

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

DOTTORATO DI RICERCA IN

Geingegneria, georisorse e ingegneria geotecnica

Ciclo XXIV

Settore Concorsuale di afferenza: 08/A2
Settore Scientifico disciplinare: ING-IND/29

**IL RISPARMIO DELLE RISORSE ALLA SCALA ABITATIVA E DI INSEDIAMENTO.
TECNOLOGIE NON CONVENZIONALI E VALUTAZIONE AMBIENTALE
ATTRAVERSO METODOLOGIA LCA.**

Presentata da: Ing. Sara Rizzo

Coordinatore Dottorato

Prof. Ing. Paolo Berry

Tutor

Prof.ssa Ing. Alessandra Bonoli

Esame finale anno 2013

Ringraziamenti

Trovo che non sia semplice comporre questi ringraziamenti: concentrare 4 anni di lavoro, contatti, esperienze, emozioni, in poche righe. Dovrei prendermi il tempo per scrivere un'altra tesi sul "grazie"! Sento la necessità di farlo per lasciare traccia della gratitudine che provo nei confronti di chi mi ha supportata, aiutata, consigliata, criticata, ascoltata, guardata da lontano, interrogata, interpretata, accompagnata, accettata, mentre cercavo una mia risposta, sia dentro che fuori, sia nella tecnica che nell'amore, ad una vita nel rispetto della Terra.

Grazie ad Alessandra Bonoli, Paolo Neri, tutti i colleghi di dottorato, i professori e i laureandi del dipartimento DICAM. Grazie a Mamma, Papà, Andrea, Curry, che mi ha accompagnata anche in cantiere. Grazie a Laura Demerciari, Sanni Mezzasoma, Eliana Baglioni, Sara Lucietto, Andrea Zanchetta, Vanessa Tosatti, Davide Peroni. Grazie a Stefano, Morris, Miki, Stefania, Simone, Osvo, Maccs, Kikka, Bubu, Marta, Fra, amici e soci di Ingegneria Senza Frontiere, Alessandra, Filippo. Grazie a tutti gli incontri fortuiti ed organizzati. Grazie alla Natura che mi accoglie e mi sostiene, e che da meno di un anno mi ha regalato un adorabile compagno di avventure.

Indice

PAROLE CHIAVE: valutazione ambientale, LCA, gestione e risparmio delle risorse, tecnologie non convenzionali per l'edilizia, terra e paglia.

Abstract	8
1 IL RISPARMIO ENERGETICO IN EDILIZIA SECONDO LA VIGENTE NORMATIVA EUROPEA E ITALIANA	9
1.1 La Direttiva 2002/91/CE	9
1.2 La normativa italiana	10
1.3 Considerazioni conclusive	13
1.4 Attestato di Certificazione Energetica	13
1.5 L'Agenzia CasaClima	15
1.6 La certificazione "prestazionale" LEED	16
1.7 Regolamento edilizio	20
1.8 I prodotti da costruzione	22
1.9 Norme tecniche	24
1.10 Conclusioni: la necessità di una certificazione ambientale	25
2 LA PAGLIA COME TECNOLOGIA NON CONVENZIONALE PER L'EDILIZIA	26
2.1 Storia delle case di paglia	26
2.2 La paglia come materiale per le costruzioni: caratteristiche tecniche.	29
2.2.1 Metodologie per la misura di umidità	31
2.2.1.1 Conclusioni sulla strumentazione	33
2.2.2 Risultati dei test	33
2.2.3 Accoppiamento di paglia e intonaci. Comportamento in presenza di umidità.	35
2.2.3.1 L'intonaco in calce e canapa	37
2.2.4 Resistenza al fuoco	40
2.2.5 Isolamento termico	42
2.2.5.1 La prova tedesca	44
2.2.5.2 La prova austriaca	46
2.2.5.3 Le prove danesi	48
2.2.6 Conclusioni	53
2.2.7 Isolamento acustico	54
2.2.7.1 Esempio di valutazione di R'_w per una casa di paglia	56
2.3 Paglia per le coperture: il villaggio di Santana a Madeira (Portogallo)	58
2.4 Terra-paglia	63
2.5 Esperienze contemporanee e tecniche moderne	66
2.5.1 Tecnica GREB	75
2.6 Conclusioni	77

3	MONITORAGGIO CANTIERI	79
3.1	Il laboratorio oleario dell’Istituto Agrario “Ciuffelli” di Todi (Pg): paglia e terra in cantiere	80
3.1.1	Le tecniche utilizzate	80
3.1.2	Dati di cantiere	85
3.1.3	Materiali	86
3.1.3.1	Le prove sui materiali	87
3.1.3.2	Reperimento dei materiali	89
3.1.4	Conclusioni	90
3.2	Conselice (Ravenna): tecnica greb	91
3.3	Conclusioni	95
4	IL METODO LCA	96
4.1	L’Analisi del Ciclo di Vita	96
4.1.1	Cenni storici	98
4.1.1	Livelli di sofisticazione dell’LCA	99
4.2	La metodologia	100
4.2.1	Definizione obiettivo e campo di applicazione (UNI EN ISO 14041, 1998)	100
4.2.2	Analisi d’inventario del ciclo di vita (UNI EN ISO 14041, 1998)	102
4.2.3	La Valutazione di Impatto (UNI EN ISO 14042, 2000)	104
4.2.3.1	Scelta e definizione delle categorie d’impatto	104
4.2.3.2	Classificazione	105
4.2.3.3	Caratterizzazione	106
4.2.3.4	Normalizzazione	107
4.2.3.5	Valutazione	108
4.2.4	Analisi dei risultati (UNI EN ISO 14043, 2000)	109
4.2.5	Analisi critica del metodo LCA	109
4.2.6	Conclusione	111
4.3	Metodi di calcolo del danno	112
4.3.1	Le caratteristiche principali dei metodi	112
4.3.2	Eco-indicator 99	112
4.3.3	IMPACT 2002	113
4.3.3.1	Le categorie di impatto in Impact 2002+	116
4.3.3.2	Le categorie di impatto Aquatic and terrestrial ecotoxicity	117
4.3.3.3	Le altre categorie di impatto in Impact 2002+	119
4.3.3.4	Categorie di danno	119
4.3.3.5	La normalizzazione e la valutazione del danno	121
4.3.3.6	Modifiche al metodo Impact 2002+	122
4.3.3.6.1	Indicatori per valutare i danni ambientali subiti dal suolo	122
4.3.3.6.1.1	Indicatore della produttività o fertilità	122
4.3.3.6.1.2	Indicatore della permeabilità	122
4.3.3.6.1.3	Indicatore del dissesto idrogeologico	123
4.3.4	EPS 2000	124
4.3.5	EDIP 2003	125
4.3.6	IPCC 100a 2007	127
4.3.7	ReCiPe	127
4.3.7.1	Midpoint E	127
4.3.7.2	Endpoint E	128
4.3.8	La scelta di un metodo	129
4.4	Il calcolo dei costi esterni	130

5	IL CASO STUDIO: LCA DI UNA CASA IN BALLE DI PAGLIA REALIZZATA A PESCOMAGGIORE (AQ)	134
5.1	Pescomaggiore	134
5.2	Il progetto di Ecovillaggio Autocostruito (EVA)	136
5.2.1	Descrizione della casa di paglia	137
5.3	Obiettivo dello studio e Campo di applicazione	138
5.3.1	Obiettivo	138
5.3.2	Campo di applicazione	139
5.3.2.1	La funzione del sistema	139
5.3.2.2	Il sistema che deve essere studiato	139
5.3.2.3	Unità funzionale	140
5.3.2.4	Confini del sistema	140
5.3.2.5	Qualità dei dati	140
5.4	Inventario	140
5.4.1	Diagramma a blocchi del processo studiato	140
5.4.2	Fase di produzione	141
5.4.2.1	Trasporti	141
5.4.2.2	Energie impiegate in cantiere	141
5.4.2.3	Materiali	141
5.4.3	Fase d'uso	142
5.4.4	Fine vita	142
5.5	Analisi dei risultati con Eco-indicator	143
5.5.1	Analisi del processo del processo <u>Ciclo di vita edificio</u>	143
5.6	Conclusioni	146
6	IL CASO STUDIO: LCA DI UN INTONACO DI TERRA CRUDA E PAGLIA	147
6.1	Obiettivo dello studio e Campo di applicazione	147
6.1.1	Obiettivo	147
6.1.2	Campo di applicazione	148
6.1.2.1	La funzione del sistema	148
6.1.2.2	Il sistema che deve essere studiato	148
6.1.2.3	Unità funzionale	149
6.1.2.4	Confini del sistema	149
6.1.2.5	Qualità dei dati	149
6.2	Inventario	150
6.2.1	Diagramma a blocchi del processo studiato	150
6.2.2	Parametri introdotti	150
6.2.3	Produzione di 1 m ² di intonaco di terra e paglia	151
6.2.3.1	1° strato	152
6.2.3.1.1	Limo	155
6.2.3.2	2° strato	155
6.2.3.3	3° strato	158
6.2.3.4	Barbottina	160
6.2.3.5	Produzione	161
6.2.3.6	Impianti	162
6.2.3.6.1	Betoniera	162
6.2.3.6.2	Trabattello	164
6.2.3.6.3	Elevatore	166
6.2.4	Messa in opera di 1 m ² di intonaco	169
6.2.5	Uso dell'intonaco	172
6.2.6	Fine vita	175

6.2.6.1 Il fine vita di un intonaco di terra cruda e paglia con recupero di una cava di argilla	176
6.2.7 Il ciclo di vita dell'intonaco in terra cruda	178
6.3 Analisi dei risultati	178
6.3.1 Analisi della produzione	178
6.3.2 I danni dovuti ai singoli strati	192
6.3.2.1.1 Barbottina	192
6.3.2.1.2 1° strato	194
6.3.2.1.3 2° strato	196
6.3.2.1.4 3° strato	199
6.3.2.2 Conclusioni	201
6.3.3 Analisi della messa in opera	201
6.3.3.1 Conclusioni	211
6.3.4 Analisi dell'uso	212
6.3.4.1 Conclusioni	223
6.3.5 Analisi del fine vita	223
6.3.5.1 Conclusioni	229
6.3.6 Analisi del ciclo di vita dell'intonaco	229
6.3.6.1 Conclusioni	235
7 ANALISI DI SENSIBILITÀ	236
7.1 Confronto tra intonaco con terra cruda e intonaco con calce e cemento	236
7.1.1 LCA intonaco con calce e cemento	236
7.1.1.1 Obiettivo e campo di applicazione	236
7.1.2 Obiettivo dello studio	236
7.1.3 Campo di applicazione	236
7.1.3.1 La funzione del sistema	236
7.1.3.2 Il sistema che deve essere studiato	236
7.1.3.3 Unità funzionale	237
7.1.3.4 Confini del sistema	237
7.1.3.5 Qualità dei dati	237
7.1.3.6 Inventario	237
7.1.3.6.1 Diagramma a blocchi del processo Intonaco con calce e cemento	237
7.1.3.6.2 Parametri introdotti	238
7.1.4 Produzione di 1 m ² di intonaco di calce e cemento	239
7.1.4.1 1° strato	240
7.1.4.2 2° strato	242
7.1.4.3 rete zincata	244
7.1.4.4 Produzione	244
7.1.4.5 Impianti	245
7.1.4.5.1 Betoniera	245
7.1.4.5.2 Trabattello	247
7.1.4.5.3 Elevatore	249
7.1.5 Messa in opera di 1 m ² di intonaco di calce e cemento	252
7.1.6 Uso dell'intonaco	255
7.1.7 Fine vita	258
7.1.8 Il ciclo di vita dell'intonaco di calce e cemento	260
7.2 Analisi dei risultati	261
7.2.1.1.1 Il processo Intonaco in calce e cemento	261
7.2.2 Calcolo LCA del processo Intonaco in calce e cemento	263
7.2.3 Confronto	264
7.2.4 Conclusioni	266
7.3 Confronto tra l'intonaco in terra, l'intonaco in terra a km zero e l'intonaco in calce e cemento	266
7.3.1 Conclusioni	268
7.4 Confronto tra diversi fine vita dell'intonaco in terra cruda	268

7.4.1	Calcolo LCA del processo Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U)	272
7.4.2	Confronto tra i processi per la produzione della barbottina con o senza polvere	275
7.4.3	Confronto tra il processo di fine vita per compostaggio e il processo di recupero di una cava	277
7.4.4	Conclusioni generali	278
7.5	Il calcolo con ReCiPe dell’LCA del processo Intonaco di terra cruda	278
7.5.1	Il calcolo con ReCiPe Midpoint dell’LCA del processo Intonaco di terra cruda	278
7.5.2	Il calcolo con ReCiPe Endpoint dell’LCA del processo Intonaco di terra cruda	280
7.6	Costi esterni	285
7.6.1	Il calcolo dei costi esterni	285
7.6.1.1	Calcolo con IMPACT	285
7.6.1.2	Calcolo con EPS 2000	287
7.6.2	I costi esterni secondo i due metodi	288
7.7	Conclusioni generali sull’analisi	289
8	CONCLUSIONI	290
	BIBLIOGRAFIA	292

In sintesi

Nel corso del mio lavoro di ricerca mi sono occupata di identificare strategie che permettano il risparmio delle risorse a livello edilizio e di approfondire un metodo per la valutazione ambientale di tali strategie. La convinzione di fondo è che bisogna uscire da una visione antropocentrica in cui tutto ciò che ci circonda è merce e materiale a disposizione dell'uomo, per entrare in una nuova era di equilibrio tra le risorse della terra e le attività che l'uomo esercita sul pianeta.

Ho quindi affrontato il tema dell'edilizia responsabile approfondendo l'ambito delle costruzioni in balle di paglia e terra. Sono convinta che l'edilizia industriale abbia un futuro molto breve davanti a sé e lascerà inevitabilmente spazio a tecniche non convenzionali che coinvolgono materiali di semplice reperimento e posa in opera.

Sono altresì convinta che il solo utilizzo di materiali naturali non sia garanzia di danni ridotti sull'ecosistema. Allo stesso tempo ritengo che una mera certificazione energetica non sia sinonimo di sostenibilità. Per questo motivo ho valutato le tecnologie non convenzionali con approccio LCA (Life Cycle Assessment), approfondendo gli impatti legati alla produzione, ai trasporti degli stessi, alla tipologia di messa in opera, e ai loro possibili scenari di fine vita.

Inoltre ho approfondito il metodo di calcolo dei danni IMPACT, identificando una carenza nel sistema, che non prevede una categoria di danno legata alle modifiche delle condizioni idrogeologiche del terreno.

La ricerca si è svolta attraverso attività pratiche e sperimentali in cantieri di edilizia non convenzionale e attività di ricerca e studio sull'LCA presso l'Enea di Bologna (Ing. Paolo Neri).

Abstract

During my research period I worked to find strategies that assure saving resources in building field. I also worked to examine in depth a method for environmental evaluation of those strategies. I believe that human being has to leave the actual anthropocentric vision, in which all around us there is merchandise at our disposal. We have to entry into a new age of equilibrium between natural resources and human activities.

I analyzed straw and clay as raw materials for sustainable buildings. In my opinion, industrialized construction building has to go flat and leave enough space for non conventional techniques and materials.

I believe that we have to do more than only use natural materials in buildings. I believe also that energetic certification is not synonymous with reliability towards an eco-friendly product.

For those reasons, I evaluated non conventional techniques with an LCA approach, analyzing impact in production phase, transporting, construction phase, end of life scenarios.

Furthermore I studied IMPACT methodology for damage assessment and I find that there is a lack: the method doesn't consider a damage category linked to human modification to natural hydrogeological conditions.

I carried out the research through practical and experimental activities in construction sites, and LCA studies at Enea_Bologna (Ing. Paolo Neri).

1 IL RISPARMIO ENERGETICO IN EDILIZIA SECONDO LA VIGENTE NORMATIVA EUROPEA E ITALIANA

1.1 LA DIRETTIVA 2002/91/CE

Il consumo di energia per i servizi connessi agli edifici equivale a circa un terzo del consumo energetico dell'UE. La Comunità non può influire molto sull'approvvigionamento di energia, ma può agire sulla domanda. Ridurre il consumo di energia migliorando l'efficienza energetica è una delle possibili soluzioni di questi due problemi.

La Direttiva 2002/91/CE (Energy Performance Building Directive) si inserisce nell'ambito delle iniziative della Comunità in relazione ai cambiamenti climatici e alla sicurezza dell'approvvigionamento, e mira proprio a realizzare ingenti risparmi attraverso iniziative in questo settore, contribuendo così al conseguimento degli obiettivi preposti.

La direttiva, che riguarda il settore residenziale e quello terziario (uffici, edifici pubblici ecc.), comprende quattro elementi principali:

- una metodologia comune di calcolo del rendimento energetico integrato degli edifici;
- i requisiti minimi sul rendimento energetico degli edifici di nuova costruzione e degli edifici già esistenti sottoposti a importanti ristrutturazioni;
- i sistemi di certificazione degli edifici di nuova costruzione ed esistenti e l'esposizione negli edifici pubblici degli attestati di rendimento energetico e di altre informazioni pertinenti;
- l'ispezione periodica delle caldaie e degli impianti centralizzati di aria condizionata negli edifici e la valutazione degli impianti di riscaldamento dotati di caldaie installate da oltre 15 anni.

La direttiva tratta quindi tutti gli aspetti dell'efficienza energetica degli edifici, per affrontare questa problematica con una vera visione d'insieme; occorre definire misure a livello comunitario, e in particolare la 2002/91/CE si prefigge di raggiungere i seguenti obiettivi:

- diminuire del 22% i consumi energetici comunitari entro il 2010;
- ottenere un risparmio di energia primaria pari a 55 milioni di TEP (tonnellate equivalenti di petrolio: rappresenta la quantità di energia rilasciata dalla combustione di una tonnellata di petrolio grezzo e vale circa 42 GJ);
- ridurre le emissioni di CO₂ di un valore pari a 100 milioni di tonnellate;
- introdurre nuovi standard progettuali.

Le direttive richiedono agli stati membri di provvedere affinché gli edifici di nuova costruzione e quelli esistenti sottoposti a ristrutturazioni importanti soddisfino requisiti minimi di rendimento energetico, monitorando “la quantità di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi ad un uso standard dell’edificio, compresi, fra gli altri, il riscaldamento e il raffreddamento”. L'Attestato di Certificazione Energetica deve essere messo a disposizione in fase di costruzione, compravendita o locazione. In esso devono essere riportati “dati di riferimento che consentano ai consumatori di valutare e raffrontare il rendimento energetico dell’edificio” e “raccomandazioni per il miglioramento del rendimento energetico in termini di costi-benefici”.

1.2 LA NORMATIVA ITALIANA

In Italia la direttiva europea 2002/91/CE è stata recepita dal D.Lgs. 192/2005, che aveva stabilito una serie di misure dirette a ridurre il consumo di energia di tutti gli edifici presenti sul territorio italiano, introducendo la Certificazione energetica degli edifici. Seppur in attesa di decreti attuativi che ne chiariranno le modalità applicative, il D.Lgs. 192/2005 ha modificato sostanzialmente i criteri progettuali per il risparmio energetico, spostando maggiormente l'attenzione sugli elementi tecnologici, sui materiali e sulle loro proprietà termofisiche.

Successivamente il decreto legislativo 311/2006 (Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 192/2005) modifica la disciplina della certificazione energetica e la metodologia di calcolo per il rendimento energetico degli edifici; impone inoltre nuovi limiti al fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale degli edifici e alle trasmittanze di tutte le componenti dell'involucro edilizio. Le disposizioni hanno un approccio prestazionale: vengono indicati i valori limite di fabbisogno di energia per il riscaldamento invernale (E_{Pi}), dell'involucro, differenziati per zone climatiche e con tre soglie temporali: gennaio 2006, gennaio 2008 e gennaio 2010.

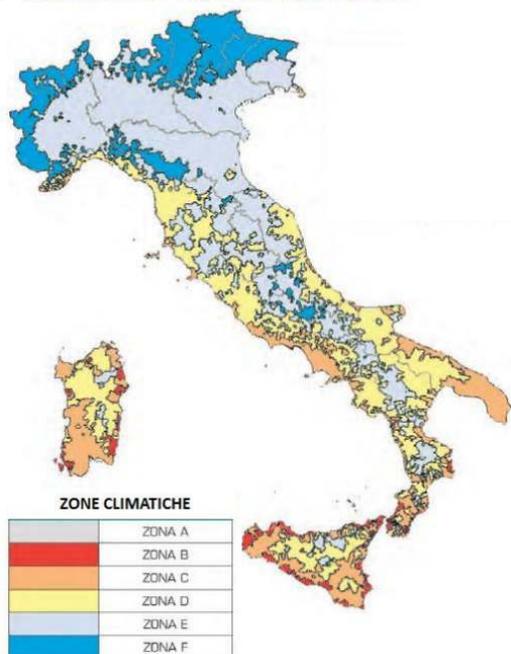


Figura 1-1: Suddivisione dell'Italia in zone climatiche

Il 3 marzo 2008 viene pubblicato il D.Lgs 115, che ha fra gli obiettivi quello di sopperire all'assenza dei decreti attuativi al D.Lgs 192, prescrivendo l'obbligo di riferirsi alla Specifica tecnica UNI/TS 11300 Parti 1 e 2 per il calcolo del fabbisogno energetico degli edifici e mandando in deroga precedenti Norme UNI.

Finalmente, con 4 anni di ritardo, il 2 aprile 2009 viene pubblicato il DPR 59, decreto attuativo del D.Lgs 192 e del D.Lgs 311. Nel mese di giugno dello stesso anno il DPR 59/09 viene completato dalle "Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici".

Il DPR 59/09 introduce nuovi limiti di legge per quanto riguarda:

- prestazione energetica per il raffrescamento dell'edificio;
- la trasmittanza termica periodica per il controllo dell'inerzia dell'involucro opaco;

- precisazioni in merito ai valori di trasmittanza limite per le chiusure apribili dell'edificio (quali porte, finestre, ecc.);
- introduzione di limitazioni alla decentralizzazione degli impianti termici e disposizioni per un graduale passaggio alla contabilizzazione del calore in presenza di impianti di riscaldamento condominiali;
- nel caso di nuove costruzioni o di ristrutturazioni importanti di edifici dotati di generatori di calore alimentati da biomasse combustibili, sono stati introdotti dei requisiti specifici minimi inerenti il rendimento energetico, i limiti di emissione del generatore e l'isolamento dell'involucro edilizio;
- una valutazione di utilizzo, in presenza di ristrutturazioni di edifici esistenti, di sistemi schermanti o filtranti per le superfici vetrate sempre ai fini contenere l'oscillazione termica estiva negli ambienti;

Inoltre il decreto stabilisce che per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici si adottino le seguenti norme tecniche nazionali:

- UNI/TS 11300 – 1 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale;
- UNI/TS 11300 – 2 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.

Di particolare interesse è l'art. 4, che definisce i criteri generali e requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici ed impianti.

Per gli interventi di ristrutturazione o manutenzione straordinaria relativi all'involucro edilizio o ampliamento volumetrici minori del 20%, e che prevedono “a titolo esemplificativo e non esaustivo, rifacimento di pareti esterne, di intonaci esterni, del tetto o dell'impermeabilizzazione delle coperture” si applica:

- per le strutture opache verticali a ponte termico corretto il rispetto delle trasmittanze limite di cui all'Allegato C del DLgs 192/2005 (tabella 2.1), se il ponte termico non è corretto si fa riferimento alla trasmittanza media della parete, inclusi sottofinestre o aree limitate con riduzione di spessore (art.4 comma 4 lett. a) Nota bene, si comprendono negli interventi anche il rifacimento di intonaci esterni e l'impermeabilizzazione delle coperture, inoltre anche le strutture orizzontali verso garage o verso sottotetti non riscaldati devono rispettare tale limite;

Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 U (W/m ² K)	Dall' 1 gennaio 2008 U (W/m ² K)	Dall' 1 gennaio 2010 U (W/m ² K)
A	0,85	0,72	0,62
B	0,64	0,54	0,48
C	0,57	0,46	0,40
D	0,50	0,40	0,36
E	0,46	0,37	0,34
F	0,44	0,35	0,33

Tabella 1-1: Trasmittanza termica delle strutture opache verticali

- per le strutture opache orizzontali o inclinate a ponte termico corretto il rispetto delle trasmittanze limite di cui all'Allegato C del DLgs 192/2005 (tabelle 3.1 e 3.2), anche

se verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento, se il ponte termico non è corretto si veda il punto precedente.

3.1 Coperture

Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 U (W/m ² K)	Dall' 1 gennaio 2008 U (W/m ² K)	Dall' 1 gennaio 2010 U (W/m ² K)
A	0,80	0,42	0,38
B	0,60	0,42	0,38
C	0,55	0,42	0,38
D	0,46	0,35	0,32
E	0,43	0,32	0,30
F	0,41	0,31	0,29

3.2 Pavimenti verso locali non riscaldati o verso l'esterno.

Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 U (W/m ² K)	Dall' 1 gennaio 2008 U (W/m ² K)	Dall' 1 gennaio 2010 U (W/m ² K)
A	0,80	0,74	0,65
B	0,60	0,55	0,49
C	0,55	0,49	0,42
D	0,46	0,41	0,36
E	0,43	0,38	0,33
F	0,41	0,36	0,32

Tabella 1-2: Trasmittanza termica delle strutture opache orizzontali o inclinate

Per nuove costruzioni, ristrutturazioni totali, parziali o manutenzione straordinaria, resta confermato il limite della trasmittanza delle strutture di separazione tra edifici o unità immobiliari o di separazione tra ambienti dotati di impianto di riscaldamento e ambienti non riscaldati, che deve essere minore di 0,80 W/m²K.

Allo stesso modo deve essere verificata l'assenza di condensazioni superficiali e interstiziali delle pareti opache con condizioni al contorno di umidità relativa interna pari al 65% e temperatura interna 20°C.

Tali valori vengono poi modificati dal D.M. dell'11 marzo 2008, che rende più stringenti quelli applicabili dall'1 gennaio 2010.

Infine, il D.M. del 26 gennaio 2010, "Aggiornamento del decreto 11 marzo 2008 in materia di riqualificazione energetica degli edifici", modifica ulteriormente i valori di trasmittanza per le componenti dell'involucro edilizio, il cui rispetto è necessario per accedere alle detrazioni fiscali del 55% per gli interventi di riqualificazione energetica.

In tabella sono riportati i valori limite della trasmittanza termica U delle strutture componenti l'involucro edilizio attualmente vigenti, espressi in (W/m²K).

Zona climatica	Strutture opache verticali	Strutture opache orizzontali o inclinate		Chiusure apribili e assimilabili(**)
		Coperture	Pavimenti(*)	
A	0,54	0,32	0,60	3,7
B	0,41	0,32	0,46	2,4
C	0,34	0,32	0,40	2,1
D	0,29	0,26	0,34	2,0
E	0,27	0,24	0,30	1,8
F	0,26	0,23	0,28	1,6

Tabella 1-3: valori limite della trasmittanza termica U espressi in (W/m²K).

1.3 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le disposizioni del D.Lgs. 192/2005, così come corrette dal D.Lgs. 311/2006 e attuate dal DPR 59/2009, rendono evidente la necessità di modificare il modo di costruire fino ad oggi adottato dovendosi prevedere, quale che sia la soluzione scelta, pareti verticali opache di maggiore spessore complessivo in grado di raggiungere i valori di trasmittanza, nonché di peso previsti dalla legge, oltre ad un maggiore isolamento termico delle chiusure orizzontali (coperture e solai) e delle chiusure trasparenti (vetri ed infissi).

Ritengo però che un'edilizia ambientalmente compatibile non dovrebbe incidere solo su pacchetti tecnologici, bensì sull'intero progetto, che dovrebbe essere calibrato in base al sito sul quale sorge, sfruttandone le risorse bioclimatiche anche passivamente. Grande attenzione dovrebbe essere posta all'intero ciclo di vita dei pacchetti tecnologici preposti al risparmio energetico.

Questo presupporrà anche un inevitabile aumento dei costi iniziali di costruzione, con la possibilità però di risparmiare nel tempo in termini di consumo energetico.

In tale contesto sarà opportuno utilizzare prodotti innovativi, in grado di fornire performance termiche decisamente superiori rispetto a quelle dei blocchi tradizionali, per poter ottenere risultati di molto al di sotto degli standard minimi previsti dalla legge, anche per poter qualificare meglio l'edificio costruito, in modo che mantenga il suo valore nel futuro.

1.4 ATTESTATO DI CERTIFICAZIONE ENERGETICA

Si definisce Attestato di Certificazione Energetica il documento redatto in conformità delle Linee Guida emanate col Decreto Ministeriale del 26 giugno 2009 che introduce su tutto il territorio nazionale la Certificazione Energetica degli edifici; in particolare la normativa si applica a quelle regioni che non hanno ancora una propria legislazione. Nelle regioni che invece hanno approvato apposita normativa si applicano le disposizioni regionali.

L'attestato è un documento ufficiale, valido 10 anni, prodotto da un soggetto accreditato (certificatore energetico) e dai diversi organismi riconosciuti a livello locale e regionale.

L'attestato energetico o "Attestato di Certificazione Energetica" è il documento che stabilisce in valore assoluto il livello di consumo dell'immobile inserendolo in una apposita classe di appartenenza. Più è bassa la lettera associata all'immobile, maggiore è il suo consumo energetico.

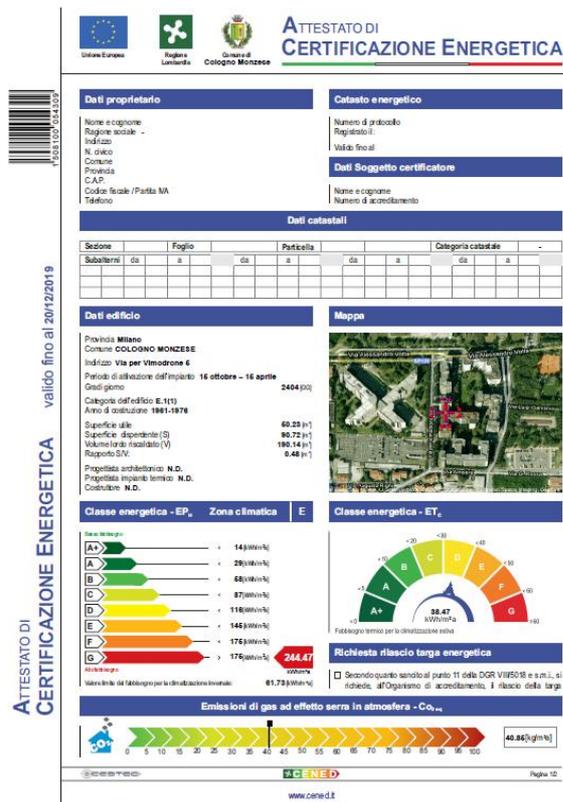


Figura 1-2: Attestato di Certificazione Energetica della Regione Lombardia

Gli obiettivi della certificazione energetica degli edifici sono i seguenti:

- migliorare la trasparenza del mercato immobiliare fornendo agli acquirenti ed ai locatari di immobili un'informazione oggettiva e trasparente delle caratteristiche e delle spese energetiche dell'immobile;
- informare e rendere coscienti i proprietari degli immobili del costo energetico relativo alla conduzione del proprio "sistema edilizio" in modo da incoraggiare interventi migliorativi dell'efficienza energetica della propria abitazione.

La certificazione consente agli interessati di ottenere dal fornitore/venditore di un immobile informazioni affidabili sui costi di conduzione, in modo da poter valutare se gli conviene spendere di più per un prodotto migliore dal punto di vista della gestione e manutenzione.

Inoltre dall'1 luglio 2009 è indispensabile per gli atti notarili di compravendita, oltre che parte della documentazione necessaria per l'accesso alle detrazioni del 55% sul reddito IRPEF.

Per redigere l'Attestato di Certificazione di un edificio o di una unità immobiliare è necessario avviare la Diagnosi Energetica o Energy audit, cioè la procedura sistematica volta ad acquisire adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o di una unità immobiliare. La Diagnosi Energetica consente di individuare le inefficienze e le criticità e di intervenire con le soluzioni a minor costo e maggior efficacia per la riduzione dei consumi energetici, individuando e quantificando le opportunità di risparmio energetico anche sotto il profilo dei costi/benefici.

La Diagnosi Energetica integra i dati raccolti sul campo, a seguito di sopralluoghi, con strumenti di calcolo (elaborazione di un modello matematico dell'edificio) attraverso i quali individuare e analizzare gli interventi di riqualificazione energetica dell'edificio o della unità immobiliare. A seguito della Diagnosi Energetica viene rilasciato l'Attestato di Certificazione Energetica.

1.5 L'AGENZIA CASACLIMA

Con l'introduzione dei decreti attuativi da parte di diverse regioni, si sono costituiti organismi che supervisionano i professionisti abilitati alla redazione dell'attestato energetico.

L'Agenzia CasaClima è un organo certificatore pubblico indipendente, accreditato nel 2005 come ente certificatore dalla Provincia di Bolzano. L'Agenzia offre inoltre programmi di formazione per tutti gli operatori coinvolti nella costruzione e promuove iniziative per sensibilizzare e responsabilizzare tutta la cittadinanza su risparmio energetico, sostenibilità e mutamenti climatici. Per divulgare questi temi e trovare delle soluzioni che li concretizzino, l'Agenzia collabora con i più importanti partner del settore, aziende ed istituzioni, sia in Italia che all'estero.

Una CasaClima è innanzitutto un edificio in grado di assicurare un'alta efficienza energetica con conseguente risparmio di energia e riduzione dei costi per la climatizzazione. A questo si accompagnano sempre un alto standard qualitativo ed elevate condizioni di comfort per gli abitanti. La prima scelta da compiere insieme al progettista riguarda quindi lo standard energetico che si vuole raggiungere con la propria casa: una CasaClima Gold, A o B. Le classi energetiche CasaClima individuano separatamente il fabbisogno energetico per riscaldamento e l'energia complessiva impiegata.



Figura 1-3: Categorie CasaClima

La strategia per una progettazione che recepisca in pieno la filosofia CasaClima prevede infatti di:

- costruire un edificio in cui siano minimizzati i fabbisogni energetici (per riscaldamento, raffrescamento, illuminazione);
- coprire il fabbisogno energetico residuo con un'impiantistica moderna ed efficiente, che possibilmente impieghi fonti energetiche rinnovabili.

Le categorie CasaClima permettono di identificare il grado di consumo energetico di un edificio.

Esistono **CasaClima Oro**, **CasaClima A** e **CasaClima B**:

- il consumo di energia più basso è garantito da una **CasaClima Oro**, che richiede 10 kWh/m²anno, il che si può garantire, in pratica, anche in assenza di un sistema di riscaldamento attivo. La CasaClima Oro è anche detta "casa da un litro", perché per ogni metro quadro necessita di un litro di gasolio o di un m³ di gas l'anno;

- le case con un consumo di calore inferiore ai 30 kWh/m²anno sono invece classificate come **CasaClima A**, la cosiddetta "casa da 3 litri", perché richiede 3 litri di gasolio o 3 m³ di gas per metro quadro l'anno;
- **CasaClima B** è invece l'edificio che richiede meno di 50 kWh/m²anno. In questo caso si parla di "casa da 5 litri", in quanto il consumo energetico comporta l'uso di 5 litri di gasolio o 5 m³ di gas per metro quadro l'anno.

1.6 LA CERTIFICAZIONE “PRESTAZIONALE” LEED

Il metodo LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) è uno schema di valutazione della qualità energetico ambientale delle costruzioni, in uso dal marzo 2000. Il sistema è stato promosso dall'*US Green Building Council*, una organizzazione nazionale no-profit formatasi nel 1993, per un contesto prevalentemente nord-americano. Il LEED è destinato ai progettisti e ai gestori dei processi di costruzione di edifici commerciali, pubblici, residenziali di nuova costruzione, ma può venire utilizzato anche per gli edifici esistenti oggetto di intervento di ristrutturazione. Il metodo di certificazione, di applicazione volontaria, è stato ideato come una checklist e organizzato in base a problematiche ecologiche. Questa sua prerogativa ne facilita l'uso nel processo di progettazione, permettendo di definire quali obiettivi di qualità ambientale si intendano raggiungere. L'applicazione del sistema è sotto forma di autocertificazione, nel senso che non è contemplata la figura di un certificatore come nel metodo BREEAM ma è il progettista stesso che si preoccupa di raccogliere i dati per la valutazione e inviarli all'organismo certificatore. La finalità del LEED è di verificare quante e quali “misure” ecologiche siano state adottate e implementate nella costruzione. Il sistema si basa sull'attribuzione di crediti per ciascuno dei requisiti caratterizzanti la sostenibilità di un edificio. Dalla somma dei crediti ricevuti dipende il livello di certificazione ottenuto. La gamma dei criteri contemplati dal metodo LEED per valutare la qualità della costruzione è abbastanza ampia; per comodità sono raggruppati in sei categorie:

- scelta di un insediamento sostenibile: - controllo dell'erosione e della sedimentazione; - selezione del sito; - rigenerazione urbana; - trasporti alternativi; - minimizzazione del disturbo al sito; - gestione dei flussi d'acqua; - riduzione dell'effetto “isola di calore”; - riduzione dell'inquinamento luminoso;
- consumo efficiente dell'acqua: - progettazione di aree verdi con uso efficiente dell'acqua; - tecnologie innovative per il recupero delle acque di scarico; - riduzione del fabbisogno di acqua;
- consumo di energia e impatto sull'atmosfera: - verifica sul funzionamento dei sistemi tecnologici principali; - rispetto dei limiti massimi di consumo energetico; - riduzione dell'uso di CFC nei macchinari di trattamento dell'aria; - ottimizzazione delle prestazioni energetiche; - uso di fonti energetiche rinnovabili; - verifiche sul funzionamento dell'intero edificio; - effetti sull'ozono; - misurazioni e controlli delle prestazioni; - provenienza sostenibile dell'energia utilizzata;
- materiali e risorse utilizzati nella costruzione: - raccolta differenziata dei rifiuti; - riutilizzo di edifici preesistenti; - gestione dei rifiuti del cantiere; - uso di materiali di recupero; - uso di materiali riciclati; - uso di materiali di provenienza locale; - uso di materiali rigenerabili rapidamente; - uso di legno proveniente da fonti sostenibili;
- qualità degli ambienti indoor; - rispetto delle prescrizioni minime sulla qualità dell'aria

interna; - controllo dei fumi derivanti da tabacco; - misurazione della CO₂; - miglioramento dell'efficacia della ventilazione; - gestione dell'aria interna durante la costruzione; - materiali a bassa emissione di inquinanti; - controllo delle fonti inquinanti interne; - controllabilità dei sistemi; - comfort termico;- illuminazione naturale e visione verso l'esterno;

- progettazione e innovazione:- innovazione nel progetto; - professionista accreditato LEED.

Ogni categoria prevede uno o più requisiti prescrittivi, che devono essere soddisfatti in ogni caso, e un numero di requisiti di performance ambientale che attribuiscono un punteggio finale all'edificio. A seconda del punteggio gli edifici vengono poi classificati come standard, argento, oro o platino. Una delle particolarità del metodo è di indicare, per le molte voci in esame, le soluzioni tecnologiche più appropriate (*best technologies*). Tale possibilità permette da un lato di applicare con relativa sicurezza delle strategie efficaci, ottenendo comunque un risultato sempre al di sopra della media, dall'altro lato soffoca l'impiego di tecnologie di punta o concetti innovativi, in quanto il metodo è basato esclusivamente su indicazioni e non su parametri misurabili.

Il sistema di certificazione LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) è uno standard applicato in oltre 100 Paesi nel mondo, sviluppato dall'U.S. Green Building Council (USGBC), associazione no profit che promuove e fornisce un approccio globale alla sostenibilità, dando un riconoscimento alle performance virtuose in aree chiave della salute umana ed ambientale.

Gli standard LEED, indicano i requisiti per costruire edifici ambientalmente sostenibili, sia dal punto di vista energetico che dal punto di vista del consumo di tutte le risorse ambientali coinvolte nel processo di realizzazione.

Dal 14 aprile 2010 è possibile utilizzare in Italia il Protocollo Leed Italia 2009 Nuove Costruzioni/Ristrutturazioni, al fine di certificare gli edifici.

Il mio interesse si è concentrato soprattutto sull'estrapolazione, dal sistema Leed, di valide indicazioni progettuali da seguire al fine di realizzare edifici che perseguano il risparmio delle risorse sia in fase di realizzazione, sia di uso, sia di dismissione. L'interesse è quello di valutare tramite LCA un edificio che risulti idealmente rispondente ai criteri LEED, in modo da poter passare da una valutazione "prestazionale", quale quella del Leed, che introduce delle categorie di prestazione, ad una valutazione "quantitativa" del danno ambientale prodotto da una costruzione. Nella valutazione LCA di cui sopra, intendo inserire inoltre un edificio che presenti nell'involucro dei manufatti per l'edilizia il cui eco profilo (oggetto di studio dei mesi precedenti, e in continuo aggiornamento) sia risultato notevolmente basso, quindi virtuoso, come ad esempio mattoni in terra cruda o balle di paglia. Questo per comprendere e ricercare come si comporti un insieme edificio-impianto dal punto di vista di un'analisi ambientale, partendo dal presupposto che alcuni dei singoli materiali che lo costituiscono sono "a risparmio di risorse".

Tornando a LEED, sono state estrapolate in sintesi le seguenti indicazioni progettuali, affiancate a ciascuna performance di prestazione ambientale:

- Sostenibilità del Sito: la realizzazione, l'uso e la dismissione dell'edificio devono presentare il minor impatto possibile sul territorio e sull'area di cantiere
- Gestione dell'Acque: la presenza di sistemi per il recupero dell'acqua piovana o di rubinetti con regolatori di flusso deve garantire la massima efficienza nel consumo di acqua.

· Energia ed Atmosfera : utilizzare al meglio l'energia da fonti rinnovabili e locali. Negli Stati Uniti, ogni anno le costruzioni LEED immettono nell'atmosfera 350 tonnellate di anidride carbonica in meno, rispetto ad altri edifici, garantendo un risparmio di elettricità pari al 32% circa.

· Materiali e Risorse : promuovere la riduzione dei rifiuti, il riutilizzo e riciclaggio dei materiali, l'utilizzo di materiali sostenibili, la riduzione dell'utilizzo di materiali vergini e la riduzione dell'impatto ambientale dovuto ai trasporti.

· Qualità ambientale Interna: gli spazi interni dell'edificio devono essere progettati in maniera tale da consentire una sostanziale parità del bilancio energetico e favorire il massimo confort abitativo per l'utente finale.

Si riporta di seguito una tabella di confronto tra gli strumenti di certificazione di tipo prestazionale attualmente in uso.

Sistema di certificazione/ valutazione	BREEAM (Building Research Establishment Environmental Method)	LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)	GBC (Green Building Challenge)	Protocollo ITACA (Istituto per la trasparenza l'aggiornamento e la certificazione degli appalti)	Marchio INBAR (Istituto Nazionale BioArchitettura)
Definizione	Strumento di tipo commerciale per la valutazione della qualità ambientale	Schema di valutazione della qualità energetico ambientale	Strumento operativo per la valutazione dell'impatto ambientale di una costruzione	Protocollo per la valutazione della sostenibilità degli edifici	Strumento culturale e tecnico di controllo e certificazione del processo edilizio ecosostenibile
Sistema di riferimento	-	-	-	GBC	-
Luogo di applicazione	Gran Bretagna	Stati Uniti	Istituti ed Enti di ricerca pubblici e privati di 24 nazioni diverse	Italia	Italia
Campo di applicazione	locale	locale	mondiale	locale	locale
Caratteristiche	Limiti strutturali perché legato alla regione geografica di origine	Limiti strutturali perché legato alla regione geografica di origine. Checklist legate alle condizioni contestuali delle regioni di origine facilitano l'uso nel processo di progettazione	Può essere adattato alle condizioni locali in cui viene applicato pur mantenendo la stessa struttura di base. Si intende testare continuamente il sistema affinché divenga lo standard internazionale di riferimento	Adozione della struttura del GBC adattata al contesto italiano	Approccio prestazionale. La logica di indirizzo del processo edilizio su cui poggia il marchio è coerente con quella degli strumenti di valutazione/validazione del progetto elencati in precedenza
Obbligatorietà dell'applicazione	volontaria	volontaria	volontaria	volontaria	volontaria
Destinazione	Uffici, residenze, edifici industriali, supermercati sia di nuova realizzazione che esistenti	Edifici commerciali, pubblici, residenziali sia di nuova costruzione che esistenti oggetto di ristrutturazione	Edifici di nuova costruzione o ristrutturati	Appalti pubblici	Interventi di nuova realizzazione e interventi di recupero di immobili a carattere residenziale o a questi assimilabili
Soggetto della certificazione	Certificatori autorizzati dal BRE	Progettista che raccoglie i dati e li invia all'organismo certificatore (l'applicazione del sistema è sotto forma di autocertificazione, non c'è la figura del certificatore)	Il processo è condotto dall'International Framework Committee e coordinato dall'Associazione Internazionale IISBE	Tavoli tecnici costituiti da tecnici regionali, rappresentanti di amministrazioni statali e locali e organismi rappresentativi di specifiche categorie di settore	Autocertificazione e certificazione da parte dell'esperto INBAR

<p>Classi di certificazione</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pass • Good • Very good • Excellent 	<ul style="list-style-type: none"> • Certificato • Argento • Oro • platino 	<p>Da -2 a +5</p> <ul style="list-style-type: none"> • -2=prestazione scadente • 0=prestazione base • +3=migliore pratica costruttiva corrente • +5=prestazione ideale 	<p>Somma pesata dei punteggi attribuiti alle prestazioni raggiunte da ciascun requisito individuato (da -1 a +5</p> <ul style="list-style-type: none"> • -1=prestazione inferiore a quella minima accettabile • 0=prestazione minima • +1=moderato miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti e alla pratica corrente • +2=miglioramento della prestazione • +3=significativo miglioramento E' da considerarsi come la migliore pratica corrente • +4= moderato incremento della pratica corrente migliore • +5= prestazione considerevolmente avanzata rispetto alla pratica corrente migliore, di carattere sperimentale. 	<p>Punteggio massimo: 45 Punteggio minimo: 30</p> <p>Da raggiungere con 10 requisiti obbligatori + 15 requisiti scelti tra i principali + 5 requisiti scelti tra i secondari</p> <p>Fabbisogno energetico = 50% Fep</p>
--	--	--	--	---	---

Tabella 1-4: Tabella di confronto di strumenti di tipo “prestazionale” per la guida e il controllo del progetto sostenibile

1.7 REGOLAMENTO EDILIZIO

La Costituzione Italiana prevede che la normativa urbanistica sia di competenza regionale. Inoltre ogni Comune ha il suo regolamento edilizio e delle norme tecniche di attuazione che disciplinano gli aspetti dell'edilizia e dell'urbanistica della città.

Per procedere all'effettiva costruzione di un edificio bisogna poi affidarsi alle competenze di un tecnico per ottenere il permesso di costruire dai tecnici comunali.

Il tecnico dovrà garantire che il progetto sia corretto sotto diversi aspetti, cioè sia conforme rispetto agli strumenti di regolazione e tutela del territorio, definire i requisiti di stabilità, igiene, sicurezza antincendio ed impiantistica e valutare l'inserimento estetico della costruzione nel nostro territorio.

Quest'ultimo aspetto è molto sentito in Italia, e molto meno in altri Paesi come l'Irlanda o la Gran Bretagna. Il nostro territorio è, infatti, caratterizzato da città, borghi antichi e centri storici che sono testimoni di notevoli bellezze artistiche ma anche di tradizioni architettoniche e culturali da secoli immutate.

Si distinguono due diversi tipi di struttura portante:

- struttura portante puntiforme: è la parte del manufatto espressamente destinata ad assorbire i carichi e le azioni esterne cui il manufatto è soggetto durante tutta la sua vita di esercizio. Per quanto detto sopra la struttura può essere costituita da singoli elementi strutturali quali pilastri e travi, o dall'assemblaggio di tali elementi strutturali. L'elemento di chiusura perimetrale di tale struttura intelaiata è detto tamponatura; pertanto la funzione portante è assicurata dal telaio strutturale e quella di separazione tra spazio interno e spazio esterno dalla tamponatura che va a riempire i riquadri dei telai esterni. Si differenzia dal tramezzo, elemento divisorio interno e non portante. La tamponatura è una chiusura verticale esterna del tipo opaco;
- struttura portante continua, o muratura portante; in questo caso la muratura ha sia funzione portante che di separazione tra spazio interno ed esterno.

In fase di progetto il tecnico dovrà eseguire opportuni calcoli strutturali per dimensionare gli elementi portanti. Il materiale costitutivo è di fondamentale importanza per stabilire quanto carico si può far gravare su un muro.

Si fa riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni (Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008), che definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità.

Esse forniscono quindi i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.

Nelle Norme tecniche per le costruzioni si trovano i riferimenti per i materiali più comunemente usati in edilizia, vale a dire calcestruzzo, acciaio, legno e muratura. Nel caso si voglia costruire un edificio con struttura portante di un materiale diverso da questi, si fa riferimento all'art. 4.6, "Costruzioni di altri materiali", che cita: i materiali non tradizionali o non trattati nelle presenti norme tecniche potranno essere utilizzati per la realizzazione di elementi strutturali od opere, previa autorizzazione del Servizio Tecnico Centrale su parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, autorizzazione che riguarderà l'utilizzo del materiale nelle specifiche tipologie strutturali proposte sulla base di procedure definite dal Servizio Tecnico Centrale. Si intende qui riferirsi a materiali quali calcestruzzi di classe di resistenza superiore a C70/85, calcestruzzi fibrorinforzati, acciai da costruzione non previsti in § 4.2, leghe di alluminio, leghe di rame, travi tralicciate in acciaio conglobate nel getto di calcestruzzo collaborante, materiali polimerici fibrorinforzati, pannelli con poliuretano o polistirolo collaborante, materiali murari non tradizionali, vetro strutturale, materiali diversi dall'acciaio con funzione di armatura da c.a.

Inoltre, l'art. 12, "Riferimenti tecnici", indica i documenti ritenuti coerenti con i principi del Decreto stesso:

- Eurocodici strutturali pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali o, in mancanza di esse, nella forma internazionale EN;
- Norme UNI EN armonizzate i cui riferimenti siano pubblicati su Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea;
- Norme per prove, materiali e prodotti pubblicate da UNI.

1.8 I PRODOTTI DA COSTRUZIONE

Si definiscono “prodotti da costruzione” tutti i materiali, i manufatti, gli impianti, che sono fabbricati per essere permanentemente incorporati in opere di costruzione (edifici ed opere di ingegneria civile).

La normativa di riferimento è la Direttiva 89/106/CEE (direttiva prodotti da costruzione), comunemente detta CPD (Construction Products Directive), recepita in Italia con il DPR n. 246 del 1993 e rimasta in vigore fino al 18 gennaio 2011.

Tale direttiva ha l'obiettivo di assicurare che i prodotti da costruzione che vengono immessi sul mercato nell'area dell'UE siano costruiti o realizzati dagli stati membri mediante medesimi standard di prodotto, in modo che l'opera di costruzione nella quale sono integrati rispetti alcuni requisiti ritenuti essenziali per la sicurezza, la salute e altre esigenze di ordine collettivo dell'utenza.

Come strumento di controllo, la Direttiva dispone che i produttori di materiali da costruzione, per poter commercializzare i loro prodotti in Europa, devono apporvi la marcatura CE, rispettando le relative norme armonizzate di prodotto. La sigla CE attesta appunto la conformità del prodotto stesso alla Direttiva prodotti da costruzione.



Figura 1-4: Logo della marcatura CE

La direttiva prodotti da costruzione rinvia a dei testi tecnici di attuazione che condizionano la messa sul mercato di un prodotto. Questi testi sono le norme armonizzate e rappresentano un lungo lavoro collettivo che permette di migliorare l'affidabilità di un prodotto, la qualità e la prevenzione dei rischi legati al suo utilizzo.

Non tutti i prodotti da costruzione sono interessati dalla CPD ma soltanto quelli devono essere permanentemente incorporati (per tutta la loro vita utile) nelle opere di costruzione intese come Edifici ed Opere di Ingegneria Civile.

Tra questi prodotti rientrano sia gli elementi base, quali gli inerti, il cemento, i solai, i pannelli isolanti, che i componenti quali le porte, le finestre, le vetrate, agli elementi di sicurezza antincendio quali gli evacuatori di fumo e calore, gli idranti, e per finire tutti gli accessori per la raccolta e la fornitura di acqua.

L'idoneità di prodotto si basa sui sei requisiti essenziali:

- resistenza meccanica e stabilità: l'opera deve essere concepita e costruita in modo che le azioni, cui può essere sottoposta durante la costruzione e l'utilizzazione, non provochino:
 - il crollo dell'intera opera o di una sua parte;
 - deformazioni di importanza inammissibile;
 - danni ad altre parti dell'opera o alle attrezzature principali o accessorie in seguito a una deformazione di primaria importanza degli elementi portanti;
 - danni accidentali sproporzionati alla causa che li ha provocati;
- sicurezza in caso d'incendio: l'opera deve essere concepita e costruita in modo che, in caso di incendio:

- la capacità portante dell'edificio possa essere garantita per un periodo di tempo determinato;
- la produzione e la propagazione del fuoco e del fumo all'interno delle opere siano limitate;
- la propagazione del fuoco ad opere vicine sia limitata;
- gli occupanti possano lasciare l'opera o essere soccorsi altrimenti;
- sia presa in considerazione la sicurezza delle squadre di soccorso;
- igiene, salute, ambiente: l'opera deve essere concepita e costruita in modo da non compromettere l'igiene o la salute degli occupanti o dei vicini e in particolare in modo da non provocare:
 - sviluppo di gas tossici;
 - presenza nell'aria di particelle o di gas pericolosi;
 - inquinamento o tossicità dell'acqua o del suolo;
 - difetti nell'eliminazione delle acque di scarico, dei fumi e dei rifiuti solidi o liquidi;
 - formazione di umidità su parti o pareti dell'opera;
- sicurezza nell'impiego: l'opera deve essere concepita e costruita in modo che la sua utilizzazione non comporti rischi di incidenti inammissibili, quali scivolate, cadute, collisioni, bruciature, folgorazioni, ferimenti a seguito di esplosioni;
- protezione acustica: l'opera deve essere concepita e costruita in modo che il rumore, cui sono sottoposti gli occupanti e le persone situate in prossimità, si mantenga a livelli che rechino nocimento alla loro salute e tali da consentire soddisfacenti condizioni di sonno, di riposo e di lavoro;
- risparmio energetico ed isolamento termico: l'opera e i relativi impianti di riscaldamento, raffreddamento e aerazione devono essere concepiti e costruiti in modo che il consumo di energia durante l'utilizzazione dell'opera sia moderato, tenuto conto delle condizioni climatiche del luogo, senza che ciò pregiudichi il benessere termico degli occupanti.

Il 18 gennaio 2011 il Parlamento Europeo, in seduta plenaria, ha approvato il Regolamento dei Prodotti da Costruzione (CPR-Construction Products Regulation) che sostituisce la Direttiva Prodotti da Costruzione 89/106/CE (CPD), fissando al contempo gli standard per la commercializzazione di tali prodotti all'interno dell'Unione Europea .

Tale regolamento **ha applicazione immediata nei Paesi Membri**, tuttavia alcune norme in esso contenute, saranno valide dal 1 luglio 2013, dando tempo alle aziende di adeguarsi.

1.9 NORME TECNICHE

Nel seguito della trattazione si farà riferimento ad una serie di norme tecniche dai molteplici codici identificativi, derivanti dai diversi enti o paesi che le hanno definite.

La Direttiva Europea 98/34/CE del 22 giugno 1998 definisce la "norma" come una specificazione tecnica approvata da un organismo riconosciuto ad attività normativa, per applicazione ripetuta o continua, la cui osservazione non sia obbligatoria, e che appartenga ad una delle seguenti categorie:

- **norma internazionale:** norma che è adottata da un'organizzazione internazionale di normalizzazione e che viene messa a disposizione del pubblico; la più importante organizzazione a livello mondiale per la definizione di norme tecniche è l'Organizzazione internazionale per la normazione (ISO). Le norme ISO sono numerate e hanno un formato del tipo "ISO 99999:yyyy: Titolo" dove "99999" è il numero della norma, "yyyy" l'anno di pubblicazione e "Titolo" è una breve descrizione della norma;
- **norma europea:** norma che è adottata da un organismo europeo di normalizzazione e che viene messa a disposizione del pubblico; tale organismo è il Comitato europeo di normazione (CEN), un ente normativo che ha appunto lo scopo di armonizzare e produrre norme tecniche (EN) in Europa in collaborazione con enti normativi nazionali e sovranazionali quali per esempio l'ISO. Gli standard europei prodotti dal CEN sono normalmente armonizzati e adattati dai singoli paesi che li accolgono;
- **norma nazionale:** norma che è adottata da un organismo nazionale di normalizzazione e che viene messa a disposizione del pubblico;
 - in l'Italia tale organismo è l'Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI), un'associazione privata senza scopo di lucro che svolge attività normativa in tutti i settori industriali, commerciali e del terziario, ad esclusione di quello elettrotecnico ed elettronico di competenza del CEI. L'UNI partecipa in rappresentanza dell'Italia all'attività normativa degli organismi internazionali di normazione ISO e CEN;
 - in Germania è presente invece il Deutsches Institut für Normung (DIN), l'Istituto Tedesco per la Standardizzazione;
 - per l'Austria è l'Austrian Standards Institute (ASI) ad adottare le norme, che prendono il nome di ÖNORMs.

1.10 CONCLUSIONI: LA NECESSITÀ DI UNA CERTIFICAZIONE AMBIENTALE

E' evidente che l'attuale approccio normativo in edilizia punta maggiormente al contenimento dei consumi energetici in fase di uso degli edifici. Ritengo che questa sia solo una componente tra le azioni che possono essere messe in atto per raggiungere dei criteri di "sostenibilità" nel costruire.

E' infatti importante non solo che l'edificio non consumi troppa energia per il riscaldamento, ma che l'intero progetto sia stato calibrato in funzione del sito su cui sorge al fine di risultarne integrato, compatibile, organicamente in grado di sfruttarne le risorse passive (ventilazione, illuminazione, apporti solari).

Un intero comparto edilizio deve essere in grado di ottimizzare i consumi, e a tale scopo deve essere progettato un sistema di reti "intelligente" per l'adduzione e l'allontanamento di gas, acqua, reflui, rifiuti. Anche il sistema dei trasporti di comparto o quartiere dovrebbe essere progettato in modo "intelligente" o "smart", come si usa dire, con l'obiettivo di ridurre l'utilizzo del trasporto su gomma privato ed aumentare la mobilità ad alta capacità, preferibilmente pubblica, e la condivisione dei mezzi di trasporto.

Inoltre un approccio ambientalmente consapevole deve guardare all'intero ciclo di vita di un prodotto edilizio, o ancora meglio all'intero ciclo di vita di un sistema di prodotti e impianti che costituiscono l'edificio.

E' indispensabile, ma non sufficiente, rispettare dei limiti di trasmittanza per gli elementi opachi. Nella scelta di una soluzione tecnica il progettista dovrebbe adottare quei materiali che, oltre a soddisfare i requisiti di consumo energetico in fase d'uso, comportano danni ridotti nel corso dell'intera vita, dalla loro produzione al loro smaltimento. Questa analisi ambientale, basata su un approccio LCA (Life Cycle Assessment), dovrebbe essere introdotta dalle Istituzioni nel sistema normativo in materia di edilizia.

2 LA PAGLIA COME TECNOLOGIA NON CONVENZIONALE PER L'EDILIZIA

Nel presente capitolo si parlerà della paglia come materiale da costruzione. L'interesse verso questo materiale da parte della scrivente è maturato nel corso degli ultimi sette anni, attraverso la frequenza di corsi teorico-pratici sul tema e lo scambio di esperienze e informazioni con esperti - pionieri - del settore. Appena sentito parlare di case in balle di paglia, il materiale ha suscitato curiosità per la provenienza non industriale, la facile reperibilità e lavorabilità. Appariva incredibile poter realizzare in breve tempo una casa, o anche un piccolo manufatto (un solo muro, un gazebo), utilizzando una materia così leggera e semplice, prodotta dal contadino nel campo vicino casa. Una vera e propria tecnologia non convenzionale che sembrava poter contribuire al risparmio delle risorse in edilizia. La convinzione che le caratteristiche di tale materiale andassero approfondite è giunta nel momento in cui ho avuto accesso ad informazioni riguardanti le prestazioni termiche e acustiche di case in balle di paglia. Da quel momento l'entusiasmo per la tecnologia si è accresciuto, facendomi avvicinare anche ad altri materiali naturali come la terra (usata per gli intonaci sulle balle di paglia, ad esempio). Si è anche radicata la consapevolezza che una tecnologia, per quanto attinga a materie prime di scarto presenti in abbondanza in natura e sia in grado di fornire buone prestazioni in fase d'uso, vada valutata ambientalmente durante il suo intero ciclo di vita. Da questi spunti è nata la trattazione che vede, nel corrente cap. 2 un approfondimento sulla paglia e tecniche collegate, e nei seguenti cap.5 , cap. 6 e 7 un'approfondita analisi ambientale della paglia come materiale da costruzione.

2.1 STORIA DELLE CASE DI PAGLIA

In breve: appaiono in Nebraska a fine '800, rimangono in voga fino al boom economico negli USA, durante il quale il cemento prende il sopravvento nelle costruzioni. Vengono rivalutate dagli studiosi di edilizia e architettura a fine anni '80. Attualmente l'interesse nella paglia come materiale da costruzione è in costante aumento.

In Europa: la prima casa ancora esistente è Villa Feuillet in Francia, del 1921.



Figura 2-1: Villa Feuillet, Francia, costruita nel 1921

Un grande lavoro di diffusione della teoria e tecnica delle costruzioni in balle di paglia è stato compiuto da Barbara Jones, che ha divulgato, partendo dall'Inghilterra, le tecniche americane di inizio secolo, attualizzandole e contestualizzandole.

Si può partire facendo una prima distinzione sul possibile utilizzo della paglia come materiale da costruzione a seconda della funzione rivestita: paglia per la struttura portante, paglia per il tamponamento, paglia per il tetto.

Le prime case che presentano la paglia come materiale strutturale sono apparse in Nebraska (USA) alla fine dell' 800. In tale contesto, povero dei "convenzionali" materiali da costruzione quali legno e pietra, la paglia risultava l'unica risorsa disponibile, ad un costo economico quasi pari a 0 (scarto della produzione cerealicola), facilmente accessibile e velocemente installabile per i coloni che si erano trasferiti e necessitavano al più presto di ripari, in attesa che la linea ferroviaria in fase di costruzione permettesse l'arrivo di legname e pietrame. La paglia si configurava quindi come la tecnologia appropriata per l'edilizia, in termini di reperibilità della risorsa e facilità di utilizzo. Da sottolineare che venne sfruttata sotto forma di balle, che per geometria ben si prestavano a costituire dei giganti mattoni, grazie all'introduzione della macchina imballatrice in agricoltura. Il contesto storico in cui si affermò tale materiale vedeva l'agricoltura in forte crescita.

Attraversato il primo momento in cui era stata utilizzata come soluzione temporanea, la paglia si affermò come prassi di costruzione, a seguito della sperimentazione diretta, ad opera dei coloni, delle sue caratteristiche termiche ed acustiche. Abitando le case di paglia, i contadini pionieri del Nebraska si resero presto conto che il comfort termico veniva assicurato da questo materiale, che permette di trattenere il calore all'interno in inverno ed isolare dalla calura estiva. Il Nebraska presenta inoltre una notevole ventosità, e le balle di paglia, in virtù delle loro caratteristiche fono isolanti, permettevano di vivere in interni silenziosi nonostante le forti raffiche esterne.

La tecnica costruttiva affermata in Nebraska aveva l'obiettivo di reggere il tetto, con una struttura di paglia auto-portante. Questo metodo viene oggi chiamato "Nebraska style", o "load-bearing". Le balle venivano infilzate con dei paletti di ferro per essere tenute insieme in senso longitudinale e dare maggiore resistenza alla struttura. Come si vedrà successivamente, è auspicabile che venga sostituito l'utilizzo del ferro con il legno.

L'uso di costruire con la paglia negli USA fu abbandonato con l'avvento del boom economico, che vide l'affermarsi del cemento come materiale da costruzione. Alcuni degli edifici (tra cui chiese, capannoni..) realizzati dai pionieri sono rimasti in piedi e tutt'ora utilizzati. La più antica casa di paglia "Nebraska style" è chiamata "Burke House" ed è ancora in vita: ha compiuto 100 anni nel 2003.



Figura 2-2: the Burke House, ad Alliance: la più vecchia casa esistente in Nebraska



Figura 2-3: una casa in balle di paglia con tecnica Nebraska

La paglia può essere utilizzata come materiale di tamponamento in strutture portanti realizzate in legno, cemento, acciaio e in tutti i materiali consentiti per questo scopo. La tecnica viene detta post-and-beam. Successivamente si vedrà come, per le caratteristiche fisico-chimiche del materiale, sia preferibile accoppiarlo ad altri materiali naturali e traspiranti come il legno. La modalità costruttiva post-and-beam si è affermata a seguito della rivalutazione della paglia come materiale da costruzione, a partire dagli anni '80 del secolo XX.



Figura 2-4: una casa con tecnica post-and-beam

Possiamo immaginare le balle di paglia come enormi pannelli isolanti sistemati tra un pilastro e l'altro, intonacati esternamente ed internamente. In realtà la tecnica si sta evolvendo rapidamente, presentando le più disparate soluzioni, come verrà illustrato in una sezione (→**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) del presente capitolo dedicata alle esperienze contemporanee.

2.2 LA PAGLIA COME MATERIALE PER LE COSTRUZIONI: CARATTERISTICHE TECNICHE.

La paglia è un materiale di scarto della produzione di cereali (grano, orzo, segale, aveva, riso, ecc.); è lo stelo della pianta morta, e ha una composizione chimica simile al legno. E' diversa dal fieno, che è invece erba verde essiccata che contiene quindi foglie, fiori e semi.

L'acqua in tutte le sue forme è il peggior pericolo per l'edificio; la formazione di muffe sulle superfici umide può intaccare la salute degli abitanti e allo stesso tempo degradare la materia costruttiva.

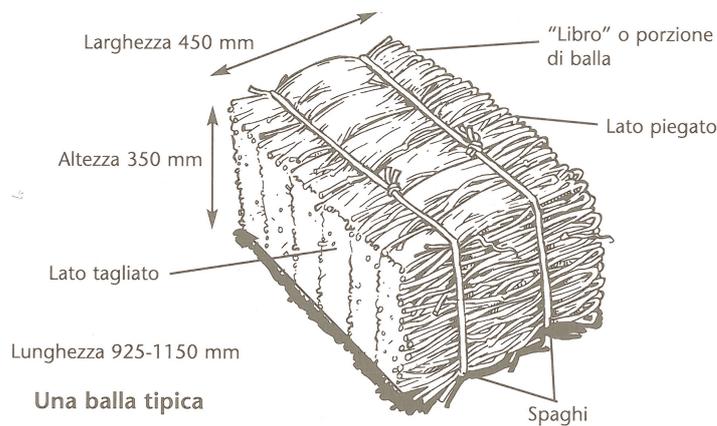


Figura 2-5: una tipica palla di paglia

L'umidità contenuta nell'aria (condensazione), vale a dire acqua allo stato vapore, è sempre presente seppur a diverse concentrazioni. L'aria infatti può contenere vapore in quantità variabili in funzione della temperatura: più l'aria è calda, più quantità di vapore può contenere,

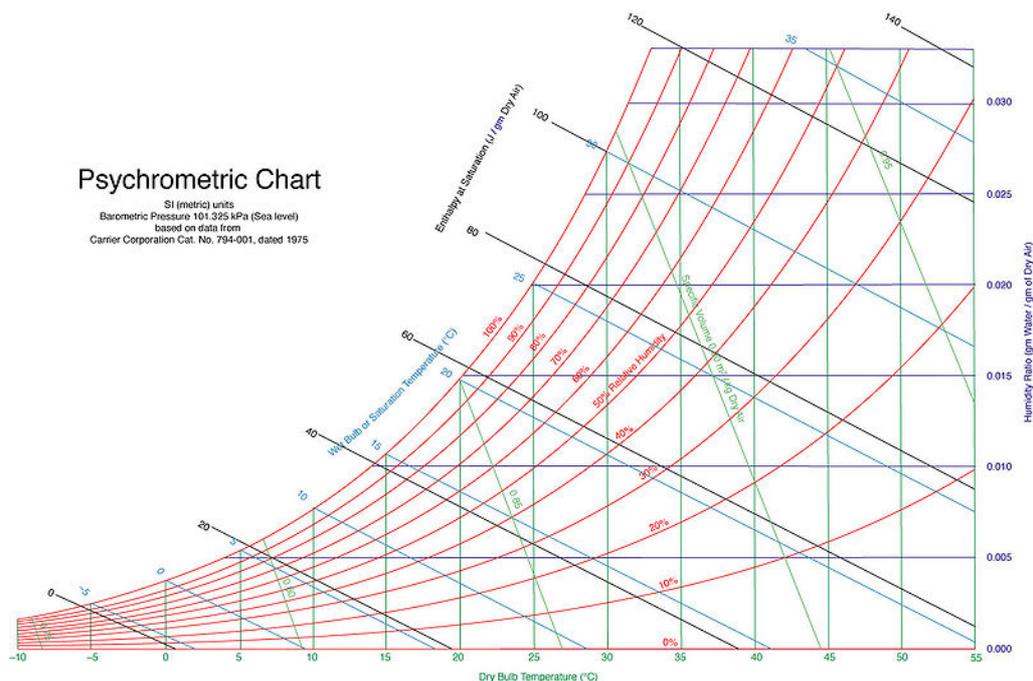


Figura 2-6: Diagramma psicrometrico

Si definiscono quindi alcuni parametri:

- umidità assoluta: è la quantità di acqua espressa in grammi contenuta in un metro cubo d'aria (g/m^3);
- umidità massima: è la quantità massima di acqua che un m^3 di aria può contenere ad una certa temperatura (g/m^3);
- umidità relativa (Relative Humidity, RH): indica la quantità di vapore contenuto nell'aria in percentuale rispetto alla quantità massima di vapore che l'aria potrebbe contenere ad una certa temperatura (%). Un'umidità relativa del 100% indica che l'aria contiene la massima quantità possibile di acqua per le date condizioni di temperatura e pressione.

All'interno di una abitazione, attività come cucinare, asciugare il bucato, farsi una doccia, o la presenza di piante, porta ad un aumento di umidità che diminuisce il comfort e crea le condizioni favorevoli per la formazione delle muffe. La maggior parte di questa umidità viene smaltita grazie ad una buona ventilazione, ma allo stesso tempo una parte migra per diffusione attraverso i muri. Infatti al variare delle condizioni termoigrometriche (temperatura, umidità relativa) di due ambienti separati da una parete si generano pressioni parziali di vapore diverse che sono causa di un flusso d'aria umida attraverso il mezzo di separazione, nel senso che va dalla pressione parziale più elevata alla pressione parziale meno elevata. In inverno, quando la pressione del vapore è maggiore all'interno, la migrazione va dall'interno all'esterno; in estate viceversa dall'esterno all'interno.

E' importante quindi capire come e perché i materiali che compongono un muro traspirino e debbano traspirare: per traspirabilità di un materiale infatti si intende proprio la sua capacità ad essere attraversato dall'aria umida.

La paglia è per definizione un materiale molto traspirante; se su di esso si applica un rivestimento non traspirante (ad esempio del materiale plastico), si avrà un fenomeno di condensazione dietro al rivestimento stesso. A ciò conseguono una serie di problemi: innanzitutto una minore durabilità delle pareti, in quanto l'acqua che verrebbe a formarsi sulla paglia la farebbe marcire; inoltre se l'aria in condizioni stagnanti è un buon isolante termico e acustico, è pur vero che perde queste sue proprietà in presenza di acqua liquida.

In conclusione si può affermare che è di fondamentale importanza evitare la formazione di sacche di acqua all'interno del muro, che porterebbero ad un triplice aspetto negativo: marciume della paglia, macchie di muffa sulle pareti e riduzione dell'isolamento termico e acustico.

Sulla scia di un crescente interesse nei confronti dell'edilizia sostenibile e dell'utilizzo di materiali naturali e prodotti localmente, lo stato del Canada ha deciso di supportare un asse di ricerca sulle caratteristiche delle case di paglia. Ne seguito della trattazione si farà spesso riferimento al materiale bibliografico prodotto dagli studi del CMHC (Canada Mortgage and Housing Corporation). Il reperimento bibliografico e la traduzione dei test presentati sono stati possibili anche grazie ad un lavoro di tesi sulle case in paglia condotto nel 2011-2012 dall'Ing. Davide Peroni (relatrice A. Bonoli, correlatori C. Chiavetta, S. Rizzo) presso la facoltà di Ingegneria di Bologna.

2.2.1 Metodologie per la misura di umidità

Nel 1996 in Canada il CMHC ha condotto uno studio all'interno del quale vengono sviluppate tre diverse metodologie, economiche ma comunque abbastanza accurate per l'uso casalingo, per misurare il contenuto di umidità nei muri.

Il primo metodo consiste nel modificare un comune igrometro elettronico allungando i sensori, che vengono posti all'interno del muro, nella palla di paglia, mentre il display si attacca al muro.

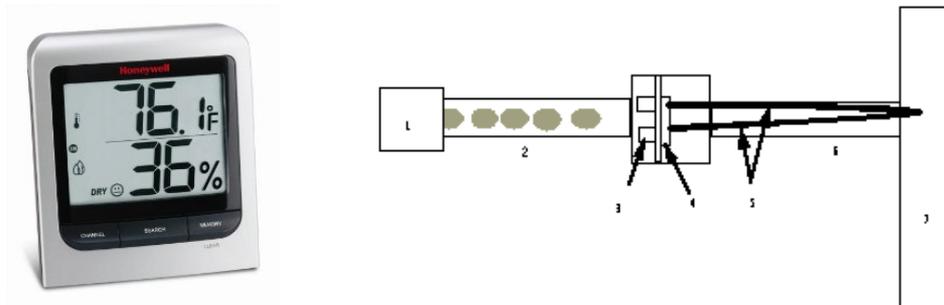


Figura 2-7: igrometro modificato

La Figura 2-7 rappresenta lo schema dell'igrometro modificato:

- testata di chiusura;
- tubo perforato in CPVC, coperto con un filtro da caffè;
- sensori;
- piastra di montaggio;
- cavi di collegamento al display;
- tubo in CPVC;
- display.

Il sensore come previsto misura sia la temperatura che l'umidità relativa, in un range dal 35% al 90%.

Nel secondo metodo si utilizza invece un misuratore di umidità del legno, sfruttando il fatto che la conduttività del legno è funzione dell'umidità relativa nelle balle di paglia, e quindi del contenuto di acqua nella paglia.

Lo strumento, contenente dei dischi di balsa o abete bianco, viene posizionato al centro della palla, e lasciato lì fino a che non raggiunge l'equilibrio con la paglia.

Uno schema della sonda utilizzata è rappresentato in Figura 2-8.

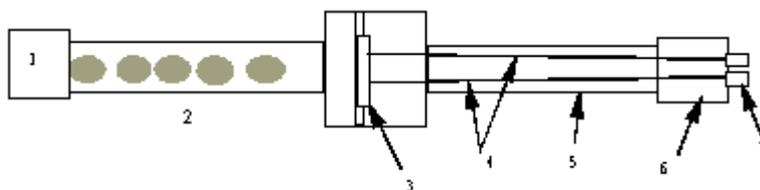


Figura 2-8: sonda per la misura di umidità nel legno

La sonda presenta:

- testata di chiusura;

- tubo perforato in CPVC, coperto con un filtro da caffè;
- disco di legno (3 mm circa di spessore), a cui sono collegati i cavi tramite viti di acciaio;
- cavi di collegamento al display;
- tubo in CPVC;
- testata di chiusura;
- sensori.

Gli esperimenti mostrano che esiste una buona correlazione tra la conduttività dei blocchi di legno, l’RH e il contenuto di umidità paglia. L’equilibrio viene infatti raggiunto dopo un tempo determinato dall’RH. Ancora più importante, la conduttività della stessa paglia si correla bene con il suo contenuto di umidità, come si può vedere nella Figura 2-9.

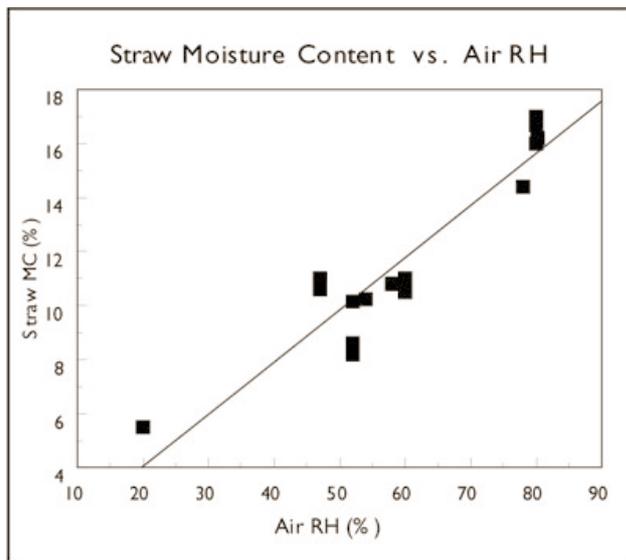


Figura 2-9: Relazione fra l'umidità della paglia e la RH

Sotto al 55%, il tasso di equilibrio è lento. Il blocco perde facilmente l'umidità se la palla ha un tasso di umidità inferiore, ma è lento a riacquistare l'umidità se il livello di umidità nella palla aumenta ma rimane inferiore al 55%.

Ci può essere qualche influenza della temperatura sulla risposta, ma per il range di temperature studiato (da 13 °C a circa 28 °C), tale influenza era minima e difficile da determinare. Tuttavia, per le misurazioni in inverno, nei climi freddi, una correzione della temperatura sarebbe necessaria. La temperatura può essere ragionevolmente approssimata dalla temperatura interna ed esterna, e la profondità del blocco di legno nel muro.

In questi test, non sembrano esserci differenze tra la balsa e l’abete bianco. Sarrebbe interessante ripetere tali prove anche su legnami differenti, maggiormente utilizzati in Italia, come ad esempio l’abete UNI EN 338.

Infine il terzo metodo prevede misure dirette su un campione di paglia. Si è infatti prelevato un campione di circa 10 g, lo si è pesato, quindi lo si è posto all’interno di un foglio di carta stagnola forato (di peso noto) e messo in forno a 120 °C per 4-6 ore. La differenza di peso tra il campione umido e quello essiccato rappresenta quindi l’umidità.

$$\text{Umidità} = (C_w - C_d) / (C_d - F)$$

, dove:

- C_w è il peso del campione bagnato avvolto nella stagnola;

- C_D è il peso del campione secco avvolto nella stagnola;
- F è il peso del foglio di stagnola.

Serve molta cura nella scelta del campione, che deve essere rappresentativo dell'umidità media della balla; infatti, soprattutto a livelli di bassa umidità (<50%), ci possono essere variazioni significative fra un punto e l'altro.

Il campione secco viene quindi reinserito al suo posto nel muro, e lasciato lì fino a torna in equilibrio con l'umidità presente nella balla, funzionando da sensore.

2.2.1.1 Conclusioni sulla strumentazione

Gli studi sul campo mostrano che igrometri e sonde per il contenuto di umidità hanno entrambi la loro utilità, ma anche certe limitazioni.

I primi reagiscono più rapidamente dei secondi, e sono facili da leggere perché funzionano in continuo. Le criticità riguardano la capacità dei sensori di sopravvivere in un ambiente umido, e il fatto che questa rapidità dia un'effettiva risposta ai proprietari circa le prestazioni del muro.

Le sonde che sfruttano il disco di legno richiedono poi uno strumento per leggere il contenuto di umidità del blocco di legno; ottenuto tale valore, il proprietario può calcolare il contenuto di umidità nella paglia. Dal momento che il contenuto di umidità cambia più lentamente rispetto all'umidità relativa, queste sonde dovrebbero rappresentare un modo più realistico per accorgersi del pericolo per la paglia. Sono disponibili dei fattori di correzione a seconda della specie di legno utilizzato e della temperatura.

Lo studio ha però mostrato che la maggior parte delle persone non effettua la lettura correttamente, ad esempio non utilizza i fattori di correzione, e quindi soprattutto nei periodi molto freddi, ci possono essere errori anche di parecchi punti percentuali.

In definitiva si può dire che sia l'igrometro che le sonde per l'umidità nei blocchi di legno sono solo una risposta approssimativa. Sarebbe meglio usare i risultati per definire tre stati di umidità:

- paglia molto secca;
- paglia molto bagnata;
- paglia a rischio e che necessita di una ispezione più accurata.

2.2.2 Risultati dei test

Lo studio del 2000 del CMHC ha controllato le condizioni di diversi gruppi di case, utilizzando i metodi e gli strumenti esaminati in precedenza

In particolare, utilizzando igrometri e sonde per l'umidità del legno, sono state monitorate 22 case di recente costruzione, negli USA e in Canada.

La conclusione dello studio è la seguente: il sistema di costruzione con balle di paglia è ancora in rapida evoluzione, con dettagli e materiali di cambiamento, per cui non ci sono dati sufficienti, né ci sono abbastanza case monitorate per trarre conclusioni definitive.

E' quindi importante installare nei muri degli strumenti per il monitoraggio, e questi strumenti sono economici e facilmente reperibili o costruibili.

Comunque, nelle case controllate le pareti di paglia erano di solito abbastanza asciutte da evitare marciumi, sia a metà balla che sotto all'intonaco esterno. Tuttavia, in presenza di abbondante umidità, dovuta ad esempio a perdite nei tubi o ad una mancanza di protezione dalla pioggia, la paglia comincerà a marcire.

Questo risultato mette in luce il fatto che non sia tanto il materiale in sé a presentare delle criticità, bensì il suo accoppiamento con altri materiali e impianti, e la corretta posa in opera che

non permetta il contatto con acqua. E' indispensabile sottolineare che solo una diffusione di questi risultati e considerazioni, tra progettisti, costruttori e committenti, può contribuire ad un miglioramento della tecnica costruttiva in balle di paglia.

2.2.3 Accoppiamento di paglia e intonaci. Comportamento in presenza di umidità.

I muri in balle di paglia “classici” e “collaudati” dal tempo consistono in balle sulle quali è stato direttamente applicato, su entrambi i lati, uno spessore variabile dai 25 ai 50mm di intonaco a base minerale. L’intonaco di alcuni dei moderni muri in paglia (purtroppo i più diffusi, al momento) è costituito da una malta di cemento applicata direttamente sulle balle. Questo rivestimento costituisce una finitura, una barriera al vapore, una barriera all’aria, una protezione al fuoco, un ostacolo alla presenza di insetti e roditori, oltre ad avere proprietà strutturali.

Attraverso una ricerca del programma canadese CMHC sono state studiate le caratteristiche di permeabilità al vapor d’acqua e di assorbimento di acqua sotto forma di liquido degli intonaci. E’ stato studiato anche il comportamento in presenza di barriere al vapore.

Entrando nei particolari, la ricerca è stata condotta applicando differenti intonaci direttamente sulla superficie delle balle, tagliando dei campioni di balla intonacata, applicando delle barriere dove applicabili e infine valutando attraverso dei tests la permeabilità al vapore e l’assorbimento d’acqua per capillarità.

Sono stati utilizzati: cemento portland standard type 10; film elastomerico a base acrilica; silossani su soluzione del 5% in peso, calcium stearate; olio di semi di lino.

Test Label	Description
A	1:3 Cement: Sand
B	1:1:6 Cement: Lime: Sand
C	1:2:9 Cement: Lime: Sand
D	1:3 Type S slaked Lime: Sand
E	Clay: Sand “earth plaster”
Variations	
A1	As A with an elastomeric paint
A2	As A with siloxane treatment
B1	As B with linseed oil treatment
B2	As B with an elastomeric paint
B3	As B with a siloxane penetrating repellent treatment
B4	As B with calcium stearate (2% by weight of cementitious components)
B6	As B with alkyd (oil) primer and paint
B5	As B with latex primer and paint
B6	As B with oil paint and primer
C1	As C with linseed oil treatment treatment
D1	As D but with slaked Type S quicklime

Tabella 2-1: campioni utilizzati nel test sugli intonaci

La permeabilità al vapore è stata misurata usando procedure in linea con la procedura ASTM (American Standard Test Methods) E96. Il metodo è stato modificato per misurare la permeabilità al vapore di un campione con il 75% di umidità relativa all’esterno e il 100% di umidità relativa all’interno. Queste condizioni simulano la situazione della paglia umida all’esterno che si sta seccando in un clima umido.

L’assorbimento per capillarità può essere più semplicemente misurato attraverso test di rilascio

d'acqua. I tests standard includono la norma europea EuroNorm TC 89/WG10 N95 e la norma tedesca DIN 52617. Questi tests pongono il campione di paglia a contatto con acqua per una profondità che va da 1 mm a 2 mm. L'assorbimento viene misurato attraverso l'aumento di peso dopo un periodo di 24 ore.

Sample	t [mm]	Vapour Permeance [ng/Pa*s*m ²]	Permeability [ng/Pa*s*m]	Water Absorption [kg/m ² *s ^{1/2}]
Cement:Sand				
A - 1:3 datum	43.5	39	1.7	0.038
A1 - 1:3 elastomeric	39.5	40	—	0.0085
A2 - 1:3 siloxane	41.0	40	—	0.0004
Cement:Lime:Sand				
B - 1:1:6 datum	35.0	295	10.3	0.092
B1 - 1:1:6 linseed	36.0	223	8.0	0.067
B2 - 1:1:6 elastomeric	32.5	244	—	0.015
B3 - 1:1:6 siloxane	41.0	203	8.3	0.0006
B4 - 1:1:6 calcium stearate	53.5	81	4.3	0.101
B4 - 1:1:6 calcium stearate	44.0	142	6.2	0.083
B4 - 1:1:6 calcium stearate	53.5	41	2.2	0.093
B5 - 1:1:6 latex paint	36.5	203	—	0.020
B6 - 1:1:6 oil paint	40.0	41	—	0.014
Cement:Lime:Sand				
C - 1:2:9 datum	50.5	295	14.9	0.110
C1 - 1:2:9 linseed	50.5	259	13.1	0.105
Lime:Sand				
D - 1:3 Datum	33.5	565	18.9	0.127
D - 1:3 Datum	35.5	529	18.8	0.173
D1 - 1:3 Quicklime	32.0	459	14.7	0.161
<p>Note: Vapour permeability is a material property, expressed independently of material thickness, in units of ng/Pa*s*m. Vapour permeance is a measure of the ease of vapour flow through a specific layer, in units of perms (ng/Pa*s*m²). Permeability and permeance are analogous to thermal conductivity and thermal conductance respectively. Metric permeance can be converted to US Perms by dividing by 57.4.</p>				

Tabella 2-2: risultati del test

I risultati dimostrano che la permeabilità al vapore dell'intonaco in cemento:sabbia è alquanto bassa. L'aggiunta di calce ha dato come risultato un incremento significativo della citata proprietà, come evidenziato nella Figura 2-10.

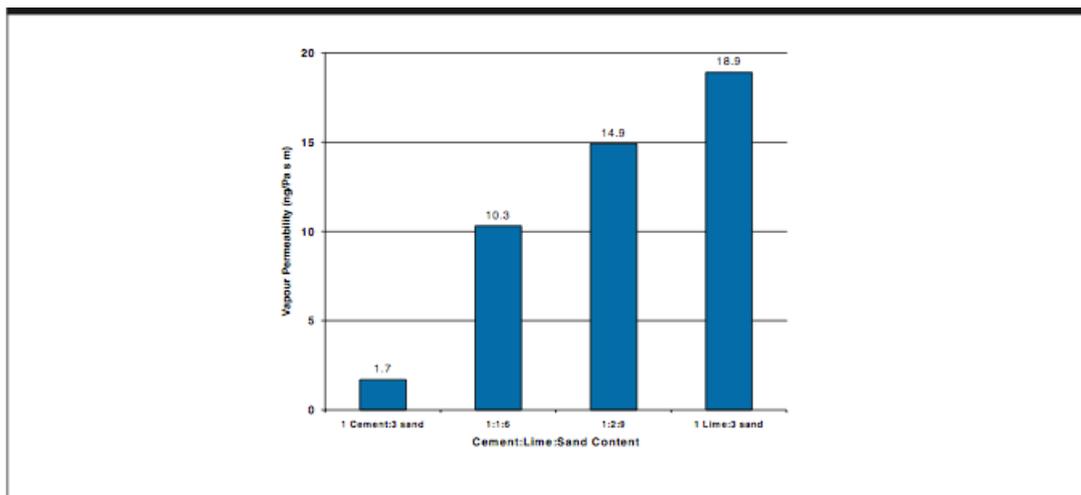


Figura 2-10: diagramma della variazione della permeabilità al vapore al variare delle quantità di cemento:calce:sabbia

L'olio di lino ha un piccolo ma benefico effetto sulla fuoriuscita di acqua degli impasti 1:2:9 e 1:1:6. Può però anche ridurre la permeabilità al vapore.

Il trattamento al calcio stereato riduce la permeabilità al vapore significativamente e non riduce l'assorbimento di acqua: si può dire che non offre alcun vantaggio.

Sia il trattamento ai silossani sia quello agli elastomeri riduce l'assorbimento di acqua fortemente e ha un piccolo effetto sulla permeabilità al vapore. I trattamenti sembrano lavorare bene, sebbene non se ne conoscano le performances a lungo termine.

2.2.3.1 L'intonaco in calce e canapa

Recenti esperienze di costruzione in balle di paglia vedono l'accoppiamento con intonaci in calce e canapa ("Calcecanapa" è un marchio registrato).

Tra i materiali naturali tradizionali ma non convenzionali spicca di sicuro la canapa. La canapa (*Cannabis Sativa*, L. 1753) è una pianta a ciclo annuale della famiglia delle Cannabacee. 'Sativa' significa utile ed è stata utilizzata dall'uomo fin dai tempi antichi per ricavarne fibre lunghe e tenaci, adatte a produrre soprattutto tessuti, corde e vele. Gli usi di questa pianta sono assai diversificati e oggi questa versatilità, unita ad una coltura agricola a basso impatto ambientale, ha portato molti a considerarla una "materia prima" di grande interesse per il futuro. Dalla pianta si ricava la fibra (ad uso tessile), la stoppa (fibra di qualità inferiore non adatta a uso tessile) e il canapulo, cioè il residuo legnoso che si è scoperto essere un eccellente isolante. Della canapa quindi si usa tutto, senza scarti.

Per millenni, l'uomo ha costruito con la calce, creando opere che sono giunte fino a noi. Oggi questo materiale nobile è tornato attuale: per conservare il passato e costruire il futuro abbiamo di nuovo bisogno di calce.

Ma la calce non è tutta uguale. Per un'edilizia eco-sostenibile, ed ovviamente per il restauro, occorre calce qualificata. Ci sono istituti, come La Banca della Calce, che attraverso disciplinari di produzione severi, certificazioni uniche al mondo ed etichettature dettagliate garantiscono una calce di qualità superiore, che esprime al massimo tutte le sue potenzialità:

compatibile con i materiali antichi, ecosostenibile nei processi produttivi, salubre per ambienti più igienici e non inquinati.

Si è scoperto quindi che il residuo legnoso della pianta della Canapa è un eccellente isolante, che diventa assai duttile se additivato con leganti naturali, prima fra tutte la calce. È così che nasce Calcecanapa, un prodotto formulato utilizzando esclusivamente canapulo, grassello di calce magnesiaco, calce idraulica naturale (NHL) e cemento naturale (Roman Cement). Il Roman Cement è un legante idraulico naturale, ottenuto dalla cottura a bassa temperatura (circa 900°C) di calcari argillosi analogamente alla calce idraulica naturale. È caratterizzato da una presa rapida e da eccellenti resistenze meccaniche. Scoperto in Inghilterra alla fine del Settecento, è un materiale che appartiene alla tradizione costruttiva Europea. E' dunque un materiale "storico" a tutti gli effetti, che nulla ha in comune con i cementi moderni artificiali tipo Portland. La composizione chimico-mineralogica del Roman Cement è molto vicina a una calce idraulica naturale e lo rende pertanto assolutamente adatto per lavori di recupero di edifici storici e di bioedilizia. Il Roman Cement può essere pertanto considerato una calce idraulica naturale ad elevate resistenze meccaniche.

L'unione di questi materiali è alla base della realizzazione di un bio-materiale da costruzione che può essere utilizzato sia per la creazione di edifici caratterizzati da ottime caratteristiche termiche sia per la creazione di ambienti dall'alto confort abitativo. Può essere utilizzato in forma di materiale sciolto (il canapulo viene solo avvolto dalla calce), per l'isolamento di coperture o intercapedini, oppure può essere formulato in miscela semiliquida a rapido indurimento per intonaco, termo intonaco e cappotto, quest'ultimo da posare con l'ausilio di cassetture. Ma calce e canapa possono anche essere assemblati in forma di mattoni per essere utilizzati alla stregua di comuni laterizi (o balle di paglia) oppure in pannelli di dimensioni variabili per le tamponature.

La miscela di calce e canapa è un materiale interessante per costruzioni sostenibili, a risparmio energetico ed ambientale, essendo un materiale 'carbon negative' che assorbe e trattiene carbonio, riducendo le emissioni attive di CO₂ in atmosfera. La canapa, infatti, è una materia prima rinnovabile a breve termine (pianta annuale) con un forte potere di compensazione di CO₂. La calce è un legante sostenibile sotto il profilo ambientale, perché in grado di riassorbire parte della CO₂ emessa in fase di calcinazione. Il bilancio di CO₂ e di "energia grigia" del canapulo puro, riferito ad "unità funzionali" (FU) di 1 m² di parete, risultano eccellenti (Tabella 2-3); per quanto riguarda il composto di canapa e calce, i bilanci tendono ad essere meno efficienti all'aumentare della quantità e della tipologia di calce presente nella miscela.

	Canapulo	Calcecanapa
Bilancio Energetico (kWh/m ²)	6	60
Bilancio CO ₂ (kg eq CO ₂ /m ²)	-34	-9

Tabella 2-3: bilancio energetico e di CO₂ di canapulo e calce canapa

La miscela Calcecanapa viene lavorata in impastatrice e quindi applicata a mano o a macchina, secondo gli impieghi, consentendo il raggiungimento di ottimi livelli di isolamento, la minimizzazione dei ponti termici e una buona permeabilità al vapore. Dopo la messa in opera, il composto indurisce per l'evaporazione dell'acqua, e per la carbonatazione e l'idratazione della calce. Il canapulo, ricco di silice, a contatto con la calce subisce un processo di mineralizzazione, che una volta in opera aumenta le resistenze meccaniche e preserva il materiale dal deterioramento. Il tipo di legante (calce aerea, calce idraulica, ecc.), il tipo di canapa (qualità e

lunghezza del canapulo, ecc.) e le relative proporzioni in cui i componenti sono mescolati, determinano materiali con caratteristiche distinte, adatti ai differenti impieghi in edilizia. La miscela di canapa e calce è un materiale naturale che sembra competere sia dal punto di vista prestazionale che da quello applicativo con i più diffusi sistemi di isolamento sintetici. Alla conclusione del cantiere l'edificio in cui è stato utilizzato questo materiale non differisce esteticamente da un edificio costruito con tecniche convenzionali, a meno che il progetto non preveda di mantenere la naturale finitura. In Tabella 2-4 sono riportate alcune specifiche tecniche in sintesi per alcune formulazioni di Calcecanapa.

Caratteristiche tecniche	Sottotetto e Intercapedine	Termointonaco	Sottofondo
massa volumica apparente (indurita) [kg/m ³]	260 ± 4%	440	350
coeff. diffusione vapore acqueo [m] UNIEN 1015-18	4.5	5.3	6
potere fonoisolante [dB] su parete UNIEN 1015-12	52	52	52
Calore Specifico [J/kg K]	800	800 (termointonaco) 1000 (intonaco di finitura)	800
Reazione al fuoco UNIEN 13501	classe A2	classe A2	classe A2
Assorbimento d'acqua UNI 7699	classe W1	classe W1	classe W1
Conducibilità termica [W/mK] UNIEN 1745	0.06	0.095	0.07

Tabella 2-4: specifiche tecniche Calcecanapa



Figura 2-11: granulometria di termointonaco di calcecanapa prima dell'asciugatura finitura.

2.2.4 Resistenza al fuoco

Una delle prime domande che viene in mente quando si pensa alle case di paglia è: e se prende fuoco? E' intuitivo pensare che un muro di paglia bruci bene, essendo la paglia molto infiammabile. Tuttavia, il fuoco richiede comburente oltre a combustibile, e la paglia, estremamente compressa nelle balle, riduce drammaticamente la capacità dell'ossigeno di alimentare la fiamma. La superficie a contatto con il fuoco si carbonizza, ma poi la brace resta a covare sotto la cenere, evitando una combustione rapida.

Inoltre le pareti del muro sono intonacate, e ciò garantisce un'ulteriore protezione alle fiamme.

Il codice edilizio in vigore in Italia dal 2007 esprime la sicurezza agli incendi in funzione di "resistenza al fuoco", cioè la capacità di una costruzione, di una parte di essa o di un elemento costruttivo di mantenere, per un tempo prefissato:

- la resistenza R: attitudine a conservare la resistenza meccanica sotto l'azione del fuoco;
- l'ermeticità E: attitudine a non lasciar passare, né produrre, se sottoposto all'azione del fuoco su un lato, fiamme, vapori o gas caldi sul lato non esposto;
- l'isolamento termico I: attitudine a ridurre la trasmissione del calore.

Con il simbolo REI (seguito da un numero n) si identifica un elemento costruttivo che deve conservare per un tempo determinato n, espresso in minuti, la resistenza meccanica, la tenuta alle fiamme e ai gas caldi, l'isolamento termico.

La normativa italiana prevede che sia obbligatorio presentare una pratica antincendio nel caso di civile abitazione a patto che questa sia di un'altezza superiore ai quattro piani.

In generale, una volta che il muro è stato intonacato su entrambi i lati, la combinazione tra una superficie incombustibile e un interno isolante che non brucia bene rendono la parete in balle di paglia una struttura molto resistente al fuoco. Questo è stato verificato con una serie di test svolti in diversi paesi prima del 2002, e raccolti nell'articolo "Straw bale fire safety" del 2003.

Nell'articolo si fa riferimento al test ASTM E-119 (American Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials). L'"American Society for Testing and Materials" (ASTM) è leader riconosciuto a livello mondiale nello sviluppo e nella fornitura di standard internazionali a consenso volontario. Il test standard fornisce la misura della trasmissione del calore e della trasmissione di gas caldi attraverso il provino; per gli elementi portanti, la misurazione della capacità di carico del provino durante l'esposizione di prova, mentre per i singoli membri portanti quali travi e colonne la misurazione della capacità di carico sotto l'esposizione di prova, considerando anche le condizioni di sostegno (trattenuto o non trattenuto). Come per il REI, il muro viene poi classificato in base al tempo di resistenza al fuoco.

Si riportano di seguito 5 tests:

- 1993, New Mexico; sono stati svolti 2 diversi test, uno su un pannello nudo e l'altro su una balla intonacata. Nel primo caso si è sottoposta una parete a 920 °C per 30 minuti; quando il test è stato interrotto meno della metà della balla era carbonizzata. Nel secondo test invece si è misurato l'incremento di temperatura sul lato opposto al fuoco: dopo 2 ore di fiamma a 1060 °C l'aumento maggiore è stato di 12 °C circa;
- 1996, California; il test ASTM E-119 svolto dalla University of California Richmond Field Station ha facilmente superato i criteri per classificare il muro da 60 minuti. Secondo il parere degli esperti presenti alla prova, il muro probabilmente sarebbe passato anche come una struttura da 120 minuti;

- 2001, Vienna; il gruppo Appropriate Technology Group (GrAT) del Vienna Technical Institute ha condotto una prova F90 (simile alla ASTM E-119), che ha valutato un muro di balle di paglia intonacato in 90 minuti;
- 2001, Danimarca; il Danish Fire Technical Institute ha testato un muro di balle di paglia intonacato con fuoco sul lato esposto a 1000 °C; la struttura è stata valutata in 30 minuti, con aumento di temperatura del lato non esposto di un solo grado. L'aumento medio massimo consentito per superare quella prova sarebbe stato 80 °C;
- 2002, Australia; membri della AUSBALÉ hanno testato singolarmente balle intonacate secondo lo standard australiano, simulando il calore di un incendio boschivo. Sottoposto ad un calore massimo di intensità di 29 kilowatt per metro quadrato, nessuna delle nove balle intonacate si è accesa, né ha sviluppato crepe visibili. Secondo il responsabile, questo li qualifica come non combustibili sotto l'attuale Australian Bushfire Code AS 3959.

Inoltre un ulteriore studio svolto nel 2003 al Politecnico di Braunschweig, in Germania, ha classificato un muro di paglia come R30-90, secondo la classificazione in uso nell'Unione Europea vista in precedenza.

In conclusione, la conoscenza delle proprietà di resistenza al fuoco dei muri in balle di paglia è ancora incompleta, ma i test e le esperienze svolte sul campo fino ad oggi sono stati molto incoraggianti.

Ad oggi la maggior parte degli incendi delle case di paglia sono avvenuti in fase di costruzione, legati ad attività quali ad esempio la saldatura o la molatura, e con pareti non ancora intonacate e molta paglia sciolta sparsa per terra. E' fondamentale quindi che si diffonda la conoscenza delle misure di sicurezza di base per i cantieri di questo tipo: pulire spesso (2-4 volte al giorno) la zona dalla paglia sciolta, ridurre al massimo gli spazi e le crepe fra una balla e l'altra, che rappresenta la zona più critica di passaggio della fiamma e intonacare il prima possibile, addirittura si può stendere una copertura sulla parete che rimarrà esposta prima dell'impilamento.

2.2.5 Isolamento termico

L'isolamento termico dell'involucro rappresenta la strategia fondamentale che si ha a disposizione per ridurre in modo significativo le perdite energetiche dell'edificio, cui si deve sempre dare priorità, sia nelle nuove costruzioni che negli interventi sull'esistente.

L'isolamento termico permette infatti di ridurre il flusso di calore dall'interno verso l'esterno o verso gli ambienti non riscaldati durante il periodo freddo, e quindi di limitare il dispendio energetico per mantenere la temperatura interna a livelli di comfort.

Il compito fondamentale dell'isolante termico è quello di ostacolare e quindi rallentare il flusso di calore attraverso gli elementi disperdenti dell'involucro: pareti, tetto, primo solaio, finestre.

Per quantificare il calore che viene disperso, in regime invernale, attraverso un elemento costruttivo (pareti, tetto, solaio) è necessario far riferimento sia ad alcune grandezze fisiche proprie dei singoli materiali che lo compongono, sia a delle grandezze in grado di misurare il comportamento complessivo dell'intero elemento. Materiali ed elementi costruttivi diversi si comportano infatti in modo differente nei confronti del passaggio di calore, ossia possono più o meno ostacolarlo.

Si definiscono:

- **conducibilità termica λ** (o conduttività termica): è una caratteristica del materiale coibente o del materiale edile. Esprime quanta energia riesce a fluire attraverso il materiale che si sta valutando; se un materiale ha un valore λ molto basso è un ottimo coibente. Si misura in $W/(m \cdot K)$. In altri termini, la conducibilità termica è una misura dell'attitudine di una sostanza a trasmettere il calore;
- **trasmittanza termica U** : non è una caratteristica del materiale come la conduttività termica, ma è invece la caratteristica dell'elemento costruttivo progettato. U indica quanta energia attraversa l'elemento costruttivo che abbiamo progettato: un valore di U molto basso indica un ottimo elemento costruttivo. La trasmittanza si misura in $W/(m^2 \cdot K)$, indica cioè quanti Watt di energia vengono dispersi attraverso $1 m^2$ per una differenza di temperatura di $1 K$ tra dentro e fuori.

In generale materiali ad alta densità come il calcestruzzo o i metalli sono buoni conduttori del calore; i materiali porosi e leggeri hanno invece migliori capacità isolanti.

Con il termine materiale isolante sono indicati tutti i materiali con un valore di $\lambda < 1 W/(m \cdot K)$; generalmente i materiali isolanti comunemente utilizzati dall'Agenzia CasaClima hanno valori di $\lambda < 0,5 W/(m \cdot K)$.

La norma di riferimento per il calcolo della trasmittanza termica è la UNI EN ISO 6946:1999.

Il valore di U di un elemento costruttivo si ottiene calcolando l'inverso della resistenza totale R_T e dipende quindi dal valore λ dei materiali che compongono l'elemento, dai relativi spessori e dalle resistenze termiche superficiali;

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \frac{S_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{S_n}{\lambda_n} + R_{se}}$$

dove:

- R_{si} e R_{se} sono le resistenze termiche superficiali rispettivamente interna ed esterna, e rappresenta quella resistenza dovuta a piccoli strati d'aria in prossimità della parete che il calore deve superare prima di

entrare o uscire dall'elemento. Questi valori sono normati nella UNI EN ISO 6946 a seconda della direzione del flusso di calore; si può comunque assumere:

- $R_{si} = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
- $R_{se} = 0,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
- S è lo spessore dello strato in metri;
- $\frac{S_n}{\lambda_n}$ è la resistenza termica al passaggio del calore dello strato n-esimo di materiale omogeneo.

Il D.M. del 26 gennaio 2010 sulla riqualificazione energetica degli edifici stabilisce i valori limite della trasmittanza termica U, espressi in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, e riportati in **Tabella 2-5**.

Zona climatica	Strutture opache verticali	Strutture opache orizzontali o inclinate		Chiusure apribili e assimilabili(**)
		Coperture	Pavimenti(*)	
A	0,54	0,32	0,60	3,7
B	0,41	0,32	0,46	2,4
C	0,34	0,32	0,40	2,1
D	0,29	0,26	0,34	2,0
E	0,27	0,24	0,30	1,8
F	0,26	0,23	0,28	1,6

Tabella 2-5: valori limite della trasmittanza termica U espressi in $(\text{W}/\text{m}^2\text{K})$

Supponiamo ora di trovarci nella zona climatica D, e di dover quindi dimensionare una parete di materiale omogeneo in modo che abbia trasmittanza $U \geq 0,29 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Consideriamo 2 materiali diversi, polistirolo espanso con $\lambda = 0,045 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ oppure calcestruzzo armato con $\lambda = 2,3 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Nel caso del polistirolo espanso avremo:

$$S=0,15\text{m}$$

Nel caso del calcestruzzo armato invece:

$$S=7,54\text{m}$$

Questo significa che 15 cm di isolante proteggono dal freddo come 7,5 m di calcestruzzo armato! Appare dunque chiara l'importanza dell'isolamento termico durante la progettazione di un edificio.

Di seguito si riportano 3 diversi studi eseguiti in Europa secondo standard europei, volti a determinare la trasmittanza termica delle balle di paglia.

2.2.5.1 La prova tedesca

Questa prova è stata svolta nel maggio 2003 presso il Forschungsinstitut für Wärmeschutz (Istituto di ricerca sull'isolamento termico) di Monaco, un organismo accreditato dalla Commissione europea per la sorveglianza e certificazione di materiali di isolamento termico e componenti per l'edilizia.

È stata seguita la norma DIN 52612 EN 12667 ISO 8301, che standardizza il metodo di determinazione della conducibilità termica; la prova è standardizzata anche in Italia, con il nome di UNI 7891.

La paglia viene prima seccata a 70 °C per eliminare l'umidità, quindi viene pressata all'interno di un telaio di legno di 50x50 cm e 10 cm di spessore, fino a raggiungere una densità di 90 kg/m³.

Il provino viene quindi posto tra due termoflussimetri e due piastre mantenute a temperatura costante tramite la circolazione di fluidi termostatati; tra le 2 piastre c'è una differenza di temperatura di circa 15 °C.

In particolare l'uso del flussimetro è standardizzato dalla ISO 8301, mentre l'uso delle piastre dalla ISO 8302.

In presenza di ambienti a diversa temperatura si genera un flusso di calore dalla situazione a temperatura superiore a quella a temperatura inferiore, fino a quando non sia raggiunto l'equilibrio termico; tale flusso di calore viene misurato dal flussimetro, e ci permette di valutare la conducibilità del materiale.

Il valore di conducibilità misurato è quello cerchiato in verde in Figura 2-12: Relazione della prova secondo lo standard DIN 52612 EN 12667 ISO 8301; si riferisce al campione secco, con temperatura media delle 2 piastre di 10 °C:

$$\lambda_{10, tr} = 0,0379 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$



Wärmeleitfähigkeit nach DIN 52612

Prüfbericht Nr.: F.2-430/03

Antragsteller: Fachverb. Strohballenbau Deutsche e.V. Dipl.-Ing. Dirk Scharmer, 21335 Lüneburg
Materialbezeichnung: "Strohballen"
Materialbeschreibung: Stroh, nach Angabe unbehandelt, zu Ballen mit den Abmessungen ca. 35 cm x 50 cm x 100 cm gepresst und verschürzt.
 (nach Angabe) Rohdichte nach Angabe: 90-110 kg/m³
Probenahme: Durch Antragsteller am 26.02.03 übersandt.
Prüfeinrichtung: Gerät für das Zweiplattenverfahren nach DIN 52612:
 Heizplatte 300 x 300 mm mit Heizring 500 x 500 mm

Vorbereitung und Einbau des Materials: *) Mittelwerte (zwei Probekörper)
 Einbaudicke^{*)}: 0.1000 m Einbaumasse^{*)}: 2.251 kg (nach Trocknung bei 70 °C)
 Probenfläche: 0.2500 m² Rohdichte^{*)}: 90.0 kg/m³
 Bemerkung: Der Strohballen wurde bei 70°C bis zur Massekorstanz getrocknet und in die der Rohdichte von 90 kg/m³ entsprechende Menge in einen Sperrholzrahmen mit 100 mm gepresst. Anschließend wurde die Messung durchgeführt.

Messwerte:

Versuch Nr	Wärmestrom W	Temperatur der Probenoberfläche		Mitteltemperatur der Probe °C	Temperaturdifferenz an der Probe K	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)
		warmen °C	kalten °C			
1	1.139	18.7	2.5	10.6	16.2	0.0380
2	1.159	31.3	15.6	23.5	15.7	0.0401
3	1.159	44.3	29.2	36.8	15.1	0.0419
4	----	----	----	----	----	----
5	----	----	----	----	----	----

Messunsicherheit: < 2%

Angaben über das Material nach der Messung bis 44.3 °C Warmseite: *) Mittelwerte (zwei Probekörper)
 Ausbaudicke^{*)}: 0.1000 m Ausbaumasse^{*)}: 2.251 kg
 Rohdichte^{*)}: 90.0 kg/m³ Masseänderung: 0.0 %
 Bemerkung: --

Ergebnisse:

Wärmeleitfähigkeit bei 10°C Mitteltemperatur im trockenen Zustand $\lambda_{10, tr}$ W/(m·K)	Zuschlagswert nach DIN V 4108-4 Tab. 4 Zelle 4 Z	$\lambda_{10, tr}$ mit Zuschlagswert Z λ_z W/(m·K)	Rechenwert nach DIN 4108 λ_R W/(m·K)
0.0379	0.20	0.045	*)

Beurteilung: *) Gemessenen Werte der Wärmeleitfähigkeit gelten für den trockenen Zustand der geprüften Probe.
 *) Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit kann nur im Rahmen eines bauaufsichtlichen Zulassungsverfahrens festgelegt werden.

Grüßtefing, den 02.05.2003

Sachbereichsleiter:

 Dipl.-Ing (FH) W. Albrecht



Prüfer:

 H. Orner

Prüfergebnisse beziehen sich nur auf Prüfgegenstände.
 Eine auszugsweise Veröffentlichung oder eine Bezugnahme auf den Prüfbericht in Druckschriften ist nur mit schriftlicher Genehmigung des FIW München zulässig.

Figura 2-12: Relazione della prova secondo lo standard DIN 52612 EN 12667 ISO 8301

2.2.5.2 La prova austriaca

Questa prova è stata effettuata nel 2000, dall'austriaca GrAT (Gruppe Angepasste Technologie), un'associazione scientifica per la ricerca e lo sviluppo di tecnologie appropriate.

Si fa riferimento all'ÖNORM B 6015-1, una norma standardizzata dall'ente austriaco ASI; il titolo di tale norma è "Determinazione della conduttività termica mediante piastra calda - Parte 1: Procedura di prova e valutazione dei risultati".

Pur non avendo trovato riferimenti a norme internazionali né europee, la descrizione della procedura seguita riportata nella relazione sottostante e la dimensione e la preparazione del provino, fanno ipotizzare che la prova sia analoga a quella vista in precedenza per lo studio tedesco.

Anche il risultato di conducibilità termica ottenuto è pressoché identico al precedente; si riferisce al campione secco, con temperatura media delle 2 piastre di 10 °C:

$$\lambda_{10, \text{tr}} = \mathbf{0,0380 \text{ W/(m}\cdot\mathbf{K)}}$$

Gruppe angepasste Technologie
Technische Universität Wien
zHd. Herrn D.I. Wimmer
Wiedner Hauptstrasse 8 - 10
1040 Wien



MAGISTRAT DER STADT WIEN
MA 39 - VFA
MAGISTRATSABTEILUNG 39
VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT DER STADT WIEN
gegründet 1879
AKKREDITIERTE PRÜF- UND ÜBERWACHUNGSSTELLE
A-1110 Wien, Rinnböckstraße 15
Telefon: (national 01), (international +431) 79514-8039 oder DW
Telefax: (national 01), (international +431) 79514-99-8039 oder DW
Internet e-mail: post@m39.magwien.gv.at

MA 39 - VFA 2000-0563.02

Wien, 6. November 2000



Untersuchungsbericht

über die Messung der Wärmeleitfähigkeit von

Strohballen

Antragsteller: Gruppe angepasste Technologie
Technische Universität Wien

Antragsdatum: 6. April 2000

Prüfgut: Das Prüfgut (2 Holzrahmen, - oben und unten mit Eisengitter abgeschlossen und mit Stroh verfüllt) wurde am 6. April 2000 an die MA 39 - VFA geliefert. (um Messverfälschungen zu vermeiden wurden vor der Messung die Eisengitter entfernt).

Die Rahmen besaßen die Abmessungen
500 mm x 500 mm x 100 mm

Auf Wunsch des Antragstellers wurden die Rahmen mit Strohfüllung nach einer entsprechenden Vortrocknung geprüft.

Prüfprogramm: Messung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattenapparat gemäß ÖNORM B 6015-1 (letztgültige Ausgabe)

Kurzbeurteilung: Die Strohballen weisen eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda_{10,15} = 0,0380 \text{ W/mK}$ auf.

Der Bericht umfasst 2 Seiten.



Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Alle Seiten des Berichts sind mit dem Auftraggeber der Stadt Wien vereinbart. Vervielfältigung und Auszüge bedürfen der schriftlichen Bewilligung der Anstalt. Laborberichte, Gutachten und Stellungnahmen werden im nicht akkreditierten Bereich durchgeführt. Es gelten die derzeit gültigen Allgemeinen Geschäftsbedingungen der MA 39 - VFA.

Akkreditiert als Prüf- und Überwachungsstelle (1) gemäß AtakG, BGBl. Nr. 488/1992, i.d.F. des Bundesgesetzes BGBl. Nr. 430/1996 per Beschluss des Bundesministeriums für wirtschaftliche Angelegenheiten, GZ. 907/147-002/97 und (2) gemäß WSAG, LGBl. Nr. 30/96 per Akkreditierungsbescheid des Österreichischen Instituts für Bautechnik, Zahl OIB-190-00038-016. Mit dem Akkreditierungsbescheid wird bestätigt, dass die MA 39 - VFA den Anforderungen der EN 45001 und EN 45004 entspricht.

Fernschreiber
114735

Telegrammschritt
MAGISTRAT WIEN

Parteienverkehr
Montag bis Freitag: 7.30 - 15.30 Uhr

DVR
0000191

Bankverbindung:
Bank Austria AG, Wien, Konto 696 254 754

MA 39 - SD 54 - 11999 - 54

Figura 2-13: Relazione della prova secondo lo standard ÖNORM B 6015-1

2.2.5.3 Le prove danesi

Le 2 prove seguenti sono state effettuate nel 2001 dal Danish Technological Institute, un istituto autonomo e senza scopo di lucro, approvato dal Ministero della Scienza, tecnologia e innovazione come GTS Institute.

L'Istituto ha fatto 2 tipi diversi di prove:

- misura per determinare la conducibilità termica λ_{10} per un provino di 10 cm di spessore, con riferimento alle norme ISO 8302;
- misure su un provino intonacato per determinare la trasmittanza termica U secondo lo standard ISO 8990.

Di seguito si riportano solo la descrizione e i risultati delle misure di conducibilità termica λ_{10} , siccome abbiamo già visto che la U non è una caratteristica del materiale, ma dipende dai diversi strati e dal loro spessore.

Le prove sono state fatte sia su balle "on flat", cioè con la paglia parallela al flusso di calore, che "on edge", con paglia perpendicolare al flusso. Inoltre, la λ_{10} è stata misurata per 2 diverse densità, 75 e 90 kg/m³.

Le misure sono state fatte con temperature di circa 0 °C sul lato freddo e di circa 20 °C su quello caldo.

I risultati sono riportati in Tabella 2-6: Risultati delle prove:

Densità kg/m ³	Conducibilità termica λ_{10} W/(m·K)	
	"on flat"	"on edge"
75	0,057	0,052
90	0,060	0,056

Tabella 2-6: Risultati delle prove danesi di conducibilità

Si nota che ci sono piccole variazioni a seconda della densità e della disposizione della paglia; in particolare la λ_{10} è maggiore nel caso di paglia parallela al flusso di calore e nei provini a maggiore densità.

Prøvningsrapport

Dato: 2001.02.08 Rapport nr. 00163 Sagsnr.: 270-9-3141 Side: 1 af 1 info@teknologisk.dk
www.teknologisk.dk

Rekvirent:

By og Byg
Att: Birte Møller Andersen
Postboks 119, 2970 Hørsholm
Tlf. 45 86 55 33

Fabrikant:

By og Byg

Emne:

Halm - varmestrøm parallelt med stråretning
Dimensioner (mm):
Id.nr. 00163 Rekv.nr.

Tabel 1: Emner efter tildannelse

	1	2
Længde mm	501	500
Bredde mm	500	499
Tykkelse under måling mm	138,0	132,8
Densitet af halm-balle kg/m ³	≈ 76,0	
Densitet under måling kg/m ³	75,5	78,1
Fugtindhold under måling vægt %	1,41	2,42

Tørretemperatur i varmeskab 60°C
Materiale tørret inden prøvning

Terminer:

Emne udtaget:
Emne modtaget: 2000.12.12
Emne prøvet: 2000.12.30

Procedure:

Bestemmelse af byggematerialers basisvarmelednings-
evne, λ_{10} W/mK. Prøvningen er udført i henhold til
gældende udgaver af EN 822, 823 (1994) og ISO 8302
(1991).

Resultat

Se tabel 2.
Måleusikkerhed ±2%

Tabel 2: Måleresultater

Må- ling nr.	Middelloverflade temperatur af prøver °C		Middel- tempe- ratur differens	Middel- tempe- ratur af prøver	Middel varme- lednings- evne
	Varme sider	Kolde sider	K	°C	W/mK
1	20,00	0,01	19,99	10,01	0,0570
2	29,00	9,15	19,85	19,07	0,0611

Vilkår

Prøvningen er udført på omstændige vilkår i henhold til de
for laboratoriet af DANAK fastlagte retningslinier herfor.
De i rapporten anførte resultater gælder kun for det
prøvede emne. Prøvningsrapporten må kun gengives i
uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget.

Bemærkninger:

Varen er prøvet "tør".
Der vil blive foretaget parallelmåling på én halmvare efter
opbevaring ved 23°C og 50% RF.


Otto Paulsen
Laboratorieansvarlig
λ-Laboratoriet, TELA
Energidivisionen, Taastrup

S:\SP\Lamb-00\ur00163-byg.doc

Figura 2-14: Relazione della prova per densità di 75 kg/m³ e paglia parallela al flusso di calore



Prøvningsrapport

Dato: 2001.02.08 Rapport nr. 00180 Sagsnr.: 270-9-3141 Side: 1 af 1 info@teknologisk.dk
www.teknologisk.dk

Rekvirent:

By og Byg
Att: Birte Møller Andersen
Postboks 119, 2970 Hørsholm
Tlf. 45 86 55 33

Fabrikant:

By og Byg

Emne:

Halm - varmestrøm parallelt med stråretning
Dimensioner (mm):
Id.nr. 00180 Rekv.nr.

Tabel 1: Emner efter tildannelse

	1	2
Længde	mm 501	500
Bredde	mm 500	499
Tykkelse under måling	mm 153,5	144,9
Densitet af halmballe	kg/m ³	≈ 76,0
Densitet under måling	kg/m ³ 84,3	99,4
Fugtindhold under måling	vægt % 0,22	0,15

Tørretemperatur i varmeskab 60°C
Materiale tørret inden prøvning

Terminer:

Emne udtaget:
Emne modtaget: 2000.12.12
Emne prøvet: 2001.01.09

Procedure:

Bestemmelse af byggematerialers basisvarmelednings-
evne, λ_{10} W/mK. Prøvningen er udført i henhold til
gældende udgaver af EN 822, 823 (1994) og ISO 8302
(1991).

Resultat

Se tabel 2.
Målesikkerhed $\pm 2\%$

S:\SP\Lamb-00\mr00180-byg.doc


Otto Paulsen
Laboratorieansvarlig
λ-Laboratoriet, TELA
Energidivisionen, Taastrup

Tabel 2: Måleresultater

Må- ling nr.	Middeloverflade temperatur af prøver °C		Middel- tempe- ratur differens	Middel- tempe- ratur af prøver	Middel varme- lednings- evne
	Varme sider	Kolde sider	K	°C	W/mK
1	20,00	-0,03	20,03	9,98	0,0603

Vilkår

Prøvningen er udført på omstændige vilkår i henhold til de
for laboratoriet af DANAK fastlagte retningslinier herfor.
De i rapporten anførte resultater gælder kun for det
prøvede emne. Prøvningsrapporten må kun gengives i
uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget.

Bemærkninger:

Varen er prøvet "tør".
Der vil blive foretaget parallelmåling på én halmballe efter
opbevaring ved 23°C og 50% RF.

Figura 2-15: Relazione della prova per densità di 90 kg/m³ e paglia parallela al flusso di calore



Prøvningsrapport

Dato: 2003.01.28 Rapport nr. 01041/rev. Sagsnr.: 270-9-3141 Side: 1 af 1

Rekvirent:

By og Byg
Att: Birte Møller Andersen
Postboks 119, 2970 Hørsholm
Tlf. 45 86 55 33

Procedure:

Bestemmelse af byggematerialers basisvarmelednings-
evne, λ_{10} W/mK. Prøvningen er udført i henhold til
gældende udgaver af EN 822, 823 (1994) og ISO 8302
(1991).

Fabrikant:

By og Byg

Resultat

Se tabel 2.
Måleusikkerhed $\pm 2\%$

Emne:

Halm – varmestrøm vinkelret på stråretning
Dimensioner (mm):
Id.nr. 01041

Tabel 2: Måleresultater

Tabel 1: Emner efter tildannelse

		1	2
Længde	mm	500	500
Bredde	mm	500	499
Tykkelse under måling	mm	129,9	128,0
Densitet af balle	kg/m ³	76,0	
Densitet under måling	kg/m ³	75,6	77,0
Fugtindhold under måling	vægt %	0,44	0,51

Må- ling nr.	Middeloverflade temperatur af prøver °C		Middel- tempe- ratur different K	Middel- tempe- ratur af prøver °C	Middel varme- lednings- evne W/mK
	Varme sider	Kolde sider			
1	20,00	0,06	19,94	10,03	0,05153

Vilkår

Prøvningen er udført på omstændige vilkår i henhold til de for
laboratoriet af DANAK fastlagte retningslinier herfor. De i
rapporten anførte resultater gælder kun for det prøvede
emne. Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag, hvis
laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget.

Tørretemperatur i varmeskab 60°C
Ingen tørring inden prøvning

Bemærkninger:

Terminer:

Emne udtaget: 2000.12.12
Emne modtaget: 2000.12.12
Emne prøvet: 2001.05.17


Otto Paulsen
Laboratorieansvarlig
λ-Laboratoriet, TELA
Energidivisionen, Taastrup

S:\SP\Lambda-rapp-01\nr01041-byg.doc

Figura 2-16: Relazione della prova per densità di 75 kg/m³ e paglia perpendicolare al flusso di calore

Prøvningsrapport

Dato: 2003.01.28 Rapport nr. 01030/rev. Sagsnr.: 270-9-3141 Side: 1 af 1 info@teknologisk.dk
www.teknologisk.dk

Rekvirent:

By og Byg
Att: Birte Møller Andersen
Postboks 119, 2970 Hørsholm
Tlf. 45 86 55 33

Fabrikant:

By og Byg

Emne:

Halm – varmemstrøm vinkelret på stråretning
Dimensioner (mm):
Id.nr. 01030

Tabel 1: Emner efter tildannelse

	1	2
Længde mm	500	500
Bredde mm	500	499
Tykkelse under måling mm	125,9	125,0
Densitet af balle kg/m ³	76,0	
Densitet under måling kg/m ³	89,5	89,3
Fugtindhold under måling vægt %	5,95	5,53

Tørretemperatur i varmeskab 60°C
Ingen tørring inden prøvning

Terminer:

Emne udtaget: 2000.12.12
Emne modtaget: 2000.12.12
Emne prøvet: 2001.05.03

Procedure:

Bestemmelse af byggematerialers basisvarmelednings-
evne, λ_{10} W/mK. Prøvningen er udført i henhold til
gældende udgaver af EN 822, 823 (1994) og ISO 8302
(1991).

Resultat

Basisvarmeledningsevne $\lambda = 0,05572$ W/mK ved
middeltemperatur 10°C
Temperaturindflydelse $\Delta\lambda/\Delta T = 2,86E-04$ W/mK².
Målesikkerhed $\pm 2\%$

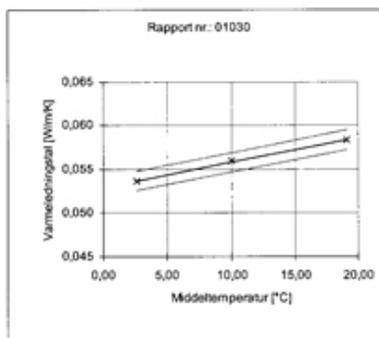
Tabel 2: Måleresultater

Må- ling nr.	Middeloverflade temperatur af prøver °C		Middel- tempe- ratur differens	Middel- tempe- ratur af prøver	Middel varme- lednings- evne
	Varme sider	Kolde sider	K	°C	W/mK
1	12,00	-6,78	18,78	2,61	0,05559
2	20,00	0,00	20,00	10,00	0,05590
3	29,00	9,19	19,81	19,09	0,05821

Vilkår

Prøvningen er udført på omstændige vilkår i henhold til de for
laboratoriet af DANAK fastlagte retningslinier herfor. De i
rapporten anførte resultater gælder kun for det prøvede
emne. Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag, hvis
laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget.

Figur 1



Bemærkninger:



Otto Paulsen
Laboratorieansvarlig
 λ -Laboratoriet, TELA
Energidivisionen, Taastrup

S:\SP\Lambdambda-rapp-01\tr01030-byg.doc

Figura 2-17: Relazione della prova per densità di 90 kg/m³ e paglia perpendicolare al flusso di calore

2.2.6 Conclusioni

In tabella sono riportati i valori di conducibilità delle prove viste in precedenza.

Prova	Anno	Densità kg/m ³	Conducibilità termica W/(m·K) λ_{10}
"Danese" on flat	2001	75	0,057
"Danese" on flat	2001	90	0,060
"Danese" on edge	2001	75	0,052
"Danese" on edge	2001	90	0,056
"Tedesca"	2003	90	0,038
"Austriaca"	2000	90	0,038

Tabella 2-7: Valori di λ_{10} secondo le diverse fonti esaminate

Dalla tabella si nota che i valori sono abbastanza dispersi; appare chiaro che la conducibilità è maggiore quando la paglia è parallela al flusso di calore, mentre la densità non sembra influenzare particolarmente il risultato.

Il valore di λ che si trova tipicamente in rete e laddove si parla delle proprietà di isolamento termico della paglia è di 0,04 W/(m·K); tale valore è in effetti compatibile con quanto detto fin'ora.

Volendo fare un'ipotesi conservativa, per stare dalla parte del sicuro, sarebbe forse meglio considerare un valore di λ leggermente maggiore: $\lambda_{\text{paglia}} = 0,04 \div 0,06$ W/(m·K).

Per dare un senso a questo valore basta pensare che la conducibilità termica per il classico mattone forato comunemente utilizzato in edilizia vale 0,36 W/(m·K), un ordine di grandezza superiore.

2.2.7 Isolamento acustico

Il rumore proveniente dall'esterno, da abitazioni attigue ma anche dall'interno della stessa abitazione, può diventare in particolari condizioni fonte di disagio e fastidio per gli occupanti. Già in fase di progetto devono quindi essere presi precisi provvedimenti finalizzati a:

- evitare che il suono esterno entri nell'edificio o comunque a fare in modo che ne sia smorzata l'intensità;
- evitare che all'interno dell'edificio il suono si propaghi con facilità da un ambiente all'altro.

Per garantire un buon fonoisolamento all'interno degli edifici, ossia minimizzare la trasmissione del rumore, è necessario, oltre che predisporre una corretta dislocazione delle stanze, scegliere per pareti, solai, tetto, dei materiali e delle soluzioni costruttive che assicurino una sufficiente protezione dai rumori, possibilmente migliore rispetto ai limiti di legge.

I limiti di legge a cui è obbligo attenersi in materia di requisiti acustici passivi degli edifici sono quelli fissati dal D.P.C.M. 5/12/97.

Gli edifici sono ripartiti in 7 categorie:

- A. residenze;
- B. uffici;
- C. alberghi;
- D. ospedali;
- E. scuole;
- F. ricreativi e di culto;
- G. commerciali.

A ciascuno di essi competono determinati limiti di rumorosità e requisiti acustici, riportati in Tabella 2-8: Requisiti acustici passivi fissati dal D.P.C.M. 5/12/97

Categoria	R_w^*	$D_{2m,nT,w}^*$	$L_{n,w}^*$	L_{ASmax}^{**}	L_{Aeq}^{**}
D	55	45	58	35	25
A, C	50	40	63	35	35
E	50	48	58	35	25
B, F, G	50	42	55	35	35

* valori espressi in dB

** valori espressi in dB(A)

Tabella 2-8: Requisiti acustici passivi fissati dal D.P.C.M. 5/12/97

Tali requisiti sono:

- R_w' : indice del potere fonoisolante apparente relativo alla parete di separazione tra due ambienti;
- $D_{2m,nT,w}$: indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata;
- $L_{n,w}$: indice del livello sonoro di calpestio dei solai;
- L_{ASmax} : livello massimo di rumore per gli impianti a funzionamento discontinuo (es. scarichi);
- L_{Aeq} : livello massimo di rumore per gli impianti a funzionamento continuo (es. caldaie, condizionatori).

Da luglio 2010 è stata pubblicata in Italia la norma UNI 11367 "Classificazione acustica delle unità immobiliari". Con tale norma è stata introdotta anche in Italia, come già da tempo in altri paesi europei, la procedura di valutazione e verifica in opera di alcuni requisiti acustici con la

possibilità di esprimere tramite un unico descrittore l'insieme dei requisiti. L'elemento caratterizzante della norma è che i valori dei requisiti acustici vanno ottenuti tramite collaudi in opera. Nella Tabella 2-9 seguente sono riportati i valori limite per ogni classe con riferimento ai singoli requisiti.

Classe	$D_{2m,nT,w}^*$	R'_w *	L'_{inw} *	L_{ic}^{**}	L_{id}^{**}
I	≥ 43	≥ 56	≤ 53	≤ 25	≤ 30
II	≥ 40	≥ 53	≤ 58	≤ 28	≤ 33
III	≥ 37	≥ 50	≤ 63	≤ 32	≤ 37
IV	≥ 32	≥ 45	≤ 68	≤ 37	≤ 42

* valori espressi in dB

** valori espressi in dB(A)

Tabella 2-9: Requisiti acustici passivi fissati dalla norma UNI 11367

I limiti vigenti in Italia in materia di prestazioni acustiche degli edifici sono ancora quelli definiti dal D.P.C.M. 5/12/97; infatti la norma UNI 11367 è una norma e non è una legge: pertanto, finché tale norma non sarà ripresa e specificata dalla legislazione italiana, la procedura di classificazione acustica è facoltativa. La classificazione acustica delle unità immobiliari secondo la UNI 11367 è stata introdotta per dare all'acquirente o al locatario un'indicazione, tramite un singolo descrittore ottenuto a seguito di collaudi in opera, delle caratteristiche acustiche di un immobile.

L'indice di potere fonoisolante R_w , in dB, definisce la capacità fonoisolante nei confronti dei rumori aerei di un elemento divisorio. Con il termine R_w ci si riferisce al potere fonoisolante di un elemento piano senza incastri; è quindi una misura teorica, da laboratorio: per questo quando si progetta un edificio di fa riferimento al valore R'_w , ossia al valore per strutture in opera.

R'_w , ossia l'indice del potere fonoisolante apparente di elementi di separazione fra ambienti, tiene conto delle trasmissioni laterali attraverso il contatto con elementi attigui ed è un valore più vicino alla situazione reale e per questo peggiore rispetto ad R_w (anche fino a 7 db).

Più R'_w è alto, migliore è l'isolamento acustico e quindi maggiore è l'abbattimento dell'intensità del rumore.

Il rispetto dei limiti deve essere verificato mediante misurazioni in opera ad edificio finito: in questo modo si tiene conto sia della componente diretta di trasmissione del suono sia della trasmissione per fiancheggiamento, ossia del rumore trasmesso indirettamente attraverso le strutture collegate. Infatti va sempre ricordato che ciò che vale è il comportamento dell'intero sistema costruttivo e non le caratteristiche dei singoli materiali.

2.2.7.1 Esempio di valutazione di R'_w per una casa di paglia

Come abbiamo visto nel paragrafo precedente non esistono in letteratura valori di R'_w per i materiali, dovendolo verificare mediante misurazioni in opera ad edificio finito.

Per farsi un'idea delle caratteristiche della paglia si riporta quindi di seguito la descrizione di una prova svolta nel 2001 dal laboratorio danese DELTA, un istituto accreditato per la ricerca.

Le misure sono state effettuate in una casa ad un solo piano, con pareti in balle di paglia; le balle hanno dimensione di 800x450x380 mm, e una massa di 12÷14 kg.

Le pareti sono intonacate con uno strato di circa 40 mm di argilla.

Sono state effettuate 2 sessioni di misura:

- la prima tra la camera 1 e la camera 2; fra di esse le balle sono posizionate sul lato corto, per uno spessore totale di 460 mm;
- la seconda tra il garage e la camera 1; qui le balle sono sul lato lungo, e lo spessore totale vale quindi 530 mm.
-

Le misure sono effettuate in base allo standard DS/EN ISO 140-4:1998: si impiega una cassa acustica in un locale e si misurano con fonometri i livelli sonori del rumore in entrambi i locali. La differenza delle due misurazioni rappresenta il fonoisolamento del muro.

I risultati sono valutati in base alla DS/EN ISO 717-1:1997: Il potere fonoisolante “globale” di un divisorio (R_w) si ricava posizionando un'opportuna curva di riferimento in modo che la somma degli scarti tra questa e la curva sperimentale soddisfi un requisito minimo. Il valore numerico di R_w è il valore assunto dalla curva di riferimento in corrispondenza di 500 Hz.

Nei certificati delle prove di laboratorio si riportano, oltre a R'_w , anche i valori, in bande di terzi d'ottava, del potere fonoisolante R (relativo al suono di una certa frequenza) e dei cosiddetti termini di adattamento “C”.

I risultati delle misurazioni sono significativamente influenzati dalla trasmissione del suono attraverso le parti in legno presenti nella struttura e dalla presenza di impianti tecnici nel muro.

Misure tra la camera 1 e la camera 2, separate da una parete in balle di paglia intonacate con argilla, per uno spessore totale di 460 mm.

$R'_w (C; C_{tr}) = 46 (0; -2) \text{ db}$

Frekvens f [Hz]	R' 1/3-oktav [dB]
100	33,8
125	38,8
160	41,2
200	42,2
250	43,8
315	38,6
400	42,4
500	40,5
630	42,9
800	43,9
1000	45,8
1250	46,8
1600	49,6
2000	52,2
2500	53,7
3150	56,4

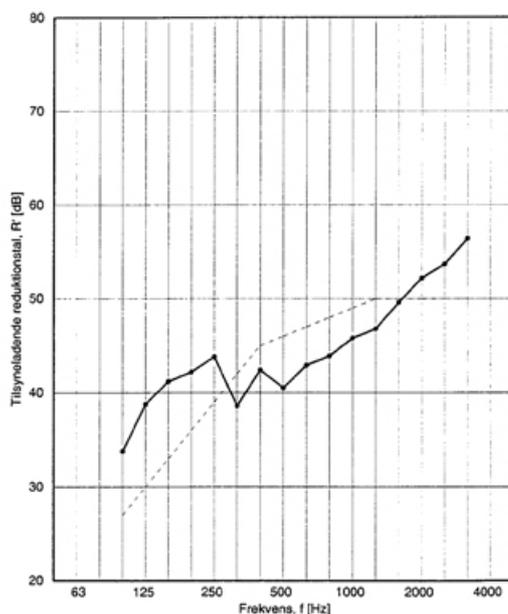


Tabella 2-10: Risultati delle misure fra la camera 1 e la camera 2

Misure tra la camera 1 e il garage, separate da una parete in balle di paglia intonacate con argilla, per uno spessore totale di 530 mm.

$R'_w (C; C_{tr}) = 52 (-2; -6) \text{ db}$

Frekvens f [Hz]	R' 1/3-oktav [dB]
100	34,1
125	34,0
160	35,9
200	37,1
250	38,8
315	45,0
400	48,4
500	49,1
630	50,9
800	52,1
1000	54,4
1250	57,5
1600	57,9
2000	60,8
2500	62,7
3150	62,5

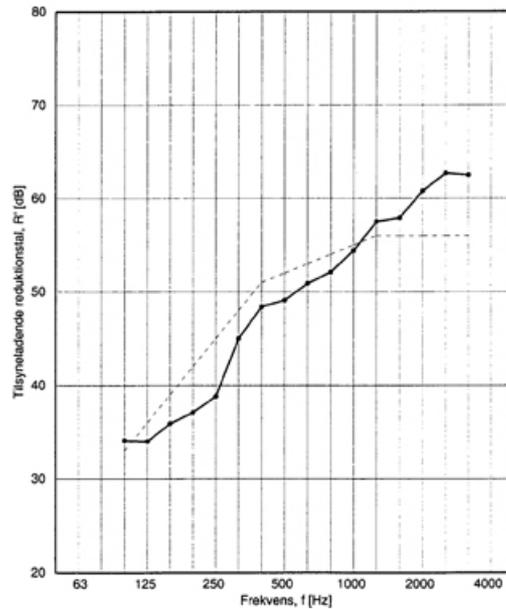


Tabella 2-11: Risultati delle misure fra la camera 1 e il garage

2.3 PAGLIA PER LE COPERTURE: IL VILLAGGIO DI SANTANA A MADEIRA (PORTOGALLO)

La paglia è stata utilizzata anche per creare dei rivestimenti per i tetti. Un'importante testimonianza di tale uso è costituita dalle case “triangolari” di Santana a Madeira, un'isola facente parte dello stato del Portogallo e situata in pieno Atlantico. Le case sono chiamate “Palhoças” o “Casas de colmo” e risalgono con molta probabilità al periodo di scoperta dell'isola, anche se gli articoli turistici le definiscono “primitive”.

Al fine della mia ricerca ho personalmente visitato tale villaggio per poter rendere testimonianza della realizzazione di coperture in paglia.

Si tratta di case utilizzate in origine dai contadini dell'isola. Nella maggior parte dei casi hanno la facciata triangolare dipinta di bianco, azzurro e rosso e il tetto in paglia. Sono basse ma l'interno risulta capiente e confortevole.



Figura 2-18: una classica casa con il tetto “triangolare” in paglia a Madeira

Si possono evidenziare tre differenti tipologie a seconda del numero di falde del tetto o del materiale utilizzato per la struttura: le più famose interamente in legno a facciata triangolare, con il tetto a due falde ricoperto di paglia che arriva a lambire il suolo; in taluni casi invece ci sono quattro pareti, realizzate in pietra e il tetto in paglia poggia su questi muri; infine, il tetto può avere quattro falde.



Figura 2-19: una casa con tetto di paglia a Madeira, nella versione che prevede 4 muri sui quali poggia il tetto

La pianta tipica dell'abitazione prevede due stanze al piano terra aventi entrambe funzione di salone/soggiorno/camera da letto arredate con l'essenziale: un letto, un tavolo, un lavabo, una cassapanca. Tramite una scala a pioli si accede alla mansarda, all'interno della quale venivano stivate le granaglie per gli animali e le provviste. In alcuni casi la mansarda può essere accessibile anche dal retro e presentare una finestra sporgente e affacciata sulla porta d'ingresso. Anche la mansarda poteva fungere da luogo per il riposo. Madeira al momento della sua scoperta era un'isola ricca di alberi, utilizzati per ricavare del legname destinato soprattutto alla costruzione di navi nel periodo dell'invasione portoghese in America (madeira in portoghese significa appunto "legno"): il legno è ampiamente utilizzato per realizzare la struttura su cui poggierà la paglia. Anche il pavimento e i tramezzi interni sono costituiti da assi di legno.



Figura 2-20: l'interno di una casa con tetto di paglia a Madeira

La tipologia costruttiva era di rapida esecuzione e in sezione si presenta come una “V” rovesciata. Questa forma permette alle acque piovane molto abbondanti di scorrere velocemente, senza appesantire un eventuale tetto orizzontale, e di resistere ai forti venti che spazzano l'isola. La paglia che ricopre le pareti è in forma di covoni legati ad una estremità. Una fila di covoni è “tessuta” con l'ausilio di canne di giunco o ramoscelli di piante flessibili poste per il verso della lunghezza.



Figura 2-21: particolare spiovente

Più file di covoni di paglia si susseguono poggiando l'una sull'altra come fogli assemblati, aumentando lo spessore della copertura. Alcuni fogli, generalmente i più interni, sono costituiti da paglia più sottile.



Figura 2-22: particolare: la paglia più sottile nello strato interno

La presenza di più strati molto pressati tra loro assicura un'ottimale tenuta all'acqua piovana. Gli spioventi non arrivano a toccare a terra per evitare che si inzuppino a contatto con il terreno umido e marciscano.



Figura 2-23: l'interno, con la paglia direttamente posata sul telaio in legno

Lo strato più superficiale e più esposto agli agenti atmosferici viene sostituito più frequentemente, ogni cinque anni. Nella sostituzione o manutenzione della casa di paglia sono

impiegati quattro operai, con esperienza, che assolvono compiti differenti e complementari. Sono utilizzati 26-24 covoni di paglia e 8 dozzine di rami per tessere il tetto.



Figura 2-24: particolare: la legatura della paglia alla struttura lignea

Le coperture più vecchie sono contraddistinte da un colore più scuro della paglia proprio per via dell'esposizione a sole, vento ed acqua. Questa tecnica costruttiva permetteva di utilizzare solo materiali presenti sull'isola, facilmente reperibili, lavorabili e mantenibili.



Figura 2-25: il tetto non arriva a lambire il terreno: si riduce la possibilità che la paglia assorba umidità per capillarità

Il fine vita dell'edificio permetteva una dismissione selettiva con riuso dei materiali: la paglia poteva essere utilizzata nei campi in agricoltura, oppure bruciata, il legno reimpiegato per usi diversi. In alcune circostanze le case con struttura in legno potevano essere dismesse, trasportate e riassemblate altrove. Ci troviamo di fronte ad un ottimo esempio di abitazione temporanea mobile.

Attualmente sono state censite 120 case nella zona di Santana, alcune tutt'oggi abitate.

2.4 TERRA-PAGLIA

Nel Nord America c'è stato un interesse crescente per le tecniche di costruzione “naturali” nel corso dei decenni trascorsi. Tra queste si annovera la tecnica Straw Light Clay (SLC), in Italia detta Terra-Paglia (TP nel presente testo) che è un' adattamento contemporaneo della costruzione in terra. Unendo la paglia ad un composto a base di argilla si crea un materiale versatile e non strutturale.



Figura 2-26: miscela di terra e paglia

Nella maggior parte dei casi la TP può essere assemblata in situ, e anche la terra stessa può essere raccolta in situ, a seguito di prove in cantiere con blocchi pre-formati.



Figura 2-27: la miscela di TP viene strizzata e messa ad asciugare per almeno 6 ore (preferibilmente una notte)

Ovviamente l'attuale pratica costruttiva richiede di sottostare a determinati codici e standard, frutto di prove di laboratorio, che garantiscono la qualità dei materiali e la rispondenza al tipo di utilizzo che se ne fa. E' per questo motivo che in Canada è stato avviato un asse di ricerca volto a stabilire le proprietà dei materiali per la TP. La maggior parte dei test sono stati condotti dal

Dott. John Straube dell'università di Waterloo nei laboratori della stessa università. Il supporto pratico-teorico è stato fornito dall'esperto di costruzioni in terra tedesco Gernot Minke.

Le ricerche vogliono approfondire la resistenza termica della TP nonché le caratteristiche della stessa, legate al contenuto di umidità. Sono state inoltre testate la resistenza al fuoco, la resistenza a trazione e compressione, la risposta a flessione, e la densità.

I risultati dimostrano che la TP ha un basso valore di resistenza alla diffusione del vapore, il che permette a questo materiale di rilasciare l'umidità attraverso la diffusione del vapore rapidamente, assicurando una veloce asciugatura. Ciò indica che la TP, combinata a terra o intonaci a base di calce, può giocare un ruolo significativo nel bilanciamento dei livelli di umidità degli ambienti indoor. Sebbene la TP abbia una grande capacità di contenimento dell'umidità, l'applicazione di una barriera al vapore compromette la prestazione della TP stessa nel rilasciare l'umidità velocemente.

La conducibilità termica è compresa in un range che va da 0.068 a $0.18 \text{m}^2\text{K/W}$ per pollice (i test riportano l'unità di misura americana essendo stati compiuti in Canada). I ponti termici sono minimi nell'assemblamento di muri con la tecnica TP.



Figura 2-28: cappotto di un pilastro in cemento con TP

Gli studi dimostrano che in regioni con forti escursioni termiche la massa termica della TP è in grado di immagazzinare il calore durante i periodi di alta temperatura per poi rilasciarlo durante i periodi più freddi.

Bisogna sottolineare che il raggiungimento di un certo target di densità dipende dalla variabilità dei materiali e dal grado di esperienza e di manualità degli operatori. Ovviamente un alto grado di esperienza con i materiali del luogo permette di raggiungere i target di densità prefissatisi con maggiore certezza e facilità. Lo studio canadese ha tabellato una serie di parametri riferiti ad un livello di densità intermedio (647kg/m^3) per una miscela di TP, che è il più semplice da ottenere. Per semplice confronto si ricorda che la densità di una balla di paglia si attesta in un range tra i 70kg/m^3 e i 90kg/m^3 .

Property	Density class	Results
Thermal Resistance (per inch)	647 kg/m ³ 40 pcf	RSI = 0.28 R = 1.6
Thermal Conductivity (W/mK)	642 kg/m ³	0.090
Moisture Properties - Permeability (ng/Pa ms) - Permeance (ng/Pa m ² s) @ 10 cm (4 in) thickness - Absorption (kg/m ² h ^{0.5})	Same as above Same Same	45.9 451 3.4
Compression (at 5% strain)	680 kg/m ³ 42.5 pcf	0.08 MPa 11.9 psi
Bending - Rupture Modulus - Modulus of Elasticity (compression)	Same Same	0.23 MPa 34 psi 1.36 MPa 200 psi
Settlement (after drying to equilibrium)	720-800 kg/m ³ 45-50 pcf	7%
Fire Penetration (after 4 hrs of propane torch)	Same	51 mm (2 in)

Tabella 2-12: risultati per una campione di TP di medie densità

La letteratura riporta che la posa in opera della TP può essere laboriosa: per tale motivo lo studio canadese ha voluto dimostrare anche l'utilità di pratiche già in uso, che prevedono la realizzazione di matrici in bambù a sostegno dell'impasto di TP oppure la creazione di blocchi prefabbricati da assemblare. I test al fuoco condotti secondo gli standard americani ASTM standards E 119 e E 84 indicano che la TP ha una resistenza al fuoco di 4 ore. Per ultimo, la TP è un materiale molto duttile, che in caso di sisma assorbe una grande quantità di energia.

2.5 ESPERIENZE CONTEMPORANEE E TECNICHE MODERNE

Si riporta una carrellata di interventi contemporanei che hanno suscitato interesse sia per la ricerca nelle forme, sia per l'utilizzo della paglia per soluzioni tecniche innovative.

Arch. Margareta Swarz (BZ)

Uno degli architetti attualmente più impegnati nella ricerca di materiali naturali e soluzioni interessanti, anche nelle forme.



Figura 2-29: Margareta Swarz: Abitazione privata Merano (Bz) anno di costruzione 2007



Figura 2-30: Margareta Swarz: Abitazione privata Merano (Bz) anno di costruzione 2007

Paglia utilizzata come isolante nel tetto. La struttura è stata dimensionata in funzione della lunghezza delle balle in modo da accoglierle senza lasciare intercapedini d'aria tra una fila e l'altra.



Figura 2-31: Margareta Swarz: Abitazione privata Merano (Bz) anno di costruzione 2007



Figura 2-32: Appartamenti per ferie ESSERHOF Lana (Bz) in collaborazione con l'Arch. W. Schmidt

La casa Dalsant ha vinto il 1° Premio migliore CASACLIMA 2003 della Provincia Autonoma di Bolzano



Figura 2-33: Casa DALSANT Cortaccia (Bz) in collaborazione con l'Arch. W. Schmidt Anno di costruzione 2003



Figura 2-34: Casa DALSANT Cortaccia (Bz)



Figura 2-35: Casa DALSANT Cortaccia (Bz): paglia utilizzata come isolante nel pavimento

Bustaw Medwed Clinic (Israele)

Una clinica realizzata in balle di paglia.



Figura 2-36: Bustaw Medwed clinic (Israele)

Arch. Cecilia Alderton

L' Arch. Alderton ha realizzato in Uruguay una moderna casa con tetto in paglia rasata, chiamata La Bitacora.



Figura 2-37: La Bitacora, Arch. C. Alderton

Stati Uniti

La maggior parte delle esperienze di costruzione di edifici residenziali in balle di paglia è concentrata in California. Si riportano di seguito alcune delle abitazioni ritenute più interessanti.



Tabella 2-13: casa di paglia a Oakland, California

Questa casa di paglia, bella e unica, si trova in California, a Oakland ed è stata venduta a circa 1.100.000 di dollari. La paglia utilizzata nelle pareti la isola e le dona l'aspetto forte di una casa di epoche passate. Le balle di paglia situate all'interno delle mura assorbono il calore del sole e lo rilasciano lentamente dando origine ad un ambiente a temperatura costante con bassi consumi energetici. Inoltre la paglia isola l'abitazione dai rumori esterni rendendo la casa un'oasi di tranquillità al centro della città.



Tabella 2-14: casa di paglia a Sonoma County, California

Questa bellissima abitazione, situata sulla cima di una collina, offre un splendida vista panoramica e un comfort eccellente. La dimora, calda e rustica, ben si sposa con la posizione che è quella della regione dei famosi vini californiani.



Tabella 2-15: casa di paglia a Squire Canyon, S. Louis Obispo, California

Gli architetti che hanno tirato su questa abitazione hanno saputo dimostrare che una casa di paglia può essere bella, confortevole, moderna e sostenibile.



Tabella 2-16: Casa di paglia a S. Ynez Valley, California

Questa grande abitazione è stata progettata come studio per un artista lontano dal caldo soffocante della S.Ynez Valley californiana. Dispone, tra le altre cose, di illuminazione a basso voltaggio, compost toilet e sistemi per il risparmio idrico.



Tabella 2-17: casa in paglia in Virginia

Questa grande abitazione è nata da un'idea di Bob Hanson, che possiede la compagnia GREEN BEES (Green Building for Economic and Environmental Sustainability). Per il consumo di energia elettrica di questa abitazione si spendono solo 20 dollari al mese. La struttura di base è

un telaio di legno riempito con balle di paglia che vengono poi ricoperte con l'intonaco. Come altre case di paglia, questa struttura dispone di un tetto in grado di raccogliere l'acqua piovana, pannelli solari per il riscaldamento e un sistema di compostaggio.

Gran Bretagna



Tabella 2-18: casa di paglia realizzata dall'Università di Bath, UK

Il progetto per la costruzione di questa casa è stato finanziato dall'Università di Bath che ha monitorato l'edificio per un anno osservando le proprietà isolanti, i livelli di umidità e l'isolamento acustico. Il gruppo di ricerca dell'Università di Bath sta tuttora effettuando studi approfonditi per verificare se materiali come paglia e canapa possano essere utilizzati più ampiamente nel settore edilizio affinché il Regno Unito possa raggiungere l'obiettivo di una riduzione significativa delle emissioni domestiche di anidride carbonica



Tabella 2-19: casa di paglia a Pembrokeshire, UK

Ciò che rende veramente unica questa fantastica abitazione costruita su due livelli è la totale assenza di un telaio in legno. La casa è stata progettata in modo tale che le balle di paglia possano portare il peso del tetto, come avviene nella tecnica “Nebraska style”. Realizzata con materiali di provenienza locale, la dimora si sposa perfettamente con il contesto naturale che la circonda. Ha un proprio sistema di compostaggio, sfrutta l'energia solare per produrre calore e possiede all'interno anche una stufa alimentata a biomasse. Inoltre ha un sistema per la raccolta dell'acqua piovana.



Tabella 2-20: casa di paglia chiamata “Hobbit House”, Galles, UK

L'inventore di questa abitazione è Simon Dale, il quale ha costruito per sé e per la propria famiglia un rifugio nel rispetto dell'ambiente. E' stata scavata in una collina per garantire minimo

impatto visivo. Per muri e fondazioni sono stati utilizzati pietre e fango mentre pavimento, pareti e tetto sono stati isolati con la paglia. Sul tetto è presente una cisterna che raccoglie l'acqua piovana e la convoglia in un laghetto vicino all'abitazione e i pannelli solari assicurano l'energia elettrica.



Tabella 2-21: casa di paglia in Scozia, UK

Nascosta nel cuore della Scozia, questa casetta fatta di paglia e con il tetto decorato con erba e fiori spontanei, è stata ideata da Steve James. Per costruirla sono stati necessari solo 10 mesi e il proprietario afferma che è in grado di resistere alle intemperie del clima scozzese.

2.5.1 Tecnica GREB

Questa tecnica di costruzione è stata sviluppata principalmente in Québec dal Gruppo di Ricerca Ecologica di la Baie (acronimo di GREB, appunto) nel 1990 e attualmente sta vivendo un momento di forte espansione, anche in Italia.

Questa tecnica associa diversi procedimenti. Consiste nel costruire una doppia ossatura leggera di legno, fissata alle fondamenta, per inserirvi le balle di paglia protette da una malta di legno colata all'interno di casseri costituiti generalmente da pannelli OSB. La realizzazione in autocostruzione è rapida, grazie all'ossatura di legno che funge anche da guida e supporto all'inserimento delle balle ed alla realizzazione dei casseri.

L'intonaco colato può essere costituito sia da malta di calce-cemento (che però ha scarso potere traspirante e quindi inficia le proprietà della paglia), sia da canapulo di canapa e calce (molto traspirante).

La classica malta GREB prevede le seguenti proporzioni:

- 4 parti di segatura

- 3 parti di sabbia
- 1 parte di calce idrata
- 1 parte di cemento
- acqua “quanto basta”

A seconda della rapidità di presa della malta utilizzata, i casseri potranno essere rimossi in un lasso di tempo che va da un minimo di 12 ore dalla colatura ad un massimo di 6 giorni. La tecnica della colatura rende molto rapida e semplice la posa in opera di balle e intonaco. Grazie alla posa di uno strato di finitura finale il muro assume un aspetto perfettamente liscio.

Il GREB è stato insignito del premio Efficacité énergétique della Camera di Commercio di La Baie nel 2002 ed è stato finalista alle Mercuriades 2002 della Camera di Commercio del Québec nella stessa categoria.

2.6 CONCLUSIONI

La casa realizzata con balle di paglia, pur utilizzando un materiale povero, consente di raggiungere alte performances di efficienza energetica, di comfort ambientale e, contemporaneamente, di mettere in atto soluzioni sostenibili.

Dal punto di vista del bilancio ambientale e delle prestazioni tecniche, si può quindi sottolineare quanto segue:

- la paglia è un sottoprodotto della produzione dei cereali: costruire con paglia consente quindi di utilizzare un prodotto di scarto, evitando l'estrazione di nuove materie prime con conseguente consumo di energia; inoltre durante la sua crescita, il grano sequestra CO₂ dall'atmosfera;
- le murature in balle di paglia intonacate in terra cruda e calce sono altamente traspiranti e consentono il passaggio del vapore dall'interno verso l'esterno; si evitano così la formazione di umidità e condensa all'interno dell'edificio;
- le murature in balle di paglia hanno un'ottima resistenza al fuoco (R30-90): una volta che il muro è stato intonacato su entrambi i lati, la combinazione tra una superficie incombustibile e un interno isolante che non brucia bene rendono la parete in balle di paglia una struttura molto resistente al fuoco;
- le murature in balle di paglia hanno un alto potere fonoassorbente e provvedono ad un ottimo isolamento termico, da 1 fino a 2 ordini di grandezza inferiore a quello dei materiali convenzionali per l'edilizia; ciò implica un minor fabbisogno energetico e quindi spese contenute e minori emissioni;

E' doveroso sottolineare la fondamentale capacità della paglia di lasciarsi attraversare dal vapore: ciò garantisce un ottimo comfort interno agli ambienti poiché il grado di umidità indoor viene regolato dal materiale stesso, che dialoga con l'esterno. L'acqua allo stato liquido è invece nemica della paglia poiché ne causa il marciume, è quindi necessario scongiurare la presenza di condensa sulla superficie delle balle o al loro interno. Ciò significa che è fortemente sconsigliato apporre barriere al vapore sulle balle: materiali plastici, isolanti, intonaci scarsamente traspiranti. Tali barriere bloccherebbero il flusso di vapore all'interno della balla causando condensa (acqua) e marciume. Purtroppo accade ancora che muri in balle di paglia vengano intonacati con miscele a base di cemento, scarsamente traspirante. Ogni materiale ha le proprie specifiche tecniche per la posa in opera e l'accoppiamento con altri materiali, e ciò vale ovviamente anche per la paglia, anche se allo stato attuale dell'arte ritengo che sarebbe opportuno diffondere maggiormente le pratiche del "buon costruire" per evitare di cadere in errori.

Grande cura va riposta quindi nella scelta degli intonaci: tests di laboratorio dimostrano che la paglia "preferisce" essere ricoperta da materiali traspiranti come la terra cruda e malte a base di calce e sabbia (figura 2). Anche i materiali con cui viene realizzata la struttura portante "reagiscono" a contatto con la paglia: va molto bene il legno, che respira, mentre il calcestruzzo crea dispendiosi ponti termici e indebolisce la traspirabilità dell'intera parete.

Una casa in balle di paglia è semplice da costruire, e si presta molto bene all'autocostruzione. Costruire la propria casa con l'aiuto di amici e parenti può essere un'esperienza entusiasmante e di grande crescita personale per tutti coloro che sono coinvolti.

Per quanto riguarda i costi, l'uso in sé delle balle di paglia al posto, ad esempio, del mattone, comporta sì un notevole risparmio (circa 10 volte), ma influisce poco sul totale di un edificio. Il vero risparmio deriva principalmente dal fatto che l'autocostruzione, se possibile, permette di

abbattere notevolmente i costi (di circa la metà) e durante la fase d'uso la casa di paglia si rivela decisamente a basso consumo abbattendo di oltre la metà le spese energetiche.

Alcune tecniche costruttive sono più semplici di altre e maggiormente adatte all'autocostruzione: ad esempio si può pensare di inserire le balle in una semplice ossatura lignea per poi intonacarle attraverso una cassonatura e colatura della malta d'intonaco (tecnica del GREB).



Figura 2-38: la tecnica del GREB

Ad eccezione della fase di carpenteria pesante, relativa alla costruzione di fondamenta, tetto e struttura, possiamo dire che le altre operazioni, quali realizzazione del muro di tamponamento, intonacatura e finitura, possono essere svolte “a mano” da gruppi di autocostruttori anche non specializzati. E' importante sottolineare che la cura dei particolari e la diffusione delle conoscenze specifiche, nonché degli errori compiuti in precedenza, garantiscono risultati ottimali e partecipano alla diffusione culturale di questa tecnologia sostenibile.

3 MONITORAGGIO CANTIERI

Dopo aver effettuato un reperimento bibliografico dell'utilizzo della paglia come tecnica non convenzionale e della sua attuale evoluzione, la ricerca ha teso verso il reperimento diretto di dati e informazioni circa il mondo delle costruzioni "sostenibili". Si è inoltre cercato di vivere direttamente l'esperienza di cantiere, al fine di coglierne le criticità. Tale decisione emerge a seguito di una riflessione: le tecniche non convenzionali si stanno rapidamente diffondendo, soprattutto sotto la spinta di iniziative di singoli committenti ed associazioni del settore. Non esiste quindi un compiuto studio che abbia, ad oggi, reso "ripetibili" le esperienze di costruzione, né esistono linee guida da seguire nella cantierizzazione. Da un lato, questo è un punto di forza delle tecniche non convenzionali, che permettono a tutti di poter auto costruire la propria abitazione, mettendosi in gioco e confrontandosi giorno dopo giorno con le problematiche intrinseche all'uso dei differenti materiali, con le loro caratteristiche fisico-chimiche, modalità di posa, tempi di messa in opera. D'altro canto, però, nell'auspicio che un'architettura naturale e sostenibile si diffonda, sarebbe opportuno cercare di diffondere il maggior numero di conoscenze sul comportamento dei materiali e standardizzare alcune operazioni, al fine di assicurare un corretto utilizzo di paglia, terra, canapa in edilizia, evitare inconvenienti legati a scorrette operazioni di posa in opera ed agevolare quindi la diffusione delle tecniche nonché la diffusione della fama delle stesse come "affidabili".

I cantieri oggetto di sopralluogo sono stati i seguenti:

- Pescomaggiore (L'Aquila): intervento di auto-costruzione di case in balle di paglia a seguito del sisma del 2009. A questo intervento è dedicato il cap. 5 Il caso studio: LCA di una casa in balle di paglia realizzata a Pescomaggiore (AQ);
- Todi (Perugia): realizzazione di un frantoio oleario presso l'Istituto Agrario "Ciuffelli" ad opera dell'associazione Panta-Rei e dell' Arch. Eliana Baglioni;
- Conselice (Ravenna): realizzazione di civile abitazione in auto-costruzione in collaborazione con l'associazione Edilpaglia;

3.1 IL LABORATORIO OLEARIO DELL'ISTITUTO AGRARIO “CIUFFELLI” DI TODI (PG): PAGLIA E TERRA IN CANTIERE

Il cantiere è un “cantiere scuola” e si basa su metodo empirico, intuitivo ed esperienziale, basato sulle conoscenze del Centro Panta Rei fondato da Sanni Mezzasoma, che da oltre 20 anni si occupa di tecniche edilizie non convenzionali. Il centro ha sede a Passignano sul Trasimeno (Pg).

Da una collaborazione tra il Centro Panta Rei, l'Istituto Agrario “Ciuffelli” di Todi (Pg) e l' Arch. Eliana Baglioni è nato il progetto di realizzazione di un frantoio oleario a scopo didattico. Costantemente presenti in cantiere anche la Designer Sara Lucietto e il Dott. Andrea Zanchetta.

3.1.1 Le tecniche utilizzate

La struttura portante del frantoio era già stata realizzata alcuni anni fa dall' Istituto e presenta pilastri ed architravi in cemento armato, tetto in legno.



Figura 3-1: la struttura del frantoio

Si è quindi pensato di tamponare tale struttura con muri in balle di paglia, intonacati in terra cruda. Altra tecnica utilizzata è quella della terra-paglia (TP) (→vedi 3.4), costituita creando una miscela a base di terra, paglia e acqua. La “sottomiscela” liquidissima di terra ed acqua prende il nome di barbotina.



Figura 3-2: miscela TP

Questa tecnica è stata utilizzata per minimizzare i ponti termici dovuti alla struttura in cls, oltre che per riempire gli spazi tra le balle e i vuoti di forme irregolari che mal si prestano ad essere riempiti con balle rettangolari. Le foto di seguito possono rendere bene l'idea dell'applicazione della TP.



Figura 3-3: TP utilizzata per riempire i vuoti tra le balle

A seconda della destinazione (malta per le balle, taglio di ponti termici..) la miscela può assumere differenti densità in funzione dei diversi rapporti tra i componenti. Inoltre la posa della TP può avvenire:

- Direttamente, a mano, sulla superficie da riempire;
- per mezzo di cassetture in obs all'interno delle quali gettare la TP, che deve essere pressata anche dall'alto manualmente via via che si inserisce nella cassaforma;
- per mezzo di cassetture-telai a perdere realizzati in listarella di legno e spago (o filo di ferro, meno consigliato), che hanno lo scopo di tenere insieme la paglia e rimangono poi inglobate nell'impasto.



Figura 3-4: isolamento dei pilastri in cls con TP

E' consigliato bagnare la TP con la barbotina e lasciarla a riposo per almeno 6 ore prima dell'impiego: ciò garantisce che la paglia, ammorbidita dall'acqua, legni con l'impasto argilloso, e che l'argilla, a contatto con l'acqua, si sciogla e ricopra gli steli di paglia e i vuoti pieni d'aria. In sintesi, bisogna dare il tempo ai materiali di "dialogare" tra loro per garantire una perfetta tenuta degli impasti e dell'intonaco essiccato.

Anche le balle secche vengono bagnate con la barbotina prima dell'applicazione dell'intonaco, ma in questo caso non si attende prima di posare la malta, che essendo già liquida avrà il tempo di legare con la paglia. Inoltre nell'applicazione dell'intonaco a mano viene esercitata una discreta pressione nell'applicazione del primo strato, al fine di farlo penetrare per circa 1 cm all'interno della balla stessa.



Figura 3-5: in alto a sinistra, la barbotina. In basso il primo strato di intonaco.



Figura 3-6: applicazione a mano del primo strato di intonaco in terra e paglia

E' stato realizzato un basamento di appoggio per le balle di paglia, costituito da due linee di laterizi forati riempiti nell'intercapedine da ghiaia. Lo scopo è di non lasciare le balle a contatto diretto con il basamento di cemento, quasi a filo del piano di campagna, per evitare la risalita capillare di umidità dal basso. La ghiaia assicura una buona aerazione delle balle dal basso, poiché è stata versata sciolta nell'intercapedine tra i laterizi.



Figura 3-7: particolare del basamento in laterizi riempito di ghiaia.

E' stata progettata una struttura lignea proporzionale alla lunghezza ed altezza delle balle, allo scopo di garantire un corretto posizionamento del tamponamento, nonché di sostenere le balle e l'intonaco. Nella struttura sono state integrate le aperture (porte, finestre). I listarelli di legno potranno o essere "assorbiti" dall'intonacatura finale o rimanere a vista.



Figura 3-8: riempimento della sottostruttura lignea

Le balle vengono "infilzate" con barre di ferro di sezione rotonda (i classici "tondini" di ferro utilizzati per armare il cemento) che attraversano 2 o 3 file sovrapposte. La funzione è quella di cucire insieme le balle verticalmente. Tali tondini erano già presenti in sito, perché utilizzati in un altro intervento di costruzione, e per questo motivo non sono stati utilizzati dei pali in legno, materiale preferibile perché reperibile localmente, ad un costo ambientale di produzione inferiore rispetto a quello del ferro.



Figura 3-9: i tondini in ferro vengono infilzati nelle balle

Inoltre la presenza di ferro tra le balle potrebbe creare discontinuità termica e condensa di vapor d'acqua. La scelta del ferro è stata dettata dalla disponibilità del materiale in cantiere a costo economico nullo.

3.1.2 Dati di cantiere

Superficie del frantoio:

8,84 * 15,64 = 138,26 mq senza spessore pareti (a filo interno della struttura)

9,94 * 16,74 = 166,40 mq comprensivo dello spessore delle pareti

Svolgimento dei lavori:

si è intervenuti su struttura e copertura esistenti.

1. parte delle lavorazioni sono state fatte con un'impresa.

nello specifico per i basamenti *7 giorni lavorativi*

e per parte della carpenteria lignea. *3 giorni lavorativi*

2. parte con i cantieri scuola di autocostruzione (Arch. + gruppo Panta Rei + corsisti a pagamento).

Sostanzialmente si sono svolte in autocostruzione le fasi di tamponamento, intonacatura e carpenteria minore.

Totale 25 giorni lavorativi.

3. parte con workshop di autocostruzione (Arch. + gruppo Panta Rei + volontari).

Sostanzialmente si sono svolte in autocostruzione le fasi di tamponamento, intonacatura e carpenteria minore.

totale 22 giorni lavorativi

4. parte in autocostruzione (Arch. + gruppo Panta Rei).

Sostanzialmente si sono svolte in autocostruzione le fasi di tamponamento, intonacatura e carpenteria minore.

totale 7 giorni lavorativi

I lavori, ad eccezione della prima fase, non si sono svolti in maniera continuativa, ma principalmente nei fine settimana.

Al 3 giugno 2013, i giorni effettivamente lavorati sono stati 64, distribuiti nei periodi 10 luglio 2012-13 dicembre 2012 e 2 maggio 2013 ad oggi (3 giugno 2013).

Riassumendo in tale periodo sono stati realizzati: il basamento, le sottostrutture lignee, tutti i tamponamenti in balle di paglia e terrapaglia, tutto il primo strato di intonaco interno ed esterno, parte del secondo strato di intonaco.

Numero di persone che hanno lavorato in cantiere:

73 persone diverse.

Non sono state calcolate le persone/giorno, molto variabili, e i giorni lavorati da ciascuno.

Un gruppo di 4 -5 persone era costantemente presente in cantiere, e costituito dal personale di Panta Rei più l'Arch. Eliana Baglioni.

Fine lavori:

Si prevede di terminare i lavori, che consistono nel secondo strato di intonaco interno, e il secondo e terzo strato di intonaco esterno, entro fine settembre 2013, la durata dei lavori è fortemente condizionata dalle condizioni meteorologiche.

Strumentazione:

sega da ferro, sega da legno, mazzette, trabattelli, ponteggi, cazzuole, guanti, calderelle di varie dimensioni, miscelatore, pale, vagli, molazza, rullo per sminuzzare la terra.



Figura 3-10: miscelatore e vaglio da cantiere

3.1.3 Materiali

Si è utilizzato del legno per creare la sottostruttura, della paglia, sia in balle per il tamponamento, sia sciolta per gli impasti di intonaci e terra-paglia, delle terre di differenti provenienze utilizzate per intonaci e terra-paglia.

legno: il legno è stato usato per la sottostruttura lignea: circa 2m^3 di legno di abete

paglia: 370 balle (misure variabili: $50 \times 37 \times$ lunghezza variabile) pari a ca. 66m^3 di paglia

Lunghezze, calibrate da progetto: 100cm, 80cm, 72cm, 60cm, 120cm

terra e sabbia: le quantità di diverse terre e sabbie utilizzate per 1m^2 sono riportate in Tabella 3-1.

Si vuol far notare che sono state utilizzate terre reperite localmente, con diversa granulometria studiata sperimentalmente (come approfondito nel seguito). Anche il materiale chiamato “sabbia” o “sabbione” è una terra di campo che per granulometria è stata utilizzata al posto di sabbia da costruzioni, che sarebbe dovuta essere reperita da siti estrattivi specifici. L’intento è quello di dimostrare che le conoscenze empiriche dei luoghi e delle caratteristiche delle terre possono contribuire nella realizzazione di un’esperienza di costruzione a km “zero”. Ad alcune delle diverse terre è stato attribuito il nome del podere di provenienza.

Elemento	Tipologia di materiale	Spessore (m)	Massa (kg)
1° strato interno	terra “podere gobba”	0,008	27,4
	paglia		2,74
	acqua		10,96
	Totale: 41,10		
2° strato interno	terra “podere bodoglie”	0,05	3,20
	sabbione		15
	acqua		3,74
	Totale: 21,94		
3° strato interno	sabbione	0,002	3,47
	fior di calce idrata		0,2
	acqua		1,2
	Totale: 4,87		
1° strato esterno	terra “podere gobba”	0,04	137,0
	paglia		13,7
	acqua		54,8
	Totale: 205,5		
2° strato esterno	terra “podere bodoglie”	0,002	0,128
	sabbione		0,6
	acqua		0,15
	Totale: 0,88		
3° strato esterno	sabbione	0,002	3,47
	fior di calce idrata		0,2
	acqua		1,2
	Totale: 4,87		

Tabella 3-1: quantità di terra, paglia e sabbia utilizzate per 1 m² di intonaco

3.1.3.1 Le prove sui materiali

Prima di tutto si è studiata la composizione granulometrica delle terre a disposizione, con metodi empirici.

Sono state cioè eseguite prove di sedimentazione per capire la composizione del terreno utilizzato, per stratificazione. Per la prova sono state utilizzate bottiglie di plastica da ½ litro (non corrette per forma scabra, alcune sono colorate) con questa composizione: 1/3 terra, 2/3 acqua; lasciando depositare i materiali si dividono: più in alto argilla, poi limo, sabbia e alla base

ghiaia. La proporzione tra gli spessori degli strati di diverso materiale offre indicazioni sulla composizione percentuale della terra in granulometria (ghiaia, sabbia, argilla, limo).



Figura 3-11: studio della granulometria delle terre attraverso prove di sedimentazione empiriche



Figura 3-12: sbriciolamento della terra prima di eseguire le prove di sedimentazione

Altre prove empiriche consigliate per esperienza da Sanni Mezzasoma del centro Panta Rei:

- Si taglia la terra, più la superficie è “a specchio” e più è presente argilla.
- Al tatto: argilla si appiccica; limo è polveroso.

La terra ideale ha almeno il 30% di argilla. In questo caso le prove hanno dato i seguenti risultati:

Terra	Percentuale di argilla
Podere Gobba	90%
Podere bodoglie	75%

Tabella 3-2: percentuali di argilla nelle terre

Come illustrato in Tabella 3-1, le due terre sono state utilizzate per scopi differenti:

- la terra “podere Gobba” per lo strato più interno di intonaco, mescolata alla paglia;
- la terra “podere Bodoglie” per lo strato intermedio di intonaco, mescolata alla sabbia.

Prima dell'utilizzo la terra va setacciata e polverizzata. E' necessario eliminare tutte le eventuali pietre.

La Tabella 3-3 illustra i setacci utilizzati per le diverse terre:

Terra	Setaccio (maglia)
Podere Gobba	1cm ²
Podere bodoglie	1cm ²
Sabbione	3x3 mm

Tabella 3-3: setacciatura

Una volta comprese le granulometrie di materiali a disposizione, si è proceduto ipotizzando gli eventuali mix tra gli stessi che avrebbero prodotto una buona malta per intonaco.

Per identificare le proporzioni tra terra, acqua e sabbia ideali sono state fatte delle prove empiriche su campioni di balle, intonacate e lasciate asciugare: l'eccessiva fessurazione dell'intonaco è sintomo di presenza di troppa argilla. In tal caso è necessaria l'aggiunta di sabbia che costituisce l'ossatura dell'intonaco e garantisce la coesione tra le lamine di argilla.

3.1.3.2 Reperimento dei materiali

I promotori del cantiere hanno l'obiettivo di minimizzare gli impatti legati ai trasporti dei materiali, pur utilizzando materie appropriate allo scopo costruttivo. E' interessante notare quanto brevi siano le distanze di reperimento, come illustrato anche dalle foto.

Materiali	Distanza di provenienza (km)
Podere Gobba	0,5
Podere bodoglie	5
Sabbione	5
Paglia	0,5

Tabella 3-4: distanze di reperimento dei materiali



Figura 3-13: la terra di “podere gobba” in primo piano. In secondo piano il campo da cui è stata reperita la paglia.

3.1.4 Conclusioni

Il cantiere scuola attivato dall’associazione Panta Rei con la collaborazione dell’Arch. Eliana Baglioni e il supporto dell’ Istituto Agrario “Ciuffelli” di Todi si caratterizza per una forte vocazione alla sostenibilità, sia in fase di reperimento dei materiali, sia in fase di messa in opera. Il laboratorio oleario risulterà realizzato interamente con tecniche non convenzionali (fatto salvo per la struttura pre-esistente) che impiegano materiali naturali quali terra e paglia, in grado di assicurare un ottimo comfort in fase d’uso dell’edificio e ridotti consumi energetici. L’approccio sperimentale rende inoltre possibile la verifica sul campo della risposta dei materiali ai processi di lavorazione (posa in opera, asciugatura, legame con altri materiali) nel breve termine, e rende possibile la messa in campo di soluzioni differenti allo stesso problema, al fine di confrontarne l’applicabilità e la riuscita.

Sarebbe interessante proseguire il monitoraggio al fine di studiarne il comportamento sul lungo periodo.

3.2 CONSELICE (RAVENNA): TECNICA GREB

Trattasi di un'abitazione ad uso residenziale situata in Pianura Padana, in provincia di Ravenna. Oltre ai proprietari-committenti, vi lavorano le persone che prendono parte a campi-scuola e workshop organizzati dall'associazione Edilpaglia.

Il progetto strutturale è stato redatto dall'Arch. Mariangela Pucci dell'Associazione Edilpaglia. La struttura lignea è evidentemente molto "presente": bisogna ricordare che il comune di Conselice ricade in zona sismica secondo la recente normativa (aggiornata dopo il sisma emiliano del 2012).



Figura 3-14: la struttura lignea dell'abitazione di Conselice

Tale struttura sarà riempita con tamponamenti in balle di paglia, intonacati con malta secondo il metodo GREB (→2.5.1).

La Tabella 3-5 riporta alcuni dati di progetto il cui reperimento è stato possibile grazie ad un workshop di costruzione, che ho frequentato presso il cantiere, ed alla collaborazione del Geom. Vanessa Tosatti, proprietaria dell'abitazione.

Dati	Valori	note
superficie della casa	Sup. Lorda = mq. 102.56 Sup. Utile = mq. 77.56	
spessore delle pareti	0,52 m	Pareti finite
tipo di legno utilizzato	legno massiccio di conifera (abete) UNI EN 338, di II qualità C24 , di sez. : - 10x10 per il cordolo su	

	fondazione; - 6x20 montanti principali e travi ; - 6x10 montanti; - 8x8 morali cornicione e ventilazione del tetto	
quantità di legno utilizzata	20 m ³ circa	
quantità di paglia utilizzata	410 balle	Cumulativo di balle usate sia per le pareti sia per la copertura. Inoltre viene utilizzata della paglia sciolta.
tipologia di malta utilizzata	malta greb dello spess. di 0,6 m. eseguita con : 4 parti segatura, 3 sabbia , 1 calce aerea , 1 cemento, acqua quanto basta	
quantità di malta greb utilizzata	11m ³ circa	
classe energetica	CLASSE A	
strumentazione da cantiere utilizzata	perforatore a percussione, avvitatori, chiodatrici, trabattelli e ponteggio, sega cicolare, trapano a colonna, sega per rifilare la paglia , molazza, betoniera, seghetto alternativo	
data inizio lavori	23/07/2012	
data presunta di fine lavori	grezzo completo di greb: agosto/settembre 2013 finiture: luglio 2014 -	Il cantiere è in autocostruzione. La posa in opera della paglia è sconsigliata in inverno e in presenza di pioggia
numero di persone che hanno lavorato in cantiere ad oggi	528 circa	Il cantiere è in autocostruzione. campi scuola (6x 4 gg. x 17 persone cad.) workshop (10 x 2 gg x 6 persone cad.)
numero di persone totali che avranno lavorato in cantiere fino alla fine dei lavori	800 circa	Il cantiere è in autocostruzione. Proseguirà con campi scuola e workshop.

Tabella 3-5: dati del cantiere di Conselice



Figura 3-15: in alto, le balle di paglia nude; in basso le balle già intonacate con malta GREB



Figura 3-16: particolare della tecnica GREB

Il cantiere ha anche l'intento di sperimentare nuove miscele per la malta d'intonaco.

In collaborazione con il Prof. Andrea Rattazzi della Banca della Calce sono stati realizzati provini con malte a base di cemento romano (→2.2.3.1), canapulo, grassello di calce, secondo le proporzioni riportate in Figura 3-17: provini per malte.

PROVINO FATI il 22.10.2012

*) PORTATO DA A. RATTAZZI
(MISCELA COMPLETA)

- ① MISCELA GREB:
- prova in opera -
4 SEGATURA
3 SABBIA
1 CALCE IDRATA
1 CEMENTO
H₂O q.b.
- ② - prova in opera -
4 SEGATURA
3 SABBIA
1 CALCE IDRATA
1 CEMENTO ROMANO (*)
3,3 e di H₂O
- ③ - prova in opera -
3 SABBIA
4 GRASSELLO ESSICC + CANAPULO (*)
2 CALCE + CEM. ROMANO + TENSIOATTIVI (*)
2,7 e di H₂O
- ④
1,5 SABBIA
4 GRASSELLO ESSICC + CANAPULO (*)
1 CALCE + CEM. ROMANO + TENSIOATTIVI (*)
1,6 e di H₂O
- ⑤ "SAND FREE"
3,5 GRASSELLO ESSICC + CANAPULO (*)
1 CALCE + CEM. ROMANO + TENSIOATTIVI (*)

Figura 3-17: provini per malte cantiere conselice

3.3 CONCLUSIONI

L'esperienza di cantiere è senza dubbio stimolante. Le informazioni che possono essere reperite lavorando a diretto contatto con i materiali e le tecniche sono di gran lunga più incisive di quanto appreso in fase di preparazione teorica.

La sperimentazione diretta in campo corre più velocemente rispetto all'aggiornamento bibliografico su queste tematiche, per questo motivo è necessario confrontarsi con chi sta costruendo, o lo ha già fatto.

Ritengo che i risultati ottenuti in cantieri differenti, compresi gli esperimenti non riusciti, andrebbero diffusi senza remore tra progettisti e operatori del settore, al fine di garantire un miglioramento delle tecniche non convenzionali e una diffusione delle migliori pratiche.

La ricerca di tecniche edilizie non convenzionali vede oggi una crescente diffusione, in relazione sia alla crescente sensibilità ambientale, declinata in termini di risparmio energetico degli edifici e di riduzione delle emissioni di gas clima alteranti, sia alla risposta strutturale e alla maggiore semplicità in fase di ri-costruzione in aree colpite da eventi sismici importanti.

Tali tecniche sono certamente antiche, affondano in saperi consolidati su scala locale, rappresentano un esempio molto efficace di grande sostenibilità, da declinare oggi alla luce delle conoscenze tecniche e prestazionali contemporanee.

Attualmente, analizzando lo stato dell'arte, sembra tuttavia esserci ancora una resistenza alla diffusione su più larga scala, in relazione a diversi fattori: le conoscenze vengono trasmesse per via orale e in maniera empirica, basate sulla conoscenza di singoli o, sull'esperienza che ciascuno acquisisce "sul campo" spesso ripartendo da zero, cui si aggiunge un certo scetticismo sulle reali performance tecniche e di qualità di tali tecniche edilizie. Ovviamente ciò oggi non è accettabile. Le conoscenze odierne e gli approfondimenti possibili a partire dalla ricerca universitaria, uniti alle possibilità di diffondere informazioni, ci permettono di progredire velocemente ed efficacemente.

Costruire la propria casa con l'aiuto di amici e parenti può essere un'esperienza entusiasmante e di grande crescita personale per tutti coloro che sono coinvolti.

Per quanto riguarda i costi, l'uso in sé delle balle di paglia al posto, ad esempio, del mattone, comporta sì un notevole risparmio (circa 10 volte), ma influisce poco sul totale di un edificio. Il vero risparmio deriva principalmente dal fatto che l'autocostruzione, se possibile, permette di abbattere notevolmente i costi (di circa la metà) e durante la fase d'uso la casa di paglia si rivela decisamente a basso consumo abbattendo di oltre la metà le spese energetiche.

Alcune tecniche costruttive sono più semplici di altre e maggiormente adatte all'autocostruzione: è il caso della tecnica del GREB.

Ad eccezione della fase di carpenteria pesante, relativa alla costruzione di fondamenta, tetto e struttura, possiamo dire che le altre operazioni, quali realizzazione del muro di tamponamento, intonacatura e finitura, possono essere svolte "a mano" da gruppi di autocostruttori anche non specializzati. E' importante sottolineare che la cura dei particolari e la diffusione delle conoscenze specifiche garantiscono risultati ottimali e partecipano alla diffusione culturale di queste tecnologie sostenibili.

4 IL METODO LCA

4.1 L'ANALISI DEL CICLO DI VITA

Negli ultimi anni è maturata l'attenzione nei confronti di problematiche di carattere ambientale, in particolare è aumentato l'interesse nello sviluppo di metodi e tecniche che permettano di comprendere, valutare e conseguentemente ridurre i possibili impatti sia dei prodotti realizzati, sia di quelli che una volta utilizzati esauriscono la loro vita operativa e devono essere smaltiti.

In ambito industriale si è già affermata una cultura di analisi del ciclo di vita del prodotto, spinta sia dalle normative del settore, sia dalla consapevolezza delle aziende produttrici che l'analisi ambientale porta dei miglioramenti in fase di produzione, ma anche a livello di controllo dei costi, e a livello di qualità del prodotto. Rimangono ancora dei casi in cui la certificazione ambientale viene affrontata e percepita come mera pubblicità e mezzo di diffusione del prodotto sul mercato.

L'edilizia non esula da questo contesto. Se si può studiare l'intero ciclo di vita di un prodotto industriale, come ad esempio un'automobile, è chiaro che si possa fare un'analisi ambientale dell'intero ciclo di vita anche di un edificio.

Fino ad oggi si sono sviluppate diverse metodologie per l'analisi del LCA: la standardizzazione di questi metodi è stata compiuta da "SETAC" (Society of Environmental Toxicology and Chemistry, [1993]) e da "ISO" (International Standard Organisation): quest'ultima ha definito ed emanato una norma che offre riferimenti per la corretta applicazione dell'analisi del ciclo di vita (norma europea UNI EN ISO 14040, approvata dal CEN, Comitato Europeo di Normazione, il 29 giugno 1997).

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.

Da questa definizione risulta evidente come il concetto di valutazione che sta alla base del metodo sia strettamente connesso con quello di confronto, perciò, come suggerisce l'Agenzia Federale per l'Ambiente della Germania, l'LCA dovrebbe essere inteso correttamente come una comparazione il più possibile completa tra due o più prodotti, gruppi di prodotti, sistemi, metodi o approcci alternativi, diretta a rivelare i punti deboli, a migliorare le qualità ambientali, a promuovere prodotti e processi ecologici, a comparare approcci alternativi e dare fondamento alle azioni suggerite.

L'affermarsi dell'LCA è, quindi, in qualche modo, l'effetto simultaneo di tre eventi:

- della crescente consapevolezza che i problemi ambientali non possono più essere affrontati per singoli comparti (aria, acqua, suolo) ma richiedono una valutazione e intervento globale;
- della nuova attenzione alle politiche di prodotto come componente importante delle politiche ambientali;

- della presenza di un'opinione pubblica che richiede informazioni ambientali e di consumatori che scelgono le merci e i servizi che vengono loro offerti in base a criteri di qualità ambientale.

Il metodo offre numerose possibilità di utilizzo, tra le quali:

- La valutazione dell'impatto ambientale di prodotti differenti aventi la stessa funzione.
- L'identificazione dei momenti più significativi dal punto di vista dell'impatto ambientale all'interno del ciclo produttivo o del ciclo di vita del prodotto. Si indicano in questo modo i principali percorsi verso possibili miglioramenti dei cicli produttivi e dei prodotti già esistenti intervenendo ad esempio sulla scelta dei materiali, delle tecnologie e degli imballaggi.
- Il sostegno alla progettazione di nuovi prodotti.
- La segnalazione di direzioni strategiche per lo sviluppo, che consentano risparmi sia per l'azienda sia per il consumatore.
- La dimostrazione di aver ottenuto un ridotto impatto ambientale ai fini dell'attribuzione del marchio ecologico comunitario (Ecolabel).
- La persecuzione di strategie di marketing in relazione al possesso di Ecolabel.
- L'ottenimento, dove possibile, di un eventuale risparmio energetico.
- Il sostegno nella scelta degli investimenti dei procedimenti per il disinquinamento.
- Il supporto nella scelta delle soluzioni più efficaci e idonee per il trattamento dei rifiuti.
- La base oggettiva di informazioni e di lavoro per l'elaborazione dei regolamenti che riguardano l'ambiente.

L'LCA non è quindi solo un mezzo per la salvaguardia dell'ambiente, esso può infatti diventare un importante strumento per il rafforzamento delle dinamiche competitive e di riduzione e controllo dei costi. Inevitabilmente, nella stesura della metodologia, sarà necessario trovare dei compromessi tra rigore scientifico e semplicità, per cui il tipo di informazione che viene fornito sarà un indicatore di tipo semplificato, specialmente per quanto riguarda la valutazione dell'impatto ambientale. In altre parole, l'LCA non deve essere considerato un metodo in grado di fornire risultati completi e pienamente esaustivi, poiché fa uso di valutazioni di carattere soggettivo, soprattutto laddove si ha mancanza di informazioni più rigorose.

Per far sì che, mediante l'utilizzo dell'LCA, si riesca ad ottenere una comprensione adeguata dell'impatto ambientale dei prodotti è necessario, infatti, fare in modo che tale strumento mantenga caratteristiche di flessibilità ed efficienza di costo: questo ne permette l'utilizzo diffuso anche in realtà industriali di piccole e medie dimensioni.

Lo scopo, i confini ed il livello di dettaglio di un LCA dipendono dall'oggetto dello studio e dall'uso che se ne vuole fare, tuttavia, sebbene la profondità e l'ampiezza dell'indagine possano variare molto a seconda dei casi, lo schema a cui si fa riferimento rimane sempre lo stesso.

D'altra parte ogni tecnica di valutazione presenta necessariamente delle limitazioni, che occorre conoscere e tenere in adeguata considerazione durante l'utilizzo, in particolare:

- La natura delle scelte e delle assunzioni fatte nell'LCA può essere soggettiva.
- I modelli utilizzati per l'analisi inventariale o per valutare impatti ambientali sono limitati dalle assunzioni che sono implicitamente contenute in esso: tali modelli potrebbero non essere disponibili per tutte le applicazioni.
- I risultati di uno studio di LCA focalizzati su questioni globali o regionali potrebbero non essere adeguate per applicazioni maggiormente circoscritte.
- L'accuratezza di uno studio di LCA può essere limitata dall'accessibilità o dalla disponibilità di informazioni rilevanti o di qualità elevata.

- La mancanza di una dimensione spaziale e temporale nell’*“inventory”* dei dati utilizzati per la valutazione dell’impatto introduce incertezza sui risultati dell’impatto
- Essendo un modello scientifico è per sua natura una semplificazione di un sistema fisico ovvero non è possibile un’assoluta e completa rappresentazione di ogni effetto sull’ambiente.

In generale, le informazioni ottenute attraverso uno studio di LCA dovrebbero essere usate come parte di un processo decisionale molto più completo e utilizzate per comprendere gli scambi globali o generali. Confrontare i risultati di differenti studi di LCA, è possibile solamente se le assunzioni e il contesto di ciascuno studio sono i medesimi. Per ragioni di trasparenza queste assunzioni dovrebbero essere così esplicitamente dichiarate.

1.1.1 Cenni storici

Il metodo dell’LCA si è conquistato ormai un ruolo determinante e, nonostante l’attenzione ad esso rivolta sia piuttosto recente, le sue origini vanno ricercate agli inizi degli anni Sessanta. La relazione di Harold Smith alla World Energy Conference del 1963, riguardante le richieste di energia per la produzione di intermedi chimici, si può considerare uno dei primi esempi della metodologia, seppure la valutazione degli impatti sull’ambiente fosse ancora marginale. Verso la fine degli anni Sessanta furono pubblicati alcuni studi di modelli globali in *The Limits to Growth* (Meadows et al., [1972]) nei quali si cercava di predire quali sarebbero stati gli effetti di un aumento della popolazione mondiale sulla richiesta di materie prime e di energia. La prospettiva di un rapido esaurimento dei combustibili fossili e di eventuali modifiche climatiche, da attribuire soprattutto all’eccesso di calore immesso nell’atmosfera da parte dei processi di combustione, spinsero verso calcoli meticolosi sui consumi energetici e sui rifiuti termici delle industrie. In quel periodo furono compilati una dozzina di studi che stimavano i costi e le conseguenze ambientali di risorse energetiche alternative.

Nel 1969, un gruppo di ricercatori del Midwest Research Institute (MRI) condusse uno studio per conto della Coca-Cola confrontando diversi tipi di contenitori per le bevande, con lo scopo di determinare quale fosse l’involucro con il minor impatto sull’ambiente in termini di emissioni e di consumo di materie prime. Il calcolo fu realizzato quantificando le materie prime, il combustibile e i rilasci nell’ambiente per la produzione di ogni singolo contenitore. La procedura fu denominata *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA). Nel frattempo anche in Europa furono condotti studi simili, rivolti soprattutto ai sistemi d’imballaggio e denominati procedure di *Ecobalance*.

L’interesse per l’LCA aumentò negli anni Ottanta con lo sviluppo di una serie di metodi per la valutazione quantitativa degli impatti riguardo a differenti tematiche ambientali (impoverimento delle risorse, riscaldamento globale, ecc.), in questo modo gli studi di LCA si diffusero divenendo sempre più trasparenti e disponibili al pubblico.

Alla fine degli anni Ottanta permaneva, tuttavia, una situazione d’enorme confusione: rapporti riguardanti LCA condotti sugli stessi prodotti contenevano spesso risultati contrastanti. Il motivo di ciò è da attribuire alla scarsa uniformazione delle valutazioni, per cui gli studi effettuati si basavano su dati, metodi e terminologie fra di loro differenti. Divenne presto evidente la necessità di una metodologia univoca e standardizzata. Il dibattito scientifico fu portato avanti sotto il patrocinio della SETAC e uno dei risultati più importanti fu la pubblicazione di un quadro di riferimento internazionalmente accettato (SETAC, 1993).

Attualmente la maturità e l’unificazione della metodologia sono testimoniate dall’emissione, da parte dell’ISO (International Standards Organization) e segnatamente del suo Technical Committee 207 (TC207), della normativa tecnica della serie ISO 14040 Valutazione del Ciclo di

Vita, la quale copre numerosi aspetti della gestione ambientale d'impresa, incontrando le esigenze espresse dalle aziende, dai governi, dalle organizzazioni non governative (ONG) e dai consumatori stessi.

4.1.1 Livelli di sofisticazione dell'LCA

I possibili utilizzi di un LCA possono essere differenti a seconda dell'utilizzo, interno o esterno, dei risultati ed anche a seconda della tipologia dei destinatari, classificabili in quattro categorie:

- ⇒ industria o altri tipi di imprese commerciali;
- ⇒ governi nazionali o locali;
- ⇒ associazioni non governative quali associazioni di consumatori o gruppi ambientalisti (*Non Governmental Organisation*, NGO);
- ⇒ consumatori.

Uno studio di LCA può essere realizzato, inoltre, più o meno dettagliatamente in relazione allo scopo e agli obiettivi dello studio. I principali tipi di LCA sono quindi:

- Streamlined LCA - (LCA semplificato): è un'applicazione esauriente che copre il ciclo di vita completo, ma usa dati generici, sia di carattere quantitativo che qualitativo, per valutazioni semplificate sui più importanti aspetti ambientali. Lo scopo dell'LCA semplificato è quello di fornire essenzialmente gli stessi risultati di un LCA dettagliato, ma con una significativa riduzione di tempi e di costi. Questa riduzione potrebbe essere tale da inficiare l'accuratezza e l'affidabilità dei risultati; il primo obiettivo da perseguire sarà quindi quello di individuare le aree dello studio che possano essere omesse o semplificate senza compromettere il risultato completo. La semplificazione del metodo si basa su tre stadi che sono iterativamente legati:
 1. Indagine: identificare le parti del ciclo di vita più importanti o quelle che presentano lacune di dati.
 2. Semplificazione: visti i risultati dell'indagine precedente impostare il lavoro sulle parti ritenute più importanti del sistema
 3. Valutazione dell'affidabilità: verificare che le semplificazioni introdotte non riducano in modo significativo l'affidabilità del risultato complessivo.

L'LCA semplificato può essere utilizzato per scopi esterni all'azienda se presentato in accordo con le prescrizioni contenute nella ISO standard 14040, tuttavia, molti LCA semplificati, vengono utilizzati per scopi interni all'azienda, senza regole formali per l'attività di reporting.

Per evitare fraintendimenti nell'interpretazione dei risultati l'utilizzatore di questo tipo di LCA dovrebbe essere messo al corrente delle limitazioni che caratterizzano lo studio.

Recentemente sono sorti diversi gruppi di ricerca a livello internazionale (Streamlined LCA Working Group-SETAC, 1999) con l'obiettivo di individuare delle strategie semplificative capaci di rendere più veloce e meno dispendioso lo studio, senza tuttavia perdere l'accuratezza e l'attendibilità dei risultati. La semplificazione si realizza attraverso alcuni accorgimenti:

- Eliminazione dei flussi *UPSTREAM* (a monte dell'azienda). Sono esclusi i processi dovuti alle attività dei fornitori e relativi alla produzione delle materie prime mentre sono inclusi la fabbricazione del prodotto finito, l'uso e il fine vita.
- Eliminazione dei flussi *DOWNSTREAM* (a valle dell'azienda). Sono esclusi i processi che comprendono il trasporto, l'utilizzo e il fine vita del prodotto.
- Focalizzazione dello studio su specifici impatti considerando, di conseguenza, solamente i dati relativi ad essi.
- Utilizzo di dati stimati qualitativamente o relativi a processi simili, quando non è possibile recuperare dati quantitativi dettagliati.

Non è però possibile definire a priori un metodo di semplificazione che consenta di ottenere risultati sicuramente comparabili con quelli di un LCA dettagliato; per questo il metodo va scelto con attenzione, sulla base degli obiettivi specifici proposti.

- Screening LCA – (LCA di selezione): usato più comunemente quando devono essere identificate azioni chiave per il miglioramento ambientale nel ciclo di vita dei prodotti. La sua caratteristica principale è quella di far uso di strumenti software che aiutano a gestire la realizzazione di LCA, facendo riferimento a dati già disponibili da banche dati o stimati con approssimazione. Dai risultati ottenuti, e a seguito di un'analisi di sensitività, s'individuano i dati critici sui quali è necessario un miglioramento della loro qualità. E' un sistema rapido per consentire di valutare gli aspetti realmente importanti del ciclo di vita, su cui focalizzare l'attenzione.
- Detailed LCA – *LCA dettagliato*: è necessario in tutti quei casi nei quali è richiesta una valutazione completa. Potrebbe essere utile, ad esempio, dopo aver identificato i punti chiave con uno Screening LCA, per approfondire i risultati ottenuti, o, nel caso in cui i risultati dello studio siano utilizzati per comunicazioni pubbliche (poiché necessitano di una credibilità molto alta). Uno studio dettagliato prevede un miglioramento della qualità dei dati e, invece che riferirsi a dati standard o dati secondari, procede con la raccolta e l'utilizzo di dati specifici del caso in esame forniti dalle stesse Aziende (in genere è la fase che richiede maggiore tempo).

4.2 LA METODOLOGIA

L'elaborazione di un LCA, secondo la procedura indicata da SETAC, si articola essenzialmente in quattro fasi :

_Definizione dell'obiettivo e del campo d'applicazione dello studio (Goal and scope Definition);

_Analisi dell'inventario (Life Cycle Inventory - LCI), nella quale si compila un inventario d'ingressi (cioè materiali, energia, risorse naturali) ed uscite (emissioni in aria, acqua, suolo) rilevanti del sistema.

_Valutazione degli impatti (Life Cycle Impact Assessment - LCIA) ambientali potenziali, diretti ed indiretti, associati a questi input ed output.

Analisi dei risultati e valutazione dei miglioramenti (Life Cycle Interpretation) delle due fasi precedenti ossia la definizione delle possibili linee d'intervento.

La descrizione della struttura concettuale della Valutazione del Ciclo di Vita è, come già detto, riportata all'interno del documento UNI ISO 14040 e collegati, e si articola secondo lo schema rappresentato in Figura 2.1.

4.2.1 Definizione obiettivo e campo di applicazione (UNI EN ISO 14041, 1998)

L'interesse nello sviluppo di sistemi e strumenti di gestione ambientale, come già visto, si è concretizzato nella redazione delle norme della serie ISO 14000.

La fase preliminare di definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione rappresenta uno stadio rilevante nello sviluppo di uno studio perché chiarisce la ragione principale per la quale si esegue l'LCA (comprendendo anche l'utilizzazione che si farà dei risultati) descrive il sistema oggetto dello studio e i suoi confini, elenca le categorie di dati da sottoporre allo studio e decide

il livello di dettaglio che si vuole raggiungere. Fornisce, in sintesi, la pianificazione iniziale per effettuare uno studio di LCA.

Possiede una struttura molto articolata, occorre definire:

2 Obiettivo dello studio, ovvero:

- motivazioni per eseguire lo studio;
- applicazioni previste;
- destinatari dello studio (utilizzatori interni o esterni dei risultati ottenuti).

3 Campo di applicazione dello studio

Deve essere sufficientemente definito, al fine di assicurare che l'ampiezza, la profondità e il dettaglio dello studio siano compatibili con l'obiettivo stabilito e adeguati per conseguirlo. Nella sua redazione si considerano i seguenti argomenti rilevanti:

- Funzioni del sistema. Rappresentano le caratteristiche e le prestazioni del prodotto.
- Unità funzionale. Indica il riferimento rispetto al quale tutti i dati che compongono il bilancio ambientale del sistema in esame saranno normalizzati. La scelta deve essere fatta intendendo per unità funzionale la prestazione quantificabile e oggettivamente riscontrabile di un prodotto, per consentire la comparabilità dei risultati dell'LCA.
- Confini iniziali del sistema prodotto. Determinano le unità di processo che devono essere incluse nell'LCA. E' utile rappresentare attraverso un diagramma del flusso le unità di processo e le loro interrelazioni.
- Descrizione della qualità dei dati utilizzati. Questa fase è importante per stabilire l'affidabilità dei risultati dello studio.

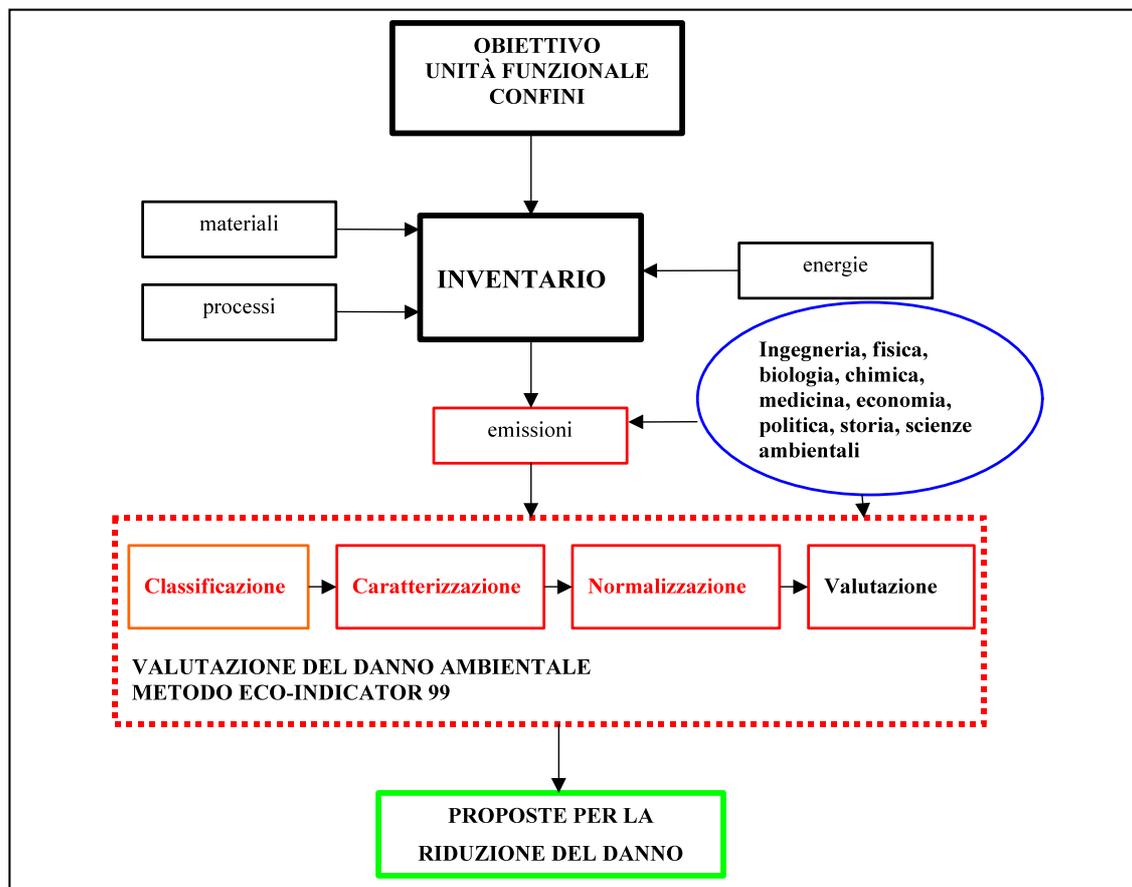


Figura 4-1: schema di un'analisi LCA

4.2.2 Analisi d’inventario del ciclo di vita (UNI EN ISO 14041, 1998)

E’, senza dubbio, la fase del LCA più delicata e dispendiosa in termini di tempo. E’ la parte “contabile”, il vero e proprio ecobilancio, il cuore dell’LCA, che costituisce la base per le fasi successive.

Seguendo la definizione della ISO 14041, è proprio in questa fase che sono “individuati e quantificati i flussi in ingresso e in uscita da un sistema - prodotto, lungo tutto la sua vita”. Saranno quindi identificati e determinati i consumi di risorse (materie prime e prodotti riciclati, acqua), d’energia (termica ed elettrica) e le emissioni in aria, acqua e suolo. Al termine la struttura assumerà l’aspetto di un vero e proprio bilancio ambientale.

Il procedimento per condurre l’analisi d’inventario è iterativo. Man mano che i dati raccolti diventano più approfonditi ed il sistema è meglio conosciuto, possono essere identificati nuovi requisiti o limitazioni, che potranno anche comportare cambiamenti nelle procedure di raccolta dei dati, affinché siano ancora soddisfatti gli obiettivi dello studio.

L’inventario può essere suddiviso in quattro moduli:

1. Schema del diagramma di flusso (*Process flow - chart*)

Il diagramma di flusso del processo consiste in una rappresentazione grafica e qualitativa di tutte le fasi rilevanti e di tutti i processi coinvolti nel ciclo di vita del sistema analizzato. E’ composto da sequenze di processi (*boxes*), collegati da flussi di materiali (freccie). La sua caratteristica fondamentale è quella di dividere un sistema in vari sottosistemi, esplicitare azioni d’interconnessione (le uscite di un sottosistema a monte sono le entrate di un sottosistema a valle) ed individuare le parti del processo che hanno una maggiore rilevanza, soprattutto in termini ambientali, per evitare così di dover porre lo stesso grado d’attenzione indiscriminatamente su tutte le fasi.

2. Raccolta dati (*Data collection*)

La raccolta dei dati richiede un impegno molto elevato, in termini di tempo e di risorse, a causa delle mole delle informazioni necessarie, che comprendono tutte le fasi del processo produttivo (spesso anche di difficile reperibilità).

I dati raccolti possono essere distinti in tre categorie:

- Dati Primari, provenienti da rilevamenti diretti;
- Dati Secondari, ricavati sia dalla letteratura, come data base di software specifici (BUWAL, CETIOM, CBS, IVAM) e manuali tecnici, sia da altri studi e da calcoli ingegneristici;
- Dati Terziari, provenienti da stime e da operazioni analoghe, da dati relativi a test realizzati in laboratorio, da statistiche ambientali e da valori medi.

Il metodo seguito per la raccolta dei dati prevede l’allestimento di un questionario o di un *data sheet* che permette di collocare tutte le informazioni ordinatamente, così da poter risalire facilmente all’origine di ciascuna. Nella Tabella 4-1: schema del data sheet è riportato un possibile schema di riferimento.

Compilato da:		Data di compilazione:		
Identificazione unità di processo:		Fonti di comunicazione:		
Descrizione unità di processo: (allegare foglio supplementare, se necessario)				
Materiali in ingresso	Unità di misura	Quantità	Descrizione procedure campionamento	Origine
Consumo di acqua	Unità di misura	Quantità		

Flussi energetici in ingresso	Unità di misura	Quantità	Descrizione procedure campionamento	Origine
Materiali in uscita (compresi i prodotti)	Unità di misura	Quantità	Descrizione procedure campionamento	Origine
Emissioni in aria	Unità di misura	Quantità	Descrizione procedure campionamento	Note
Emissioni in acqua	Unità di misura	Quantità	Descrizione procedure campionamento	Note
Emissioni nel suolo	Unità di misura	Quantità	Descrizione procedure campionamento	Note
Altre emissioni (rumore, radiazioni, ecc)	Unità di misura	Quantità	Descrizione procedure campionamento	Note

Tabella 4-1: schema del data sheet

Quando si raccoglie il set di dati, è necessario controllare che questi siano concreti e coerenti. Un metodo di valutazione semplice consiste nell'effettuare un bilancio per ogni processo, tenendo conto del fatto che l'ammontare degli input deve essere pari al rilascio degli output. Ciò è possibile impostando un'equazione del tipo:

$$\Sigma_{\text{input}} = \Sigma_{\text{output}} + \Sigma_{\text{emissioni e rifiuti}}$$

In realtà tale equazione è solo l'espressione di un bilancio puramente teorico, che permette però di prendere coscienza della presenza di emissioni nell'ambiente e soprattutto permette di avere indicazioni importanti su dove e come tali dispersioni hanno origine.

Oltre agli impatti relativi al processo, devono essere definiti anche i dati riguardanti:

- Impatti e consumi relativi all'Energia Elettrica importata nel sistema. È necessario chiarire quale sia il contesto di riferimento (Regionale, Nazionale, Comunitario) per procedere alla valutazione del *mixing* di combustibili che concorrono alla produzione del kW elettrico sfruttato, l'efficienza globale del sistema ed i relativi impatti sull'ambiente.
- Impatti e consumi relativi al sistema di trasporti. I prodotti, infatti, possono essere trasportati con numerosi mezzi, ciascuno con un impatto differente per unità di prodotto trasportato. Ad esempio, attraverso il codice SimaPro 5.0 si ottiene che un prodotto trasportato su autocarro produce, quale effetto indiretto sull'ambiente, un'emissione di NO_x pari a 1,0332 g/(km x t), mentre il trasporto su ferrovia produce un'emissione pari a 0,0401 g/(km x t).

3. Definizione delle condizioni al contorno (*System boundaries*)

In questa fase si definiscono:

- I punti di confine tra il sistema studiato e l'ambiente. Deve essere specificato il carico sull'ambiente, rappresentato da tutte le estrazioni e le immissioni che avvengono durante l'intero ciclo di vita.
- Il confine fra i processi ritenuti rilevanti e quelli irrilevanti. È il momento in cui si decide l'estensione dello studio, stabilendo ciò che deve essere incluso e ciò che, invece, deve essere trascurato. Da un lato si tiene in considerazione lo scopo dello studio, precedentemente definito, dall'altro ci si basa su considerazioni pratiche,

fondate sull'opportunità di non coinvolgere elementi che, di fatto, non hanno una rilevanza sostanziale sui risultati finali.

4. Elaborazione dei dati (Data Processing)

Raccolti i dati, questi sono correlati a tutte le unità di processo che concorrono alla produzione dell'unità funzionale in studio (ad es. l'ammontare di energia elettrica utilizzata nella produzione, i kg x km di prodotto e di coprodotto che necessitano di trasporto, quanti kg di materie prime sono utilizzati, ecc.) dove, per ciascuna unità di processo si determinerà un appropriata unità di misura per il flusso di riferimento (ad es. 1 kg di materiale o 1 MJ di energia).

Successivamente i dati riguardanti l'impatto ambientale vengono trasformati e riferiti all'unità funzionale di prodotto, attraverso la definizione di un fattore di contribuzione: esso esprime dunque il contributo di ciascun processo rispetto alla produzione di una unità funzionale, espressa attraverso l'unità di misura prescelta (ad es. 175 kWh/1000 kg). Questo procedimento dovrà essere eseguito per tutte le sostanze presenti in ogni processo.

Un problema che può presentarsi durante questa fase riguarda la ripartizione dei consumi e degli impatti relativi a prodotti differenti generati da uno stesso processo produttivo. E' evidente che sarà importante cercare di conoscere nel dettaglio il processo produttivo, così da poter attribuire ad ogni prodotto ottenuto la quota spettante di materia prima, energia consumata e quindi anche i rispettivi impatti in aria, acqua e rifiuti solidi.

Quando ciò non risulti possibile, perché, ad esempio, in uno stesso processo sono lavorati più categorie di prodotti, si procede ad una ripartizione dei consumi e dei relativi impatti attraverso una suddivisione:

- per via ponderale: quantità consumate assegnate in base al peso dei diversi prodotti;
- in base al valore economico di ciascun prodotto;
- in funzione all'importanza dei vari prodotti.

4.2.3 La Valutazione di Impatto (UNI EN ISO 14042, 2000)

La valutazione degli impatti del Ciclo di Vita (LCA) consiste in un processo tecnico - quantitativo e/o qualitativo per caratterizzare e valutare gli impatti ambientali delle sostanze identificate nella fase di inventario. In questo step sono valutati, infatti, gli effetti sulla salute e sull'ambiente indotti dal prodotto nel corso del suo ciclo di vita. Il livello di dettaglio, la scelta degli impatti valutati e le metodologie da utilizzare dipendono dall'obiettivo e dal campo d'applicazione dello studio.

La struttura concettuale della Valutazione di Impatto fa riferimento alla ISO 14042 che la definisce e standardizza nelle fasi descritte di seguito.

4.2.3.1 Scelta e definizione delle categorie d'impatto

In questa prima fase sono identificate le tipologie d'impatto per mezzo delle quali agisce il sistema in esame. Per la definizione di queste categorie occorre rispettare tre caratteristiche:

- Completezza. Comprendere tutte le categorie, a breve e a lungo termine, su cui il sistema potrebbe influire.
- Indipendenza. Evitare intersezioni tra le categorie, che comporterebbero conteggi multipli.
- Praticità. La lista formulata non dovrà spingersi ad un dettaglio elevato, contemplando un numero eccessivo di categorie.

Per la scelta delle categorie può essere utile consultare la Working Group on LCIA della SETAC, all'interno della quale sono proposte e descritte numerose tipologie di impatto, come:

- ⇒ Estrazione di risorse abiotiche, che comprendono tre differenti tipologie di elementi naturali:
 - Depositi (combustibili fossili, minerali), considerati risorse limitate poiché non sono rinnovabili nell'arco di un breve lasso di tempo;
 - Risorse (acque sotterranee, sabbia, ghiaia);
 - Risorse rinnovabili (acque superficiali, energia solare, vento, correnti oceaniche).
- ⇒ Estrazione di risorse biotiche, tipologie specifiche di biomassa, raccolte sia in maniera sostenibile, sia in maniera non sostenibile (basti pensare alla deforestazione indiscriminata delle foreste tropicali, dove il ritmo d'estrazione del legno è molto più rapido rispetto al ciclo di crescita delle piante).
- ⇒ Uso del territorio, che riduce il numero di specie animali e vegetali presenti rispetto alle condizioni naturali
- ⇒ Effetto serra, che comporta un aumento della temperatura nella bassa atmosfera conseguenza della presenza di alcuni gas, quali la CO₂, il metano, il biossido di azoto che intrappolano le radiazioni infrarosse.
- ⇒ Impoverimento dell'ozono stratosferico, che ha come conseguenza l'incremento dell'incidenza dei raggi ultravioletti, dannosi sia per l'uomo sia per tutti gli ecosistemi in generale.
- ⇒ Ecotossicità, relativa agli impatti sulle specie e sugli ecosistemi, provocata da emissioni dirette di sostanze tossiche, come metalli pesanti, idrocarburi, pesticidi e sostanze liberate nel corso della degradazione dei prodotti.
- ⇒ Tossicità umana, imputabile alla presenza di sostanze chimiche e biologiche, dipendente dal tipo di esposizione dalla metodologia attraverso la quale avvengono le emissioni delle diverse sostanze nell'ambiente.
- ⇒ Smog fotochimico, che considera tutti gli impatti derivanti dalla formazione di ozono troposferico, causata dalle reazioni di componenti organici (VOC) in presenza di luce e di ossidi di azoto (NO_x).
- ⇒ Acidificazione, causata dal rilascio di protoni negli ecosistemi acquatici e terrestri, principalmente attraverso la pioggia. I suoi effetti sono evidenti nelle foreste di legno dolce (ad esempio le foreste d'abete rosso) dove si manifestano in termini di crescita insufficiente: fenomeno particolarmente presente nella penisola scandinava e nelle regioni dell'Europa centro orientale. Negli ecosistemi acquatici si ha un abbassamento del pH delle acque, situazione deleteria per lo sviluppo della vita. Le conseguenze dell'acidificazione si rendono evidenti, inoltre, negli edifici, nelle opere d'arte e in tutte le costruzioni in genere attraverso l'erosione delle pietre calcaree.
- ⇒ Arricchimento in nutrienti, causato da un eccesso di nitrati, fosfati, sostanze organiche degradabili, e di tutti quegli elementi nutrienti che portano ad un incremento nella produzione di plancton, alghe e piante acquatiche in genere. L'eccesso della presenza di queste forme di vita causa un deterioramento della qualità delle acque e una riduzione della loro possibilità d'utilizzazione.

4.2.3.2 Classificazione

E' la fase di assegnazione dei dati raccolti nell'inventario ad una o più categorie d'impatto ambientale (impact categories), noti gli effetti e i danni potenziali delle emissioni alla salute umana, all'ambiente, all'impoverimento delle risorse e così via. Alla fine di questa fase, all'interno di ciascuna categoria di impatto ambientale, saranno contenuti tutti gli input ed output del ciclo di vita che contribuiscono allo sviluppo dei diversi problemi ambientali (la stessa sostanza o materiale potrà quindi essere contenuta all'interno di più categorie di impatto).

4.2.3.3 Caratterizzazione

La fase della caratterizzazione si affianca a quella di classificazione ed ha lo scopo di quantificare l'impatto generato. Essa trasforma, attraverso una serie di calcoli, le sostanze presenti nell'inventario e precedentemente classificate in indicatori di carattere numerico, determinando il contributo relativo d'ogni singola sostanza emessa o risorsa usata.

L'operazione viene effettuata moltiplicando i pesi delle sostanze emesse o consumate nel processo in esame per i relativi fattori di caratterizzazione (weight factors), propri di ogni categoria di impatto. In sintesi, il fattore di caratterizzazione misura l'intensità dell'effetto della sostanza sul problema ambientale considerato, ed è stabilito da un'Authority sulla base di considerazioni di carattere puramente scientifico. Si elencano di seguito, a titolo esemplificativo, i fattori peso proposti per le varie categorie da CML, nell'ottobre 1992:

→ Per la categoria estrazione di risorse abiotiche, il rapporto utilizzo/riserva W_j , espresso dalla relazione:

$$W_j = G_j/R_j$$

dove:

G_j è il consumo corrente globale del minerale j ;

R_j è la riserva del minerale j .

→ Per la categoria estrazione di risorse biotiche, non è ancora stata fatta una determinazione attendibile: si potrebbe definire un indicatore basato sulla rarità (dimensione dello *stock*) e sul tasso di rigenerazione della risorsa.

→ Per l'effetto serra viene usato il parametro Potenziale di Riscaldamento Globale (*Global Warming Potential*, GWP), che definisce la potenziale influenza di una sostanza, valutata in termini relativi rispetto alla CO_2 (dati sviluppati dall'*Intergovernmental Panel on Climatic Change*), secondo orizzonti temporali di 20, 100, e 500 anni; questo per tenere conto del fatto che le varie sostanze si decompongono e inattivano in periodi di tempo molto lunghi.

→ Per l'impoverimento dell'ozono è stato introdotto il parametro Potenziale di Riduzione dell'Ozono stratosferico (*Ozone Depletion Potential*, ODP): la sostanza di confronto rispetto alla quale si valuta l'effetto delle altre è il CFC11.

→ Per l'effetto dell'ecotossicità sono stati introdotti i seguenti parametri:

- ECA (*Aquatic Ecotoxicity*): [m^3/kg], per la valutazione della tossicità delle acque;
- ECT (*Terrestrial Ecotoxicity*) [m^3/kg], per la valutazione della tossicità del terreno.

Per semplicità si utilizza un solo parametro, l'ECA, poiché la maggior parte delle emissioni nel terreno contamina le falde acquifere.

→ Per la tossicità umana sono stati ideati gli indici:

- HCA (*Human-toxicological Classification value for Air*), indice di classificazione per le sostanze emesse in aria;
- HCW (*Human-toxicological Classification value for Water*), indice di classificazione per le sostanze emesse in acqua;
- HCS (*Human-toxicological Classification value for Soil*), indice di classificazione per le sostanze emesse nel terreno.

Naturalmente essi forniscono un'indicazione di massima e non hanno la pretesa di essere del tutto precisi e affidabili.

→ Per lo smog fotochimico si usa il parametro detto Potenziale di Creazione di Ozono Fotochimico (*Photochemical Ozone creation potentials*, POCP), per i componenti

organici. Tale parametro è espresso per le diverse sostanze in termini di equivalenza con l'etilene C₂H₄.

→ Per la categoria acidificazione è usato il fattore Potenziale di Acidificazione (*Acidification Potential*, AP), stimato per ogni sostanza in termini di SO₂ oppure in termini di mole di H⁺.

→ Il fattore peso per l'eutrofizzazione è il Potenziale di Eutrofizzazione (*Eutrophication Potential*, EP), espressa in termini di impoverimento in O₂, oppure PO₄.

Gli indicatori citati, sono, per la maggior parte, gli stessi utilizzati all'interno del metodo degli Eco-indicator 99, presente all'interno del codice di calcolo Sima Pro 5.0, utilizzato nello studio.

Il risultato della fase di caratterizzazione è il profilo ambientale, costituito da una serie di punteggi d'impatto ambientale relativi a ciascuna categoria, ottenuti sommando tra loro tutti i contributi ottenuti. Solitamente viene rappresentato graficamente attraverso una serie di istogrammi.

La Tabella 4-2 rappresenta la relazione tra le categorie ambientali più importanti e le principali aree di protezione.

TEMI AMBIENTALI	PRINCIPALI AREE DI PROTEZIONE		
	<i>Risorse</i>	<i>Salute Umana</i>	<i>Conservazione dell'Ambiente</i>
<i>ESAURIMENTO RISORSE</i>			
Biotiche	++		
Abiotiche	++		
<i>INQUINAMENTO</i>			
Effetto Serra (GWP)		+	++
Distruzione Ozono(ODP)		+	+
Tossicità umana (HT)		+	
Tossicità dell'ambiente (ECT/ECA)		+	++
Ossidanti Fotochimici		++	++
Eutrofizzazione (NP)			++
Acidificazione (AP)		+	++
<i>DEGRADAZIONE DEGLI ECOSISTEMI</i>			
Discariche			++

(++ indica un impatto potenziale diretto, + indica un impatto potenziale indiretto).

Tabella 4-2 Matrice di impatto dei temi ambientali sulle principali aree di protezione

4.2.3.4 Normalizzazione

In questa fase i valori ottenuti dalla caratterizzazione vengono normalizzati, divisi, cioè, per un "valore di riferimento" o "effetto normale" rappresentato generalmente da dati medi su scala mondiale, regionale o europea, riferiti ad un determinato intervallo di tempo. Attraverso la normalizzazione si può stabilire quindi la magnitudo, l'entità dell'impatto ambientale del sistema studiato rispetto a quello prodotto nell'area geografica prescelta come riferimento.

Nella tabella che segue sono riportati i valori attuali relativi ad un anno di produzione industriale mondiale. La normalizzazione avviene, ad esempio, dividendo i risultati dell'operazione di caratterizzazione con quelli qui di seguito riportati.

TEMI AMBIENTALI	UNITA'	VALORI MONDIALI
Esaurimento fonti energetiche	GJ·(anno ⁻¹)·10 ⁹	235
Effetto serra	kg·(anno ⁻¹)·10 ¹²	37.7
Ossidanti fotochimici	kg·(anno ⁻¹)·10 ⁹	3.74
Acidificazione	kg·(anno ⁻¹)·10 ⁹	286
Tossicità umana	kg·(anno ⁻¹)·10 ⁹	576
Ecotossicità dell'acqua	m ³ ·(anno ⁻¹)·10 ¹²	1160
Ecotossicità del suolo	kg·(anno ⁻¹)·10 ¹²	1160
Eutrofizzazione	kg·(anno ⁻¹)·10 ⁹	74.8

Tabella 4-3: Valori relativi ai più comuni temi ambientali, riferiti all'intero pianeta

E' necessario fare un'ulteriore osservazione: i dati riportati in tabella sono del tutto generali, per un'analisi più dettagliata è necessario utilizzare indici relativi alle diverse aree geografiche in cui avviene la produzione in esame.

Secondo le norme ISO questa fase non è obbligatoria per un LCA completo.

4.2.3.5 Valutazione

L'obiettivo della fase di valutazione è quello di poter esprimere, attraverso un indice ambientale finale, l'impatto ambientale associato al prodotto nell'arco del suo ciclo di vita.

I valori degli effetti normalizzati vengono perciò moltiplicati per "fattori peso" della valutazione, relativi alle varie categorie di danno e spesso riportati in guide tecniche, che esprimono l'importanza intesa come criticità, attribuita a ciascun problema ambientale.

Esistono diversi modelli di valutazione, essi possono essere suddivisi in:

- Modelli di tipo Comprensivo: includono un elevato numero di parametri differenti, rinunciando spesso ad una elevata precisione e alla quantificazione degli effetti.
- Modelli di tipo Quantitativo: trattano i dati di impatto con grande precisione, limitandosi ad un numero circoscritto di parametri.
- Modelli di tipo Pragmatico: si pongono come intermedi tra gli altri due, definendo con una certa precisione i parametri che consentono una corretta valutazione del prodotto, tenendo comunque conto dei relativi costi e tempi di esecuzione.

Alla base del calcolo di tali fattori, quale che sia il modello seguito, vi è il principio della "distanza dallo scopo": essa afferma che quanto più è grande il divario tra lo stato attuale e quello ideale cui si tende tanto risulta maggiore la gravità di un effetto. È evidente quanto sia soggettivo tale giudizio, che può variare per aree geografiche, sensibilità e scuole di pensiero differenti.

In alcuni casi si utilizzano fattori di peso uguali tra loro: se la generazione di un prodotto, ad esempio, influisce su sei temi ambientali, per ognuno di essi si potrà assumere che il fattore di peso sia pari ad 1/6; in alternativa si assumono come fattori peso quelli forniti da alcune banche dati, come la Uniliver.

Sommando i valori degli effetti così ottenuti si ottiene un unico valore adimensionale, l'ecoindicatore, indice ambientale finale, che quantifica l'impatto ambientale associato al prodotto.

La fase di Valutazione d'Impatto, a differenza della fase di Inventario che ha raggiunto un buon grado di standardizzazione, è ancora caratterizzata da aspetti controversi che necessitano di ulteriori approfondimenti scientifici. Inoltre la soggettività legata alla scelta dei metodi di Valutazione d'Impatto difficilmente consentirà di raggiungere un consenso internazionale.

Un tentativo di rispondere a tali esigenze di standardizzazione è stato realizzato da ANPA nelle "Linee guida per la Dichiarazione Ambientale di Prodotto" (EDP, 2001), in cui sono descritti i requisiti per l'esecuzione di tutte le fasi di una Valutazione del ciclo di vita e sono identificate una serie di categorie d'impatto predeterminate, al fine di uniformare i contenuti degli studi di LCA.

4.2.4 Analisi dei risultati (UNI EN ISO 14043, 2000)

All'interno di questa fase s'interpretano e si rappresentano i risultati delle fasi di inventario e di valutazione degli impatti attraverso un'analisi di sensibilità, in modo da avere una percezione dello studio facilmente fruibile e comprensibile. Ad essa è accompagnata quasi sempre la valutazione dei miglioramenti, la fase dell'LCA nella quale, dopo aver individuato gli ambiti più critici, vengono valutate e selezionate le opzioni e i miglioramenti per ridurre gli impatti e i carichi ambientali dell'unità funzionale in studio. Si possono, in questa sezione, rappresentare anche scenari diversi da quello considerato e confrontare i risultati ottenuti con altri relativi ad una situazione migliore.

Tale fase non ha ancora raggiunto il livello metodologico di quelle precedenti, rimane tuttavia un momento importante poiché consente, ove possibile, un miglioramento dell'impatto ambientale in termini di diminuzione della richiesta d'energia, delle emissioni, dell'uso di risorse, ecc.

E' importante rilevare che l'LCA, come tutte le metodologie basate sul confronto, non propone una soluzione assoluta, ma identifica un insieme di alternative tra le quali poi, il decisore, sceglierà a suo giudizio la migliore.

4.2.5 Analisi critica del metodo LCA

Poiché il metodo LCA, sia per la fase di normalizzazione, che per quella di valutazione, si basa su valori di soglia (targets) d'impatti ambientali relativi a particolari zone geografiche, anche mondiali, stabiliti da un'Authority, è auspicabile ipotizzare che:

- tali *targets* (quando si riferiscono a valori mondiali) siano costanti nel tempo e validi per tutto il pianeta.
- l'inquinamento a livello mondiale sia rilevato con la massima frequenza (ad esempio annuale) con appositi monitoraggi.

Se le ipotesi precedenti sono verificate, il metodo LCA è un valido strumento che permette di collegare l'impatto ambientale legato ai processi produttivi dei paesi più industrializzati con quelli in via di sviluppo. Si propone, a tal proposito, il seguente esempio.

Per semplicità si considerino tutti i paesi industrializzati rappresentati da un unico paese chiamato I, e tutti i paesi in via di sviluppo rappresentati da un unico paese chiamato S. Il paese I produce attualmente e annualmente un inquinamento ambientale pari ad $iI=80\text{kg} \times 10^9/\text{anno}$ d'acidificazione, mentre il paese S produce nello stesso anno un inquinamento ambientale pari a

$s_1=20\text{kg} \times 10^9/\text{anno}$. L'inquinamento totale, riferito al tema acidificazione, prodotto in questo primo anno dai due paesi, è dato da:

$$t_1 = i_1 + s_1 = 80 + 20 = 100\text{kg} \times 10^9/\text{anno}$$

dove:

i_1 = quantità di acidificazione prodotta dal paese I nel primo anno di attività;

s_1 = quantità di acidificazione prodotta dal paese S nel primo anno di attività;

t_1 = quantità totale di acidificazione prodotta nei due paesi nel primo anno.

Si suppone, in maniera del tutto esemplificativa, che il target mondiale t_{\max} per l'acidificazione, da raggiungere entro un determinato periodo di tempo (ad esempio nell'anno successivo a quello esaminato), sia di $t_{\max} = 80\text{kg} \times 10^9/\text{anno}$ di acidificazione.

Il fattore di riduzione f_{r1} per rispettare il limite, da applicare ad entrambi i paesi è di:

$$f_{r1} = t_1/t_{\max} = 100/80 = 1.25$$

Il paese I può quindi produrre un inquinamento ambientale nel secondo anno pari a:

$$i_2 = i_1/f_{r1} = 80/1.25 = 64\text{kg} \times 10^9/\text{anno di acidificazione}$$

dove:

i_2 = quantità massima ammissibile di acidificazione che il paese I può produrre nel secondo anno di attività.

La riduzione della produzione di acidificazione (tramite l'uso di tecnologie meno inquinanti) del paese I per il secondo anno deve essere pari a Δi :

$$\Delta i = i_1 - i_2 = 80 - 64 = 16\text{kg} \times 10^9/\text{anno di acidificazione}$$

dove:

Δi : = riduzione di acidificazione del paese I.

Il paese S può produrre un inquinamento ambientale pari a:

$$s_2 = s_1/f_{r1} = 20/1.25 = 16\text{kg} \times 10^9/\text{anno di acidificazione}$$

dove:

s_2 = quantità massima ammissibile di acidificazione che il paese S può produrre nel secondo anno di attività.

Il paese S deve quindi ridurre la produzione di acidificazione per l'anno successivo di un Δs pari a:

$$\Delta s = s_1 - s_2 = 20 - 16 = 4\text{kg} \times 10^9/\text{anno di acidificazione}$$

dove:

Δs = riduzione di acidificazione del paese S.

Tutto questo vale nell'ipotesi che, in ciascuno dei due paesi, durante l'anno successivo, la produzione industriale non cambi.

Si prenda ora in considerazione il caso in cui nel secondo anno entrambi i paesi, grazie alle loro tecnologie di produzione, abbiano applicato il fattore di riduzione $f_{r1} = 1.25$ alla quantità d'acidificazione annuale prodotta, ma, mentre il paese I ha mantenuto costante il suo livello di produzione industriale, il paese S l'ha raddoppiata.

A seguito di ciò, la quantità d'acidificazione prodotta dal paese S è aumentata rispetto a quella del primo anno di una quantità pari a:

$$s_3 = s_1 \times 2 = 16 \times 2 = 32 \text{ kg} \times 10^9/\text{anno di acidificazione}$$

dove si ha:

s_3 = quantità di acidificazione prodotta nel paese S nel secondo anno, applicando f_{r1} e tenendo conto che è raddoppiata la sua produzione industriale.

Rimane inalterata l'acidificazione del paese I, pari a $i_3 = 64 \text{ kg} \times 10^9/\text{anno di acidificazione}$.

La quantità d'acidificazione totale prodotta dai due paesi vale ora:

$$t_2 = i_3 + s_3 = 64 + 32 = 96 \text{ kg} \times 10^9/\text{anno di acidificazione}$$

dove si ha:

t_2 = quantità totale di acidificazione prodotta dai due paesi nel secondo anno.

Poiché il target $t_{\max} = 80 \text{ kg} \times 10^9/\text{anno}$ d'acidificazione è costante, per ipotesi, si ha che il fattore di riduzione f_{r2} in questo caso vale:

$$f_{r2} = t_2/t_{\max} = 96/80 = 1.2$$

Quest'esempio mostra come il paese I, nonostante sia rispettoso del *target* assegnato mediante l'uso del fattore di riduzione, deve ridurre ulteriormente la quantità di acidificazione prodotta annualmente, per l'effetto dello sviluppo industriale del paese S, che è altrettanto rispettoso del *target*, ma che si sta sviluppando industrialmente.

Quanto detto fino ad ora per il tema ambientale dell'acidificazione, è ovviamente valido per qualsiasi altro tema ambientale.

Dall'esempio sopra riportato s'intuisce un problema d'ordine storico, politico e sociale: la crescita economica e l'industrializzazione dei paesi in via di sviluppo aumenta l'inquinamento mondiale. Se si volesse risolvere tale problema con il rispetto del target mondiale d'impatto ambientale ammissibile e consentito, i paesi industrializzati sarebbero costretti a ridurre ulteriormente l'impatto ambientale delle loro produzioni, venendo sottoposti ad un aumento dei costi, volti ad ottenere processi e prodotti industriali maggiormente ecocompatibili (necessariamente più costosi almeno all'inizio), con il rischio d'essere meno competitivi, a livello di costo, rispetto ai prodotti provenienti dai paesi in via di sviluppo. Purtroppo sembra che a tale problema molti paesi industrializzati diano risposta esportando le tecnologie industriali ed i processi tecnologici considerati più inquinanti nei paesi in via di sviluppo, dove la sensibilità e la pressione dell'opinione pubblica ed i controlli da parte dello Stato sono sicuramente meno incisivi. E rendendo il *target* mondiale di impatto ambientale un obiettivo sempre più lontano ad essere soddisfatto.

4.2.6 Conclusione

Il metodo dell'LCA risulta tanto più attendibile quanto più è ricca la banca dati delle sostanze rilasciate nell'ambiente dai vari processi industriali necessari per l'ottenimento del prodotto in esame. Inoltre, poiché la valutazione dei risultati dell'LCA dipende sia dalla scelta dei metodi utilizzati per collegare le sostanze emesse nell'ambiente alle categorie d'impatto ambientale, sia dalla scelta attuata per ridurre l'attuale livello di sostanze inquinanti in un tempo determinato, si comprende come queste due scelte siano molto delicate e complesse; esse coinvolgono infatti molteplici aspetti tecnici, sociali ed economici, quali il rispetto dell'ambiente, il rapporto tra costi e benefici che riguardano non solo le aziende e ma anche tutta la società civile.

4.3 METODI DI CALCOLO DEL DANNO

4.3.1 Le caratteristiche principali dei metodi

I metodi sono *midpoint* quando misurano i danni in base alle sostanze naturali che vengono a mancare e alle emissioni che li producono. In questo caso i danni sono solo caratterizzati e normalizzati ed eventualmente valutati e le categorie di impatto hanno come unità di misura l'unità equivalente delle emissioni che producono il danno, la caratteristica principale delle sostanze che producono il danno (MJ, \$, $m^2 \cdot yr$).

I metodi sono *endpoint* quando misurano i danni in base agli effetti che le emissioni o le sostanze naturali che vengono a mancare producono sull'uomo, sulla qualità dell'ecosistema, sull'esaurimento delle risorse, sui cambiamenti climatici. In questo caso le sostanze e le emissioni sono caratterizzati, le categorie di impatto sono caratterizzate in categorie di danno, le categorie di danno sono normalizzate e valutate.

In tutti i metodi il danno dovuto al **Global warming** considera solo le emissioni di CO₂, CH₄ ed eventualmente CO, prodotte dalla combustione dei combustibili fossili e non considera quelle biogeniche (escluso il metano) e la CO₂ assorbita dall'atmosfera da parte della vegetazione (che ha un segno negativo perché è un vantaggio per l'ambiente).

4.3.2 Eco-indicator 99

Eco-indicator 99 (Olanda) attribuisce un peso elevato al **Land use**, non considera l'uso dell'acqua (inserito dal gruppo di studio), le categorie di impatto e di danno sono misurate come endpoint (gli effetti del danno come unità di misura). L'emissione dei composti del carbonio con effetto serra è considerata solo relativamente alla salute dell'uomo (**Climate change**). Nella valutazione, il gruppo di studio ha assunto un fattore di valutazione uguale a 1 per le tre categorie di danno. E' un metodo endpoint. Le categorie di impatto hanno le stesse unità di misura delle categorie di danno esclusa **Ecotoxicity** che misura il danno in $PAF \cdot m^2 \cdot yr$ ¹.

Le categorie di danno hanno le seguenti unità di misura:

Human Health: DALY, che misura gli anni di vita persi dall'intera comunità europea a causa di 1 kg dell'emissione considerata;

Ecosystem Quality: $PDF \cdot m^2 \cdot yr$, che misura la percentuale delle specie vegetali europee danneggiate a causa di 1 kg dell'emissione considerata (Potential Disappeared Fraction), moltiplicata per l'area dell'Europa (m^2) e il numero di anni di permanenza dell'emissione (yr);

Resources: MJ surplus, che misura l'energia in più necessaria per estrarre 1 kg della risorsa considerata quando la richiesta sarà 5 volte quella del 1990.

Il danno totale è espresso in punti (Pt).

Categoria di impatto	Unità di misura	Categoria di danno	Unità di misura
Carcinogens	DALY	Human Health	DALY

¹ $PAFm^2yr$ misura la percentuale delle specie vegetali europee danneggiate (influenzate) a causa di 1 kg dell'emissione considerata (Potential Affected Fraction)

Respiratory inorganics			
Respiratory organics			
Climate change			
Radiation			
Ozone layer			
Ecotoxicity			
Acidification/ Eutrophication	PAF*m ² *yr	Ecosystem Quality	PAF*m ² *yr
Land use			
Minerals	MJ surplus	Resources	MJ surplus
Fossil fuels			

Tabella 4-4 Le categorie di impatto e di danno in Eco-Indicator 99

Con la caratterizzazione le sostanze (risorse ed emissioni) vengono caratterizzate (moltiplicate per il fattore di caratterizzazione) e inserite nelle singole categorie di impatto. Le categorie di impatto vengono poi caratterizzate (moltiplicate per il fattore di damage assessment) e inserite nelle categorie di danno a cui appartengono (damage assessment). La categoria di impatto così caratterizzata viene normalizzata dividendola per un fattore di normalizzazione che è il danno nella stessa categoria dovuto alle attività umane in Europa in 1 anno e riferito al singolo cittadino europeo. La categoria di danno (e quindi quella di impatto) così normalizzata, viene valutata (moltiplicata per il fattore di valutazione) che vale 1 per tutte le categorie di danno. Nella versione standard alle categorie di danno viene assegnato un peso diverso a seconda della prospettiva culturale (egualitaria, gerarchica(o scientifica) e individualista).

Il danno totale è espresso in punti (Pt).

4.3.3 IMPACT 2002

IMPACT 2002 (Svizzera) non considera l'acqua e la trasformazione del territorio, (inserite entrambe dal gruppo di studio coordinato dall'Ing. Paolo Neri dell'Enea di Bologna), le categorie di impatto sono misurate come endpoint (unità di emissione equivalente) e le categorie di danno sono misurate come midpoint (effetti sull'ecosistema, sulla salute dell'uomo e sull'esaurimento delle risorse). L'emissione delle sostanze con effetto serra è considerata solo nel **Global warming** (impact category) e quindi in **Climate change** (damage category). Nella valutazione del danno il metodo attribuisce un fattore di valutazione uguale a 1 per le quattro categorie di

danno. E' un metodo sia midpoint che endpoint. Le categorie di impatto hanno come unità di misura le quantità di sostanza equivalente (midpoint). Le categorie di danno (esclusa **Climate Change** che è ancora misurata con le quantità di sostanza equivalente) hanno come unità di misura l'effetto del danno sull'uomo (salute), sulla qualità dell'ecosistema (biodiversità) e sull'esaurimento delle risorse (endpoint).

Con la caratterizzazione vengono caratterizzate (moltiplicate per il fattore di caratterizzazione) le sostanze e inserite nelle singole categorie di impatto. Le categorie di impatto vengono poi caratterizzate (moltiplicate per il fattore di damage assessment) e inserite nelle categorie di danno a cui appartengono (damage assessment). La categoria di impatto così caratterizzata viene normalizzata dividendola per un fattore di normalizzazione che è il danno nella stessa categoria dovuto alle attività umane in Europa in 1 anno e riferito al singolo cittadino europeo. La categoria di danno (e quindi quella di impatto) così normalizzata, viene valutata (moltiplicata per il fattore di valutazione) che vale 1 per tutte le categorie.

Il danno totale è espresso in punti (Pt).

Categoria di impatto	Unità di misura	Categoria di danno	Unità di misura
Carcinogens	kg C2H3Cl eq	Human Health	DALY
Non - carcinogens	kg C2H3Cl eq		
Respiratory inorganics	kg PM 2.5 eq		
Ionizing radiation	Bq C-14 eq		
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq		
Respiratory organics	kg CH3 eq		
Aquatic ecotoxicity	kg TEG ² water		
Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil		
Terrestrial acid/nutri	kg SO2 eq		
Land occupation	m2org.arable		
Aquatic acidification	kg SO2 eq		
Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim		

² TEG: triethylene glycol

Global warming	kg CO2 eq	Climate change	kg CO2 eq
Non-renewable energy	MJ primary	Resources	MJ primary
Mineral extraction	MJ surplus		

Tabella 4-5 Le categorie di impatto e di danno in Impact 2002

Implementato dallo Swiss Federal Institute of Technology di Losanna, il metodo di valutazione ambientale denominato Impact 2002+ offre una soluzione intermedia tra gli approcci dalle precedenti metodologie midpoint-oriented (basate sulle categorie di impatto, come CML ed EDIP 1996) e damage-oriented (orientate alla valutazione per categorie di danno, come EPS ed Eco-Indicator99), connettendo i risultati desunti dagli inventari LCI a 14 “midpoint categories” a loro volta riconducibili a 4 “damage categories”.

Le categorie di danno utilizzate da Impact 2002+ sono:

- **Human Health**, misurata in DALY e derivata dalle 5 midpoint categories *Human toxicity*, *Respiratory (inorganics)*, *Ionizing radiations*, *Ozone layer depletion*, *Photochemical oxidation* (corrispondente alla voce *Respiratory (organics) for human health*);
- **Ecosystem quality**, misurata in PDF*m2*yr, derivata dalle midpoint categories *Acquatic ecotoxicity*, *Terrestrial ecotoxicity*, *Terrestrial acidification / nitrification*, *Acquatic acidification*, *Acquatic eutrophication* e *Land occupation*, alle quali potrebbero essere aggiunto l’apporto delle midpoint categories già incontrate in Human Health, *Photochemical oxidation* e *Ozone layer depletion*. Ma quest’ultimo collegamento non è stato ancora determinato quantitativamente. Si noti come l’architettura di Impact 2002+, diversamente da quella di EcoIndicator, preveda la possibilità di allocare gli apporti delle diverse midpoint categories all’interno di più categorie di danno: nel caso dell’ossidazione fotochimica è per l’appunto in fase di elaborazione una metodologia, già individuata per stimare il danno sulla salute umana, in grado di legare tale impatto anche all’integrità degli ecosistemi naturali;
- **Climate Change**, misurata in kg di CO2 equivalente in aria, derivata dall’unica categoria di impatto *Global warming*;
- **Resources**, in MJ, costruita a partire dalle midpoint categories *Non renewable energy* e *Mineral extraction*.

In aggiunta a questa correlazione tra midpoint e damage sono state anche affrontate alcune richieste scientifiche sorte specialmente nelle aree degli impatti relativi alla tossicità umana e alla ecotossicità, come i seguenti:

- La stima dei rischi tossicologici cronici cumulativi e di potenziali impatti in applicazioni comparative come possono essere quelle dell’LCA
- La considerazione del carattere intermittente della pioggia e della differenza tra emissioni indoor e outdoor
- La determinazione degli effetti di emissioni da prodotti chimici tenendo conto delle esposizioni ad esse basate sulla loro produzione piuttosto che sulla loro quantità esistente in un determinato luogo.

4.3.3.1 Le categorie di impatto in Impact 2002+

I fattori di caratterizzazione per le diverse categorie di impatto sono basati su un principio di equivalenza, cioè i punteggi assegnati alle diverse sostanze sono espressi in kg-equivalenti di una sostanza di riferimento. In Tab.1 sono riportate le categorie di impatto (midpoint), le sostanze di riferimento, le categorie di danno (endpoint), le unità di misura delle categorie di danno. Obiettivo principale comune a tutte le categorie di impatto è la determinazione degli effetti a lungo termine ottenuta mediante l'uso di un orizzonte temporale (time horizon) infinito (qualche volta approssimato da un time horizon di 500 anni)

Categoria di danno	Categoria di impatto	Sostanza di riferimento
Human Health (in DALY)	Human toxicity	Kg _{eq} chloroethylene (in aria)
	Respiratory (inorganics)	Kg _{eq} PM2.5 (in aria)
	Ionizing radiations	Bq _{eq} carbon-14 (in aria)
	Ozone layer depletion	Kg _{eq} CFC-11 (in aria)
	Photochemical oxidation	Kg _{eq} ethylene (in aria)
Ecosystem Quality (in PDF*m2*yr)	Acquatic ecotoxicity	Kg _{eq} triethylene (in acqua)
	Terrestrial ecotoxicity	Kg _{eq} triethylene (in acqua)
	Terrestrial acidification/nutrication	Kg _{eq} SO2 (in aria)
	Acquatic acidification	Kg _{eq} SO2 (in aria)
	Acquatic eutrophication	Kg _{eq} PO4 (in acqua)
Climate Change (in kgeq CO2)	Land occupation	m _{eq} organic arable land*yr
	Global warming	Kg _{eq} CO2 (in aria)
Resources (in MJ)	Non-renewable energy	Kg _{eq} crude oil (860kg/mc) o MJ total primary non-renewable
	Mineral extraction	Kg _{eq} iron (in ore)

Tabella 4-6 Metodo Impact 2002+: sostanze di riferimento utilizzate nella caratterizzazione delle categorie midpoint

La categoria midpoint *Human Toxicity* costituisce uno dei principali aspetti di novità introdotti da Impact 2002+, che lo differenzia dalle metodologie elaborate in precedenza: attraverso un nuovo modello di calcolo, *Human toxicity* risponde all'esigenza di stimare il rischio tossicologico cumulativo e i potenziali impatti associati ad una determinata quantità di sostanza liberata nell'ambiente. Tale legame viene esplicitato ricorrendo ad un codice di calcolo denominato IMPACT 2002 (*Impact Assessment of Chemical Toxics*, da non confondere col nome della metodologia di analisi LCA che ne fa uso, cioè Impact 2002+), che è in grado di modellizzare rischio e potenziale impatto di migliaia di sostanze chimiche, calcolando i fattori a livello dell'Europa Occidentale con differenziazioni spaziali per 50 bacini idrografici e celle d'aria europee.

Il codice utilizza le seguenti informazioni relative alla tossicità umana:

- la diffusività (*fate*) della sostanza che comprende il trasporto nell'ambiente, l'esposizione e la risultante capacità di assorbimento da parte dell'uomo
- il fattore effetto (*effect factor*) che caratterizza il rischio potenziale legato al livello di tossicità
- la severità (*Severity*) che caratterizza la gravità del danno dovuto alle malattie indotte.

Lo *Human Damage Factor* (HDF_i) della sostanza i , misurato in DALY (Disability Adjusted Life Years per kg_{emesso}), viene calcolato come segue:

$$HDF_i = iF_i * EF_i = iF_i * b_i * D_i$$

dove iF rappresenta la *intake Fraction*, ossia la frazione della massa complessiva della sostanza rilasciata nell'ambiente che raggiunge la popolazione attraverso la contaminazione degli alimenti, l'inalazione o il contatto diretto in $kg_{assorbito}$, per kg_{emesso} , EF (*effect factor*) è il prodotto del fattore che rappresenta la derivata della curva dose-risposta b_i (in rischio di incidenza per kg_{emesso}) e della *severity*, ossia della capacità della sostanza di indurre disturbi gravi (D in DALY per incidenza). La *intake fraction* iF per una diffusione di sostanze chimiche tiene conto del loro trasporto e dell'esposizione ad esse dell'uomo associata alla produzione del cibo, all'approvvigionamento dell'acqua e alla loro inalazione. I fattori di caratterizzazione sono calcolati per emissioni in un sistema europeo occidentale inserito in un sistema globale. Per il loro calcolo si è tenuto conto del carattere intermittente della pioggia. Tra i diversi modi con cui le sostanze vengono assorbite dall'uomo il codice ha tenuto conto anche dell'assorbimento di agenti contaminanti dai prodotti agricoli e animali. Per l'*effect factor* il codice usa un nuovo approccio per calcolare quello relativo agli impatti tossicologici non cancerogeni basato sulla dose che induce una risposta del 10% (ED_{10}). Essa deriva dal concetto di dose soglia (benchmark dose) che valuta il rischio della salute e stima una dose minima. L'*effect factor* si ottiene dalla relazione:

$$b_{i_{human}} = (0.1/ED_{10}) * 1/(BW * LT_h * N_{365})$$

dove si ha:

$b_{i_{human}}$ = fattore effetto sulla salute umana [rischio di una incidenza per kg assorbito]

ED_{10} = dose soglia che produce il 10% di casi [$mg/kg/day$]

BW = peso medio del corpo nella popolazione considerata [$kg/pers$]

LT_h = tempo di vita medio della popolazione considerata [yr]

N_{365} = numero di giorni per anno [$days/yr$]

Il DALY caratterizza la severità del danno e tiene conto sia della mortalità (Years of Life Lost (YLL) dovuta a morte prematura) che della malattia. Sono stati assunti 6.7 e 0.67 come valori per difetto per effetti cancerogeni e non cancerogeni rispettivamente.

Un reale midpoint potrebbe essere il numero di casi per la stessa malattia. Tuttavia, poiché molte sostanze causano un grande numero di malattie, il rischio di malattie non può essere sommato senza considerare implicitamente (uguale severità), o preferibilmente in modo esplicito, la loro severità. Perciò il fattore di caratterizzazione per le categorie di impatto è ottenuto semplicemente dividendo lo Human Damage Factor (HDF) della sostanza considerata i per quello della sostanza di riferimento (per la midpoint category Human toxicity si tratta del cloroetilene, sostanza cancerogena per la quale si dispone di un quadro tossicologico causa-effetto particolarmente dettagliato e un principale impatto per inalazione):

$$HTP_i = HDF_i / HDF_{chloroethylene} \text{ [in } kg_{eq} \text{ chloroethylene in air]}$$

4.3.3.2 Le categorie di impatto Aquatic and terrestrial ecotoxicity

L'impatto sugli ecosistemi acquatici é, sotto certi aspetti, affrontato in maniera analoga a quanto appena esposto in relazione alla tossicità per l'uomo, con alcune differenze: in quest'ultimo caso, innanzitutto, l'interesse è focalizzato sulla salute di un individuo, piuttosto che su quella delle specie. In secondo luogo, l'interfaccia tra analisi di diffusività della sostanza e di effetto sui comparti bersaglio non è più dato dalla potenziale gravità delle patologie certamente indotte dalla sostanza (fattore dose-risposta), ma piuttosto dal suo livello di concentrazione nelle acque superficiali. La diffusività mette in relazione l'emissione di una sostanza al cambiamento nella sua concentrazione nell'acqua. L'esposizione è implicitamente presa in considerazione nel fattore d'effetto che caratterizza il rischio a livello delle differenti specie, ricorrendo come unità di misura a una Potentially Affected Fraction (PAF, quota della popolazione potenzialmente

affetta da un disturbo) o a una Potentially Disappeared Fraction (PDF, quota della popolazione potenzialmente scomparsa a causa di un effetto letale della sostanza) della specie. Per gli ecosistemi acquatici, la frazione potenzialmente affetta della specie per unità di emissione nel tempo (APAF, in PAF*m3*yr/kg) è ricavata dal prodotto di un fattore di diffusività (*fate factor* $F \cdot \psi$, misurato in anni) e di un fattore di effetto (*effect factor* b , misurato in PAF*m3/kg) come segue:

$$APAF_i = F_i^{mw} * \psi_i^w * b_i, \text{ in PAF} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{yr} / \text{kg}$$

Il *fate factor* è ottenuto moltiplicando due parametri forniti dal modello IMPACT 2002: la frazione adimensionale F_i^{mw} dell'emissione di sostanza i nel compartimento m che raggiunge i corpi idrici superficiali, ψ_i^w il tempo di permanenza (in anni) della sostanza i in acqua, uguale all'inverso del tempo di decadimento costante in acqua (k). Esso corrisponde anche all'incremento della concentrazione integrato secondo lo spazio e il tempo in un'unità spaziale del corpo idrico per input di massa M della sostanza chimica introdotta nell'ecosistema acquatico:

$$\theta = \frac{1}{k} = \Delta C \cdot V \cdot \frac{\Delta t}{M}$$

dove ΔC (in kg/m³) rappresenta la variazione di concentrazione nel volume di acqua V (in m³), dovuto all'apporto di sostanza $M \Delta t$ (in kg/yr). Tale integrazione spaziale differisce dalla tradizionale valutazione del rischio basata sul rapporto tra concentrazione prevista e la concentrazione di sostanza senza effetti sulla salute dell'ecosistema (PEC/PCNEC). Nella pratica, introducendo il volume d'acqua che è stato contaminato con certezza si evita di considerare che l'inquinamento di tutti i laghi d'Europa rispetto a quello di un piccolo bacino è equivalente in termini di impatto. Il fattore di caratterizzazione ecotossicologico per gli ambienti acquatici non include una componente riferita alla magnificazione biologica (esposizione addizionale dovuta alla contaminazione dei cibi); viene considerata solo la bio-concentrazione (trasferimento diretto di sostanze chimiche alle specie, sulla base di test tossicologici di laboratorio).

L'*effect factor* (b_i) rappresenta il mutamento della Potentially Affected Fraction delle specie che dimostra un incremento dello stress dovuto all'aumento della concentrazione del contaminante. IMPACT 2002 calcola l'impatto medio sulle specie usando il valore HC50 (*Hazardous Concentration 50%*), che esprime la concentrazione critica in grado di affliggere il 50% delle specie presenti nell'ecosistema:

$$b_i = 0.5 / HC50_i^w \text{ (in PAF m}^3/\text{kg)}.$$

$HC50_i^w$, in kg/m³, è calcolato come la media geometrica dei valori di EC50 relativi alle singole specie.

A livello di categoria di impatto, il potenziale ecotossicologico dell'acqua (AEP_i in kg_{eq} triethylene glicol in water per kg_i) viene ottenuto normalizzando l'effetto della sostanza i rispetto all'effetto di una sostanza di riferimento, che è il *Triethylene glicol*:

$$AEP_i = APAF_i / APAF_{\text{triethylene glicol}}$$

I potenziali di ecotossicità terrestre per la categoria di impatto Terrestrial ecotoxicity sono calcolati in maniera analoga: gli HC50 per gli ambienti terrestri sono calcolati, come funzione del coefficiente di assorbimento della sostanza considerata (K_{di} , in m³ /kg), della densità del suolo (r^s , in kg/m³) e del fattore f^w dimensionale che esprime il contenuto medio di umidità nel suolo:

$$HC50_i^s = HC50_i^w * (K_{di} * r^s + f^w)$$

4.3.3.3 Le altre categorie di impatto in Impact 2002+

I fattori di caratterizzazione per le altre categorie midpoint di Impact 2002+ (Respiratory effects, photochemical oxidation, ionizing radiation, ozone layer depletion, terrestrial acidification/nutrication, land use occupation e mineral extraction) sono ottenute da Eco-Indicator 99, adottando la prospettiva culturale egualitaria di default ed applicando un fattore di normalizzazione rispetto ad una sostanza di riferimento (vedi tab. 2). Per il Climate change i più recenti Global Warming Potentials (IPPC 2002) vengono impiegati con un orizzonte temporale di 500 anni per prendere in considerazione gli effetti di lungo termine delle emissioni di gas climalteranti.

I fattori di caratterizzazione per aquatic acidification e aquatic eutrophication sono adattati da Hauschild e Wenzel (1998). Aquatic acidification è suddivisa in due classi, valide rispettivamente per bacini idrografici limitati a P e limitati a N. Per default sono applicati i valori per i bacini P-limited poiché attualmente il fosforo è la sostanza presente in quantità maggiore nei fertilizzanti. Questo può essere spiegato col fatto che i ciano-bacteria nei laghi e nei fiumi fissano l'azoto dell'atmosfera quando i nitrati sono limitati nell'acqua. Perciò, a lungo termine, un aumento della concentrazione dei nitrati non influenzerà lo sviluppo dell'ecosistema, mentre un aumento dei fosfati porterà sempre ad un aumento dell'impatto.

I fattori di caratterizzazione per il consumo di risorse non rinnovabili, in termini di energia totale primaria estratta, vengono calcolati ricorrendo al potere calorifico superiore.

4.3.3.4 Categorie di danno

I fattori di danno delle sostanze vengono ottenuti moltiplicando i fattori di caratterizzazione per quelli di danno delle sostanze di riferimento (vedi TABELLA 4-7).

I fattori di caratterizzazione per le categorie di impatto (midpoint) di **Human Health** sono espressi sempre in DALY/kg_{emissione} o in DALY/Bq_{emissione} per la categoria Ionizing radiation. Per la **Ecosystem Quality** le categorie di impatto terrestrial acidification, terrestrial nutrication a land occupation sono state prese da Eco-Indicator 99 e il loro impatto si determina come una Potentially Disappeared Fraction in una certa area e in un certo intervallo di tempo per kg di sostanza emessa (espressa in PDF*m²*yr/kg_{emissione}).

Per l'ecotossicità la valutazione del danno è basata sul PAF delle specie integrato nel tempo e nel volume, espresso in PAF*m³*yr/kg. Per convertire i PAF in PDF si è usato il fattore di estrapolazione diretta 10 tra il NOEC del PAF e il NOEC del PDF. Il fattore deve essere cambiato rispetto a quello di Eco-Indicator99, poiché HC50 è basato su EC50 anziché sul NOEC, e deve essere moltiplicato per un fattore 0.5. Questo rappresenta l'assunzione che una metà delle specie affette oltre il loro livello di cronico EC50 scomparirà a causa della tensione tossica. Perciò il fattore di danno causato da ecotossicità acquatica (AEDF, in [PDFm²year/kg_{emitted}]) vale:

$$AEDF_i = 0.5 * APAF_i / h^w$$

dove h^w è la profondità media della falda acquifera, in [m].

Metodi di estrapolazione sono attualmente in fase di sviluppo per la determinazione dei fattori di danno che caratterizzano gli impatti sull'ecosistema causati da acidificazione acquatica e eutrofizzazione acquatica. Anche photochemical oxidation e ozone depletion contribuiscono potenzialmente all'impatto sull'ecosistema. Tuttavia mancano attualmente adeguate informazioni scientifiche tali da poter quantificare i loro contributi in termini di PDF.

Per la categoria **Climate Change** si è ritenuto che i dati per stabilire il danno dei mutamenti climatici sulla qualità dell'ecosistema e sulla salute umana fossero ancora non abbastanza accurati. L'interpretazione, di conseguenza, ha luogo direttamente al livello della midpoint

category, che può essere interpretato come danno relativo ai sistemi di supporto alla vita chiamati alla protezione della loro stessa esistenza. La categoria di impatto **Global warming** viene considerata come una endpoint category a sé stante con unità di misura in $[kg_{eq} \text{ di } CO_2]$, in quanto il fattore di danno (nel passaggio alla categoria di danno Climate Change) assume valore 1. L'orizzonte temporale è ancora di 500 anni per tenere conto sia degli effetti brevi che quelli a lungo termine.

Per quanto concerne infine **Resources**, le due midpoint categories che contribuiscono ad essa sono mineral extraction e non-renewable energy consumption. Il danno dovuto a mineral extraction è calcolato come in Eco-Indicator 99 mediante il concetto di Surplus Energy (in [MJ]). Esso si basa sull'assunzione che l'estrazione di un materiale determina un incremento del fabbisogno di energia per ogni ulteriore quantità di sostanza che sarà necessario estrarre dal sottosuolo in futuro, ciò a causa della ridotta ed eterogenea diffusione delle risorse minerarie nel pianeta e delle caratteristiche sempre meno vantaggiose in termini di reperibilità e facilità di captazione dei giacimenti mondiali. Ma mentre i minerali potrebbero essere potenzialmente accessibili al termine dell'utilizzo, una volta avviati a smaltimento con eventuale recupero, l'energia non rinnovabile (ad esempio quella da combustibili fossili) una volta utilizzata non può essere ripristinata a un livello energetico funzionale al reimpiego. In altri termini, il contenuto energetico dei materiali si esaurisce progressivamente come risorsa, in aggiunta alla surplus energy (maggiore energia necessaria per accedere alle scorte di combustibili fossili in assottigliamento). Per questa ragione, contrariamente a quanto avviene in Eco-Indicator 99, per le risorse energetiche non rinnovabili viene considerata l'energia primaria non rinnovabile complessiva, compresa l'energia potenziale contenuta nelle materie prime dei materiali. L'unità di misura della categoria di danno Resources è la somma della quantità di energia primaria per l'estrazione dei minerali e dell'energia primaria per vettori energetici (energy carriers), in $[MJ/unit_{consumed}]$.

Categoria di danno	Categoria di impatto	Fattore di danno	Sostanza di riferimento
Human Health (in DALY)	Human toxicity	2,80 E-6	Kg_{eq} chloroethylene (in aria)
	Respiratory (inorganics)	7,00 E-4	Kg_{eq} PM2.5 (in aria)
	Ionizing radiations	2,10 E-10	bq_{eq} carbon-14 (in aria)
	Ozone layer depletion	1,05 E-3	Kg_{eq} CFC-11 (in aria)
	Photochemical oxidation	2,13 E-6	Kg_{eq} ethylene (in aria)
Ecosystem Quality (in PDF*m2*yr)	Acquatic ecotoxicity	5,02 E-.5	Kg_{eq} triethylene (in acqua)
	Terrestrial ecotoxicity	7,91 E-3	Kg_{eq} triethylene (in acqua)
	Terrestrial acidification/nutrication	1,04	Kg_{eq} SO2 (in aria)
	Acquatic acidification	n.d. (8,86 E-5 ?)	Kg_{eq} SO2 (in aria)
	Acquatic eutrophication	n.d. (8,86 E-5 ?)	Kg_{eq} PO4 (in acqua)
	Land occupation	1,09	m_{eq} organic arable land*yr
Climate Change (in kgeq CO2)	Global warming	1	Kg_{eq} CO2 (in aria)
Resources (in MJ)	Non-renewable energy	1	Kg_{eq} crude oil (860kg/mc) o MJ total primary non-renewable
	Mineral extraction	1	Kg_{eq} iron (in ore)

Tabella 4-7 Metodo Impact 2002+: fattori di danno per le categorie di Impact 2002+

4.3.3.5 La normalizzazione e la valutazione del danno

Per analizzare il peso relativo di ogni classe di impatto rispetto al danno totale si applica alle categorie di impatto e alle categorie di danno un fattore di normalizzazione. Il fattore di normalizzazione è il rapporto tra l'impatto specifico per unità di emissione diviso per l'impatto totale della totalità delle sostanze della specifica categoria, per persona e in un anno. L'unità di misura di tutti i fattori delle categorie di impatto è $[\text{pers} \cdot \text{year} / \text{unit}_{\text{emissione}}]$, cioè il numero di persone equivalenti affette durante 1 anno per unità di emissione. Gli autori consigliano di fare la normalizzazione dopo la caratterizzazione. In TABELLA 4-8 sono riportati i fattori di normalizzazione per le 4 categorie di danno.

Categoria di danno	Fattore di normalizzazione	Unità di misura
Human Health	141	Persona*anno / DALY
Ecosystem Quality	7,30 E-5	persona*anno / PDF*m2*anno
Climate Change	0,000101	persona*anno/ Kg CO2
Resources	0,0000068	Persona*anno / MJ

Tabella 4-8 Metodo Impact 2002+: fattori di danno per le categorie di Impact 2002+

In **Human Health** il fattore di normalizzazione è calcolato in accordo con Eco-Indicator 99, con due modifiche: gli impatti causati dai mutamenti climatici non sono presi in considerazione per le ragioni precedentemente esposte, mentre la tossicità delle sostanze inquinanti per l'uomo viene calcolata come somma degli effetti cancerogeni e non cancerogeni. Per ogni inquinante, l'impatto $[\text{in DALY}/\text{kg}_{\text{emissione}}]$ è moltiplicato per le emissioni annuali nell'Europa Occidentale (ripartite tra comparti: aria, suolo ed acqua), ottenendo il numero globale di DALY persi annualmente in Europa a causa della singola sostanza inquinante. Gli impatti totali sulla salute umana in un anno si ottengono quindi sommando quelli di tutte le sostanze $2.92\text{E}6$ $[\text{DALY} \cdot \text{year}]$. Infine tale valore è diviso per la popolazione europea (380 milioni di persone) per ottenere il valore da usare per la normalizzazione per Human Health: $7.7\text{E}-3$ $[\text{DALY}/(\text{pers} \cdot \text{year})]$, che esprime una riduzione di vita di circa tre giorni per anno e per persona.

Anche in **Ecosystem Quality** il fattore di normalizzazione è determinato in maniera simile a quello usato in Eco-Indicator 99, con due differenze: il danno alla qualità dell'ecosistema causato dalla trasformazione del suolo e dall'ossidazione fotochimica non viene considerato e il danno alla qualità dell'ecosistema causato dalle emissioni tossiche è ripartito tra le categorie di danno per gli ecosistemi acquatici e terrestri.

In **Climate Change** il valore rispetto al quale fare la normalizzazione è basato sulle emissioni annue totali di CO2 prodotte in Europa, moltiplicate per i potenziali di riscaldamento globale in un orizzonte di 500 anni. Il punteggio totale di riscaldamento globale relativo alle emissioni in Europa Occidentale è $3,78\text{E}12$ $[\text{kg}_{\text{eq}} \text{CO}_2/\text{anno}]$. Tale valore viene diviso per la popolazione europea, per ottenere la quota di gas climalteranti emessi per persona l'anno che è di $9.95\text{E}3$ $[\text{kg}_{\text{eq}} \text{CO}_2/(\text{pers} \cdot \text{year})]$.

In **Resources** il valore rispetto al quale fare la normalizzazione è calcolato come il consumo totale di energia non rinnovabile in Europa, includendo il consumo di energia nucleare. Per la valutazione gli autori consigliano di considerare separatamente le quattro categorie di danno. Tuttavia, se fosse necessaria una aggregazione di esse può essere usato o un fattore determinato dall'utente oppure per default il valore 1.

4.3.3.6 Modifiche al metodo Impact 2002+

Sono state introdotte le seguenti modifiche al metodo grazie al lavoro del gruppo di studio (LcaLab-spin off Enea, tesisti e dottorandi) coordinato dall'Ing. Paolo Neri dell'Enea_Bo.

- nella categoria **Mineral Extraction** sono state introdotte le seguenti risorse: *Silver, in ground, Silver, 0,01% in crude ore, in ground, Gravel, in ground, Sand, in ground, Lithium, in ground, Bromine, in ground*, e le diverse tipologie di acque di falda già introdotte in **Minerals** nel metodo Eco-indicator99. Per queste ultime i fattori di caratterizzazione sono gli stessi utilizzati in Eco-indicator99; per *Bromine, in ground* e *Lithium, in ground* si è scelto di mantenere la medesima proporzione presente tra i fattori di queste due risorse con quello della pirolusite, presa come riferimento, in Eco-indicator 99.
- In **Land occupation** sono state aggiunte le voci di *Transformation from* e *Transformation to* dei terreni corrispondenti alle relative voci già contemplate dal metodo di *Occupation*, così come è stato fatto nell'ambito del modello EPS 2000.
- Introduzione della categoria di impatto **Energia rinnovabile**

4.3.3.6.1 Indicatori per valutare i danni ambientali subiti dal suolo

Obiettivo dello studio è quello di definire le categorie di impatto e di danno per valutare il danno ambientale che subisce il terreno o quello che le mutate condizioni fisiche e chimiche che il terreno subisce provocano sull'uomo e sull'ecosistema e sulle risorse naturali.

4.3.3.6.1.1 Indicatore della produttività o fertilità

Ipotesi:

-la fertilità è direttamente proporzionale alla biomassa contenuta.

-con 100kg di biomassa immessa in 1 ha di suolo la fertilità aumenta del 10%

-l'aumento del 10% della fertilità riduce il danno dovuto all'occupazione del suolo relativa alla coltivazione considerata del 10%

Si introduce la categoria di impatto **Terreno (fertilità)** che richiama la substance *fertilità del terreno* nel compartment Non material alla quale si attribuisce il fattore -0.0001 m²org.arable/kg. L'unità di misura della categoria di impatto è m²org.arable. L'unità di misura della substance è m²org.arable.

Si introduce la categoria di danno **Terreno (fertilità)** che richiama la categoria di impatto **Terreno (fertilità)** alla quale si attribuisce il fattore -0.0001 m²org.arable/kg. L'unità di misura della categoria di danno è PDF*m²*yr. Il fattore di damage assessment è uguale a quello di **Ecosystem quality** e vale 1.09 PDF*m²*yr / m²org.arable.

Si introduce il set di Normalization/weighting **IMPACT 2002+suolo** che alla categoria di danno **Terreno (fertilità)** attribuisce il fattore di normalizzazione 7,30E-5 e di peso 1.

4.3.3.6.1.2 Indicatore della permeabilità

Ipotesi:

-la permeabilità del terreno per un terreno sabbioso vale 7.5E-2 m/sec e per un terreno argilloso vale 0.5E-8 m/sec. Il terreno da sabbioso diventa argilloso quando la permeabilità diminuisce di un fattore $7.5E-2 / 0.5E-8 = 15E6$ volte

-1E5kg di sabbia estratta produce una riduzione della permeabilità di 100 volte: 1E5 kg/100p

-il numero di estrazioni di sabbia estratta necessario per trasformare un terreno sabbioso in un terreno argilloso è: $15E5 / 100 = 15E3$ estrazioni di 1E5 kg

-la quantità di sabbia da estrarre perché ciò avvenga è: $15E3 * 1E5 \text{ kg} = 15E8 \text{ kg}$
 -la raccolta di sabbia da una zona golenica comporta una riduzione della permeabilità del terreno e quindi una facilitazione allo scorrimento dell'acqua del fiume esondato che produce danni alle case situate esternamente alla zona golenica.
 -l'effetto dell'esondazione comporta il ferimento di 10 persone con la perdita di 20giorni di vita (200 giorni di cure con una frazione di danno di 0.1) per ciascuno che equivale a: $10*20/365 = 0.547945\text{DALY}$ persi dalla comunità europea
 -per 1 kg di sabbia estratta si ha un danno di $0.547945\text{DALY} / 15E8 \text{ kg} = 3.652966667 \text{ E-10 DALY / kg}$
 -poiché a 1 kg corrisponde la riduzione di $1E-4 \text{ p}$, per 1p si ha un danno che vale: $3.652966667 \text{ E-10 DALY/kg} / 1E-4 \text{ p/kg} = 3.6529667E-6 \text{ DALY/ p}$.
 Si introduce la categoria di impatto **Terreno (permeabilità)** che richiama la substance *permeabilità del terreno* nel compartment Non material alla quale si attribuisce il fattore $100\text{p}/1E5\text{kg} = 0.001 \text{ p/kg}$. L'unità di misura della categoria di impatto è p (fattore di riduzione della permeabilità per kg di sabbia estratta). L'unità di misura della substance è kg.

Si introduce la categoria di danno **Terreno (permeabilità)** che richiama la categoria di impatto **Terreno (permeabilità)** alla quale si attribuisce il fattore $3.6529667E-6 \text{ DALY/p}$. L'unità di misura della categoria di danno è DALY.

4.3.3.6.1.3 Indicatore del dissesto idrogeologico

Ipotesi:

-dal processo Clay, at mine/CH si ottiene che a 1kg di argilla estratta corrisponde un'area di estrazione pari a 0.167cm^2 . La densità dell'argilla è 2.1kg/dm^3 . 1kg occupa il volume di $1/(2.1) = 0.4761908\text{dm}^3$. Perciò ad un'area di 0.00167dm^2 corrisponde una profondità pari a: $0.4761908/0.00167 = 285\text{dm}$

-durante l'esondazione la cava è riempita di sola acqua

-internamente alla cava si genera una spinta idrostatica pari a

$$\sigma = \rho * g * H = 9810 * 28.514 = 279722.34 \text{ N/m}^2$$

Dove:

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/sec}^2$$

$$H = 28.514 \text{ m}$$

-area della cava quadrata

$$\text{Per } 1 \text{ kg } l = (0.167E-4)^{0.5} = 4.086563348E-3 \text{ m/kg}$$

-lo sfondamento avviene quando il lato dell'area della cava vale 10m

$$F = \sigma * l * H = 279722.34 \text{ N/m}^2$$

-massa di argilla cavata quando l'area vale 100m^2 :

$$100\text{m}^2 / 1.67E-5\text{m}^2/\text{kg} = 5988024\text{kg}$$

-Forza esercitata su una lunghezza di 10 m:

$$F = \sigma * l * H = 279722.34 * 10 * 28.514 = 79760028 \text{ N}$$

-Forza relativa ad 1 kg asportato:

$$79760028 / 5988024 = 13.31992457 \text{ N/kg}$$

-lo sfondamento degli argini della cava provoca la morte di 10 persone di età media 40 anni (aspettativa di vita 80 anni) con un danno per la comunità europea di:

$$10 * (80 - 40) = 400 \text{ DALY}$$

Si introduce la categoria di impatto **Terreno (pressione idrostatica)** che richiama la substance *Clay, unspecified, in ground* del compartment Raw alla quale si attribuisce il fattore 13.31992457 N/kg . L'unità di misura della categoria di impatto è N. L'unità di misura della substance è kg.

Si introduce la categoria di danno **Terreno (pressione idrostatica)** che richiama la categoria di impatto **Terreno (pressione idrostatica)** alla quale si attribuisce il fattore $400DALY / 79760028 N = 5.015043375 E-6 DALY/N$. L'unità di misura della categoria di danno è DALY.

Si introduce il set di Normalization/weighting **IMPACT 2002+suolo** che alla categoria di danno **Terreno (pressione idrostatica)** attribuisce il fattore di normalizzazione 141 (quello di **Human Health**) e il fattore peso 1.

4.3.4 EPS 2000

EPS 2000 (Svezia) considera il danno relativo all'uso dell'acqua e alla produzione di cereali, di legno e di carne e pesce con una categoria di danno che indica la capacità di produzione dell'ecosistema. Inoltre considera il danno sulla salute dell'uomo, sulla biodiversità e sull'esaurimento delle risorse. L'emissione di CO₂ è considerata nella salute dell'uomo e negli effetti sull'ecosistema. Non considera le radiazioni ionizzanti, attribuisce un peso elevato all'uso delle risorse. La caratterizzazione delle categorie di impatto è fatta sulla base dei costi esterni (willingness to pay) e ha come unità di misura l'equivalente ambientale dell'euro (ELU). La valutazione è uguale a 1 per tutte le categorie di danno. E' un metodo endpoint.

Le categorie di impatto suddivise per categorie di danno hanno le seguenti unità di misura:

Human Health: PersonYr, che misura gli anni di vita persi dall'intera comunità mondiale a causa di 1 kg di emissione considerata;

Ecosystem Production Capacity: kg, che per tutte le categorie di impatto (esclusa **Soil acidification** che misura il danno in ioni H⁺eq) misura la quantità di sostanza prodotta o non prodotta a causa di 1 kg di emissione considerata);

Depletion of reserves: ELU (Environmental Load Unit), che è il costo esterno necessario per sopperire al danno dovuto all'esaurimento di 1 kg di risorsa considerata;

Species extinction: NEX, che misura il rapporto tra il numero di specie animali e vegetali mondiali influenzate da 1 kg di emissione considerata e il numero di specie totali influenzate in 1 anno nel mondo.

Le categorie di danno sono espresse in ELU che è il costo esterno necessario per sopperire al danno prodotto da 1 kg di emissione considerata.

Categoria di impatto	Unità di misura	Categoria di danno	Unità di misura
Life expectancy	PersonYr	Human Health	ELU
Severe morbidity	PersonYr		
Morbidity	PersonYr		

Severe nuisance	PersonYr		
Nuisance	PersonYr		
Crop growth capacity	kg	Ecosystem production Capacity	ELU
Wood growth capacity	kg		
Fish and meat production	kg		
Soil acidification	H+eq		
Prod. cap. irrigation water:	kg		
Prod. cap. drinking water	kg		
Depletion of reserves	ELU		
Species extinction	NEX	Biodiversity	ELU

Tabella 4-9 Le categorie di impatto e di danno in EPS 2000

Con la caratterizzazione vengono caratterizzate (moltiplicate per il fattore di caratterizzazione) le sostanze e inserite nelle singole categorie di impatto. Le categorie di impatto vengono poi caratterizzate (moltiplicate per il fattore di damage assessment) e inserite nelle categorie di danno a cui appartengono (damage assessment). La categoria di impatto così caratterizzata viene valutata (moltiplicata per il fattore di valutazione) che vale 1 per tutte le categorie di danno. Il danno totale è espresso in punti (Pt).

4.3.5 EDIP 2003

EDIP 2003 (Danimarca) non considera l'uso dell'acqua, le emissioni delle polveri, le radiazioni ionizzanti e l'uso del territorio. Contiene solo categorie di impatto, misurate come unità di emissione equivalente, come volumi di aria, acqua e suolo inquinati. Il metodo considera anche la quantità di rifiuti prodotti (compresi i rifiuti radioattivi). Ad eccezione dell'uso delle risorse, valuta il danno in base alla riduzione del danno stesso che la comunità nel futuro si prefigge di ottenere. Attribuisce uno scarso peso dell'uso delle risorse, perciò è stato modificato dal gruppo di studio. Per le risorse infatti considera come fattore peso per la valutazione il rapporto tra il consumo nell'anno 1990 e la disponibilità attuale. Tale fattore è stato modificato dal gruppo di studio considerando il rapporto tra il consumo nel 1990 e un consumo futuro che sia del 5% inferiore a quello del 1990.

Le categorie di impatto, con relative unità di misura, sono elencate nella tabella seguente.

Categoria di impatto	Unità di misura
-----------------------------	------------------------

Global warming 100a	kg CO2 eq
Ozone depletion	kg CFC11 eq
Ozone formation (Vegetation)	m ² .ppm.h
Ozone formation (Human)	person.ppm.h
Acidification	m ²
Terrestrial eutrophication	m ²
Aquatic eutrophication EP (N)	kg N
Aquatic eutrophication EP (P)	kg P
Human toxicity air	m ³
Human toxicity water	m ³
Human toxicity soil	m ³
Ecotoxicity water chronic	m ³
Ecotoxicity water acute	m ³
Ecotoxicity soil chronic	m ³
Hazardous waste	kg
Slag/ashes	kg
Bulk waste	kg
Radioactive waste	kg
Resources	kg

Tabella 4-10 Le categorie di impatto di EDIP 2003

Con la caratterizzazione vengono caratterizzate (moltiplicate per il fattore di caratterizzazione) le sostanze e inserite nelle singole categorie di impatto. La categoria di impatto così caratterizzata viene normalizzata dividendola per un fattore di normalizzazione che è il danno per persona nel 1990 (nel mondo per le due categorie globali, in Danimarca per le categorie locali) nella stessa

categoria e per **Resources** è il consumo per persona nel 1990. Le categorie di impatto così normalizzate, vengono infine valutate (moltiplicate per un fattore di valutazione che è dato dal rapporto tra il danno per persona nel 1990 e il danno per persona che si vuole ottenere nel futuro). Per **Resources** il fattore di valutazione è il rapporto tra il consumo per persona nel 1990 e il consumo per persona nel futuro. Il danno totale è espresso in punti (Pt).

4.3.6 IPCC 100a 2007

IPCC GWP 100a 2007 calcola il danno dell'effetto serra. La sola categoria di impatto considerata è **Global warming 100a**.

4.3.7 ReCiPe

Il metodo presenta sia la versione midpoint sia quella endpoint.

4.3.7.1 Midpoint E

Il metodo considera l'uso dell'acqua. Nel midpoint anche l'esaurimento delle risorse viene misurato con una sostanza equivalente: kg oil eq per il *fossil* (rapporto tra il potere calorifico del fossile e quello dell'*oil*) e kg Fe eq per i minerali (rapporto tra il costo del minerale e quello del ferro). Considera l'occupazione del territorio separando l'effetto dell'agricoltura da quello dell'urbanizzazione, considera l'effetto della trasformazione del territorio naturale. Per la tossicità e l'eutrofizzazione distingue tra acqua dolce e acqua di mare. Per la normalizzazione considera per ogni categoria un fattore riferito all'Europa e uno riferito al mondo.

Categorie di impatto	Unità di misura	Normalizzazione	
		Europe	World
Climate change	kg CO2 eq	1.035E-4	1,807E-4
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	4.544E1	2,657E1
Human Toxicity	kg 1,4-DB eq	2.273E-4	1,014E-3
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	1.882E-2	2,043E-2
Particulate matter formation	kg PM10 eq	6,710E-2	7,113E-2
Ionising radiation	kg U3235 eq	1.600E-4	7,601E-4
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	2,603E-2	2,373E-2
Freshwater eutrophication	kg N eq	2,411	3,450E0
Marine eutrophication	kg P eq	9,885E-2	1,363E-1

Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	7,169E-2	2,517E-2
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	8.661E-2	1,208E-1
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	4.202E-4	5,066E-4
Agricultural land occupation	m ² a	2.213E-4	1,844E-4
Urban land occupation	m ² a	2,458E-3	1,290E-3
Natural land transformation	m ²	6.195	8,315E-2
Water depletion	m ³	0	0
Metal depletion	kg Fe eq	1.402E-3	2,246E-3
Fossil depletion	kg oil eq	6.011E-4	7,280E-4

Tabella 4-11 Le categorie di impatto e la normalizzazione di ReCiPe Midpoint E

4.3.7.2 Endpoint E

Il metodo caratterizza le sostanze nelle categorie di impatto misurate in DALY (anni di vita persi dalla comunità) per le categorie che fanno parte della categoria di danno **Human Health**, in Species*yr (specie scomparse per il tempo in cui la sostanza rimane attiva) per le categorie che fanno parte della categoria di danno **Ecosystem Quality**, in dollari per le categorie che fanno parte della categoria di danno **Resources**. Separa l'effetto dei cambiamenti climatici sull'uomo e sull'ecosistema. Le categorie di impatto vengono inserite nelle categorie di danno indicate sopra con un fattore di damage assessment uguale a 1. Le categorie di danno (e conseguentemente le categorie di impatto) vengono normalizzate con fattori relativi all'Europa e al mondo (inverso del danno nella stessa categoria in un anno dovuto alle attività antropiche in Europa e nel mondo). Infine le categorie di danno così normalizzate vengono valutate con fattore diverso a seconda della prospettiva culturale. Tali fattori sono maggiori per il mondo in **Human Health** e in **Resources**, mentre il fattore di **Ecosystem Quality** per il mondo è inferiore di un ordine di grandezza di quello per l'Europa. Se ne deduce che il danno di riferimento per persona è superiore per l'Europa in **Human Health** e in **Resources** e inferiore per l'Europa in **Ecosystem Quality**.

Categoria di impatto	U.d.m.	Damage assessment	Europe	World	Egal
Climate change	DALY	Human Health (DALY)	2.435E1	4.186E1	300
Ozone depletion	DALY				

Human Toxicity	DALY				
Photochemical oxidant formation	DALY				
Particulate matter formation	DALY				
Ionising radiation	DALY				
Climate change Ecosystem	species*yr	Ecosystems (species*yr)	3.735E3	4.308E2	500
Terrestrial acidification	species*yr				
Freshwater eutrophication	species*yr				
Terrestrial ecotoxicity	species*yr				
Freshwater ecotoxicity	species*yr				
Marine ecotoxicity	species*yr				
Agricultural land occupation	species*yr				
Urban land occupation	species*yr				
Natural land transformation	species*yr				
Metal depletion	\$				
Fossil depletion	\$				

Tabella 4-12 Le categorie di impatto e di danno di ReCiPe Endpoint E

4.3.8 La scelta di un metodo

Per la presentazione dei risultati principali si è scelto di usare il metodo IMPACT, modificato dal gruppo di lavoro dell'Enea di Bologna costituito dall' Ing. Paolo Neri, laureandi, dottorandi e dall'LCA-Lab (spin-off ENEA). I motivi della scelta sono i seguenti:

- misura le categorie di impatto secondo le quantità di emissioni equivalenti, che rappresenta il criterio più comunemente accettato dalla comunità scientifica perché sicuramente più misurabile;
- misura le categorie di danno secondo gli effetti che esse producono sull'uomo (anni di vita persi), sull'ambiente (numero di specie vegetali influenzate), sulla disponibilità delle risorse (energia non rinnovabile consumata). Tali effetti sono difficilmente misurabili, ma facilmente comprensibili dalla comunità;
- contiene tutti le più importanti categorie di impatto;
- i pesi dati alle emissioni e alle categorie di impatto riducono il danno dovuto all'uso del territorio di Eco-indicator 99 anche se fanno emergere quello della ecotossicità terrestre, specialmente se dovuta ai metalli pesanti;
- calcola il consumo di energia da combustibili non rinnovabili (fossili e uranio) che rimane uno degli indicatori più efficaci per valutare il danno ambientale di un prodotto;
- per il calcolo degli effetti delle emissioni, considera come bacino l'Europa (nonostante sarebbe opportuno considerare il mondo essendo un problema globale)

4.4 IL CALCOLO DEI COSTI ESTERNI

Al termine dell'analisi LCA, si può completare lo studio quantificando in termini monetari il danno ambientale prodotto. Tale costo, che si definisce esterno per distinguerlo da quello stabilito dal mercato, chiamato interno, rappresenta il costo sostenuto dalla Comunità (locale, nazionale, internazionale) per rimediare ai danni prodotti sull'ambiente. Il costo economico viene indicato come un possibile fattore limitativo per la diffusione di interventi a sostegno della riduzione dell'impatto: in particolare per le economie non emerse e quindi per quei settori, come soprattutto quello agroalimentare, che in quei contesti rivestono il ruolo più importante. Non vengono messe in conto le esternalità, quindi la valutazione di costi e benefici viene estesa a una scala temporale ridotta, e soprattutto non vengono contemplati i vantaggi - direttamente economici - di una maggiore integrazione su scala locale delle attività economiche, integrazione che per più ragioni concorrenti rappresenta il corollario di politiche per la riduzione del danno. L'uso di un argomento economico del genere è ancora più discutibile se si tiene conto dell'impatto di monoculture estensive finalizzate alle esportazioni (come canna da zucchero caffè e banane, per non parlare della pesca) da preferirsi alla luce dei piani di riassetto strutturale dell'economia a cui FMI e Banca Mondiale hanno a lungo subordinato l'erogazione di finanziamenti.

Il gruppo di lavoro dell'Enea di Bologna coordinato dall'Ing. Paolo Neri e costituito dall' LCA-Lab, da tesisti e dottorandi, ha apportato alcuni approfondimenti al calcolo dei costi esterni. In particolare la presente tesi di dottorato ha valutato il costo esterno per la categoria di danno **Terreno (pressione idrostatica)** con il metodo IMPACT.

Il Metodo EPS 2000, esprime il danno ambientale direttamente in unità monetarie (ELU equivalenti agli Euro), che corrispondono alla disponibilità a pagare (**willingness to pay**) da parte dell'intero pianeta. La disponibilità a pagare rappresenta un criterio per definire i costi esterni.

Per potere avere un'ulteriore valutazione monetaria del danno, si è scelto di convertire in euro il danno calcolato con la caratterizzazione da Eco-indicator99 (modificato), attraverso le seguenti operazioni:

- 1) per convertire il danno nella categoria **Human Health** si assume che un anno di vita perso dall'intera popolazione europea (1 DALY) generi un costo esterno pari allo stipendio lordo di un cittadino medio europeo, stimato in 31'150 €. In questo caso il criterio usato per il calcolo del costo esterno tiene conto della perdita che il PIL europeo subisce per effetto della perdita del lavoro di un cittadino europeo. Il costo vale: 31'150 € / (DALY).
- 2) La stima economica del danno per la categoria **Ecosystem Quality** è stata effettuata in base al costo della reintroduzione di una specie animale nell'ambiente. In particolare è stato preso a titolo di esempio il ripristino del nibbio nel parco di Frasassi. Per ripristinare tale specie è necessaria una spesa di 61'974,83 €/anno. Inoltre si sono ottenute informazioni riguardanti il ripristino del camoscio di Abruzzo (145'000 €/anno per la creazione di una popolazione sui monti Sibillini, 145'000 €/anno per la creazione di una popolazione sul Sirente Velino, 120'000 €/anno per studi genetici, 170'000 €/anno per la cattura e radio localizzazione, 20'000 €/anno per spese varie per un totale di 600'000 €/anno) e del pollo Sultano in Sicilia e Sardegna (200'000 €/anno per la creazione reintroduzione, 100'000 €/anno per il monitoraggio e la ricerca, 1'400'000 €/anno per il ripristino ambientale, 2'250'000 €/anno per la creazione di una zona umida, per un totale di 3'950'000 €/anno). Si può fare una media aritmetica delle spese sostenute per il ripristino di tre specie europee che consideriamo e attribuire tale valore al costo per il

ripristino di una qualsiasi specie europea $C_{ripr.}$: $(61'974,83 + 600'000 + 3'950'000)/3=1'537'325$ [€/specie].

Il Metodo Eco-indicator 99 calcola nella categoria di danno **Ecosystem Quality** il valore dei PDFm²yr che rappresentano l'incremento della percentuale della frazione di specie scomparse in Europa (rapporto tra il numero di specie a rischio e il numero di specie totali).

Le specie esistenti sul territorio europeo sono 215'000, di cui il 24% sono a rischio (affected). Pertanto considerando che la superficie europea è pari a $2,16 \cdot 10^{12}$ m² e che per ripristinare una specie occorre farlo in 3 zone, è possibile calcolare economicamente il danno associato alla qualità dell'ecosistema seguendo il seguente procedimento:

- Percentuale delle specie “disappeared” rispetto al numero totale delle specie:
 $PDFm^2yr / (2,16 \times 10^{12} m^2 \times 1yr) = PDF$
- Numero di specie “disappeared” = NSD:
- $PDF = (NSD / \text{Numero di specie totale}) \times 100 = (NSD / 215000) \times 100$
- da cui si ottiene:
- $NSD = PDF \times 215000 / 100 = PDF \times 2150$
- Costo per il reintegro delle specie scomparse a causa del danno pari a PDFm²yr:
- $1'537'325[€] \times 3 \times NSD = 1537325[€] \times 3 \times PDF \times 2150 = 1537325[€] \times 3 \times PDFm^2yr / 2,16 \times 10^{12} m^2 / 1yr \times 2150 = 4,5906 \times 10^{-3} PDFm^2yr.$
- Il costo vale: $4,5906 \times 10^{-3} €/ PDFm^2yr.$
- La stima economica del danno per la categoria *Resources* viene effettuata considerando per il MJ surplus l'attuale costo medio europeo di un kWh elettrico, cioè $0,075 €/kWh^3 = 0,075€ / 3,6MJ = 0,0208 €/MJ.$
- Il costo vale: 0,0208 €/ MJ.

Per poter confrontare i risultati con quelli ottenuti da **EPS 2000 (modificato)**, è necessario modificare questi ultimi per tenere conto che essi sono riferiti all'anno 2000 e modificare quelli ottenuti da Eco-indicator 99 che esprimono la disponibilità a pagare da parte dell'Europa. I valori in ELU sono stati attualizzati adottando un tasso del 2,5 % annuo, quale media negli ultimi 7 anni del tasso netto di rendimento dei titoli free-risk (fattore d'attualizzazione pari a $1,025^7$). Supponendo che il danno sia proporzionale al numero degli abitanti, quindi senza tenere conto delle differenze sociali, economiche e culturali delle varie zone del pianeta, i valori calcolati con Eco-indicator 99 sono stati divisi per la popolazione europea (380×10^6 abitanti) e moltiplicati per la popolazione mondiale ($6,3 \times 10^9$ abitanti). Il fattore moltiplicativo risulta: $(1,025^7 / 380 \times 10^6) \times 6,3 \times 10^9 = 19,707$.

Nel seguito viene riportato un esempio di applicazione del Metodo per il calcolo dei costi esterni.

Human Health. Poiché il danno calcolato dalla caratterizzazione vale $6,72E-6$ DALY, il danno in euro è: $6,72E-6 DALY \times 31'150 €/DALY = 0,209 €$.

Ecosystem Quality. Poiché il danno calcolato dalla caratterizzazione vale $0,377 PDF \cdot m^2 \cdot yr$, per cui il danno in euro è stimato come segue: $0,377 PDF \cdot m^2 \cdot yr \times 4,5906 \times 10^{-3} €/(PDF \cdot m^2 \cdot yr) = 1,73 \times 10^{-3} €$.

Resources. Poiché il danno calcolato dalla caratterizzazione vale 11,3 MJ surplus, per cui il danno in euro è stato stimato come segue: $11,3 MJ surplus \times 0,0208 €/MJ surplus = 0,235 €$.

Per poter confrontare i risultati con quelli ottenuti da EPS 2000 modificato, è necessario modificare questi ultimi per tenere conto che essi sono riferiti all'anno 2000 e che esprimono la disponibilità a pagare da parte dell'intero pianeta. I valori in ELU sono stati attualizzati

³ Dato ricavato dal “Rapporto Energia e Ambiente 2006” prodotto da ENEA. Il dato si riferisce al costo medio europeo per kWh per utenze industriali nella fascia 24 GWh/anno.

adottando un tasso del 2,5 % annuo, quale media negli ultimi 7 anni del tasso netto di rendimento dei titoli free-risk, e si è effettuata una proporzione per tenere conto della disponibilità a pagare della sola comunità europea: per ogni categoria di danno, si è diviso il valore in ELU per la popolazione mondiale ($6,3 \times 10^9$ abitanti) e si è poi moltiplicato per la popolazione europea

(380×10^6 abitanti). Di seguito sono riportati i risultati:

Human Health: $1,34 \text{ ELU} \times 0,0717^4 = 0,096 \text{ €}$

Biodiversity: $0,0191 \text{ ELU} \times 0,0717 = 1,37 \times 10^{-3} \text{ €}$

Abiotic Stock Resources: $5,66 \text{ ELU} \times 0,0717 = 0,405 \text{ €}$

Ecosystem Production Capacity: $0,146 \text{ ELU} \times 0,0717 = 0,0105 \text{ €}$

Il totale:

	Human Health	Ecosystem Quality/Biodiversity	Resources/Abiotic Stock resources	Ecosystem Production Capacity	Totale
Eco-indicator 99	0,209	$1,73 \times 10^{-3}$	0,235		0,445
EPS	0,096	0,00137	0,405	0,0105	0,512

Lo scostamento tra le due quantificazioni monetarie ci dice che il calcolo delle esternalità a partire dai valori in eco-punti è del 13 % inferiore a quella fornita da EPS 2000. Uno scostamento che è accettabile se si considerano le differenze tra i due metodi. Tale scostamento, ad esempio, scenderebbe all'1,8 % se si valutasse il costo di 1 MJ surplus pari a 0,028 €/MJ (0,1 €/kWh).

Nota. Si può dubitare che il danno sia proporzionale al numero di abitanti perché per **Human Health** ed **Ecosystem Quality** se si allargano i confini (dall'Europa al pianeta) per molte sostanze inquinanti diminuisce la loro concentrazione e quindi la probabilità che esse producano danni. Quindi si presume che il sistema Europa sia stato considerato come chiuso. Questo non vale per le categorie **Climate Change** e **Ozone depletion** per le quali, allargando i confini, dovrebbero aumentare i danni. Per **Resources** il danno è indipendente dal numero di abitanti. Si consiglia pertanto di non riportare i danni calcolati per l'Europa al pianeta.

Modifica del Metodo IMPACT per il calcolo dei costi esterni.

Coefficienti di damage assessment per il calcolo del costo esterno

Human Health

Carcinogens: $31150 \text{ €} / \text{DALY} * 2.8\text{E-}6 \text{ DALY} / \text{kg C}_2\text{H}_3\text{Cleq} = 0.08722 \text{ €} / \text{kgC}_2\text{H}_3\text{Cleq}$

Non carcinogens: $31150 \text{ €} / \text{DALY} * 2.8\text{E-}6 \text{ DALY} / \text{kg C}_2\text{H}_3\text{Cleq} = 0.08722 \text{ €} / \text{kgC}_2\text{H}_3\text{Cleq}$

Respiratory inorganics: $31150 \text{ €} / \text{DALY} * 7\text{E-}4 \text{ DALY} / \text{kg PM}_{2.5} \text{ eq} = 21.805 \text{ €} / \text{kg PM}_{2.5} \text{ eq}$

Ionizing radiation: $31150 \text{ €} / \text{DALY} * 2.1\text{E-}10 \text{ DALY} / \text{Bq C}_{14} \text{ eq} = 6.5415\text{E-}6 \text{ €} / \text{Bq C}_{14} \text{ eq}$

Ozone layer depletion: $31150 \text{ €} / \text{DALY} * 1.05\text{E-}3 \text{ DALY} / \text{CFC-11 eq} = 32.7075 \text{ €} / \text{CFC-11 eq}$

Respiratory organics: $31150 \text{ €} / \text{DALY} * 2,13\text{E-}6 \text{ DALY} / \text{C}_2\text{H}_4 \text{ eq} = 0.0663495 \text{ €} / \text{C}_2\text{H}_4 \text{ eq}$

Ecosystem quality

⁴ 0,0717 è il risultato del prodotto del fattore di attualizzazione ($1,025^7$) e del rapporto di proporzione ($380 \times 10^6 / 6,3 \times 10^9$): $(1,025^7) / (6,3 \times 10^9) \times 380 \times 10^6 = 0,0717$

Aquatic ecotoxicity: $4.5906E-3 \text{ € / PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr} * 5.02E-5 \text{ PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr} / \text{kg TEG water} = 2.3044812E-7 \text{ € / kg TEG water}$

Terrestrial ecotoxicity: $4.5906E-3 \text{ € / PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr} * 7.91E-3 \text{ PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr} / \text{kg TEG soil} = 3.6311646E-5 \text{ € / kg TEG soil}$

Terrestrial acid/nutri: $4.5906E-3 \text{ € / PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr} * 1.04 \text{ PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr} / \text{kg TEG soil} = 4.774224E-3 \text{ € / kg SO}_2 \text{ eq}$

Land occupation: $4.5906E-3 \text{ € / PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr} * 1.09 \text{ PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr} / \text{kg TEG soil} = 5.003754E-3 \text{ € / m}^2 \text{org. arable}$

Climate change

Climate change: $7.81E-3 \text{ € / kg CO}_2 \text{ eq}$

Resources

Non-renewable energy: $0.0208 \text{ € / MJ primary} * 1 \text{ MJ primary} / \text{MJ primary} = 0.0208 \text{ € / MJ primary}$

Mineral extraction: $0.0208 \text{ € / MJ primary} * 1 \text{ MJ primary} / \text{MJ surplus} = 0.0208 \text{ € / MJ surplus}$

Terreno (pressione idrostatica)

Terreno (pressione idrostatica): $31150 \text{ € / DALY} * 5.015043375E-8 \text{ DALY} / \text{N} = 1.562186011E-3 \text{ € / N}$

Il calcolo del coefficiente costo esterno è stato effettuato seguendo le seguenti considerazioni: avendo assegnato alla categoria di impatto Terreno (pressione idrostatica) l'unità di misura del danno DALY, ne consegue che l'identificazione del fattore di conversione del danno in costo esterno viene effettuata utilizzando lo stesso coefficiente utilizzato per convertire la categoria di impatto Carcinogens in costo esterno.

Coefficienti di normalizzazione per ripristinare la valutazione del danno:

Human Health

$f_n = 141 \text{ DALY}^{-1} / 31150 \text{ € / DALY} = 4.526484751E-3 \text{ €}^{-1}$

Ecosystem quality

$f_n = 7.3E-5 \text{ (PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr)}^{-1} / 4.5906E-3 \text{ € / (PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr)} = 0.01590206 \text{ €}^{-1}$

Climate change

$f_n = 0,000101 \text{ (kg CO}_2 \text{ eq)}^{-1} / 7.81E-3 \text{ € / kg CO}_2 \text{ eq} = 0.012932138 \text{ €}^{-1}$

Resources

$f_n = 0.00000658 \text{ MJ}^{-1} / 0.0208 \text{ € / MJ} = 3.163461538E-4 \text{ €}^{-1}$

Terreno (pressione idrostatica)

$f_n = 141 \text{ DALY}^{-1} / 31150 \text{ € / DALY} = 4.526484751E-3 \text{ €}^{-1}$

5 IL CASO STUDIO: LCA DI UNA CASA IN BALLE DI PAGLIA REALIZZATA A PESCOMAGGIORE (AQ)

Viene di seguito analizzato il caso studio dell'LCA di una casa in balle di paglia dell'ecovillaggio di Pescomaggiore, condotto anche grazie ad una tesi di laurea sul tema, redatta dall'Ing. Davide Peroni, di cui la scrivente è stata ideatrice e correlatrice, con il collega Cristian Chiavetta, con il tutoraggio della Prof.ssa Alessandra Bonoli (DICAM Unibo). Si riporta quindi qui una trattazione del caso contestualizzata agli obiettivi della presente tesi di dottorato: si descriverà l'intervento realizzato con tecnologie non convenzionali e si esporranno i risultati dell'analisi LCA. Si rimanda alla tesi per ulteriori approfondimenti (Analisi LCA delle case di paglia di Pescomaggiore (AQ) di Davide Peroni, relatrice Prof.ssa Alessandra Bonoli, Correlatori Ing. Cristian Chiavetta e Ing. Sara Rizzo).

5.1 PESCOMAGGIORE

Pescomaggiore è un piccolo borgo di origini medioevali alle porte del Parco Nazionale del Gran Sasso – Monti della Laga, ad una decina di chilometri da L'Aquila; situato a quasi 1000 m s.l.m., conta oggi meno di 50 abitanti. Il 28 settembre 2007 nasce, dalla spontanea iniziativa di residenti, oriundi emigrati e proprietari di immobili, il Comitato per la Rinascita di Pescomaggiore, che si pone finalità di utilità generale di promozione sociale, culturale, ambientale ed economica dell'abitato e del territorio circostante. Obiettivo del Comitato è frenare il progressivo abbandono del piccolo borgo, favorendo un'agricoltura tradizionale, mettendo in funzione l'antico forno della comunità, dando vita a percorsi artistici nei vicoli silenziosi, per conservare e diffondere la memoria collettiva del luogo.

Alle 3.32 del 6 aprile 2009 Pescomaggiore, come tutto il comune di L'Aquila, viene colpito da una scossa di terremoto di magnitudo momento 6,3. I danni agli edifici sono notevoli, tanto che tutti gli abitanti sono costretti a lasciare le proprie case e a trasferirsi nelle tende.

Il Comitato per la rinascita di Pescomaggiore decide quindi, coerentemente con il proprio obiettivo diventato emergenza, di realizzare un villaggio autocostruito e autofinanziato per consentire a più famiglie possibili di Pescomaggiore di restare a vivere nel loro paese. La Delibera del Consiglio comunale n. 58 del 25 maggio 2009 detta i criteri per la localizzazione e la realizzazione dei manufatti temporanei. Trattandosi di sistemazione di emergenza, il Comune di L'Aquila intende soddisfare le esigenze abitative temporanee dei cittadini nonché quelle relative allo svolgimento di attività connesse alla residenza definendo criteri e procedure per localizzazione, realizzazione e successiva rimozione di manufatti temporanei, stante la loro caratteristica di provvisorietà.

L'utilizzo della paglia in quest'area dell'Abruzzo è una tecnica costruttiva relativamente nuova, ma che si inserisce in modo naturale nel paesaggio agrario circostante e risponde anche ad un ideale di filiera corta in campo edilizio, in quanto la materia prima sono balle di paglia fornite in loco dai campi di cereali, insieme alla farina che servirà a fare il pane nel forno comune del paese.

L'energia elettrica verrà fornita da impianti fotovoltaici e il riscaldamento da una stufa a legna, sufficiente a scaldare tutta la casa con appena un paio d'ore di accensione, in quanto la paglia ed altri accorgimenti costruttivi, rendono queste case perfettamente coibentate.

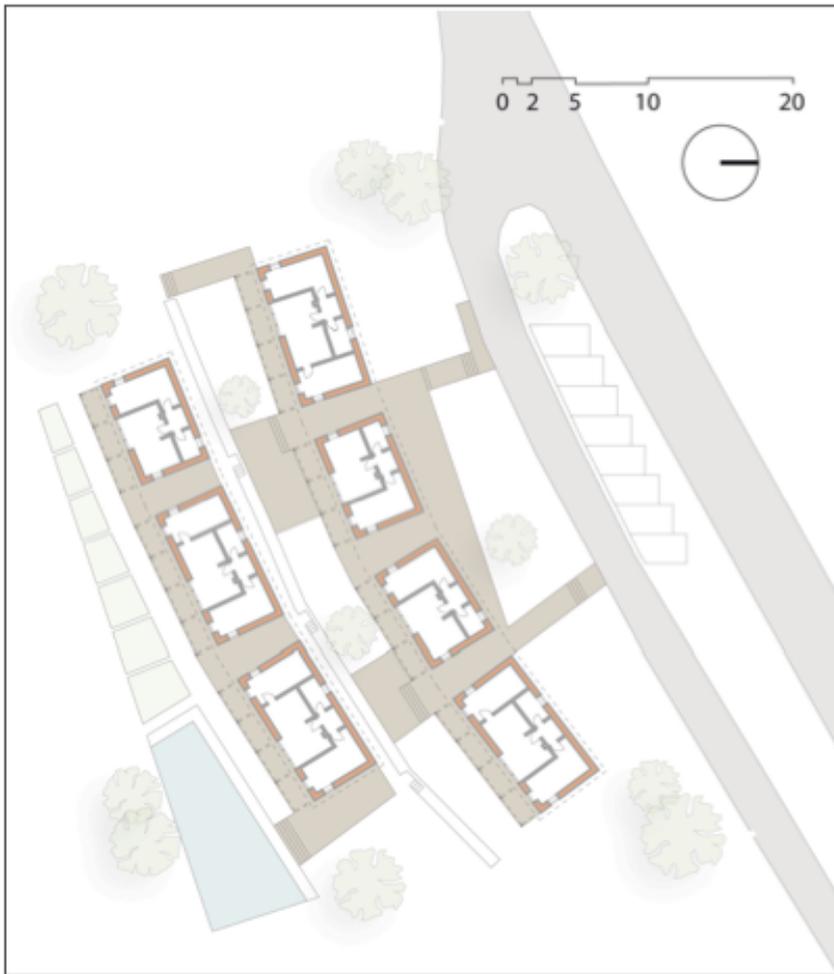


Figura 5-1: orientamento bioclimatico dell'ecovillaggio

Il villaggio sarà poi dotato di un impianto di fitodepurazione e di compostiere dove i rifiuti organici verranno trasformati in fertilizzante per gli orti irrigati anche grazie all'incanalamento dell'acqua piovana. Il coinvolgimento dei futuri abitanti nella progettazione e nella costruzione è la condizione per assicurare l'alta qualità degli spazi, il risparmio economico ed un forte legame fra gli abitanti stessi e la loro casa-villaggio.

Le prime case sono state inaugurate a febbraio 2010.



Figura 5-2: le due differenti tipologie di piante

Una volta completato e soddisfatto il fabbisogno locale, il villaggio sarà aperto a cittadini provenienti da altri luoghi del cratere sismico e che sono rimasti senza casa. Il costo delle abitazioni (circa 650 euro al metro quadro, un quinto di quello degli appartamenti del progetto C.A.S.E.) è sostenuto dalle donazioni per l'Ecovillaggio e per la parte mancante dalle tasche dei beneficiari, in una ragione circa del 50%. Il completamento dell'EVA sarà il punto di partenza di un percorso alla ricerca dell'ALMA, acronimo di "Abitare-Lavoro-Memoria-Ambiente", un piano di azione da definire ed attuare con gli interessati per l'effettiva Rinascita di Pescomaggiore. Il piano di azione può compendiarsi in un acronimo A.L.M.A. ovvero Abitare, Lavorare, Memoria, Ambiente, che sono i quattro campi essenziali per lo sviluppo della persona. ABITARE è in un primo tempo il progetto EVA, ma è soprattutto un piano di recupero partecipato, tempestivo ed efficace del centro storico. Altrimenti la frammentazione proprietaria e la griglia stretta dei finanziamenti ridurranno a rovina il paese. LAVORARE è promuovere opportunità di lavoro "verde", anche come reddito complementare, nel territorio di Pescomaggiore. In questo senso la chiara vocazione dell'abitato è all'interno del Parco Nazionale Gran Sasso Monti della Laga, con funzioni turistiche, agrozootecniche e di manutenzione del paesaggio. Attività sperimentali in questi settori svolte nei due anni hanno consentito di valutare positivamente la costituzione di un'azienda agrituristica da presentare a finanziamento pubblico. A condizione di una minima ricettività che, venuta meno a causa del terremoto, può utilmente sostituirsi con un economico intervento di riqualificazione del rifugio di fonte Jonica, una volta restituito dal Comune alla collettività pescolana cui appartiene con ripristino della sorgente. MEMORIA è la necessaria continuità con la comunità intergenerazionale dei pescolani, antica di almeno dieci secoli. L'idea è di costituire sollecitamente

una memoria comune, all'inizio del XXI° secolo, del millenario quotidiano del paese e della terra, interrogando le voci degli ultimi contadini. A questo potrà aggiungersi il contributo di chiunque voglia partecipare con testimonianze o documenti, anche video. Il tutto avrà un apposito sito su pescomaggiore.org liberamente accessibile nella fruizione.

AMBIENTE è il costante termine di riferimento dell'agire. Una qualità essenziale per la rinascita di Pescomaggiore. La manutenzione della pineta di monte Croce, il recupero dei sentieri e dei tholos, la conservazione dell'agrobiodiversità, sono altrettanti specifici interventi che andranno programmati ed implementati nei prossimi anni.

5.2 IL PROGETTO DI ECOVILLAGGIO AUTOCOSTRUITO (EVA)

Su progetto degli architetti Paolo Robazza e Fabrizio Savini dello studio *BAG Officina Mobile* e con l'assistenza tecnica di Caleb Murray Burdeau, esperto in bioarchitettura, si è deciso di realizzare, su terreni concessi in comodato da alcuni compaesani a poche centinaia di metri dal paese, un villaggio di bilocali e trilocali low-cost ed a minimo impatto ambientale nel rispetto delle vigenti norme anti-sismiche ed edilizie.



Figura 5-3: una casa da 56m² ultimata

La tecnologia costruttiva prevede l'utilizzo di una struttura in legno portante e tamponatura in balle di paglia. La modularità delle strutture agevola la loro riproducibilità. Due le tipologie abitative prese in considerazione (40 m² e 56 m²), molto simili fra loro, con struttura in legno che risponde alle normative antisismiche e ad un forte carico di neve.

5.2.1 Descrizione della casa di paglia

La casa presa in esame ha una superficie lorda di 70 m², di cui 56 calpestabili. È un'abitazione destinata a un nucleo familiare di 4 persone e prevede un portico d'ingresso che corre per tutto il lato lungo dell'edificio. La casa è articolata da un nucleo centrale costituito da salotto e cucina, dal quale si accede, da una parte alla camera doppia e dall'altra a un disimpegno che porta al servizio igienico e alla camera matrimoniale.

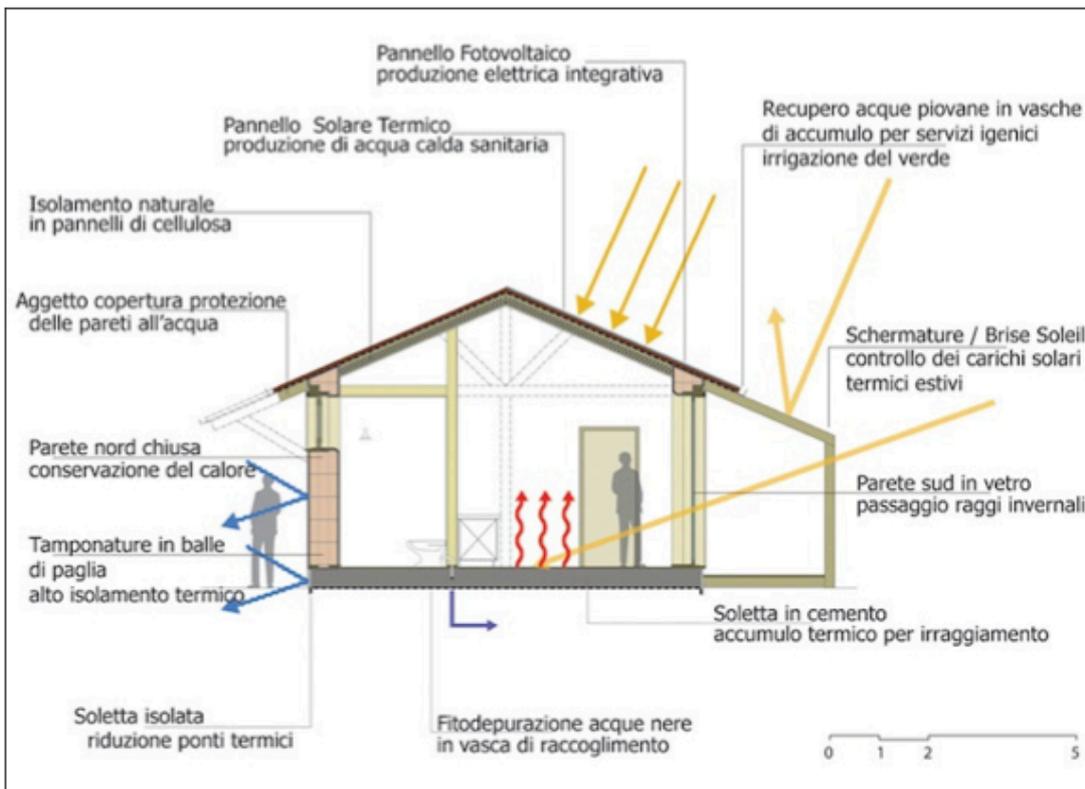


Figura 5-4: progetto di architettura sostenibile della casa di Pescomaggiore

La casa è progettata per raggiungere elevati standard di efficienza energetica e minimizzare gli sprechi, con conseguente risparmio di energia e riduzione dei costi di climatizzazione. Le principali strategie ambientali adottate sono le seguenti:

- **elevato isolamento termico** delle superfici orizzontali e verticali, che ostacola il flusso di calore dall'interno all'esterno. Nel tetto l'isolamento è garantito da uno strato di 25 cm di fibra di cellulosa ($\lambda=0,6$ W/m·K, $\mu=2$), mentre per le pareti l'isolamento termico è ovviamente garantito dalla paglia.

- 0,50 m di paglia, $\lambda=0,6$ W/(m·K);

- 0,02 m di intonaco interno in calce, $\lambda=0,8$ W/(m·K);

- 0,02 m di intonaco esterno in calce-cemento, $\lambda=1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

$U \approx 0,12 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

- **impianto a pannelli solari termici** per l'acqua calda sanitaria, collocati sulla copertura; i collettori solari sono in grado di trasformare l'energia solare in energia termica apportando una riduzione dei consumi energetici in fase d'uso;
- **il portico**, la cui funzione è quella di preservare la casa dal caldo e dalla forte luce estiva e al contempo di proteggerla dal gelo invernale. La copertura del portico prevede delle schermature brise-soleil per il controllo dei carichi solari termici estivi;
- **compattezza dell'edificio**: costruire in modo compatto è un vantaggio dal punto di vista energetico: minore è la superficie a contatto con le condizioni climatiche esterne, minori sono infatti le dispersioni nel periodo freddo. La compattezza dell'edificio si definisce mediante il rapporto SUPERFICIE/VOLUME, ossia il rapporto fra le superfici disperdenti e il volume riscaldato che questa inglobano. Più questo valore è basso, più l'edificio è compatto e quindi minori sono le dispersioni. La casa studio ha una pianta rettangolare elementare, e quindi è sicuramente molto compatta;
- **impianto di riscaldamento a legna** tramite stube;
- **impianto di fitodepurazione** per le acque nere;
- **orientamento**: nel nostro caso di studio la facciata principale, orientata a sud, è caratterizzata da ampie aperture vetrate che permettono un buon irraggiamento solare e riscaldamento naturale anche nei mesi invernali. Al contrario, la parete nord (generalmente la più fredda) è chiusa e non prevede aperture per conservare meglio il calore;
- **la presenza di ostacoli**: alberature, rilievi, edifici circostanti che possono impedire il soleggiamento nel periodo invernale e quindi l'utilizzo sia passivo che attivo (per il solare termico o per il fotovoltaico) dell'energia solare nel nostro edificio. Il villaggio (che sorge a 714 m s.l.m. nella zona climatica E) come si vede dalla planimetria sopra, è disposto su un terreno in pendenza, privo di particolari ostacoli. Questi piccoli edifici godono tutto l'anno di una favorevole esposizione al sole e sono anche protette dai forti venti.

L'edificio sorge su una platea in calcestruzzo, al quale sono stati ancorati i pilastri e tutta la struttura portante in legno. Le pareti perimetrali sono rinforzate da una coppia di tiranti di acciaio per ogni campata, che aiutano la struttura nel rispondere all'azione delle forze orizzontali esterne. Anche la copertura, sorretta da tre capriate, è costituita da un primo tavolato di 2,3 cm, la barriera al vapore, i travetti di legno 25 x 5 cm che formano i cassettoni dove si colloca lo strato di 25 cm di isolante di cellulosa. Questo pacchetto si chiude con un successivo tavolato, una guaina impermeabilizzante e i listelli 3 x 5 cm che sorreggono la lamiera zincata.

5.3 OBIETTIVO DELLO STUDIO E CAMPO DI APPLICAZIONE

5.3.1 Obiettivo

Obiettivo dello studio è la valutazione del danno ambientale dovuto ad una casa con tamponatura in balle di paglia realizzata a Pescomaggiore (AQ).

5.3.2 Campo di applicazione

5.3.2.1 La funzione del sistema

La funzione della casa è quella di assicurare riparo e comfort ai suoi abitanti.

5.3.2.2 Il sistema che deve essere studiato

Il sistema che deve essere studiato è una casa aventi le seguenti caratteristiche:

- periodo di occupazione: 50 anni
- superficie lorda: 70 m²
- superficie calpestabile: 56 m²
- forma architettonica: un solo piano a pianta rettangolare
- abitanti: 4 persone

La casa è stata divisa in due sottounità: unità costruttive e impianti (tab Tabella 5-1: unità costruttive della casa di Pescomaggiore e .Tabella 5-2)

Unità costruttive	Materiali
Fondazioni	Platea in calcestruzzo armato (cemento, sabbia, ghiaia, rete elettrosaldata); guaina impermeabilizzante
Struttura portante	Legno di abete; piastre in ferro; viti torx; tiranti in acciaio
Tamponatura	Paglia mista di grano e orzo
Intonaco interno	Intonaco realizzato in calce e sabbia; rete zincata
Intonaco esterno	Intonaco realizzato in calce, cemento e sabbia; polistirene espanso; sughero; rete zincata
Pavimentazione	Massetto in cemento e pomice; rete zincata
Copertura	Tavolato in legno di abete (2 strati); cellulosa; lamiera zincata; viti in acciaio; opere di lattoneria; sottotegola sintetico (Silcartex, 2 strati)
Infissi	Legno; vetro
Muri divisorii	Legno di abete; incannucciatura in paglia di recupero; piastrelle ceramiche

Tabella 5-1: unità costruttive della casa di Pescomaggiore

Impianti	Materiali
Idrico-sanitario	Condotte di distribuzione acqua potabile in HDPE
	Condotte fognarie e scarichi idrici in HDPE
	Sanitari in ceramica
	Rubinetteria in ottone cromato
	Contenitore in acciaio zincato
Termico	Pannelli solari per la produzione di ACS in alluminio, lana di roccia, rame e vetro
	Stufa a legna (tipo stube tirolese)

	Comignolo in lamiera
Elettrico	Cavi elettrici in rame, PVC

Tabella 5-2: impianti della casa di Pescomaggiore

5.3.2.3 Unità funzionale

L'unità funzionale è l'intera casa.

5.3.2.4 Confini del sistema

I confini del sistema vanno dalla raccolta delle materie prime alla dismissione della casa. Vengono quindi considerate le fasi di produzione, di messa in opera (cantiere), di uso e di fine vita dell'unità funzionale.

5.3.2.5 Qualità dei dati

Per il reperimento dei dati primari di inventario sono stati effettuati due sopralluoghi all'Ecovillaggio di Pescomaggiore. Inoltre è stata fornita la documentazione relativa agli ordini effettuati, nonché la lista dei fornitori.

L'architetto Paolo Robazza, dello studio BAG Officina Mobile, responsabile del progetto nonché presente durante il cantiere, è stato contattato più volte per avere informazioni dettagliate sulla parte tecnica. Quando non è stato possibile stabilire le quantità utilizzando misure dirette si sono sfruttati manuali per l'edilizia, le schede tecniche dei prodotti reperite presso i siti web delle aziende e consulenze da parte di artigiani e professionisti.

Quando sono disponibili vengono usati i processi della banca dati Ecoinvent.

L'analisi viene effettuata con i Metodi Eco-Indicator '99, EPS 2000, EDIP. Il codice utilizzato è SimaPro 7.3.3.

5.4 INVENTARIO

Nella presente trattazione si riporta uno stralcio dell'inventario, rimandando alla tesi "Analisi LCA delle case di paglia di Pescomaggiore (AQ)" (di Davide Peroni, relatrice Prof.ssa Alessandra Bonoli, Correlatori Ing. Cristian Chiavetta e Ing. Sara Rizzo). In questa sede si riportano la tipologia e le quantità di materiali, le energie utilizzate per fase d'uso suddivise nei due sottoprocessi "unità costruttive" e "impianti".

5.4.1 Diagramma a blocchi del processo studiato

Il diagramma del processo è rappresentato in figura Figura 5-5: diagramma a blocchi del processo casa di paglia di Pescomaggiore

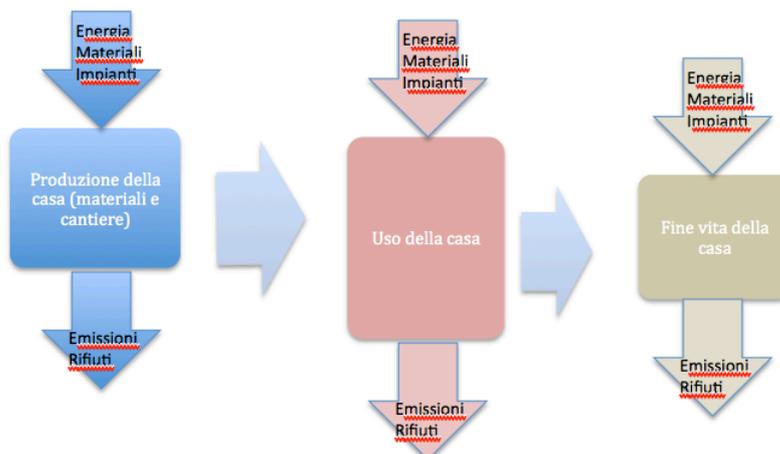


Figura 5-5: diagramma a blocchi del processo casa di paglia di Pescomaggiore

5.4.2 Fase di produzione

I dati relativi alla fase di cantiere si riferiscono alle diverse tipologie di materiali utilizzati nell'involucro e per gli impianti, al loro trasporto al sito e ai consumi energetici quali alimentazione dei macchinari da cantiere e l'illuminazione.

5.4.2.1 Trasporti

Per quanto riguarda la provenienza dei materiali:

- paglia: da Avezzano (AQ): 70 km;
- legno di abete: da provincia di Trento: 650 km;
- fibra di cellulosa: da Feistritz Drau (Austria): 810 km;
- tutto il resto: da zone entro un raggio di massimo 15 km.

5.4.2.2 Energie impiegate in cantiere

- Illuminazione e attrezzi: 1500 kWh
- Terreno movimentato: 200 m³

5.4.2.3 Materiali

Si riportano le quantità di materiali conferite in cantiere.

Sottoprocesso unità costruttiva	Materiali	Massa (kg)
Fondazioni	Cemento	7.000
	Ghiaia	33.000
	Sabbia	12.000
	Acqua	3.500
	Rete elettrosaldata	816
	Guaina impermeabilizzante	30
Struttura portante	Legno di abete	3.960
	Acciaio	140
Tamponatura	Balle di paglia di grano	4.500
	Balle di paglia di orzo	4.500
Pavimentazione	Cemento	840
	Pomice	370
	Acqua	840
	Rete zincata	23
Infissi	Legno di abete	70
	Doppio vetro	203
Copertura	Legno di abete	4.581
	Fibra di cellulosa	1.035
	Sottotegola sintetico	30
	Lamiera zincata	1.037
	Viti in acciaio	8
	Opere di lattoneria	200
	Rete zincata	60

Intonaci	Rete zincata	60
	Sabbia	5.200
	Calce	1.290
	Cemento	300
	Acqua	1.200
	Sughero	45
	Polistirene espanso	16
Muri divisori	Legno di abete	893
	Piastrelle ceramiche	540

Tabella 5-3: materiali delle unità costruttive

Sottoprocesso impianti	Materiali	Massa (kg)
Impianto idrico sanitario	HDPE	100
	Ceramica sanitaria	260
	Ottone cromato	16
	Acciaio zincato	2
	Lana di roccia	10
	Rame	24
	Vetro	30
Impianto elettrico	Rame	6
	PVC	30
Impianto termico (stube)	Laterizio refrattario	350
	Acciaio zincato	20

Tabella 5-4: materiali degli impianti

5.4.3 Fase d'uso

Si è ipotizzato che l'edificio ricada in Classe A secondo la vigente normativa italiana. Per il riscaldamento si utilizza una stube alimentata a legna. Il fabbisogno di acqua calda è soddisfatto interamente dall'impianto a pannelli solari termici.

Energie	Quantità
Energia elettrica dalle rete	1388 kWh/anno
Legna per il riscaldamento	4032 MJ/anno

Tabella 5-5: energie in fase d'uso

5.4.4 Fine vita

Si prevede una totale demolizione selettiva, ad eccezione del pavimento e della platea in calcestruzzo, per i quali è necessario l'uso di appositi macchinari (scavatore). La demolizione selettiva è mirata ad una separazione dei materiali nelle diverse frazioni, che possono poi essere sottoposte a trattamenti di riuso o riciclaggio. Il tutto viene caricato su camion o furgoni mediante una pala meccanica, e trasportato presso gli appositi centri di selezione, riciclo o smaltimento, che si ipotizzano essere tutti a L'Aquila, a 15 km di distanza.

In particolare, si è supposto di operare in questo modo:

- i resti di platea di fondazione (calcestruzzo armato), pavimento, intonaci, rivestimento in piastrelle, mattoni refrattari della stube, ceramica sanitaria e altri inerti, vengono trasportate ad un

frantoio, dove si separa l'acciaio. L'acciaio (l'1% del totale) verrà riciclato in rete elettrosaldata, gli inerti (89%) verranno utilizzati come aggregati riciclati, mentre il 10% si considerano scarto e verrà smaltito in discarica;

- il legno viene riutilizzato per il 50% esattamente com'è, mentre la parte restante viene smaltita come combustibile in un impianto di termovalorizzazione;
- i materiali ferrosi (acciaio e lamiera zincata) vengono interamente riciclati in un impianto apposito, così come quelli non ferrosi (ottone e rame);
- la paglia viene utilizzata come compost;
- il vetro può essere interamente riciclato in un impianto di riciclo del vetro, e trasformato in altro vetro bianco;
- la fibra di cellulosa, viene bruciata in un termovalorizzatore.

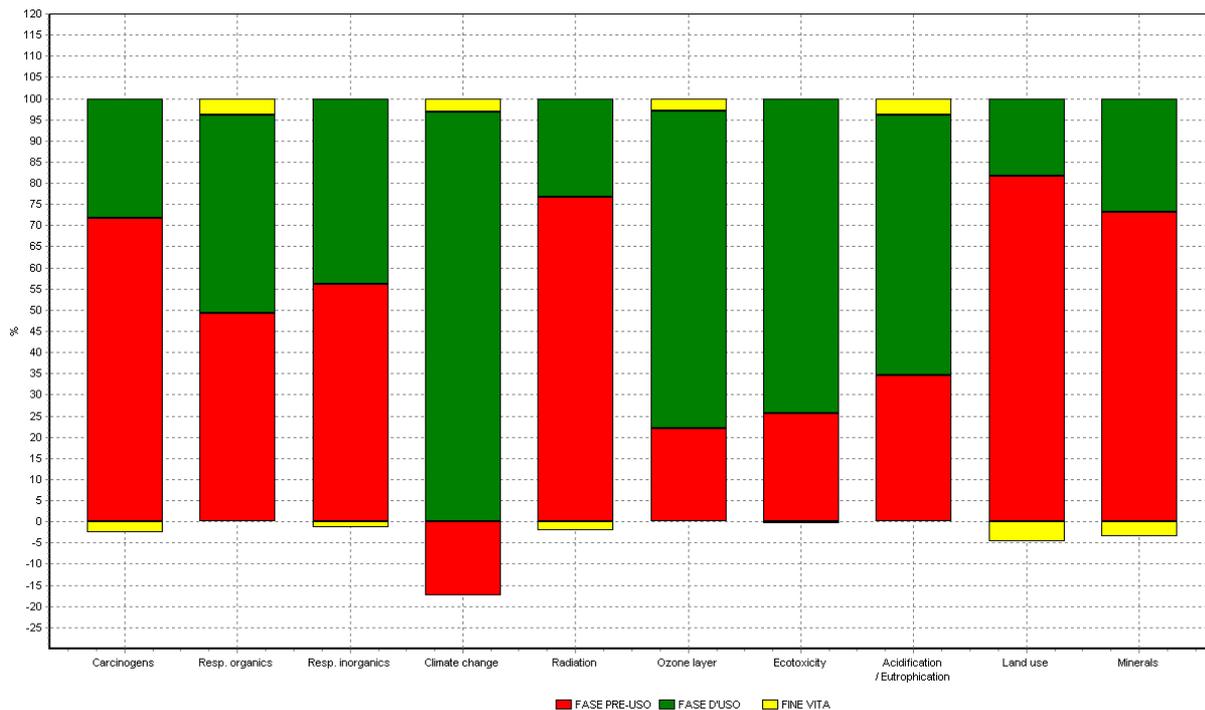
5.5 ANALISI DEI RISULTATI CON ECO-INDICATOR

5.5.1 Analisi del processo del processo Ciclo di vita edificio

L'analisi del processo Ciclo di vita edificio qui riportata è stata condotta con il metodo Eco-Indicator '99.

Categoria di impatto	Unità	Produzione	Uso	Fine vita	Totale
Carcinogens	DALY	3,11E-03	1,22E-03	-1,09E-04	4,22E-03
Resp. organics	DALY	3,30E-05	3,15E-05	2,58E-06	6,71E-05
Resp. inorganics	DALY	4,03E-02	3,14E-02	-1,03E-03	7,06E-02
Climate change	DALY	-1,94E-03	1,08E-02	3,45E-04	9,17E-03
Radiation	DALY	3,48E-06	1,06E-06	-9,40E-08	4,45E-06
Ozone layer	DALY	1,19E-06	4,05E-06	1,62E-07	5,41E-06
Ecotoxicity	PAF*m2yr	1.610,0	4.710,0	-19,6	6.300,0
Acidification	PDF*m2yr	699,0	1.240,0	80,1	2.010,0
Land use	PDF*m2yr	9.940,0	2.240,0	-559,0	11.600,0
Minerals	MJ surplus	3.940,0	1.450,0	-188,0	5.210,0

Tabella 5-6: la tabella della caratterizzazione con Eco-Indicator '99 del processo del processo Ciclo di vita edificio

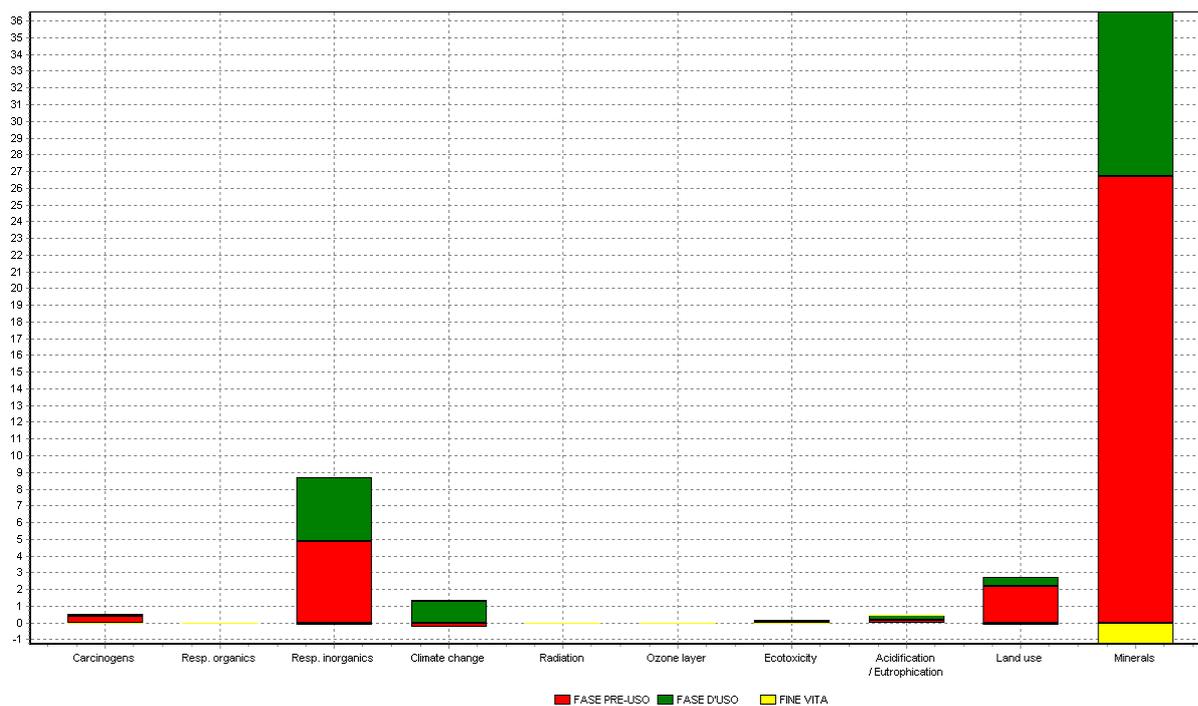


Analizzando 1 p ciclo di vita "CICLO VITA EDIFICIO"; Metodo: Eco-indicator 99 (I) V2.1 / Europe EI 99 I/A / Caratterizzazione

Tabella 5-7: il diagramma della caratterizzazione con Eco-Indicator '99 del processo Ciclo di vita edificio

Dall'analisi dei risultati della caratterizzazione si nota che:

- La fase di produzione (dei materiali e componenti unitamente alla cantierizzazione) contribuisce in maniera maggiore ai danni nelle categorie di impatto **Carcinogens**, **Respiratory Organics**, **Respiratory Inorganics**, **Radiation**, **Land Use**, **Minerals**. A tali danni si contrappone **Climate Change** che ha il danno minore in fase di produzione, a causa dell'uso di biomassa vegetale tra i materiali (paglia e legno).
- La fase di uso contribuisce in maniera maggiore ai danni nelle categorie **Climate Change**, **Ecotoxicity**, **Ozone Layer**, **Acidification/Eutrophication**.
- La fase di fine vita contribuisce negativamente in **Land Use**, **Minerals**, **Carcinogens**, **Radiation**, **Respiratory**, **Inorganics**.

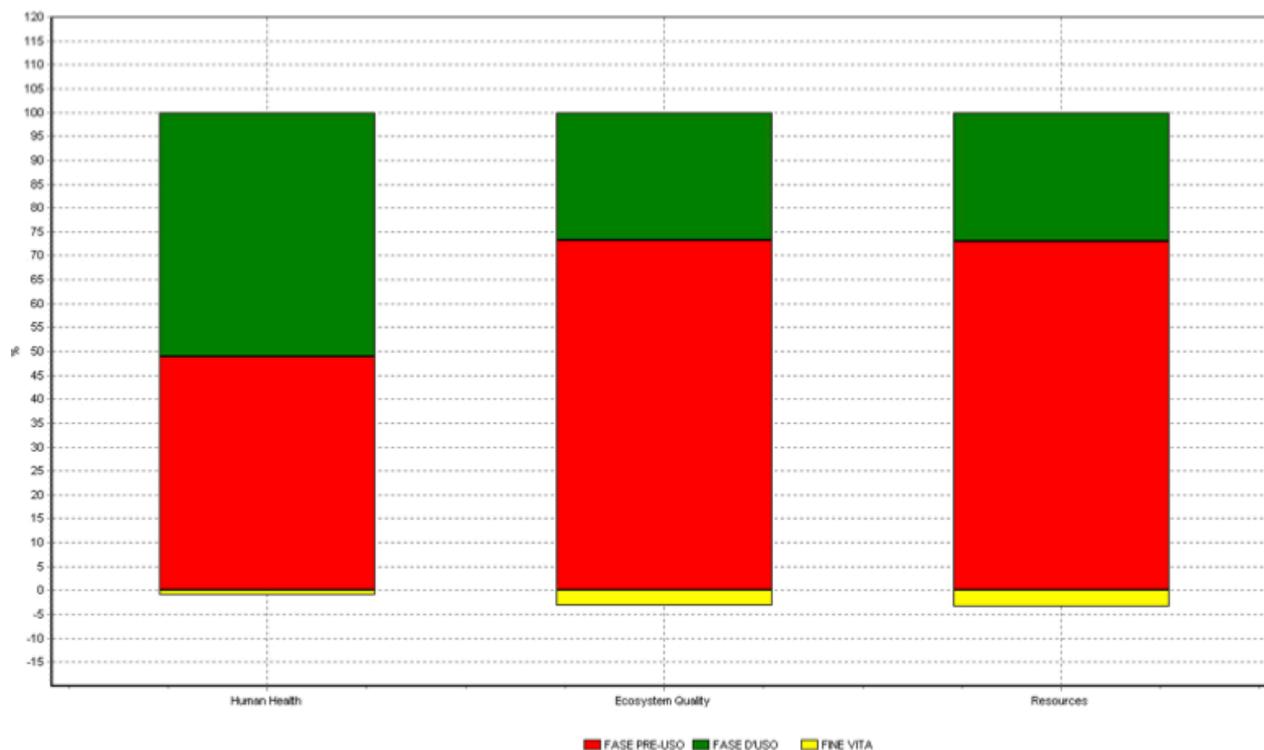


Analizzando 1 p ciclo di vita 'CICLO VITA EDIFICIO'; Metodo: Eco-indicator 99 (I) V2.1 / Europe EI 99 I/A / normalizzazione

Tabella 5-8: il diagramma della normalizzazione con Eco-Indicator '99 del processo Ciclo di vita edificio

Dall'analisi dei risultati della normalizzazione si nota che:

- La categoria di impatto **Minerals** ha il danno maggiore, in particolare nella fase di pre-uso.



Analizzando 1 p ciclo di vita 'CICLO VITA EDIFICIO'; Metodo: Eco-indicator 99 (I) V2.1 / Europe EI 99 I/A / valutazione dei danni

Tabella 5-9: il diagramma della valutazione per damage category con Eco-Indicator del processo Ciclo di vita edificio

Dall'analisi della valutazione per categorie di danno si nota che:

- Il danno maggiore in **Ecosystem Quality**, **Resources** e **Human Health** si ha a causa della fase di pre-uso.

Dalla pesatura con Eco-Indicator risulta che il danno totale vale 12.400 Pt, così ripartito:

- fase di pre-uso: 67 %;
- fase d'uso: 36 %;
- fine vita: -3 %.

Il danno in fase di pre-uso è dovuto al Nichel presente nella copertura del tetto in acciaio zincato. È importante dire che in fase di progetto il tetto era previsto in legno. Il fine vita presenta dei vantaggi legati al recupero dei materiali.

5.6 CONCLUSIONI

Attraverso l'analisi condotta si è valutato che il danno sulle tre categorie di danno **Ecosystem Quality**, **Resources** e **Human Health** in fase di produzione risulta maggiore rispetto a quello in fase d'uso e in fine vita. La categoria Minerals ha il danno maggiore tra tutte le categorie, e in particolare a causa del Nichel utilizzato nel tetto di acciaio. Questa indicazione è importante per il progettista che aveva giustamente scelto una copertura in legno, mentre nella realtà ne è stata realizzata una in lamiera (per abbattere i costi in autocostruzione e facilitare l'installazione). Inoltre i consumi energetici sono ridotti, grazie all'uso della paglia come isolante, e questo spunto di riflessione potrebbe essere approfondito con un'analisi di sensibilità tra la casa del presente caso studio e una in laterizio convenzionale (per la quale sappiamo già che i consumi legati al riscaldamento sono maggiori in fase d'uso rispetto a quelli di una casa in paglia).

Un'importante indicazione alla ricerca viene da questo caso studio: è realistico immaginare "compostabile" una casa in balle di paglia? Probabilmente sì, a patto che l'intonaco sia completamente rimovibile in maniera selettiva, come gli impianti annegati tra paglia e intonaco. Ed è certo che il "compostaggio" della paglia, unito ad una frazione di intonaco che vi rimane attaccato (allora è preferibile che l'intonaco sia di terra, oltre che per le note caratteristiche termiche) sia preferibile ad altri fine vita? Nel caso studio che segue si è voluta condurre un'analisi di sensibilità tra differenti scenari di fine vita per un impasto di paglia e terra cruda utilizzato come intonaco. E' utile sottolineare che solo grazie ad un approccio LCA, ossia ad un'analisi ambientale, e non solo energetica, si possono rinvenire gli "hot-spot" del sistema anche in fase di cantiere. Se ci si limitasse ad un'analisi energetica in fase d'uso non ci si renderebbe conto degli impatti legati alla scelta dei materiali costruttivi, anche quando essi garantiscono buone prestazioni.

6 IL CASO STUDIO: LCA DI UN INTONACO DI TERRA CRUDA E PAGLIA

6.1 OBIETTIVO DELLO STUDIO E CAMPO DI APPLICAZIONE

6.1.1 Obiettivo

Obiettivo dello studio è la valutazione del danno ambientale dovuto ad un intonaco con terra cruda e paglia.



Figura 6-1: Intonaco di terra cruda e paglia applicato su parete in balle di paglia

Nel corso della presente ricerca si è giunti al citato obiettivo partendo da alcune riflessioni:

La paglia è un materiale naturale adatto all'utilizzo in edilizia per caratteristiche di sostenibilità ambientale, economica e sociale, come illustrato nel capitolo dedicato;

L'utilizzo della paglia come materiale da costruzione si sta espandendo.

Negli ambienti in cui si sta diffondendo l'utilizzo di materiali di scarto delle colture agricole in edilizia (paglia, canapa..) è frequente sentir parlare di un fine vita di "compostaggio" per questi materiali. La presente ricerca vuole apportare una riflessione circa la reale possibilità che una muratura possa essere compostata. Appare chiaro che ciò è possibile solo a patto che:

- Venga prevista una demolizione selettiva per la costruzione;
- Il muro di balle di paglia sia facilmente disassemblabile dall'intonaco in fase di demolizione. L'intonaco potrà quindi essere condotto in una discarica per inerti o essere riciclato come inerte da costruzione.

Entrambi i presupposti sono indispensabili se si vuole realmente compostare la paglia, sia lasciandola sullo stesso terreno su cui sorgeva l'abitazione, sia inviandola ad un impianto ad hoc.

Nel corso della trattazione sulla paglia si è inoltre sottolineata la necessità di accoppiare tale materiale con intonaci appropriati in virtù della fondamentale capacità della paglia di lasciarsi attraversare dal vapore. Questa caratteristica garantisce un ottimo comfort interno agli ambienti poiché il grado di umidità indoor viene regolato dal materiale stesso, che dialoga con l'esterno. L'acqua allo stato liquido è invece nemica della paglia poiché ne causa il marciume, è quindi necessario scongiurare la presenza di condensa sulla superficie delle balle o al loro interno. Ciò

significa che è fortemente sconsigliato apporre barriere al vapore sulle balle: materiali plastici, isolanti, intonaci scarsamente traspiranti. Tali barriere bloccherebbero il flusso di vapore all'interno della balla causando condensa (acqua) e marciume. Purtroppo accade ancora che muri in balle di paglia vengano intonacati con miscele a base di cemento, scarsamente traspirante. Ogni materiale ha le proprie specifiche tecniche per la posa in opera e l'accoppiamento con altri materiali, e ciò vale ovviamente anche per la paglia, anche se allo stato attuale dell'arte troviamo che sarebbe opportuno diffondere maggiormente le pratiche del "buon costruire" per evitare di cadere in errori.

Con la presente ricerca si è quindi identificato, come intonaco ideale per le balle di paglia, una miscela di terra, sabbia e paglia, rispondente alle caratteristiche dell'intonaco applicato nell'esperienza di realizzazione del frantoio oleario dell'Istituto Ciuffelli di Todi (→ vedi cap.3.1)

Come visto, l'intonaco di terra è in grado di garantire un'ottima traspirabilità della parete.

Tale miscela è stata direttamente applicata sulle balle, in assenza di rete porta intonaco. Questa soluzione appare appropriata in quanto il "pacchetto" paglia-intonaco può essere interamente compostato.

Nel presente capitolo, trattando il fine vita dell'intonaco si è pensato di riutilizzarlo come riempimento per una cava in fase di recupero ambientale. Si è quindi voluto simulare un "ritorno alla natura" dell'impasto di paglia e terra.

Nel seguito della trattazione (analisi di sensibilità par. 7.4), andando ad analizzare il solo LCA dell'intonaco, saranno anche confrontati 5 differenti scenari di fine vita:

- il materiale ottenuto dall'abbattimento dell'edificio viene inviato all'inceneritore municipale.
- il materiale ottenuto dall'abbattimento dell'edificio viene frantumato e usato come inerte da riciclo.
- il materiale ottenuto dall'abbattimento dell'edificio viene inviato nella discarica per inerti.
- il materiale ottenuto dall'abbattimento dell'edificio viene selezionato, l'85% va in discarica per inerti e il 15% viene usato come inerte da riciclo.
- il materiale ottenuto dall'abbattimento dell'edificio viene reimpiegato per la rinaturalizzazione di un sito estrattivo.

Si dedicherà poi, sempre all'interno dell'analisi di sensibilità, un paragrafo al confronto tra il fine vita come recupero di una cava e il fine vita in compostaggio.

6.1.2 Campo di applicazione

6.1.2.1 La funzione del sistema

La funzione dell'intonaco è la protezione interna o esterna della parete verticale di un edificio.

6.1.2.2 Il sistema che deve essere studiato

Il sistema che verrà studiato è un intonaco costituito da:

- Un 1° strato in miscela di terra e paglia, più interno, a contatto con la paglia delle balle, precedentemente bagnate con della barbotina a base di terra e acqua;
- Un 2° strato intermedio a base di terra, sabbia e acqua;
- Un 3° strato di finitura a base di fior di calce idrata e sabbia



Figura 6-2: Il 1° strato di intonaco, più interno



Figura 6-3: In alto a sinistra, la paglia bagnata con la barbotina. In basso il 1° strato di intonaco

Le terre e la sabbia utilizzate prendono il nome dai “poderi” da cui sono state estratte, come riportato in Tabella 6-3.

Lo scenario di fine vita ipotizzato per l’intonaco di terra prevede il riutilizzo dei materiali per il recupero di un sito estrattivo, nello specifico si è immaginato di riempire una cava di argilla dismessa.

6.1.2.3 Unità funzionale

L’unità funzionale è 1 m² dell’intonaco con una durata di vita di 100 anni e una manutenzione ogni 10 anni.

6.1.2.4 Confini del sistema

I confini del sistema vanno dalla raccolta delle materie prime alla dismissione dell’intonaco. Vengono quindi considerate le fasi di produzione, di messa in opera, di uso e di fine vita dell’unità funzionale.

6.1.2.5 Qualità dei dati

I dati utilizzati per la produzione sono primari, rilevati direttamente in cantiere. Quelli relativi all’uso e al fine vita sono frutto di ipotesi. Quando sono disponibili vengono usati i processi della banca dati Ecoinvent. Negli altri casi vengono costruiti processi ad hoc. L’analisi viene

effettuata con i Metodi IMPACT 2002+ modificato, EPS 2000 (con l'obiettivo del calcolo dei costi esterni) e ReCiPe endpoint e midpoint. Il codice utilizzato è SimaPro 7.3.3.

6.2 INVENTARIO

6.2.1 Diagramma a blocchi del processo studiato

Il diagramma del processo è rappresentato in Figura 6-4

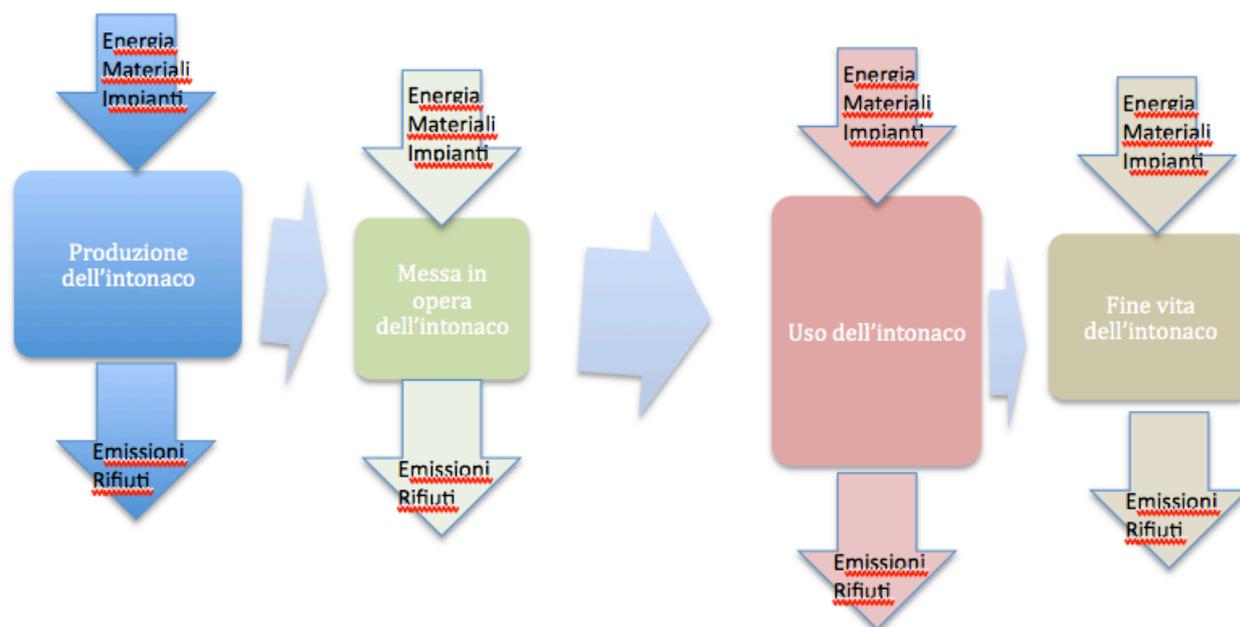


Figura 6-4: diagramma a blocchi del processo Intonaco in terra cruda

6.2.2 Parametri introdotti

Sono stati introdotti i seguenti parametri, che permettono di modificare l'analisi LCA andando ad inserire valori differenti all'interno della schermata "parameters" del software di calcolo:

m	0,00002	spessore del terzo strato che viene impiegato per la manutenzione (m)
n	0,001	spessore del secondo strato che viene impiegato per la manutenzione (m)
p	2	numero di piani dell'edificio
v	0,5	velocità di elevazione dei materiali sul tra battello (m/sec)
Tord	0,333	tempo necessario per l'applicazione di uno strato per

		2.5*1m2 (h)
h	1	altezza di ciascun ordine di intonaco (m)
s1	0,016	spessore del primo strato (m)
s2	0,01	spessore del secondo strato (m)
s3	0,002	spessore del terzo strato (m)
L	2,5	lunghezza del trabattello e dell'ordine (m)

Tabella 6-1 Input parameters

Parametri dipendenti dai precedenti.

Nord	$p*3$	numero di ordini di intonaco di area $2.5m^2$
t	h/v	tempo necessario per sollevare i materiali di h (sec)
V1	$(1-0,005)*(1-0,005)*(s1-0,005/1*s1)*L*Nord$	Volume del primo strato (m^3)
Pb	$(0,22+1*(1-0,8))*L*Nord$	Peso della barbettina (kg)
V2	$(1-0,005)*(1-0,005)*(s2-0,005/1*s2)*L*Nord$	Volume del secondo strato (m^3)
V3	$(1-0,0002)*(1-0,0002)*(s3-0,0002/1*s3)*L*Nord$	Volume del terzo strato (m^3)
Nmod	Nord-1	numero di moduli del trabattello

Tabella 6-2 Calculated parameters

L'idea di fondo è di poter effettuare in futuro delle analisi di sensibilità confrontando intonaci di differente spessore, e/o applicati su edifici di altezze differenti. L' LCA qui presentato potrà quindi essere riutilizzato per successivi studi, andando a variare i parametri di interesse.

6.2.3 Produzione di $1 m^2$ di intonaco di terra e paglia

Per la produzione di $1m^2$ di intonaco esterno vengono utilizzati i seguenti materiali: paglia, terra "Podere Bodoglie", terra "Podere Gobba", sabbione, acqua. Vengono inoltre utilizzati i seguenti impianti: betoniera, trabattello (piedi, asse di legno e modulo), vaglio vibrante.

I dati vengono riportati all'interno della Tabella 6-3

elemento	Spessore (m)	Composizione (kg)	Note
barbottina	Considerato nullo: la barbottina penetra nella paglia e serve a creare un legame con la terra che verrà applicata	0,42 kg	Malta leggerissima a base di terra e acqua. Il peso è riferito alla barbottina essiccata

1° strato	0.016m	27.4kg di terra 'Podere gobba' 2.74kg di paglia 0.96 kg di acqua totale 41.1kg	contenuto di argilla del 95% setacciatura manuale con maglia da 1cm ² tempo di miscelazione del primo strato 15 min Potenza del miscelatore: 10kW
2° strato	0.01m	15kg di sabbia 'Sabbione' 3.2kg di terra 'Bodoglie' 3.74 kg di acqua totale: 20.5kg	contenuto di argilla del 75% setacciatura del sabbione manuale con maglia da 3x3 mm setacciatura della terra manuale con maglia da 10 cm ² tempo di miscelazione del secondo strato 15/41.1*20.5=7.5 min Potenza del miscelatore: 10kW
3° strato	0.002 m	3.47kg di sabbia 'Sabbione' 0,2kg di fior di calce idrata 1.2 kg di acqua totale 4.87kg	setacciatura del sabbione manuale con maglia da 3mm ² tempo di miscelazione del terzo strato 15/41.1*4.87=1.7774 min Potenza del miscelatore: 10kW
Totale 3 strati	0.028m	Totale intonaco essiccato 31.236+18.387 +0.42+3.67= 53,713	

Tabella 6-3 Dati inventario Intonaco di terra e paglia

6.2.3.1 1° strato

Nome	Unità Funzionale	note
1° strato dell'intonaco di terra con parametri	$(1-0,005)*(1-0,005)*(s1-0,005/1*s1)$ m ³	Volume dell'intonaco gettato per 1m ² di intonaco: 1*0.016m ³ per la posa in opera a frattazzo il ritiro è di 0.5cm. Si suppone che questa riduzione avvenga sulle due direzioni della superficie e di una quantità

		<p>proporzionale a tale quantità e allo spessore</p> <p>Volume essiccato: $(1-0.005)*(1-0.005)*(0.016-0.005/1*0.016)$</p> <p>Peso totale dei materiali meno l'acqua che si suppone evapori per il 90% visto l'alto contenuto di argilla:</p> <p>Peso dell'intonaco essiccato: $41.1-10.96*0.9=31.236\text{kg}$</p> <p>Quantità di terra per il primo strato: 27.4kg</p> <p>Quantità di paglia: 2.74kg</p> <p>Viene usata una terra composta dal 95% di argilla, supponiamo che sia per l'80% costituita da sabbia e per il 20% da limo</p>
--	--	--

Tabella 6-4: 1° strato dell'intonaco di terra con parametri

Sono riportati i processi richiamati dalla banca dati Ecoinvent per il 1° stato, le cui quantità sono state parametrizzate come illustrato nel paragrafo dedicato ai parametri:

Materiali	note
Clay, at mine/CH U 27,4/0,016*s1*0,95 kg	Il processo in bancadati considera un'estrazione industriale dell'argilla
Sand, at mine/CH U 27,4/0,016*s1*0,05*0,8 kg	la parte di terra diversa dall'argilla supponiamo che sia per l'80% costituita da sabbia e per il 20% da limo.
Limo 27,4/0,016*s1*0,05*0,2 kg	Il limo è stato creato ex-novo come processo a partire da Clay, at mine/CH U
Tap water, at user/RER U 10,96/0,016*s1 kg	Acqua di pozzo
Wheat straw IP, at farm/CH U 2,74/0,016*s1 kg	Il processo in bancadati considera una coltivazione intensiva per la paglia

Tabella 6-5: Materiali del processo 1° strato dell'intonaco di terra cruda con parametri

Processi e impianti	note
Betoniera 1/30000*10/0,07*s1/60 p	<p>Allocazione temporale della betoniera: $p/30000*10\text{min}/0.07\text{m}^3*s1/60$</p> <p>A partire dal dato esperienziale: 10min per miscelare $70\text{l}=0.07\text{m}^3$</p> <p>Sapendo che il volume di 1 m² di intonaco vale: $0.0016*1=0.0016\text{m}^3$</p> <p>tempo di miscelazione: $10\text{min}/0.07\text{m}^3*s1=2.2857\text{min}=0.038095\text{h}$</p>
Betoniera	Allocazione del vaglio:

$1/58*1850/30000*2,192E-4/0,016*s1$ p	$1/58*1850/30000*2,192E-4/0,016*s1$ peso: 1850kg capacità: 125t/h potenza: 7.5kW durata: 30000h tempo di vagliatura: $1/125000*27.4=2.192E-4h$ per uno spessore dello strato di 0.016m Allocazione di massa: $p/58*1850$ Allocazione temporale $p/30000*2.192E-4$
---------------------------------------	---

Tabella 6-6: processi e impianti del processo 1° strato dell'intonaco di terra cruda con parametri

Energia	note
Electricity, low voltage, at grid/IT U $0,65*10/0,07*s1/60$ kWh	Energia per la miscelazione della malta di terra, paglia e sabbia potenza del miscelatore: 0.65kW tempo necessario per miscelare il primo strato: 0.19048h
Electricity, low voltage, at grid/IT U $7,5*2,192E-4/0,016*s1$ kWh	Energia per la vagliatura della terra potenza del vaglio: 7.5kW tempo necessario per vagliare i materiali del primo strato: 2.192E-4h Allocazione del vaglio: $1/58*1850/30000*2,192E-4/0,016*s1$ peso: 1850kg capacità: 125t/h potenza: 7.5kW durata: 30000h tempo di vagliatura: $1/125000*27.4=2.192E-4h$ per uno spessore dello strato di 0.016m Allocazione di massa: $p/58*1850$ Allocazione temporale $p/30000*2.192E-4$

Tabella 6-7: energia del processo 1° strato dell'intonaco di terra cruda con parametri

Trasporti	note
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $58*1/30000*10/0,07*s1/60*100$ kgkm	Trasporto della betoniera dalla ditta che la produce al sito di miscelazione: 100km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $1850*2,3306E-7/0,016*s1*100$ kgkm	Trasporto del vaglio dalla ditta che la produce al sito di miscelazione: 100km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $27,4/0,016*s1*200$ kgkm	Trasporto della terra al cantiere: 200km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $2,74/0,016*s1*70$ kgkm	Trasporto della paglia al cantiere: 70km

Tabella 6-8: trasporti del processo 1° strato dell'intonaco di terra cruda con parametri

Emissioni in aria		note
Particulates, < 2.5 um	$0,0001*(41,1-10,96)/0,016*s^{1/3}$ kg	Si suppone che venga emesso in atmosfera lo 0.01% del materiale usato meno l'acqua (41.1-10.96 kg) e che la granulometria delle polveri sia suddivisa in parti uguali nelle tre tipologie standard
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	$0,0001*(41,1-10,96)/0,016*s^{1/3}$ kg	
Particulates, > 10 um	$0,0001*(41,1-10,96)/0,016*s^{1/3}$ kg	

Tabella 6-9: emissioni del processo 1° strato dell'intonaco di terra cruda con parametri

6.2.3.1.1 Limo

La granulometria del limo è situata tra quella della sabbia (2-0.06mm) e quella dell'argilla (>0.002mm). Inoltre nel limo è contenuta una certa quantità di sostanze organiche che non consideriamo perchè ipotizziamo che essendo naturale non produce danno.

Nome	Unità Funzionale	note
Limo	1 kg	

Tabella 6-10: Limo

Materiali	note
Clay, at mine/CH U 0,5 kg	Il processo in bancadati considera un'estrazione industriale dell'argilla
Sand, at mine/CH U 0,5 kg	Il processo in bancadati considera un'estrazione industriale della sabbia

Tabella 6-11: materiali del processo Limo

6.2.3.2 2° strato

Nome	Unità Funzionale	note
2° strato dell'intonaco di terra con parametri	$(1-0,005)*(1-0,005)*(s^2-0,005/1*s^2)$ m3	Volume dell'intonaco gettato: $1*0.01$ Il ritiro dell'intonaco applicato a frattazzo è di 0,5cm su 1 m di altezza e uguale sulle due direzioni della superficie e di una

		<p>quantità proporzionale a tale quantità e allo spessore La riduzione nella direzione dello spessore vale: $0,005/1*0,005$ volume rimanente dopo l'essiccazione: $(1-0.005)*(1-0.005)*(0.01-0.005/1*0.01)= 0.0098507$ Si suppone che in un intonaco con preponderanza di sabbia l'acqua evaporata sia il 95% Peso dell'intonaco essiccato: $21.94-3.74*0.95=18.387\text{kg}$ Peso della terra: 3.2kg Peso della sabbia: 15kg Peso dell'acqua: 3.74kg Peso totale: 21.94kg</p>
--	--	---

Tabella 6-12: 2° strato dell'intonaco di terra con parametri

Sono riportati i processi richiamati dalla banca dati Ecoinvent per il 2° stato, le cui quantità sono state parametrizzate come illustrato nel paragrafo dedicato ai parametri:

Materiali	note
Clay, at mine/CH U $3,2*0,75/0,01*s2$ kg	Il processo in bancadati considera un'estrazione industriale dell'argilla l'argilla costituisce il 75% del peso per questa quantità di argilla lo spessore è 0.01 m
Sand, at mine/CH U $3,2*0,25*0,8/0,01*s2$ kg	la parte di terra diversa dall'argilla supponiamo che sia per l'80% costituita da sabbia e per il 20% da limo.
Limo $3,2*0,25*0,2/0,01*s2$ kg	Il limo è stato creato ex-novo come processo a partire da Clay, at mine/CH U e Sand, at mine/CH U
Tap water, at user/RER U $3,74/0,01*s2$ kg	Acqua di pozzo
Sand, at mine/CH U $15*0,75/0,01*s2$ kg	la sabbia (15kg) supponiamo che sia per il 75% costituita da sabbia e per il 25% da un materiale che si considera formato per 80% di argilla e il 20% di limo
Clay, at mine/CH U $15*0,25*0,8/0,01*s2$ kg	
Limo $15*0,25*0,2/0,01*s2$ kg	Il limo è stato creato ex-novo come processo a partire da Clay, at mine/CH U e Sand, at mine/CH U

Tabella 6-13: materiali del processo 2° strato dell'intonaco di terra con parametri

Processi e impianti	note
Betoniera 1/30000*10/0,07*s2/60 p	È stato creato il processo <u>Betoniera</u> Allocazione temporale: p/30000*10min/0.07m ³ *s2/60 A partire dal dato esperienziale: 10min per miscelare 70l=0.07m ³ Sapendo che il volume di 1 m ² di intonaco vale: 0.01*1=0.01m ³ Allocazione temporale p/30000*0.11905
Betoniera 1/58*1850/30000*1/125000*18,2/0,01*s2 p	Utilizzato il processo Betoniera per un vaglio da cantiere. Allocazione del vaglio: 1/58*1850/30000*1/125000*18,2/0,01*s2 peso: 1850kg capacità: 125t/h potenza: 7.5kW durata: 30000h tempo di vagliatura: 1/125000*27.4=2.192E-4h per uno spessore dello strato di 0.016m Allocazione di massa: p/58*1850 Allocazione temporale p/30000*1.3408E-4

Tabella 6-14: processi e impianti del processo 2° strato dell'intonaco di terra con parametri

Energia	note
Electricity, low voltage, at grid/IT U 0,65*10/0,07*s2/60 kWh	Energia per la miscelazione della malta di terra e sabbia potenza del miscelatore: 0.65kW tempo necessario per miscelare il 2° strato: 10min/0.07*s2/60 h calcolato a partire dal dato: 10min per miscelare 70l=0.07m ³
Electricity, low voltage, at grid/IT U 7,5*1,3408E-4/0,01*s2 kWh	Energia per la vagliatura della terra potenza del vaglio: 7.5kW tempo necessario per vagliare i materiali del secondo strato: 1.3408E-4h

Tabella 6-15: energia del processo 2° strato dell'intonaco di terra con parametri

Trasporti	note
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U 58*1/30000*10/0,07*s2/60*100 kgkm	Trasporto della betoniera dalla ditta che la produce al sito di miscelazione: 100km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U 1850*1/125000*18,2/0,01*s2*100 kgkm	Trasporto del vaglio dalla ditta che la produce al sito di miscelazione: 100km

Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U (3,2+15)/0,01*s2*200 kgkm	Trasporto della terra e della sabbia dalla ditta che le produce al cantiere: 200km
--	--

Tabella 6-16: trasporti del processo 2° strato dell'intonaco di terra con parametri

Emissioni in aria	note
Particulates, < 2.5 um 0,0001*(21,94-3,74)/0,01*s2/3 kg	Si suppone che venga emesso in atmosfera lo 0.01% del materiale usato meno l'acqua (41.1-10.96 kg) e che la granulometria delle polveri sia suddivisa in parti uguali nelle tre tipologie standard
Particulates, > 2.5 um, and < 10um 0,0001*(21,94-3,74)/0,01*s2/3 kg	
Particulates, > 10 um 0,0001*(21,94-3,74)/0,01*s2/3 kg	

Tabella 6-17: emissioni del processo 2° strato dell'intonaco di terra con parametri

6.2.3.3 3° strato

Nome	Unità Funzionale	note
3° strato dell'intonaco di terra con parametri	$(1-0,0002)*(1-0,0002)*(s3-0,0002/1*s3)$ m3	Nel terzo strato si assume un ritiro nelle due direzioni della superficie di 0.0002m e nella direzione perpendicolare alla superficie (spessore dello strato) di $0.0002*s3$ m. La riduzione del ritiro rispetto ai primi due strati è dovuta alla calce che risente meno dell'effetto del ritiro dell'argilla. Volume dopo l'essiccazione: $(1-0,0002)*(1-0,0002)*(0,002-0,0002/1*0,002)$ peso totale dell'impasto: 4.87kg peso dell'acqua: 1.2kg Peso del dell'intonaco essiccato: $4.87-1.2=3.67$ kg

Tabella 6-18: 3° strato dell'intonaco di terra con parametri

Sono riportati i processi richiamati dalla banca dati Ecoinvent per il 3° stato, le cui quantità sono state parametrizzate:

Materiali	note
Sand, at mine/CH U 3,47/0,002*s3 kg	Sabbia: 3,47 kg/m ²
Lime, hydrated, packed, at plant/CH U 0,2/0,002*s3 kg	Fior di calce idrata: 0.2kg/m ²
Tap water, at user/RER U 1,2/0,002*s3 kg	Acqua di pozzo

Tabella 6-19: materiali del processo 3° strato dell'intonaco di terra con parametri

Processi e impianti	note
Betoniera 1/30000*4,7619E-3/0,002*s3 p	il tempo necessario per miscelare i materiali componenti 1m ² di intonaco peso dei materiali dell'intonaco 3.67kg volume di 1 m ² di intonaco vale: 0.002*1=0.002m ³ dato: 10min per miscelare 70l=0.07m ³ tempo di miscelazione: 10/0.07*0.002=0.28571min=4.7619E-3h Allocazione temporale p/30000*4.7619E-3
Betoniera 1/58*1850/30000*2,936E-5/0,002*s3 p	Vaglio vibrante da cantiere peso: 1850kg capacità: 125t/h potenza: 7.5kW durata: 30000h il tempo necessario per vagliare i materiali componenti 1m ² di intonaco peso dei materiali dell'intonaco 4.87-1.2=3.67kg tempo di vagliatura: 1/125000*3.67=2.936E-5h Allocazione di massa: p/58*1850 Allocazione temporale p/30000*2.936E-5

Tabella 6-20: processi e impianti del processo 3° strato dell'intonaco di terra con parametri

Energia	note
Electricity, low voltage, at grid/IT U 0,65*4,7619E-3/0,002*s3 kWh	potenza del miscelatore: 0.65kW tempo necessario per miscelare il primo strato: 4.7619E-3h
Electricity, low voltage, at grid/IT U 7,5*2,936E-5/0,002*s3 kWh	potenza del vaglio: 7.5kW tempo necessario per vagliare i materiali del terzo strato: 2.936E-5h

Tabella 6-21: energia del processo 3° strato dell'intonaco di terra con parametri

Trasporti	note
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U (3,47+0,2)/0,002*s3*200 kgkm	Trasporto della sabbia e della calce dalla ditta che la produce al sito di miscelazione: 200km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U 58*1,5873E-7/0,002*s3*100 kgkm	Trasporto della betoniera dalla ditta che la produce al sito di miscelazione: 100km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U 1850*3,1216E-8/0,002*s3*100 kgkm	Trasporto del vaglio dalla ditta che lo produce al sito di vagliatura: 100km

Tabella 6-22: trasporti del processo 3° strato dell'intonaco di terra cruda con parametri

Emissioni in aria	note
Particulates, < 2.5 um 0,0001*3,67/0,002*s3/3 kg	Si suppone che venga emesso in atmosfera lo 0.01% del materiale usato meno l'acqua (3,67 kg) e che la granulometria delle polveri sia suddivisa in parti uguali nelle tre tipologie standard
Particulates, > 2.5 um, and < 10um 0,0001*3,67/0,002*s3/3 kg	
Particulates, > 10 um 0,0001*3,67/0,002*s3/3 kg	

Tabella 6-23: emissioni del processo 3° strato dell'intonaco di terra con parametri

6.2.3.4 Barbottina

Nome	Unità Funzionale	note
Barbottina come legante	0,22+1*(1-0,8) kg	Barbottina usata per umidificare il primo strato di intonaco e permettere il legame con il secondo. Si suppone che durante l'essiccazione si produca l'evaporazione dell'80% di acqua. Unità Funzionale è la barbottina essiccata. Peso di uno strato di 1m ² : 0.42kg

Tabella 6-24: Barbottina come legante

Sono riportati i processi richiamati dalla banca dati Ecoinvent per la barbottina, le cui quantità sono state parametrizzate come illustrato nel paragrafo dedicato ai parametri:

Materiali	note
Clay, at mine/CH U	Il processo in bancadati considera

0,22 kg	un'estrazione industriale dell'argilla Consumo pari a 1/10 di l di acqua entro la quale viene disciolta. densità dell'argilla: 2.2 g/cm ³ Peso: 0.1 * 2.2=0.22kg
Tap water, at user/RER U 1 kg	Acqua di pozzo Si suppone che ne evapori l'80% durante l'essiccazione
Sand, at mine/CH U 15*0,75/0,01*s2 kg	la sabbia (15kg) supponiamo che sia per il 75% costituita da sabbia e per il 25% da un materiale che si considera formato per 80% di argilla e il 20% di limo
Clay, at mine/CH U 15*0,25*0,8/0,01*s2 kg	
Limo 15*0,25*0,2/0,01*s2 kg	Il limo è stato creato ex-novo come processo a partire da Clay, at mine/CH U

Tabella 6-25: materiali del processo Barbottina come legante

Trasporti	note
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U 0,22*200 kgkm	Trasporto della terra dalla ditta che la produce al cantiere: 200km

Tabella 6-26: trasporti del processo Barbottina come legante

Si suppone una miscelazione manuale senza emissioni.

6.2.3.5 Produzione

Il processo di produzione assembla i sotto processi di produzione dei tre differenti strati.

Nome	Unità Funzionale	note
Produzione dell'intonaco di terra	Nord*L m ²	Intonaco composto da tre strati: -l'interno di 0.016m -l'intermedio di 0.01m -l'esterno di 0.002 m Spessore totale: 0.016+0.01+0.002=0.028m peso totale di 1m ² dei tre strati di intonaco essiccato e senza emissioni: 31.236+18.387+0.42+3.67=53.713kg Durata dell'intonaco: 100 anni tempo necessario per l'applicazione di uno strato per 2.5*Lm ² : Tord

--	--	--

Tabella 6-27: Produzione dell'intonaco di terra

Processi e impianti	note
Barbottina come legante $(0,22+1*(1-0,8))*L*Nord$ kg	peso di 1 m2 di barbottina: $(0,22+1*(1-0,8))$
1° strato dell'intonaco di terra con parametri $(1-0,005)*(1-0,005)*(s1-0,005/1*s1)*L*Nord$ m3	volume di 1 m2 del primo strato: $(1-0,005)*(1-0,005)*(s1-0,005/1*s1)$
2° strato dell'intonaco di terra con parametri $(1-0,005)*(1-0,005)*(s2-0,005/1*s2)*L*Nord$ m3	volume di 1 m2 del secondo strato: $(1-0,005)*(1-0,005)*(s2-0,005/1*s2)$
3° strato dell'intonaco di terra con parametri $(1-0,0002)*(1-0,0002)*(s3-0,0002/1*s3)*L*Nord$ m3	volume di 1m2 del terzo strato: $(1-0,0002)*(1-0,0002)*(s3-0,0002/1*s3)$

Tabella 6-28: processi e impianti del processo Produzione dell'intonaco di terra

6.2.3.6 Impianti

Il ciclo di vita dell'intonaco prevede l'utilizzo di: betoniera per la miscelazione dei materiali, vaglio per la selezione dei materiali, trabattello per la stesura e rimozione dell'intonaco, elevatore per il sollevamento dei pesi in altezza.

6.2.3.6.1 Betoniera

E' stato creato il processo Betoniera come di seguito illustrato:

Nome	Unità Funzionale	note
<u>Betoniera</u>	1 p	Peso 58kg (acciaio da costruzione: 50%; acciaio inossidabile: 20%; ghisa di ingranaggi e corona: 15%; rame: 10%; stirene: 5%); Capacità: 165 l; Durata di vita 30000h; Capacità reale: $165l*0.8=132l$; tempo per miscelare 70l: 10min.

Tabella 6-29: Betoniera

Il processo Betoniera è utilizzato per simulare il funzionamento del vaglio vibrante da cantiere, con differente allocazione di tempo e massa,

Materiali	note
-----------	------

Cast iron, at plant/RER U 58*0,15 kg	
Reinforcing steel, at plant/RER U 58*0,5 kg	
Steel, electric, chromium steel 18/8, at plant/RER U 58*0,2 kg	
Copper, primary, at refinery/RER U 58*0,1 kg	
Styrene-acrylonitrile copolymer, SAN, at plant/RER U 58*0,05 kg	

Tabella 6-30: materiali del processo Betoniera

Processi e impianti	note
Casting, brass/CH U 58*0,15 kg	Per la fusione della ghisa si assume quella dell'ottone
Section bar rolling, steel/RER U 58*0,5 kg	
Sheet rolling, chromium steel/RER U 58*0,2 kg	
Wire drawing, copper/RER U 58*0,1 kg	
Blow moulding/RER U 58*0,05 kg	

Tabella 6-31: processi e impianti del processo Betoniera

Trasporti	note
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U 58*100 kgkm	Trasporto dei materiali dalle ditte che li producono alla ditta che produce la betoniera: 100 km

Tabella 6-32: trasporti del processo Betoniera

Trattamento rifiuti	note
Recycling steel and iron/RER U (con scrap) 58*0,15 kg	Si suppone il riciclaggio per i materiali componenti la betoniera.
Recycling steel and iron/RER U (con scrap) 58*0,5 kg	
Recycling steel and iron/RER U (con scrap) 58*0,2 kg	
Recycling copper/RER U (con scrap) 58*0,1 kg	
Recycling rubber and leather/RER U (solo raccolta)	

58*0,05	kg	
---------	----	--

Tabella 6-33: trattamento rifiuti del processo Betoniera

6.2.3.6.2 Trabattello

E' stato introdotto un processo Trabattello costituito da due sottoprocessi:

- Trabattello (modulo per 1 ordine) con parametri
- Trabattello (piedi e asse) con parametri

Ciò significa che indipendentemente dall'altezza dell'edificio sul quale si lavora utilizzando il trabattello, avremo una parte di strumentazione "fissa", cioè utilizzata in ogni caso andando a lavorare ad altezze superiori ad Nmod (1m). Questa parte è costituita dai piedi del trabattello e da un asse di legno sul quale salire. Andando a lavorare in altezza, il trabattello dovrà aumentare in altezza, aggiungendo dei "moduli": il processo Trabattello (modulo per 1 ordine) con parametri ha la possibilità di essere parametrizzato in funzione del numero di ordini di intonaco da fare (Nord) ossia del numero di fasce di altezza 1 m che il trabattello deve asservire, ossia del numero di moduli (Nmod) di cui il trabattello deve comporsi a seconda dell'altezza dell'edificio.

Nome	Unità Funzionale	note
Trabattello (piedi e asse) con parametri	L*1 m2	Asse di legno e piedi del trabattello. Unità funzionale: area servita dal trabattello per 1 ordine e per 1 strato di intonaco: $2.5*1=2.5m^2$ Tempo di vita: 10 anni Peso: $27.5+3.744=31.244kg$

Tabella 6-34: Trabattello (piedi e asse) con parametri

Materiali	note
Sawn timber, softwood, planed, kiln dried, at plant/RER U L*1*0,02 m3	piano di appoggio trabattello dimensioni: L=2.5m l=1m spessore: 0.02m $V=2.5*1*0.02=0.05m^3$ densità: 550kg/m3 Peso: $550*0.05$
Reinforcing steel, at plant/RER U $4*7,8*2*(0,03+0,03)*0,002*0,5$ ton	4 piedi di ferro h=0.5m sezione quadrata: l=0.03m spessore: 0.002m

	$P=4*7.8*2*(0.03+0.03)*0.002*0.5t$
--	------------------------------------

Tabella 6-35: materiali del processo Trabattello (piedi e asse) con parametri

Processi e impianti	note
Section bar rolling, steel/RER U $4*7,8*2*(0,03+0,03)*0,002*0,5$ ton	

Tabella 6-36: processi e impianti del processo Trabattello (piedi e asse) con parametri

Trattamento rifiuti	note
Riciclo del legno (da Medium density fibreboard, at plant/RER U) (multioutput) $L*1*0,02$ m3	Riciclo del legno
Recycling steel and iron/RER U (con scrap) $4*7,8*2*(0,03+0,03)*0,002*0,5$ ton	Riciclo dei componenti metallici

Tabella 6-37: trattamento rifiuti del processo Trabattello (piedi e asse) con parametri

Nome	Unità Funzionale	note
Trabattello (modulo per 1 ordine) con parametri	$L*1$ m2	Asse di legno e piedi del trabattello Unità funzionale: area servita dal trabattello per 1 ordine e per 1 strato di intonaco: $2.5*1=2.5m^2$ Tempo di vita: 10 anni Peso: 53.858kg 1 ordine= fascia di intonaco di 1m di altezza e 2.5m di lunghezza.

Tabella 6-38: Trabattello (modulo per 1 ordine) con parametri

Materiali	note
Reinforcing steel, at plant/RER U $7,8*2*(0,03+0,03)*0,002*1*(4*L+4*1+4*1+4*(L^2+1^2)^{0,5})$ ton	modulo: Lunghezza trave=2.5m larghezza modulo=1m altezza modulo=1m travi in ferro: 4 di lunghezza 2.5, 4 di lunghezza 1m (larghezza trabattello), 4 di lunghezza 1m (altezza trabattello) trave di sezione quadrata di lato: $l=0.03m$ spessore: 0.002m

	<p>peso di una trave di 1m di lunghezza $P=7.8*2*(0.03+0.03)*0.002*1$ Lunghezza delle travi e delle traverse: $L_{tot}=4*2.5+4*1+4*1+4*((2.5^2+1^2)^{0.5})$ $P_{tot}=P*L_{tot}$</p>
--	--

Tabella 6-39: materiali del processo Trabattello (modulo per 1 ordine) con parametri

Processi e impianti	note
<p>Section bar rolling, steel/RER U $7,8*2*(0,03+0,03)*0,002*1*(4*L+4*1+4*1+4*(L^2+1^2)^{0,5})$ ton</p>	Lavorazione delle travi

Tabella 6-40: processi e impianti del processo Trabattello (modulo per 1 ordine) con parametri

Trattamento rifiuti	note
<p>Recycling steel and iron/RER U (con scrap) $7,8*2*(0,03+0,03)*0,002*1*(4*L+4*1+4*1+4*(L^2+1^2)^{0,5})$ ton</p>	Riciclo delle travi

Tabella 6-41: trattamento rifiuti del processo Trabattello (modulo per 1 ordine) con parametri

6.2.3.6.3 Elevatore

Il processo Elevatore ha la possibilità di essere parametrizzato in funzione del numero di moduli (Nmod) di intonaco da fare, ossia del numero di fasce di altezza 1m esclusa la prima in basso che non necessita di elevazione dei materiali.

Nome	Unità Funzionale	note
Elevatore	1 p	<p>durata di vita: 30000h -motore: 53kg costituito per: 30%*53kg di acciaio da costruzione 20%*53kg di acciaio inossidabile 30%*53kg di rame 20%*53kg: di HDPE -scala di guida in acciaio di altezza: 3m*numero di piani Altezza dei ritti: Nord*1m Ritti in tubolare di sezione: 0.05*0.05 m2 e spessore: 0.003m Peso: $7.8*0.05*4*0.003*Nord*1*2$ Distanza tra i ritti: 0.8m Distanza tra i pioli: 0.4m pioli in tubolare di sezione:</p>

		<p>0.03*0.03 m2 e spessore: 0.002m numero di pioli: Nord*1m/0.4m Peso: $7.8*0.03*4*0.002*0.8*Nord*1/0.4$ -cestone in acciaio Peso totale: $0.053+0.06552+0.084864=0.20338t$</p>
--	--	---

Tabella 6-42: Elevatore

Materiali	note
Reinforcing steel, at plant/RER U 0,3*53 kg	acciaio da costruzione del motore
Chromium steel 18/8, at plant/RER U 0,20*53 kg	acciaio inox del motore
Copper, primary, at refinery/RER U 0,3*53 kg	rame del motore
Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U 0,2*53 kg	HDPE del motore
Reinforcing steel, at plant/RER U $7,8*0,05*4*0,003*Nord*1*2+7,8*0,03*4*0,002*0,8*No$ rd*1/0,4 ton	Scala di guida Altezza dei ritti: Nord*1m Ritti in tubolare di sezione: 0.05*0.05 m2 e spessore: 0.003m Peso: $7.8*0.05*4*0.003*Nord*1*2$ Distanza tra i ritti: 0.8m Distanza tra i pioli: 0.4m pioli in tubolare di sezione: 0.03*0.03 m2 e spessore: 0.002m numero di pioli: Nord*1m/0.4m Peso: $7.8*0.03*4*0.002*0.8*Nord*1/0.4$ ton
Reinforcing steel, at plant/RER U $7,8*(0,8*0,4*3+0,8*0,5)*0,008$ ton	Cestone lastra di appoggio scorrevole L=0.8m H=0.4*3m l=0.5m spessore 0.008m Peso: $7.8*(0.8*0.4*3+0.8*0.5)*0.008$
Reinforcing steel, at plant/RER U $7,8*(3,1416*(0,002/2)^2)*4*0,07/2*Alr/Avr$ ton	Superficie laterale in reticolato: Alr=0.8*0.4*3+2*0.5*0.4*3 area di un vuoto della rete: Avr=0.07*0.07 numero vuoti: Alr/Avr ogni vuoto è circondato da un filo di D=0.002m Volume attribuito ad 1 vuoto: $(3.1416*(0.002/2)^2)*4*0.07/2$ (del volume se ne considera solo la metà

	perchè l'altra metà viene attribuita ai 4 vuoti che circondano il vuoto in esame) Peso della rete: $7.8 \cdot (3.1416 \cdot (0.002/2)^2) \cdot 4 \cdot 0.07/2 \cdot A_{l/r}/A_{vr}$
Reinforcing steel, at plant/RER U $7.8 \cdot (0.02 \cdot 4 \cdot 0.001 \cdot (0.5 \cdot 2 + 0.8 \cdot 2)) \cdot 2$ ton	Tubolare di collegamento della rete: 2 piani per ciascun piano: L=2*0.8m L=2*0.5m sezione: 0.02*0.02 m2 e spessore: 0.001m Peso: $7.8 \cdot (0.02 \cdot 4 \cdot 0.001 \cdot (0.5 \cdot 2 + 0.8 \cdot 2)) \cdot 2$

Tabella 6-43: materiali del processo Elevatore

Processi e impianti	note
Section bar rolling, steel/RER U $7.8 \cdot 2 \cdot (0.03 + 0.03) \cdot 0.002 \cdot 1 \cdot (4 \cdot L + 4 \cdot 1 + 4 \cdot 1 + 4 \cdot (L^2 + 1^2)^{0.5})$ ton	Lavorazione delle travi

Tabella 6-44: processi e impianti del processo Elevatore

Electricity/heat	note
Section bar rolling, steel/RER U 0,3*53 kg	lavorazione dei materiali componenti il motore
Sheet rolling, chromium steel/RER U 0,2*53 kg	
Wire drawing, copper/RER U 0,3*53 kg	
Blow moulding/RER U 0,2*53 kg	
Section bar rolling, steel/RER U $7.8 \cdot 0.05 \cdot 4 \cdot 0.003 \cdot \text{Nord} \cdot 1 \cdot 2 + 7.8 \cdot 0.03 \cdot 4 \cdot 0.002 \cdot 0.8 \cdot \text{Nord} \cdot 1/0.4$ ton	lavorazione del materiale della scala guida
Sheet rolling, steel/RER U $7.8 \cdot (0.8 \cdot 0.4 \cdot 3 + 0.8 \cdot 0.5) \cdot 0.008$ ton	lavorazione del materiale del cassone (piastre)
Wire drawing, steel/RER U $7.8 \cdot (3.1416 \cdot (0.002/2)^2) \cdot 4 \cdot 0.07/2 \cdot A_{l/r}/A_{vr}$ ton	lavorazione del materiale del cassone (rete)
Section bar rolling, steel/RER U $7.8 \cdot (0.02 \cdot 4 \cdot 0.001 \cdot (0.5 \cdot 2 + 0.8 \cdot 2)) \cdot 2$ ton	lavorazione del materiale del cassone (collegamento rete)

Tabella 6-45: energie del processo Elevatore

Trasporti	note
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U 53*100 kgkm	Trasporto dei materiali del motore: 100km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	Trasporto dei materiali

$(7,8*0,05*4*0,003*Nord*1*2+7,8*0,03*4*0,002*0,8*Nord*1/0,4)*100$ tkm	della scala di guida: 100km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $(7,8*(0,8*0,4*3+0,8*0,5)*0,05+$ $7,8*(3,1416*(0,002/2)^2)*4*0,07/2*Alr/Avr+$ $7,8*(0,02*4*0,001*(0,5*2+0,8*2))*2)*100$ tkm	Trasporto dei materiali del cestone: 100km

Tabella 6-46: trasporti del processo Elevatore

Trattamento rifiuti	note
Recycling steel and iron/RER U (con scrap) 0,3*53 kg	Fine vita dei materiali componenti il motore
Recycling steel and iron/RER U (con scrap) 0,2*53 kg	Fine vita dei materiali componenti il motore
Recycling copper/RER U (con copper scrap) 0,3*53 kg	Fine vita dei materiali componenti il motore
Recycling PE/RER U (raccolta e selezione) 0,2*53 kg	Fine vita dei materiali componenti il motore
Recycling steel and iron/RER U (con scrap) $7,8*0,05*4*0,003*Nord*1*2+7,8*0,03*4*0,002*0,8*Nord*1/0,4$ ton	Fine vita dei materiali della scala di guida
Recycling steel and iron/RER U (con scrap) $7,8*(0,8*0,4*3+0,8*0,5)*0,008+$ $7,8*(3,1416*(0,002/2)^2)*4*0,07/2*Alr/Avr+$ $7,8*(0,02*4*0,001*(0,5*2+0,8*2))*2$ ton	Fine vita dei materiali del cestone

Tabella 6-47: trattamento rifiuti del processo Elevatore

6.2.4 Messa in opera di 1 m² di intonaco

La posa in opera dei tre strati dell'intonaco richiede l'utilizzo di un trabattello, come esposto nel paragrafo 6.2.3.6. Si ha lo scopo di parametrizzare questo strumento in funzione del numero di piani dell'abitazione: lo si è quindi immaginato costituito dai piedi e da un asse di legno che bisogna utilizzare indipendentemente dall'altezza dell'edificio, e da un "modulo" che deve essere moltiplicato per il numero di ordini Nord. Per la messa in opera si è considerato inoltre l'uso di un elevatore e l'energia necessaria per portare i materiali ai singoli ordini (escluso il primo).

Nome	Unità Funzionale	note
Messa in opera dell'intonaco di terra	Nord*L m2	La posa in opera dei tre strati dell'intonaco richiede il trabattello costituito dai piedi e dall'asse di legno e da un modulo che deve essere moltiplicato per il numero di ordini Nord, l'elevatore e l'energia necessaria per portare i materiali ai singoli ordini (escluso il primo)

		Potenza montacarichi: 20kW tempo impiegato per l'applicazione dei tre strati: $t \cdot \text{Nord} \cdot (\text{Nord} + 1) / 2 \cdot 3$
--	--	--

Tabella 6-48: Messa in opera dell'intonaco di terra

Processi e impianti	note
<p>Trabattello (piedi e asse) con parametri $L / (10 \cdot 240 \cdot 8) \cdot (\text{Tord} / 2,5 \cdot L) \cdot (\text{Nord} - 1) \cdot 3$ m2</p>	<p>Allocazione temporale dei piedi e dell'asse di legno del trabattello: $L / (10 \cdot 240 \cdot 8) \cdot (\text{Tord} / 2,5 \cdot L) \cdot (\text{Nord} - 1) \cdot 3$ tempo per la messa in opera di 3 strati di lunghezza 2.5m e altezza 1m per Nord ordini di area 2.5m2): $\text{Tord} \cdot \text{Nord} \cdot 3$ Peso: $27.5 + 3.744 = 31.244\text{kg}$</p>
<p>Trabattello (modulo per 1 ordine) con parametri $L \cdot (\text{Nord} - 1) / (10 \cdot 240 \cdot 8) \cdot (\text{Tord} / 2,5 \cdot L) \cdot (\text{Nord} - 1) \cdot 3$ m2</p>	<p>Modulo del trabattello per la messa in opera dei tre strati Area servita dal trabattello cioè Unità Funzionale del processo richiamato: $2.5 \cdot \text{Nord}$ m2 Allocazione sul numero di moduli $L \cdot 1 / (L \cdot 1) \cdot (\text{Nord} - 1) \cdot L$ Allocazione temporale di 1 modulo: $1 / (10 \text{anni} \cdot 240\text{g/a} \cdot 8\text{h/g}) \cdot \text{Tord} \cdot (\text{Nord} - 1) \cdot 3$ strati Allocazione totale (=Allocazione sul numero di moduli*Allocazione temporale di 1 modulo): $(\text{Nord} - 1) \cdot L \cdot 1 / (10 \text{anni} \cdot 240\text{g/a} \cdot 8\text{h/g}) \cdot \text{Tord} \cdot (\text{Nord} - 1) \cdot 3$ strati Allocazione di 1 modulo rispetto alla quantità di intonaco applicato: $1 / (10 \cdot 240 \cdot 8 \cdot L / \text{Tord}) \cdot (\text{Nord} - 1) \cdot L \cdot 3$ Allocazione totale: $(\text{Nord} - 1) \cdot L \cdot 1 / (10 \cdot 240 \cdot 8 \cdot L / \text{Tord}) \cdot (\text{Nord} - 1) \cdot L \cdot 3$ Le due allocazioni sono equivalenti Peso: 53.858kg</p>
<p>Elevatore $1 / 30000 \cdot t / (0,016 + 0,01 + 0,002) \cdot (s_1 + s_2 + s_3) \cdot \text{Nmod} \cdot (\text{Nmod} + 1) / 2 \cdot 3 / 3600$ p</p>	<p>Elevatore durata di vita: 30000h -motore: 53kg costituito per: 30%*53kg di acciaio da costruzione 20%*53kg di acciaio inossidabile 30%*53kg di rame 20%*53kg: di HDPE -scala di guida in acciaio di altezza: 3m*numero di piani Altezza dei ritti: Nord*1m</p>

	Ritti in tubolare di sezione: 0.05×0.05 m ² e spessore: 0.003m Peso: $7.8 \times 0.05 \times 4 \times 0.003 \times \text{Nord} \times 1 \times 2$ Distanza tra i ritti: 0.8m Distanza tra i pioli: 0.4m pioli in tubolare di sezione: 0.03×0.03 m ² e spessore: 0.002m numero di pioli: $\text{Nord} \times 1 \text{m} / 0.4 \text{m}$ Peso: $7.8 \times 0.03 \times 4 \times 0.002 \times 0.8 \times \text{Nord} \times 1 / 0.4$ -cestone in acciaio Peso totale: $0.053 + 0.06552 + 0.084864 = 0.20338 \text{t}$
--	---

Tabella 6-49: processi e impianti del processo Messa in opera dell'intonaco di terra

Electricity/heat	note
Electricity, low voltage, at grid/IT U $20 \times t / (0,008 + 0,005 + 0,002) \times (s_1 + s_2 + s_3) \times \text{Nmod} \times (\text{Nmod} + 1) / 2 \times 3$ /3600 kWh	Energia per l'elevazione dei materiali di uno strato potenza: 20kW tempo per elevare il materiale velocità di elevazione: 0.5m/sec tempo per elevare di 1m: $1 / 0.5 = 2 \text{sec}$ tempo totale per il primo piano: $1t + 2t = 3t$ $2 + 4 = 6 \text{sec}$ tempo totale per il secondo piano: $1t + 2t + 3t + 4t + 5t = 3t$ $2 + 4 + 6 + 8 + 10 = 2 \times (1 + 2 + 3 + 4 + 5) = 30 \text{sec}$ tempo totale per n strati di 1 m di altezza ciascuno: $T = t \times S \times \text{Nmod}$ (da 1 ad Nmod)= $t \times \text{Nmod} \times (\text{Nmod} + 1) / 2$ Tempo per l'applicazione di tre strati: $t \times \text{Nmod} \times (\text{Nmod} + 1) / 2 \times 3 \text{sec}$ t è un tempo proporzionale a (0,008+0,005+0,002) lo spessore dello strato sarà: $s_1 + s_2 + s_3$

Tabella 6-50: energie del processo Messa in opera dell'intonaco di terra

Trasporti	note
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $(31,244 \times L / (10 \times 240 \times 8)) \times (\text{Tord} / 2,5 \times L) \times (\text{Nord} - 1) \times 3 + 53,858 \times L \times (\text{Nord} - 1) / (10 \times 240 \times 8) \times (\text{Tord} / 2,5 \times L) \times (\text{Nord} - 1) \times 3 \times 30$ kgkm	Trasporto del trabattello dall'azienda che fa la costruzione al cantiere: 30km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $0,20338 \times (1 / 30000) \times t / (0,016 + 0,01 + 0,002) \times (s_1 + s_2 + s_3) \times \text{Nmod} \times ($	Trasporto elevatore: 100km

$N_{mod+1})/2*3/3600)*100$ tkm	
--------------------------------	--

Tabella 6-51: trasporti del processo Messa in opera dell'intonaco di terra

Non sono considerate emissioni nel corso del processo Messa in opera dell'intonaco di terra, che di fatto vede coinvolte le sole strumentazioni atte alla posa, poiché esse sono già state considerate nella produzione degli strati dell'intonaco.

6.2.5 Uso dell'intonaco

Il processo di uso dell'intonaco prende in considerazione le manutenzioni che esso subisce durante il suo ciclo di vita. Si suppone di dover condurre 2 manutenzioni differenziate per il 3° strato (il più superficiale ed esposto agli agenti atmosferici che lo usurano, con conseguente dispersione di particolato in aria e in acqua), e il 2° strato, intermedio, che viene intaccato nel corso delle lavorazioni sullo strato più esterno.

MANUTENZIONE 3° STRATO:

- ogni 10 anni (a partire dal 10° anno): chiusura delle crepe superficiali (spessore identificato dal parametro m distribuito in superficie sul totale del 3° strato)
- ogni 10 anni (a partire dal 20° anno): asportazione totale del 3° strato.

Si utilizza la stessa miscela e quindi lo stesso processo di produzione del 3° strato andando a variare le quantità.

MANUTENZIONE 2°STRATO:

ogni 20 anni (a partire dal 20° anno): rifacimento di uno spessore (pari al parametro n distribuito in superficie) che viene logorato a causa dell'asportazione del 3° strato.

I parametri m ed n permettono di variare l'entità della manutenzione, magari in funzione del tipo di materiale utilizzato per fare l'intonaco (più o meno resistente alle intemperie).

La riassume la ciclicità delle manutenzioni. Ne risulta che nel ciclo di vita dell'edificio, ipotizzato di 100 anni, sarà sostituito per 5 volte lo spessore m (andato in aria e acqua a causa degli agenti atmosferici) e per 4 volte lo spessore n (intaccato nella rimozione totale dello strato più superficiale).

anno	3°strato	2°strato
10	m	0
20	100%	n
30	m	0
40	100%	n
50	m	0
60	100%	n
70	m	0
80	100%	n
90	m	0
100	Fine vita edificio	

Tabella 6-52: cicli di manutenzione previsti in fase d'uso dell'intonaco

Il materiale asportato è condotto al fine vita e valutato nel processo di fine vita. Sono invece inseriti nel processo di uso gli strumenti (trabattello ed elevatore) utilizzati nell'asportazione (parametrizzati come indicato nel par. 6.2.3.6).

Le emissioni relative al processo di produzione della malta per il rifacimento degli strati sono considerate all'interno dei processi di produzione dei singoli strati.

Si hanno invece delle emissioni dirette legate alla seguente ipotesi: in ognuna delle 9 manutenzioni (m e totale) lo spessore m del 3° strato viene emesso in aria e in acqua a causa degli agenti atmosferici. Più precisamente il 50% delle polveri totali emesse va in aria e il 50% delle polveri totali emesse va in acqua.

si suppone che le dimensioni delle polveri si distribuiscano in ugual misura nelle tre tipologie standard in aria.

Nome	Unità Funzionale	note
Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato)	Nord*L m2	Intonaco composto da tre strati: -l'interno di 0.016m -l'intermedio di 0.01m -l'esterno di 0.002m Spessore totale: 0.016+0.01+0.002=0.028m Peso totale: 31.236+18.387+3.67+0.42=53.713kg Durata dell'intonaco: 100 anni manutenzione del terzo strato: ogni 10 anni manutenzione del secondo strato ogni 20 anni tempo necessario per l'applicazione dei 3 strati per m2: Tord Non sono state considerate le polveri che si generano durante l'asportazione del 3° strato (considerate nel processo di fine vita) e dello spessore n del 2° strato

Tabella 6-53: Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato)

Processi e impianti	note
2° strato dell'intonaco di terra con parametri $(1-0,005)^*(1-0,005)^*n*(100/20-1)*L*Nord$ m3	manutenzione del 2° strato: ogni 20 anni manutenzione di uno spessore n eliminato durante l'asportazione del terzo strato a partire dal ventesimo anno di vita escluso il centesimo: 100/20-1
Trabattello (piedi e asse) $L/(10*240*8)*(Tord/2,5*L)*(Nord-1)*(100/20-1)$ m2	Piedi e asse del trabattello allocati per la manutenzione del 2° strato
Trabattello (modulo per 1 ordine) $L*(Nord-1)/(10*240*8)*(Tord/2,5*L)*(Nord-1)*(100/20-1)$ m2	Modulo del trabattello allocato per la manutenzione del 2° strato
Elevatore $1/30000*t*Nmod*(Nmod+1)/2/3600*(100/20-1)$ p	Elevatore allocato per la manutenzione del 2° strato
3° strato dell'intonaco di terra con parametri $((1-0,0002)^*(1-0,0002)^*m*100/20+(1-0,0002)^*(1-0,0002)^*(s3-0,0002/1*s3)*(100/20-1))*L*Nord$ m3	manutenzione del 3° strato ogni 20 anni manutenzione di uno spessore m a partire dal decimo anno di vita: 100/20 ogni 20 anni manutenzione del 100%

	a partire dal ventesimo anno di vita fino al novantesimo: 100/20-1
Trabattello (piedi e asse) $L/(10*240*8)*(Tord/2,5*L)*(Nord-1)*(100/20+100/20-1)$ m2	Piedi e asse del trabattello allocati per la manutenzione del terzo strato
Trabattello (modulo per 1 ordine) $L*(Nord-1)/(10*240*8)*(Tord/2,5*L)*(Nord-1)*(100/20+100/20-1)$ m2	Modulo del trabattello allocato per la manutenzione del terzo strato
Elevatore $1/30000*t*Nmod*(Nmod+1)/2/3600*(100/20+100/20-1)$ p	Elevatore allocato per le manutenzioni del 3° strato. Le manutenzioni totali sono: (100/20+100/20-1)
Trabattello (piedi e asse) $L/(10*240*8)*(Tord/2,5*L)*(Nord-1)*(100/20-1)$ m2	Piedi e asse del trabattello per effettuare la rimozione del 3° strato e parte del 2° strato.
Trabattello (modulo per 1 ordine) $L*(Nord-1)/(10*240*8)*(Tord/2,5*L)*(Nord-1)*(100/20-1)$ m2	Modulo del trabattello allocato per l'asportazione del 3° strato e parte del 2° strato.
Elevatore $1/30000*t*Nmod*(Nmod+1)/2/3600*(100/20-1)$ p	Elevatore allocato per l'asportazione del 3° strato e parte del 2° strato.

Tabella 6-54: processi e impianti del processo Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato)

Energia	note
Electricity, low voltage, at grid/IT U $20*t*Nmod*(Nmod+1)/2/3600*(100/20-1)$ kWh	Energia per l'elevazione dei materiali del 2° strato allocata sul numero di manutenzioni nel corso dei 100 anni: (100/20-1)
Electricity, low voltage, at grid/IT U $20*t*Nmod*(Nmod+1)/2/3600*(100/20+100/20-1)$ kWh	Energia per l'elevazione dei materiali del 3° strato allocata sul numero di manutenzioni nel corso dei 100 anni: (100/20+100/20-1)
Electricity, low voltage, at grid/IT U $20*t*Nmod*(Nmod+1)/2/3600*(100/20-1)$ kWh	Energia usata dall'elevatore che viene utilizzato per portare a terra i materiali del 3° strato che vengono asportati, allocata sul numero di asportazioni nel corso dei 100 anni: (100/20-1)

Tabella 6-55: energie del processo Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato)

Trasporti	note
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $(31,244*L/(10*240*8)*(Tord/2,5*L)*(Nord-1)+53,858*L*(Nord-1)/(10*240*8)*(Tord/2,5*L)*(Nord-1))*(100/20-1)*30$ kgkm	Trasporto del trabattello per la manutenzione del 2° strato dall'azienda che fa la costruzione al cantiere: 30km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $0,20338*(1/30000*t*Nmod*(Nmod+1)/2/3600*(100/20-1)*30$ tkm	Trasporto elevatore per la manutenzione del 2° strato: 30km

Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $(53,858 * L * (Nord-1) / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord-1) + 31,244 * L / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord-1)) * (100 / 20 + 100 / 20 - 1) * 30$	Trasporto del trabattello per la manutenzione del 3° strato dall'azienda che fa la costruzione al cantiere: 30km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $0,20338 * (1 / 30000 * t * Nmod * (Nmod + 1) / 2 / 3600) * (100 / 20 + 100 / 20 - 1) * 30$ tkm	Trasporto dell' elevatore per la manutenzione del 3° strato dall'azienda che fa la costruzione al cantiere: 30km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $(53,858 * L * (Nord-1) / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord-1) + 31,244 * L / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord-1)) * (100 / 20 - 1) * 30$	Trasporto del trabattello per l'asportazione del 3° strato dall'azienda che fa la costruzione al cantiere: 30km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $0,20338 * (1 / 30000 * t * Nord * (Nord + 1) / 2 / 3600) * (100 / 20 + 100 / 20 - 1) * 30$	Trasporto dell' elevatore per l'asportazione del 3° strato dall'azienda che fa la costruzione al cantiere: 30km

Tabella 6-56: trasporti del processo Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato)

Emissioni in aria	note
Particulates, > 10 um $1/3 * 0,5 * m * (1 - 0,0002) * (1 - 0,0002) * L * Nord * (100 / 20 + 100 / 20 - 1) * ds3$ kg	in ognuna delle 9 manutenzioni (m e totale) lo spessore m del 3° strato viene emesso in aria e in acqua a causa degli agenti atmosferici. Più precisamente il 50% delle polveri totali emesse va in aria e il 50% delle polveri totali emesse va in acqua. si suppone che le dimensioni delle polveri si distribuiscano in ugual misura nelle tre tipologie standard in aria.
Particulates, > 2.5 um, and < 10um $1/3 * 0,5 * m * (1 - 0,0002) * (1 - 0,0002) * L * Nord * (100 / 20 + 100 / 20 - 1) * ds3$ kg	
Particulates, < 2.5 um $1/3 * 0,5 * m * (1 - 0,0002) * (1 - 0,0002) * L * Nord * (100 / 20 + 100 / 20 - 1) * ds3$ kg	
Emissioni in acqua	
Solved solids $0,5 * m * (1 - 0,0002) * (1 - 0,0002) * L * Nord * (100 / 20 + 100 / 20 - 1) * ds3$ kg	il 50% delle polveri totali emesse va in acqua.

Tabella 6-57: emissioni del processo Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato)

6.2.6 Fine vita

Il processo di fine vita considera sia il fine vita dell'intonaco al 100° anno, sia il fine vita dei materiali che vengono asportati in fase di manutenzione. Per dismettere l'intonaco sono necessari il trabattello e l'elevatore, il cui uso è stato considerato nel processo Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato).

Lo scenario di fine vita immaginato prevede il recupero del materiale (paglia+argilla+sabbia) come riempimento nel recupero di una cava, ed è stato ricavato a partire dal processo Disposal, building.

cement-fibre slab, to final disposal/CH U presente in bancadati Ecoinvent, riportato nel paragrafo 6.2.6.1

Nome	Unità Funzionale	note
Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato)	Nord*L m2	Fine vita di un intonaco di area: 2.5*Nord Il fine vita comprende sia quello finale che quello che avviene durante la manutenzione

Tabella 6-58: Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato)

Trattamento rifiuti	note
Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U) $(V1*ds1+V2*ds2+(1-0,0002)*(1-0,0002)*((s3-0,0002/1*s3)-m)*ds3)+Pb$ kg	Fine vita al centesimo anno peso totale di 1m ² dei tre strati di intonaco senza emissioni: $31.236+18.387+0.42+3.67=53.713\text{kg}$ Al centesimo anno il terzo strato ha disperso nell'ambiente uno spessore pari a m e quindi deve essere smaltito lo spessore $(s3-0,0002/1*s3)-m$
Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U) $((s3-0,0002/1*s3)-m)*(1-0,0002)*(1-0,0002)*L*Nord*(100/20-1)*ds3+n*(1-0,0002)*(1-0,0002)*L*Nord*(100/20-1)*ds2$ kg	Per (100/20-1) manutenzioni del terzo strato lo spessore dell'intonaco rimasto $(s3-0,0002/1*s3)-m$ viene asportato e condotto al fine vita. Per effettuare la rimozione è necessario l'uso del trabattello e dell'elevatore (considerati in fase d'uso) (100/20-1): asportazioni di tutto lo strato che devono essere smaltite durante l'uso - 1 strato che viene smaltito nel fine vita Si considerano anche il fine vita di uno spessore n del secondo strato che durante l'asportazione del terzo strato viene rimosso.

Tabella 6-59: trattamento rifiuti del processo Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato)

6.2.6.1 Il fine vita di un intonaco di terra cruda e paglia con recupero di una cava di argilla

Nome	Unità Funzionale	note
disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/kg/CH		Nel processo Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U è stato sostituito il fine vita nell'inceneritore con il recupero di una cava di argilla

Tabella 6-60: Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH

Materiali	note
Diesel, burned in building machine/GLO U 0,0359 MJ	energia per la demolizione

Tabella 6-61: materiali del processo Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH

Trasporti	note
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U 0,01 tkm	Trasporto all'inceneritore

Tabella 6-62: trasporti del processo Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH

Emissioni in aria	note
Particulates, > 10 um high. pop. 0,0000835 kg	Emissioni prodotte dalla dismissione dell'intonaco e dalla sua manipolazione in fase di trattamento di fine vita
Particulates, > 2.5 um, and < 10um high. pop. 0,0000634 kg	
Particulates, < 2.5 um high. pop. 0,0000166 kg	

Tabella 6-63: emissioni del processo Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH

Trattamento rifiuti	note
Recupero di un sito per l'estrazione di argilla 1 kg	I rifiuti vengono conferiti in una ex cava per il suo recupero

Tabella 6-64: trattamenti del processo Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH

6.2.7 Il ciclo di vita dell'intonaco in terra cruda

Il ciclo di vita completo dell'intonaco in terra cruda è costituito dalle fasi di: produzione, messa in opera, uso, fine vita.

Nome	Unità Funzionale	note
Intonaco in terra cruda	L*Nord m2	Il ciclo di vita dell'intonaco in terra cruda terra cruda. spessori strato s1: 0.016m strato s2: 0.01 strato s3: 0.002

Tabella 6-65: Intonaco in terra cruda

Processi e impianti	note
Produzione dell'intonaco di terra L*Nord m2	
Messa in opera dell'intonaco di terra L*Nord m2	
Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato) L*Nord m2	
Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato) L*Nord m2	Contiene il fine vita degli strati rimossi durante la manutenzione e il fine vita dell'intonaco al fine vita totale del manufatto (100° anno)

Tabella 6-66: processi e impianti del processo Intonaco in terra cruda

6.3 ANALISI DEI RISULTATI

6.3.1 Analisi della produzione

Il processo studiato è Produzione dell'intonaco di terra che si trova seguendo il seguente percorso: SimaPro 7.3.2 (ENEA)/Simapro 732/Neri/paolo/Intonaco terra/Processing/Others/Rizzo.

SimaPro 7.3 processes Date: 04/06/2013 Time: 11.46.32
Project Intonaco terra

Process

Category type processing
Process identifier ENEA271419479600146

Type
Process name
Status
Time period Unspecified
Geography Unspecified
Technology Unspecified
Representativeness Unspecified
Multiple output allocation Unspecified
Substitution allocation Unspecified
Cut off rules Unspecified
Capital goods Unspecified
Boundary with nature Unspecified
Infrastructure No
Date 05/03/2013
Record
Generator Rizzo-Neri
Literature references
Collection method
Data treatment
Verification
Comment Intonaco composto da tre strati:

-l'interno di 0.016m

-l'intermedio di 0.01m

-l'esterno di 0.002 m

Spessore totale: $0.016+0.01+0.002=0.028m$

peso totale di 1m2 dei tre strati di intonaco senza emissioni:

$31.236+18.387+0.42+3.67=53.713kg$

Durata dell'intonaco: 100 anni

manutenzione del terzo strato: ogni 10 anni

manutenzione del secondo strato ogni 20 anni

tempo necessario per l'applicazione di uno strato per $2.5*Lm2$:

TordAllocation rules

System description

Products

Produzione dell'intonaco di terra Nord*L m2 100 not defined

Others\Rizzo\Processi definitivi Intonaco composto da tre strati:

-l'interno di 0.016m

-l'intermedio di 0.01m

-l'esterno di 0.002 m

Spessore totale: $0.016+0.01+0.002=0.028m$

peso totale di 1m2 dei tre strati di

intonaco senza emissioni:

$31.236+18.387+0.42+3.67=53.713kg$

Durata dell'intonaco: 100 anni

manutenzione del terzo strato: ogni 10 anni

manutenzione del secondo strato ogni 20 anni

tempo necessario per l'applicazione di uno

strato per $2.5*Lm2$: Tord

Avoided products

Resources

Materials/fuels

Electricity/heat

1° strato dell'intonaco di terra con parametri $(1-0,005)*(1-0,005)*(s1-0,005/1*s1)*L*Nord$ m3 volume di 1 m2 del primo strato: $(1-0,005)*(1-0,005)*(s1-0,005/1*s1)$

Barbottina come legante $(0,22+1*(1-0,8))*L*Nord$ kg peso di 1 m2 di barbottina: $(0,22+1*(1-0,8))$

2° strato dell'intonaco di terra con parametri $(1-0,005)*(1-0,005)*(s2-0,005/1*s2)*L*Nord$ m3 volume di 1 m2 del secondo strato: $(1-0,005)*(1-0,005)*(s2-0,005/1*s2)$

3° strato dell'intonaco di terra con parametri $(1-0,0002)*(1-0,0002)*(s3-0,0002/1*s3)*L*Nord$ m3 volume di 1m2 del terzo strato: $(1-0,0002)*(1-0,0002)*(s3-0,0002/1*s3)$

Emissions to air

Emissions to water

Emissions to soil

Final waste flows

Non material emissions

Social issues

Economic issues

Waste to treatment

Input parameters

m 0,00002 No
spessore del terzo strato che viene impiegato per la manutenzione

n 0,001 No
spessore del secondo strato che viene impiegato per la manutenzione

p 2 No
numero di piani dell'edificio

v 0,5 No
velocità di elevazione dei materiali sul trabattello: m/sec

Tord 0,333 No
tempo necessario per l'applicazione di uno strato per 2.5*1m2: h

h 1 No
altezza di ciascun ordine di intonaco: m

s1 0,016 No
spessore del primo strato: m

s2 0,01 No
spessore del secondo strato: m

s3 0,002 No
spessore del terzo strato: m

L 2,5 No
lunghezza del trabattello e dell'ordine: m

Calculated parameters

Nord $p*3$
numero di ordini di intonaco di area 2.5m2

t h/v
tempo necessario per sollevare i materiali di h: sec

$V1 = (1-0,005) * (1-0,005) * (s1-0,005/1*s1) * L * Nord$
 Volume del primo strato:m3
 $Pb = (0,22+1*(1-0,8)) * L * Nord$
 Peso della barbottina:kg
 $V2 = (1-0,005) * (1-0,005) * (s2-0,005/1*s2) * L * Nord$
 Volume del secondo strato:m3
 $V3 = (1-0,0002) * (1-0,0002) * (s3-0,0002/1*s3) * L * Nord$
 Volume del terzo strato:m3
 Nmod Nord-1
 numero di moduli del trabattello

Database Input parameters

Database Calculated parameters

Project Input parameters

Project Calculated parameters

Tabella 6-67 Il processo Produzione dell'intonaco di terra

Il calcolo viene effettuato per una Unità Funzionale di 1m2 con il Metodo IMPACT 2002
 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10.

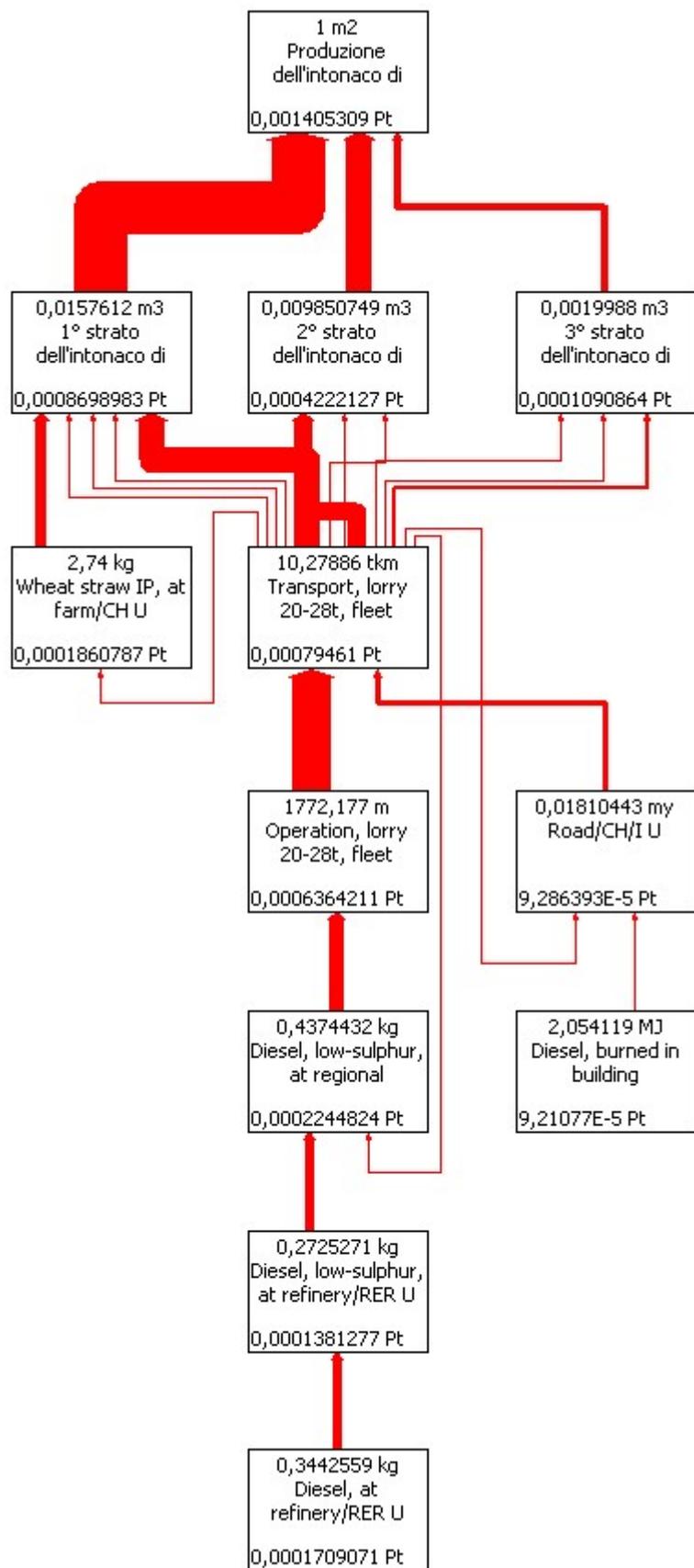


Figura 6-5: Il network secondo IMPACT con un cut-off del 6.6% del processo Produzione dell'intonaco di terra

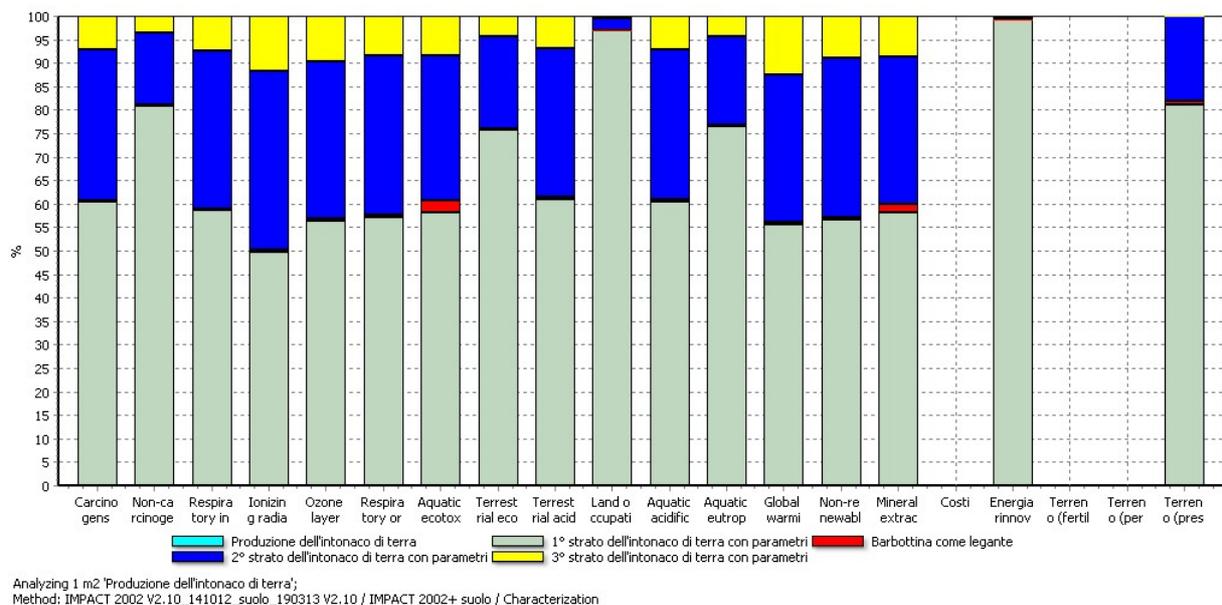


Figura 6-6: Il diagramma della caratterizzazione secondo IMPACT del Processo Produzione dell'intonaco di terra

SimaPro 7.3 Impact assessment Date: 04/06/2013 Time: 11.50.46
Project Intonaco terra

Calculation: Analyze
Results: Impact assessment
Product: 1 m2 Produzione dell'intonaco di terra (of project Intonaco terra)
Method: IMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10 / IMPACT 2002+ suolo
Indicator: Characterization
Unit: %
Skip categories: Never
Exclude infrastructure processes: No
Exclude long-term emissions: No
Sorted on item: Impact category
Sort order: Ascending

Impact category	Unit	Total	Produzione dell'intonaco di terra	1° strato dell'intonaco di terra con parametri	Barbottina come legante	2° strato dell'intonaco di terra con parametri	3° strato dell'intonaco di terra con parametri
Carcinogens	kg C2H3Cl eq	0,01668672	0	0,010078321	6,5882579E-5	0,0053320979	0,001210418
Non-carcinogens	kg C2H3Cl eq	0,048864662	0	0,039501296	9,2139185E-5	0,0074641647	0,0018070621
Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	0,0068332882	0	0,0040029179		1,6074616E-5	0,0023116061
Ionizing radiation	Bq C-14 eq	24,73952	0	12,336623	0,10030493	9,4188771	2,8837151
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	3,6257244E-7	0	2,0439924E-7		1,4789712E-9	1,2185391E-7
Respiratory organics	kg C2H4 eq	0,0019750804	0	0,0011303462		8,2731112E-6	0,00067008726
Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	206,65614	0	120,44059	5,1993335	63,418699	17,597519
Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	143,49962	0	108,85124	0,33412061	28,046062	6,268202

Terrestrial acid/nutri	kg SO2 eq	0,11483929	0	0,070040461	0,00045295219
		0,036498473	0,0078473996		
Land occupation	m2org.arable	1,0764719	0	1,044447	0,00025070202
		0,025111636	0,006662566		
Aquatic acidification	kg SO2 eq	0,016984568	0	0,010288305	6,73036E-5
		0,0054133979	0,001215561		
Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim	0,00042261036	0	0,00032311319	
		1,0049414E-6	8,0501411E-5	1,7990818E-5	
Global warming	kg CO2 eq	2,4051277	0	1,3390871	0,0093133755
		0,75515245	0,30157485		
Non-renewable energy	MJ primary	38,334317	0	21,717589	0,1577665
		12,988007	3,4709549		
Mineral extraction	MJ surplus	0,051957616	0	0,030200098	0,00097702874
		0,016284595	0,0044958945		
Costi p		0	0	0	0
Energia rinnovabile	MJ	47,851762	0	47,496441	0,0023150804
		0,20879298	0,1442136		
Terreno (fertilità)	m2org.arable	0	0	0	0
Terreno (permeabilità)	p	0	0	0	0
Terreno (pressione idrostatica)	N	4,2585359	0	3,4553608	
		0,029051011	0,77388217	0,00024194657	

Tabella 6-68 La caratterizzazione secondo IMPACT del Processo Produzione dell'intonaco con parametri

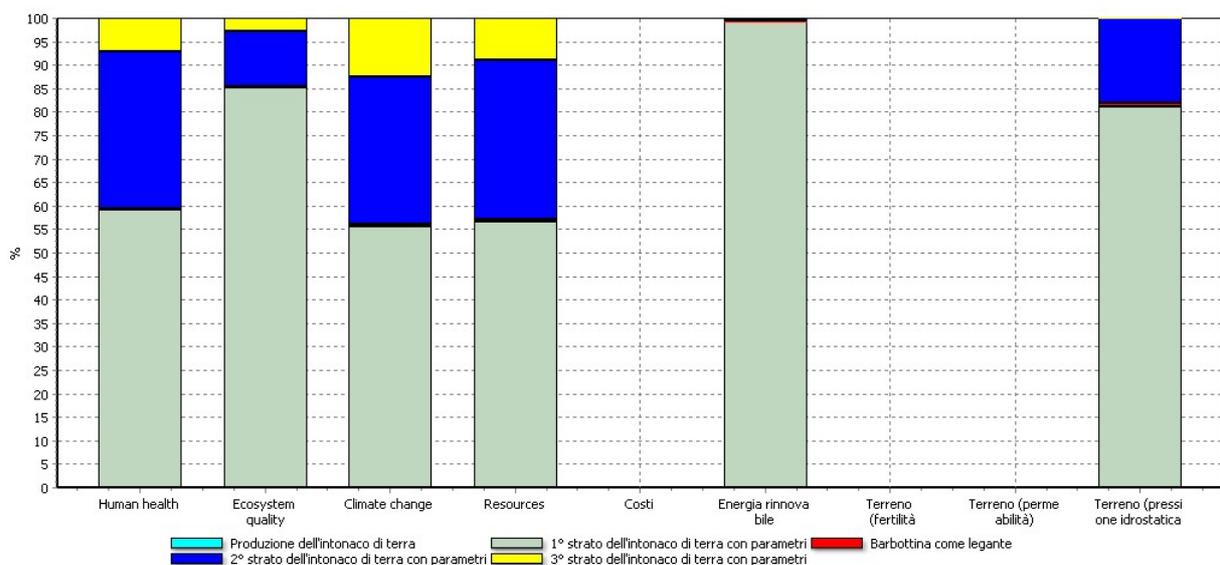
Dall'analisi dei risultati della caratterizzazione si nota che:

- in **Carcinogens** il danno vale 0.01668672 kg C2H3Cl eq dovuto per il 65.6% a 3.094526E-6kg di *Hydrocarbons aromatic* in aria (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 61.49% e, in particolare, per il 44.85% in Steel, electric, un-and low-alloyed, at plant/RER usato principalmente nei trasporti), per il 13.6% a 1.929322E-5 kg di *Hydrocarbons aromatic* in acqua (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 56.34% e, in particolare, per il 98.69% in Discharge, produced water, onshore/GLO usato principalmente nei trasporti) e per il 7.46% a 3.519325E-7 kg di *PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons* in aria (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 64.14% e, in particolare, per il 44.64% in Diesel, burned in building machine/GLO usato per l'estrazione).
- In **Non-carcinogens** il danno vale 0.04886466 kg C2H3Cl eq dovuto per il 46.04% a 1.25707E-6 kg di *Cadmium* nel suolo (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 99.96% e, in particolare, per il 99.65% in Wheat straw IP, at farm/CH), per il 22.64% a 1.053438E-5kg di *Zinc* nel suolo (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 72.75% e, in particolare, per il 46.17% in Operation, lorry 20-28t, fleet average/CH), per l'11.37% a 6.390101E-13 kg di *Dioxin, 2, 3, 7, 8 tetrachlorodibenzo-p* in aria (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 55.38% e, in particolare, per il 60.27% in Sinter, iron, at plant/GLO usato principalmente nei trasporti) e per l'8.54% a 2.202323E-6 kg di *Arsenic, ion* in acqua (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 57.85% e, in particolare, per il 35.97% in Disposal, dust, unalloyed EAF steel, 15.4% water, to residual material landfill/CH usato principalmente nei trasporti).
- In **Respiratory inorganics** il danno vale 0.006833288 kg PM2.5 eq dovuto per il 38.57% a 0.002635752 kg di *Particulates, <2.5µm* in aria (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 58.72% e, in particolare, per il 64.91% come emissioni dirette del processo 1° strato dell'intonaco di terra con parametri), per il 35.18% a 0.01888446 kg di *Nitrogen oxides* in aria (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 58.14% e, in particolare, per il 73.52% in Operation, lorry 20-28t, fleet average/CH) e per il 16.71% a 0.002131514 kg di *Particulates, >2.5µm, and <10µm* in aria (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 57.45% e, in particolare, per l'82.04% come emissioni dirette del processo 1° strato dell'intonaco di terra con parametri).

- In **Ionizing radiation** il danno vale 24.73952 Bq C-14 eq dovuto per il 63.37% a 137169.6 Bq di *Radon-222* in aria (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 49.81% e, in particolare, per il 97.56% in Tailings, uranium milling/GLO richiamata dalla componente nucleare del mix elettrico europeo), per il 32.28% a 7.986746 Bq di *Carbon-14* in aria (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 49.55% e, in particolare, per il 77.17% in Nuclear spent fuel, in reprocessing, at plant/RER).
- In **Ozone layer depletion** il danno vale 3.625724E-7 kg CFC-11 eq dovuto per il 94.78% a 2.863569E-8 kg di *Methane, bromotrifluoro-,Halon 1301* in aria (in 1° strato dell'intonaco di terra per il 55.79% e, in particolare, per il 36.22% in Crude oil, at production onshore/RAF richiamata dai trasporti).
- In **Respiratory organics** il danno vale 0.00197508 kg C2H4 eq dovuto per il 91.98% a 0.003023154 kg di *NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin* in aria (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 57.29% e, in particolare, per il 30.6% in Natural gas, vented/GLO richiamata dai trasporti).
- In **Aquatic ecotoxicity** il danno vale 206.6561 kg TEG water dovuto per il 42.3% a 0.000'4928714 kg di *Aluminium* in acqua (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 63.21% e, in particolare, per il 93.11% in Tap water, at user/RER richiamata dalla componente nucleare del mix elettrico europeo), per il 24.53% a 1.450087E-5 kg di *Aluminium* nel suolo (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 57.4% e, in particolare, per il 98.91% in Disposal, drilling waste, 71.5% water, to landfarming/CH nei trasporti) e per l'8.1% a 0.0001207743 kg di *Zinc, ion* in acqua (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 57.48% e, in particolare, per il 72.73% in Operation, lorry 20-28t, fleet average/CH).
- In **Terrestrial ecotoxicity** il danno vale 143.9996 kg TEG soil dovuto per il 43.4% a *Zinc* nel suolo, per il 36.08% a 2.30455E-5kg di *Chromium* nel suolo (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 99.84% e, in particolare, per il 99.63% in Wheat straw IP, at farm/CH) e per il 7.66% a *Aluminium* nel suolo.
- In **Terrestrial acid/nutri** il danno vale 0.1148393 kg SO2 eq dovuto per il 90.25% a *Nitrogen oxides* in aria e per il 7.44% a 0.0005709991 kg di *Ammonia* in aria (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 96.47% e, in particolare, per l'86.53% in Wheat straw IP, at farm/CH).
- In **Land occupation** il danno vale 1.076472 m2org.arable dovuto per il 1588.68% a 0.5403135 m2 di *Transformation to arable, non -irrigated* (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 99.96% e, in particolare, per il 97.36% in Wheat straw IP, at farm/CH), per il 42.06% a 0.4291189 m2a di *Occupation, arable, non-irrigated* (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 99.97% e, in particolare, per il 97.37% in Wheat straw IP, at farm/CH). A tali danni si contrappongono per il -1128.91% a 0.3837759 m2 di *Transformation from arable, non -irrigated* (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il -99.94% e, in particolare, per il -97.34% Wheat straw IP, at farm/CH) e per il -408.27% a 0.1565513 m2 di *Transformation from pasture and meadow, intensive* (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il -99.999% e, in particolare, per -97.41% in Wheat straw IP, at farm/CH).
- In **Aquatic acidification** il danno vale 0.01698457 kg SO2 eq dovuto per il 77.83% a *Nitrogen oxides* in aria e per il 15.67% a 0.002661177 kg di *Sulfur dioxide* in aria (in 1° strato dell'intonaco di terra per il 58.27% e, in particolare, per 30.24% in Natural gas, sour, burned in production flare/MJ/GLO nei trasporti).
- In **Aquatic eutrophication** il danno vale 0.0004226104 kg PO4P-lim dovuto per il 63.71% a 0.00081344 kg di *Phosphate* in acqua (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 83.87% e, in particolare, per 45.65% in Phosphoric acid, fertilizer grade, 70% in H2O, at plant/MA nella coltivazione della paglia) e per il 30.63% a 0.006378987 kg di *COD, Chemical Oxygen Demand* in acqua (in 1° strato dell'intonaco di terra con

parametri per il 57.86% e, in particolare, per 77.95% in Crude oil, at production onshore/RU richiamata dai trasporti).

- In **Global warming** il danno vale 2.405128 kg CO2 eq dovuto per il 95.04% a 2.285792 kg di *Carbon dioxide, fossil* in aria (in 1° strato dell'intonaco di terra per il 54.37% e, in particolare, per 62.12% in Operation, lorry 20-28t, fleet average/CH).
- In **Non-renewable energy** il danno vale 38.33432 MJ primary dovuto per il 79.26% a 0.6633955 kg di *Oil crude, in ground* in raw (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 56.6% e, in particolare, per 26.48% in Crude oil, at production onshore/RAF nei trasporti) e per il 9.19% a 0.8744576 m3 di *Gas, natural, in ground* in raw (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 61.16% e, in particolare, per il 26.71% in Natural gas, sweet, burned in production flare/MJ/GLO nella produzione del gasolio per i trasporti).
- In **Mineral extraction** il danno vale 0.05195762 MJ surplus dovuto per il 30.79% a 0.007748091 kg di *Water, well, in ground* in raw (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 62.74% e, in particolare, per 93.28% in Tap water, at user/RER usata direttamente nell'impasto), per il 28,14% a 0.0008960199 kg di *Nickel, 1.98% in silicates, 1.04% in crude ore, in ground* in raw (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 60.71% e, in particolare, per il 99.96% in Ferronickel, 25% Ni, at plant/GLO nell'acciaio degli automezzi usati nel trasporto) e per il 18,31% a 0.009489009 m3 di *Water, cooling, unspecified natural origin/m3* in raw (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 59.11% e, in particolare, per il 27.68% in Heavy fuel oil, burned in power plant/IT nell'energia elettrica usata per la betoniera e per il vaglio).
- L'**Energia rinnovabile** usata dal processo vale 47.85176 MJ per il 98.92% dovuta a 47.33656 MJ di *Energy, gross calorific value, in biomass* (in 1° strato dell'intonaco di terra con parametri per il 99.82% e, in particolare, per 99.56% in Wheat straw IP, at farm/CH usata direttamente nell'impasto).
- In **Terreno (pressione idrostatica)** la spinta dell'acqua contro l'argine della cava vale 4.258536 N ed è dovuta a 32.26348 kg di *Clay, unspecified, in ground* per il 100% (in 1° strato dell'intonaco di terra per l'81.14% e, in particolare, per 99.999% in Clay, at mine/CH usata direttamente nell'impasto).



Analyzing 1 m2 'Produzione dell'intonaco di terra';
Method: IMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10 / IMPACT 2002+ suolo / Damage assessment

Figura 6-7: Il diagramma del damage assessment secondo IMPACT del Processo Produzione dell'intonaco di terra

SimaPro 7.3 Impact assessment Date: 04/06/2013 Time: 11.51.00

Project Intonaco terra

Calculation: Analyze

Results: Impact assessment

Product: 1 m2 Produzione dell'intonaco di terra (of project Intonaco terra)

Method: IMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10 / IMPACT 2002+ suolo

Indicator: Damage assessment

Unit: %

Skip categories: Never

Exclude infrastructure processes: No

Exclude long-term emissions: No

Per impact category: Yes

Sorted on item: Impact category

Sort order: Ascending

Impact category	Unit	Total	Produzione dell'intonaco di terra	1° strato	2° strato	3° strato
dell'intonaco di terra con parametri						
dell'intonaco di terra con parametri						
dell'intonaco di terra con parametri						
Carcinogens DALY		4,6722816E-8	0	2,82193E-8	1,8447122E-10	
		1,4929874E-8	3,3891705E-9			
Non-carcinogens DALY		1,3682105E-7	0	1,1060363E-7	2,5798972E-10	
		2,0899661E-8	5,0597738E-9			
Respiratory inorganics DALY		4,7833017E-6	0	2,8020426E-6		
		1,1252231E-8	1,6181243E-6	3,5188264E-7		
Ionizing radiation DALY		5,1952992E-9	0	2,5906908E-9		
		2,1064034E-11	1,9779642E-9	6,0558018E-10		
Ozone layer depletion DALY		3,8070106E-10	0	2,146192E-10		
		1,5529198E-12	1,279466E-10	3,6582337E-11		
Respiratory organics DALY		4,2069213E-9	0	2,4076374E-9		
		1,7621727E-11	1,4272859E-9	3,5437634E-10		
Aquatic ecotoxicity PDF*m2*yr		0,010374138	0	0,0060461174		
		0,00026100654	0,0031836187	0,00088339546		
Terrestrial ecotoxicity PDF*m2*yr		1,135082	0	0,86101331	0,002642894	
		0,22184435	0,049581478			
Terrestrial acid/nutri PDF*m2*yr		0,11943286	0	0,072842079	0,00047107027	
		0,037958412	0,0081612956			
Land occupation PDF*m2*yr		1,1733544	0	1,1384472	0,0002732652	
		0,027371683	0,0072621969			
Aquatic acidification		-	-	-	-	-
Aquatic eutrophication		-	-	-	-	-
Global warming kg CO2 eq		2,4051277	0	1,3390871	0,0093133755	
		0,75515245	0,30157485			
Non-renewable energy MJ primary		38,334317	0	21,717589	0,1577665	
		12,988007	3,4709549			
Mineral extraction MJ primary		0,051957616	0	0,030200098	0,00097702874	
		0,016284595	0,0044958945			
Costi p		0	0	0	0	0
Energia rinnovabile MJ		47,851762	0	47,496441	0,0023150804	
		0,20879298	0,1442136			
Terreno (fertilità) PDF*m2*yr		0	0	0	0	0
Terreno (permeabilità) DALY		0	0	0	0	0
Terreno (pressione idrostatica) DALY		2,1356742E-7	0	1,7328784E-7		
		1,4569208E-9	3,8810526E-8	1,2133725E-11		

Tabella 6-69 Il damage assessment secondo IMPACT del processo Produzione dell'intonaco di terra

Dall'analisi dei risultati del damage assessment si nota che:

- in **Human Health** il danno vale $4.976629E-6$ DALY dovuto per il 37.07% a *Particulates, <2.5 μ m in aria*, per il 33.81% a *Nitrogen oxides in aria*, per il 16.06% a *Particulates, >2.5 μ m, and <10 μ m, in aria*. Il processo che produce il danno massimo è 1° strato dell'intonaco di terra con parametri ($2.946078E-6$ DALY per il 59.2%). La categoria di impatto che produce il danno massimo è **Respiratory inorganics** ($4.783302E-6$ DALY, per il 96.12%).
- In **Ecosystem quality** il danno vale 2.438243 PDF*m2*yr dovuto per il 764.52% a *Transformation, to arable, non-irrigated*, per il 20.24% a *Occupation, arable, non irrigated*, per il 20.24% a *Zinc nel suolo*, per il 16.82% a *Chromium nel suolo*. Il processo che produce il danno massimo è 1° strato dell'intonaco di terra con parametri (2.078349 PDF*m2*yr per il 85.24%). La categoria di impatto che produce il danno massimo è **Land occupation** (1.173354 PDF*m2*yr, per il 48.12%).
- In **Climate change** il danno vale 2.405128 kg CO2 eq. Il processo che produce il danno massimo è 1° strato dell'intonaco di terra con parametri (1.339087 kg CO2 eq per il 55.68%).
- In **Resources** il danno vale 38.38628 MJ primary dovuto per il 79.15% a *Oil, crude, in ground*, per il 9.18% a *Gas, natural, in ground*. Il processo che produce il danno massimo è 1° strato dell'intonaco di terra con parametri (21.74779 MJ primary per il 56.66%). La categoria di impatto che produce il danno massimo è **Non-renewable energy** (38.33432 MJ primary, per il 99.86%).
- L' **Energia rinnovabile** usata è 47.85176 MJ e il processo che ne usa di più è 1° strato dell'intonaco di terra con parametri (47.49644 MJ per il 99.26%).
- In **Terreno (pressione idrostatica)** il danno è di $2.135674E-7$ DALY e il processo che produce il danno massimo è 1° strato dell'intonaco di terra con parametri ($1.732878E-7$ DALY per l'81.14%).

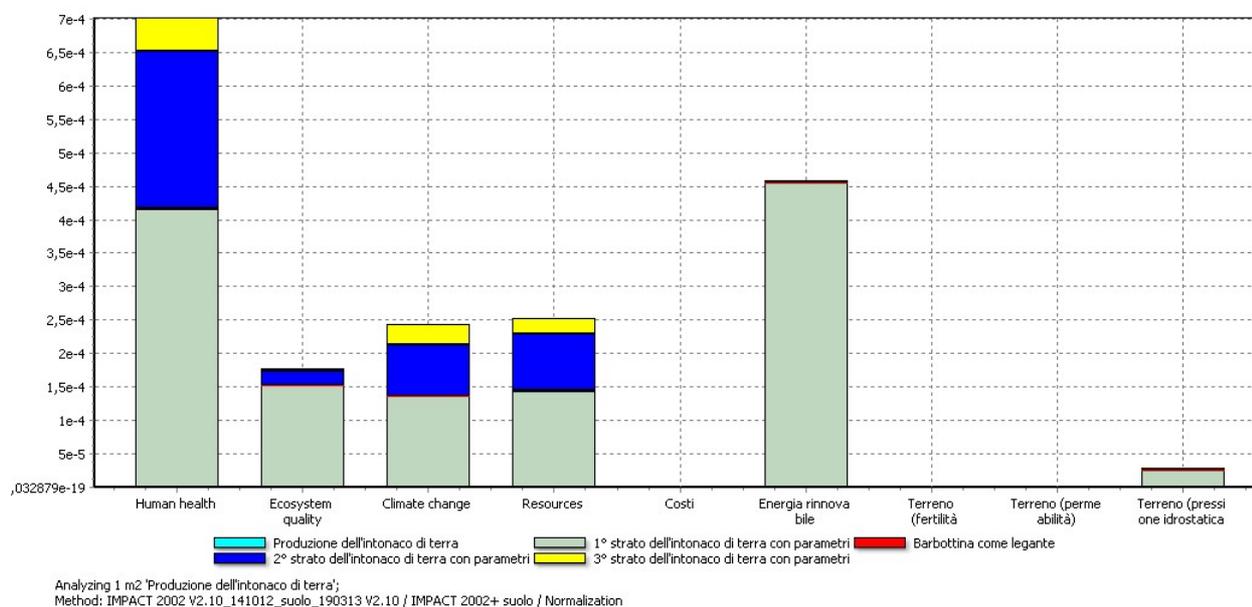


Figura 6-8: La normalizzazione secondo IMPACT del processo Produzione dell'intonaco di terra

Simapro 7.3 Impact assessment Date: 04/06/2013 Time: 11.51.13
Project Intonaco terra

Calculation: Analyze
Results: Impact assessment
Product: 1 m2 Produzione dell'intonaco di terra (of project Intonaco terra)
Method: IMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10 / IMPACT 2002+ suolo

Indicator: Normalization
 Skip categories: Never
 Exclude infrastructure processes: No
 Exclude long-term emissions: No
 Per impact category: Yes
 Sorted on item: Impact category
 Sort order: Ascending

Impact category	Unit	Total Produzione dell'intonaco di terra con parametri	1° strato Barbottina come legante	2° strato	3° strato dell'intonaco di terra con parametri
Carcinogens		6,587917E-6	0	3,9789213E-6	2,6010442E-8
		2,1051122E-6		4,7787304E-7	
Non-carcinogens		1,9291769E-5	0	1,5595112E-5	3,637655E-8
		2,9468522E-6		7,1342811E-7	
Respiratory inorganics		0,00067444554	0	0,000395088	1,5865646E-6
		0,00022815552		4,9615453E-5	
Ionizing radiation		7,3253718E-7	0	3,652874E-7	2,9700289E-9
		2,7889295E-7		8,5386805E-8	
Ozone layer depletion		5,367885E-8	0	3,0261307E-8	2,1896169E-10
		1,8040471E-8		5,1581096E-9	
Respiratory organics		5,931759E-7	0	3,3947687E-7	2,4846635E-9
		2,0124731E-7		4,9967064E-8	
Aquatic ecotoxicity		7,5731208E-7	0	4,4136657E-7	
		1,9053478E-8		2,3240416E-7	6,4487868E-8
Terrestrial ecotoxicity		8,2860988E-5	0	6,2853971E-5	
		1,9293126E-7		1,6194638E-5	3,6194479E-6
Terrestrial acid/nutri		8,7185986E-6	0	5,3174718E-6	
		3,438813E-8	2,7709641E-6	5,9577458E-7	
Land occupation		8,5654868E-5	0	8,3106646E-5	1,994836E-8
		1,9981329E-6		5,3014037E-7	
Aquatic acidification		-	-	-	-
Aquatic eutrophication		-	-	-	-
Global warming		0,0002429179	0	0,00013524779	9,4065092E-7
		7,6270397E-5		3,045906E-5	
Non-renewable energy		0,00025223981	0	0,00014290174	
		1,0381036E-6		8,5461084E-5	2,2838883E-5
Mineral extraction		3,4188112E-7	0	1,9871664E-7	
		6,4288491E-9		1,0715264E-7	2,9582986E-8
Costi	0	0	0	0	0
Energia rinnovabile		0,00045835021	0	0,00045494675	2,21751E-
		1,9999328E-6		1,3813563E-6	
Terreno (fertilità)		0	0	0	0
Terreno (permeabilità)		0	0	0	0
Terreno (pressione idrostatica)		3,0113007E-5	0	2,4433586E-5	
		2,0542583E-7		5,4722842E-6	1,7108553E-9

Tabella 6-70 La normalizzazione secondo IMPACT del processo Produzione dell'intonaco di terra

Dall'analisi dei risultati della normalizzazione si nota che:

- in **Human Health** il danno su tutta le comunità europea è 0.0007017046 volte quello prodotto sulla salute dell'uomo dalle attività antropiche in Europa in un anno, riferito al singolo cittadino europeo.
- In **Ecosystem quality** il danno sulla biodiversità europea è 0.00017779918 volte quello prodotto dalle attività antropiche in Europa in un anno, riferito al singolo cittadino europeo.
- In **Climate change** il danno sull'effetto serra è 0.0002429179 volte quello prodotto dalle attività antropiche in Europa in un anno, riferito al singolo cittadino europeo.

- In **Resources** il danno sull'esaurimento delle risorse mondiali è 0.0002525817 volte quello prodotto dalle attività antropiche in Europa in un anno, riferito al singolo cittadino europeo.
- L'**Energia rinnovabile** usata è 0.0004583502 volte l'energia consumata per persona in Europa in un anno.
- In **Terreno (pressione idrostatica)** il danno è 3.011301E-5 volte quello prodotto sulla salute dell'uomo dalle attività antropiche in Europa in un anno, riferito al singolo cittadino europeo.

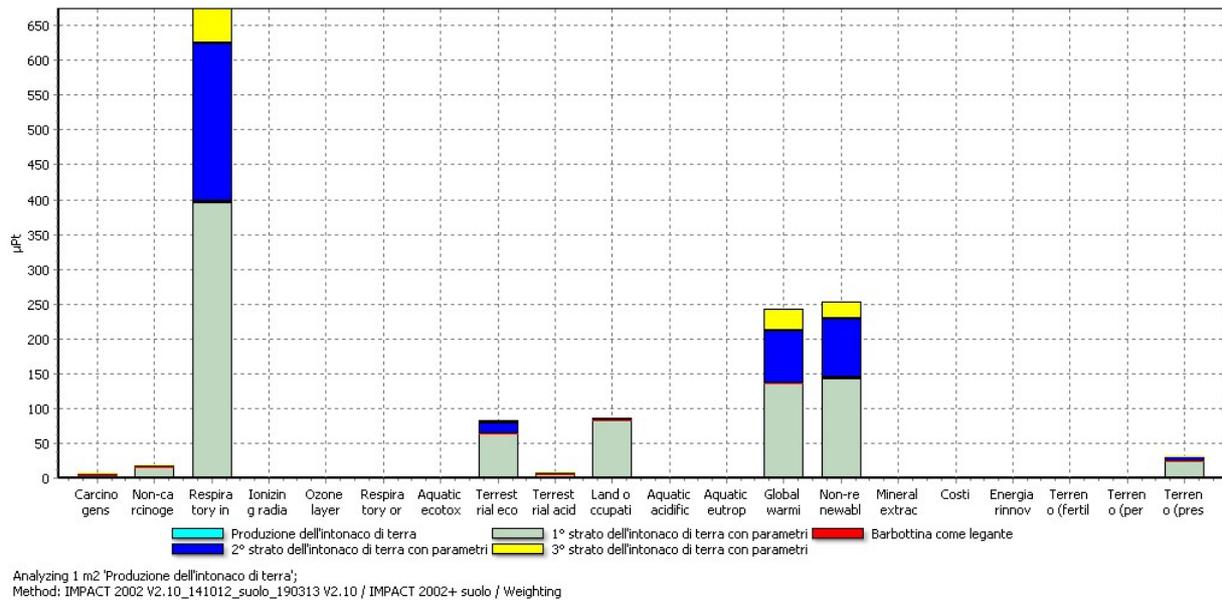


Figura 6-9: Il diagramma della valutazione per impact category secondo IMPACT del processo Produzione dell'intonaco di terra

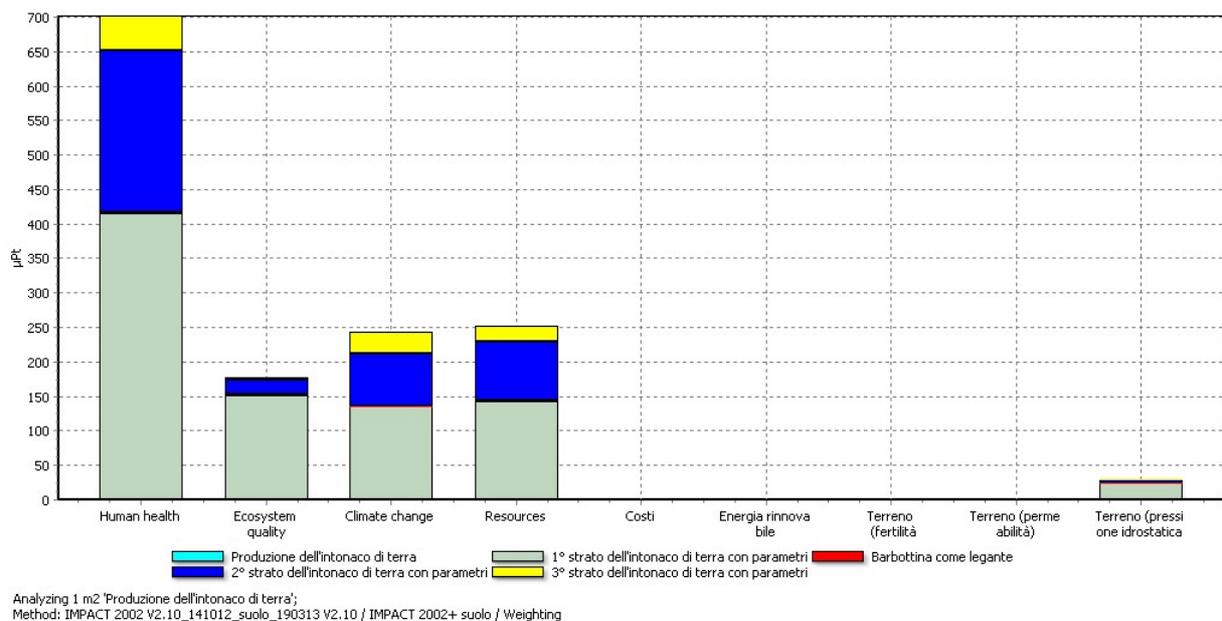


Figura 6-10: Il diagramma della valutazione per damage category secondo IMPACT del processo Produzione dell'intonaco di terra

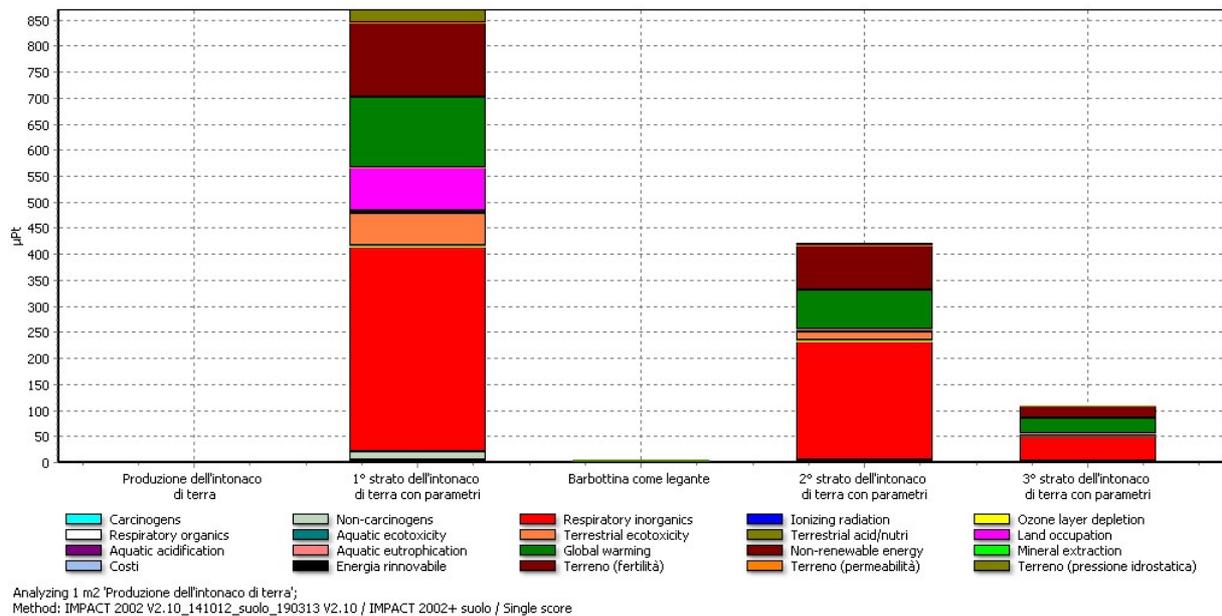


Figura 6-11: Il diagramma della valutazione per single score secondo IMPACT del processo Produzione dell'intonaco di terra

SimaPro 7.3 Impact assessment Date: 04/06/2013 Time: 11.51.23
Project Intonaco terra

Calculation: Analyze
Results: Impact assessment
Product: 1 m2 Produzione dell'intonaco di terra (of project Intonaco terra)
Method: IMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10 / IMPACT 2002+ suolo
Indicator: Weighting
Unit: µPt
Skip categories: Never
Exclude infrastructure processes: No
Exclude long-term emissions: No
Per impact category: Yes
Sorted on item: Impact category
Sort order: Ascending

Impact category	Unit	Total Produzione dell'intonaco di terra	1° strato dell'intonaco di terra con parametri	Barbottina come legante	2° strato dell'intonaco di terra con parametri	3° strato dell'intonaco di terra con parametri
Total Pt		0,001405309	0	0,00086989835	4,1115557E-6	0,00042221273
		0,00010908635				
Carcinogens	Pt	6,587917E-6	0	3,9789213E-6	2,6010442E-8	
		2,1051122E-6		4,7787304E-7		
Non-carcinogens	Pt	1,9291769E-5	0	1,5595112E-5	3,637655E-8	
		2,9468522E-6		7,1342811E-7		
Respiratory inorganics	Pt	0,00067444554	0	0,000395088	1,5865646E-6	
		0,00022815552		4,9615453E-5		
Ionizing radiation	Pt	7,3253718E-7	0	3,652874E-7	2,9700289E-9	
		2,7889295E-7		8,5386805E-8		
Ozone layer depletion	Pt	5,367885E-8	0	3,0261307E-8	2,1896169E-10	
		1,8040471E-8		5,1581096E-9		
Respiratory organics	Pt	5,931759E-7	0	3,3947687E-7	2,4846635E-9	
		2,0124731E-7		4,9967064E-8		
Aquatic ecotoxicity	Pt	7,5731208E-7	0	4,4136657E-7		
		1,9053478E-8		2,3240416E-7	6,4487868E-8	

Terrestrial ecotoxicity	Pt	8,2860988E-5	0	6,2853971E-5			
		1,9293126E-7	1,6194638E-5	3,6194479E-6			
Terrestrial acid/nutri	Pt	8,7185986E-6	0	5,3174718E-6			
		3,438813E-8	2,7709641E-6	5,9577458E-7			
Land occupation	Pt	8,5654868E-5	0	8,3106646E-5		1,994836E-8	
		1,9981329E-6	5,3014037E-7				
Aquatic acidification	Pt	-	-	-	-	-	
Aquatic eutrophication	Pt	-	-	-	-	-	
Global warming	Pt	0,0002429179	0	0,00013524779		9,4065092E-7	
		7,6270397E-5	3,045906E-5				
Non-renewable energy	Pt	0,00025223981	0	0,00014290174			
		1,0381036E-6	8,5461084E-5	2,2838883E-5			
Mineral extraction	Pt	3,4188112E-7	0	1,9871664E-7			
		6,4288491E-9	1,0715264E-7	2,9582986E-8			
Costi	Pt	0	0	0	0		
Energia rinnovabile	Pt	0	0	0	0	0	0
Terreno (fertilità)	Pt	0	0	0	0	0	0
Terreno (permeabilità)	Pt	0	0	0	0	0	0
Terreno (pressione idrostatica)	Pt		3,0113007E-5	0		2,4433586E-5	
		2,0542583E-7	5,4722842E-6	1,7108553E-9			

Tabella 6-71 La valutazione secondo IMPACT del processo Produzione dell'intonaco di terra

Dall'analisi dei risultati della valutazione si nota che.

- il danno totale vale 0.001405309 Pt dovuto per il 61.9% a 1° strato dell'intonaco di terra con parametri, per lo 0.29% a Barbottina come legante, per il 30.04% a 2° strato dell'intonaco di terra con parametri, per il 7.76% a 3° strato dell'intonaco di terra con parametri.
- Inoltre il danno è dovuto per il 49.93% a **Human health**, per il 12.67r% a **Ecosystem quality**, per il 17.29% a **Climate change**, per il 17.97% a **Resources**, per il 2.14% a **Terreno (pressione idrostatica)**.

6.3.2 I danni dovuti ai singoli strati

Si analizzano con IMPACT i tre strati dell'intonaco per 1m³ e lo strato di barbottina per 1kg

6.3.2.1.1 Barbottina

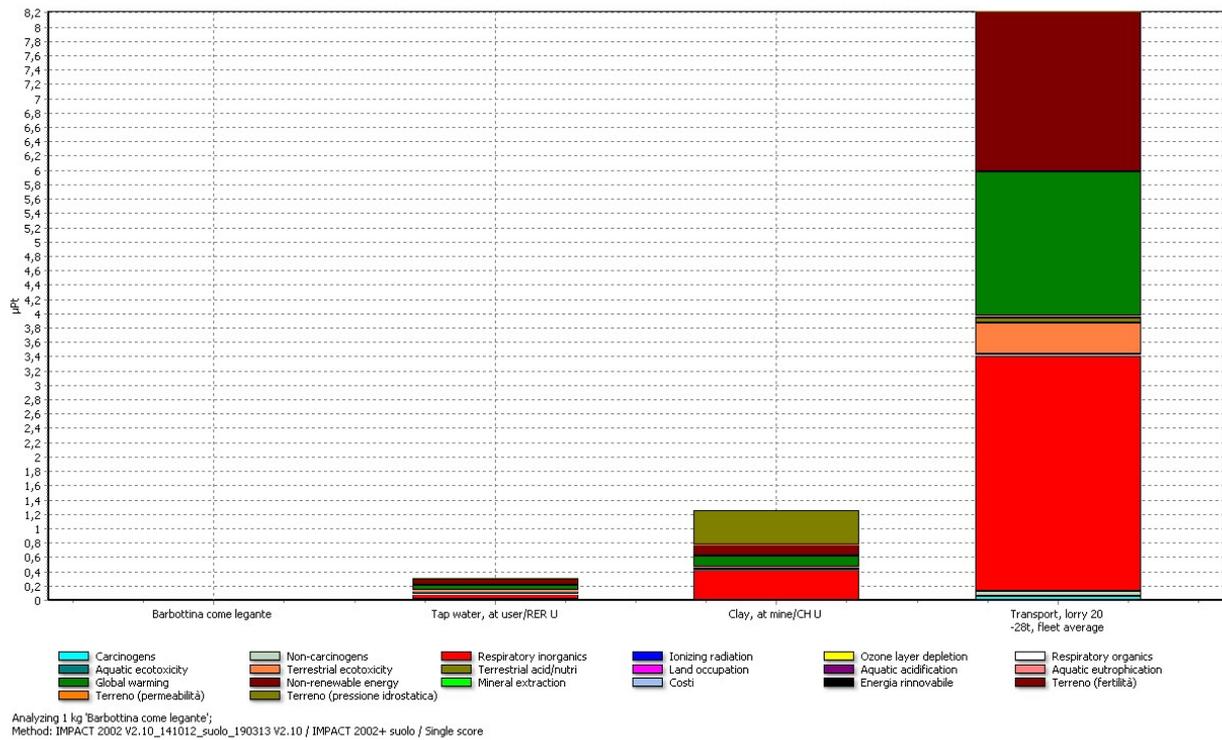


Figura 6-12: Il diagramma della valutazione del danno per single score del processo Barbottina come legante

SimaPro 7.3 Impact assessment Date: 04/06/2013 Time: 15.33.13
Project Intonaco terra

Calculation: Analyze
Results: Impact assessment
Product: 1 kg Barbottina come legante (of project Intonaco terra)
Method: IMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10 / IMPACT 2002+ suolo
Indicator: Single score
Unit: μPt
Skip categories: Never
Exclude infrastructure processes: No
Exclude long-term emissions: No
Per impact category: Yes
Sorted on item: Impact category
Sort order: Ascending

Impact category	Unit	Total Barbottina come legante	Tap water, at user/RER U	Clay, at mine/CH U	Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U
Total	Pt	9,7894166E-6	0	3,1248913E-7	1,2579469E-6
		8,2189806E-6			
Carcinogens	Pt	6,1929585E-8	0	3,9813622E-9	4,2042596E-9
		5,3743963E-8			
Non-carcinogens	Pt	8,6610792E-8	0	6,4978212E-9	2,2295312E-9
		7,788344E-8			
Respiratory inorganics	Pt	3,7775339E-6	0	7,5383797E-8	
		4,2130243E-7		3,2808476E-6	
Ionizing radiation	Pt	7,071496E-9	0	1,4603265E-9	1,3740147E-10
		5,4737681E-9			
Ozone layer depletion	Pt	5,2133733E-10	0	5,6840777E-12	
		2,8212603E-11		4,8744065E-10	
Respiratory organics	Pt	5,9158649E-9	0	4,3728364E-11	
		4,8618629E-10		5,3859503E-9	

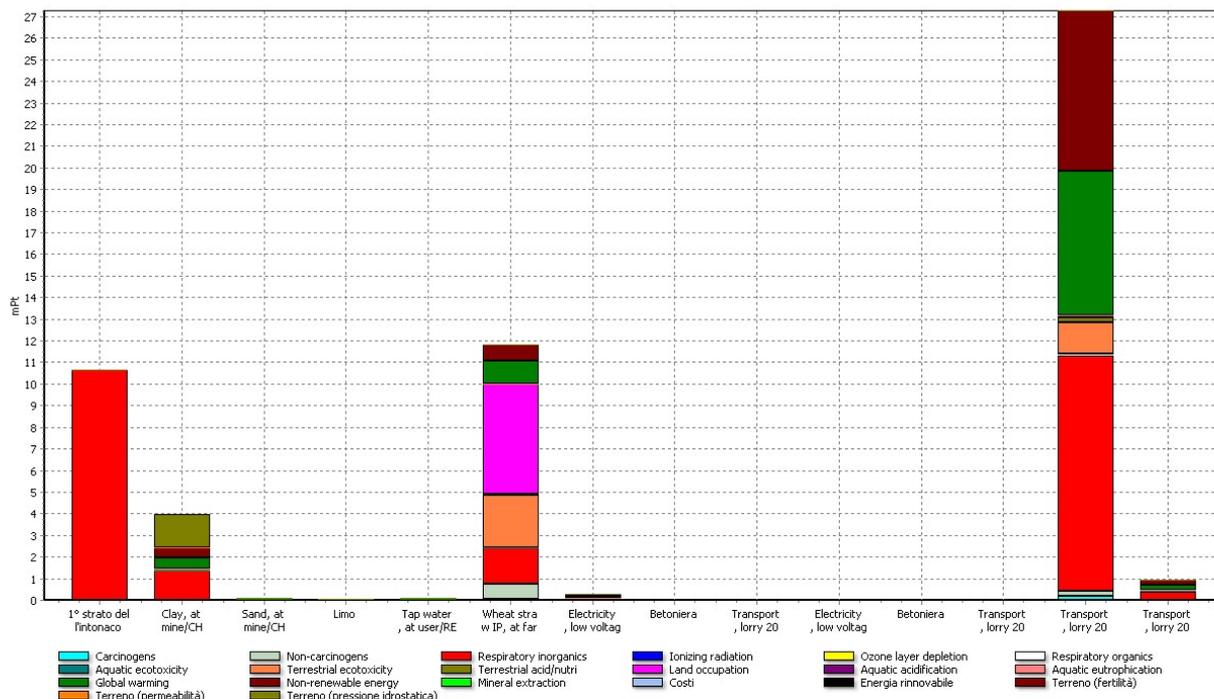
Aquatic ecotoxicity	Pt	4,5365422E-8	0	4,077624E-8	2,3323734E-10
4,3559445E-9					
Terrestrial ecotoxicity	Pt	4,5936007E-7	0	5,3478801E-9	
8,6063718E-9		4,4540582E-7			
Terrestrial acid/nutri	Pt	8,1876491E-8	0	7,9221627E-10	
7,6987086E-9		7,3385566E-8			
Land occupation	Pt	4,7496139E-8	0	3,4588759E-9	1,9233486E-8
2,4803777E-8					
Aquatic acidification	Pt	-	-	-	-
Aquatic eutrophication	Pt	-	-	-	-
Global warming	Pt	2,2396447E-6	0	7,3900153E-8	1,5310049E-7
2,0126441E-6					
Non-renewable energy	Pt	2,4716749E-6	0	8,7292339E-8	
1,5169886E-7		2,2326837E-6			
Mineral extraction	Pt	1,5306773E-8	0	1,3496137E-8	
9,0535164E-11		1,720101E-9			
Costi	Pt	0	0	0	0
Energia rinnovabile	Pt	0	0	0	0
Terreno (fertilità)	Pt	0	0	0	0
Terreno (permeabilità)	Pt	0	0	0	0
Terreno (pressione idrostatica)	Pt	4,8910913E-7	0	5,2569371E-11	
4,8889723E-7		1,5933039E-10			

Tabella 6-72 La tabella della valutazione del danno per single score del processo Barbottina come legante

Dall'analisi dei risultati della valutazione si nota che:

- il danno massimo è quello dovuto al trasporto della terra e rappresenta l'83.96% del totale che vale 9.789417E-6Pt.
- Il danno è dovuto per il 40.24% a **Human Health**, per il 6.48% a **Ecosystem quality**, per il 22.88% a **Climate change**, per il 25.40% a **Resources**, per il 5% a **Terreno (pressione idrostatica)**.

6.3.2.1.2 1° strato



Analyzing 1 m3 1° strato dell'intonaco di terra con parametri;
Method: IMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10 / IMPACT 2002+ suolo / Single score

Figura 6-13: Il diagramma della valutazione del danno per single score del processo 1° strato dell'intonaco di terra cruda con parametri

SimaPro 7.3 Impact assessment Date: 04/06/2013 Time: 14.51.51

Project Intonaco terra

Calculation: Analyze
 Results: Impact assessment
 Product: 1 m3 1° strato dell'intonaco di terra con parametri (of project Intonaco terra)
 Method: IMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10 / IMPACT 2002+ suolo
 Indicator: Single score
 Unit: mPt
 Skip categories: Never
 Exclude infrastructure processes: No
 Exclude long-term emissions: No
 Per impact category: Yes
 Sorted on item: Impact category
 Sort order: Ascending

Impact category	Unit	Total	1° strato dell'intonaco di terra con parametri
Clay, at mine/CH U			Sand, at mine/CH U
user/RER U			Limo Tap water, at
Wheat straw IP, at farm/CH U			Electricity, low voltage, at grid/IT U
Betoniera			Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U
low voltage, at grid/IT U			Electricity,
average/CH U			Betoniera
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U			Transport, lorry 20-28t, fleet
lorry 20-28t, fleet average/CH U			Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U			Transport,
Total Pt	0,055192399	0,010650506	0,0039661968
			8,6682074E-5
	3,1709967E-5	9,1265265E-5	0,011806124
			0,00029791193
	8,1728595E-6	3,6660871E-8	1,977906E-5
			1,4999875E-6
	2,1461734E-7	0,027277584	0,00095471544
Carcinogens Pt	0,00025245041	0	1,3255737E-5
			8,6192622E-7
	1,7750753E-7	1,1627927E-6	5,0588879E-5
			1,2424409E-6
	3,9358209E-7	2,3972565E-10	8,2488516E-8
			7,2235206E-8
	1,4033841E-9	0,00017836828	6,24289E-6
Non-carcinogens Pt	0,0009894623	0	7,0296002E-6
			9,1018371E-7
	1,5077056E-7	1,8977473E-6	0,00070950423
			1,914186E-6
	3,3420626E-7	3,474001E-10	1,2708723E-7
			6,1337797E-8
	2,0337239E-9	0,00025848365	9,0469276E-6
Respiratory inorganics Pt	0,025067129	0,010650506	0,0013283304
	3,5484848E-5	1,1426812E-5	2,2016518E-5
			0,0016656871
	7,4223578E-5	3,949125E-6	1,4634264E-8
			4,9278747E-6
	7,247938E-7	8,567082E-8	0,010888649
			0,00038110272
Ionizing radiation Pt	2,3176371E-5	0	4,3321665E-7
	4,3613346E-7	5,679676E-8	4,2650152E-7
			2,4071708E-6
	5,6693459E-7	7,8996459E-9	2,4415814E-11
			3,7640096E-8
	1,4498438E-9	1,4293324E-10	1,8166629E-5
			6,35832E-7
Ozone layer depletion Pt	1,9199877E-6	0	8,8951873E-8
			2,90761E-
	8,3161873E-10	1,6600861E-9	1,3719935E-7
			1,308234E-8
	9,0211305E-11	2,1742354E-12	8,6856677E-10
			1,655673E-11
	1,2728247E-11	1,6177436E-6	5,6621026E-8
Respiratory organics Pt	2,1538773E-5	0	1,5329027E-6
	3,7134056E-8	1,2709662E-8	1,2771263E-8
			1,3783214E-6
	5,8418052E-8	1,4084194E-9	2,4024102E-11
			3,8785093E-9
	2,584911E-10	1,4064011E-10	1,7875174E-5
			6,256311E-7
Aquatic ecotoxicity Pt	2,8003364E-5	0	7,3537852E-7
	5,8983929E-8	1,1243397E-8	1,1909069E-5
			4,0883972E-8
	2,5240923E-7	1,3334321E-8	1,9429748E-11
			1,6758031E-8
	2,4472847E-9	1,1374418E-10	1,4456737E-5
			5,0598581E-7
Terrestrial ecotoxicity Pt	0,0039878929	0	2,7135284E-5
	1,9067132E-6	3,8115584E-7	1,5618966E-6
			0,0024105496

		1,4267027E-5	9,7673097E-7	1,9867385E-9	9,4722084E-7					
		1,7926213E-7	1,1630617E-8	0,0014782362	5,1738267E-5					
Terrestrial acid/nutri	Pt	0,00033737738	0	2,4273355E-5						
		5,7991351E-7	2,0024362E-7	2,313739E-7	5,8787621E-5					
		1,1240296E-6	1,998233E-8	3,2733728E-10	7,4626916E-8					
		3,6674121E-9	1,9162736E-9	0,00024355587	8,5244553E-6					
Land occupation	Pt	0,0052728636	0	6,0641472E-5	5,0939521E-6					
		9,5590942E-7	1,0101931E-6	0,0051194326	4,7396573E-7					
		1,8593124E-8	1,1063757E-10	3,1467679E-8	3,4124474E-9					
		6,4768633E-10	8,2320091E-5	2,8812028E-6						
Aquatic acidification	Pt	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aquatic eutrophication	Pt	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global warming	Pt	0,0085810601	0	0,00048271271	1,6565153E-5					
		4,611235E-6	2,1583206E-5	0,0010349051	9,9223938E-5					
		1,1426078E-6	8,9774254E-9	6,5877062E-6	2,0970597E-7					
		5,2554976E-8	0,0066796688	0,00023378841						
Non-renewable energy	Pt	0,0090666797	0	0,00047829343						
		2,4613239E-5	5,5939866E-6	2,5494515E-5	0,00075060912					
		0,00010430851	1,2481826E-6	9,9589151E-9	6,9252829E-6					
		2,290824E-7	5,830074E-8	0,0074099479	0,00025934818					
Mineral extraction	Pt	1,2607956E-5	0	2,8547076E-7						
		1,2058003E-7	1,6574901E-8	3,9416684E-6	1,9977996E-6					
		2,4195374E-7	6,6938871E-8	7,6725329E-12	1,6063867E-8					
		1,2285476E-8	4,4915972E-11	5,7087613E-6	1,9980665E-7					
Costi	Pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energia rinnovabile	Pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Terreno (fertilità)	Pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Terreno (permeabilità)	Pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Terreno (pressione idrostatica)	Pt	0,0015502366	0	0,0015414489						
		1,0406611E-8	8,1141897E-6	1,5353359E-8	9,8702945E-8					
		1,451832E-9	1,7789735E-10	7,1069527E-13	9,6390475E-11					
		3,2649992E-11	4,1604994E-12	5,2879404E-7	1,8507792E-8					

Tabella 6-73 La tabella della valutazione del danno per single score del processo 1° strato dell'intonaco di terra cruda con parametri

Dall'analisi dei risultati della valutazione si nota che:

- il danno massimo è quello dovuto al trasporto della terra e rappresenta il 49.42% del totale che vale 0.0551924Pt.
- Al secondo e al terzo posto del danno ci sono rispettivamente la produzione della paglia per il 21.39% e le emissioni per il 19.3%. Si ricorda che si è assunto per la paglia una coltivazione intensiva.
- Il danno è dovuto per il 47.75% a **Human Health**, per il 17.44% a **Ecosystem quality**, per il 15.55% a **Climate change**, per il 16.45% a **Resources**, per il 2.81% a **Terreno (pressione idrostatica)**.

6.3.2.1.3 2° strato

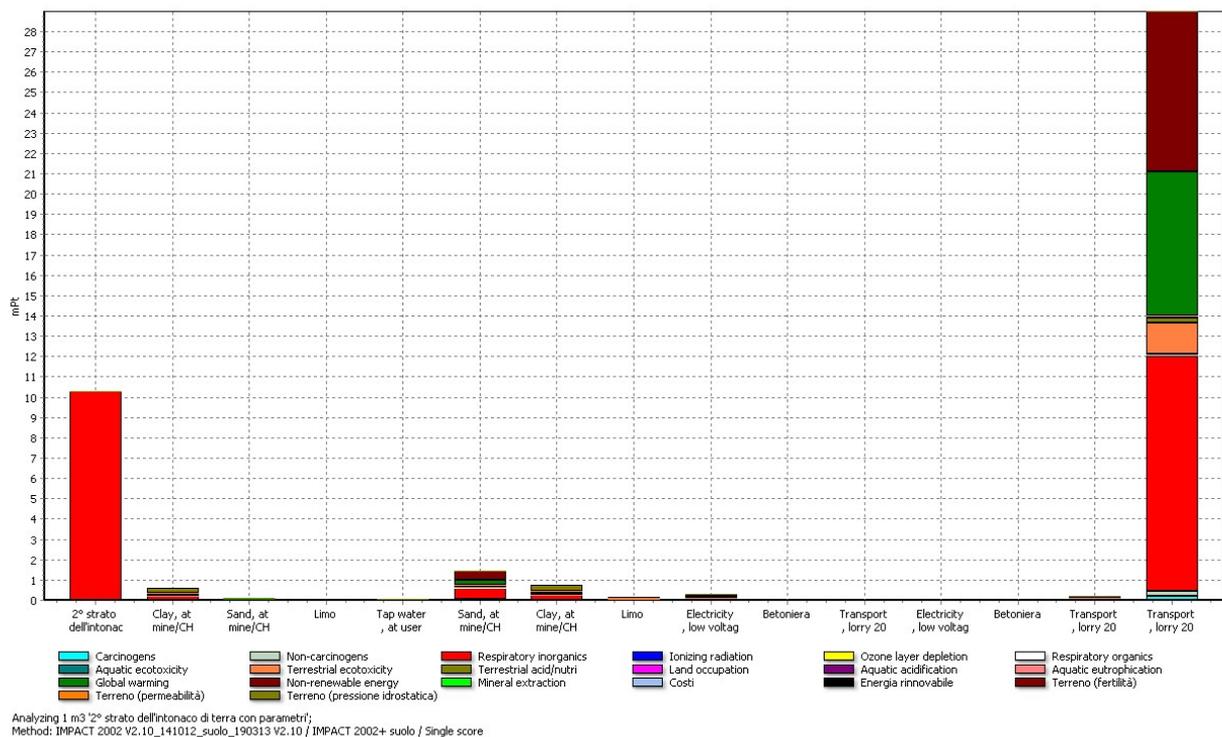


Figura 6-14: Il diagramma della valutazione del danno per single score del processo 2° strato dell'intonaco di terra cruda con parametri

SimaPro 7.3 Impact assessment Date: 04/06/2013 Time: 15.08.04

Project Intonaco terra

Calculation: Analyze
 Results: Impact assessment
 Product: 1 m3 2° strato dell'intonaco di terra con parametri (of project Intonaco terra)
 Method: IMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10 / IMPACT 2002+ suolo
 Indicator: Single score
 Unit: mPt
 Skip categories: Never
 Exclude infrastructure processes: No
 Exclude long-term emissions: No
 Per impact category: Yes
 Sorted on item: Impact category
 Sort order: Ascending

Impact category	Unit	Total	2° strato dell'intonaco di terra con parametri
Clay, at mine/CH	U	0,042860977	0,010290071
Sand, at mine/CH	U	0,00058510119	8,0987631E-5
Limo	U	2,9626825E-5	4,9829503E-5
Tap water, at user/RER	U	0,00013887574	0,00029791193
Sand, at mine/CH	U	0,00013887574	0,00029791193
Clay, at mine/CH	U	1,9357492E-5	1,5941472E-6
Limo	U	1,9357492E-5	1,5941472E-6
Electricity, low voltage, at grid/IT	U	0,0002137007	0
Betoniera	U	1,6584628E-7	6,3486785E-7
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH	U	7,7740444E-7	1,2424409E-6
Electricity, low voltage, at grid/IT	U	8,0730366E-8	7,6769679E-8
Betoniera	U	0,0002137007	0
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH	U	1,6584628E-7	6,3486785E-7
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH	U	7,7740444E-7	1,2424409E-6
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH	U	8,0730366E-8	7,6769679E-8
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH	U	0,0002137007	0
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH	U	1,6584628E-7	6,3486785E-7
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH	U	7,7740444E-7	1,2424409E-6
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH	U	8,0730366E-8	7,6769679E-8

Non-carcinogens	Pt	0,00029915004	0	1,0370095E-6	8,5039054E-7
1,4086575E-7		1,0361423E-6		1,4948272E-5	1,2962641E-6
6,6030818E-7		1,914186E-6	3,3420626E-7	3,474001E-10	
1,2437851E-7		6,5188198E-8	2,0328512E-6	0,00027470963	
Respiratory inorganics	Pt	0,023161236	0,010290071	0,00019595785	
3,3153725E-5		1,0676143E-5	1,2020697E-5	0,00058278034	
0,00024494737		5,004442E-5	7,4223578E-5	3,9491249E-6	
1,4634264E-8		4,8228426E-6	7,7029179E-7	8,563406E-5	
0,01157217					
Ionizing radiation	Pt	2,8311852E-5	0	6,3908702E-8	
4,0748236E-7		5,3065584E-8	2,328636E-7	7,1627759E-6	
7,9885904E-8		2,4874493E-7	5,6693459E-7	7,8996458E-9	
2,4415814E-11		3,683784E-8	1,5408559E-9	1,4287191E-7	
1,9307016E-5					
Ozone layer depletion	Pt	1,8313807E-6	0	1,3122356E-8	
2,7165991E-9		7,7698671E-10	9,063828E-10	4,7752718E-8	
1,6402948E-8		3,6421252E-9	1,308234E-8	9,0211303E-11	
2,1742354E-12		8,5005426E-10	1,7596057E-11	1,2722786E-8	
1,7192954E-6					
Respiratory organics	Pt	2,0429645E-5	0	2,2613687E-7	
3,4694592E-8		1,1874719E-8	6,9729231E-9	6,0986588E-7	
2,8267113E-7		5,5662745E-8	5,8418052E-8	1,4084194E-9	
2,4024102E-11		3,7958432E-9	2,7471754E-10	1,4057977E-7	
1,8997266E-5					
Aquatic ecotoxicity	Pt	2,3592537E-5	0	1,0848429E-7	
5,5109071E-8		1,0504775E-8	6,5021776E-6	9,6871416E-7	
1,3560542E-7		4,9241134E-8	2,5240923E-7	1,3334321E-8	
1,9429748E-11		1,6400853E-8	2,6009099E-9	1,1369538E-7	
1,536424E-5					
Terrestrial ecotoxicity	Pt	0,0016440006	0	4,0030314E-6	
1,7814545E-6		3,5611609E-7	8,5277273E-7	3,1314632E-5	
5,0037932E-6		1,6692942E-6	1,4267027E-5	9,7673097E-7	
1,9867385E-9		9,270319E-7	1,9051508E-7	1,1625626E-5	
0,0015710306					
Terrestrial acid/nutri	Pt	0,00028129476	0	3,5808536E-6	
5,4181699E-7		1,870889E-7	1,2632677E-7	9,5241269E-6	
4,4760676E-6		8,769792E-7	1,1240296E-6	1,9982329E-8	
3,2733728E-10		7,3036328E-8	3,8976291E-9	1,9154513E-6	
0,00025884477					
Land occupation	Pt	0,00020284076	0	8,9459476E-6	4,7593148E-6
8,9311266E-7		5,5155144E-7	8,3659821E-5	1,1182434E-5	
4,1864656E-6		4,7396574E-7	1,8593116E-8	1,1063757E-10	
3,0796981E-8		3,6266578E-9	6,4740835E-7	8,7487615E-5	
Aquatic acidification	Pt	-	-	-	-
-		-	-	-	-
Aquatic eutrophication	Pt	-	-	-	-
-		-	-	-	-
Global warming	Pt	0,0077425987	0	7,1210703E-5	1,5476931E-5
4,308306E-6	1,1784115E-5	0,00027205542	8,9013397E-5		
2,0195184E-5		9,9223938E-5	1,1426078E-6	8,9774253E-9	
6,4472967E-6		2,2286999E-7	5,2532426E-5	0,0070989765	
Non-renewable energy	Pt	0,0086755924	0	7,0558769E-5	
2,2996311E-5		5,2264975E-6	1,3919633E-5	0,00040423203	
8,8198477E-5		2,4499207E-5	0,00010430851	1,2481826E-6	
9,9589151E-9		6,7776783E-6	2,4346275E-7	5,8275725E-5	
0,0078750979					
Mineral extraction	Pt	1,0877602E-5	0	4,2110245E-8	
1,1265871E-7		1,5486003E-8	2,1520934E-6	1,9803289E-6	
5,2638237E-8		7,2590638E-8	2,4195374E-7	6,693887E-8	
7,6725325E-12		1,5721484E-8	1,3056681E-8	4,4896697E-8	
6,0671212E-6					

Costi Pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0									
Energia rinnovabile			Pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Terreno (fertilità)			Pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Terreno (permeabilità)			Pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Terreno (pressione idrostatica)			Pt	0,00055551962	0	0,00022739776						
9,7229637E-9			7,5811407E-6			8,3827097E-9						1,7091149E-7
0,0002842472			3,5536597E-5			1,451832E-9						1,7789735E-10
7,1069527E-13			9,4336021E-11			3,4699553E-11						4,1587142E-9
5,6198841E-7												

Tabella 6-74 La tabella della valutazione del danno per single score del processo 2° strato dell'intonaco di terra cruda con parametri

Dall'analisi della valutazione del danno si nota che:

- il danno massimo è quello dovuto al trasporto della terra e della sabbia e rappresenta il 67.64% del danno totale che vale 0.04286098Pt.
- Al secondo posto del danno ci sono le emissioni (0.01029007 Pt per il 24.01%)
- Il danno è dovuto per il 55.35% a **Human Health**, per il 5.02% a **Ecosystem quality**, per il 18.06% a **Climate change**, per il 20.27% a **Resources**, per l'1.3% a **Terreno (pressione idrostatica)**.

6.3.2.1.4 3° strato

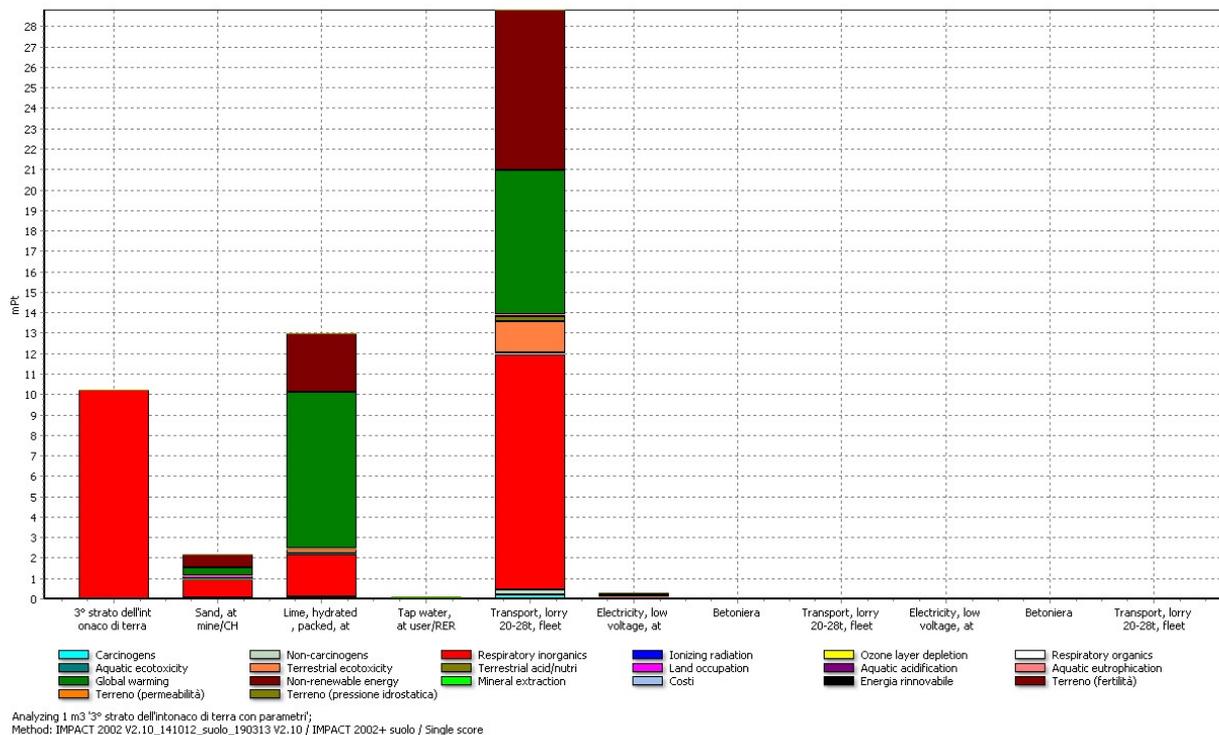


Figura 6-15: Il diagramma della valutazione del danno per single score del processo 3° strato dell'intonaco di terra cruda con parametri

Calculation: Analyze
 Results: Impact assessment
 Product: 1 m3 3° strato dell'intonaco di terra con parametri (of project Intonaco terra)
 Method: IMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10 / IMPACT 2002+ suolo
 Indicator: Single score
 Unit: mPt
 Skip categories: Never
 Exclude infrastructure processes: No
 Exclude long-term emissions: No
 Per impact category: Yes
 Sorted on item: Impact category
 Sort order: Ascending

Impact category	Unit	Total 3° strato dell'intonaco di terra con parametri	Sand, at mine/CH U	Lime, hydrated, packed, at plant/CH U	Tap water, at user/RER U	Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	Electricity, low voltage, at grid/IT U	Betoniera	Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	Electricity, low voltage, at grid/IT U	Betoniera	Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U
Total Pt	0,054575915	0,010226167	0,0021640538	0,0129726	7,8794527E-5	0,028809866	0,00029364141	8,055703E-6	3,6135343E-8	2,0890123E-5	1,5842472E-6	2,2667006E-7
Carcinogens Pt	0,00023907994	0	2,1518343E-5	2,63921E-5	1,0039055E-6	0,00018838788	1,2246307E-6	3,8794016E-7	2,3628922E-10	8,7122198E-8	7,6292922E-8	1,4821969E-9
Non-carcinogens Pt	0,00035692817	0	2,272311E-5	5,7145343E-5	1,6384338E-6	0,00027300362	1,8867465E-6	3,2941547E-7	3,4242018E-10	1,3422618E-7	6,4783365E-8	2,1479359E-9
Respiratory inorganics Pt	0,024822617	0,010226167	0,00088589385	0,0021081162	1,9008119E-5	0,011500305	7,3159596E-5	3,8925149E-6	1,4424484E-8	5,2046914E-6	7,6550812E-7	9,0482015E-8
Ionizing radiation Pt	4,2719029E-5	0	1,0888252E-5	1,1667384E-5	3,6822316E-7	1,9187115E-5	5,5880768E-7	7,7864058E-9	2,4065818E-11	3,9754478E-8	1,5312868E-9	1,5096025E-10
Ozone layer depletion Pt	2,5806028E-6	0	7,2589683E-8	7,8402758E-7	1,4332474E-9	1,7086182E-6	1,2894807E-8	8,8918141E-11	2,1430681E-12	9,1735735E-10	1,7486782E-11	1,3443054E-11
Respiratory organics Pt	2,4998528E-5	0	9,2706703E-7	5,1176358E-6	1,1026162E-8	1,8879288E-5	5,7580639E-8	1,3882299E-9	2,367972E-11	4,0963793E-9	2,7301149E-10	1,4853833E-10
Aquatic ecotoxicity Pt	3,2263288E-5	0	1,4725581E-6	4,9577671E-6	1,028178E-5	1,5268825E-5	2,4879099E-7	1,3143176E-8	1,9151226E-11	1,7699391E-8	2,5847577E-9	1,2013195E-10
Terrestrial ecotoxicity Pt	0,0018108102	0	4,7601879E-5	0,00018435645	1,3484747E-6	0,0015612741	1,4062512E-5	9,627297E-7	1,9582589E-9	1,0004297E-6	1,8933194E-7	1,2283782E-8
Terrestrial acid/nutri Pt	0,00029806609	0	1,447778E-5	2,4938612E-5	1,9975833E-7	0,00025723729	1,1079168E-6	1,9695886E-8	3,2264495E-10	7,8818983E-8	3,873424E-9	2,0238897E-9
Land occupation Pt	0,00026522913	0	0,00012717265	4,9716895E-5	8,7215934E-7	8,6944295E-5	4,6717152E-7	1,832659E-8	1,090516E-10	3,3235334E-8	3,6041361E-9	6,8405973E-10

Aquatic acidification	Pt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aquatic eutrophication	Pt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global warming	Pt	0,015238671	0	0,00041355587	0,0076454197						
1,8634017E-5		0,0070548903		9,780158E-5	1,1262287E-6						
8,8487355E-9		6,9577618E-6		2,2148592E-7	5,5506416E-8						
Non-renewable energy	Pt	0,011426296	0	0,00061447967	0,0028519424						
2,2010873E-5		0,0078261918		0,00010281327	1,2302901E-6						
9,8161557E-9		7,3143014E-6		2,4195079E-7	6,1574857E-8						
Mineral extraction	Pt	1,4800371E-5	0	3,0103301E-6							
2,0230683E-6		3,4030679E-6		6,0294432E-6	2,3848538E-7						
6,5979313E-8		7,5625483E-12		1,6966234E-8	1,2975596E-8						
4,7438411E-11											
Costi	Pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energia rinnovabile	Pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0		0		0		0		0		0	
Terreno (fertilità)	Pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0		0		0		0		0		0	
Terreno (permeabilità)	Pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0		0		0		0		0		0	
Terreno (pressione idrostatica)	Pt			8,5594109E-7	0	2,598053E-7					
2,2634262E-8		1,3255433E-8		5,5849834E-7	1,4310202E-9						
1,7534722E-10		7,0050757E-13		1,0180508E-10	3,4484061E-11						
4,3941493E-12											

Tabella 6-75 La tabella della valutazione del danno per single score del processo 3° strato dell'intonaco di terra cruda con parametri

Dall'analisi della valutazione del danno si nota che:

- il danno massimo è quello dovuto al trasporto della sabbia e della calce e rappresenta il 52.79% del danno totale che vale 0.04286098Pt.
- Al secondo e al terzo posto del danno ci sono rispettivamente le emissioni (18.74%) e la produzione della calce idrata (23.77%).
- Il danno è dovuto per il 46.7% a **Human Health**, per il 4.41% a **Ecosystem quality**, per il 27.92% a **Climate change**, per il 20.96% a **Resources**, per lo 0.0016% a **Terreno (pressione idrostatica)**.

6.3.2.2 Conclusioni

- Il danno è dovuto per il 61.9% al primo strato (31.236 kg/m²), per il 30.04% al secondo strato (20.07kg/m²), per il 7,76% al terzo strato (3.67kg/m²) e per lo 0.29% (0.42kg) alla barbotina.
- La ripartizione del danno è dovuta soprattutto alla ripartizione dei pesi dei tre strati principali.
- Per tutti gli strati il danno massimo è quello dovuto ai trasporti. Inoltre una parte rilevante del danno è dovuta alle emissioni e ai materiali.
- Il danno massimo si ha in **Human Health** principalmente a causa delle emissioni dirette e a quelle dovute ai trasporti

6.3.3 Analisi della messa in opera

Il processo studiato è Messa in opera dell'intonaco con parametri che si trova seguendo il seguente percorso:

SimaPro 7.3.2 (ENEA)/Simapro 732/Neri/paolo/Intonaco terra/Processing/Others/Rizzo.

Project Intonaco terra

Process

Category type processing
Process identifier ENEA271419479600148
Type
Process name
Status
Time period Unspecified
Geography Unspecified
Technology Unspecified
Representativeness Unspecified
Multiple output allocation Unspecified
Substitution allocation Unspecified
Cut off rules Unspecified
Capital goods Unspecified
Boundary with nature Unspecified
Infrastructure No
Date 05/03/2013
Record
Generator Rizzo-Neri
Literature references
Collection method
Data treatment
Verification
Comment La posa in opera dei tre strati dell'intonaco richiede il trabattello costituito dai piedi e dall'asse di legno e da un modulo che deve essere moltiplicato per il numero di ordini Nord, l'elevatore e l'energia necessaria per portare i materiali ai singoli ordini (escluso il primo)
Potenza montacarichi: 20kW
tempo impiegato per l'applicazione dei tre strati: $t * Nord * (Nord + 1) / 2 * 3$
Allocation rules
System description

Products

Messa in opera dell'intonaco di terra Nord*L m2 100 not defined
Others\Rizzo\Processi definitivi La posa in opera dei tre strati dell'intonaco richiede il trabattello costituito dai piedi e dall'asse di legno e da un modulo che deve essere moltiplicato per il numero di ordini Nord, l'elevatore e l'energia necessaria per portare i materiali ai singoli ordini (escluso il primo)
Potenza montacarichi: 20kW
tempo impiegato per l'applicazione dei tre strati: $t * Nord * (Nord + 1) / 2 * 3$

Avoided products

Resources

Materials/fuels

Electricity/heat

Trabattello (piedi e asse) con parametri $L / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord - 1) * 3$
m2 Piedi e asse del trabattello per la messa in opera dei tre strati
Allocazione temporale dei piedi e dell'asse di legno del trabattello:
 $L / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord - 1) * 3$
tempo per la messa in opera di 3 strati di lunghezza 2.5m e altezza 1m per Nord ordini di area 2.5m2):

$Tord * Nord * 3$
 Peso: $27.5 + 3.744 = 31.244 \text{ kg}$
 Trabattello (modulo per 1 ordine) con parametri $L * (Nord - 1) / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2, 5 * L) * (Nord - 1) * 3$ m² Modulo del trabattello per la messa in opera dei tre strati
 Area servita dal trabattello cioè Unità Funzionale del processo richiamato: $2.5 * Nord$ m²
 Allocazione sul numero di moduli
 $L * 1 / (L * 1) * (Nord - 1) * L$
 Allocazione temporale di 1 modulo:
 $1 / (10 \text{anni} * 240 \text{g/a} * 8 \text{h/g}) * Tord * (Nord - 1) * 3$ strati
 Allocazione totale (=Allocazione sul numero di moduli * Allocazione temporale di 1 modulo):
 $(Nord - 1) * L * 1 / (10 \text{anni} * 240 \text{g/a} * 8 \text{h/g}) * Tord * (Nord - 1) * 3$ strati
 Applicazione di 1 modulo rispetto alla quantità di intonaco applicato:
 $1 / (10 * 240 * 8 * L / Tord) * (Nord - 1) * L * 3$
 Allocazione totale:
 $(Nord - 1) * L * 1 / (10 * 240 * 8 * L / Tord) * (Nord - 1) * L * 3$
 Le due allocazioni sono equivalenti
 Peso: 53.858 kg
 Electricity, low voltage, at grid/IT U
 $20 * t / (0,008 + 0,005 + 0,002) * (s1 + s2 + s3) * Nmod * (Nmod + 1) / 2 * 3 / 3600$ kWh Energia per l'elevazione dei materiali di uno strato
 potenza: 20 kW
 tempo per elevare il materiale
 velocità di elevazione: 0.5 m/sec
 tempo per elevare di 1m: $1 / 0.5 = 2 \text{sec}$
 primo piano
 tempo per elevare il materiale di 1m (secondo ordine): 1t
 $1 / 0.5 = 2 \text{sec}$
 tempo per elevare il materiale di 2m (terzo ordine): 2t
 $2 / 0.5 = 4 \text{sec}$
 tempo totale per il primo piano: $1t + 2t = 3t$ $2 + 4 = 6 \text{sec}$
 secondo piano
 tempo per elevare il materiale di 3m: (quarto ordine) 3t
 $3 / 0.5 = 6 \text{sec}$
 tempo per elevare il materiale di 4m: (quinto ordine) 4t
 $4 / 0.5 = 8 \text{sec}$
 tempo per elevare il materiale di 5m: (sesto ordine) 5t
 $5 / 0.5 = 10 \text{sec}$
 tempo totale per il secondo piano: $1t + 2t + 3t + 4t + 5t = 3t$
 $2 + 4 + 6 + 8 + 10 = 2 * (1 + 2 + 3 + 4 + 5) = 30 \text{sec}$
 tempo totale per n strati di 1 m di altezza ciascuno:
 $T = t * S * Nmod$ (da 1 ad Nmod) = $t * Nmod * (Nmod + 1) / 2$
 dove Nmod = numero piani * 3 - 1
 Tempo per l'applicazione di tre strati:
 $t * Nmod * (Nmod + 1) / 2 * 3 \text{sec}$
 t è un tempo proporzionale a $(0,008 + 0,005 + 0,002)$
 lo spessore dello strato sarà: $s1 + s2 + s3$
 Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U
 $(31,244 * L / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2, 5 * L) * (Nord - 1) * 3 + 53,858 * L * (Nord - 1) / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2, 5 * L) * (Nord - 1) * 3) * 30 \text{ kgkm}$ Trasporto del trabattello dall'azienda che fa la costruzione al cantiere: 30 km
 Elevatore $1 / 30000 * t / (0,016 + 0,01 + 0,002) * (s1 + s2 + s3) * Nmod * (Nmod + 1) / 2 * 3 / 3600$ p
 Elevatore
 durata di vita: 30000h
 -motore:
 53kg costituito per:
 30% * 53kg di acciaio da costruzione
 20% * 53kg di acciaio inossidabile
 30% * 53kg di rame

20%*53kg: di HDPE

-scala di guida in acciaio di altezza: $3m \cdot \text{numero di piani}$

Altezza dei ritri: $\text{Nord} \cdot 1m$

Ritri in tubolare di sezione: $0.05 \cdot 0.05 \text{ m}^2$ e spessore: $0.003m$

Peso: $7.8 \cdot 0.05 \cdot 4 \cdot 0.003 \cdot \text{Nord} \cdot 1 \cdot 2$

Distanza tra i ritri: $0.8m$

Distanza tra i pioli: $0.4m$

pioli in tubolare di sezione: $0.03 \cdot 0.03 \text{ m}^2$ e spessore: $0.002m$

numero di pioli: $\text{Nord} \cdot 1m / 0.4m$

Peso: $7.8 \cdot 0.03 \cdot 4 \cdot 0.002 \cdot 0.8 \cdot \text{Nord} \cdot 1 / 0.4$

-cestone in acciaio

Peso totale: $0.053 + 0.06552 + 0.084864 = 0.20338t$

Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $0,20338 \cdot (1/30000 \cdot$

$t / (0,016 + 0,01 + 0,002) \cdot (s1 + s2 + s3) \cdot \text{Nmod} \cdot (\text{Nmod} + 1) / (2 \cdot 3 / 3600) \cdot 100$ tkm Trasporto

elevatore: $100km$

Emissions to air

Emissions to water

Emissions to soil

Final waste flows

Non material emissions

Social issues

Economic issues

Waste to treatment

Input parameters

m 0,00002 No

spessore del terzo strato che viene impiegato per la manutenzione

n 0,001 No

spessore del secondo strato che viene impiegato per la manutenzione

p 2 No

numero di piani dell'edificio

v 0,5 No

velocità di elevazione dei materiali sul trabattello: m/sec

h 1 No

altezza di ciascun ordine di intonaco: m

Tord 0,333 No

tempo necessario per l'applicazione di uno strato per $2.5 \cdot 1m^2$: h

s1 0,016 No

spessore del primo strato: m

s2 0,01 No

spessore del secondo strato: m

s3 0,002 No

spessore del terzo strato: m

L 2,5 No

lunghezza del trabattello e dell'ordine: m

Calculated parameters

Nord $p \cdot 3$

numero di ordini di intonaco di area $2.5m^2$

t h/v

tempo necessario per sollevare i materiali di h metri: sec

V1 $(1 - 0,005) \cdot (1 - 0,005) \cdot (s1 - 0,005 / 1 \cdot s1) \cdot L \cdot \text{Nord}$

Volume del primo strato: m^3

Pb $(0,22 + 1 \cdot (1 - 0,8)) \cdot L \cdot \text{Nord}$

Peso della barbottina:kg
V2 $(1-0,005) * (1-0,005) * (s2-0,005/1*s2) * L * Nord$
Volume del secondo strato:m3
V3 $(1-0,0002) * (1-0,0002) * (s3-0,0002/1*s3) * L * Nord$
Volume del terzo strato:m3
Nmod Nord-1
numero di moduli del trabattello

Database Input parameters

Database Calculated parameters

Project Input parameters

Project Calculated parameters

Tabella 6-76 Il processo Messa in opera dell'intonaco con parametri

Il calcolo viene effettuato per una Unità Funzionale di 1m2 con il Metodo IMPACT 2002
V2.10_141012_suolo_190313 V2.10.

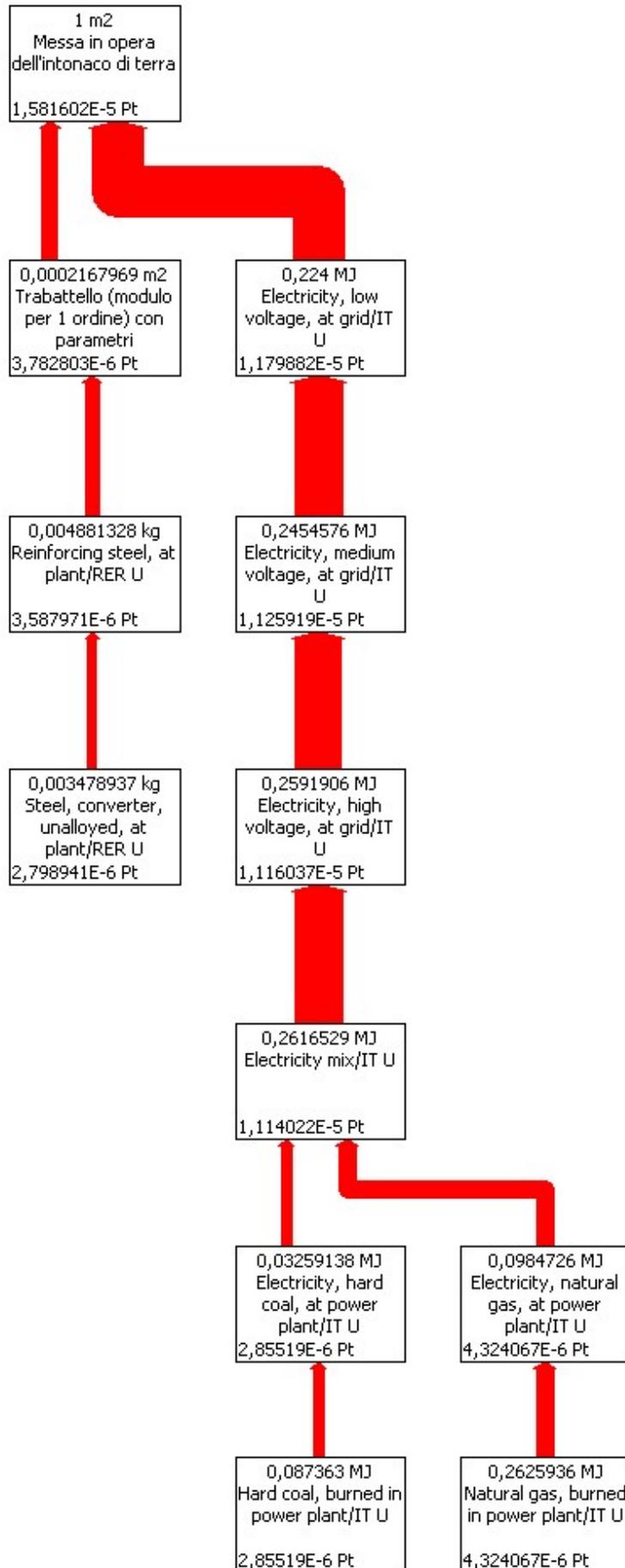


Figura 6-16: Il network secondo IMPACT con un cut-off del 18% del processo Messa in opera dell'intonaco di terra

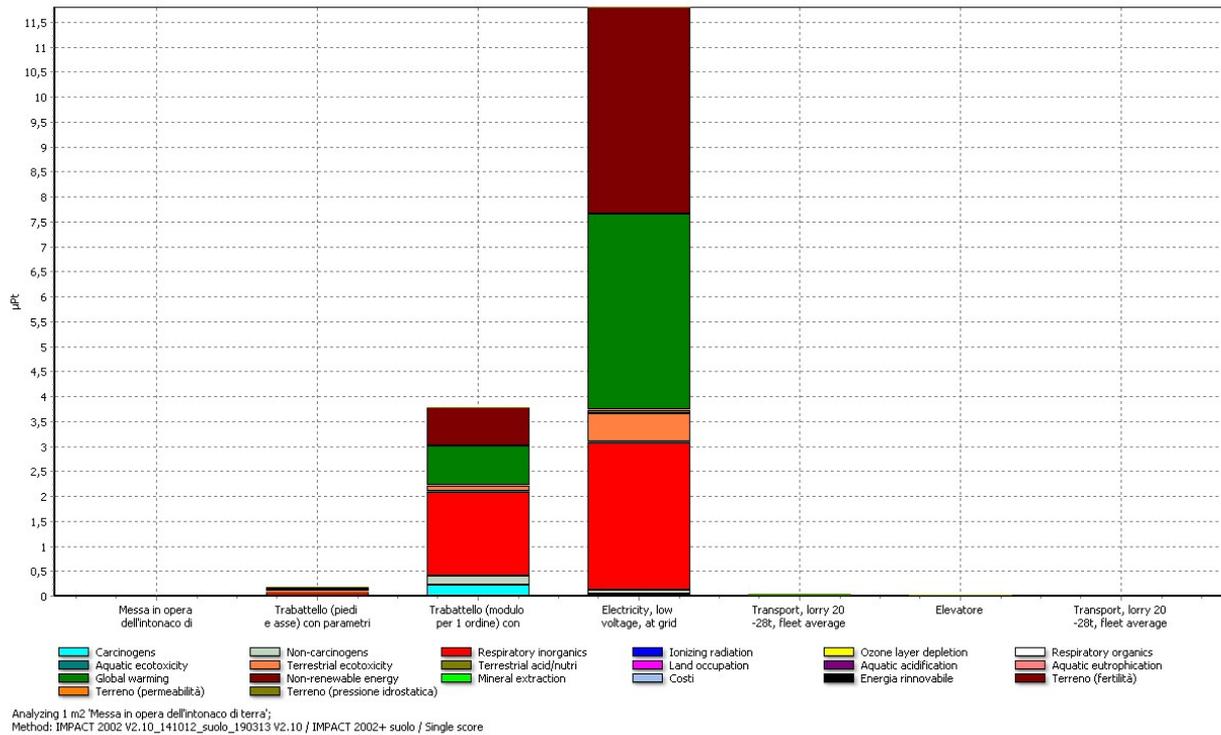


Figura 6-17: Il diagramma della valutazione per single score secondo IMPACT del processo Messa in opera dell'intonaco di terra

SimaPro 7.3 processes Date: 04/06/2013 Time: 15.50.32
Project Intonaco terra

Process

Category type processing
Process identifier ENEA271419479600148
Type
Process name
Status
Time period Unspecified
Geography Unspecified
Technology Unspecified
Representativeness Unspecified
Multiple output allocation Unspecified
Substitution allocation Unspecified
Cut off rules Unspecified
Capital goods Unspecified
Boundary with nature Unspecified
Infrastructure No
Date 05/03/2013
Record
Generator Rizzo-Neri
Literature references
Collection method
Data treatment
Verification

Comment La posa in opera dei tre strati dell'intonaco richiede il trabattello costituito dai piedi e dall'asse di legno e da un modulo che deve

essere moltiplicato per il numero di ordini Nord, l'elevatore e l'energia necessaria per portare i materiali ai singoli ordini (escluso il primo)

Potenza montacarichi: 20kW

tempo impiegato per l'applicazione dei tre strati: $t * Nord * (Nord + 1) / 2 * 3$

Allocation rules

System description

Products

Messa in opera dell'intonaco di terra Nord*L m2 100 not defined

Others\Rizzo\Processi definitivi La posa in opera dei tre strati dell'intonaco richiede il trabattello costituito dai piedi e dall'asse di legno e da un modulo che deve essere moltiplicato per il numero di ordini Nord, l'elevatore e l'energia necessaria per portare i materiali ai singoli ordini (escluso il primo)

Potenza montacarichi: 20kW

tempo impiegato per l'applicazione dei tre

strati: $t * Nord * (Nord + 1) / 2 * 3$

Avoided products

Resources

Materials/fuels

Electricity/heat

Trabattello (piedi e asse) con parametri $L / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord - 1) * 3$
m2 Piedi e asse del trabattello per la messa in opera dei tre strati

Allocazione temporale dei piedi e dell'asse di legno del trabattello:

$L / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord - 1) * 3$

tempo per la messa in opera di 3 strati di lunghezza 2.5m e altezza 1m per Nord ordini di area 2.5m2):

$Tord * Nord * 3$

Peso: $27.5 + 3.744 = 31.244$ kg

Trabattello (modulo per 1 ordine) con parametri $L * (Nord - 1) / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord - 1) * 3$ m2 Modulo del trabattello per la messa in opera dei tre strati

Area servita dal trabattello cioè Unità Funzionale del processo richiamato: $2.5 * Nord$ m2

Allocazione sul numero di moduli

$L * 1 / (L * 1) * (Nord - 1) * L$

Allocazione temporale di 1 modulo:

$1 / (10 \text{anni} * 240 \text{g/a} * 8 \text{h/g}) * Tord * (Nord - 1) * 3$ strati

Allocazione totale (=Allocazione sul numero di moduli*Allocazione temporale di 1 modulo):

$(Nord - 1) * L * 1 / (10 \text{anni} * 240 \text{g/a} * 8 \text{h/g}) * Tord * (Nord - 1) * 3$ strati

Allocazione di 1 modulo rispetto alla quantità di intonaco applicato:

$1 / (10 * 240 * 8 * L / Tord) * (Nord - 1) * L * 3$

Allocazione totale:

$(Nord - 1) * L * 1 / (10 * 240 * 8 * L / Tord) * (Nord - 1) * L * 3$

Le due allocazioni sono equivalenti

Peso: 53.858kg

Electricity, low voltage, at grid/IT U

$20 * t / (0,008 + 0,005 + 0,002) * (s1 + s2 + s3) * Nmod * (Nmod + 1) / 2 * 3 / 3600$ kWh Energia per l'elevazione dei materiali di uno strato

potenza: 20kW

tempo per elevare il materiale

velocità di elevazione: 0.5m/sec

tempo per elevare di 1m: $1 / 0.5 = 2$ sec

primo piano

tempo per elevare il materiale di 1m (secondo ordine): 1t
 1/0.5=2sec
 tempo per elevare il materiale di 2m (terzo ordine): 2t
 2/0.5=4sec
 tempo totale per il primo piano: 1t+2t=3t 2+4=6sec
 secondo piano
 tempo per elevare il materiale di 3m: (quarto ordine) 3t
 3/0.5=6sec
 tempo per elevare il materiale di 4m: (quinto ordine) 4t
 4/0.5=8sec
 tempo per elevare il materiale di 5m: (sesto ordine) 5t
 5/0.5=10sec
 tempo totale per il secondo piano: 1t+2t+3t+4t+5t=3t
 2+4+6+8+10=2*(1+2+3+4+5)=30sec

tempo totale per n strati di 1 m di altezza ciascuno:
 $T=t*S \text{ Nmod (da 1 ad Nmod)} = t*N\text{mod}*(N\text{mod}+1)/2$
 dove Nmod = numero piani*3-1
 Tempo per l'applicazione di tre strati:
 $t*N\text{mod}*(N\text{mod}+1)/2*3\text{sec}$
 t è un tempo proporzionale a (0,008+0,005+0,002)
 lo spessore dello strato sarà: s1+s2+s3

Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U

$(31,244*L/(10*240*8)*(Tord/2,5*L)*(Nord-1)*3+53,858*L*(Nord-1)/(10*240*8)*(Tord/2,5*L)*(Nord-1)*3)*30 \text{ kgkm}$ Trasporto del trabattello dall'azienda che fa la costruzione al cantiere: 30km

Elevatore $1/30000*t/(0,016+0,01+0,002)*(s1+s2+s3)*N\text{mod}*(N\text{mod}+1)/2*3/3600$ p
 Elevatore

durata di vita: 30000h

-motore:

53kg costituito per:

30%*53kg di acciaio da costruzione

20%*53kg di acciaio inossidabile

30%*53kg di rame

20%*53kg: di HDPE

-scala di guida in acciaio di altezza: 3m*numero di piani

Altezza dei ritti: Nord*1m

Ritti in tubolare di sezione: 0.05*0.05 m2 e spessore: 0.003m

Peso: $7.8*0.05*4*0.003*Nord*1*2$

Distanza tra i ritti: 0.8m

Distanza tra i pioli: 0.4m

pioli in tubolare di sezione: 0.03*0.03 m2 e spessore: 0.002m

numero di pioli: Nord*1m/0.4m

Peso: $7.8*0.03*4*0.002*0.8*Nord*1/0.4$

-cestone in acciaio

Peso totale: $0.053+0.06552+0.084864=0.20338t$

Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $0,20338*(1/30000*$

$t/(0,016+0,01+0,002)*(s1+s2+s3)*N\text{mod}*(N\text{mod}+1)/2*3/3600)*100$ tkm Trasporto
 elevatore: 100km

Emissions to air

Emissions to water

Emissions to soil

Final waste flows

Non material emissions

Social issues

Economic issues

Waste to treatment

Input parameters

m 0,00002 No
spessore del terzo strato che viene impiegato per la manutenzione

n 0,001 No
spessore del secondo strato che viene impiegato per la manutenzione

p 2 No
numero di piani dell'edificio

v 0,5 No
velocità di elevazione dei materiali sul trabattello: m/sec

h 1 No
altezza di ciascun ordine di intonaco: m

Tord 0,333 No
tempo necessario per l'applicazione di uno strato per 2.5*1m2: h

s1 0,016 No
spessore del primo strato: m

s2 0,01 No
spessore del secondo strato: m

s3 0,002 No
spessore del terzo strato: m

L 2,5 No
lunghezza del trabattello e dell'ordine: m

Calculated parameters

Nord p^3
numero di ordini di intonaco di area 2.5m2

t h/v
tempo necessario per sollevare i materiali di h metri: sec

V1 $(1-0,005) * (1-0,005) * (s1-0,005/1*s1) * L * Nord$
Volume del primo strato:m3

Pb $(0,22+1*(1-0,8)) * L * Nord$
Peso della barbottina:kg

V2 $(1-0,005) * (1-0,005) * (s2-0,005/1*s2) * L * Nord$
Volume del secondo strato:m3

V3 $(1-0,0002) * (1-0,0002) * (s3-0,0002/1*s3) * L * Nord$
Volume del terzo strato:m3

Nmod Nord-1
numero di moduli del trabattello

Database Input parameters

Database Calculated parameters

Project Input parameters

Project Calculated parameters

Tabella 6-77 La valutazione secondo IMPACT del processo Messa in opera dell'intonaco di terra

Dall'analisi dei risultati della valutazione si nota che.

- il danno totale vale 1.581602E-5 Pt dovuto per l'1.19% a Trabattello (piedi e asse) con parametri, per il 23.92% a Trabattello(modulo per 1 ordine) con parametri, per il 74.6% a Electricity, low voltage, at grid/IT (energia elettrica necessaria per il sollevamento dei materiali), per lo 0.19% a Transport, lorry, 20-28t, fleet average/CH (trasporto del tra battello), per lo 0.1% all'Elevatore, per lo 0.0006% a Transport, lorry, 20-28t, fleet average/CH (trasporto dell'elevatore).
- Inoltre il danno è dovuto per il 33.36% a **Human health**, per il 5.06% a **Ecosystem quality**, per il 30.09% a **Climate change**, per il 31.49% a **Resources**, per il 0.001% a **Terreno (pressione idrostatica)**.

- In **Human Health** il danno vale $5.276204E-6$ Pt ed è dovuto per il 23.48% a *Nitrogen oxides* (in particolare per l'81.96% in Electricity, low voltage, at grid/IT(energia elettrica necessaria per il sollevamento dei materiali) e, in particolare, per il 28.15% in Heavy fuel oil, burned in power plant/IT), per il 21.53% a *Sulfur oxide* (in particolare per l'88.71% in Electricity, low voltage, at grid/IT e, in particolare, per il 42.27% in Heavy fuel oil, burned in power plant/IT), per il 18.29% a *Particulates, <2.5 μ m* (in particolare per il 55.02% in Electricity, low voltage, at grid/IT e, in particolare, per il 39.52% in Hard coal, burned in power plant/IT)), per il 14.77% a *Particulates, >2.5 μ m, and <10 μ m* (in particolare per l'82.39% in Trabattello (modulo per 1 ordine) con parametri e, in particolare, per l'89.53% in Iron ore, 46% FE, at mine/GLO), per il 10.87% a *Particulates, >10 μ m* (in particolare per il 54.65% in Trabattello (modulo per 1 ordine) con parametri e, in particolare, per il 59.75% in Iron ore, 46% FE, at mine/GLO). La categoria di impatto che produce il danno massimo è **Respiratory inorganics** ($4.707373E-6$ Pt per l'89.22% del totale).
- In **Ecosystem quality** il danno vale $8.007662E-7$ Pt ed è dovuto per 27.8% a *Copper* nel suolo (per il 99.18% in Electricity, low voltage, at grid/IT, e in particolare per l'85.2% in Distribution network, electricity, low voltage/CH/I), per il 21.93% a *Aluminium* in aria (per il 66.85% in Electricity, low voltage, at grid/IT, e in particolare per il 92.88% in Blasting/RER), per il 14.19% a *Chromium VI* nel suolo (per il 99.25% in Electricity, low voltage, at grid/IT, e in particolare per l'85.29% in Distribution network, electricity, low voltage/CH/I) e per l'8.49% a *Aluminium* nel suolo(per il 87.71% in Electricity, low voltage, at grid/IT, e in particolare per il 96.27% a Disposal, drilling waste, 71.5% water, to landfarming/CH). La categoria di impatto che produce il danno massimo è **Terrestrial ecotoxicity** ($6.893045E-7$ Pt, per l'86.08 % sul danno totale).
- In **Climate change** il danno vale $4.758851E-6$ Pt ed è dovuto per il 96.82% a *Carbon dioxide, fossil* in aria (per l'82.98% in Electricity, low voltage, at grid/IT, e in particolare per il 38.66% in Natural gas, burned in power plant/IT).
- In **Resources** il danno vale $4.980027E-6$ Pt ed è dovuto per 46.19% a *Gas natural, in ground* (per il 93.03% in Electricity, low voltage, at grid/IT, e in particolare per il 38.69% in Natural gas, at production onshore/DZ), per il 21.79% a *Coal, hard, unspecified, in ground* (per il 61.4% in Electricity, low voltage, at grid/IT, e, in particolare per il 26.11% in Hard coal, at mine/RNA), per il 18.08% a *Oil, crude, in ground* (per l'87.33% in Electricity, low voltage, at grid/IT, e, in particolare per il 26.2% in Crude oil, at production onshore/RME) e per l'11.33% a *Uranium, in ground*(per l'82.71% in Electricity, low voltage, at grid/IT, e, in particolare per il 59.84% in Uranium natural, at underground mine/RNA). La categoria di impatto che produce il danno massimo è **Non-renewable energy** ($4.964038E-6$ Pt e per il 99.68% sul danno totale).
- In **Terreno pressione idrostatica** il danno vale $1.768458E-10$ Pt ed è dovuto per il 100% a *Clay, unspecified, in ground* (per il 63.88% in Trabattello (modulo per 1 ordine) con parametri, e, in particolare per il 99.99% in Clay, at mine/CH).

6.3.3.1 Conclusioni

- Il danno totale è dovuto per il 74.6% all'elettricità necessaria per il sollevamento dei materiali che, tuttavia, nel corso della vita del manufatto avviene una volta sola e quindi produce un impatto ridotto sull'LCA complessivo. Inoltre il danno è dovuto per il 23.92% ai moduli del tra battello.
- Inoltre il danno è ripartito in parti pressoché uguali tra **Human Health**, **Ecosystem Quality** e **Resources**, cioè nelle categorie di danno coinvolte dall'uso dell'energia elettrica.

6.3.4 Analisi dell'uso

Il processo studiato è Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato) che si trova seguendo il seguente percorso:

SimaPro 7.3.2 (ENEA)/Simapro 732/Neri/paolo/Intonaco terra/Processing/Others/Rizzo.

SimaPro 7.3 processes Date: 04/06/2013 Time: 17.06.01
Project Intonaco terra

Process

Category type processing
Process identifier ENEA271419479600208
Type
Process name
Status
Time period Unspecified
Geography Unspecified
Technology Unspecified
Representativeness Unspecified
Multiple output allocation Unspecified
Substitution allocation Unspecified
Cut off rules Unspecified
Capital goods Unspecified
Boundary with nature Unspecified
Infrastructure No
Date 20/12/2012
Record
Generator Rizzo-Neri
Literature references
Collection method
Data treatment
Verification
Comment Intonaco in terra cruda e paglia per parete verticale
Intonaco composto da tre strati:
-l'interno di 0.8cm
-l'intermedio di 0.5m
-l'esterno di 0.2cm
Spessore totale: $0.8+0.5+0.2=1.5$ cm
Peso totale: $15.7612+0.42+8.508+3.9402=28.6294$ kg
Allocation rules
System description

Products

Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato)
Nord*L m2 100 not defined Others\Rizzo\Processi definitivi
Unità Funzionale: 2.5m^2 *numero di applicazioni
Intonaco composto da tre strati:
-l'interno di 0.8cm
-l'intermedio di 0.5m
-l'esterno di 0.2cm
Spessore totale: $0.8+0.5+0.2=1.5$ cm
Peso totale:
 $15.7612+0.42+8.508+3.9402=28.6294$
Durata dell'intonaco: 100 anni
manutenzione del terzo strato: ogni 10 anni
manutenzione del secondo strato ogni 20 anni

strati per m2: Tord tempo necessario per l'applicazione dei 3
 strati per m2, per N applicazioni e per p piani: $N_{appl} * p * T_{appl}$
 Non sono state considerate le polveri che si generano durante l'asportazione del 3° strato e del n% del 2° strato

Avoided products
 Resources
 Materials/fuels
 Electricity/heat
 2° strato dell'intonaco di terra con parametri $(1-0,005) * (1-0,005) * n * (100/20-1) * L * Nord$ m3 manutenzione del 2° strato
 ogni 20 anni manutenzione di uno spessore n eliminato durante l'asportazione del terzo strato a partire dal ventesimo anno di vita escluso il centesimo: $100/20-1$
 Trabattello (piedi e asse) $L / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord - 1) * (100 / 20 - 1)$ m2
 Piedi e asse del trabattello per la manutenzione del secondo strato
 Allocazione temporale dei piedi e dell'asse di legno del trabattello per $(100/20-1)$ manutenzioni:
 $L / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord - 1) * (100 / 20 - 1)$
 Peso: 31.244kg
 Trabattello (modulo per 1 ordine) $L * (Nord - 1) / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord - 1) * (100 / 20 - 1)$ m2
 Modulo del trabattello per la manutenzione del secondo strato
 Area servita dal trabattello cioè Unità Funzionale del processo richiamato: $L * Nord m^2$
 Allocazione del numero di moduli:
 $L * (Nord - 1)$
 Allocazione temporale di 1 modulo per $(100/20-1)$ manutenzioni:
 $1 / (10 \text{anni} * 240g/a * 8h/g) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord - 1) * (100 / 20 - 1)$
 Peso: 53.858kg
 Electricity, low voltage, at grid/IT U $20 * t * N_{mod} * (N_{mod} + 1) / 2 / 3600 * (100 / 20 - 1)$ kWh
 Energia per l'elevazione dei materiali di uno strato
 potenza: 20kW
 tempo per elevare il materiale
 velocità di elevazione: 0.5m/sec
 tempo per elevare di 1m: $1/0.5=2\text{sec}$
 primo piano
 tempo per elevare il materiale di 1m (secondo ordine): 1t
 $1/0.5=2\text{sec}$
 tempo per elevare il materiale di 2m (terzo ordine): 2t
 $2/0.5=4\text{sec}$
 tempo totale per il primo piano: $1t+2t=3t$ $2+4=6\text{sec}$
 secondo piano
 tempo per elevare il materiale di 3m: (quarto ordine) 3t
 $3/0.5=6\text{sec}$
 tempo per elevare il materiale di 4m: (quinto ordine) 4t
 $4/0.5=8\text{sec}$
 tempo per elevare il materiale di 5m: (sesto ordine) 5t
 $5/0.5=10\text{sec}$
 tempo totale per il secondo piano: $1t+2t+3t+4t+5t=3t$
 $2+4+6+8+10=2 * (1+2+3+4+5)=30\text{sec}$
 tempo totale per N ordini di 1 m di altezza ciascuno per una manutenzione:
 $T = t * S \text{ Nordine (da 1 ad } N_{mod}) = t * N_{mod} * (N_{mod} + 1) / 2 \text{sec}$
 dove $N_{mod} = \text{numero piani} * 3 - 1$
 per $(100/20-1)$ manutenzioni T vale:
 $T = t * N_{mod} * (N_{mod} + 1) / 2 \text{sec} * (100 / 20 - 1)$

Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U
 $(31,244 * L / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2, 5 * L) * (Nord - 1) + 53,858 * L * (Nord - 1) / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2, 5 * L) * (Nord - 1)) * (100 / 20 - 1) * 30$ kgkm Trasporto
 trabattello: 30km
 Elevatore $1 / 30000 * t * Nmod * (Nmod + 1) / 2 / 3600 * (100 / 20 - 1)$ p Elevatore
 durata di vita: 30000h
 -motore:
 53kg costituito per:
 30%*53kg di acciaio da costruzione
 20%*53kg di acciaio inossidabile
 30%*53kg di rame
 20%*53kg: di HDPE
 -scala di guida in acciaio di altezza: 3m*numero di piani
 Altezza dei ritti: Nord*1m
 Ritti in tubolare di sezione: 0.05*0.05 m2 e spessore: 0.003m
 Peso: $7.8 * 0.05 * 4 * 0.003 * Nord * 1 * 2$
 Distanza tra i ritti: 0.8m
 Distanza tra i pioli: 0.4m
 pioli in tubolare di sezione: 0.03*0.03 m2 e spessore: 0.002m
 numero di pioli: Nord*1m/0.4m
 Peso: $7.8 * 0.03 * 4 * 0.002 * 0.8 * Nord * 1 / 0.4$
 -cestone in acciaio
 Tempo di uso: $t * Nmod * (Nmod + 1) / 2sec / 3600sec/h$ per 1
 manutenzione
 Per (100/20-1) manutenzioni si ha:
 $t * Nmod * (Nmod + 1) / 2 / 3600 * (100 / 20 - 1)$
 Peso totale: 0.053+0.06552+0.084864=0.20338t
 Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $0,20338 * (1 / 30000 * t * Nmod * (Nmod + 1) / 2 / 3600) * (100 / 20 - 1) * 30$ tkm Trasporto elevatore: 30km
 3° strato dell'intonaco di terra con parametri $((1 - 0,0002) * (1 - 0,0002) * m * 100 / 20 + (1 - 0,0002) * (1 - 0,0002) * (s3 - 0,0002 / 1 * s3) * (100 / 20 - 1)) * L * Nord$ m3
 manutenzione del terzo strato:
 ogni 20 anni manutenzione di uno spessore m a partire dal
 decimo anno di vita: 100/20
 ogni 20 anni manutenzione del 100% a partire dal ventesimo
 anno di vita fino al novantesimo: 100/20-1
 Trabattello (piedi e asse) $L / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2, 5 * L) * (Nord - 1) * (100 / 20 + 100 / 20 - 1)$ m2
 Piedi e asse del trabattello per la manutenzione del terzo strato
 Allocazione temporale dei piedi e dell'asse di legno del
 trabattello per (100/20+100/20-1) manutenzioni:
 $L / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2, 5 * L) * (Nord - 1) * (100 / 20 + 100 / 20 - 1)$
 Trabattello (modulo per 1 ordine) $L * (Nord - 1) / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2, 5 * L) * (Nord - 1) * (100 / 20 + 100 / 20 - 1)$ m2
 Modulo del trabattello per la manutenzione del
 terzo strato
 Area servita dal trabattello cioè Unità Funzionale del
 processo richiamato: $2.5 * Nord$ m2
 Allocazione del numero di moduli:
 $L * (Nord - 1)$
 Allocazione temporale di un modulo per (100/20+100/20-1)
 manutenzioni:
 $1 / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2, 5 * L) * (Nord - 1) * (100 / 20 + 100 / 20 - 1)$
 Peso: 53.858kg
 Electricity, low voltage, at grid/IT U
 $20 * t * Nmod * (Nmod + 1) / 2 / 3600 * (100 / 20 + 100 / 20 - 1)$ kWh Energia per
 l'elevazione dei materiali di uno strato
 potenza: 20kW
 tempo per elevare il materiale
 velocità di elevazione: 0.5m/sec
 tempo per elevare di 1m: 1/0.5=2sec
 primo piano
 tempo per elevare il materiale di 1m (secondo ordine): 1t
 1/0.5=2sec

tempo per elevare il materiale di 2m (terzo ordine): 2t
 $2/0.5=4\text{sec}$
tempo totale per il primo piano: $1t+2t=3t$ $2+4=6\text{sec}$
secondo piano
tempo per elevare il materiale di 3m: (quarto ordine) 3t
 $3/0.5=6\text{sec}$
tempo per elevare il materiale di 4m: (quinto ordine) 4t
 $4/0.5=8\text{sec}$
tempo per elevare il materiale di 5m: (sesto ordine) 5t
 $5/0.5=10\text{sec}$
tempo totale per il secondo piano: $1t+2t+3t+4t+5t=3t$
 $2+4+6+8+10=2*(1+2+3+4+5)=30\text{sec}$
tempo totale per n strati di 1 m di altezza ciascuno per
 $(100/20+100/20-1)$ manutenzioni:
 $T=t*SN_{\text{mod}}$ (da 1 ad N_{mod}) =
 $t*N_{\text{mod}}*(N_{\text{mod}}+1)/2/3600*(100/20+100/20-1)$ h
dove N_{mod} =numero piani*3-1
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $(53,858*L*(\text{Nord}-1)/(10*240*8)*(Tord/2,5*L)*(\text{Nord}-1)+31,244*L/(10*240*8)*(Tord/2,5*L)*(\text{Nord}-1))*(100/20+100/20-1)*30$ kgkm Trasporto trabattello:30km
Elevatore $1/30000*t*N_{\text{mod}}*(N_{\text{mod}}+1)/2/3600*(100/20+100/20-1)$ p Elevatore
durata di vita: 30000h
-motore:
53kg costituito per:
30%*53kg di acciaio da costruzione
20%*53kg di acciaio inossidabile
30%*53kg di rame
20%*53kg: di HDPE
-scala di guida in acciaio di altezza: $3m*\text{numero di piani}$
Altezza dei ritte: $\text{Nord}*1m$
Ritte in tubolare di sezione: $0.05*0.05$ m2 e spessore: $0.003m$
Peso: $7.8*0.05*4*0.003*\text{Nord}*1*2$
Distanza tra i ritte: $0.8m$
Distanza tra i pioli: $0.4m$
pioli in tubolare di sezione: $0.03*0.03$ m2 e spessore: $0.002m$
numero di pioli: $\text{Nord}*1m/0.4m$
Peso: $7.8*0.03*4*0.002*0.8*\text{Nord}*1/0.4$
-cestone in acciaio
Tempo di uso: $t*N_{\text{mod}}*(N_{\text{mod}}+1)/2\text{sec}/3600\text{sec/h}$
Peso totale: $0.053+0.06552+0.084864=0.20338t$
Le manutenzioni totali sono: $(100/20+100/20-1)$
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $0,20338*(1/30000*t*N_{\text{mod}}*(N_{\text{mod}}+1)/2/3600)*(100/20+100/20-1)*30$ tkm Trasporto elevatore: 30km
Fine vita dell'intonaco con parametri (manutenzione) 0 m2 Per $(100/20-1)$ manutenzioni del terzo strato lo spessore dell'intonaco rimasto $((s3-0,0002/1*s3)-m)$ viene asportato e condotto al fine vita. Il fine vita del materiale viene considerato nel processo di fine vita. Per effettuare la rimozione è necessario l'uso del trabattello e dell'elevatore che vengono considerate nel processo di uso nel seguito.
 $(100/20-1)$: asportazioni di tutto lo strato che devono essere smaltite durante l'uso - 1 strato che viene smaltito nel fine vita
Si considerano anche il fine vita dello spessore n del secondo strato che durante l'asportazione del terzo strato viene rimosso.
Trabattello (piedi e asse) $L/(10*240*8)*(Tord/2,5*L)*(\text{Nord}-1)*(100/20-1)$ m2
Piedi e asse del trabattello per la manutenzione del terzo strato. Per effettuare la rimozione è necessario l'uso del trabattello e dell'elevatore che vengono considerate nel processo di uso nel seguito.
Allocazione temporale dei piedi e dell'asse di legno del trabattello per $(100/20-1)$ manutenzioni:
 $L/(10*240*8)*(Tord/2,5*L)*(\text{Nord}-1)*(100/20-1)$
Trabattello (modulo per 1 ordine) $L*(\text{Nord}-1)/(10*240*8)*(Tord/2,5*L)*(\text{Nord}-1)*(100/20-1)$ m2 Modulo del trabattello per la manutenzione del terzo

strato. Per effettuare la rimozione è necessario l'uso del trabattello e dell'elevatore che vengono considerate nel processo di uso nel seguito.

Area servita dal trabattello cioè Unità Funzionale del processo richiamato: $2.5 \cdot \text{Nordm}^2$

Allocazione dell' area di applicazione dell'intonaco:

$L \cdot \text{Nord}-1$

Allocazione temporale di un modulo per $(100/20-1)$

manutenzioni:

$L \cdot (\text{Nord}-1) / (10 \cdot 240 \cdot 8) \cdot (\text{Tord} / 2,5 \cdot L) \cdot (\text{Nord}-1) \cdot (100/20-1)$

Peso: 53.858kg

Electricity, low voltage, at grid/IT U $20 \cdot t \cdot \text{Nmod} \cdot (\text{Nmod}+1) / 2 / 3600 \cdot (100/20-1)$

kWh Energia per l'elevazione dei materiali di uno strato

potenza: 20kW

tempo per elevare il materiale

velocità di elevazione: 0.5m/sec

tempo per elevare di 1m: $1/0.5=2\text{sec}$

primo piano

tempo per elevare il materiale di 1m (secondo ordine): 1t

$1/0.5=2\text{sec}$

tempo per elevare il materiale di 2m (terzo ordine): 2t

$2/0.5=4\text{sec}$

tempo totale per il primo piano: $1t+2t=3t$ $2+4=6\text{sec}$

secondo piano

tempo per elevare il materiale di 3m: (quarto ordine) 3t

$3/0.5=6\text{sec}$

tempo per elevare il materiale di 4m: (quinto ordine) 4t

$4/0.5=8\text{sec}$

tempo per elevare il materiale di 5m: (sesto ordine) 5t

$5/0.5=10\text{sec}$

tempo totale per il secondo piano: $1t+2t+3t+4t+5t=3t$

$2+4+6+8+10=2 \cdot (1+2+3+4+5)=30\text{sec}$

tempo totale per n strati di 1 m di altezza ciascuno per

$(100/20-1)$ manutenzioni:

$T=t \cdot S \cdot \text{Nmod}$ (da 1 ad Nmod) = $t \cdot \text{Nmod} \cdot (\text{Nmod}+1) / 2 / 3600 \cdot (100/20-1)$ h

dove Nmod=numero piani*3-1

Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $(53,858 \cdot L \cdot (\text{Nord}-1) / (10 \cdot 240 \cdot 8) \cdot (\text{Tord} / 2,5 \cdot L) \cdot (\text{Nord}-1) + 31,244 \cdot L / (10 \cdot 240 \cdot 8) \cdot (\text{Tord} / 2,5 \cdot L) \cdot (\text{Nord}-1)) \cdot (100/20-1) \cdot 30$ kgkm Trasporto trabattello: 30km

Elevatore $1/30000 \cdot t \cdot \text{Nmod} \cdot (\text{Nmod}+1) / 2 / 3600 \cdot (100/20-1)$ p Elevatore

durata di vita: 30000h

-motore:

53kg costituito per:

30%*53kg di acciaio da costruzione

20%*53kg di acciaio inossidabile

30%*53kg di rame

20%*53kg: di HDPE

-scala di guida in acciaio di altezza: $3m \cdot \text{numero di piani}$

Altezza dei ritti: Nord*1m

Ritti in tubolare di sezione: $0.05 \cdot 0.05$ m2 e spessore: 0.003m

Peso: $7.8 \cdot 0.05^4 \cdot 0.003 \cdot \text{Nord} \cdot 1^2$

Distanza tra i ritti: 0.8m

Distanza tra i pioli: 0.4m

pioli in tubolare di sezione: $0.03 \cdot 0.03$ m2 e spessore: 0.002m

numero di pioli: Nord*1m/0.4m

Peso: $7.8 \cdot 0.03^4 \cdot 0.002 \cdot 0.8 \cdot \text{Nord} \cdot 1 / 0.4$

-cestone in acciaio

Tempo di uso: $t \cdot \text{Nmod} \cdot (\text{Nmod}+1) / 2 \text{sec} / 3600 \text{sec/h}$

Peso totale: $0.053 + 0.06552 + 0.084864 = 0.20338t$

Le manutenzioni sono: $(100/20-1)$

Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $0,20338 \cdot (1/30000 \cdot t \cdot \text{Nord} \cdot (\text{Nord}+1) / 2 / 3600) \cdot (100/20+100/20-1) \cdot 30$ tkm Trasporto elevatore: 30km

Emissions to air
 Particulates, > 10 um $1/3 * 0,5 * m * (1 - 0,0002) * (1 - 0,0002) * L * Nord * (100/20 + 100/20 - 1) * ds3$ kg in ognuna delle 9 manutenzioni (m e totale) lo spessore m del terzo strato viene emesso in aria e in acqua
 si suppone che le dimensioni delle polveri si distribuisca in ugual misura nelle tre tipologie standard
 Dato: la granulometria dell'argilla è <4um
 Particulates, > 2.5 um, and < 10um $1/3 * 0,5 * m * (1 - 0,0002) * (1 - 0,0002) * L * Nord * (100/20 + 100/20 - 1) * ds3$ kg
 Particulates, < 2.5 um $1/3 * 0,5 * m * (1 - 0,0002) * (1 - 0,0002) * L * Nord * (100/20 + 100/20 - 1) * ds3$ kg

Emissions to water
 Solved solids $0,5 * m * (1 - 0,0002) * (1 - 0,0002) * L * Nord * (100/20 + 100/20 - 1) * ds3$ kg per ogni manutenzione (m e totale) lo spessore m del terzo strato viene emesso in aria e in acqua

Emissions to soil

Final waste flows

Non material emissions

Social issues

Economic issues

Waste to treatment

Input parameters
 m 0,00002 No spessore del terzo strato che viene impiegato per la manutenzione
 n 0,001 No spessore del secondo strato che viene impiegato per la manutenzione
 p 2 No numero di piani dell'edificio
 v 0,5 No velocità di elevazione dei materiali sul trabattello: m/sec
 h 1 No altezza di ciascun ordine di intonaco: m
 Tord 0,333 No tempo necessario per l'applicazione di uno strato per 2.5*1m2: h
 s1 0,016 No spessore del primo strato: m
 s2 0,01 No spessore del secondo strato: m
 s3 0,002 No spessore del terzo strato: m
 L 2,5 No lunghezza del trabattello e dell'ordine: m

Calculated parameters
 Nord p^3 numero di ordini di intonaco di area 2.5m2
 t h/v tempo necessario per sollevare i materiali di h: sec
 V1 $(1 - 0,005) * (1 - 0,005) * (s1 - 0,005/1 * s1) * L * Nord$ Volume del primo strato:m3
 Pb $(0,22 + 1 * (1 - 0,8)) * L * Nord$ Peso della barbottina:kg
 V2 $(1 - 0,005) * (1 - 0,005) * (s2 - 0,005/1 * s2) * L * Nord$ Volume del secondo strato:m3

$V3 = (1-0,0002) * (1-0,0002) * (s3-0,0002/1*s3) * L * Nord$
 Volume del terzo strato:m3
 Nmod Nord-1
 numero di moduli del trabattello
 ds1 31,236/0,015761
 peso 1° strato essiccato: $41.1-10.96*0.9=31.236\text{kg/m}^2$ con spessore 0.016m
 volume 1° strato essiccato: 0.015761m3/m2 con spessore 0.016m
 ds2 18,387/0,0098507
 peso 2° strato essiccato: $21.94-3.74*0.95=18.387\text{kg/m}^2$ con spessore 0.01m
 volume 1° strato essiccato: 0,0098507m3/m2 con spessore 0.01m
 ds3 3,67/ 0,0019988
 peso 3° strato essiccato: $4.87-1.2=3.67\text{kg/m}^2$ con spessore 0.002m
 volume 1° strato essiccato: 0.0019988m3/m2 con spessore 0.002m

Database Input parameters

Database Calculated parameters

Project Input parameters

Project Calculated parameters

Tabella 6-78 Il processo Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato)

Il calcolo viene effettuato per una Unità Funzionale di 1m2 con il Metodo IMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10.

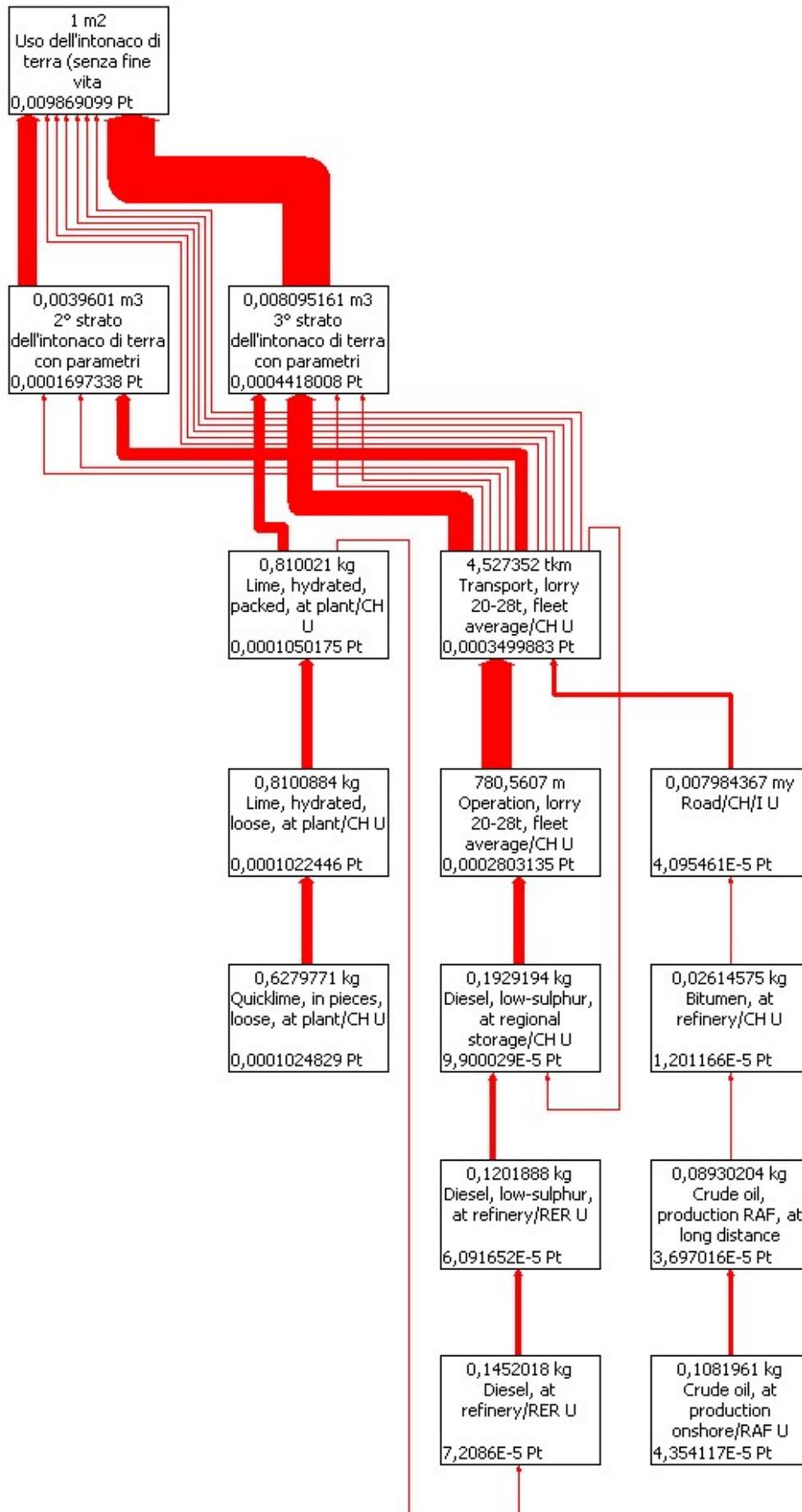


Figura 6-18: Il network secondo IMPACT con un cut-off del 0.44% del processo Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato)

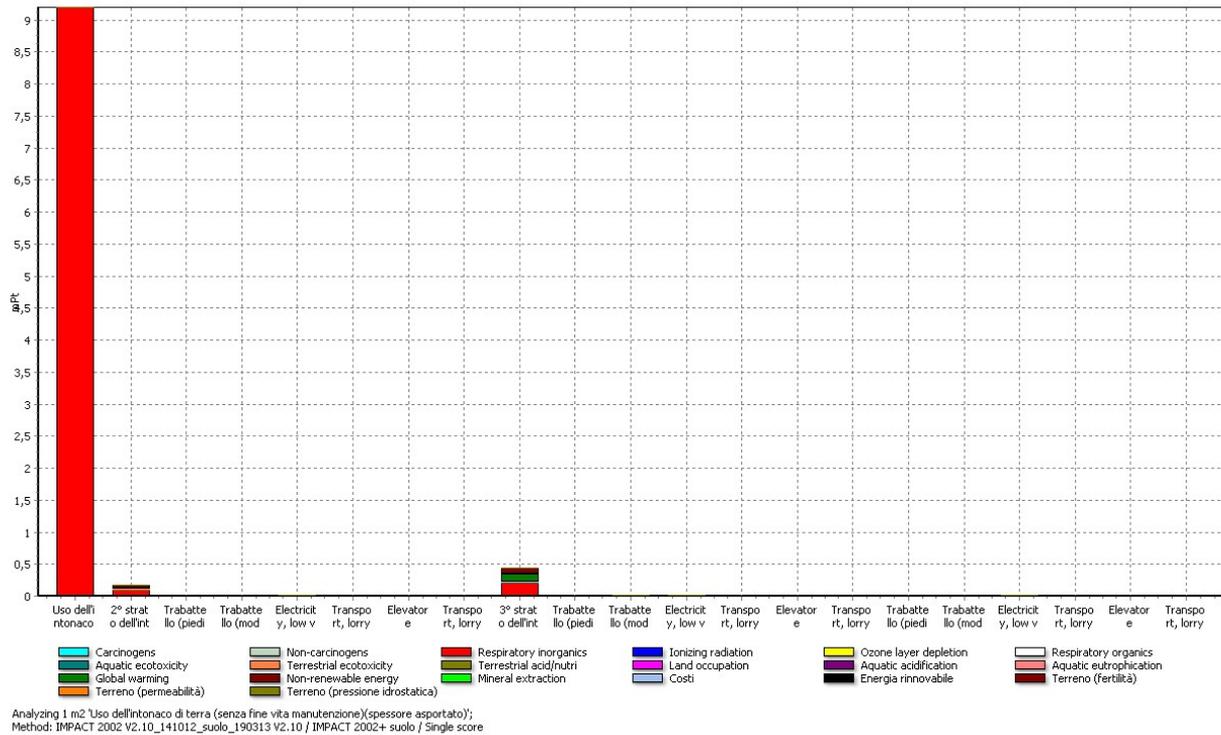


Figura 6-19: Il diagramma della valutazione per single score secondo IMPACT del processo Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato)

Simapro 7.3 Impact assessment Date: 04/06/2013 Time: 16.41.40
Project Intonaco terra

Calculation: Analyze
Results: Impact assessment
Product: 1 m2 Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato) (of project Intonaco terra)
Method: IMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10 / IMPACT 2002+ suolo
Indicator: Single score
Unit: mPt
Skip categories: Never
Exclude infrastructure processes: No
Exclude long-term emissions: No
Per impact category: Yes
Sorted on item: Impact category
Sort order: Ascending

Impact category	Unit	Total	Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato)	2° strato dell'intonaco di terra con parametri Trabattello (piedi e asse)	Trabattello (modulo per 1 ordine)	3° strato dell'intonaco di terra con parametri Trabattello (piedi e asse)
Electricity, low voltage, at grid/IT U	Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	Elevatore	Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	Trabattello (modulo per 1 ordine)	Electricity, low voltage, at grid/IT U	Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	Trabattello (piedi e asse)	Trabattello (modulo per 1 ordine)	Electricity, low voltage, at grid/IT U	Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	Elevatore	Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U

Total Pt	0,0098690992	0,0091998703	0,00016973375	4,1763699E-8
	5,043738E-6	8,4277288E-6	4,0893208E-8	2,094105E-8
	3,5457678E-11			
	0,00044180082	9,3968323E-8	1,134841E-5	1,896239E-5
	9,2009719E-8			
	4,7117362E-8	7,9779776E-11	4,1763699E-8	5,043738E-6
	8,4277288E-6	4,0893208E-8	2,094105E-8	1,1169169E-10
Carcinogens Pt	4,2170504E-6	0	8,4627613E-7	9,4548965E-10
	3,0049147E-7	3,5147819E-8	2,6740093E-10	8,8480266E-10
	2,3185797E-13	1,9353906E-6	2,1273517E-9	6,7610581E-7
	7,9082593E-8	6,016521E-10	1,990806E-9	5,2168044E-13
	9,4548965E-10	3,0049147E-7	3,5147819E-8	2,6740093E-10
	8,8480266E-10	7,3035261E-13		
Non-carcinogens Pt	5,3177731E-6	0	1,1846641E-6	9,8617686E-10
	2,3623965E-7	5,415104E-8	3,8750593E-10	8,7466376E-10
	3,359986E-13	2,889391E-6	2,2188979E-9	5,3153921E-7
	1,2183984E-7	8,7188835E-10	1,9679935E-9	7,5599685E-13
	9,8617686E-10	2,3623965E-7	5,415104E-8	3,8750593E-10
	8,7466376E-10	1,0583956E-12		
Respiratory inorganics Pt	0,0095111766	0,0091998703		9,1720811E-5
	1,4051853E-8	2,2463107E-6	2,0997353E-6	1,6323726E-8
	9,9984008E-9	1,4153974E-11	0,00020094308	3,161667E-8
	5,0541991E-6	4,7244044E-6	3,6728383E-8	2,2496402E-8
	3,1846442E-11	1,4051853E-8	2,2463107E-6	2,0997353E-6
	1,6323726E-8	9,9984008E-9	4,4585019E-11	
Ionizing radiation Pt	5,4982133E-7	0	1,1211776E-7	
	9,3008463E-11	5,4404135E-9	1,60382E-8	2,7234514E-11
	2,1380484E-11	2,3614499E-14	3,4581741E-7	2,0926904E-10
	1,224093E-8	3,6085949E-8	6,1277655E-11	4,8106089E-11
	5,3132623E-14	9,3008463E-11	5,4404135E-9	1,60382E-8
	2,7234514E-11	2,1380484E-11	7,4385672E-14	
Ozone layer depletion Pt	3,0043614E-8	0	7,2524505E-9	
	1,1039413E-12	7,3346027E-11	3,7009064E-10	2,4252414E-12
	2,7050439E-13	2,102878E-15	2,0890395E-8	2,483868E-12
	1,6502856E-10	8,3270395E-10	5,4567931E-12	6,0863487E-13
	4,7314756E-15	1,1039413E-12	7,3346027E-11	3,7009064E-10
	2,4252414E-12	2,7050439E-13	6,6240658E-15	
Respiratory organics Pt	2,9477743E-7	0	8,0903438E-8	
	2,2840337E-11	1,0005712E-9	1,6526075E-9	2,679758E-11
	4,650807E-12	2,3235642E-14	2,0236711E-7	5,1390759E-11
	2,2512852E-9	3,7183669E-9	6,0294554E-11	1,0464316E-11
	5,2280195E-14	2,2840337E-11	1,0005712E-9	1,6526075E-9
	2,679758E-11	4,650807E-12	7,3192273E-14	
Aquatic ecotoxicity Pt	4,0188771E-7	0	9,3428806E-8	
	3,5211586E-11	3,8953951E-9	7,1404879E-9	2,1672827E-11
	3,2473064E-11	1,8792073E-14	2,6117651E-7	7,9226068E-11
	8,7646391E-9	1,6066098E-8	4,8763862E-11	7,3064394E-11
	4,2282164E-14	3,5211586E-11	3,8953951E-9	7,1404879E-9
	2,1672827E-11	3,2473064E-11	5,9195029E-14	
Terrestrial ecotoxicity Pt	2,3551238E-5	0	6,5104068E-6	
	1,7601233E-9	1,5114696E-7	4,0360463E-7	2,2160988E-9
	1,7471968E-9	1,9215347E-12	1,46588E-5	3,9602774E-9
	3,4008065E-7	9,0811042E-7	4,9862223E-9	3,9311928E-9
	4,3234531E-12	1,7601233E-9	1,5114696E-7	4,0360463E-7
	2,2160988E-9	1,7471968E-9	6,0528343E-12	
Terrestrial acid/nutri Pt	3,7109791E-6	0	1,1139554E-6	
	1,4033904E-10	1,0965086E-8	3,1798043E-8	3,6512694E-10
	5,579941E-11	3,1659423E-13	2,412893E-6	3,1576285E-10
	2,4671443E-8	7,1545596E-8	8,2153561E-10	1,2554867E-10
	7,1233701E-13	1,4033904E-10	1,0965086E-8	3,1798043E-8
	3,6512694E-10	5,579941E-11	9,9727181E-13	
Land occupation Pt	3,0775659E-6	0	8,0326998E-7	3,596986E-9
	1,2754158E-8	1,3408173E-8	1,234102E-10	5,2054177E-11
	1,070065E-13	2,1470724E-6	8,0932184E-9	2,8696856E-8

		3,0168389E-8	2,7767295E-10	1,171219E-10	2,4076463E-13				
		3,596986E-9	1,2754158E-8	1,3408173E-8	1,234102E-10				
		5,2054177E-11	3,370705E-13						
Aquatic acidification	Pt	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-
Aquatic eutrophication	Pt	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-
Global warming	Pt	0,00017046375	0	3,0661465E-5	8,7026587E-9				
		1,0397816E-6	2,8069787E-6	1,001383E-8	3,4009653E-9				
		8,6827906E-12	0,0001233595	1,9580982E-8	2,3395086E-6				
		6,3157021E-6	2,2531117E-8	7,6521719E-9	1,9536279E-11				
		8,7026587E-9	1,0397816E-6	2,8069787E-6	1,001383E-8				
		3,4009653E-9	2,735079E-11						
Non-renewable energy	Pt	0,00014387244	0	3,4356213E-5					
		1,1393136E-8	1,0272327E-6	2,9508179E-6	1,1108628E-8				
		3,7917065E-9	9,6320683E-12	9,2497705E-5	2,5634556E-8				
		2,3112737E-6	6,6393403E-6	2,4994414E-8	8,5313396E-9				
		2,1672154E-11	1,1393136E-8	1,0272327E-6	2,9508179E-6				
		1,1108628E-8	3,7917065E-9	3,0341015E-11					
Mineral extraction	Pt	2,2756563E-7	0	4,3076395E-8					
		3,356944E-11	8,2552844E-9	6,8447092E-9	8,5582935E-12				
		7,6183856E-11	7,4207242E-15	1,1981139E-7	7,553124E-11				
		1,857439E-8	1,5400596E-8	1,925616E-11	1,7141368E-10				
		1,6696629E-14	3,356944E-11	8,2552844E-9	6,8447092E-9				
		8,5582935E-12	7,6183856E-11	2,3375281E-14					
Costi	Pt	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0
Energia rinnovabile	Pt	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0
Terreno (fertilità)	Pt	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0
Terreno (permeabilità)	Pt	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0
Terreno (pressione idrostatica)	Pt	2,2076675E-6	0	2,1999133E-6					
		1,2023607E-12	1,5061724E-10	4,1071353E-11	7,9274195E-13				
		5,0153703E-13	6,873706E-16	6,9289809E-9	2,7053115E-12				
		3,388888E-10	9,2410545E-11	1,7836694E-12	1,1284583E-12				
		1,5465838E-15	1,2023607E-12	1,5061724E-10	4,1071353E-11				
		7,9274195E-13	5,0153703E-13	2,1652174E-15					

Tabella 6-79 La valutazione secondo IMPACT del processo Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato)

Dall'analisi dei risultati della valutazione si nota che.

- il danno totale vale 0.009869099 Pt dovuto per il 93.22% a Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato), per l'1.72% a 2° strato dell'intonaco di terra con parametri, per il 4.48% a 3° strato dell'intonaco di terra con parametri.
- Inoltre il danno è dovuto per il 96.48% a **Human health**, per lo 0.31% a **Ecosystem quality**, per l'1.73% a **Climate change**, per l'1.46% a **Resources**, per il 0.022% a **Terreno (pressione idrostatica)**.
- In **Human Health** il danno vale 0.009521586 Pt ed è dovuto per il 58.28% a *Particulates*, <2.5µm (in particolare per il 97.94% in Uso dell'intonaco con parametri (senza fine vita manutenzione)), per il 31.16% a *Particulates*, >2.5µm, and < 10µm (in particolare per il 98.13% in Uso dell'intonaco con parametri (senza fine vita manutenzione)), per il 9.18% a *Particulates*, >10µm (in particolare per il 97.65% in Uso dell'intonaco con parametri (senza fine vita manutenzione)) e la categoria di impatto che produce il danno massimo è **Respiratory inorganics** (0.009511177 Pt per il 99.89% del totale).

- In **Ecosystem quality** il danno vale 3.074167E-5 ed è dovuto per 45.13% a *Zinc* nel suolo (per il 66.78% in 3° strato dell'intonaco di terra con parametri, e in particolare per il 96.69% in Operation, lorry 20-28t, fleet average/CH), per l'11.51% a *Nitrogen oxides* in aria (per il 65.44% in 3° strato dell'intonaco di terra con parametri e, in particolare per il 76.29% in Operation, lorry 20-28t, fleet average/CH), per il 10.43% a *Aluminium* nel suolo (per il 65.2% in 3° strato dell'intonaco di terra con parametri e, in particolare per il 98.59% in Disposal, drilling waste, 71.5% water, to landfarming/CH) e per l'8.31% a *Aluminium* in aria (per il 62.59% in 3° strato dell'intonaco di terra con parametri e, in particolare per il 90.54% in Blasting/RER). La categoria di impatto che produce il danno massimo è **Terrestrial ecotoxicity** (2.355124E-5 Pt, per il 76.61% del danno totale).
- In **Climate change** il danno vale 0.0001704637 Pt ed è dovuto per il 97.9% a *Carbon dioxide, fossil* in aria (per il 97.74% in 2° strato dell'intonaco di terra con parametri e, in particolare per il 67.53% in Operation, lorry 20-28t, fleet average/CH).
- In **Resources** il danno vale 0.0001441 Pt ed è dovuto per 71.67% a *Oil, crude, in ground* (per il 70.68% in 3° strato dell'intonaco di terra con parametri, e in particolare per il 33.95% in Crude oil, at production onshore/RAF), per il 12.43% a *Gas natural, in ground* (per il 43.4% in 3° strato dell'intonaco di terra con parametri e, in particolare per il 40.4% in Natural gas, sweet, burned in production flare/MJ/GLO) e per l'8.14% a *Uranium, in ground* (per il 63.07% in 3° strato dell'intonaco di terra con parametri e, in particolare per il 59.51% in Uranium natural, at underground mine /RNA). La categoria di impatto che produce il danno massimo è **Non-renewable energy** (0.0001438724 Pt per il 99.84% del danno totale).
- In **Terreno pressione idrostatica** il danno vale 2.207668E-6 Pt ed è dovuto per il 100% a *Clay, unspecified, in ground* (per il 99.67% in 2° strato dell'intonaco di terra con parametri, e, in particolare per il 99.65% in Clay, at mine/CH).

6.3.4.1 Conclusioni

- Il danno massimo si ha in **Human Health** ed è dovuto alle emissioni legate al deterioramento conseguente agli agenti atmosferici.
- Il danno dovuto alle emissioni può essere stato sopravvalutato dalla ripartizione delle stesse in tre parti uguali nelle tre diverse tipologie di dimensioni standard.

6.3.5 Analisi del fine vita

Il processo studiato è Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato) che si trova seguendo il seguente percorso:

SimaPro 7.3.2 (ENEA)/Simapro 732/Neri/paolo/Intonaco terra/Processing/Others/Rizzo/processi definitivi.

SimaPro 7.3 processes Date: 04/06/2013 Time: 17.39.24
Project Intonaco terra

Process

Category type processing
Process identifier ENEA271419479600209
Type
Process name
Status
Time period Unspecified
Geography Unspecified
Technology Unspecified

Representativeness Unspecified
Multiple output allocation Unspecified
Substitution allocation Unspecified
Cut off rules Unspecified
Capital goods Unspecified
Boundary with nature Unspecified
Infrastructure No
Date 05/03/2013
Record
Generator Rizzo-Neri
Literature references
Collection method
Data treatment
Verification
Comment Fine vita di un intonaco di area: 2.5*Nord
Il fine vita comprende sia quello finale che quello che avviene durante la manutenzione
Allocation rules
System description

Products

Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato) L*Nord m2 100 not defined Others\Rizzo\Processi definitivi
Fine vita di un intonaco di area: 2.5*Nord
Il fine vita comprende sia quello finale che quello che avviene durante la manutenzione

Avoided products

Resources

Materials/fuels

Electricity/heat

Emissions to air

Emissions to water

Emissions to soil

Final waste flows

Non material emissions

Social issues

Economic issues

Waste to treatment

Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U) $(V1*ds1+V2*ds2+(1-0,0002)*(1-0,0002)*((s3-0,0002/1*s3)-m)*ds3)+Pb$ kg Fine vita al centesimo anno
peso totale di 1m2 dei tre strati di intonaco senza emissioni:
 $31.236+18.387+0.42+3.67=53.713$ kg
Al centesimo anno il terzo strato ha disperso nell'ambiente
uno spessore pari a m e quindi deve essere smaltito lo spessore $(s3-0,0002/1*s3)-m$
Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U) $((s3-0,0002/1*s3)-m)*(1-0,0002)*(1-0,0002)*L*Nord*(100/20-1)*ds3+n*(1-0,0002)*(1-0,0002)*L*Nord*(100/20-1)*ds2$ kg

Per $(100/20-1)$ manutenzioni del terzo strato lo spessore dell'intonaco rimasto $(s3-0,0002/1*s3)-m$ viene asportato e condotto al fine vita. Per effettuare la rimozione è necessario l'uso del trabattello e dell'elevatore $(100/20-1)$: asportazioni di tutto lo strato che devono essere smaltite durante l'uso - 1 strato che viene smaltito nel fine vita
 Si considerano anche il fine vita di uno spessore n del secondo strato che durante l'asportazione del terzo strato viene rimosso.

Input parameters

m 0,00002 No
 spessore del terzo strato che viene impiegato per la manutenzione
 n 0,001 No
 spessore del secondo strato che viene impiegato per la manutenzione
 p 2 No
 numero di piani dell'edificio
 v 0,5 No
 velocità di elevazione dei materiali sul trabattello: m/sec
 h 1 No
 altezza di ciascun ordine di intonaco: m
 Tord 0,20 No
 tempo necessario per l'applicazione di uno strato per $2.5*1m^2$: h
 s1 0,016 No
 spessore del primo strato: m
 s2 0,01 No
 spessore del secondo strato: m
 s3 0,002 No
 spessore del terzo strato: m
 L 2,5 No
 Lunghezza del trabattello e dell'ordine

Calculated parameters

Nord p^3
 numero di ordini di intonaco di area $2.5m^2$
 t h/v
 tempo necessario per sollevare i materiali di h: sec
 V1 $(1-0,005)*(1-0,005)*(s1-0,005/1*s1)*L*Nord$
 Volume del primo strato: m^3
 Pb $(0,22+1*(1-0,8))*L*Nord$
 Peso della barbottina:kg
 V2 $(1-0,005)*(1-0,005)*(s2-0,005/1*s2)*L*Nord$
 Volume del secondo strato: m^3
 V3 $(1-0,0002)*(1-0,0002)*(s3-0,0002/1*s3)*L*Nord$
 Volume del terzo strato: m^3
 Nmod Nord-1
 numero di moduli del trabattello
 ds1 31,236/0,015761
 peso 1° strato essiccato: $41.1-10.96*0.9=31.236kg/m^2$ con spessore 0.016m
 volume 1° strato essiccato: $0.015761m^3/m^2$ con spessore 0.016m
 ds2 18,387/0,0098507
 peso 2° strato essiccato: $21.94-3.74*0.95=18.387kg/m^2$ con spessore 0.01m
 volume 1° strato essiccato: $0,0098507m^3/m^2$ con spessore 0.01m
 ds3 3,67/ 0,0019988
 peso 3° strato essiccato: $4.87-1.2=3.67kg/m^2$ con spessore 0.002m
 volume 1° strato essiccato: $0.0019988m^3/m^2$ con spessore 0.002m

Database Input parameters

Database Calculated parameters

Project Input parameters

Project Calculated parameters

Tabella 6-80 Il processo Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato)

Il calcolo viene effettuato per una Unità Funzionale di 1m2 con il Metodo IMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10.

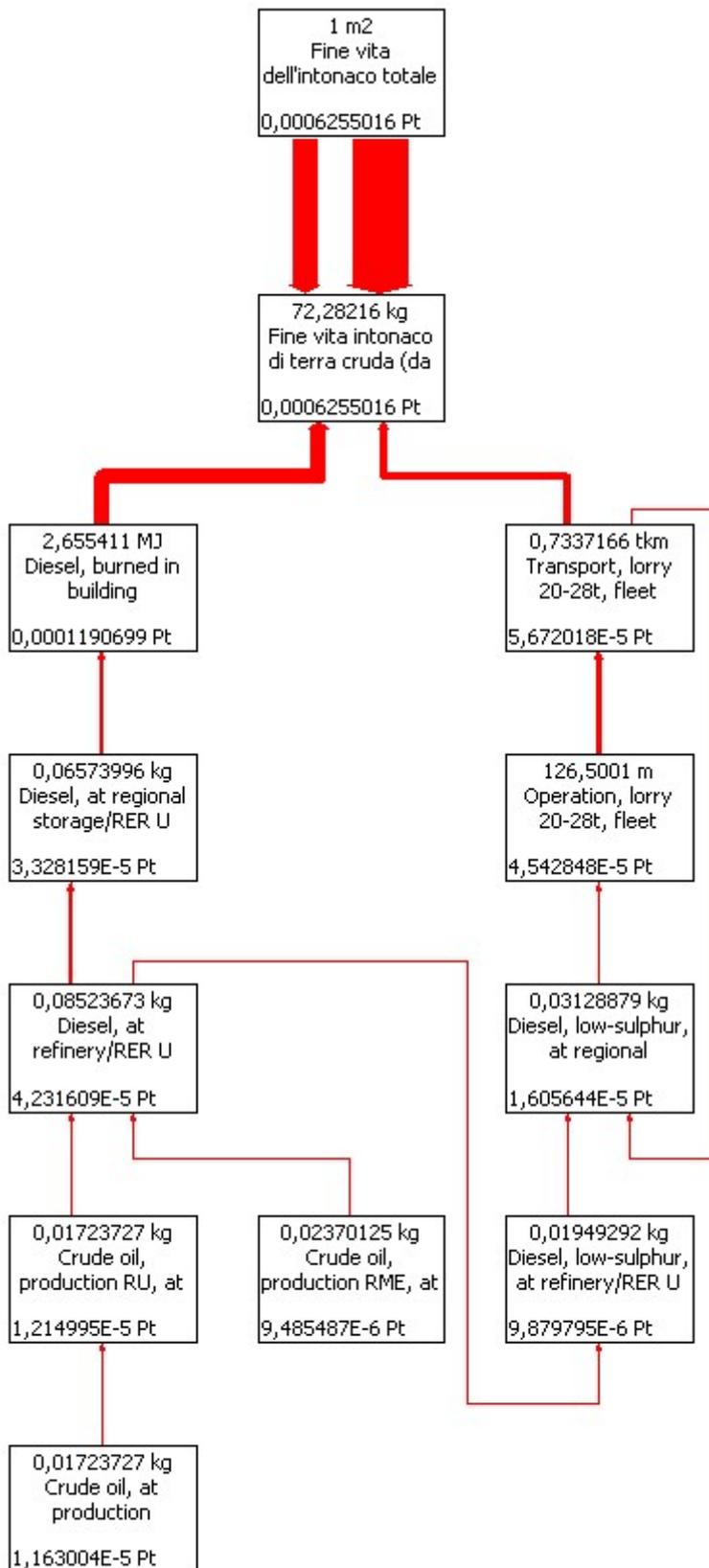


Figura 6-20: Il network secondo IMPACT con un cut-off dell'1.5% del processo Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato)

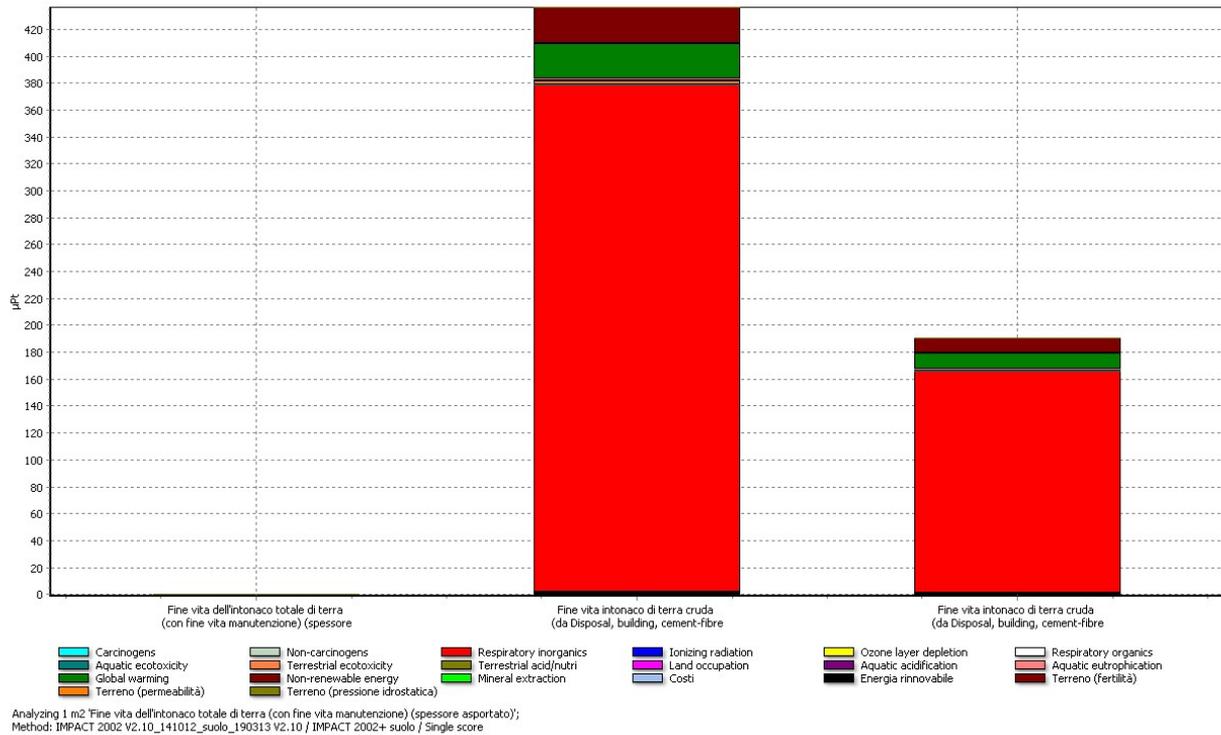


Figura 6-21: Il diagramma della valutazione per single score secondo IMPACT del processo Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato)

SimaPro 7.3 Impact assessment Date: 04/06/2013 Time: 17.41.17
 Project Intonaco terra

Calculation: Analyze
 Results: Impact assessment
 Product: 1 m2 Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato) (of project Intonaco terra)
 Method: IMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10 / IMPACT 2002+ suolo
 Indicator: Single score
 Unit: μPt
 Skip categories: Never
 Exclude infrastructure processes: No
 Exclude long-term emissions: No
 Per impact category: Yes
 Sorted on item: Impact category
 Sort order: Ascending

Impact category	Unit	Total	Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato)	Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U)	Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U)
Total Pt		0,00062550157	0	0,00043515282	0,00019034875
Carcinogens	Pt	1,0239751E-6	0	7,1236539E-7	3,1160974E-7
Non-carcinogens	Pt	8,8374282E-7	0	6,148077E-7	2,6893512E-7
Respiratory inorganics	Pt	0,00054243854	0	0,00037736702	0,00016507152
Ionizing radiation	Pt	5,9113368E-8	0	4,1124355E-8	1,7989013E-8

Ozone layer depletion	Pt	7,7461837E-9	0	5,3889133E-9	
2,3572705E-9					
Respiratory organics	Pt	1,1269338E-7	0	7,8399232E-8	
3,4294149E-8					
Aquatic ecotoxicity	Pt	6,6289484E-8	0	4,6116681E-8	
2,0172804E-8					
Terrestrial ecotoxicity	Pt	4,4102068E-6	0	3,0681201E-6	
1,3420867E-6					
Terrestrial acid/nutri	Pt	1,7023792E-6	0	1,1843218E-6	
5,1805746E-7					
Land occupation	Pt	-1,8742358E-6	0	-1,30388E-6	-5,7035577E-7
Aquatic acidification	Pt	-	-	-	-
Aquatic eutrophication	Pt	-	-	-	-
Global warming	Pt	3,7671708E-5	0	2,6207688E-5	1,146402E-5
Non-renewable energy	Pt	3,8972153E-5	0	2,711239E-5	1,1859763E-5
Mineral extraction	Pt	2,5933696E-8	0	1,8041715E-8	
7,8919812E-9					
Costi	Pt	0	0	0	0
Energia rinnovabile	Pt	0	0	0	0
Terreno (fertilità)	Pt	0	0	0	0
Terreno (permeabilità)	Pt	0	0	0	0
Terreno (pressione idrostatica)	Pt	1,3203634E-9	0	9,1855864E-10	
4,0180479E-10					

Tabella 6-81 La valutazione secondo IMPACT del processo Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato)

Dall'analisi dei risultati della valutazione si nota che.

- il danno totale vale 0.0006255016 Pt dovuto per il 69.57% a Fine vita intonaco di terra cruda(da Disposal building, cement-fibre slab, to final disposal/CH) che rappresenta il fine vita al centesimo anno, per il 30.43% a Fine vita intonaco di terra cruda(da Disposal building, cement-fibre slab, to final disposal/CH) che rappresenta il fine vita delle manutenzioni.
- Inoltre il danno è dovuto per l'87.05% a **Human health**, per lo 0.69% a **Ecosystem quality**, per il 6.02% a **Climate change**, per il 6.23% a **Resources**, per lo 0.0002% a **Terreno (pressione idrostatica)**.
- In **Human Health** il danno vale 0.0005445258 Pt ed è dovuto per il 44.96% a *Particulates, >2.5µm, and < 10µm* in aria (per il 69.57% in Fine vita intonaco di terra cruda(da Disposal building, cement-fibre slab, to final disposal/CH) e, in particolare per il 98.98% in Fine vita intonaco di terra cruda(da Disposal building, cement-fibre slab, to final disposal/CH)), per il 27.34% a *Particulates, <2.5µm* (per il 69.57% in Fine vita intonaco di terra cruda(da Disposal building, cement-fibre slab, to final disposal/CH) e, in particolare per il 79.55% in Fine vita intonaco di terra cruda(da Disposal building, cement-fibre slab, to final disposal/CH)), per il 17.41% a *Particulates, >10µm* (per il 69.57% in Fine vita intonaco di terra cruda(da Disposal building, cement-fibre slab, to final disposal/CH) e, in particolare per il 98.72% in Fine vita intonaco di terra cruda(da Disposal building, cement-fibre slab, to final disposal/CH)), per il 9.19% a *Nitrogen oxides* in aria (per il 67.57% in Fine vita intonaco di terra cruda(da Disposal building, cement-fibre slab, to final disposal/CH) e, in particolare per il 68.64% in Diesel, burned in bulding machine/GLO). La categoria di impatto che produce il danno massimo è **Respiratory inorganics** (0.0005424385 Pt per il 99.72% del totale).
- In **Ecosystem quality** il danno vale 4.30464E-6 ed è dovuto per 54.45% a *Zinc* nel suolo (per il 69.57% in Fine vita intonaco di terra cruda(da Disposal building, cement-fibre slab, to final disposal/CH) e, in particolare per il 92.62% in Operation, lorry 20-28t, fleet average/CH)), per il 38.57% a *Nitrogen oxides* in aria, per il 31.2% a *Aluminium* nel suolo (per il 69.57% in Fine vita intonaco di terra cruda(da Disposal building, cement-fibre

slab, to final disposal/CH) e, in particolare per il 99.46% in Disposal, drilling waste, 71.5% water, to landfarming/CH). La categoria di impatto che produce il danno massimo è **Terrestrial ecotoxicity** (4.410207E-6, per il 102.45% del danno totale).

- In **Climate change** il danno vale 3.767171E-5 Pt ed è dovuto per il 98.06% a *Carbon dioxide, fossil* in aria (per il 69.57% in Fine vita intonaco di terra cruda(da Disposal building, cement-fibre slab, to final disposal/CH e, in particolare per il 53% in Diesel, burned in bulding machine/GLO)).
- In **Resources** il danno vale 3.899809E-5 Pt ed è dovuto per il 86.22% a *Oil, crude, in ground* (per il 69.57% in Fine vita intonaco di terra cruda(da Disposal building, cement-fibre slab, to final disposal/CH, e in particolare per il 23.74% in Crude oil, at production onshore/RAF) e la categoria di impatto che produce il danno massimo è **Non-renewable energy** (3.897215E-5 Pt per il 99.93% del danno totale).
- In **Terreno pressione idrostatica** il danno vale 1.320363E-9 Pt ed è dovuto per il 100% a *Clay, unspecified, in ground* (per il 69.57% in Fine vita intonaco di terra cruda(da Disposal building, cement-fibre slab, to final disposal/CH, e, in particolare per il 99.93% in Clay, at mine/CH).

6.3.5.1 Conclusioni

- Il danno è dovuto per il 69.57% al fine vita dell'intonaco dopo 100 anni, e per il 30.43% al fine vita di tutti i materiali asportati in manutenzione nel corso dei 100 anni di vita dell'intonaco. Inoltre il danno ricade per l'87.05% nella categoria di danno **Human health** a causa del particolato (*Particulates, >2.5µm, and < 10µm*) emesso in aria durante l'abbattimento dell'edificio al 100° anno.
- Il questo caso il rapporto tra il danno dovuto alla dismissione dell'intonaco al centesimo anno e quello dovuto alla dismissione del materiale smaltito durante la manutenzione è uguale al rapporto tra i pesi dei materiali trattati, perché il processo usato è lo stesso.

6.3.6 Analisi del ciclo di vita dell'intonaco

Il processo studiato è Intonaco in terra cruda che si trova seguendo il seguente percorso: SimaPro 7.3.2 (ENEA)/Simapro 732/Neri/paolo/Intonaco terra/Processing/Others/Rizzo/processi definitivi.

SimaPro 7.3 processes Date: 07/06/2013 Time: 11.16.15
Project Intonaco terra

Process

Category type processing
Process identifier ENEA271419479600149
Type
Process name
Status
Time period Unspecified
Geography Unspecified
Technology Unspecified
Representativeness Unspecified
Multiple output allocation Unspecified
Substitution allocation Unspecified
Cut off rules Unspecified
Capital goods Unspecified

Boundary with nature Unspecified

Infrastructure No

Date 05/03/2013

Record

Generator Rizzo-Neri

Literature references

Collection method

Data treatment

Verification

Comment Il ciclo di vita dell'intonaco in terra cruda

spessori

strato s1: 0.016m

strato s2: 0.01

strato s3: 0.002

Allocation rules

System description

Products

Intonaco in terra cruda L*Nord m2 100 not defined Others\Rizzo\Processi

definitivi Il ciclo di vita dell'intonaco in terra cruda

spessori

strato s1: 0.016m

strato s2: 0.01

strato s3: 0.002

Avoided products

Resources

Materials/fuels

Electricity/heat

Produzione dell'intonaco di terra L*Nord m2

Messa in opera dell'intonaco di terra L*Nord m2

Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione) (spessore asportato)

L*Nord m2 Contiene il fine vita degli strati rimossi durante la manutenzione

Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato) L*Nord m2

Emissions to air

Emissions to water

Emissions to soil

Final waste flows

Non material emissions

Social issues

Economic issues

Waste to treatment

Input parameters

m 0,00002 No

spessore del terzo strato che viene impiegato per la manutenzione

n 0,001 No

spessore del secondo strato che viene impiegato per la manutenzione

p 2 No
 numero di piani dell'edificio
 v 0,5 No
 velocità di elevazione dei materiali sul trabattello: m/sec
 h 1 No
 altezza di ciascun ordine di intonaco: m
 Tord 0,20 No
 tempo necessario per l'applicazione di uno strato per 2.5*1m2: h
 L 2,5 No
 lunghezza del trabattello e dell'ordine: m
 s1 0,016 No
 spessore del primo strato: m
 s2 0,01 No
 spessore del secondo strato: m
 s3 0,002 No
 spessore del terzo strato: m

Calculated parameters

Nord p^3
 numero di ordini di intonaco di area 2.5m2
 t h/v
 tempo necessario per sollevare i materiali di h: sec
 Nmod Nord-1
 numero di moduli del trabattello
 ds1 31,236/0,015761
 peso 1° strato essiccato: $41.1-10.96*0.9=31.236\text{kg/m}^2$ con spessore 0.016m
 volume 1° strato essiccato: $0.015671\text{m}^3/\text{m}^2$ con spessore 0.016m
 ds2 18,387/0,0098507
 peso 2° strato essiccato: $21.94-3.74*0.95=18.387\text{kg/m}^2$ con spessore 0.01m
 volume 1° strato essiccato: $0,0098507\text{m}^3/\text{m}^2$ con spessore 0.01m
 ds3 3,67/ 0,0019988
 peso 3° strato essiccato: $4.87-1.2=3.67\text{kg/m}^2$ con spessore 0.002m
 volume 1° strato essiccato: $0.0019988\text{m}^3/\text{m}^2$ con spessore 0.002m

Database Input parameters

Database Calculated parameters

Project Input parameters

Project Calculated parameters

Tabella 6-82 Il processo Intonaco in terra cruda

Il calcolo viene effettuato per una Unità Funzionale di 1m2 con il Metodo IMPACT 2002
 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10.

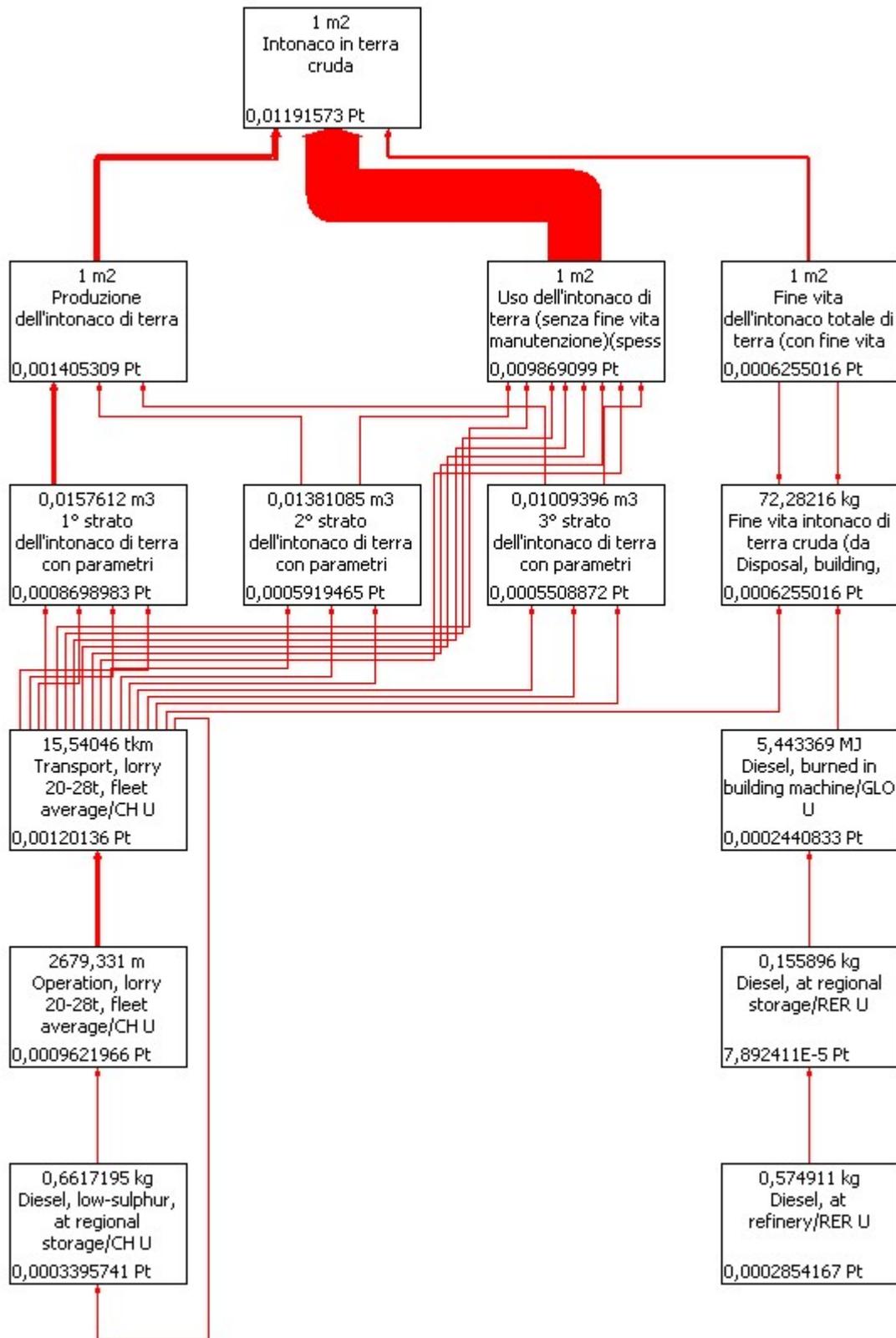


Figura 6-22: Il network secondo IMPACT con un cut-off del 3% del processo Intonaco in terra cruda

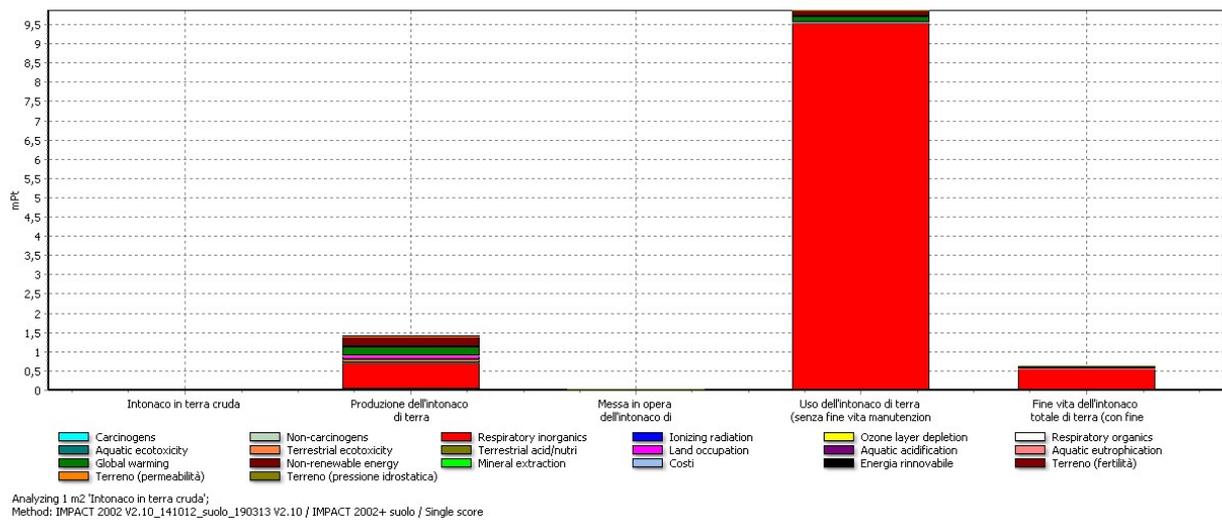


Figura 6-23: Il diagramma della valutazione per single score secondo IMPACT del processo Intonaco in terra cruda

SimaPro 7.3 Impact assessment Date: 07/06/2013 Time: 11.02.34
Project Intonaco terra

Calculation: Analyze
Results: Impact assessment
Product: 1 m2 Intonaco in terra cruda (of project Intonaco terra)
Method: IMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10 / IMPACT 2002+ suolo
Indicator: Weighting
Unit: mPt
Skip categories: Never
Exclude infrastructure processes: No
Exclude long-term emissions: No
Per impact category: Yes
Sorted on item: Impact category
Sort order: Ascending

Impact category	Unit	Total Intonaco in terra cruda	Produzione dell'intonaco di terra	Messa in opera dell'intonaco di terra	Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione) (spessore asportato)	Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato)
Total Pt		0,011915726	0	0,0014053089	1,5816025E-5	0,0098690992
		0,00062550157				
Carcinogens	Pt	1,2108635E-5	0	6,5879145E-6	2,7969498E-7	
		4,2170503E-6	1,0239751E-6			
Non-carcinogens	Pt	2,5751658E-5	0	1,9291766E-5	2,5837645E-7	
		5,317773E-6	8,8374282E-7			
Respiratory inorganics	Pt	0,010732768	0	0,00067444548	4,7073727E-6	
		0,0095111766	0,00054243854			
Ionizing radiation	Pt	1,3684606E-6	0	7,3253709E-7		
		2,6988848E-8	5,4982133E-7	5,9113368E-8		
Ozone layer depletion	Pt	9,2048776E-8	0	5,3678847E-8		
		5,8013122E-10	3,0043614E-8	7,7461837E-9		
Respiratory organics	Pt	1,0038372E-6	0	5,9317587E-7		
		3,1905048E-9	2,9477743E-7	1,1269338E-7		
Aquatic ecotoxicity	Pt	1,2386065E-6	0	7,5731201E-7		
		1,3117338E-8	4,0188771E-7	6,6289484E-8		
Terrestrial ecotoxicity	Pt	0,0001151173	0	8,2860983E-5		
		6,8930452E-7	2,3551238E-5	4,4102068E-6		

Terrestrial acid/nutri	Pt	1,4185645E-5	0	8,7185979E-6		
		5,3689085E-8	3,7109791E-6	1,7023792E-6		
Land occupation	Pt	8,6902857E-5	0	8,5654869E-5	4,4655363E-8	
		3,077568E-6	-1,8742358E-6			
Aquatic acidification	Pt	-	-	-	-	-
Aquatic eutrophication	Pt	-	-	-	-	-
Global warming	Pt	0,00045581218	0	0,00024291788	4,7588511E-6	
		0,00017046375	3,7671708E-5			
Non-renewable energy	Pt	0,00044004842	0	0,00025223979		
		4,9640381E-6	0,00014387244	3,8972153E-5		
Mineral extraction	Pt	6,113684E-7	0	3,4188039E-7	1,5988693E-8	
		2,2756562E-7	2,5933696E-8			
Costi	Pt	0	0	0	0	0
Energia rinnovabile	Pt	0	0	0	0	0
Terreno (fertilità)	Pt	0	0	0	0	0
Terreno (permeabilità)	Pt	0	0	0	0	0
Terreno (pressione idrostatica)	Pt	3,2322172E-5	0	3,203634E-9	3,0113007E-5	
		1,7684586E-10	2,2076675E-6			

Tabella 6-83 La valutazione secondo IMPACT del processo Intonaco in terra cruda

Dall'analisi dei risultati della valutazione si nota che.

- il danno totale vale 0.01191573 Pt ed è dovuto per l'11.79% a Produzione dell'intonaco di terra, per lo 0.13% a Messa in opera dell'intonaco di terra, per l'82.82% a Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione) (spessore asportato), per il 5.25% a Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato).
- Inoltre il danno è dovuto per il 90.41% a **Human health**, per l'1.79% a **Ecosystem quality**, per il 3.83% a **Climate change**, per il 3.7% a **Resources**, per lo 0.27% a **Terreno (pressione idrostatica)**.
- In **Human Health** il danno vale 0.01077309 Pt ed è dovuto per il 55.31% a *Particulates, <2.5µm* (per il 93.12% in Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione) (spessore asportato)) e, in particolare per il 97.94% in Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione) (spessore asportato)), per il 30.87% a *Particulates, >2.5µm, and < 10µm* in aria (per l'89.22% in Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione) (spessore asportato)) e, in particolare per il 98.13% in Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione) (spessore asportato)), per il 9.35% a *Particulates, >10µm* (per l'86.85% in Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione) (spessore asportato)) e, in particolare per il 97.65% in Uso dell'intonaco in terra (senza fine vita manutenzione) (spessore asportato)). La categoria di impatto che produce il danno massimo è **Respiratory inorganics** (0.01073277 Pt per il 99.63% del totale).
- In **Ecosystem quality** il danno vale 0.0002138388 Pt è dovuto per il 636.72% a *Transformation, to arable, non-irrigated* (per il 99.94% in Produzione dell'intonaco di terra) e, in particolare per il 97.32% in Wheat straw IP, at farm/CH), per il 24.43% a *Zinc* nel suolo (per il 68.93% in Produzione dell'intonaco di terra) e, in particolare per l'84.35% in Operation, lorry 20-28, fleet average/CH), per il 16.85% a *Occupation, arable, non-irrigated* (per il 99.96% in Produzione dell'intonaco di terra) e, in particolare per il 97.35% in Wheat straw IP, at farm/CH), per il 14.03% a *Chromium* nel suolo (per il 99.74% in Produzione dell'intonaco di terra) e, in particolare per il 99.46% Wheat straw IP, at farm/CH). A tale danno si contrappongono per il -452.36% *Transformation, from arable, non-irrigated* (per il -99.92% in Produzione dell'intonaco di terra) e, in particolare per il -97.28% Wheat straw IP, at farm/CH) e per il -163.54% a *Transformation, from pasture and meadow intensive* (per il -99.999% in Produzione dell'intonaco di terra) e, in particolare per il -97.41% Wheat straw IP, at farm/CH). La categoria di impatto che produce il danno massimo è **Terrestrial ecotoxicity** (0.0001115117 Pt per il 52.15% sul danno totale).

- In **Climate change** il danno vale 0.0004558122 Pt ed è dovuto per il 96.38% a *Carbon dioxide, fossil* in aria (per il 52.55% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare per il 60.22% in Operation, lorry 20-28, fleet average/CH).
- In **Resources** il danno vale 0.0004406598 Pt ed è dovuto per il 76.64% a *Oil, crude, in ground* (per il 59.19% in Produzione dell'intonaco di terra), e in particolare per il 27.41% in Crude oil, at production onshore/RAF) e per il 10.43% a *Gas, natural, in ground* (per il 50.44% in Produzione dell'intonaco di terra, e in particolare per il 29.89% in Natural gas, sweet, burned in production flare/MJ/GLO). La categoria di impatto che produce il danno massimo è **Non-renewable energy** (0.0004400484 Pt per il 99.86% sul danno totale).
- In **Terreno (pressione idrostatica)** il danno vale 3.232217E-5Pt ed è dovuto per il 100% a *Clay, unspecified, in ground* (per il 93.17% in Produzione dell'intonaco di terra, e, in particolare per il 99.999% in Clay, at mine/CH).

6.3.6.1 Conclusioni

- Il danno massimo è dovuto per l'82.82% alla fase di uso, soprattutto a causa delle emissioni di particolato direttamente in atmosfera dal terzo strato dell'intonaco in un periodo di tempo di 100 anni, a causa del deterioramento atmosferico. Un contributo al danno viene anche dalle emissioni prodotte nella fase di fabbricazione degli strati che si andranno a posare in fase di manutenzione.
- Inoltre il danno si riscontra per il 90.41% sulla salute dell'uomo, soprattutto a causa delle polveri prodotte durante la produzione degli strati, dal deterioramento durante l'uso e durante il fine vita.

7 ANALISI DI SENSIBILITÀ

La presente analisi confronterà l'intonaco di terra cruda con:

- Un intonaco in calce e cemento
- Un intonaco in terra cruda prodotto a km"zero", ossia nel quale i materiali costituenti le malte siano reperiti a brevi distanze dal luogo di messa in opera (come avvenuto nel caso del cantiere di Todi (→3.1)

Sarà inoltre effettuata un'analisi di sensibilità tra differenti scenari di fine vita dell'intonaco di terra cruda, al fine di confrontare i danni legati a:

- il riutilizzo dell'intonaco asportato come materiale di riempimento nel recupero ambientale di una cava di argilla;
- il conferimento del materiale ottenuto dall'abbattimento dell'edificio all'inceneritore municipale;
- il riutilizzo del materiale ottenuto dall'abbattimento dell'edificio come inerte da riciclo;
- il conferimento del materiale ottenuto dall'abbattimento dell'edificio nella discarica per inerti;
- la selezione del materiale: l'85% va in discarica per inerti e il 15% viene usato come inerte da riciclo.

7.1 CONFRONTO TRA INTONACO CON TERRA CRUDA E INTONACO CON CALCE E CEMENTO

7.1.1 LCA intonaco con calce e cemento

Si è desiderato affrontare un'analisi di sensibilità confrontando l'intonaco in terra cruda (ITC) con un intonaco in calce e cemento (ICC). Come già visto, date le caratteristiche della paglia, non è consigliato intonacare un muro a balle di paglia con un ICC. L'analisi di sensibilità ha lo scopo di approfondire il danno ambientale associato all'utilizzo di questo secondo intonaco, già sconsigliabile per le non eccellenti caratteristiche di traspirabilità. La presente analisi di sensibilità confronta solo i due strati di intonaco, uno in terra e l'altro in calce e cemento, prescindendo dal tipo di parete sul quale lo strato sarà applicato. Ciò rende l'analisi attuale nel caso in cui si voglia confrontare l'uso di questi intonaci anche su pareti in muratura, ad esempio.

7.1.1.1 Obiettivo e campo di applicazione

7.1.2 Obiettivo dello studio

Obiettivo dello studio è il confronto del danno ambientale dovuto ad un intonaco con calce e cemento allo scopo di confrontarlo con quello di un intonaco con terra cruda e paglia.

7.1.3 Campo di applicazione

7.1.3.1 La funzione del sistema

La funzione dell'intonaco è la protezione interna o esterna della parete verticale di un edificio.

7.1.3.2 Il sistema che deve essere studiato

Il sistema che deve essere studiato è un intonaco di spessore totale pari a 0,024m costituito da 2 strati:

- il primo strato di spessore 0,02m composto da una miscela di calce e cemento (da bancadati Ecoinvent)
- il secondo strato di spessore 0,002m composto da fior di calce idrata e sabbia (si assume identico al 3° strato dell'ITC)

7.1.3.3 Unità funzionale

L'unità funzionale è 1 m² dell'intonaco con una durata di vita di 100 anni e una manutenzione ogni 10 anni.

7.1.3.4 Confini del sistema

I confini del sistema vanno dalla raccolta delle materie prime alla dismissione dell'intonaco. Vengono quindi considerate le fasi di produzione, di messa in opera, di uso e di fine vita dell'unità funzionale. Per l'ICC vengono considerate le stesse procedure di manutenzione (tempi, modalità, strumentazioni utilizzate, tipologia di emissioni prodotte) dell'ITC. Lo scenario di fine vita immaginato prevede il conferimento del materiale asportato alla discarica per inerti.

È stato considerato anche il fine vita di una quantità r di primo strato di intonaco che rimane attaccato alla rete e va in discarica. La rete viene differenziata e riciclata.

7.1.3.5 Qualità dei dati

I dati utilizzati per la produzione sono primari, quelli relativi all'uso e al fine vita sono frutto di ipotesi. Quando sono disponibili vengono usati i processi della banca dati Ecoinvent. Negli altri casi vengono costruiti processi ad hoc. L'analisi viene effettuata con i Metodi IMPACT 2002+ modificato. Il codice utilizzato è SimaPro 7.3.3.

7.1.3.6 Inventario

7.1.3.6.1 Diagramma a blocchi del processo Intonaco con calce e cemento

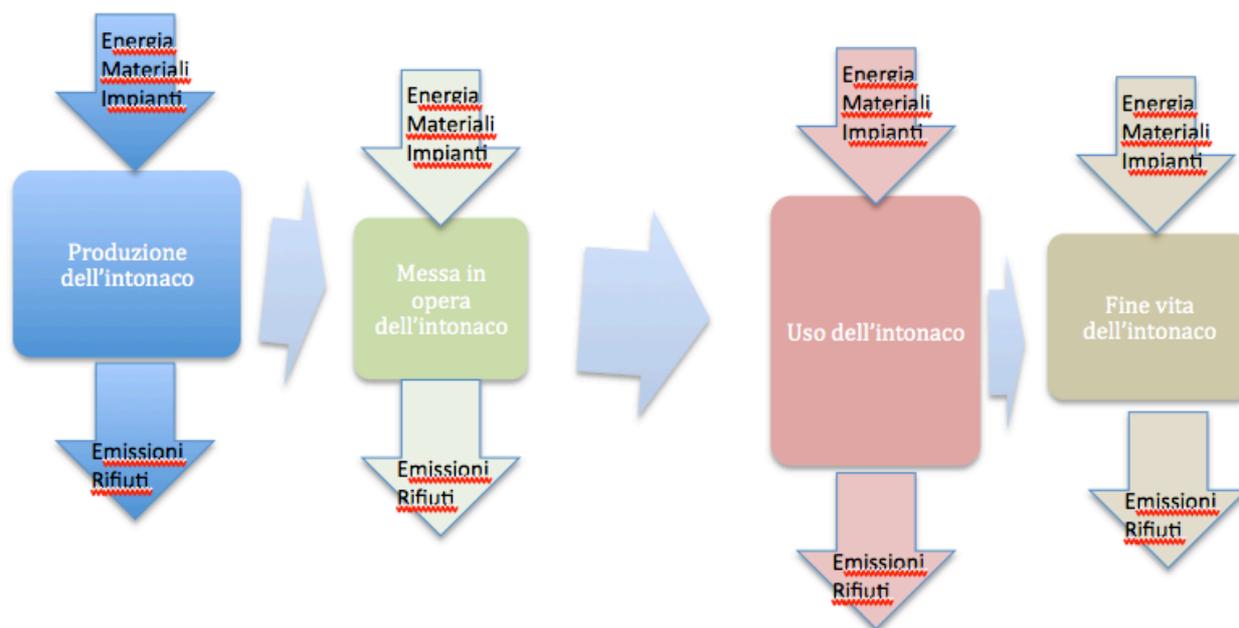


Figura 7-1: il diagramma a blocchi del processo Intonaco con calce e cemento

7.1.3.6.2 Parametri introdotti

Anche in questo caso sono stati inseriti i parametri già utilizzati nel processo Intonaco di terra, che vengono riportati nelle tabelle sottostanti:

m	0,00002	spessore del terzo strato che viene impiegato per la manutenzione
n	0,001	spessore del secondo strato che viene impiegato per la manutenzione
p	2	numero di piani dell'edificio
v	0,5	velocità di elevazione dei materiali sul trabattello: m/sec
Tord	0,333	tempo necessario per l'applicazione di uno strato per 2.5*1m2: h
h	1	altezza di ciascun ordine di intonaco: m
s1	0,016	spessore del primo strato: m
s2	0,01	spessore del secondo strato: m
s3	0,002	spessore del terzo strato: m
L	2,5	lunghezza del trabattello e dell'ordine: m

Tabella 7-1 Input parameters

Nord	p*3	numero di ordini di intonaco di area 2.5m2
------	-----	--

t	h/v	tempo necessario per sollevare i materiali di h: sec
V1	$(1-0,005)*(1-0,005)*(s1-0,005/1*s1)*L*Nord$	Volume del primo strato:m3
Pb	$(0,22+1*(1-0,8))*L*Nord$	Peso della barbotina:kg
V2	$(1-0,005)*(1-0,005)*(s2-0,005/1*s2)*L*Nord$	Volume del secondo strato:m3
V3	$(1-0,0002)*(1-0,0002)*(s3-0,0002/1*s3)*L*Nord$	Volume del terzo strato:m3
Nmod	Nord-1	numero di moduli del trabattello

Tabella 7-2 Calculated parameters

Le fasi di produzione e di uso di ITC e di ICC prevedono le stesse lavorazioni.

Nella fase di messa in opera viene aggiunta la posa di una rete elettrosaldata, con conseguente allocazione dell'uso del trabattello. Ciò che varia è l'allocazione, che per l'ICC viene fatta su 2 strati, mentre per l'ITC su 3 strati.

7.1.4 Produzione di 1 m² di intonaco di calce e cemento

L'intonaco in calce e cemento preso in considerazione è quello utilizzato presso l'Ecovillaggio di Pescomaggiore (L'Aquila) nell'esperienza di autocostruzione di case in balle di paglia (→ cap. 5) L'esperienza di cantiere insegna che per fare 1m³ di intonaco di calce e cemento sono necessari 1m³ di sabbia, 260 kg di calce, 140 kg di cemento e 300l di acqua. A partire da tali quantità sono stati ricavati i dati di inventario, riferiti ad 1m² di intonaco, di spessore totale pari a 0,022m.

I dati vengono riportati all'interno della Tabella 7-3 Dati inventario Intonaco di

elemento	Spessore (m)	Composizione (kg)
1° strato	0.020m	Cemento portland Sabbia Calce Acqua Peso totale del 1° stato essiccato: 38,6 kg
2° strato	0.002m	3.47kg di sabbia da costruzione 2kg di fior di calce idrata 1.2 kg di acqua totale 4.87kg essiccato 3,67kg
Rete portaintonaco		dato: 60kg per 197.2m ² peso specifico 0.3kg/m ²
Totale 2 strati	0.022m	Totale intonaco essiccato 42,27kg

Tabella 7-3 Dati inventario Intonaco di calce e cemento

7.1.4.1 1° strato

Nome	Unità Funzionale	note
1° strato strato dell'intonaco di calce e cemento	$(1-0,0002)*(1-0,0002)*(s1-0,0002/1*s1)$ m ³	<p>Volume dell'intonaco gettato per 1m² di intonaco: $1*0.020$m³</p> <p>Si assume per la posa in opera a frattazzo dello strato con calce e cemento un ritiro di 0.0002cm come nel terzo strato dell'intonaco di terra che è di calce idrata. Si suppone che questa riduzione avvenga nelle due direzioni della superficie e nella direzione perpendicolare sia proporzionale a tale grandezza secondo la formula $0.0002*s1$</p> <p>Volume dell'intonaco essiccato: $(1-0.0002)*(1-0.0002)*(0.02-0.0002/1*0.02)$</p> <p>Peso totale dei materiali meno l'acqua che si suppone evapori per il 90%</p> <p>Peso di 1 m² dell'intonaco essiccato: $(140+1*1.5E3+260+300)/1*s1*1-300/1*s1*1*0.9=38.6$kg</p>

Tabella 7-4: 1° strato dell'intonaco di calce e cemento

Sono riportati i processi richiamati dalla banca dati Ecoinvent per il 1° stato, le cui quantità sono state parametrizzate come illustrato nel paragrafo dedicato ai parametri:

Materiali	note
Portland cement, strength class Z 42.5, at plant/CH U 140/1*s1*1 kg	Per fare 1m ³ di intonaco di calce e cemento sono necessari 1m ³ di sabbia, 260 kg di calce, 140 kg di cemento e 300l di acqua allocazione per il volume di impasto: $140\text{kg}/1\text{m}^3*(1\text{m}^2*s1)$
Sand, at mine/CH U $(1/1*s1*1)*1,5E3$ kg	densità della sabbia: 1.5t/m ³ da dati di cantiere risulta che per intonacare 197.2m ² di superficie sono stati usati 5200kg di sabbia $5200/197.2=26.37$ kg
Lime, hydrated, packed, at plant/CH U 260/1*s1*1 kg	calce idrata allocazione per il volume di impasto: $160\text{kg}/1\text{m}^3*(1\text{m}^2*s1)$
Tap water, at user/RER U	Acqua di pozzo

300/1*s1*1 kg	
---------------	--

Tabella 7-5: Materiali del processo 1° strato dell'intonaco di calce e cemento

Processi e impianti	note
Betoniera 1/30000*10/0,07*s1/60 p	Allocazione temporale della betoniera: p/30000*10min/0.07m ³ *s1/60 A partire dal dato esperienziale: 10min per miscelare 70l=0.07m ³
Betoniera 1/58*1850/30000*1/125000*(1*1,5E3)/1*s1*1 p	Allocazione del vaglio: peso: 1850kg capacità: 125t/h potenza: 7.5kW durata: 30000h

Tabella 7-6: processi e impianti del processo 1° strato dell'intonaco di calce e cemento

Energia	note
Electricity, low voltage, at grid/IT U 0,65*10/0,07*s1/60 kWh	Energia per la miscelazione della malta potenza del miscelatore: 0.65kW
Electricity, low voltage, at grid/IT U 7,5*2,192E-4/0,016*s1 kWh	Energia per la vagliatura della sabbia potenza del vaglio: 7.5kW

Tabella 7-7: energia del processo 1° strato dell'intonaco di terra cruda con parametri

Trasporti	note
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U 58*1/30000*10/0,07*s1/60*100 kgkm	Trasporto della betoniera dalla ditta che la produce al sito di miscelazione: 100km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U 1850*2,3306E-7/0,016*s1*100 kgkm	Trasporto del vaglio dalla ditta che la produce al sito di miscelazione: 100km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U 140/1*s1*1*200 kgkm	Trasporto del cemento al cantiere: 200km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U (1/1*s1*1)*1,5E3*70 kgkm	Trasporto della sabbia al cantiere: 70km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U 260/1*s1*1*200 kgkm	Trasporto della calce al cantiere: 200km

Tabella 7-8: trasporti del processo 1° strato dell'intonaco di calce e cemento

Emissioni in aria	note
Particulates, < 2.5 um 0,0001*(140+1*1,5E3+260)/1*s1*1/3 kg	Si suppone che venga emesso in atmosfera lo 0.01% del materiale usato meno l'acqua (41.1-10.96 kg) e che la granulometria delle polveri sia suddivisa in parti uguali nelle tre tipologie standard
Particulates, > 2.5 um, and < 10um 0,0001*(140+1*1,5E3+260)/1*s1*1/3 kg	
Particulates, > 10 um 0,0001*(140+1*1,5E3+260)/1*s1*1/3 kg	

Tabella 7-9: emissioni del processo 1° strato dell'intonaco di terra cruda con parametri

7.1.4.2 2° strato

Nome	Unità Funzionale	note
2° strato dell'intonaco di calce e cemento	$(1-0,0002)*(1-0,0002)*(s2-0,0002/1*s2)$ m3	<p>Il ritiro dell'intonaco applicato a frattazzo È di 0,02 cm su 1 m di altezza e uguale nelle due direzioni della superficie. Nella direzione ad essa perpendicolare si assume un ritiro proporzionale a tale grandezza secondo lo spessore.</p> <p>La riduzione nella direzione dello spessore vale: $0,0002/1*0,002$ Volume dopo l'essiccazione: $(1-0,0002)*(1-0,0002)*(0,002-0,0002/1*0,002)$ peso totale dell'impasto: 4.87kg peso dell'acqua: 1.2kg Peso di 1m2 dell'intonaco essiccato: $4.87-1.2=3.67$kg</p>

Tabella 7-10: 2° strato dell'intonaco di calce e cemento

Sono riportati i processi richiamati dalla banca dati Ecoinvent per il 2° stato, le cui quantità sono state parametrizzate come illustrato nel paragrafo dedicato ai parametri:

Materiali	note
Sand, at mine/CH U $3,47/0,002*s2$ kg	Sabbia: 3.47kg/m2
Lime, hydrated, packed, at plant/CH U $0,2/0,002*s2$ kg	Fior di calce idrata: 0.2kg/m2
Tap water, at user/RER U $1,2/0,002*s2$ kg	Acqua di pozzo

Tabella 7-11: materiali del processo 2° strato dell'intonaco di calce e cemento

Processi e impianti	note
---------------------	------

Betoniera 1/30000*4,7619E-3/0,002*s2 p	È stato creato il processo <u>Betoniera</u> Allocazione temporale a partire dal dato esperienziale: 10min per miscelare 70l=0.07m ³
Betoniera 1/58*1850/30000*2,936E-5/0,002*s2 p	Utilizzato il processo Betoniera per un vaglio da cantiere. peso: 1850kg capacità: 125t/h potenza: 7.5kW durata: 30000h

Tabella 7-12: processi e impianti del processo 2° strato dell'intonaco di calce e cemento

Energia	note
Electricity, low voltage, at grid/IT U 0,65*4,7619E-3/0,002*s2 kWh	Energia per la miscelazione della malta di terra e sabbia potenza del miscelatore: 0.65kW tempo necessario per miscelare il 2° strato: 10min/0.07*s2/60 h calcolato a partire dal dato: 10min per miscelare 70l=0.07m ³
Electricity, low voltage, at grid/IT U 7,5*2,936E-5/0,002*s2 kWh	Energia per la vagliatura della terra potenza del vaglio: 7.5kW tempo necessario per vagliare i materiali del secondo strato: 1.3408E-4h

Tabella 7-13: energia del processo 2° strato dell'intonaco di calce e cemento

Trasporti	note
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U 58*1/30000*10/0,07*s2/60*100 kgkm	Trasporto della betoniera dalla ditta che la produce al sito di miscelazione: 100km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U 1850*1/125000*18,2/0,01*s2*100 kgkm	Trasporto del vaglio dalla ditta che la produce al sito di miscelazione: 100km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U (3,47+0,2)/0,002*s2*200 kgkm	Trasporto della sabbia e della calce dalla ditta che le produce al cantiere: 200km

Tabella 7-14: trasporti del processo 2° strato dell'intonaco di calce e cemento

Emissioni in aria	note
Particulates, < 2.5 um 0,0001*3,67/0,002*s2/3 kg	Si suppone che venga emesso in atmosfera lo 0.01% del materiale usato meno l'acqua (41.1- 10.96 kg) e che la granulometria delle polveri sia suddivisa in parti uguali nelle tre tipologie standard
Particulates, > 2.5 um, and < 10um 0,0001*3,67/0,002*s2/3 kg	
Particulates, > 10 um 0,0001*3,67/0,002*s2/3 kg	

Tabella 7-15: emissioni del processo 2° strato dell'intonaco di calce e cemento

7.1.4.3 rete zincata

Nome	Unità Funzionale	note
Rete zincata	1 m ²	Rete zincata che si poggia sulla balla di paglia e serve come aggrappante per l'intonaco dato: 60kg per 197.2m ² peso specifico 0.3kg/m ²

Tabella 7-16: rete zincata

Sono riportati i processi richiamati dalla banca dati Ecoinvent per la rete zincata:

Materiali	note
Reinforcing steel, at plant/RER U 0,3 kg	acciaio

Tabella 7-17: materiali del processo rete zincata

Processi e impianti	note
Wire drawing, steel/RER U 0,3 kg	
Welding, arc, steel/RER U $(1/0,05+1)*(1/0,05+1)*0,001$ m	numero di celle: $(1/0,05+1)*(1/0,05+1)$ numero di punti di saldatura: $(1/0,05+1)*(1/0,05+1)$ si suppone che la lunghezza da saldare per ogni punto sia di 1mm $l=(1/0,05+1)*(1/0,05+1)*0.001$

Tabella 7-18: processi e impianti del processo rete zincata

7.1.4.4 Produzione

Il processo di produzione assembla i sotto processi di produzione dei tre differenti strati.

Nome	Unità Funzionale	note
Produzione dell'intonaco di calce e cemento	Nord*L m ²	

--	--	--

Tabella 7-19: Produzione dell'intonaco di calce e cemento

Processi e impianti	note
1° strato dell'intonaco di terra con parametri $(1-0,0002)*(1-0,0002)*(s1-0,0002/1*s1)*L*Nord$ m3	volume di 1 m2 del primo strato: $(1-0,0002)*(1-0,0002)*(s1-0,0002/1*s1)$
2° strato dell'intonaco di terra con parametri $(1-0,0002)*(1-0,0002)*(s1-0,0002/1*s1)*L*Nord$ m3	volume di 1 m2 del secondo strato: $(1-0,0002)*(1-0,0002)*(s1-0,0002/1*s1)$
Rete zincata Nord*L	peso 1m2 della rete: 0.3 kg

Tabella 7-20: processi e impianti del processo Produzione dell'intonaco di calce e cemento

7.1.4.5 Impianti

Come nel caso dell'ITC, il ciclo di vita dell'intonaco di calce e cemento prevede l'utilizzo di: betoniera per la miscelazione dei materiali, vaglio per la selezione dei materiali, trabattello per la stesura e rimozione dell'intonaco, elevatore per il sollevamento dei pesi in altezza.

7.1.4.5.1 Betoniera

E' stato creato il processo Betoniera come di seguito illustrato:

Nome	Unità Funzionale	note
Betoniera	1 p	Peso 58kg (acciaio da costruzione: 50%; acciaio inossidabile: 20%; ghisa di ingranaggi e corona: 15%; rame: 10%; stirene: 5%); Capacità: 165 l; Durata di vita 30000h; Capacità reale: $1651*0.8=1321$; tempo per miscelare 70l: 10min.

Tabella 7-21: Betoniera

Il processo Betoniera è utilizzato per simulare il funzionamento del vaglio vibrante da cantiere, con differente allocazione di tempo e massa,

Materiali	note
Cast iron, at plant/RER U 58*0,15 kg	
Reinforcing steel, at plant/RER U 58*0,5 kg	
Steel, electric, chromium steel 18/8, at plant/RER U 58*0,2 kg	
Copper, primary, at refinery/RER U 58*0,1 kg	
Styrene-acrylonitrile copolymer, SAN, at plant/RER U 58*0,05 kg	

Tabella 7-22: materiali del processo Betoniera

Processi e impianti	note
Casting, brass/CH U 58*0,15 kg	Per la fusione della ghisa si assume quella dell'ottone
Section bar rolling, steel/RER U 58*0,5 kg	
Sheet rolling, chromium steel/RER U 58*0,2 kg	
Wire drawing, copper/RER U 58*0,1 kg	
Blow moulding/RER U 58*0,05 kg	

Tabella 7-23: processi e impianti del processo Betoniera

Trasporti	note
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U 58*100 kgkm	Trasporto dei materiali dalle ditte che li producono alla ditta che produce la betoniera: 100 km

Tabella 7-24: trasporti del processo Betoniera

Trattamento rifiuti	note
Recycling steel and iron/RER U (con scrap) 58*0,15 kg	Si suppone il riciclaggio per i materiali componenti la betoniera.
Recycling steel and iron/RER U (con scrap) 58*0,5 kg	
Recycling steel and iron/RER U (con scrap)	

58*0,2 kg	
Recycling copper/RER U (con scrap)	
58*0,1 kg	
Recycling rubber and leather/RER U (solo raccolta)	
58*0,05 kg	

Tabella 7-25: trattamento rifiuti del processo Betoniera

7.1.4.5.2 Trabattello

E' stato introdotto un processo Trabattello costituito da due sottoprocessi:

- Trabattello (modulo per 1 ordine) con parametri
- Trabattello (piedi e asse) con parametri

Ciò significa che indipendentemente dall'altezza dell'edificio sul quale si lavora utilizzando il trabattello, avremo una parte di strumentazione "fissa", cioè utilizzata in ogni caso andando a lavorare ad altezze superiori ad Nmod (1m). Questa parte è costituita dai piedi del trabattello e da un asse di legno sul quale salire. Andando a lavorare in altezza, il trabattello dovrà aumentare in altezza, aggiungendo dei "moduli": il processo Trabattello (modulo per 1 ordine) con parametri ha la possibilità di essere parametrizzato in funzione del numero di ordini di intonaco da fare (Nord) ossia del numero di fasce di altezza 1 m che il trabattello deve asservire, ossia del numero di moduli (Nmod) di cui il trabattello deve comporsi a seconda dell'altezza dell'edificio.

Nome	Unità Funzionale	note
Trabattello (piedi e asse) con parametri	L*1 m2	Asse di legno e piedi del trabattello. Unità funzionale: area servita dal trabattello per 1 ordine e per 1 strato di intonaco: 2.5*1=2.5m2 Tempo di vita: 10 anni Peso: 27.5+3.744=31.244kg

Tabella 7-26: Trabattello (piedi e asse) con parametri

Materiali	note
Sawn timber, softwood, planed, kiln dried, at plant/RER U L*1*0,02 m3	piano di appoggio trabattello dimensioni: L=2.5m l=1m spessore: 0.02m V=2.5*1*0.02=0.05m3 densità: 550kg/m3

	Peso: $550 \cdot 0.05$
Reinforcing steel, at plant/RER U $4 \cdot 7,8 \cdot 2 \cdot (0,03 + 0,03) \cdot 0,002 \cdot 0,5$ ton	4 piedi di ferro h=0.5m sezione quadrata: l=0.03m spessore: 0.002m $P = 4 \cdot 7,8 \cdot 2 \cdot (0,03 + 0,03) \cdot 0,002 \cdot 0,5t$

Tabella 7-27: materiali del processo Trabattello (piedi e asse) con parametri

Processi e impianti	note
Section bar rolling, steel/RER U $4 \cdot 7,8 \cdot 2 \cdot (0,03 + 0,03) \cdot 0,002 \cdot 0,5$ ton	

Tabella 7-28: processi e impianti del processo Trabattello (piedi e asse) con parametri

Trattamento rifiuti	note
Riciclo del legno (da Medium density fibreboard, at plant/RER U) (multioutput) L*1*0,02 m3	Riciclo del legno
Recycling steel and iron/RER U (con scrap) $4 \cdot 7,8 \cdot 2 \cdot (0,03 + 0,03) \cdot 0,002 \cdot 0,5$ ton	Riciclo dei componenti metallici

Tabella 7-29: trattamento rifiuti del processo Trabattello (piedi e asse) con parametri

Nome	Unità Funzionale	note
Trabattello (modulo per 1 ordine) con parametri	L*1 m2	Asse di legno e piedi del trabattello Unità funzionale: area servita dal trabattello per 1 ordine e per 1 strato di intonaco: $2,5 \cdot 1 = 2,5m^2$ Tempo di vita: 10 anni Peso: 53.858kg 1 ordine= fascia di intonaco di 1m di altezza e 2.5m di lunghezza.

Tabella 7-30: Trabattello (modulo per 1 ordine) con parametri

Materiali	note
Reinforcing steel, at plant/RER U $7,8 \cdot 2 \cdot (0,03 + 0,03) \cdot 0,002 \cdot 1 \cdot (4 \cdot L + 4 \cdot 1 + 4 \cdot 1 + 4 \cdot (L^2 + 1^2)^{0,5})$ ton	modulo: Lunghezza trave=2.5m larghezza modulo=1m altezza modulo=1m travi in ferro: 4 di lunghezza 2.5, 4 di

	lunghezza 1m (larghezza trabattello), 4 di lunghezza 1m (altezza trabattello) trave di sezione quadrata di lato: $l=0.03m$ spessore: 0.002m peso di una trave di 1m di lunghezza $P=7.8*2*(0.03+0.03)*0.002*1$ Lunghezza delle travi e delle traverse: $L_{tot}=4*2.5+4*1+4*1+4*((2.5^2+1^2)^{0.5})$ $P_{tot}=P*L_{tot}$
--	---

Tabella 7-31: materiali del processo Trabattello (modulo per 1 ordine) con parametri

Processi e impianti	note
Section bar rolling, steel/RER U $7,8*2*(0,03+0,03)*0,002*1*(4*L+4*1+4*1+4*(L^2+1^2)^{0,5})$ ton	Lavorazione delle travi

Tabella 7-32: processi e impianti del processo Trabattello (modulo per 1 ordine) con parametri

Trattamento rifiuti	note
Recycling steel and iron/RER U (con scrap) $7,8*2*(0,03+0,03)*0,002*1*(4*L+4*1+4*1+4*(L^2+1^2)^{0,5})$ ton	Riciclo delle travi

Tabella 7-33: trattamento rifiuti del processo Trabattello (modulo per 1 ordine) con parametri

7.1.4.5.3 Elevatore

Il processo Elevatore ha la possibilità di essere parametrizzato in funzione del numero di moduli (Nmod) di intonaco da fare, ossia del numero di fasce di altezza 1m esclusa la prima in basso che non necessita di elevazione dei materiali.

Nome	Unità Funzionale	note
Elevatore	1 p	durata di vita: 30000h -motore: 53kg costituito per: 30%*53kg di acciaio da costruzione 20%*53kg di acciaio inossidabile 30%*53kg di rame 20%*53kg: di HDPE -scala di guida in acciaio di altezza: 3m*numero di piani Altezza dei ritti: Nord*1m Ritti in tubolare di sezione:

		<p>0.05*0.05 m2 e spessore: 0.003m Peso: $7.8*0.05*4*0.003*Nord*1*2$ Distanza tra i ritti: 0.8m Distanza tra i pioli: 0.4m pioli in tubolare di sezione: 0.03*0.03 m2 e spessore: 0.002m numero di pioli: Nord*1m/0.4m Peso: $7.8*0.03*4*0.002*0.8*Nord*1/0.4$ -cestone in acciaio Peso totale: $0.053+0.06552+0.084864=0.20338t$</p>
--	--	---

Tabella 7-34: Elevatore

Materiali	note
Reinforcing steel, at plant/RER U 0,3*53 kg	acciaio da costruzione del motore
Chromium steel 18/8, at plant/RER U 0,20*53 kg	acciaio inox del motore
Copper, primary, at refinery/RER U 0,3*53 kg	rame del motore
Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U 0,2*53 kg	HDPE del motore
Reinforcing steel, at plant/RER U $7,8*0,05*4*0,003*Nord*1*2+7,8*0,03*4*0,002*0,8*Nord*1/0,4$ ton	Scala di guida Altezza dei ritti: Nord*1m Ritti in tubolare di sezione: 0.05*0.05 m2 e spessore: 0.003m Peso: $7.8*0.05*4*0.003*Nord*1*2$ Distanza tra i ritti: 0.8m Distanza tra i pioli: 0.4m pioli in tubolare di sezione: 0.03*0.03 m2 e spessore: 0.002m numero di pioli: Nord*1m/0.4m Peso: $7.8*0.03*4*0.002*0.8*Nord*1/0.4$ ton
Reinforcing steel, at plant/RER U $7,8*(0,8*0,4*3+0,8*0,5)*0,008$ ton	Cestone lastra di appoggio scorrevole L=0.8m H=0.4*3m l=0.5m spessore 0.008m Peso: $7.8*(0.8*0.4*3+0.8*0.5)*0.008$
Reinforcing steel, at plant/RER U $7,8*(3,1416*(0,002/2)^2)*4*0,07/2*Alr/Avr$ ton	Superficie laterale in reticolato: Alr= $0.8*0.4*3+2*0.5*0.4*3$ area di un vuoto della rete: Avr= $0.07*0.07$ numero vuoti: Alr/Avr

	ogni vuoto è circondato da un filo di $D=0.002m$ Volume attribuito ad 1 vuoto: $(3.1416*(0.002/2)^2)*4*0.07/2$ (del volume se ne considera solo la metà perchè l'altra metà viene attribuita ai 4 vuoti che circondano il vuoto in esame) Peso della rete: $7.8*(3.1416*(0.002/2)^2)*4*0.07/2*Alr/Avr$
Reinforcing steel, at plant/RER U $7,8*(0,02*4*0,001*(0,5*2+0,8*2))*2$ ton	Tubolare di collegamento della rete: 2 piani per ciascun piano: $L=2*0.8m$ $L=2*0.5m$ sezione: $0.02*0.02 m^2$ e spessore: $0.001m$ Peso: $7.8*(0.02*4*0.001*(0.5*2+0.8*2))*2$

Tabella 7-35: materiali del processo Elevatore

Processi e impianti	note
Section bar rolling, steel/RER U $7,8*2*(0,03+0,03)*0,002*1*(4*L+4*1+4*1+4*(L^2+1^2)^{0,5})$ ton	Lavorazione delle travi

Tabella 7-36: processi e impianti del processo Elevatore

Electricity/heat	note
Section bar rolling, steel/RER U $0,3*53$ kg	lavorazione dei materiali componenti il motore
Sheet rolling, chromium steel/RER U $0,2*53$ kg	
Wire drawing, copper/RER U $0,3*53$ kg	
Blow moulding/RER U $0,2*53$ kg	
Section bar rolling, steel/RER U $7,8*0,05*4*0,003*Nord*1^2+7,8*0,03*4*0,002*0,8*Nord*1/0,4$ ton	lavorazione del materiale della scala guida
Sheet rolling, steel/RER U $7,8*(0,8*0,4*3+0,8*0,5)*0,008$ ton	lavorazione del materiale del cassone (piastre)
Wire drawing, steel/RER U $7,8*(3,1416*(0,002/2)^2)*4*0,07/2*Alr/Avr$ ton	lavorazione del materiale del cassone (rete)
Section bar rolling, steel/RER U $7,8*(0,02*4*0,001*(0,5*2+0,8*2))*2$ ton	lavorazione del materiale del cassone (collegamento rete)

Tabella 7-37: energie del processo Elevatore

Trasporti	note
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U 53*100 kgkm	Trasporto dei materiali del motore: 100km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U (7,8*0,05*4*0,003*Nord*1*2+7,8*0,03*4*0,002*0,8*Nord*1/0,4)*100 tkm	Trasporto dei materiali della scala di guida: 100km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U (7,8*(0,8*0,4*3+0,8*0,5)*0,05+ 7,8*(3,1416*(0,002/2)^2)*4*0,07/2*Alr/Avr+ 7,8*(0,02*4*0,001*(0,5*2+0,8*2))*2)*100 tkm	Trasporto dei materiali del cestone: 100km

Tabella 7-38: trasporti del processo Elevatore

Trattamento rifiuti	note
Recycling steel and iron/RER U (con scrap) 0,3*53 kg	Fine vita dei materiali componenti il motore
Recycling steel and iron/RER U (con scrap) 0,2*53 kg	Fine vita dei materiali componenti il motore
Recycling copper/RER U (con copper scrap) 0,3*53 kg	Fine vita dei materiali componenti il motore
Recycling PE/RER U (raccolta e selezione) 0,2*53 kg	Fine vita dei materiali componenti il motore
Recycling steel and iron/RER U (con scrap) 7,8*0,05*4*0,003*Nord*1*2+7,8*0,03*4*0,002*0,8*Nord*1/0,4 ton	Fine vita dei materiali della scala di guida
Recycling steel and iron/RER U (con scrap) 7,8*(0,8*0,4*3+0,8*0,5)*0,008+ 7,8*(3,1416*(0,002/2)^2)*4*0,07/2*Alr/Avr+ 7,8*(0,02*4*0,001*(0,5*2+0,8*2))*2 ton	Fine vita dei materiali del cestone

Tabella 7-39: trattamento rifiuti del processo Elevatore

7.1.5 Messa in opera di 1 m² di intonaco di calce e cemento

La posa in opera dei tre strati dell'intonaco richiede l'utilizzo di un trabattello, come esposto nel paragrafo 6.2.3.6. Si ha lo scopo di parametrizzare questo strumento in funzione del numero di piani dell'abitazione: lo si è quindi immaginato costituito dai piedi e da un asse di legno che bisogna utilizzare indipendentemente dall'altezza dell'edificio, e da un "modulo" che deve essere moltiplicato per il numero di ordini Nord. Per la messa in opera si è considerato inoltre l'uso di un elevatore e l'energia necessaria per portare i materiali ai singoli ordini (escluso il primo).

La posa in opera di ICC differisce da ITC sia per la differenza di peso e volume degli strati, sia per il fatto che l'ITC ha 3 strati mentre l'ICC ne ha 2 (ciò influisce sulle allocazioni degli strumenti). Inoltre ICC ha una rete zincata porta intonaco.

Nome	Unità Funzionale	note
Messa in opera dell'intonaco di calce e cemento	Nord*L m2	La posa in opera dei tre strati dell'intonaco richiede il trabattello costituito dai piedi e

		dall'asse di legno e da un modulo che deve essere moltiplicato per il numero di ordini Nord, l'elevatore e l'energia necessaria per portare i materiali ai singoli ordini (escluso il primo) Potenza montacarichi: 20kW tempo impiegato per l'applicazione dei tre strati: $t * Nord * (Nord + 1) / 2 * 2$
--	--	---

Tabella 7-40: Messa in opera dell'intonaco di calce e cemento

Processi e impianti	note
Trabattello (piedi e asse) con parametri $L / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord - 1) * 2$ m2	Allocazione temporale dei piedi e dell'asse di legno del trabattello: $L / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord - 1) * 2$ tempo per la messa in opera di 2 strati di lunghezza 2.5m e altezza 1m per Nord ordini di area 2.5m2): $Tord * Nord * 2$
Trabattello (modulo per 1 ordine) con parametri $L * (Nord - 1) / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord - 1) * 2$ m2	Modulo del trabattello per la messa in opera dei 2 strati Area servita dal trabattello cioè Unità Funzionale del processo richiamato: $2.5 * Nord$ m2 Allocazione sul numero di moduli $L * 1 / (L * 1) * (Nord - 1) * L$ Allocazione temporale di 1 modulo: $1 / (10 \text{anni} * 240 \text{g/a} * 8 \text{h/g}) * Tord * (Nord - 1) * 2$ strati Allocazione totale (=Allocazione sul numero di moduli*Allocazione temporale di 1 modulo): $(Nord - 1) * L * 1 / (10 \text{anni} * 240 \text{g/a} * 8 \text{h/g}) * Tord * (Nord - 1) * 2$ strati Allocazione di 1 modulo rispetto alla quantità di intonaco applicato: $1 / (10 * 240 * 8 * L / Tord) * (Nord - 1) * L * 2$ Allocazione totale: $(Nord - 1) * L * 1 / (10 * 240 * 8 * L / Tord) * (Nord - 1) * L * 2$ Le due allocazioni sono equivalenti
Elevatore $1 / 30000 * t / (0,02 + 0,002) * (s1 + s2) * Nmod * (Nmod + 1) / 2 * 2 / 3600$ p	Elevatore durata di vita: 30000h -motore: 53kg costituito per: 30%*53kg di acciaio da costruzione

	<p>20%*53kg di acciaio inossidabile 30%*53kg di rame 20%*53kg: di HDPE -scala di guida in acciaio di altezza: 3m*numero di piani Altezza dei ritti: Nord*1m Ritti in tubolare di sezione: 0.05*0.05 m2 e spessore: 0.003m Peso: 7.8*0.05*4*0.003*Nord*1*2 Distanza tra i ritti: 0.8m Distanza tra i pioli: 0.4m pioli in tubolare di sezione: 0.03*0.03 m2 e spessore: 0.002m numero di pioli: Nord*1m/0.4m Peso: 7.8*0.03*4*0.002*0.8*Nord*1/0.4 -cestone in acciaio Peso totale: 0.053+0.06552+0.084864=0.20338t</p>
--	--

Tabella 7-41: processi e impianti del processo Messa in opera dell'intonaco di calce e cemento

Electricity/heat	note
<p>Electricity, low voltage, at grid/IT U $20*t/(0,02+0,002)*(s1+s2)*Nmod*(Nmod+1)/2*2/3600$ kWh</p>	<p>Energia per l'elevazione dei materiali di uno strato potenza: 20kW tempo per elevare il materiale velocità di elevazione: 0.5m/sec tempo per elevare di 1m: 1/0.5=2sec tempo totale per il primo piano: 1t+2t=3t 2+4=6sec tempo totale per il secondo piano: 1t+2t+3t+4t+5t=3t 2+4+6+8+10=2*(1+2+3+4+5)=30sec tempo totale per n strati di 1 m di altezza ciascuno: T=t*S Nmod (da 1 ad Nmod)= $t*Nmod*(Nmod+1)/2$ Tempo per l'applicazione di 2 strati: $t*Nmod*(Nmod+1)/2*2sec$ t è un tempo proporzionale a (0,02+0,002) lo spessore dello strato sarà: s1+s2</p>

Tabella 7-42: energie del processo Messa in opera dell'intonaco di calce e cemento

Trasporti	note
<p>Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $(31,244*L/(10*240*8)*(Tord/2,5*L)*(Nord-1)*3+53,858*L*(Nord-1)/(10*240*8)*(Tord/2,5*L)*(Nord-1)*3)*30$ kgkm</p>	<p>Trasporto del trabattello dall'azienda che fa la costruzione al cantiere: 30km</p>

Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $0,20338*(1/30000*t/(0,02+0,002)*(s1+s2)*Nmod*(Nmod+1)/2*2/3600)*100$ tkm	Trasporto elevatore: 100km
---	-------------------------------

Tabella 7-43: trasporti del processo Messa in opera dell'intonaco di calce e cemento

Non sono considerate emissioni nel corso del processo Messa in opera dell'intonaco di calce e cemento, che di fatto vede coinvolte le sole strumentazioni atte alla posa, poiché esse sono già state considerate nella produzione degli strati dell'intonaco.

7.1.6 Uso dell'intonaco

Il processo di uso dell'intonaco prende in considerazione le manutenzioni che esso subisce durante il suo ciclo di vita. Si suppone di dover condurre 2 manutenzioni differenziate per il 2° strato (il più superficiale ed esposto agli agenti atmosferici che lo usurano, con conseguente dispersione di particolato in aria e in acqua), e il 1° strato, interno, che viene intaccato nel corso delle lavorazioni sullo strato più esterno.

MANUTENZIONE 2° STRATO:

- ogni 10 anni (a partire dal 10° anno): chiusura delle crepe superficiali (spessore identificato dal parametro m distribuito in superficie sul totale del 2° strato)
- ogni 10 anni (a partire dal 20° anno): asportazione totale del 2° strato.

Si utilizza la stessa miscela e quindi lo stesso processo di produzione del 2° strato andando a variare le quantità.

MANUTENZIONE 1°STRATO:

ogni 20 anni (a partire dal 20° anno): rifacimento di uno spessore (pari al parametro n distribuito in superficie) che viene logorato a causa dell'asportazione del 2° strato.

I parametri m ed n permettono di variare l'entità della manutenzione, magari in funzione del tipo di materiale utilizzato per fare l'intonaco (più o meno resistente alle intemperie).

La riassume la ciclicità delle manutenzioni. Ne risulta che nel ciclo di vita dell'edificio, ipotizzato di 100 anni, sarà sostituito per 5 volte lo spessore m (andato in aria e acqua a causa degli agenti atmosferici) e per 4 volte lo spessore n (intaccato nella rimozione totale dello strato più superficiale).

anno	2°strato	1°strato
10	m	0
20	100%	n
30	m	0
40	100%	n
50	m	0
60	100%	n
70	m	0
80	100%	n
90	m	0
100	Fine vita edificio	

Tabella 7-44: cicli di manutenzione previsti in fase d'uso dell'intonaco

Il materiale asportato è condotto al fine vita e valutato nel processo di fine vita. Sono invece inseriti nel processo di uso gli strumenti (trabattello ed elevatore) utilizzati nell'asportazione (parametrizzati come indicato nel par. 6.2.3.6).

Le emissioni relative al processo di produzione della malta per il rifacimento degli strati sono considerate all'interno dei processi di produzione dei singoli strati.

Si hanno invece delle emissioni dirette legate alla seguente ipotesi: in ognuna delle 9 manutenzioni (m e totale) lo spessore m del 2° strato viene emesso in aria e in acqua a causa degli agenti atmosferici. Più precisamente il 50% delle polveri totali emesse va in aria e il 50% delle polveri totali emesse va in acqua.

Si suppone che le dimensioni delle polveri si distribuiscano in ugual misura nelle tre tipologie standard in aria.

Nome	Unità Funzionale	note
Uso dell'intonaco con calce e cemento (spessore asportato)	Nord*L m2	Intonaco composto da tre strati: -l'interno di 0.02m -l'esterno di 0.002m Spessore totale: 0.02+0.002=0.022m Peso totale essiccato: 38+3.67=41.67kg/m2 con spessore 0.022m Durata dell'intonaco: 100 anni manutenzione del 2° strato: ogni 10 anni manutenzione del 1° strato ogni 20 anni tempo necessario per l'applicazione dei 2 strati per m2: Tord Non sono state considerate le polveri che si generano durante l'asportazione del 2° strato (considerate nel processo di fine vita) e dello spessore n del 1° strato

Tabella 7-45: Uso dell'intonaco di calce e cemento (spessore asportato)

Processi e impianti	note
1° strato dell'intonaco di calce e cemento $(1-0,0002)*(1-0,0002)*(n*(100/20-1))*L*Nord$ m3	
Trabattello (piedi e asse) $L/(10*240*8)*(Tord/2,5*L)*(Nord-1)*(100/20-1)$ m2	Piedi e asse del trabattello allocati per la manutenzione del 1° strato
Trabattello (modulo per 1 ordine) $L*(Nord-1)/(10*240*8)*(Tord/2,5*L)*(Nord-1)*(100/20-1)$ m2	Modulo del trabattello allocato per la manutenzione del 1° strato
Elevatore $1/30000*t*Nmod*(Nmod+1)/2/3600*(100/20-1)$ p	Elevatore allocato per la manutenzione del 1° strato
2° strato dell'intonaco di calce e cemento $((1-0,0002)*(1-0,0002)*m*100/20+(1-0,0002)*(1-$	manutenzione del 2° strato ogni 20 anni manutenzione di uno

$0,0002) * (s2 - 0,0002 / 1 * s2) * (100 / 20 - 1) * L * Nord$ m3	spessore m a partire dal decimo anno di vita: 100/20 ogni 20 anni manutenzione del 100% a partire dal ventesimo anno di vita fino al novantesimo: 100/20-1
Trabattello (piedi e asse) $L / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord - 1) * (100 / 20 + 100 / 20 - 1)$ m2	Piedi e asse del trabattello allocati per la manutenzione del 2° strato
Trabattello (modulo per 1 ordine) $L * (Nord - 1) / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord - 1) * (100 / 20 + 100 / 20 - 1)$ m2	Modulo del trabattello allocato per la manutenzione del 2° strato
Elevatore $1 / 30000 * t * Nmod * (Nmod + 1) / 2 / 3600 * (100 / 20 + 100 / 20 - 1)$ p	Elevatore allocato per le manutenzioni del 2° strato. Le manutenzioni totali sono: (100/20+100/20-1)
Trabattello (piedi e asse) $L / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord - 1) * (100 / 20 - 1)$ m2	Piedi e asse del trabattello per effettuare la rimozione del 2° strato e parte del 1° strato.
Trabattello (modulo per 1 ordine) $L * (Nord - 1) / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord - 1) * (100 / 20 - 1)$ m2	Modulo del trabattello allocato per l'asportazione del 2° strato e parte del 1° strato.
Elevatore $1 / 30000 * t * Nmod * (Nmod + 1) / 2 / 3600 * (100 / 20 - 1)$ p	Elevatore allocato per l'asportazione del 2° strato e parte del 1° strato.

Tabella 7-46: processi e impianti del processo Uso dell'intonaco di calce e cemento (spessore asportato)

Energia	note
Electricity, low voltage, at grid/IT U $20 * t * Nmod * (Nmod + 1) / 2 / 3600 * (100 / 20 - 1)$ kWh	Energia per l'elevazione dei materiali del 1° strato allocata sul numero di manutenzioni nel corso dei 100 anni: (100/20-1)
Electricity, low voltage, at grid/IT U $20 * t * Nmod * (Nmod + 1) / 2 / 3600 * (100 / 20 + 100 / 20 - 1)$ kWh	Energia per l'elevazione dei materiali del 2° strato allocata sul numero di manutenzioni nel corso dei 100 anni: (100/20+100/20-1)
Electricity, low voltage, at grid/IT U $20 * t * Nmod * (Nmod + 1) / 2 / 3600 * (100 / 20 - 1)$ kWh	Energia usata dall'elevatore che viene utilizzato per portare a terra i materiali del 2° strato che vengono asportati, allocata sul numero di asportazioni nel corso dei 100 anni: (100/20-1)

Tabella 7-47: energie del processo Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato)

Trasporti	note
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $(31,244 * L / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord - 1) + 53,858 * L * (Nord - 1) / (10 * 240 * 8) * (Tord / 2,5 * L) * (Nord - 1)) * (100 / 20 - 1) * 30$ kgkm	Trasporto del trabattello per la manutenzione del 1° strato dall'azienda che fa la costruzione al cantiere: 30km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	Trasporto elevatore per la manutenzione del 1°

$0,20338 \cdot (1/30000 \cdot t \cdot N_{\text{mod}} \cdot (N_{\text{mod}}+1)/2/3600) \cdot (100/20-1) \cdot 30$ tkm	strato: 30km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $(53,858 \cdot L \cdot (Nord-1)/(10 \cdot 240 \cdot 8) \cdot (Tord/2,5 \cdot L) \cdot (Nord-1) + 31,244 \cdot L / (10 \cdot 240 \cdot 8) \cdot (Tord/2,5 \cdot L) \cdot (Nord-1)) \cdot (100/20+100/20-1) \cdot 30$	Trasporto del trabattello per la manutenzione del 2° strato dall'azienda che fa la costruzione al cantiere: 30km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $0,20338 \cdot (1/30000 \cdot t \cdot N_{\text{mod}} \cdot (N_{\text{mod}}+1)/2/3600) \cdot (100/20+100/20-1) \cdot 30$ tkm	Trasporto dell' elevatore per la manutenzione del 2° strato dall'azienda che fa la costruzione al cantiere: 30km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $(53,858 \cdot L \cdot (Nord-1)/(10 \cdot 240 \cdot 8) \cdot (Tord/2,5 \cdot L) \cdot (Nord-1) + 31,244 \cdot L / (10 \cdot 240 \cdot 8) \cdot (Tord/2,5 \cdot L) \cdot (Nord-1)) \cdot (100/20-1) \cdot 30$	Trasporto del trabattello per l'asportazione del 2° strato dall'azienda che fa la costruzione al cantiere: 30km
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U $0,20338 \cdot (1/30000 \cdot t \cdot Nord \cdot (Nord+1)/2/3600) \cdot (100/20+100/20-1) \cdot 30$	Trasporto dell' elevatore per l'asportazione del 2° strato dall'azienda che fa la costruzione al cantiere: 30km

Tabella 7-48: trasporti del processo Uso dell'intonaco di calce e cemento (spessore asportato)

Emissioni in aria	note
Particulates, > 10 um $1/3 \cdot 0,5 \cdot m \cdot (1-0,0002) \cdot (1-0,0002) \cdot L \cdot Nord \cdot (100/20+100/20-1) \cdot ds3$ kg	in ognuna delle 9 manutenzioni (m e totale) lo spessore m del 3° strato viene emesso in aria e in acqua a causa degli agenti atmosferici. Più precisamente il 50% delle polveri totali emesse va in aria e il 50% delle polveri totali emesse va in acqua. si suppone che le dimensioni delle polveri si distribuiscano in ugual misura nelle tre tipologie standard in aria.
Particulates, > 2.5 um, and < 10um $1/3 \cdot 0,5 \cdot m \cdot (1-0,0002) \cdot (1-0,0002) \cdot L \cdot Nord \cdot (100/20+100/20-1) \cdot ds3$ kg	
Particulates, < 2.5 um $1/3 \cdot 0,5 \cdot m \cdot (1-0,0002) \cdot (1-0,0002) \cdot L \cdot Nord \cdot (100/20+100/20-1) \cdot ds3$ kg	
Emissioni in acqua	
Solved solids $0,5 \cdot m \cdot (1-0,0002) \cdot (1-0,0002) \cdot L \cdot Nord \cdot (100/20+100/20-1) \cdot ds3$ kg	il 50% delle polveri totali emesse va in acqua.

Tabella 7-49: emissioni del processo Uso dell'intonaco di calce e cemento (spessore asportato)

7.1.7 Fine vita

Il processo di fine vita considera sia il fine vita dell'intonaco al 100° anno, sia il fine vita dei materiali che vengono asportati in fase di manutenzione. Per dismettere l'intonaco sono necessari il trabattello e l'elevatore, il cui uso è stato considerato nel processo Uso dell'intonaco di calce e cemento (spessore asportato).

Per il fine vite di ICC il processo di riferimento è Disposal, building, cement (in concrete) and mortar, to final disposal/CH U

Il processo prevede l'abbattimento dell'edificio, la manipolazione dei detriti, le emissioni connesse, il trasporto in discarica, che è un sito per conferimento di inerti (Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH)

Anche la rete va in fine vita e si ipotizza il recupero del metallo. Una parte di intonaco ($r=10\%$) rimane attaccato alla rete e si immagina uno scenario in cui vada in discarica (Disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill/CH)

Nome	Unità Funzionale	note
Fine vita dell'intonaco di calce e cemento (spessore asportato)	Nord*L m2	Fine vita di un intonaco di area: $2.5 * \text{Nord}$ Il fine vita comprende sia quello finale che quello che avviene durante la manutenzione

Tabella 7-50: Fine vita dell'intonaco di calce e cemento (spessore asportato)

Trattamento rifiuti	note
<u>Disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill/CH U</u> $V1 * r * d1$ kg	Fine vita di r del peso del primo strato che rimane attaccato alla rete e va in discarica
<u>Recycling steel and iron/RER U (con scrap)</u> $0,3 * L * \text{Nord}$ kg	peso rete 0.3kg/m^2 la rete viene riciclata
<u>Disposal, building, cement (in concrete) and mortar, to final disposal/CH U</u> $V1 * (1-r) * d1 + (1-0,0002) * (1-0,0002) * (s2-0,0002/1 * s2-m) * d2$ kg	Fine vita al centesimo anno peso totale di 1m^2 dei due strati di intonaco senza emissioni: $38.6 + 3.67 = 42.27 \text{kg}$ Si suppone che r del peso del primo strato rimanga attaccato alla rete e quindi non vada alla discarica per inerti. Al centesimo anno il secondo strato ha disperso nell'ambiente uno spessore pari a m . Rispetto al fine vita della terra: -se si usa il processo <u>Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U (inceneritore)</u> c'è un grande svantaggio -se si usa <u>Disposal, building, cement-fibre slab, to recycling/CH U (con trasporto) (riciclo)</u> i danni sono uguali -se si usa <u>Disposal, building, cement (in concrete) and mortar, to final disposal/CH U (100% in discarica per inerti)</u> o <u>Disposal, building, cement (in concrete) and</u>

	mortar, to sorting plant/CH U (selezione e 85% in discarica per inerti) c'è uno svantaggio
Disposal, building, cement (in concrete) and mortar, to final disposal/CH U $(s2-0,0002/1*s2-m)*(1-0,0002)*(1-0,0002)*L*Nord*(100/20-1)*d2+n*(1-0,0002)*(1-0,0002)*L*Nord*(100/20-1)*d1$ kg	Per (100/20-1) manutenzioni del secondo strato il materiale dell'intonaco rimasto di spessore $(s2-0,0002/1*s2-m)$ viene asportato e condotto al fine vita. Per effettuare la rimozione È necessario l'uso del trabattello e dell'elevatore (considerati in uso) (100/20-1): asportazioni di tutto lo strato che devono essere smaltite durante l'uso - 1 strato che viene smaltito nel fine vita Si considerano anche il fine vita di n del primo strato che durante l'asportazione del secondo strato viene rimosso.

Tabella 7-51: trattamento rifiuti del processo Fine vita dell'intonaco di calce e cemento (spessore asportato)

7.1.8 Il ciclo di vita dell'intonaco di calce e cemento

Il ciclo di vita completo dell'ICC è costituito dalle fasi di: produzione, messa in opera, uso, fine vita.

Nome	Unità Funzionale	note
Intonaco in calce e cemento	L*Nord m2	Il ciclo di vita dell'intonaco in calce e cemento spessore 1° strato: 0.02m spessore 2° strato: 0.002m

Tabella 7-52: Intonaco di calce e cemento

Processi e impianti	note
Produzione dell'intonaco di calce e cemento L*Nord m2	
Messa in opera dell'intonaco di calce e cemento L*Nord m2	
Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato) L*Nord m2	
Fine vita dell'intonaco di calce e cemento (spessore	

asportato)	
L*Nord	m2

Tabella 7-53: processi e impianti del processo Intonaco di calce e cemento

7.2 ANALISI DEI RISULTATI

7.2.1.1.1 Il processo Intonaco in calce e cemento

Il processo Intonaco in calce e cemento si trova con il seguente percorso:

SimaPro7.3.3/SimaPro732/Neri/Paolo/Intonaco in terra cruda/Processing/Others/Rizzo/definitivi

SimaPro 7.3 processes Date: 31/05/2013 Time: 12.45.01
Project Intonaco terra

Process

Category type processing
Process identifier ENEA271419479600202
Type
Process name
Status
Time period Unspecified
Geography Unspecified
Technology Unspecified
Representativeness Unspecified
Multiple output allocation Unspecified
Substitution allocation Unspecified
Cut off rules Unspecified
Capital goods Unspecified
Boundary with nature Unspecified
Infrastructure No
Date 05/03/2013
Record
Generator Rizzo-Neri
Literature references
Collection method
Data treatment
Verification
Comment Il ciclo di vita dell'intonaco in calce e cemento
spessore 1° strato: 0.02m
spessore 2° strato: 0.002m
Allocation rules
System description

Products

Intonaco in calce e cemento L*Nord m2 100 not defined
Others\Rizzo\Processi definitivi Il ciclo di vita dell'intonaco in calce
ecemento
spessore 1° strato: 0.02m
spessore 2° strato: 0.002m

Avoided products

Resources

Materials/fuels

Electricity/heat

Produzione dell'intonaco di calce e cemento L*Nord m2
Messa in opera dell'intonaco di calce e cemento L*Nord m2
Uso dell'intonaco con calce e cemento (spessore asportato) L*Nord m2
 Contiene il fine vita degli strati rimossi durante la manutenzione
Fine vita dell'intonaco di calce e cemento (spessore asportato) L*Nord m2

Emissions to air

Emissions to water

Emissions to soil

Final waste flows

Non material emissions

Social issues

Economic issues

Waste to treatment

Input parameters

m 0,00002 No
 spessore del terzo strato che viene impiegato per la manutenzione
n 0,001 No
 spessore del secondo strato che viene impiegato per la manutenzione
p 2 No
 numero di piani dell'edificio
v 0,5 No
 velocità di elevazione dei materiali sul trabattello: m/sec
h 1 No
 altezza di ciascun ordine di intonaco: m
Tord 0,20 No
 tempo necessario per l'applicazione di uno strato per 2.5*1m2: h
L 2,5 No
 lunghezza del trabattello e dell'ordine: m
s1 0,02 No
 spessore del primo strato: m
s2 0,002 No
 spessore del secondo strato: m

Calculated parameters

Nord p^3
 numero di ordini di intonaco di area 2.5m2
t h/v
 tempo necessario per sollevare i materiali di h: sec
d2 3,67/0,0019988
 densità del secondo strato: kg/m3
 peso 2°strato: 3.67kg/m2 spessore 0.002m
d1 38,6/0,019988
 densità del primo strato: kg/m3
 peso 1°strato: 38,6kg/m2 spessore 0.02m
Nmod Nord-1
 numero di moduli del trabattello

Database Input parameters

Database Calculated parameters

Project Input parameters

Project Calculated parameters

Tabella 7-54 Il processo Intonaco in calce e cemento

7.2.2 Calcolo LCA del processo Intonaco in calce e cemento

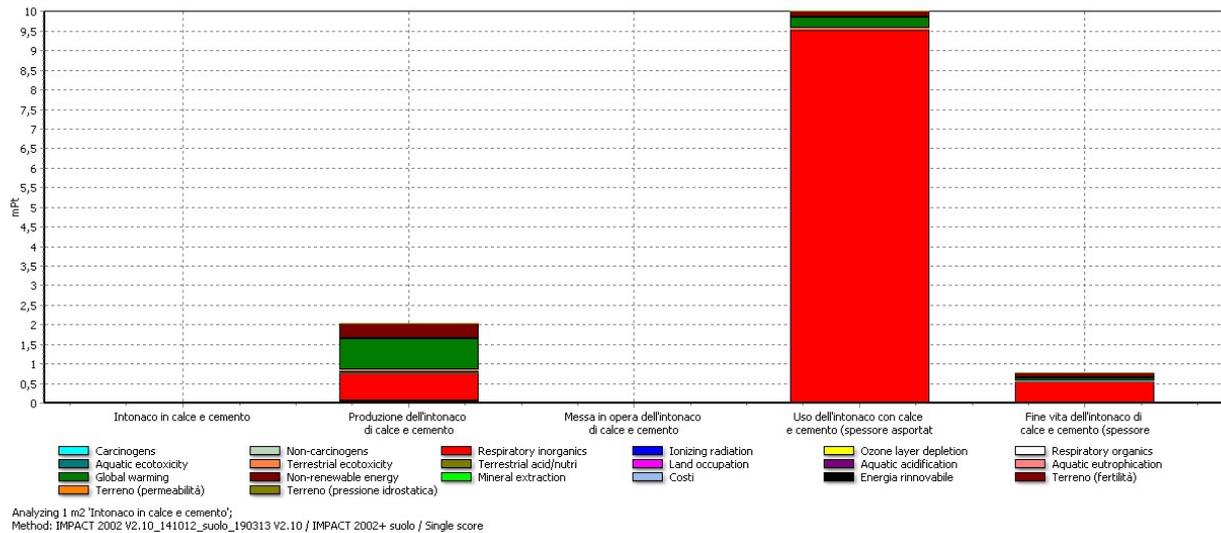


Figura 7-2 Il diagramma della valutazione per single score con IMPACT 2002 del processo Intonaco in calce e cemento

SimaPro 7.3 Impact assessment Date: 31/05/2013 Time: 14.35.23
Project Intonaco terra

```

Calculation:      Analyze
Results:          Impact assessment
Product:          1 m2 Intonaco in calce e cemento (of project Intonaco terra)
Method:           IMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10 / IMPACT 2002+ suolo
Indicator:        Single score
Unit:             mPt
Skip categories:  Never
Exclude infrastructure processes: No
Exclude long-term emissions: No
Per impact category: Yes
Sorted on item:  Impact category
Sort order:       Ascending

```

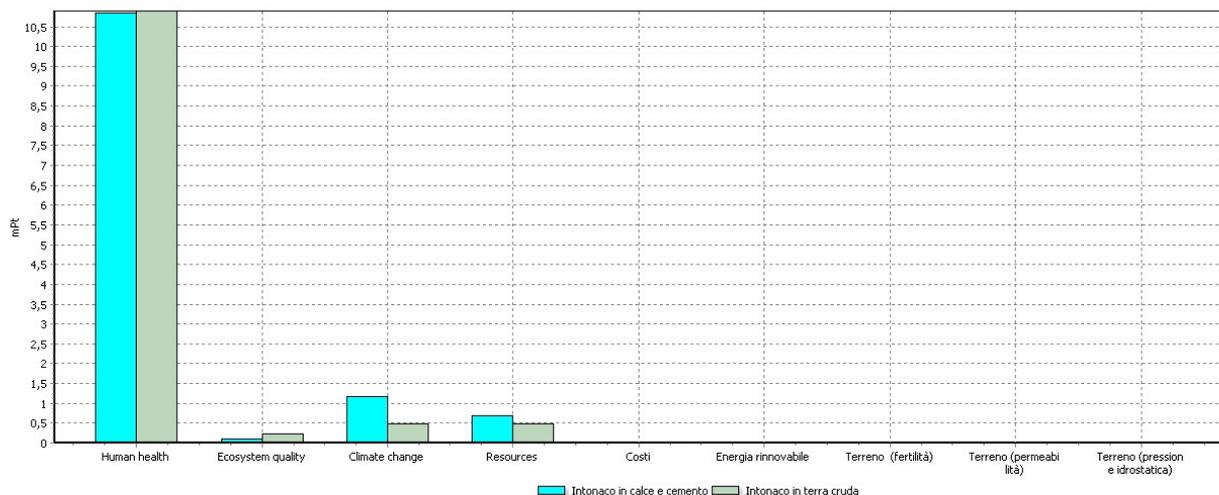
Impact category	Unit	Total Intonaco in calce e cemento	Produzione dell'intonaco di calce e cemento	Messa in opera dell'intonaco di calce e cemento	Uso dell'intonaco con calce e cemento (spessore asportato)	Fine vita dell'intonaco di calce e cemento (spessore asportato)
Total Pt		0,012810091	0	0,002022758	9,2263291E-6	0,010010131
		0,00076797589				
Carcinogens Pt		3,0461651E-5	0	2,2762817E-5		3,0778417E-7
		4,2050905E-6		3,1859592E-6		

Non-carcinogens	Pt	3,9550529E-5	0	3,0021731E-5	2,5648466E-7
		6,9346967E-6		2,3376164E-6	
Respiratory inorganics	Pt	0,01078104	0	0,00071669586	3,2628122E-6
		0,0095227333		0,00053834778	
Ionizing radiation	Pt	3,0026466E-6	0	2,0345749E-6	
		1,3598344E-8		7,3848431E-7	2,1598911E-7
Ozone layer depletion	Pt	1,4335702E-7	0	7,8696812E-8	
		2,6160374E-10		3,6180844E-8	2,8217763E-8
Respiratory organics	Pt	1,2767019E-6	0	6,5763039E-7	
		1,8950334E-9		3,2211311E-7	2,950634E-7
Aquatic ecotoxicity	Pt	1,6043128E-6	0	9,9137337E-7	
		7,4562884E-9		4,3616357E-7	1,693196E-7
Terrestrial ecotoxicity	Pt	8,2389971E-5	0	4,8416311E-5	
		3,5579049E-7		2,2834102E-5	1,0783767E-5
Terrestrial acid/nutri	Pt	1,4102696E-5	0	6,9061481E-6	
		2,725535E-8	3,6989768E-6	3,470316E-6	
Land occupation	Pt	1,0174749E-5	0	7,3983549E-6	3,3014245E-8
		3,4815871E-6		-7,3820707E-7	
Aquatic acidification	Pt	-	-	-	-
Aquatic eutrophication	Pt	-	-	-	-
Global warming	Pt	0,001162883	0	0,00079815845	2,4382556E-6
		0,00027750048		8,4785786E-5	
Non-renewable energy	Pt	0,00068089684	0	0,00038662483	
		2,5100852E-6		0,00016675603	0,00012500589
Mineral extraction	Pt	1,2535437E-6	0	9,2879167E-7	
		1,1466469E-8		2,3149874E-7	8,1786814E-8
Costi	Pt	0	0	0	0
Energia rinnovabile	Pt	0	0	0	0
Terreno (fertilità)	Pt	0	0	0	0
Terreno (permeabilità)	Pt	0	0	0	0
Terreno (pressione idrostatica)	Pt	1,3116269E-6	0	1,0824844E-6	
		1,6949816E-10	2,2238097E-7	6,5920203E-9	

Tabella 7-55 La tabella della valutazione per single score con IMPACT 2002 del processo Intonaco in calce e cemento

7.2.3 Confronto

E' stato eseguito il confronto per 1 m2 dei processi Intonaco in terra cruda (ITC) e Intonaco in calce e cemento (ICC) con il metodo IIMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10 / IMPACT 2002+ suolo



Comparing 1 m2 'Intonaco in calce e cemento' with 1 m2 'Intonaco in terra cruda';
Method: IMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10 / IMPACT 2002+ suolo / Weighting

Figura 7-3 Il diagramma della valutazione secondo IMPACT 2002 per damage category dei processi Intonaco in terra cruda e Intonaco in calce e cemento

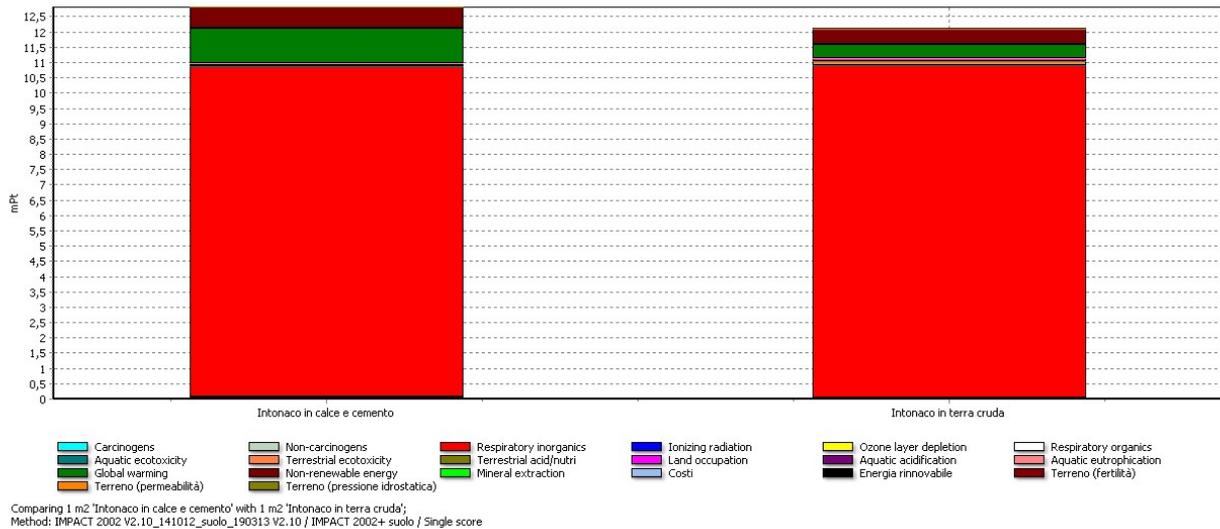


Figura 7-4 Il diagramma della valutazione secondo IMPACT 2002 per single score dei processi Intonaco in terra cruda e Intonaco in calce e cemento

Simapro 7.3 Impact assessment Date: 31/05/2013 Time: 12.42.22
Project Intonaco terra

Calculation: Compare
Results: Impact assessment
Product 1: 1 m2 Intonaco in calce e cemento (of project Intonaco terra)
Product 2: 1 m2 Intonaco in terra cruda (of project Intonaco terra)
Method: IMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10 / IMPACT 2002+ suolo
Indicator: Single score
Unit: mPt
Skip categories: Never
Exclude infrastructure processes: No
Exclude long-term emissions: No
Per impact category: Yes
Sorted on item: Impact category
Sort order: Ascending

Impact category	Unit	Intonaco in calce e cemento	Intonaco in terra cruda
Total Pt	0,012810091	0,012120527	
Carcinogens	Pt	3,0461651E-5	1,2995604E-5
Non-carcinogens	Pt	3,9550529E-5	2,6991441E-5
Respiratory inorganics	Pt	0,01078104	0,010853356
Ionizing radiation	Pt	3,0026466E-6	1,4976594E-6
Ozone layer depletion	Pt	1,4335702E-7	9,9617945E-8
Respiratory organics	Pt	1,2767019E-6	1,0855243E-6
Aquatic ecotoxicity	Pt	1,6043128E-6	1,3395539E-6
Terrestrial ecotoxicity	Pt	8,2389971E-5	0,00011841304
Terrestrial acid/nutri	Pt	1,4102696E-5	1,5320697E-5
Land occupation	Pt	1,0174746E-5	8,7716608E-5
Aquatic acidification	Pt	-	-
Aquatic eutrophication	Pt	-	-
Global warming	Pt	0,001162883	0,00048923792
Non-renewable energy	Pt	0,00068089684	0,00047728791
Mineral extraction	Pt	1,2535437E-6	6,638681E-7
Costi	Pt	0	0
Energia rinnovabile	Pt	0	0

Terreno (fertilità)	Pt	0	0
Terreno (permeabilità)	Pt	0	0
Terreno (pressione idrostatica)	Pt	1,3116269E-6	3,4522104E-5

Tabella 7-56 La tabella della valutazione secondo IMPACT 2002 per impact category dei processi Intonaco in terra cruda e Intonaco in calce e cemento

Dall'analisi dei risultati della valutazione si nota che:

- il danno totale dell'ICC (0.01281009 Pt) è maggiore di quello dell'ITC (0.01191573 Pt) del 7.51%.
- In **Human Health** il danno dell'ICC (0.01085547 Pt) è maggiore di quello dell'ITC (0.01077309 Pt) dello 0.76%. Ciò è dovuto principalmente a *Particulates, >10µm*, soprattutto perché il primo strato di ICC ha una massa maggiore di quella dell'ITC.
- In **Ecosystem quality** il danno dell'ICC (0.0001082717 Pt) è minore di quello dell'ITC (0.0002138388 Pt) del 49.37%. Ciò è dovuto principalmente a *Zinc*, in aria che è inferiore in ICC, in particolare a causa di Operation, lorry 20-28t, fleet average/CH nei processi di trasporto poiché la quantità da trasportare è minore per ICC che per ITC.
- In **Climate change** il danno dell'ICC (0.001162883 Pt) è maggiore di quello dell'ITC (0.0004558122 Pt) del 155.12%. Ciò è dovuto principalmente a *Carbon dioxide, fossil*, in aria che è superiore in ICC, in particolare a causa di Quicklime, in pieces, loose, at plant/CH la cui massa è maggiore per ICC (5.6229kg) che per ITC (0.789403kg) e a causa di Clinker, at plant/CH.
- In **Resources** il danno dell'ICC (0.0006821504 Pt) è maggiore di quello dell'ITC (0.0004779518 Pt) del 54.8%. Ciò è dovuto principalmente a *Oil, crude, in ground* che è superiore in ICC, in particolare a causa di Crude oil, at production onshore/RAF soprattutto a causa della produzione di calce che ha una massa maggiore per ICC che per ITC.
- **Terreno (pressione idrostatica)** il danno dell'ICC (1.311627E-6 Pt) è minore di quello dell'ITC (3.232217E-5 Pt) del 95.94%. Ciò è dovuto principalmente a *Clay, unspecified, in ground* che è superiore in ITC, in particolare a causa di Clay, at mine/CH soprattutto a causa della maggiore massa di argilla presente nell'intonaco di terra.

7.2.4 Conclusioni

Le conclusioni principali sono:

- il danno totale dell'ICC è maggiore di quello dell'ITC del 7.51%.
- In **Human Health** si ha un danno maggiore nell'ITC a causa della maggiore massa totale dell'intonaco.
- In **Ecosystem quality** si ha un danno maggiore nell'ITC a causa del trasporto di una maggiore massa totale di intonaco.
- In **Terreno (pressione idrostatica)** si ha un danno maggiore nell'ITC a causa di una maggiore massa totale di argilla.
- In **Climate change** si ha un danno maggiore nell'ICC a causa della produzione di calce e cemento.
- In **Resources** si ha un danno maggiore nell'ICC a causa della produzione di calce.

7.3 CONFRONTO TRA L'INTONACO IN TERRA, L'INTONACO IN TERRA A KM ZERO E L'INTONACO IN CALCE E CEMENTO

Viene creato il processo Intonaco in terra cruda (km zero) (ITCkm0) ottenuto da Intonaco in terra cruda sostituendo ai percorsi di approvvigionamento dei materiali del primo e del secondo strato i seguenti:

- per la terra presente nella barbotina: 1km
- per il primo strato, trasporto paglia e trasporto terra: 1km
- per il secondo strato, trasporto terra: 5km

Il processo si trova con lo stesso percorso degli altri sopraindicati

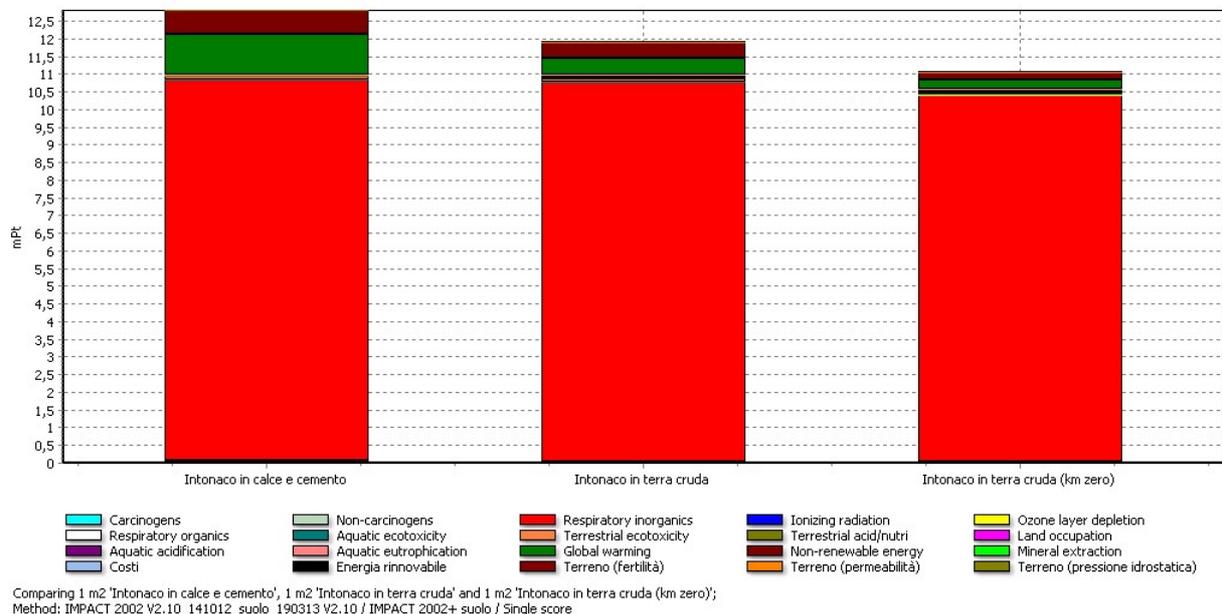


Figura 7-5 Il diagramma della valutazione secondo IMPACT 2002 per single score dei processi Intonaco in calce e cemento, Intonaco in terra cruda, Intonaco in terra cruda (km zero)

SimaPro 7.3 Impact assessment Date: 31/05/2013 Time: 15.33.46
Project Intonaco terra

```

Calculation: Compare
Results: Impact assessment
Product 1: 1 m2 Intonaco in calce e cemento (of project Intonaco terra)
Product 2: 1 m2 Intonaco in terra cruda (of project Intonaco terra)
Product 3: 1 m2 Intonaco in terra cruda (km zero) (of project Intonaco terra)
Method: IMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10 / IMPACT 2002+ suolo
Indicator: Single score
Unit: mPt
Skip categories: Never
Exclude infrastructure processes: No
Exclude long-term emissions: No
Per impact category: Yes
Sorted on item: Impact category
Sort order: Ascending

```

Impact category	Unit	Intonaco in calce e cemento	Intonaco in terra cruda	Intonaco in terra cruda (km zero)
Total Pt		0,012810091	0,011915726	0,011071307
Carcinogens	Pt	3,0461651E-5	1,2108636E-5	6,5869802E-6
Non-carcinogens	Pt	3,9550529E-5	2,5751659E-5	1,7749913E-5
Respiratory inorganics	Pt	0,01078104	0,010732768	0,010395694
Ionizing radiation	Pt	3,0026466E-6	1,3684607E-6	8,0608565E-7
Ozone layer depletion	Pt	1,4335702E-7	9,2048777E-8	4,1969116E-8
Respiratory organics	Pt	1,2767019E-6	1,0038372E-6	4,5048457E-7
Aquatic ecotoxicity	Pt	1,6043128E-6	1,2386066E-6	7,9107675E-7
Terrestrial ecotoxicity	Pt	8,2389971E-5	0,00011151173	6,5750732E-5
Terrestrial acid/nutri	Pt	1,4102696E-5	1,4185646E-5	6,6460112E-6

Land occupation	Pt	1,0174746E-5	8,6902855E-5	8,4354514E-5
Aquatic acidification	Pt	-	-	-
Aquatic eutrophication	Pt	-	-	-
Global warming	Pt	0,001162883	0,00045581219	0,0002490331
Non-renewable energy	Pt	0,00068089684	0,00044004843	0,00021066246
Mineral extraction	Pt	1,2535437E-6	6,1136867E-7	4,3464547E-7
Costi	Pt	0	0	0
Energia rinnovabile	Pt	0	0	0
Terreno (fertilità)	Pt	0	0	0
Terreno (permeabilità)	Pt	0	0	0
Terreno (pressione idrostatica)	Pt	1,3116269E-6	3,2322172E-5	3,2305802E-5

Tabella 7-57 La tabella della valutazione secondo IMPACT 2002 per single score dei processi Intonaco in calce e cemento, Intonaco in terra cruda, Intonaco in terra cruda (km zero)

Dall'analisi della valutazione si nota che:

- il danno totale di ITCKm0 vale 0.01107131Pt
- il danno di ICC è maggiore di quello di ITCKm0 del 15.71%
- il danno di ITC è maggiore di quello di ITCKm0 del 7.63%

7.3.1 Conclusioni

Dal confronto si nota che la scelta del 'km zero' riduce il danno del 7.63%

7.4 CONFRONTO TRA DIVERSI FINE VITA DELL'INTONACO IN TERRA CRUDA

Il processo usato per il fine vita dell'intonaco in terra cruda è Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U). Il processo è stato ottenuto da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U sostituendo all'inceneritore il recupero di una cava di argilla rappresentata dal processo Recupero di un sito per estrazione di argilla.

SimaPro 7.3 processes Date: 31/05/2013 Time: 16.42.41
Project Intonaco terra

Process

Category type waste treatment
Process identifier ENEA271419479600124
Type Unit process
Process name disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/kg/CH
Status
Time period Unspecified
Geography Unspecified
Technology Unspecified
Representativeness Unspecified
Waste treatment allocation Unspecified
Cut off rules Unspecified
Capital goods Unspecified
Boundary with nature Unspecified
Infrastructure No
Date 22/05/2003
Record Data entry by: Roland Hischier
Telephone: 0041 71 274 78 47; E-mail: empa@ecoinvent.org; Company: EMPA;
Country: CH
Generator Generator/publisher: Gabor Doka
Telephone: 0041 44 463 16 08; E-mail: doka@ecoinvent.org; Company: DOKA;
Country: CH

Rizzo-Neri

Literature references Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services/2009/Doka G.

Data has been published entirely in

Copyright: true; Page: part V

Collection method Sampling procedure: waste-specific calculation based on literature data

Data treatment Extrapolations: none

Uncertainty adjustments: none

Verification Proof reading validation: Passed. Calculation for standard deviation 95 of infrastructure, land occupation, transport services and other services can differ from standard Pedigree approach used in this project and figures obtained by this procedure.

Validator: Niels Jungbluth

Telephone: 0041 44 940 61 32; E-mail: esu-services@ecoinvent.org; Company: ESU; Country: CH

Comment Translated name: Entsorgung, Gebäude, Holzzementplatte, in Beseitigung

Included processes: energy for dismantling, particulate matter emissions from dismantling and handling, transport to dismantling facilities, final disposal of waste material,

Remark: The waste contains 0.64kg inert material (GSD=101%) and 0.36kg untreated wood (GSD=102.3%) Waste density is 1200 kg/m³. Allocation of energy production in waste incineration: no substitution or expansion. Total burden allocated to waste disposal function of waste incinerator.; Geography: Specific to the technology mix encountered in Switzerland in late 1990ies

Technology: Building demolition with skid-steer loaders.

Version: 2.2

Energy values: Undefined

Local category: Entsorgungssysteme

Local subcategory: Gebäudeentsorgung

Source file: 02008.XML

---->Nel processo Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U è stato sostituito il fine vita nell'inceneritore con il recupero di una cava di argilla

Allocation rules

System description Ecoinvent

Waste treatment

Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U) 1 kg All waste types Construction waste SWITZERLAND

Nel processo Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U è stato sostituito il fine vita nell'inceneritore con il recupero di una cava di argilla

Avoided products

Resources

Materials/fuels

Diesel, burned in building machine/GLO U 0,0359 MJ energy for demolition. Uncertainty from range in (DAFSTB 1996) Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U 0,01 tkm transport to disposal facilities. Uncertainty calculated from uncertainty in transported masses and the uncertainty in generic transportation distances

Electricity/heat

Emissions to air

Particulates, < 2.5 um high. pop. 0,0000166 kg emission from dismantling and handling. (2,3,3,3,1,5) & basic uncertainty of 3; from one extrapolated PM10 emission factor and generic PM fractions from measurements

Particulates, > 2.5 um, and < 10um high. pop. 0,0000634 kg emission from dismantling and handling. (2,3,3,3,1,5) & basic uncertainty of 2; from one extrapolated PM10 emission factor and generic PM fractions from measurements

Particulates, > 10 um high. pop. 0,0000835 kg emission from dismantling and handling. (2,3,3,3,1,5) & basic uncertainty of 1.5; from one extrapolated PM10 emission factor and generic PM fractions from measurements

Emissions to water

Emissions to soil

Final waste flows

Non material emissions

Social issues

Economic issues

Waste to treatment

Recupero di un sito per l'estrazione di argilla1 kg disposed masses.
Uncertainty calculated from uncertainty of waste composition

Input parameters

Calculated parameters

Database Input parameters

Database Calculated parameters

Project Input parameters

Project Calculated parameters

Tabella 7-58 Il processo Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U)

SimaPro 7.3 process Date: 31/05/2013 Time: 16.52.34

Project Intonaco terra

Process

Category type waste treatment

Process identifier ENEA271419479600125

Type

Process name

Status

Time period Unspecified

Geography Unspecified

Technology Unspecified

Representativeness Unspecified

Waste treatment allocation Unspecified

Cut off rules Unspecified

Capital goods Unspecified

Boundary with nature Unspecified

Infrastructure No

Date 05/03/2013

Record

Generator Rizzo-Neri

Literature references

Collection method

Data treatment

Verification

Comment Il processo considera il conferimento dell'intonaco di terra cruda nel terreno allo scopo di colmare la cavità lasciata da una cava di argilla con il conseguente recupero del territorio. Si suppone per il momento che il riempimento sia seguito dalla ripristino della vegetazione naturale originaria del territorio.

Allocation rules

System description

Waste treatment

Recupero di un sito per l'estrazione di argilla 1 kg All waste types

Construction waste Il processo considera il conferimento dell'intonaco di terra cruda nel terreno allo scopo di colmare la cavità lasciata da una cava di argilla con il conseguente recupero del territorio. Si suppone per il momento che il riempimento sia seguito dalla ripristino della vegetazione naturale originaria del territorio.

Avoided products

Resources

Transformation, from mineral extraction site land 0,0000167 m2 Lognormal
2,29999999999999982 (5,2,3,1,1,1);

0,0000167m2 è l'area che
corrisponde ad 1kg di argilla scavata (da Clay, at mine/CH

Materials/fuels

Electricity/heat

Emissions to air

Emissions to water

Emissions to soil

Final waste flows

Non material emissions

Social issues

Economic issues

Waste to treatment

Input parameters

Calculated parameters

Tabella 7-59 Il processo Recupero di un sito per estrazione di argilla

7.4.1 Calcolo LCA del processo Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U)

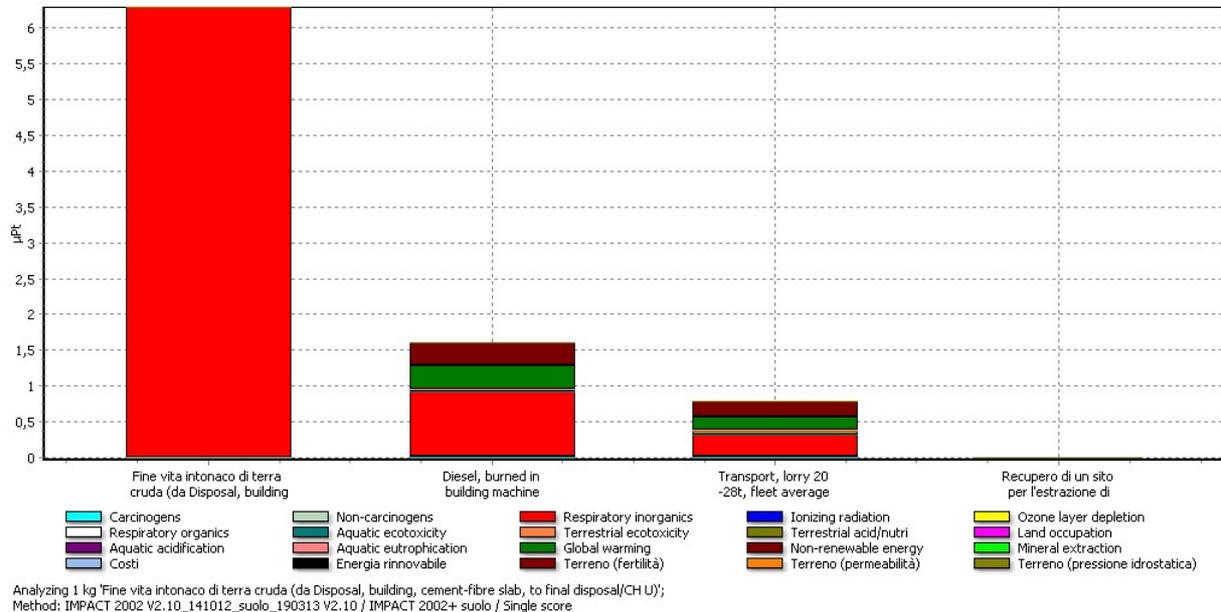


Figura 7-6 Il diagramma della valutazione per single score del processo Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U)

SimaPro 7.3 Impact assessment Date: 31/05/2013 Time: 16.45.17
Project Intonaco terra

Calculation: Analyze
Results: Impact assessment
Product: 1 kg Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U) (of project Intonaco terra)
Method: IMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10 / IMPACT 2002+ suolo
Indicator: Single score
Unit: μPt
Skip categories: Never
Exclude infrastructure processes: No
Exclude long-term emissions: No
Per impact category: Yes
Sorted on item: Impact category
Sort order: Ascending

Impact category	Unit	Total Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U)	Diesel, burned in building machine/GLO U	Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	Recupero di un sito per l'estrazione di argilla
Total Pt		8,6536092E-6	6,28578E-6	1,6140114E-6	7,8453905E-7
Carcinogens	Pt	1,416636E-8	0	9,0362548E-9	5,1301056E-9
Non-carcinogens	Pt	1,2226292E-8	0	4,791964E-9	7,4343283E-9
Respiratory inorganics	Pt	7,5044594E-6	0	6,28578E-6	9,055076E-7
Ionizing radiation	Pt	8,1781407E-10	0	2,9531803E-10	0

Ozone layer depletion	Pt	1,0716591E-10	0	6,0637488E-11		
4,6528425E-11	0					
Respiratory organics	Pt	1,559076E-9	0	1,0449626E-9	5,1411344E-10	
0						
Aquatic ecotoxicity	Pt	9,1709329E-10	0	5,0129858E-10		
4,1579471E-10	0					
Terrestrial ecotoxicity	Pt	6,1013765E-8	0	1,8497755E-8		
4,251601E-8	0					
Terrestrial acid/nutri	Pt	2,3551858E-8	0	1,6546873E-8		
7,0049858E-9	0					
Land occupation	Pt	-2,5929437E-8	0	2,4242493E-9	2,3676332E-9	
-3,072132E-8						
Aquatic acidification	Pt	-	-	-	-	
Aquatic eutrophication	Pt	-	-	-	-	
Global warming	Pt	5,2117573E-7	0	3,290597E-7	1,9211603E-7	0
Non-renewable energy	Pt	5,3916696E-7	0	3,2604715E-7		
2,1311981E-7	0					
Mineral extraction	Pt	3,587842E-10	0	1,9459274E-10		
1,6419145E-10	0					
Costi	Pt	0	0	0	0	0
Energia rinnovabile	Pt	0	0	0	0	0
Terreno (fertilità)	Pt	0	0	0	0	0
Terreno (permeabilità)	Pt	0	0	0	0	0
Terreno (pressione idrostatica)	Pt	1,8266795E-11	0	3,0579857E-12		
1,520881E-11	0					

Tabella 7-60 Il diagramma della valutazione per single score del processo Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U)

Altri possibili fine vita dell'intonaco in terra cruda sono:

- il processo di Ecoinvent Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U nel quale il materiale ottenuto dall'abbattimento dell'edificio viene inviato all'inceneritore municipale.
- Il processo Disposal, building, cement-fibre slab, to recycling/CH U (con trasporto) nel quale il materiale ottenuto dall'abbattimento dell'edificio viene frantumato e usato come inerte da riciclo. Il processo è stato ottenuto dal processo di Ecoinvent Disposal, building, cement-fibre slab, to recycling/CH U con l'aggiunta del trasporto dal cantiere alla discarica.
- Il processo di Ecoinvent Disposal, building, cement (in concrete) and mortar, to final disposal/CH U nel quale il materiale ottenuto dall'abbattimento dell'edificio viene inviato nella discarica per inerti.
- Il processo di Ecoinvent Disposal, building, cement (in concrete) and mortar, to sorting plant/CH U nel quale il materiale ottenuto dall'abbattimento dell'edificio viene selezionato, l'85% va in discarica per inerti e il 15% viene usato come inerte da riciclo.

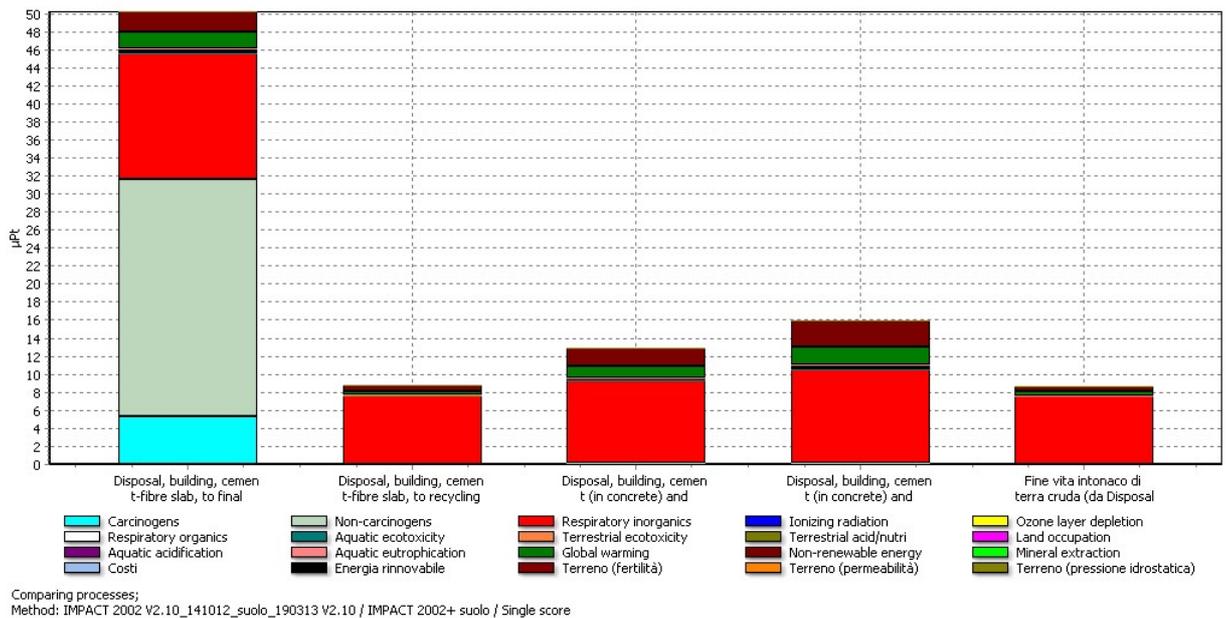


Figura 7-7 Il diagramma del confronto della valutazione del danno dovuto ai diversi scenari di fine vita

SimaPro 7.3 Impact assessment Date: 31/05/2013 Time: 17.15.59

Project Intonaco terra

Calculation: Compare

Results: Impact assessment

Product 1: 1 kg Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U (of project Ecoinvent unit processes)

Product 2: 1 kg Disposal, building, cement-fibre slab, to recycling/CH U (con trasporto) (of project Intonaco terra)

Product 3: 1 kg Disposal, building, cement (in concrete) and mortar, to final disposal/CH U (of project Ecoinvent unit processes)

Product 4: 1 kg Disposal, building, cement (in concrete) and mortar, to sorting plant/CH U (of project Ecoinvent unit processes)

Product 5: 1 kg Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U) (of project Intonaco terra)

Method: IMPACT 2002 V2.10_141012_suolo_190313 V2.10 / IMPACT 2002+ suolo

Indicator: Single score

Unit: μ Pt

Skip categories: Never

Exclude infrastructure processes: No

Exclude long-term emissions: No

Per impact category: No

Sorted on item: Damage category

Sort order: Ascending

Damage category	Unit	Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U	Disposal, building, cement-fibre slab, to recycling/CH U (con trasporto)	Disposal, building, cement (in concrete) and mortar, to final disposal/CH U	Disposal, building, cement (in concrete) and mortar, to sorting plant/CH U	Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U)
Total Pt		5,0237161E-5	8,6536092E-6	8,6843305E-6	1,2914018E-5	1,5947729E-5
Human health	Pt	4,5607969E-5	1,04616E-5	7,5333361E-6	9,3042171E-6	7,5333361E-6
Ecosystem quality	Pt	4,4392447E-7	4,942362E-7	9,02746E-8	2,1129385E-7	5,955328E-8

Climate change	Pt	1,9258073E-6	5,2117573E-7	1,3791256E-6
		1,9914784E-6	5,2117573E-7	
Resources	Pt	2,2588411E-6	5,3952575E-7	2,0193142E-6
		3,0001978E-6	5,3952575E-7	
Costi	Pt	0	0	0
Energia rinnovabile	Pt	0	0	0
Terreno (fertilità)	Pt	0	0	0
Terreno (permeabilità)	Pt	0	0	0
Terreno (pressione idrostatica)	Pt	6,1949405E-10	1,8266795E-11	
		6,7677239E-11	2,15896E-10	1,8266795E-11

Tabella 7-61 Il diagramma del confronto della valutazione del danno dovuto ai diversi scenari di fine vita

Dall'analisi si evince che:

- il processo di Ecoinvent Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U nel quale il materiale ottenuto dall'abbattimento dell'edificio viene inviato all'inceneritore municipale produce il danno maggiore
- Il processo Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U (recupero di una cava) produce il danno minore, seguito dal processo Disposal, building, cement-fibre slab, to recycling/CH U (con trasporto) (nel quale il materiale ottenuto dall'abbattimento dell'edificio viene frantumato e usato come inerte da riciclo) con uno scostamento di 8,6536092E-6 Pt.

7.4.2 Confronto tra i processi per la produzione della barbottina con o senza polvere

Si sono messi a confronto il processo per la produzione della barbottina Barbottina come legante usato nello studio e il processo Barbottina come legante (con polveri) ricavato dal primo con l'aggiunta della produzione di polveri derivanti dalla manipolazione della terra.

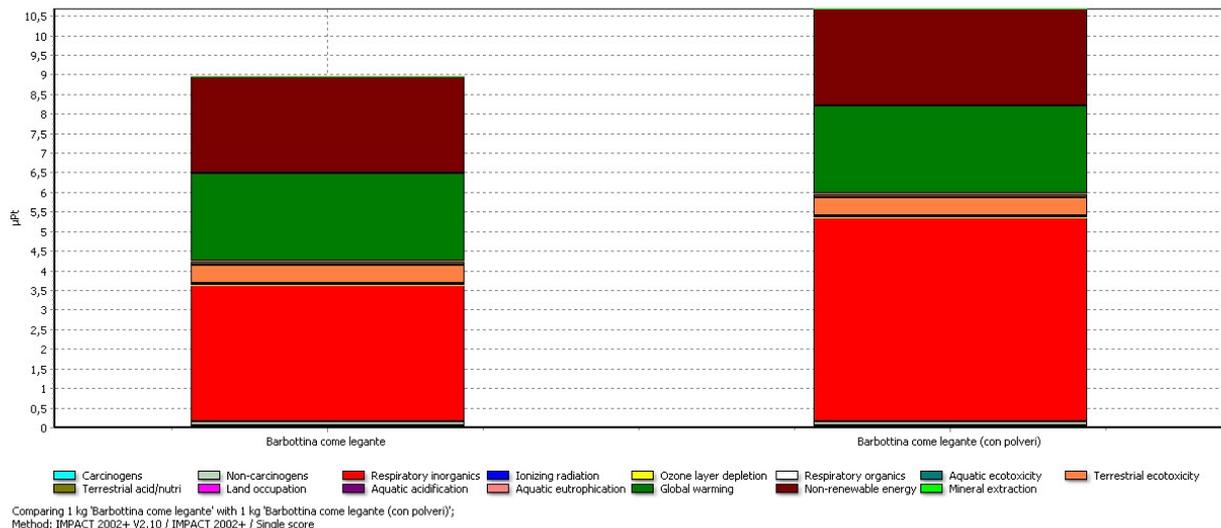


Figura 7-8 Il diagramma della valutazione del confronto con IMPACT dei processi Barbottina come legante e Barbottina come legante (con polveri)

SimaPro 7.3 Impact assessment Date: 10/06/2013 Time: 13.02.07
Project Intonaco terra

Calculation: Compare
Results: Impact assessment
Product 1: 1 kg Barbottina come legante (of project Intonaco terra)
Product 2: 1 kg Barbottina come legante (con polveri) (of project Intonaco terra)

Method: IMPACT 2002+ V2.10 / IMPACT 2002+
 Indicator: Single score
 Unit: μ Pt
 Skip categories: Never
 Exclude infrastructure processes: No
 Exclude long-term emissions: No
 Per impact category: Yes
 Sorted on item: Impact category
 Sort order: Ascending

Impact category	Unit	Barbottina come legante	Barbottina come legante (con polveri)
Total	Pt	8,9594439E-6	1,0682777E-5
Carcinogens	Pt	6,1929595E-8	6,1929595E-8
Non-carcinogens	Pt	8,6610803E-8	8,6610803E-8
Respiratory inorganics	Pt	3,4825895E-6	5,2059229E-6
Ionizing radiation	Pt	7,0714962E-9	7,0714962E-9
Ozone layer depletion	Pt	5,2133734E-10	5,2133734E-10
Respiratory organics	Pt	5,9158651E-9	5,9158651E-9
Aquatic ecotoxicity	Pt	4,5365422E-8	4,5365422E-8
Terrestrial ecotoxicity	Pt	4,5936009E-7	4,5936009E-7
Terrestrial acid/nutri	Pt	8,1876494E-8	8,1876494E-8
Land occupation	Pt	1,5643755E-8	1,5643755E-8
Aquatic acidification	Pt	-	-
Aquatic eutrophication	Pt	-	-
Global warming	Pt	2,2396448E-6	2,2396448E-6
Non-renewable energy	Pt	2,471675E-6	2,471675E-6
Mineral extraction	Pt	1,2397047E-9	1,2397047E-9

Tabella 7-62 La tabella della valutazione del confronto con IMPACT dei processi Barbottina come legante e Barbottina come legante (con polveri)

Dal confronto si nota che con le polveri il danno in **Respiratory Inorganics** (dovuto appunto alle polveri) aumenta del 19.23%

7.4.3 Confronto tra il processo di fine vita per compostaggio e il processo di recupero di una cava

Si sono messi a confronto il processo di fine vita assunto nello studio per l'intonaco di terra cruda Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U) che prevede il riutilizzo del materiale dell'intonaco di terra e paglia come riempimento nel recupero di una cava e il processo di compostaggio Composting organic waste/RER U (da Composting NL 1995 (sub) di IVAMLCA3)

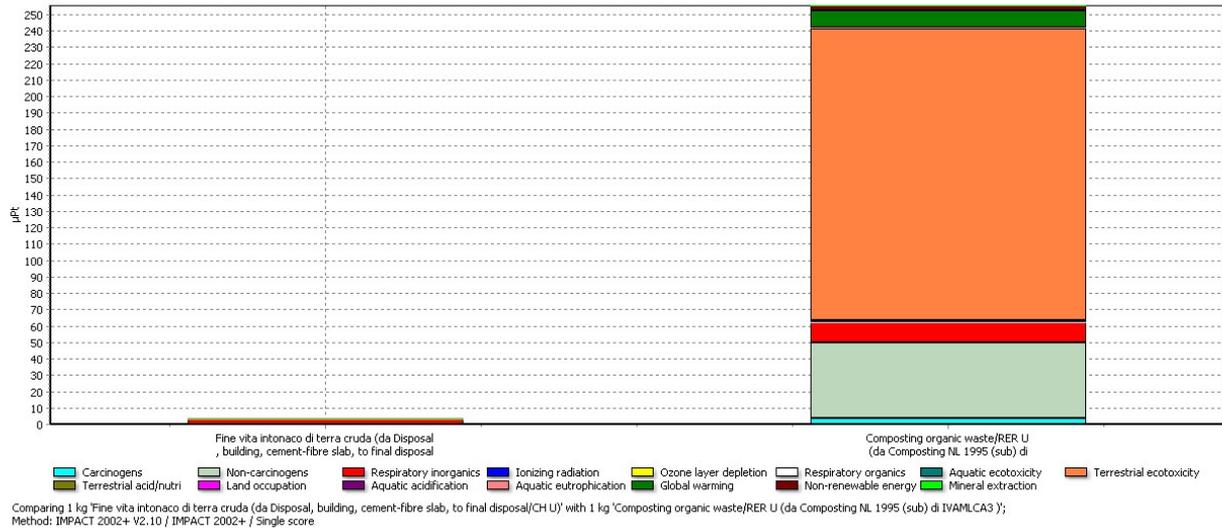


Figura 7-9 Il diagramma della valutazione del confronto tra i processi Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U) e Composting organic waste/RER U (da Composting NL 1995 (sub) di IVAMLCA3)

SimaPro 7.3 Impact assessment Date: 10/06/2013 Time: 13.22.39
Project Intonaco terra

Calculation: Compare
Results: Impact assessment
Product 1: 1 kg Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U) (of project Intonaco terra)
Product 2: 1 kg Composting organic waste/RER U (da Composting NL 1995 (sub) di IVAMLCA3) (of project Intonaco terra)
Method: IMPACT 2002+ V2.10 / IMPACT 2002+
Indicator: Single score
Unit: μPt
Skip categories: Never
Exclude infrastructure processes: No
Exclude long-term emissions: No
Per impact category: Yes
Sorted on item: Impact category
Sort order: Ascending

Impact category	Unit	Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U)	Composting organic waste/RER U (da Composting NL 1995 (sub) di IVAMLCA3)
Total Pt		3,9822485E-6	0,00025551909
Carcinogens Pt		1,416636E-8	3,7608361E-6
Non-carcinogens Pt		1,2226292E-8	4,6389232E-5
Respiratory inorganics Pt		2,8057168E-6	1,2218248E-5
Ionizing radiation Pt		8,1781407E-10	8,9904877E-9
Ozone layer depletion Pt		1,0716591E-10	6,4274951E-10

Respiratory organics	Pt	1,559076E-9	8,4994986E-9
Aquatic ecotoxicity	Pt	9,1709329E-10	8,644387E-7
Terrestrial ecotoxicity	Pt	6,1013765E-8	0,00017810062
Terrestrial acid/nutri	Pt	2,3551858E-8	6,2703644E-7
Land occupation	Pt	1,5862138E-9	3,9008336E-8
Aquatic acidification	Pt	-	-
Aquatic eutrophication	Pt	-	-
Global warming	Pt	5,2117573E-7	1,0566832E-5
Non-renewable energy	Pt	5,3916696E-7	2,9325551E-6
Mineral extraction	Pt	2,4331759E-10	2,1476553E-9

Tabella 7-63 La tabella della valutazione del confronto tra i processi Fine vita intonaco di terra cruda (da Disposal, building, cement-fibre slab, to final disposal/CH U) e Composting organic waste/RER U (da Composting NL 1995 (sub) di IVAMLCA3)

Dal confronto si nota che il processo di compostaggio produce un impatto che è 64 volte più dannoso del processo di recupero di un sito di estrazione di argilla, con danno maggiore in **Terrestrial ecotoxicity**.

7.4.4 Conclusioni generali

Dallo studio si può concludere che:

- il danno massimo si ha in **Human Health** in particolare a causa delle polveri emesse durante la produzione dell'intonaco, l'asportazione del terzo strato a causa degli agenti atmosferici e del fine vita
- la scelta del 'km zero' riduce il danno del 7.63%
- il danno totale dell'intonaco in calce e cemento è maggiore di quello dell'intonaco in terra cruda del 7.51% soprattutto a causa della produzione della calce e del cemento
- un fine vita di compostaggio per un intonaco in terra e paglia è circa 64 volte più dannoso di un riutilizzo del materiale come riempimento per il recupero ambientale di una cava

7.5 IL CALCOLO CON RECIPE DELL'LCA DEL PROCESSO INTONACO DI TERRA CRUDA

7.5.1 Il calcolo con ReCiPe Midpoint dell'LCA del processo Intonaco di terra cruda

Il processo Intonaco di terra cruda è stato studiato con il Metodo ReCiPe Endpoint (H) V1.0 / World ReCiPe H/H allo scopo di mettere a confronto il Metodo IMPACT, con il quale è stata fatta l'analisi dettagliata, e ReCiPe.

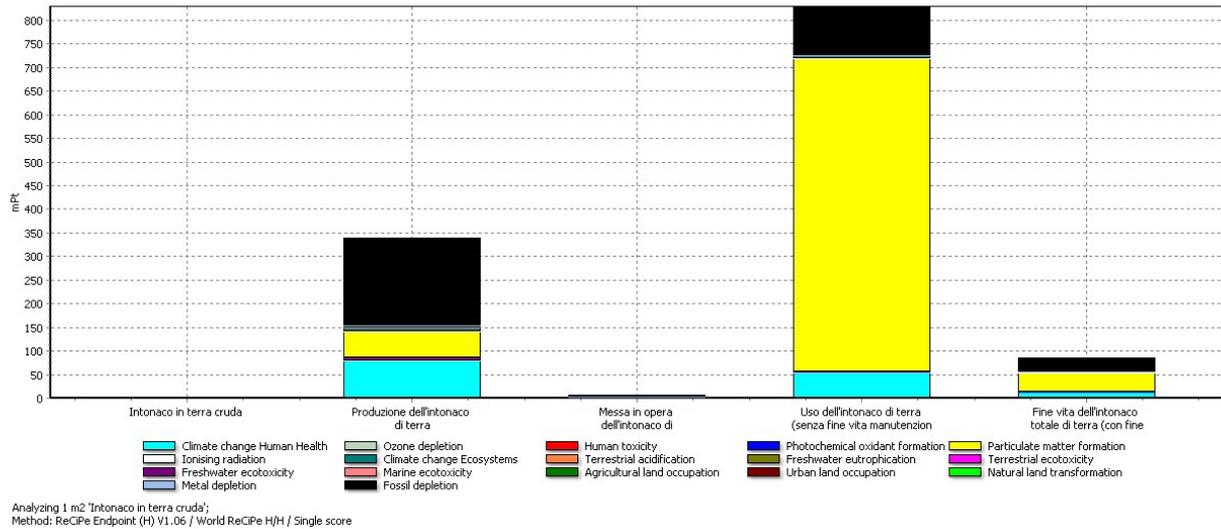


Tabella 7-64 Il diagramma della valutazione per single score con ReCiPe del processo Intonaco di terra cruda

SimaPro 7.3 Impact assessment Date: 07/06/2013 Time: 17.35.31
Project Intonaco terra

Calculation: Analyze
Results: Impact assessment
Product: 1 m2 Intonaco in terra cruda (of project Intonaco terra)
Method: ReCiPe Endpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H/H
Indicator: Single score
Unit: mPt
Skip categories: Never
Exclude infrastructure processes: No
Exclude long-term emissions: No
Per impact category: Yes
Sorted on item: Impact category
Sort order: Ascending

Impact category	Unit	Total	Intonaco in terra cruda	Produzione dell'intonaco di terra	Messa in opera dell'intonaco di terra	Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione) (spessore asportato)	Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato)
Total Pt		1,2598524	0	0,33997831	0,0058212025	0,82952501	0,084527906
Climate change Human Health	Pt	0,14456227	0	0,078075022	0,0015025648	0,053228495	0,011756188
Ozone depletion	Pt	3,6447957E-5	0	2,1263836E-5	2,3041045E-7	1,1884189E-5	3,0695223E-6
Human toxicity	Pt	0,010006627	0	0,0062472177	0,00026238192	0,0030483394	0,00044868779
Photochemical oxidant formation	Pt	3,3018026E-5	0	1,9671718E-5	4,0777766E-6	1,1630864E-7	9,152223E-6
Particulate matter formation	Pt	0,75956351	0	0,055706306	0,00043997098	0,66228569	0,041131551
Ionising radiation	Pt	0,00016174968	0	8,6547494E-5	6,968852E-6	3,1747432E-6	6,5058593E-5
Climate change Ecosystems	Pt	0,017146942	0	0,0092604947	0,0013944758	0,00017822482	0,0063137468
Terrestrial acidification	Pt	6,5447549E-5	0	3,9537594E-5	7,3961866E-6	5,5582293E-7	1,7957946E-5

Freshwater eutrophication	Pt	9,7901192E-6	0	5,65277E-6
		3,3388863E-7	3,322786E-6	4,8067453E-7
Terrestrial ecotoxicity	Pt	0,00013634481	0	0,00012530372
		3,1487176E-7	8,4082738E-6	2,3179393E-6
Freshwater ecotoxicity	Pt	1,4986699E-6	0	8,8745947E-7
		3,8299094E-8	4,9210707E-7	8,0804303E-8
Marine ecotoxicity	Pt	4,3961492E-9	0	2,4151423E-9
		1,2524558E-10	1,5764819E-9	2,7927941E-10
Agricultural land occupation	Pt	0,0040667466	0	0,0037951023
		1,4500584E-5	0,00025284428	4,2994746E-6
Urban land occupation	Pt	0,00052000157	0	0,0003228223
		1,8599787E-6	0,00017779804	1,752124E-5
Natural land transformation	Pt	0,0011460222	0	0,00059179507
		1,2579019E-5	0,00042827782	0,00011337024
Metal depletion	Pt	0,00020682196	0	0,00011001202
		7,8533954E-5	1,2305887E-5	5,9701001E-6
Fossil depletion	Pt	0,32218918	0	0,18557067
		0,10359501	0,029625114	0,0033983858

Tabella 7-65 La tabella della valutazione per single score con ReCiPe del processo Intonaco di terra cruda

Dall'analisi della valutazione si nota che:

- il danno totale vale 1.259852 ed è dovuto per il 26.99% a Produzione dell'intonaco di terra, dello 0.46% a Messa in opera dell'intonaco di terra, per il 65.84% a Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato), per il 6.71% a Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato)
- Inoltre il danno è dovuto per il 72.58% a **Human Health**, per l'1.83% a **Ecosystems**, per il 25.59% a **Resources**.
- In **Human Health** il danno vale 0.9143636 Pt ed è dovuta per il 39.76% a *Particulates, >2.5 µm, and < 10µm* (per l'89.22% in Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato) e, in particolare, per il 98.13% nel processo stesso), per il 38.17% a *Particulates, <2.5 µm* (per il 93.13% in Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato) e, in particolare, per il 98.13% nel processo stesso), per il 14.81% a *Carbon dioxide, fossil* in aria (per il 52.55% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 60.22% a Operation, lorry 20-28, fleet average/CH).
- In **Ecosystem** il danno vale 0.0230928 Pt ed è dovuta per il 69.54% *Carbon dioxide, fossil* in aria e per il 15.93% a *Occupation, arable, non irrigated* (per il 52.55% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 60.21% in Operation, lorry 20-28t, fleet average)
- In **Resources** il danno vale 0.322396 Pt ed è dovuta per l'82.53% *Oil, crude, in ground* in aria (per il 59.19% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 27.42% in Crude oil, at production onshore/RAF), per il 10.72% *Gas, natural, in ground* (per il 50.44% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 29.89% in Natural gas, sweet, burned in productio flare/MJ/GLO)

7.5.2 Il calcolo con ReCiPe Endpoint dell'LCA del processo Intonaco di terra cruda

Il processo Intonaco di terra cruda è stato studiato con il Metodo ReCiPe Endpoint (H) V1.0 / World ReCiPe H/H allo scopo di mettere a confronto il Metodo IMPACT, con il quale è stata fatta l'analisi dettagliata, e ReCiPe.

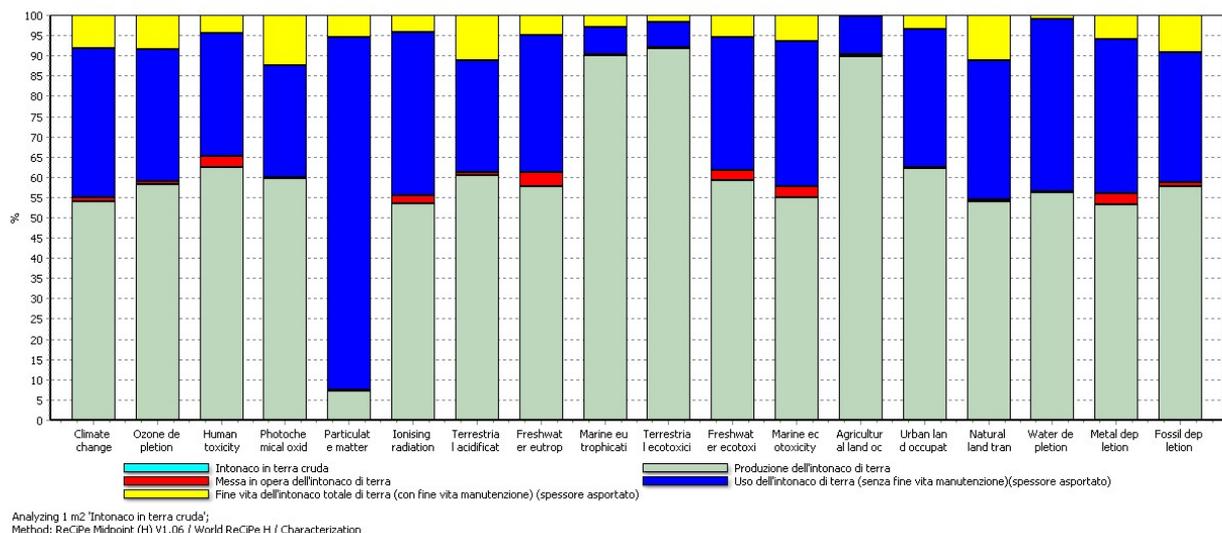


Figura 7-10 Il diagramma della valutazione per single score con ReCiPe del processo Intonaco di terra cruda
SimaPro 7.3 Impact assessment Date: 10/06/2013 Time: 17.55.06
Project Intonaco terra

Calculation: Analyze
Results: Impact assessment
Product: 1 m2 Intonaco in terra cruda (of project Intonaco terra)
Method: ReCiPe Midpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H
Indicator: Characterization
Unit: %
Skip categories: Never
Exclude infrastructure processes: No
Exclude long-term emissions: No
Sorted on item: Impact category
Sort order: Ascending

Impact category	Unit	Total Intonaco in terra cruda	Produzione dell'intonaco di terra	Messa in opera dell'intonaco di terra	Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione) (spessore asportato)	Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato)
Climate change	kg CO2 eq	4,6444756	0	2,5084142	0,048273114	1,7100920,37769639
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	6,2226453E-7	0	3,629573E-7	3,9191891E-9	2,0305707E-7
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	0,64319427	0	0,40156944	0,016862557	0,19592298
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	0,038078867	0	0,022686947	0,00013414068	0,010554956
Particulate matter formation	kg PM10 eq	0,13139919	0	0,0096368022	7,6111909E-5	0,1145708
Ionising radiation	kg U235 eq	0,44354684	0	0,23732878	0,0071154713	0,019109836
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0,024225722	0	0,014635423	0,00020579187	0,0066470329
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,00047845236	0	0,00027622685	1,6320342E-5	0,00016241178
Marine eutrophication	kg N eq	0,0055101415	0	0,0049663166	7,7938368E-6	0,00037428417
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,0023068837	0	0,0021203473	5,3205656E-6	0,00014206188

Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,012375621	0	0,0073295756
		0,00031613609	0,0040627962	0,00066711301
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,011798919	0	0,0064821371
		0,00033611953	0,0042310454	0,00074961657
Agricultural land occupation	m2a	0,50377419	0	0,45185796
		0,048333119	0,00080960337	0,002773508
Urban land occupation	m2a	0,057867453	0	0,035924709
		0,01978594	0,0019498202	0,00020698444
Natural land transformation	m2	0,0015228869	0	0,00082188454
		9,1505204E-6	0,00052300675	0,00016884504
Water depletion	m3	0,092482926	0	0,051906568
		0,039436937	0,0009027363	0,00023668437
Metal depletion	kg Fe eq	0,21321484	0	0,11341264
		0,080962242	0,012684426	0,0061555296
Fossil depletion	kg oil eq	1,4785901	0	0,85167041
		0,47537044	0,1359801	0,015569121

Tabella 7-66 La tabella della caratterizzazione per single score con ReCiPe del processo Intonaco di terra cruda

Dall'analisi della caratterizzazione si nota che:

- In **Climate change** il danno vale 4.644476 kg CO2 eq ed è dovuto per il 93.65% a *Carbon dioxide, fossil* in aria (per il 52.55% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 60.22% in Operation, lorry 20-28t fleet average/CH).
- In **Ozone depletion** il danno vale 6.222645E-7 kg CFC-11 eq ed è dovuto per il 93.66% a *Methane, brotrifluoro-, Halon 1301* in aria (per il 58.96% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 36.97% in Crude oilo, at production onshore/RAF).
- In **Human Toxicity** il danno vale 0.6431943 kg 1.4-DB eq ed è dovuta per il 38.1% a *Manganese* in acqua (per il 52.84% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 37.98% a Disposal, spoil from lignite mining, in surface landfill/GLO), per il 18.56% a *Cadmium* nel suolo (per il 99.98% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 99.67% in Wheat straw IP, at farm/CH), per l'11.07% a *Mercury* in aria (per il 50.05% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 65.26% in Steel, electric, un- and low- alloyed, at plant/RER).
- In **Photochemicaloxidant formation** il danno vale 0.03807887 kg NMVOC ed è dovuta per l'82.62% a *Nitrogen oxides* in aria (per il 52.84% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 37.98% a Disposal, spoil from lignite mining, in surface landfill/GLO), per il 13.47% a *NMVOC* in aria (per il 60.03% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 76.22% in Operation, lorry 20-28t fleet average/CH), per l'11.07% a *Mercury* in aria (per il 58.94% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 31.99% in Natural gas, vented/GLO).
- In **Particulate matter formation** il danno vale 0.1313992 kg PM10 eq ed è dovuta per il 47.86% a *Particulates, >2.5µm, and <10µm* in aria (per l'89.22% in Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato) e, in particolare, per il 98.13% come emissioni dirette del processo stesso), per il 45.95% a *Particulates, <2.5µm*, in aria (per il 93.12% in Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato) e, in particolare, per il 97.94% come emissioni dirette del processo stesso).
- In **Ionizing radiation** il danno vale 0.4435468 kg U235 eq ed è dovuta per il 65.81% a *Radon- 222* in aria (per 53.57% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 97.58 % in Tailings, uranium milling/GLO), per il 33.76% a *Carbon- 14* in aria (per il 53.33% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 75.06% in Nuclear spent fuel, in reprocessing, at plant/RER).
- In **Terrestrial acidification** il danno vale 0.024422572 kg SO2 eq ed è dovuta per il 72.72% a *Nitrogen oxides* in aria e per il 57.14% a *Sulfur dioxide in aria* (per il 51.96% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 38.32% in Natural gs, sour, burned in production flare/MJ/GLO).

- In **Freshwater eutrophication** il danno vale 0.000478454 kg P eq ed è dovuta per il 98.19% a *Phosphate* in acqua e per il 21.14% a *Sulfur dioxide in aria* (per il 51.96% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 38.32% in Disposal, spoil from lignite mining, in surface landfill/GLO).
- In **Marine eutrophication** il danno vale 0.005510142 kg N eq ed è dovuta per il 76.16% a *Nitrate* in acqua (per il 99.09% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 96.46% in Wheat straw IP, at farm) e per il 22.27% a *Nitrogen oxides* in aria.
- In **Terrestrial ecotoxicity** il danno vale 0.002306884 kg 1.4-DB eq ed è dovuta per il 78.46% a *Isoproturon* nel suolo (per il 100% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 97.41% a Wheat straw IP, at farm/CH).
- In **Freshwater ecotoxicity** il danno vale 0.01237562 kg 1.4-DB eq ed è dovuta per il 36.62% a *Nickel, ion* in acqua (per il 51.02% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 33.85% a Disposal, spoil from lignite mining, in surface landfill), per il 12.47% a *Manganese* in acqua, per il 11.46% a *Zinc, ion* in acqua (per il 61.13% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 47.52% a Disposal, zinc in car shredder residue, 0% water, to municipal incineration/CH) e per il 9.5 % a *Bromine* in acqua (per il 58.9% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 33.85% a Discharge, produced water, onshore/GLO).
- In **Marine ecotoxicity** il danno vale 0.01179892 kg 1.4-DB eq ed è dovuta per il 37.66% a *Nickel, ion* in acqua, per il 15% a *Zinc, ion* in acqua, per il 12.39 a *Manganese* in acqua e per il 8.89 % a *Copper* in aria (per il 61.14% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 60.33% a Operation, lorry 20-28t, fleet average/CH).
- In **Agricultural land occupation** il danno vale 0.5037742 m²a ed è dovuta per il 85.21 % a *Occupation, arable, non irrigated* (per il 99.96% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 97.35% in Wheat straw IP, at farm/CH).
- In **Urban land occupation** il danno vale 0.057786745 m²a ed è dovuta per il 39.95 % a *Occupation, traffic area, road network* (per il 64.78% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 87.38% in Operation maintenance, road/CH/I).
- In **Natural land transformation** il danno vale 0.001522887 m² ed è dovuta per il 70.16% a *Transformation, from forest* (per il 58.28% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 87.43% a Well for exploration and production, onshore/GLO), per il 58.11% a *Transformation, from unknown* (per il 61.06% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 44.21% in Sand, at mine), per il 36.14% a *Transformation, from forest, extensive* (per il 63.39% in Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato) e, in particolare, per il 54.5% in Softwood, Scandinavian, standing, under bark, in forest/NORDEL). Questi sono indicati dal metodo come danni contrariamente a quanto definisce la filosofia di Ecoinvent. Quindi tali danni devono essere considerati come vantaggi. I danni sono in realtà quelli prodotti dalle *Transformation to* e cioè: per il -30.37% *Transformation to forest* (per il 60.18% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 53.66% in Recultivation, limestone mine), per il -19.34% *Transformation to forest, intensive, normal* (per il 51.95% in Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato) e, in particolare, per il 84.93% in Softwood, standing, under bark, in forest/RER), per il 16.2% *Transformation to forest, intensive* (per il 78.1% in Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione)(spessore asportato) e, in particolare, per il 99.46% in Softwood, Scandinavian, standing, under bark, in forest/RER).
- In **Water depletion** il danno vale 0.0992448293 m³ ed è dovuto per il 64.51 % a *Water, unspecified natural origin/m³* (per il 49.57% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 79.62% in Sand, at mine/CH), a *Water, river* per il 17.9% (per il 66.74% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 79.9% in Tap water,

at user/RER), per il 12.29% a *Water, well, in ground* (per il 68.15% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 91.15% in Tap water, at user/RER).

- In **Metal depletion** il danno vale 0.2132148 kg Fe eq ed è dovuto per il 59.95 % a *Iron, 46% in ore, 25% in crude ore, in ground* (per il 51.1% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 99.99% in Iron ore, 46% Fe, at mine/GLO), per il 9.69% a *Nickel, 1.98% in silicates, 1.04% in crude ore, in ground* (per il 54.22% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 99.96% in Ferronickel, 25% Ni, at plant/GLO).
- In **Fossil depletion** il danno vale 1.47859 kg oil eq ed è dovuto per l'82.62 % a *Oil, crude, in ground* (per il 59.19% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 27.42% in Crude oil, at production onshore/RAF), per il 10.69% a *Gas, natural, in ground* (per il 50.44% in Produzione dell'intonaco di terra e, in particolare, per il 29.89% in Natural gas, sweet, burned in production flare/MJ/GLO).

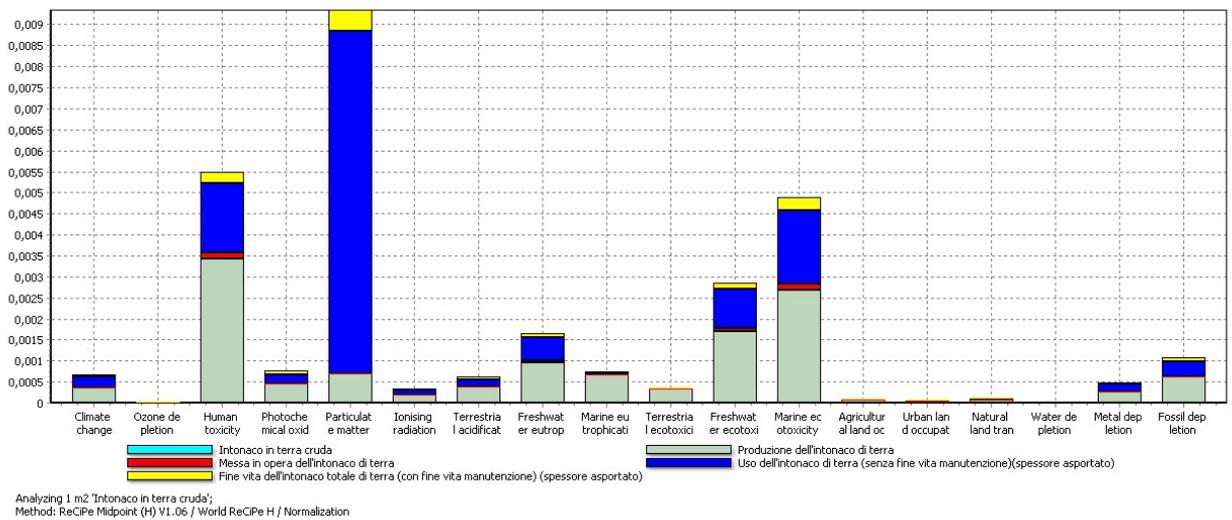


Figura 7-11 Il diagramma della normalizzazione per single score con ReCiPe del processo Intonaco di terra cruda

Simapro 7.3 Impact assessment Date: 10/06/2013 Time: 17.57.01
Project Intonaco terra

Calculation: Analyze
Results: Impact assessment
Product: 1 m2 Intonaco in terra cruda (of project Intonaco terra)
Method: ReCiPe Midpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H
Indicator: Normalization
Skip categories: Never
Exclude infrastructure processes: No
Exclude long-term emissions: No
Sorted on item: Impact category
Sort order: Ascending

Impact category	Unit	Total Intonaco in terra cruda	Produzione dell'intonaco di terra	Messa in opera dell'intonaco di terra	Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione) (spessore asportato)	Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato)
Climate change		0,00067391341	0	0,0003639709	7,0044288E-6	0,00024813434
Ozone depletion		1,6533569E-5	0	9,6437755E-6	1,0413285E-7	5,3952263E-6
Human toxicity		0,005479372 0	0,0034209701	0,00014365212		0,0016690679
		0,00024568198				

Photochemical oxidant formation	0,00077795126	0	0,00046349434
2,7404942E-6	0,00021563775	9,6078679E-5	
Particulate matter formation	0,0093464242	0	0,00068546574
5,4138401E-6	0,0081494211	0,00050612348	
Ionising radiation	0,00033713995	0	0,0001803936
6,6172335E-6	0,00013560373	1,4525387E-5	
Terrestrial acidification	0,00063447166	0	0,00038330173
5,389689E-6	0,00017408579	7,1694451E-5	
Freshwater eutrophication	0,0016506606	0	0,00095298262
5,6305181E-5	0,00056032063	8,1052227E-5	
Marine eutrophication	0,00075103229	0	0,00067690895
5,1014932E-5	2,2046113E-5		1,0623E-6
Terrestrial ecotoxicity	0,0003550294	0	0,00032632145
8,1883505E-7	2,1863324E-5	6,0257895E-6	
Freshwater ecotoxicity	0,0028562933	0	0,001691666
0,00093769337	0,00015396968		7,2964209E-5
Marine ecotoxicity	0,0048894719	0	0,0026861976
0,00013928793	0,0017533452	0,00031064111	
Agricultural land occupation	9,289596E-5	0	8,3322607E-5
5,1143488E-7	8,9126272E-6	1,4929086E-7	
Urban land occupation	7,4649015E-5	0	4,6342874E-5
2,6700993E-7	2,5523863E-5	2,515268E-6	
Natural land transformation	0,00012662804	0	6,83397E-5
7,6086577E-7	4,3488012E-5	1,4039465E-5	
Water depletion	0	0	0
Metal depletion	0,00047888053	0	0,00025472479
0,00018184119	2,8489221E-5		1,3825319E-5
Fossil depletion	0,0010764136	0	0,00062001606
0,00034606968	9,8993515E-5		1,133432E-5

Tabella 7-67 La tabella della normalizzazione per single score con ReCiPe del processo Intonaco di terra cruda

Dalla normalizzazione si nota che:

- il danno massimo sulla salute dell'uomo si ha in **Particulate matter formation** (0.009346424) seguito da **Human toxicity** (0.005479372).
- Il danno massimo sulla qualità dell'ecosistema si ha in **Marine ecotoxicity** (0.0048809472) seguito da **Freshwater ecotoxicity** (0.002856293)
- Il danno massimo sull'esaurimento delle risorse si ha in **Fossil depletion** (0.001076414) seguito da **Metal depletion** (0.0004788805)

7.6 COSTI ESTERNI

7.6.1 Il calcolo dei costi esterni

7.6.1.1 Calcolo con IMPACT

E' stato eseguito il calcolo dell'LCA del processo Intonaco di terra cruda con il Metodo IMPACT 2002+ 141002 Costi esterni_070613 V2.10 / IMPACT 2002+ suoloper 1 m2. I risultati riportati sono misurati in Pt. I risultati riportati si riferiscono al Damage assessment in cui sono stati calcolati i costi relativi alle singoli categorie di impatto.

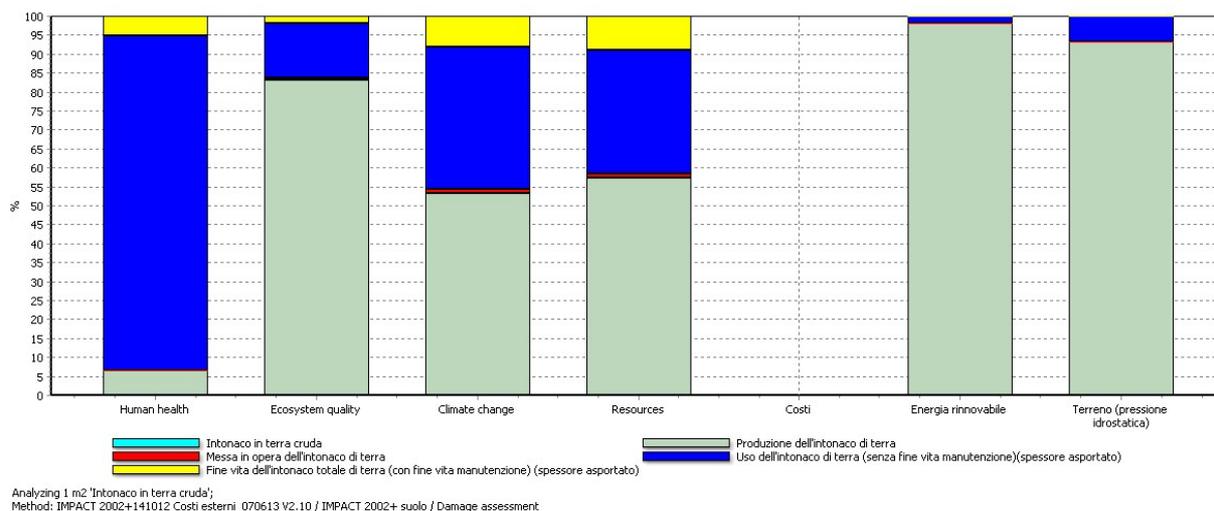


Figura 7-12: Il diagramma dei costi esterni con IMPACT del processo Intonaco di terra cruda

SimaPro 7.3 Impact assessment Date: 07/06/2013 Time: 16.15.30
Project Intonaco terra

Calculation: Analyze
Results: Impact assessment
Product: 1 m2 Intonaco in terra cruda (of project Intonaco terra)
Method: IMPACT 2002+141012 Costi esterni_070613 V2.10 / IMPACT 2002+ suolo
Indicator: Damage assessment
Unit: %
Skip categories: Never
Exclude infrastructure processes: No
Exclude long-term emissions: No
Per impact category: No
Sorted on item: Damage category
Sort order: Ascending

Damage category	Unit	Total Intonaco in terra cruda	Produzione dell'intonaco di terra	Messa in opera dell'intonaco di terra	Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione) (spessore asportato)	Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato)
Human health	€	2,380013	0	0,15502196	0,0011656294	2,1035277
		0,12029772				
Ecosystem quality	€	0,013447241	0	0,011193	5,0356134E-5	
		0,001933188	0,00027069697			
Climate change	€	0,035246467	0	0,018784046	0,00036798641	
		0,013181405	0,0029130301			
Resources	€	1,3929671	0	0,79843446	0,015742334	0,4555137
		0,12327663				
Costi p		0	0	0	0	0
Energia rinnovabile	MJ	48,825452	0	47,851762	0,068071573	
		0,86475022	0,0408683			
Terreno (pressione idrostatica)	€	0,0071406783	0	0,0066526253		
		3,9069139E-8	0,00048772229	2,9169731E-7		

Tabella 7-68 La tabella dei costi esterni con IMPACT del processo Intonaco di terra cruda

Dall'analisi dei risultati si nota che:

- il processo di uso incide per il 90% su **Human Health**, per il 20% in **Ecosystem quality**, per il 42% in **Climate change** e per il 35% in **Resources**

- il processo di produzione incide per il 6% su **Human Health**, per l'83% in **Ecosystem quality**, per il 54% in **Climate change** e per il 57% in **Resources**.

7.6.1.2 Calcolo con EPS 2000

E' stato eseguito il calcolo dell'LCA del processo Intonaco di terra cruda con il Metodo EPS 2000 V2.06 per 1 m2. I risultati riportati sono misurati in Pt. Il punto è uguale all'ELU (Environmental Load Unit) perché nella valutazione è stato assunto il fattore peso uguale a 1 per tutte le categorie di impatto.

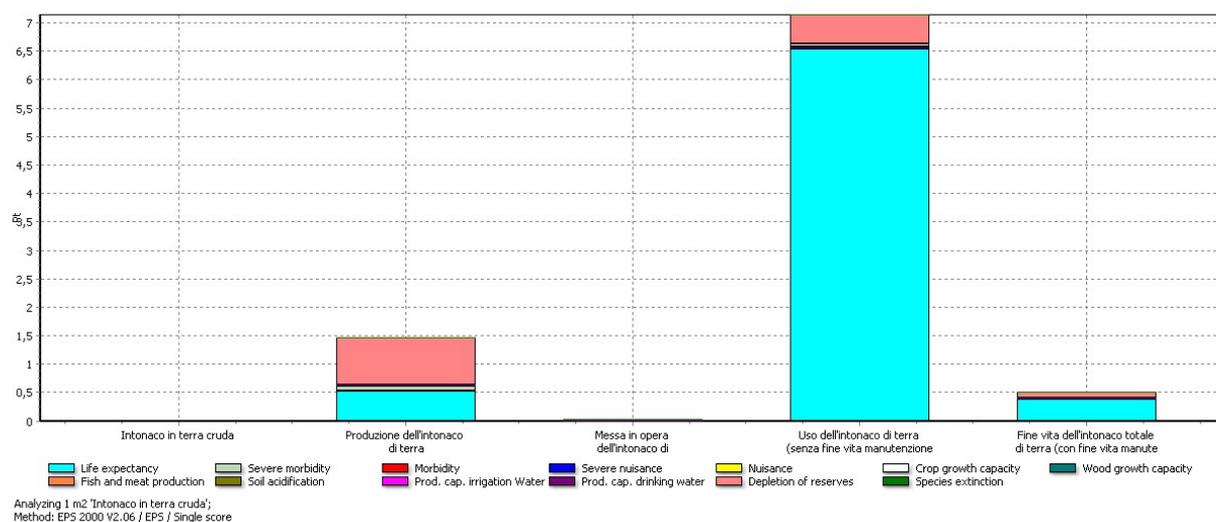


Figura 7-13: Il diagramma dei costi esterni con EPS del processo Intonaco di terra cruda

SimaPro 7.3 Impact assessment Date: 07/06/2013 Time: 16.39.40
Project Intonaco terra

```

Calculation: Analyze
Results: Impact assessment
Product: 1 m2 Intonaco in terra cruda (of project Intonaco terra)
Method: EPS 2000 V2.06 / EPS
Indicator: Single score
Unit: Pt
Skip categories: Never
Exclude infrastructure processes: No
Exclude long-term emissions: No
Per impact category: Yes
Sorted on item: Impact category
Sort order: Ascending
  
```

Impact category	Unit	Total	Intonaco in terra cruda	Produzione dell'intonaco di terra	Messa in opera dell'intonaco di terra	Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione) (spessore asportato)	Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato)
Total Pt		9,1457599	0	1,4633142	0,035565679	7,1403483	0,5065318
Life expectancy	Pt	7,4484169	0	0,51880896	0,005877351	6,5444449	0,37928567
Severe morbidity	Pt	0,12293305	0	0,088172116	0,0016993873		0,01928164
Morbidity	Pt	0,039004231	0	0,017893679	0,00033931426		0,0030140641
Severe nuisance	Pt	0,0043435712	0	0,0023871586			0,0016112677
			0,00021268503				

Nuisance	Pt	0,055749288	0	0,0084610636	0,00013087801		
		0,043763366	0,0033939809				
Crop growth capacity	Pt	0,0035393112	0	0,0020445085			
		1,7512812E-5	0,0010045973	0,00047269256			
Wood growth capacity	Pt	-0,01072252	0	-0,0060332701	-8,585865E-5		
		-0,0035722178	-0,0010311735				
Fish and meat production	Pt	-0,001142842	0	-0,00071247447	-		
		3,6537942E-6	-0,00029124889	-0,00013546483			
Soil acidification	Pt	0,00043989749	0	0,00026304241			
		3,4460796E-6	0,00012198677	5,1422226E-5			
Prod. cap. irrigation Water	Pt	0	0	0	0	0	
Prod. cap. drinking water	Pt	0	0	0	0	0	
Depletion of reserves	Pt	1,4752871	0	0,82616919	0,027380507		
		0,51479879	0,10693861				
Species extinction	Pt	0,0079119058	0	0,0058601855			
		7,4335015E-5	0,0014279807	0,00054940465			

Tabella 7-69 La tabella della valutazione con EPS del processo Intonaco di terra cruda

Dall'analisi dei risultati della valutazione con EPS si nota che:

- il danno totale vale 9.14576 Pt ed è dovuto per il 16% a Produzione del'intonaco di terra, per lo 0.39% a Messa in opera dell'intonaco di terra, per il 78.07% a Uso dell'intonaco di terra (senza fine vita manutenzione) (spessore asportato), per il 5.54% a Fine vita dell'intonaco totale di terra (con fine vita manutenzione) (spessore asportato)
- Inoltre il danno è dovuto per l'83.87% a **Human Health**, per il -0.09% a **Ecosystem production capacity**, per il 16.13% a **Abiotic stock re source** e per lo 0.09% a **Biodiversity**.

7.6.2 I costi esterni secondo i due metodi

IMPACT 2002	Human Health [€]	Ecosystem quality[€]	Climate change[€]	Resources[€]	Terreno (pressione idrostatica) [€]		Totale[€]
	2.380	0.013	0.035	1.393	0.007		3.828
EPS 2000	Human Health [ELU]	Biodiversity [ELU]		Abiotic stock resources [ELU]		Ecosystem production capacity [ELU]	
	7.67	0.008		1.475		-0.008	9.145

Tabella 7-70: tabella di confronto dei costi esterni con i due metodi utilizzati.

7.7 CONCLUSIONI GENERALI SULL'ANALISI

Prima di esporre le conclusioni generali scaturite dall'analisi ritengo sia interessante ricordare che:

- Il processo di produzione dell'intonaco di terra e paglia è stato introdotto in inventario come processo "industrializzato".

Nella realtà dell'esperienza di cantiere analizzata (Todi) si è operata una messa in opera manuale, con l'utilizzo di un solo trabattello, senza elevatore e betoniera. Le terre sono state cavate da un campo a 500m di distanza con un escavatore per edilizia e la paglia è stata coltivata con metodo biologico su un appezzamento di terra di ridotta estensione. Nel caso studio si è voluto rendere maggiormente meccanizzato il processo: si è simulata un'estrazione industriale dell'argilla e della sabbia attraverso siti estrattivi dedicati, la coltivazione della paglia è di tipo intensivo, in cantiere vengono utilizzate strumentazioni pesanti, i materiali vengono trasportati su gomma per lunghe distanze. L'intento è stato quello di mettere sullo stesso piano la realizzazione di un intonaco in terra e paglia con quello di calce e cemento, per il quale la produzione e la messa in opera sono industriali e meccanizzate.

Pur avendo inciso negativamente sulla sostenibilità dell'intonaco di terra e paglia, come esposto sopra, il risultato dell'analisi di sensibilità dimostra che:

- il danno totale dell'ICC è maggiore di quello dell'ITC del 7.51%

Andando a ridurre i trasporti, dall'analisi di sensibilità risulta che:

- il danno di ITC è maggiore di quello di ITCKm0 del 7.63%
- il danno di ICC è maggiore di quello di ITCKm0 del 15.71%

Ne deriva che in ogni caso l'intonaco in terra e paglia produce un danno minore rispetto all'intonaco in calce e cemento. Ciononostante, nell'ottica di una scelta ambientalmente responsabile, andrebbe utilizzato un intonaco in terra e paglia a km "zero".

Per quanto riguarda l'intonaco in terra cruda, dall'analisi dei risultati si può concludere che:

- La ripartizione del danno è in funzione della ripartizione dei pesi dei tre strati principali.
- Per tutti gli strati il danno massimo è quello dovuto ai trasporti del materiale.
Di fondamentale importanza, quindi, l'attuazione di distretti produttivi che riducano i trasporti su gomma.
- A tali danni si contrappone un vantaggio legato alla paglia contenuta nel primo strato, che incide su *Transformation from arable, non -irrigated* e *Transformation from pasture and meadow, intensive*, ossia su una "rinaturalizzazione" dei terreni.
- Inoltre una parte rilevante del danno è dovuta alle emissioni e ai materiali.
Ciò mette in luce che un intonaco, pur realizzato con materiali naturale, comporta dei danni alla salute umana in fase di lavorazione per via delle polveri prodotte.
- Il danno massimo si ha in **Human Health** principalmente a causa delle emissioni dirette e a quelle dovute ai trasporti
- La fase di lavorazione che produce il danno massimo è l'uso, in relazione alle quantità di emissioni prodotte in aria e acqua dall'usura dell'intonaco ad opera degli agenti atmosferici
- Il danno massimo si ha in **Human Health**
- I trasporti dei materiali degli strati producono il danno massimo degli strati
- Il trattamento di fine vita che produce il danno minore prevede il riutilizzo dell'intonaco come materiale di riempimento nel recupero di una cava. Rispetto a questo processo, il compostaggio produce un danno di 64 volte superiore

8 CONCLUSIONI

Oggi sappiamo chiaramente che fra gli obiettivi prioritari della costruzione dovrebbe esserci quello di ridurre il consumo di energia nella fase di uso dell'abitazione: dobbiamo utilizzare le risorse in modo più efficiente, inquinando il meno possibile. Ma la sostenibilità deve coinvolgere tutte le fasi del ciclo di vita della costruzione: la presenza di materiali "naturali" utilizzati come materiali da costruzione, sembra proprio dare un contributo importante in questa direzione. Tuttavia è necessario un approccio di analisi ambientale del costruito e non solo di certificazione prestazionale ed energetica del singolo pacchetto tecnologico. Dobbiamo evolvere verso una visione organica ed integrata dell'atto del costruire, che prenda in considerazione anche le caratteristiche del sito, con le peculiarità climatiche da sfruttare, le dotazioni di mobilità, le risorse che può offrire in termini di materiali ed energie. Credo sia anche necessario cogliere la piccolezza dell'essere umano di fronte alla natura e ridimensionare le azioni che compiamo, le scelte che mettiamo in campo, alla ricerca di una dimensione abitativa più naturale e contemporaneamente più sana e confortevole.

La ricerca di tecniche edilizie non convenzionali attualmente vive una crescente diffusione. Tali tecniche sono certamente antiche, affondano in saperi consolidati su scala locale, rappresentano un esempio molto efficace di sostenibilità, da declinare oggi alla luce delle conoscenze tecniche e prestazionali contemporanee. Pareti in balle di paglia hanno ad esempio la capacità di controllare l'umidità, con performance strutturali e termiche eccellenti. Possono essere reperite a distanze ridotte rispetto alla provenienza dei convenzionali materiali da costruzione. Si prestano all'autocostruzione. Interessanti le applicazioni che si stanno diffondendo anche in aree colpite da eventi sismici (come nell'Aquilano o, più recentemente, in Emilia).

Costruire la propria casa con l'aiuto di amici e parenti può essere un'esperienza entusiasmante e di grande crescita personale per tutti coloro che sono coinvolti.

Per quanto riguarda i costi, l'uso in sé delle balle di paglia al posto, ad esempio, del mattone, comporta sì un notevole risparmio (circa 10 volte), ma influisce poco sul totale di un edificio. Il vero risparmio deriva principalmente dal fatto che l'autocostruzione, se possibile, permette di abbattere notevolmente i costi (di circa la metà) e durante la fase d'uso la casa di paglia si rivela decisamente a basso consumo abbattendo di oltre la metà le spese energetiche.

Analizzando lo stato dell'arte, sembra tuttavia esserci ancora una resistenza alla diffusione su più larga scala, in relazione a diversi fattori: le conoscenze vengono trasmesse per via orale e in maniera empirica, basate sulla conoscenza di singoli o sull'esperienza che ciascuno acquisisce "sul campo", spesso ripartendo da zero, cui si aggiunge un certo scetticismo di fondo sulle reali performance tecniche e di qualità di tali tecniche edilizie. E' necessario migliorare questa situazione. Le conoscenze odierne e gli approfondimenti, possibili a partire dalla ricerca universitaria, uniti alle possibilità di diffondere informazioni, possono permetterci di progredire velocemente ed efficacemente.

Ogni materiale ha le proprie specifiche tecniche per la posa in opera e l'accoppiamento con altri materiali, e ciò vale ovviamente anche per la paglia, anche se allo stato attuale dell'arte troviamo che sarebbe opportuno diffondere maggiormente le pratiche del "buon costruire" per evitare di cadere in errori.

Grande cura va riposta quindi nella scelta degli intonaci: tests di laboratorio dimostrano che la paglia "preferisce" essere ricoperta da materiali traspiranti come la terra cruda e malte a base di calce e sabbia. Anche i materiali con cui viene realizzata la struttura portante "reagiscono" a

contatto con la paglia: va molto bene il legno, che respira, mentre il calcestruzzo crea dispendiosi ponti termici e indebolisce la traspirabilità dell'intera parete

La ricerca sul campo ha permesso di monitorare cantieri in cui ci si impegna a lavorare correttamente con terra e paglia, al fine di ricavare i dati tecnici d'inventario, utili allo svolgimento di un'analisi del ciclo di vita di queste tecniche non convenzionali. L'interesse è stato quello di "toccare" con mano, prima in cantiere, e poi con l'utilizzo di software, l'effettiva compatibilità ambientale di tali soluzioni tecniche. Mi ha spinto inoltre la curiosità di confermare, o sfatare, grandi classici e slogan "ambientalisti" legati a queste tecniche: ad esempio il fatto che sia sostenibile (e possibile) compostare una casa di paglia.

Innanzitutto ciò è possibile solo se la posa in opera, da progetto, prevede una dismissione selettiva, oppure se l'intonaco è realizzato con una malta di terra che può essere compostata con la paglia senza essere rimossa.

L'analisi LCA ha poi dimostrato che il trattamento di fine vita che produce il danno minore prevede il riutilizzo dell'intonaco come materiale di riempimento nel recupero di una cava. Rispetto a questo processo, il compostaggio produce un danno di 64 volte superiore.

L'esperienza di costruzione a km"zero" si afferma vincente: i danni legati alle emissioni prodotte dai trasporti sono molto impattanti sulla salute umana.

Di contro, ho scoperto che le attività estrattive dell'argilla e l'usura dei materiali nel corso degli anni disperdono in atmosfera e in acqua una grande quantità di particolato: vigerà l'obbligo per i moderni auto costruttori di indossare le mascherine di protezione quando si manipola la terra.

Più in generale, l'approccio LCA ha messo in luce punti critici e punti di forza delle tecnologie analizzate. Emerge anche un "vuoto" all'interno del metodo di calcolo dei danni IMPACT, che non approccia in alcun modo i danni legati alle trasformazioni del territorio: un'attività di estrazione dell'argilla, oltre a produrre del particolato, comporta una modifica geomorfologica del territorio e delle sue caratteristiche idrogeologiche. Ritengo sia necessario approfondire la creazione di indicatori dei danni legati alle modifiche del terreno, muovendosi in un contesto multidisciplinare che leghi conoscenze in materia di uso, gestione e valorizzazione delle materie prime a conoscenze di idrologia, idraulica e geologia.

Credo che il percorso che mi ha permesso di passare dall'interesse per le tecnologie edilizie non convenzionali, che permettono il risparmio delle risorse, alla valutazione dei danni sull'equilibrio idrogeologico sia emblematico: ogni nostra azione ha un impatto sul pianeta, anche la più accorta non può non incidere su un sistema complesso alla continua ricerca di equilibrio.

BIBLIOGRAFIA

Rifkin J., La Terza Rivoluzione industriale

Certificazione Energetica degli edifici (2007), Ed. DEI, Roma

Jones B. (2006), “Costruire con le balle di paglia”, Aam Terra Nuova Editore

Benati T. (2006), “Dallo stato del Nebraska un sistema costruttivo per abitazioni in paglia”, Tetto & pareti in legno n. 2

Lantschner N. (2009), “La mia CasaClima”, Edition Raetia

King B. (2003), “Load-bearing straw bale construction”, EBNet

Don Fugler (2000), “Moisture Properties of Plaster and Stucco for Straw bale Buildings”, CMHC Canada

Initial Material Characterization of Straw Light Clay . CMHC SCHL. Research Highlight. Technical Series 05-109. June 2005. Revised 2010.

Moisture properties of plaster and stucco for straw bale buildings. CMHC SCHL. Research Highlight. Technical Series 00-132.

Andrea Rattazzi, Conosci il grassello di calce? Origine, produzione e impiego del grassello in architettura, nell'arte e nel restauro, Edicon Edizioni 2007

Steve Allin, Building with Hemp, Co.Kerry, Ireland, Seed Press 2005

J.P.Oliva, S.Courgey, L'Isolation thermique ecologique, Terre Vivante, 2010

Don Fugler (1996), “Straw bale moisture sensor study”, CMHC Canada

Gagnè L. (1997), Pilot Study of Moisture Control in Stuccoed Straw Bale Walls”, CMHC Canada

Jolly R., Henderson S. (2000), “Straw Bale House Moisture Research”, CMHC Canada

Vantangoli L. (2006), “Dei sistemi murari”, volume autoprodotta dall'autore

Forti G. (1993), “Intonaci storici e non”, Edizioni SAFRA

Theis B. (2003), “Straw bale fire safety”, EBNet

Nause et al. (2003), “F-90 report”, iBMB Braunschweig

Albrecht W. (2003), “Wärmeleitfähigkeit nach DIN 52612”, FIW Monaco

Wimmer R. et al. (2000), “Heat insulation performance of straw bales and straw bale walls”, GrAT Vienna

Summary of New Mexico ASTM E-119 Small Scale Fire Tests On Straw Bale Wall Assemblies DCAT

Paulsen O. (2001), “Thermal insulation of non plastered straw bale, on edge, flat, two different densities”, Danish Technological Institute

Pruteanu M. (2010), "Investigations regarding the thermal conductivity of straw", Universitatea Tehnica "Gheorghe Asachi" din Iasi

Stone N. (2003) "Thermal Performance of Straw Bale Wall Systems", EBNet

McCabe J. (1993), "The thermal resistivity of straw bales for construction", University of Arizona

Amerio C., Sillitti G. (2006), "Elementi di impianti tecnici", SEI

Pedersen D.B. (2001), "Måling af luftlydisolation", DELTA

Campologno G. (2008), "L'isolamento acustico nelle abitazioni", Il giornale dell'ingegnere n. 16

Lavagna M. (2008), "Life Cycle Assessment in edilizia", Hoepli

A. Bonoli, L. Demerciari, S. Rizzo (2013), "Tecniche Edilizie Non Convenzionali: paglia, terra, calce, canapa", Inarcos

Neri P. et al. (2008), "Verso la valutazione ambientale degli edifici", Alinea Editrice s.r.l.

Neri P. et al. 'Analisi ambientale della gestione dei rifiuti con il metodo LCA', Edizione CNR

Neri P. et al. (2011) 'L'analisi ambientale dei prodotti agroalimentari con il metodo del Life Cycle Assessment', Edizione ARPA Sicilia

Chiavetta C. (2009), "Applicazione dell'LCA nella valutazione dei benefici ambientali prodotti da tecnologie e processi eco-innovativi", Tesi di laurea

Ecoindicator 99. A damage oriented method for LCA. Manual for designers, 2010. Publication of Ministry of Housing, spatial planning and the environment of the Netherlands.

Peroni D. (2012), Analisi LCA delle case di paglia di Pescomaggiore (AQ), Tesi di laurea

Stradaroli L., Strada L. (2011), "Progetto EVA", Domus Aurea n. 1

C.ab.au r&a (1982), "Il potere di abitare", Libreria editrice fiorentina

Blengini G. A., Di Carlo T., Fiorenza A., Zavaglia K. (2007), "Valutazione della sostenibilità ambientale di una casa a basso consumo energetico con metodologia LCA", Politecnico di Torino

Amerio C, Canavesio G. (1999), "Materiali per l'edilizia", SEI

Furiozzi B., Messina C., Paolini L. (2010), "Calcolo di elementi strutturali", Le Monnier Scuola

Gasparrelli N. (2007), "Manuale del geometra", Hoepli

Manuale Simapro 7.3

Baglivo E. , Edificio e sostenibilità: approccio progettuale consapevole dei limiti ambientali, Tesi di laurea

Lewis H.,Gertsakis J., (2001), Progettare per l'ambiente – guida alla progettazione ecoefficiente dei prodotti; Ranieri Editore; Milano

Rava P., (2007), *Tecniche costruttive per l'efficienza energetica e la sostenibilità*; Maggioli Editore, Rimini

Norme tecniche e legislative

Decreto Legislativo n. 152. del 2006

Direttiva 2002/91/CE (Energy Performance Building Directive)

Decreto Legislativo n. 192 del 2005 e allegati

Decreto Legislativo n. 311 del 2006

Decreto Legislativo n. 115 del 2008

Specifica tecnica UNI/TS 11300

Decreto del Presidente della Repubblica n. 59 del 2009

Decreto Ministeriale del 26 giugno 2009 (Linee guida nazionali)

Decreto Ministeriale dell'11 marzo 2008 (Risparmio energetico)

Decreto Ministeriale del 26 gennaio 2010 (Aggiornamento del decreto 11 marzo 2008 in materia di riqualificazione energetica degli edifici)

Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 (Norme tecniche per le costruzioni)

Direttiva 89/106/CEE (Construction Products Directive)

Decreto del Presidente della Repubblica n. 206 del 1993

Regolamento UE 305/2011 (Commercializzazione dei prodotti da costruzione)

Direttiva 98/34/CE del 22 giugno 1998

UNI 10351:1994 (Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore)

Norma UNI EN ISO 6946:1999

Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 5/12/97

EuroNorm TC 89/WG10 N95 e la norma tedesca DIN 52617

ASTM (American Standard Test Methods) E 96

ASTM E 119

ASTM E 84

ISO 14040:2006, Environmental management-life cycle assessment - principles and frame work

ISO 14044:2006, Environmental management-life cycle assessment - requirements and guideline.

Sitografia

www.casainnovativa.com

www.poroton.it
www.energoclub.it
www.apat.gov.it
www.pescomaggiore.org
comitatorinascitapescomaggiore.blogspot.com
www.edilpaglia.it
www.delta.dk
www.dti.dk
www.grat.at
www.fiw-muenchen.de
www.espertocasaclima.com
www.cen.eu
www.agenziacasaclima.it
www.cmhc-schl.gc.ca
http://thelaststraw.org/sban/tour/tour.html
www.madeirarural.com/pt/freguesia-santana/
www.greenme.it/abitare/bioedilizia-e-bioarchitettura/
www.bancadellacalce.it/
www.pantarei-cea.it
www.equilibrium-bioedilizia.it
www.archschwarz.com/it