0	122
	II BLL 32,5	5.228	980	505	20,0	98
	IV A 32,5	5.090	951	494	20,0	99
	IV AP 42,5	5.974	1.112	585	20,0	117
	CEMENTO MEDIO	5.856	1.090	560	20,0	113
VERNASCA	I 52,5	6.934	422	0	0	132
	II ALL 42,5	5.970	314	0	0	99
	II BLL 32,5	4.951	282	0	0	84
	II BP 32,5	4.697	236	0	0	82
	IV AP 32,5	5.208	253	0	0	88
	CEMENTO MEDIO	5.312	288	0	0	90
BUZZI UNICEM	CEMENTO MEDIO	5.827	650	280	10,4	111

Risultati dello studio LCA - I

NB: per i centri di macinazione, la sostituzione calorica è quella dei forni degli stabilimenti in cui viene prodotto il clinker.

5. Le prestazioni ambientali

- 6. Consumo di risorse non rinnovabili senza contenuto energetico [kg]
- 7. Utilizzo di materie prime recuperate [kg]
- 8. Consumo di risorse idriche [l]
- 9. Produzione di rifiuti non pericolosi [kg]
- 10. Produzione di rifiuti pericolosi [kg]
- 11. Emissioni di gas ad effetto serra [kg CO₂ eq al netto del contributo da biomassa]

STABILIMENTO	CEMENTO	6. risorse non rinnovabili [kg]	7. materie prime recuperate [kg]	8. risorse idriche [l]	9. rifiuti non pericolosi [kg]	10. rifiuti pericolosi [kg]	11. gas serra [kg CO ₂ eq]
AUGUSTA	I 52,5	1.741	0	1.566	464,0	1,9	966
	II ALL 42,5	1.669	0	1.527	423,0	1,7	848
	II BLL 32,5	1.573	0,6	1.455	370,0	1,5	723
	IV AP 42,5	1.559	0	1.124	586,8	1,5	706
	I 42,5	1.737	0	1.565	461,6	1,9	943
	IV BP 32,5	1.553	0	1.113	584,0	1,4	680
	CEMENTO MEDIO	1.631	0,2	1.454	432,6	1,7	800
BARLETTA	I 52,5	1.577	4,2	1.612	225,1	1,7	1.019
	II ALL 42,5	1.495	3,5	1.523	205,7	1,4	852
	II BLL 32,5	1.459	3,2	1.488	196,0	1,3	790
	IV BP 32,5	1.398	2,6	1.054	437,2	1,1	654
	CEMENTO MEDIO	1.471	3,3	1.423	253,1	1,3	807
CADOLA	I 52,5	1.564	27,8	1.661	139,6	2,1	990
	II ALL 42,5	1.497	24,1	1.566	132,0	1,8	853
	II BLL 32,5	1.468	22,5	1.533	130,0	1,7	799
	CEMENTO MEDIO	1.493	23,9	1.564	132,0	1,8	848
GUIDONIA	I 52,5	1.640	20,4	1.596	375,0	2,1	981
	II ALL 42,5	1.562	18,3	1.489	354,1	1,8	844
	II BLL 32,5	1.473	14,6	1.380	325,7	1,5	705
	IV A 42,5	1.548	16,6	1.314	393,5	1,7	796
	IV BP 32,5	1.465	13,6	1.054	554,8	1,4	660
	CEMENTO MEDIO	1.512	16,1	1.360	388,8	1,6	761
MANFREDONIA	II ALL 42,5	1.508	3,7	1.526	208,8	1,5	885
	II BLL 32,5	1.421	3,0	1.466	187,5	1,2	740
	CEMENTO MEDIO	1.504	3,6	1.560	208,0	1,5	881

STABILIMENTO	CEMENTO	6. risorse non rinnovabili [kg]	7. materie prime recuperate [kg]	8. risorse idriche [l]	9. rifiuti non pericolosi [kg]	10. rifiuti pericolosi [kg]	11. gas serra [kg CO ₂ eq]
RIVA DEL GARDA	II ALL 32,5	1.544	10,0	1.495	329,1	2,1	942
	II ALL 42,5	1.604	11,5	1.559	358,4	2,3	1.049
	II BLL 32,5	1.521	12,4	1.460	323,7	2,0	906
	IV A 32,5	1.498	44,4	1.209	450,3	1,8	835
	CEMENTO MEDIO	1.562	14,4	1.491	352,0	2,1	973
ROBILANTE	I 52,5	1.654	0,2	1.978	388,6	1,8	901
	II ALL 42,5	1.599	15,2	1.835	380,5	1,6	825
	II BLL 32,5	1.462	6,2	1.632	321,4	1,3	633
	I 42,5	1.635	19,6	1.877	386,2	1,7	867
	II ALL 32,5	1.541	21,6	1.718	354,4	1,5	736
	II ALL C 42,5	1.551	0,2	1.780	339,2	1,5	763
	CEMENTO MEDIO	1.582	15,5	1.810	368,5	1,6	797
SETTIMELLO	II ALL 42,5	1.601	23,9	2.798	209,5	2,0	955
	II BLL 32,5	1.509	20,1	2.518	191,3	1,7	818
	IV BP 32,5	1.467	18,1	2.072	397,8	1,6	744
	IV B 32,5	1.424	288,7	1.968	154,6	1,5	698
	III A 32,5	1.275	9,8	2.176	159,9	1,1	531
	CEMENTO MEDIO	1.452	36,8	2.066	197,8	1,5	785
SINISCOLA	I 52,5	1.567	43,1	1.490	413,4	2,2	1.050
	II ALL 42,5	1.505	49,5	1.432	376,3	2,0	919
	IV A 32,5	1.407	298	1.228	300,3	1,6	745
	CEMENTO MEDIO	1.448	201,5	1.311	332,3	1,8	822
SORBOLO	II ALL 42,5	1.466	120	1.512	122,8	1,7	858
	II BLL 32,5	1.371	95	1.401	115,4	1,4	689
	II BP 32,5	1.377	92	1.090	344,5	1,3	671
	CEMENTO MEDIO	1.409	105	1.446	118,6	1,5	759
TRAVESIO	I 42,5	1.548	6,6	1.580	90,9	1,6	887
	II ALL 42,5	1.506	6,3	1.541	91,5	1,5	813
	II BLL 32,5	1.425	5,5	1.441	91,1	1,3	679
	CEMENTO MEDIO	1.481	6,0	1.508	91,2	1,4	776
TRINO	II BP 32,5	1.444	0,9	1.768	507,6	1,3	643
	II ALL 42,5	1.596	1,0	2.252	367,6	1,7	841
	II BLL 32,5	1.469	1,0	2.063	320,0	1,4	665
	IV A 32,5	1.455	23,1	1.786	480,5	1,3	649
	IV AP 42,5	1.540	33,5	1.992	437,5	1,6	765
	CEMENTO MEDIO	1.525	6,8	2.061	399,3	1,5	747
VERNASCA	I 52,5	1.534	136,6	1.609	128,4	1,9	968
	II ALL 42,5	1.466	133,0	1.494	122,9	1,6	839
	II BLL 32,5	1.378	107,3	1.399	116,3	1,4	685
	II BP 32,5	1.385	96,2	1.023	378,5	1,3	652
	IV AP 32,5	1.429	109,1	1.152	318,2	1,4	730
	CEMENTO MEDIO	1.412	114,5	1.381	156,9	1,4	738
BUZZI UNICEM	CEMENTO MEDIO	1.594	34,5	1.584	312,7	1,6	786

Risultati dello studio LCA - II

5. Le prestazioni ambientali

- 12.** Emissioni di gas responsabili della distruzione della fascia d'ozono [kg CFC 11-eq E-08]
- 13.** Emissioni di gas responsabili dell'acidificazione [kg SO₂ eq]
- 14.** Emissioni di gas responsabili della Formazione di Ossidanti Fotochimici [kg C₂ H₄ eq]
- 15.** Emissioni di sostanze causa di Eutrofizzazione [kg PO₄³⁻ eq]
- 16.** Emissioni di polveri [kg]

STABILIMENTO	CEMENTO	12. distruzione fascia d'ozono [kg CFC 11-eq E-08]	13. acidificazione [kg SO ₂ eq]	14. formazione di ossidanti fotochimici [kg C ₂ H ₄ eq]	15. eutrofizzazione [kg PO ₄ ³⁻ eq]	16. emissione di polveri [kg]
AUGUSTA	I 52,5	1,89	3,10	0,20	0,33	11,3
	II ALL 42,5	2,32	2,65	0,17	0,29	11,0
	II BLL 32,5	2,95	2,41	0,16	0,27	10,8
	IV AP 42,5	2,71	2,32	0,15	0,26	7,8
	I 42,5	1,91	2,89	0,19	0,32	11,3
	IV BP 32,5	2,89	2,26	0,15	0,25	7,8
	CEMENTO MEDIO	2,65	2,58	0,17	0,29	10,6
BARLETTA	I 52,5	1,56	3,10	0,21	0,28	10,8
	II ALL 42,5	1,80	2,50	0,18	0,24	10,7
	II BLL 32,5	1,95	2,41	0,17	0,22	10,7
	IV BP 32,5	1,63	2,10	0,15	0,19	7,14
	CEMENTO MEDIO	1,90	2,43	0,17	0,23	10,0
CADOLA	I 52,5	1,62	3,39	0,24	0,42	13,6
	II ALL 42,5	1,62	2,85	0,21	0,37	12,9
	II BLL 32,5	1,64	2,69	0,20	0,34	12,7
	CEMENTO MEDIO	1,74	2,85	0,21	0,37	12,9
GUIDONIA	I 52,5	1,38	3,11	0,18	0,29	11,2
	II ALL 42,5	1,36	2,60	0,15	0,26	10,7
	II BLL 32,5	1,35	2,23	0,13	0,22	10,2
	IV A 42,5	1,18	2,50	0,15	0,25	8,8
	IV BP 32,5	1,06	2,12	0,12	0,21	7,3
	CEMENTO MEDIO	1,41	2,40	0,14	0,24	9,8
MANFREDONIA	II ALL 42,5	1,87	2,59	0,19	0,24	10,8
	II BLL 32,5	1,85	2,26	0,16	0,21	10,5
	CEMENTO MEDIO	1,98	2,58	0,18	0,25	10,8

STABILIMENTO	CEMENTO	12. distruzione fascia d'ozono [kg CFC 11-eq E-08]	13. acidificazione [kg SO ₂ eq]	14. formazione di ossidanti fotochimici [kg C ₂ H ₄ eq]	15. eutrofizzazione [kg PO ₄ ³⁻ eq]	16. emissione di polveri [kg]
RIVA DEL GARDA	II ALL 32,5	2,40	5,68	0,30	0,59	11,3
	II ALL 42,5	2,09	6,36	0,34	0,64	11,4
	II BLL 32,5	2,52	5,51	0,29	0,56	11,3
	IV A 32,5	2,38	5,10	0,27	0,52	8,8
	CEMENTO MEDIO	2,40	5,91	0,31	0,60	11,1
ROBILANTE	I 52,5	1,37	3,19	0,19	0,33	10,5
	II ALL 42,5	1,27	2,81	0,17	0,30	10,2
	II BLL 32,5	1,53	2,24	0,13	0,24	10,0
	I 42,5	1,31	2,95	0,17	0,32	10,4
	II ALL 32,5	1,37	2,50	0,15	0,27	10,2
	II ALL C 42,5	1,61	2,74	0,16	0,28	10,4
	CEMENTO MEDIO	1,46	2,75	0,16	0,29	10,2
SETTIMELLO	II ALL 42,5	2,76	3,25	0,21	0,41	13,4
	II BLL 32,5	3,17	2,86	0,19	0,36	12,9
	IV BP 32,5	2,97	2,65	0,17	0,33	9,6
	IV B 32,5	2,99	2,59	0,17	0,31	9,5
	III A 32,5	3,26	2,40	0,19	0,23	5,1
	CEMENTO MEDIO	3,00	2,65	0,17	0,33	9,9
SINISCOLA	I 52,5	1,87	3,49	0,19	0,35	10,6
	II ALL 42,5	2,06	2,95	0,17	0,31	10,4
	IV A 32,5	2,01	2,49	0,14	0,26	7,8
	CEMENTO MEDIO	2,13	2,72	0,15	0,29	8,8
SORBOLO	II ALL 42,5	3,26	2,51	0,18	0,27	12,3
	II BLL 32,5	3,26	2,11	0,15	0,23	11,7
	II BP 32,5	2,75	2,08	0,15	0,22	8,5
	CEMENTO MEDIO	3,37	2,28	0,16	0,25	12,0
TRAVESIO	I 42,5	1,78	3,55	0,21	0,36	13,3
	II ALL 42,5	1,81	3,23	0,20	0,34	13,0
	II BLL 32,5	1,90	2,71	0,17	0,29	12,5
	CEMENTO MEDIO	1,95	3,10	0,19	0,32	12,8
TRINO	II BP 32,5	2,14	2,46	0,15	0,26	7,3
	II ALL 42,5	2,96	3,03	0,18	0,33	10,3
	II BLL 32,5	2,66	2,46	0,15	0,27	10,0
	IV A 32,5	2,22	2,40	0,14	0,26	7,5
	IV AP 42,5	2,57	2,80	0,17	0,30	8,6
	CEMENTO MEDIO	2,76	2,74	0,16	0,30	9,3
VERNASCA	I 52,5	2,86	2,80	0,20	0,30	12,8
	II ALL 42,5	2,86	2,35	0,17	0,26	12,4
	II BLL 32,5	2,93	2,00	0,15	0,22	11,9
	II BP 32,5	2,42	1,90	0,14	0,21	8,4
	IV AP 32,5	2,52	2,07	0,15	0,23	9,5
	CEMENTO MEDIO	2,94	2,13	0,16	0,23	11,6
BUZZI UNICEM	CEMENTO MEDIO	2,21	2,63	0,17	0,28	10,94

Risultati dello studio LCA - III

5. Le prestazioni ambientali

Altri risultati

- Per quanto riguarda l'indicatore "Consumo di risorse rinnovabili senza contenuto energetico" previsto dalla PCR, si evidenzia che tale indicatore è pari a 0 t, per ognuno dei cementi prodotti.
- Le emissioni di diossine, monitorate con cadenza annuale o quadrimestrale in caso di coincenerimento rifiuti, evidenziano valori pari a circa il 3% del limite legislativo.

La ripartizione degli impatti ambientali del cemento medio

Gli impatti ambientali relativi alla produzione di 1 tonnellata di "cemento medio", sono stati suddivisi tra le seguenti fasi:

- **Up-stream processes** (comprendente l'estrazione, la produzione ed il trasporto di materie prime e combustibili)
- **Core processes** (comprendente le fasi di processo della Cementeria e la gestione dei rifiuti)

RIPARTIZIONE DEGLI IMPATTI AMBIENTALI TRA LE FASI DI PROCESSO

	UdM	up-stream	core	core [%]
Consumo di risorse non rinnovabili con contenuto energetico	MJ	5.523	304	5,2%
Consumo di risorse rinnovabili con contenuto energetico	MJ	597	53	8,1%
Consumo di energia elettrica	kWh	0	111	100%
Consumo di risorse non rinnovabili senza contenuto energetico	kg	1.514	80	5,0%
Utilizzo di materie prime recuperate	kg	0	34,5	100%
Consumo di risorse idriche	l	1.308	276	18,3%
Produzione di rifiuti non pericolosi	kg	305,0	7,7	2,4%
Produzione di rifiuti pericolosi	kg	1,5	0,1	6,2%
Emissioni di gas ad effetto serra	kg CO ₂ eq	146	640	81,4%
Emissioni di gas responsabili della distruzione della fascia d'ozono	kg CFC 11-eq E-08	2,05	0,16	7,2%
Emissioni di gas responsabili dell'acidificazione	kg SO ₂ eq	1,68	0,95	36,1%
Emissioni di gas responsabili della formazione di ossidanti fotochimici	kg C ₂ H ₄ eq	0,10	0,07	41,2%
Emissioni di sostanze causa di eutrofizzazione	kg PO ₄ ³⁻ eq	0,10	0,18	64,2%
Emissioni di polveri	kg	10,52	0,42	3,8%

Il contributo derivanti degli "altri generici", risulta inferiore all'1 %, e pertanto soddisfa i requisiti del GPI.

INFORMAZIONI AGGIUNTIVE

Informazioni dall'Ente di certificazione:

PCR review, condotta da	Technical Committee of International EPD® Consortium
Verifica indipendente, (cfr ISO 14025)	Esterna
Ente di certificazione	ICMQ S.p.A.
Numero di accreditamento	002H
Numero di certificazione	12009EPD
Emissione corrente	14/06/2012
Scadenza	31/05/2015
Numero di registrazione	S-P-00347

EPD, prodotti all'interno di programmi differenti, possono non essere comparabili

Contatti:

Roberto Bogliolo
BUZZI UNICEM S.p.A.
Via L.Buzzi, 6
15033 Casale Monferrato (AL)
Tel: +39-0142-416497
e-mail: rbogliolo@buzziunicem.it

Link e riferimenti:

www.environdec.com
www.buzziunicem.it/online/BuzziUnicem/Home/Sostenibilita.html
www.icmq.org

European Reference Life Cycle Data System" (ELCD)
Boustead Model 5.0
Studio LCA - Rev. 03 - Giugno 2012

Buzzi Unicem S.p.A

via Luigi Buzzi, 6
15033 Casale Monferrato [AL]
Italia

tel +39 0142 416219

fax +39 0142 416320

direzionecommerciale@buzziunicem.it

www.buzziunicem.it



