



Cementerie Aldo Barbetti S.p.A.

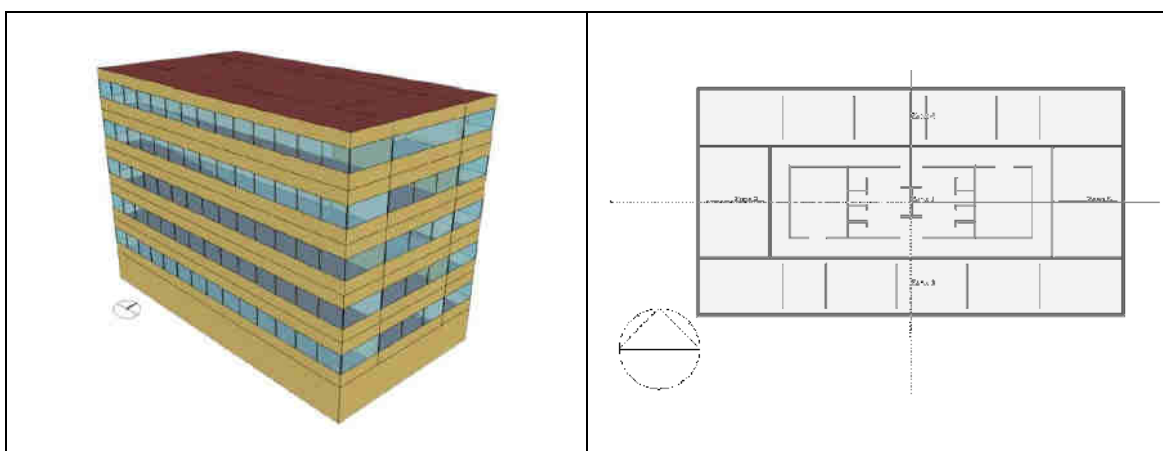
CARBON FOOTPRINT CEMENTO



Barbetti Materials S.p.A.

ANALISI DEL CICLO DI VITA DELL'UTILIZZO DEI CEMENTI COMUNEMENTE UTILIZZATI NELLA COSTRUZIONE DI UN EDIFICIO AD USO UFFICI

CEM II ALL 42.5 R e CEM IV AP 42.5 R



PROGRAMMA NAZIONALE PER LA VALUTAZIONE DELL'IMPRONTA AMBIENTALE



PROGRAMMA PER LA VALUTAZIONE
DELL'IMPRONTA AMBIENTALE



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE

DIREZIONE GENERALE PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE, IL CLIMA E L'ENERGIA

www.barbetti.it

F35C13000370008. [HTTP://WWW.MINAMBIENTE.IT/PAGINA/IMPRONTA-AMBIENTALE](http://www.minambiente.it/pagina/impronta-ambientale)

Studio realizzato grazie al contributo del finanziamento in regime di "de minimis" con bando pubblico per l'Analisi dell'Impronta di Carbonio nel ciclo di vita dei prodotti di largo consumo del Ministero dell'ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, pubblicato su Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana numero 21 del 25 gennaio 2013 (ai sensi del D.M. 468 del 19/05/2011) e che ha ottenuto ammissione al finanziamento con numero d'ordine 72 Decreto Direttoriale, prot. 0041168/SEC del 2 agosto 2013" CODICE CUP

TITOLO DEL PROGETTO FINANZIATO

Valutazione dell'impronta di carbonio legata al ciclo di vita del cemento partendo dalla certificazione dell'impatto ambientale della produzione di differenti tipi di cementi, con l'obiettivo di individuare le ottimizzazioni necessarie da applicare per ridurre le emissioni in fase di produzione, utilizzo e fine ciclo vita, quantificando i benefici ottenibili dal consumatore finale nella gestione di un edificio massivo ad uso uffici.

OBIETTIVI DEL PROGETTO

- Permettere la valutazione interna delle emissioni di CO₂ legate alla produzione del cemento nel ciclo di vita esistente;
- facilitare la valutazione di configurazioni alternative a quelle esistenti per quanto riguarda i prodotti, metodi di produzione, la scelta delle materie prime e la selezione dei fornitori, sulla base del risultato dell'impronta di carbonio valutata sul ciclo di vita per la produzione di varie tipologie di cemento;
- fornire un dato di benchmark per venire incontro ai programmi sviluppati per ottenere la riduzione dell'impronta di carbonio;
- supportare lo sviluppo del reporting interno ed esterno come ad esempio quello sulla "Corporate Responsibility".



Cementeerie Aldo Barbetti S.p.A.

CARBON FOOTPRINT CEMENTO

Pag. 2 di 44

Rev. 1

INFORMAZIONI DELL'ENTE DI CERTIFICAZIONE

Verifica indipendente, (cfr ISO 14025): Esterna

Ente di certificazione **DNV GL**

Numero di accreditamento **SWEDAC 556489-9176**

Attestato di verifica del **28/08/2014**

Emissione corrente **28/08/2014**

Validità tre anni scadenza **27/08/2017**

ANNO RIFERIMENTO DEI DATI ELABORATI: 2012

Rev. 1 – 26 agosto 2014

REV.	DATA	REDATTA	VERIFICATA	APPROVATA	DESCRIZIONE
1	26/08/2014	Miseri	Giglio/Cerquiglini	Giglio/Cerquiglini	Documento interno
0	22/07/2014	Miseri	Giglio/Cerquiglini	Giglio/Cerquiglini	Documento interno

**INDICE**

1.1	ASPETTI GENERALI	4
1.1.1	PREMESSA	4
1.1.2	IL PRODOTTO	5
1.1.3	LA PRODUZIONE DEI MATERIALI A BASE DI CEMENTO	6
2.1	DEFINIZIONE DELL'OBIETTIVO E DEL CAMPO DI APPLICAZIONE	7
2.1.1	OBIETTIVO DELLO STUDIO	7
2.1.2	CAMPO DI APPLICAZIONE DELLO STUDIO	8
3.1	ANALISI D'INVENTARIO DEL CICLO DI VITA	10
3.1.1	GENERALITÀ	10
3.2	INVENTARI DEI CEMENTI, CALCESTRUZZI, MALTE E EMISSIONI	20
4.1	VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI	21
4.1.1	A1-A3: CONTRIBUTO CFP CORRELATO CON PRODUZIONE MATERIALI	21
4.1.2	A4-A5: CONTRIBUTO CFP CORRELATO CON TRASPORTO E COSTRUZIONE EDIFICIO	25
4.1.3	B1-B7: CONTRIBUTO CFP CORRELATO ALL'UTILIZZO DEL REFERENCE BUILDING	29
4.1.4	C1-C4: CONTRIBUTO CFP CORRELATO ALLA DEMOLIZIONE E RICICLAGGIO	34
4.1.5	CONTRIBUTO CFP CORRELATO A CARBONATAZIONE DEL CALCESTRUZZO	35
4.1.6	VALUTAZIONE CFP CEMENTI CICLO DI VITA CRADLE TO GRAVE	35
4.2	ASSUNZIONI E LIMITAZIONI ASSOCIATE ALL'INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI, RELATIVE ALLA METODOLOGIA E AI DATI	37
4.3	ASSUNZIONI ADOTTATE PER CALCOLO DEL CARBON FOOTPRINT	38
4.4	ASSUNZIONI ADOTTATE PER LO SVILUPPO DEI DATI RELATIVI ALLE MATERIE PRIME NON PRESENTI ALL'INTERNO DEL DATABASE SIMAPRO 8.0.2	39
4.5	ASSUNZIONI ADOTTATE PER LO SVILUPPO DEI DATI RELATIVI ALLE MATERIE PRIME DI SOSTITUZIONE NON CLASSIFICATE COME RIFIUTO	40
4.6	ASSUNZIONI ADOTTATE PER LO SVILUPPO DEI DATI RELATIVI ALLE MATERIE PRIME DI SOSTITUZIONE CLASSIFICATE COME RIFIUTO	41
4.7	ASSUNZIONI ADOTTATE PER LO SVILUPPO DEI DATI RELATIVI AI COMBUSTIBILI ALTERNATIVI	43
5.1	VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DEI DATI	43
5.2	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E PROGRAMMI DI MIGLIORAMENTO	43



1.1 ASPETTI GENERALI

1.1.1 PREMESSA

La "Cementeerie Aldo Barbetti S.p.A." è un gruppo imprenditoriale eugubino che ha investito forti risorse, puntando a un miglioramento dei consumi energetici e della qualità del prodotto con ripercussioni positive sull'ambiente. L'esperienza acquisita in anni di costante ricerca e aggiornamento garantisce soluzioni sempre all'avanguardia con un ciclo di produzione che grazie all'introduzione di sistemi computerizzati, garantisce parametri ottimali e costanti di lavorazione e una qualità costante. Nel 2012 la produzione totale di cemento del gruppo in Italia è stata di 928.203 tonnellate.

L'Azienda sta partecipando allo studio di settore realizzato da AITEC (l'Associazione Italiana Tecnico Economica del Cemento) per la valutazione dell'impatto ambientale di settore per la produzione di cemento. Nel corso dell'anno 2013 ha deciso di realizzare uno studio di **valutazione del carbon footprint (CFP) dei cementi maggiormente utilizzati nella costruzione di un "edificio tipo" a uso ufficio, rappresentativo dell'intero parco immobiliare italiano. La valutazione del CFP evidenzia solo una singola categoria d'impatto sui cambiamenti climatici e non valuta altri potenziali impatti di tipo sociale, economico e ambientale derivante dalla fornitura del prodotto.**

Per la realizzazione dello studio LCA si è tenuto conto delle indicazioni del Sistema Internazionale EPD® (ISO 14025) secondo le indicazioni riportate nella **PCR 2010:09 version 2.0** "Cement", nella **PCR 2013:02 version 1.0** "Concrete" e **PCR 2012.01 version 1.2** "Construction Products", in conformità a quanto previsto dalle norme della **serie ISO 14040, EN 15804:2014**, seguendo le indicazioni del documento General Programme Instructions for Environmental Product Declarations, EPD, published by The International EPD Consortium (IEC), as a part of the EPD®system.

Lo studio LCA è stato realizzato internamente all'Azienda e i cementi considerati nello studio sono il CEM II ALL 42.5R e il CEM IV AP 42.5R prodotti nello stabilimento di Gubbio (PG).

SOCIETÀ	
CEMENTERIE ALDO BARBETTI S.p.A.	Corso Garibaldi, 81 – 06024 Gubbio (PG) Tel: +39(075)92381 Fax: +39(075)9238271 E-mail: info@barbetti.it Web: www.barbetti.it/
RESPONSABILE DI PROGETTO DA CONTATTARE	
Ing. Andrea Cerquiglioni	E-mail: Andrea_Cerquiglioni@barbetti.it
REFERENTE STUDIO LCA	
Dott. Ing. Fabio Miseri	Tel: (+39) 3483532955 E-mail: ingfabiomiseri@hotmail.com



1.1.2 IL PRODOTTO

Il **cemento** è un materiale inorganico finemente macinato, composto da materiali essenzialmente di origine naturale differenti tra loro, ma di composizione statisticamente omogenea. È un legante idraulico che, opportunamente dosato e miscelato con aggregato e acqua, reagisce dando origine a una massa progressivamente indurente, caratterizzata dalla proprietà di legare solidi inerti, come sabbie e ghiaie, per formare i conglomerati cementizi, i premiscelati e le malte, componenti base di ogni struttura edile. I dati aziendali considerati per il calcolo fanno riferimento all'anno 2012 secondo la tipologia dei cementi prodotti secondo le prescrizioni definite dalla EN 197/1.

Il **calcestruzzo** (spesso abbreviato **cls.**) è un conglomerato artificiale costituito da una miscela di legante, acqua e aggregati (sabbia e ghiaia) e con l'aggiunta, secondo le necessità, di additivi e/o aggiunte minerali in polvere, fibre metalliche e polimeriche che influenzano le caratteristiche fisiche o chimiche del conglomerato, sia fresco sia indurito.

Quest'ultime sono ingredienti minori (per quantità ma non per importanza) ed hanno l'obiettivo di migliorare le prestazioni rispetto a quelle del calcestruzzo ordinario.

Attualmente il legante utilizzato per confezionare calcestruzzi è il cemento. Il calcestruzzo fresco viene gettato all'interno dei casseri e costipato con vibratori, ma esistono formulazioni moderne del calcestruzzo dette autocompattanti (SCC).

Gli SCC non richiedono vibrazione ma si costipano per forza di gravità. Ogni tipologia di calcestruzzo è, secondo la norma UNI EN 206-1, caratterizzato da classi di esistenza a compressione, consistenza e esposizione ambientale.

Il cemento, idratandosi con l'acqua, fa presa e indurisce conferendo alla miscela una resistenza meccanica tale da renderla assimilabile a una roccia.

Il **calcestruzzo strutturale (RCK 15-25 e RCK 30-45)** è costituito da due componenti principali: quello lapideo (aggregato naturale: sabbia, ghiaia o pietrisco) e quello collante (pasta o matrice cementizia: acqua con cemento).

Il **calcestruzzo leggero strutturale (Tecnoarg)** è costituito da tre componenti principali: quello lapideo (aggregato naturale: ~~con~~ sabbia), argilla espansa strutturale 0-15 e quello collante (pasta o matrice cementizia: acqua con cemento).

La **malta** per massetti è un conglomerato costituito da una miscela di legante (cemento), acqua, inerti fini (sabbia) ed eventuali additivi, il tutto in proporzioni tali da assicurare lavorabilità all'impasto allo stato fresco e resistenza meccanica allo stato indurito.

La **malta Betonpol** è costituita da tre componenti principali: quello lapideo (aggregato naturale: ~~con~~ sabbia), polistirolo riciclato e quello collante (pasta o matrice cementizia: acqua con cemento).



L'obiettivo dello studio è stato quello di **valutare il carbon footprint del ciclo di vita dei cementi generalmente utilizzati nella produzione di calcestruzzi e malte necessari per la costruzione di un "edificio tipo" a uso ufficio, rappresentativo dell'intero parco immobiliare italiano.** Si è partiti dallo studio LCA che ha permesso di ottenere la certificazione EPD dei cementi prodotti nell'impianto a ciclo completo di Gubbio (PG) e dei calcestruzzi prodotti nell'impianto di betonaggio di Colombella (PG).

Partendo da questi dati certificati si sono poi valutati gli impatti relativi al trasporto dei materiali necessari al sito di costruzione dell'ipotetico edificio tipo nella città di Perugia, quelli legati alla costruzione vera e propria dell'edificio inerenti l'installazione del calcestruzzo, quelli legati alla gestione dell'edificio nel suo ciclo di vita, alla demolizione e al riciclaggio dei materiali da costruzione a base cementizia dell'edificio tipo, in **un ciclo di vita di 50 anni.**

1.1.3 LA PRODUZIONE DEI MATERIALI A BASE DI CEMENTO

Le fasi principali del ciclo produttivo dei materiali a base di cemento sono schematizzate nella figura seguente:

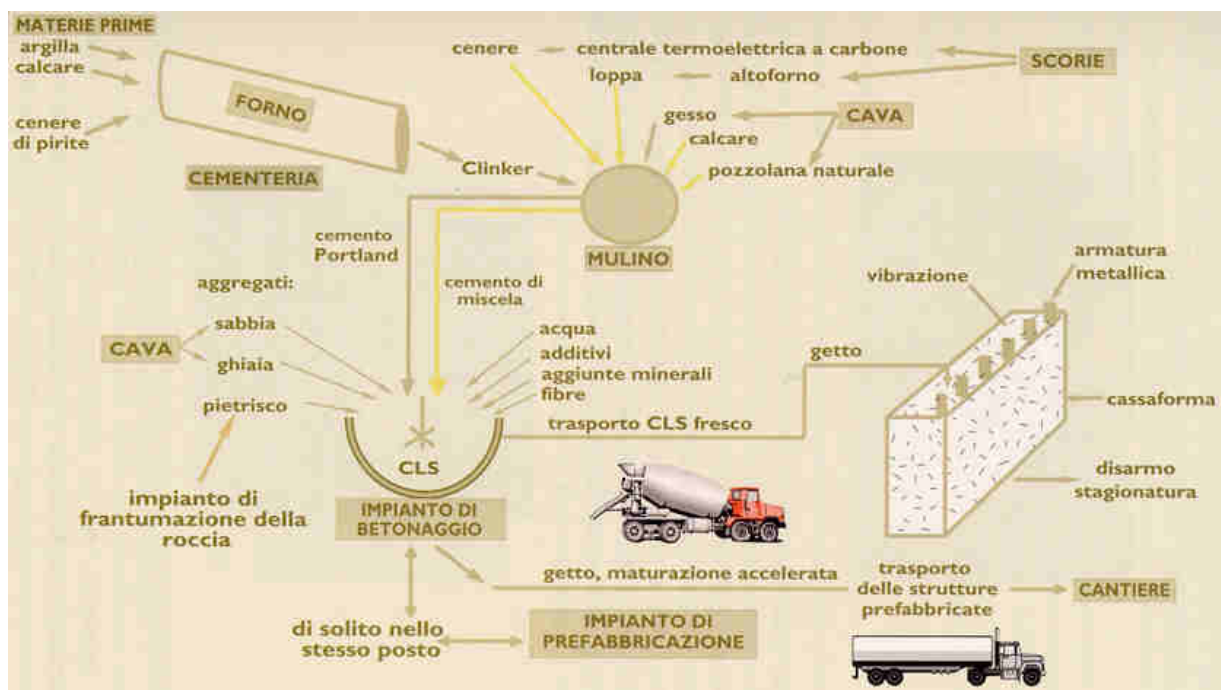


Figura 1 – Il ciclo di produzione dei materiali a base di cemento (fonte Mario Collepari "Il nuovo calcestruzzo" ENCO srl).



2.1 DEFINIZIONE DELL'OBIETTIVO E DEL CAMPO DI APPLICAZIONE

Secondo quanto indicato nella norma ISO 14040, l'obiettivo ed il campo di applicazione di un LCA devono essere definiti con chiarezza ed essere coerenti con l'applicazione prevista. Lo studio LCA per la valutazione della CFP si è basato sulle seguenti PCR:

- **PCR 2010:09 version 2.0** "Cement"
- **PCR 2013:02 version 1.0** "Concrete"
- **PCR 2012.01 version 1.2** "Construction Products and Construction Services",

che risultano conformi a quanto indicato all'interno della **UNI EN 15804:2014**.

2.1.1 OBIETTIVO DELLO STUDIO

Lo studio è stato elaborato per valutare il CFP generato dall'utilizzo dei cementi maggiormente utilizzati nella **produzione dei calcestruzzi e delle malte generalmente utilizzati nella costruzione di un "edificio tipo" a uso ufficio, rappresentativo dell'intero parco immobiliare italiano**, dimensionato secondo i risultati redatti dall'ENEA nel report RSE 2009/164 "Caratterizzazione del parco edilizio nazionale – determinazione dell'edificio tipo per uso ufficio" e pubblicato a seguito dell'indagine effettuata dal CRESME.

Sono stati considerati **i cementi prodotti nello stabilimento di Gubbio e i calcestruzzi e le malte prodotti nella centrale di betonaggio di Colombella che utilizzano tali cementi**, di seguito indicati, attraverso una valutazione di LCA su dati relativi **alla loro produzione nell'anno 2012**.

Stabilimento di Gubbio (PG):

- cemento portland al calcare CEM II/A-LL 42,5 R;
- cemento pozzolanico CEM IV/A (P) 42,5 R;

Centrale betonaggio Colombella (PG):

- famiglia di CALCESTRUZZI STRUTTURALI con aggiunta di ARGILLA ESPANSA composta dal prodotto TECNOARG;
- famiglia di CALCESTRUZZI STRUTTURALI composti da vari calcestruzzi con classe di resistenza RCK compresa da 30 a 45, senza aggiunte di ceneri leggere;
- Malte BETONPOL, utilizzata per l'isolamento termico, composta da 2 prodotti BETONPOL 600 e BETONPOL 1000.



2.1.2 CAMPO DI APPLICAZIONE DELLO STUDIO

Funzioni e unità funzionale

Funzione del sistema che si vuole studiare è la emissione di CO₂eq determinata dall'utilizzo dei cementi maggiormente utilizzati nella costruzione, gestione, demolizione di un edificio ad uso ufficio nella realtà climatica e immobiliare italiana, su un ciclo di vita di 50 anni.

L'unità funzionale (declared unit) è rappresentata da 1.000 kg di cemento.

Confini del sistema

I confini del sistema sono stati definiti:

- per i cementi in accordo a quanto richiesto dal General Programme Instructions for Environmental Product Declarations e della **PCR 2010:09 version 2.0**.
- per i prodotti derivati (calcestruzzi e malte) dal General Programme Instructions for Environmental Product Declarations e della **PCR 2013:02 version 1.0**.

Le varie fasi del ciclo di vita "cradle to grave" utilizzate per il calcolo della CFP, descritte nei capitoli seguenti, sono schematicamente rappresentata all'interno della figura riprodotta qui sotto, secondo le indicazioni riportate nella EN 15804:2014.

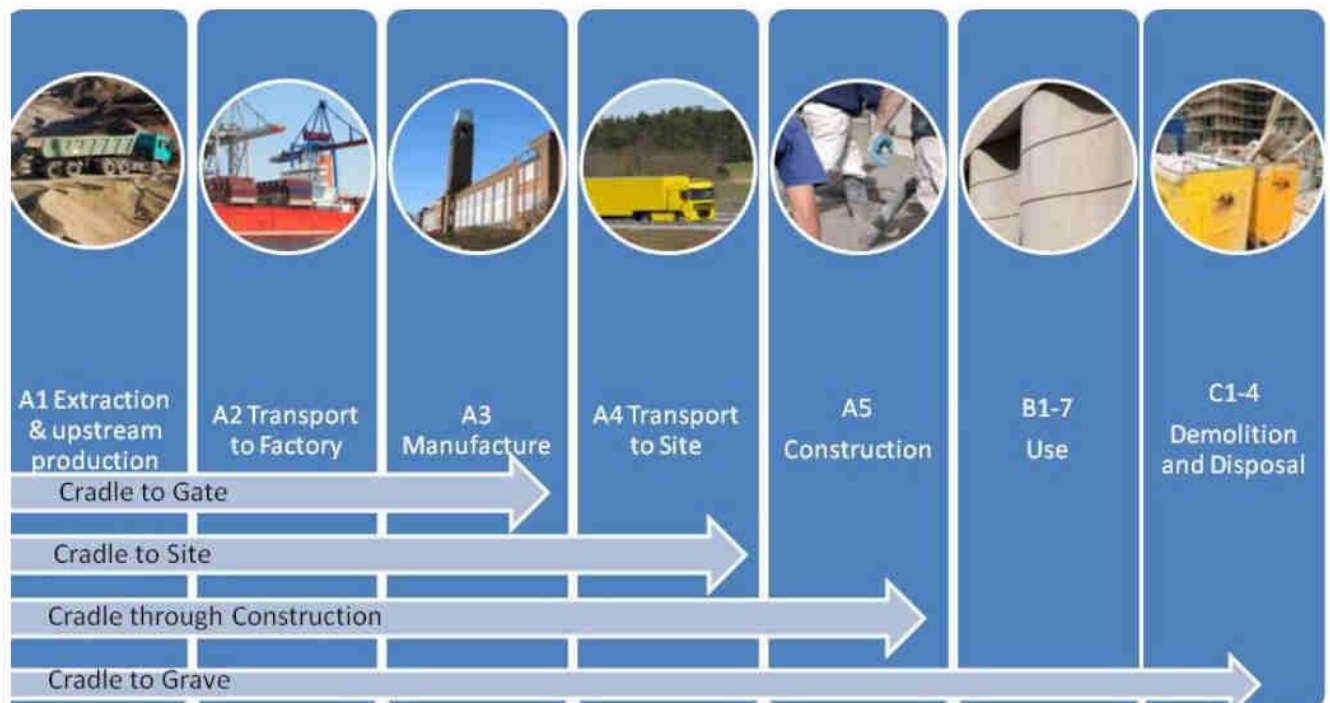


Figura 2 – Confini del sistema oggetto dello studio (fonte PCR 2013:02 version 1.0).



Lo studio LCA è stato sviluppato attraverso la realizzazione di varie fasi. La prima ha riguardato la valutazione di tutti i processi necessari per la produzione dei cementi e dei prodotti derivati (calcestruzzi e malte) dall'estrazione di materie prime e fonti di energia ("cradle") alla preparazione del prodotto finito pronto per la distribuzione al cancello dello stabilimento ("gate").

Sono stati poi ipotizzati degli scenari tipo per valutare le emissioni di CO₂eq, basandosi sulle indicazioni riportate nella **PCR 2013:02 version 1.0**, per:

- il trasporto dei prodotti cementizi al sito di costruzione considerando la distanza dalla centrale di betonaggio alla città di Perugia, ipotetica sede del cantiere di costruzione dell'edificio;
- le attività necessarie per l'installazione dei calcestruzzi e malte necessarie per la costruzione dell'edificio;
- la quantificazione dei materiali necessari per la costruzione dell'edificio in funzione della scelta strutturale operata, per poter allocare percentualmente su ogni materiale le emissioni prodotte durante la fase di gestione dell'edificio;
- i consumi energetici (raffrescamento, riscaldamento e illuminazione) durante la gestione della fase di vita dell'edificio attraverso l'utilizzo del software di simulazione dinamica EnergyPlus (versione 8.1) che è stato utilizzato per costruire l'intero modello geometrico e termo-energetico dell'edificio sia per quanto concerne le caratteristiche termofisiche dell'involucro, sia per la dotazione impiantistica;
- le manutenzioni ordinarie correlate ai materiali cementizi;
- la demolizione dell'edificio focalizzando l'attenzione sui materiali a base cementizia e ai loro trattamenti per poter essere riciclati, basandosi sulle indicazioni fornite da Ecoinvent V.3.01;
- il trasporto dei materiali demoliti ai centri di riciclaggio ipotizzando il ritiro degli stessi da parte del produttore;
- il riciclaggio dei materiali a base cementizia derivati dalla demolizione ipotizzando che tra 50 anni, al termine del ciclo di vita, il 90% dei materiali sia riciclato anche in Italia, visto che nei paesi del nord Europa già oggi si riesce a riciclare questo quantitativo di calcestruzzo;
- non è stato valutato il riassorbimento della CO₂ (carbonatazione) da parte del calcestruzzo durante le varie fasi del ciclo di vita in quanto siamo stati informati dall'**Associazione Tecnico Economica del Calcestruzzo Preconfezionato** (ATECAP) che le modalità di calcolo, attualmente alla valutazione dei TC104 e del TC229 per definire l'emanazione di specifiche linee guida di calcolo, non sono state ancora approvate. Ci si riserva di valutare questo contributo come possibile ottimizzazione di processo nelle successive fasi di sviluppo del progetto.



Nella "**Scheda Dati di Sicurezza del Cemento e Calcestruzzo**" (rif. Regolamento 453/2010/CE) sono riportate, principalmente, dettagliate informazioni sulle modalità d'uso e sulle misure preventive per evitare ogni potenziale rischio per la salute e sicurezza dei lavoratori.

Il modello di calcolo adottato per la realizzazione dello studio è stato sviluppato con il software **SimaPro 8** versione 8.0.2, fornito da PRÉ Consultants. La banca dati del presente modello è stata implementata dal database Ecoinvent V.3.01 ed ha fornito tutti i dati relativi alla produzione dei combustibili e dell'energia elettrica, alla produzione dei materiali, dei trasporti e la demolizione e riciclaggio dei materiali a base cementizia.

Per alcuni prodotti e rifiuti utilizzati all'interno del processo produttivo dei cementi e dei calcestruzzi è stato necessario ricostruire le lavorazioni eseguite per rendere i materiali utilizzabili all'interno del ciclo di produzione del cemento e allocare così la quota parte degli impatti ambientali derivanti dalle lavorazioni.

Sono stati allocati all'interno del confine del sistema tutti i trattamenti necessari per poter utilizzare i rifiuti prodotti da altri sistemi inclusi i trasporti da sito di trattamento allo stabilimento. Non sono stati allocati all'interno del confine del sistema tutti i trattamenti necessari per poter riutilizzare i rifiuti prodotti all'interno dal sistema negli impianti di produzione, ma sono stati allocati i trasporti fino al trattamento finale.

La quasi totalità dei rifiuti prodotti è ascrivibile alla fase di estrazione/produzione delle materie prime, mentre solo una piccola quota è attribuibile al processo produttivo vero e proprio, in quanto la produzione del calcestruzzo non genera rifiuti, prodotti dalla sola fase di installazione e manutenzione. Inoltre, l'impianto di recupero presente all'interno dell'impianto di betonaggio, permette di recuperare inerti ed acqua e di evitare la produzione di rifiuti derivanti dal lavaggio delle betoniere.

Confini temporali

I dati specifici per la valutazione del CFP della produzione dei materiali da costruzione a base di cemento sono stati raccolti sugli impianti di produzione nell'anno 2012.

Per quanto riguarda il CFP determinato dalla gestione dell'edificio il periodo preso in considerazione fa riferimento a un ciclo di vita di 50 anni, come suggerito anche dalla PCR 2014:02 version 1.0 Buildings.

3.1 ANALISI D'INVENTARIO DEL CICLO DI VITA

3.1.1 GENERALITÀ

L'analisi d'inventario comprende la **raccolta dei dati** ed i **procedimenti di calcolo** che consentono di quantificare i flussi in entrata ed in uscita dal sistema. Questi flussi in entrata e in uscita possono



comprendere l'utilizzo di risorse e i rilasci nell'aria, nell'acqua e nel terreno associati al sistema. Partendo da questi dati si sono ricavate le interpretazioni in relazione agli obiettivi ed al campo di applicazione dell'LCA. Questi dati hanno costituito anche la base per la valutazione dell'impatto del ciclo di vita.

I dati utilizzati nello studio derivano dalla compilazione di modelli Excel appositamente predisposti per la raccolta dati a seguito dell'analisi effettuata tramite interviste e check list effettuate presso gli impianti. Il dettaglio dei dati primari raccolti per la produzione dei materiali cementizi sui singoli impianti è evidenziato in file Excel appositamente predisposti.

Come regola generale, in accordo con il PPP (Polluter Pays Principle) adottato dal Sistema internazionale EPD[®], non è stato considerato l'impatto relativo alla produzione di materiali alternativi di recupero (come ad esempio rifiuti non pericolosi, loppa e matrix) ma solo quello per il loro trasporto all'impianto e le eventuali lavorazioni necessarie per la trasformazione per poter essere utilizzate nei vari impianti. Più in dettaglio per i materiali cementizi (calcestruzzi e le malte) da cui si è poi calcolato il CFP dei cementi utilizzati, si sono applicate le seguenti indicazioni riportate nella **PCR 2013:02 version 1.0**.

MODULO A1: estrazione e lavorazione di materie prime, lavorazione di materiali secondari in ingresso (ad esempio i processi di riciclo).

Lo stadio di produzione A1 include tutte le estrazioni, le produzioni di energia e i processi di produzione che avvengono a monte della produzione dei prodotti valutati, con l'eccezione dei materiali accessori, degli imballaggi utilizzati nel processo produttivo e i trasporti dei materiali in ingresso utilizzati nel processo produttivo. Sono inclusi in questo modulo:

- L'estrazione e lavorazione delle materie prime (ad esempio processi di estrazione) e la produzione e la lavorazione di biomassa (ad esempio da operazioni agricole o forestali) utilizzati come input per la fabbricazione del prodotto;
- L'estrazione e trattamento di combustibili primari utilizzati come input per la fabbricazione del prodotto;
- Il riutilizzo di prodotti o materiali provenienti da una precedente produzione utilizzati come input per la fabbricazione del prodotto, ma non includendo quei processi che fanno parte del trattamento come rifiuti del prodotto nel sistema di produzione precedente fino a che questi non raggiungono lo stato finale di rifiuti;
- Le lavorazioni dei materiali secondari utilizzati come input per la fabbricazione del prodotto, ma non includendo quei processi che fanno parte del trattamento come rifiuti del prodotto nel sistema di produzione precedente fino a che questi non raggiungono lo stato finale di rifiuti;



- La generazione di energia elettrica, vapore e calore utilizzato nel processo di fabbricazione del prodotto, che sono stati generati fuori sede, comprendendo anche la loro estrazione, raffinazione e trasporto;
- Il recupero energetico e altri processi di recupero da combustibili secondari, che sono utilizzati come input per la fabbricazione del prodotto, ma non includendo quei processi che fanno parte del trattamento come rifiuti del prodotto nel sistema di produzione precedente fino a che questi non raggiungono lo stato finale di rifiuti;
- Trasformazione fino allo stato finale di rifiuti e lo smaltimento di eventuali residui finali prodotti in ogni fase di processo incluso in A1;
- Qualsiasi trasporto di materie prime svolto all'interno della filiera a monte, a parte quelli relativi alla consegna dei materiali al processo produttivo sotto studio.

Gli impatti derivanti dall'estrazione e produzione dei materiali accessori e materiali di imballaggio sono esclusi dallo stadio A1 del prodotto e sono inclusi nella fase A3 del prodotto.

Gli impatti dal trasporto di tutti i materiali e carburanti per il processo di fabbricazione sotto studio sono inclusi nella fase A2 del prodotto.

Gli impatti di energia elettrica utilizzata dal produttore di calcestruzzo, compresa l'estrazione di combustibili, la produzione e la distribuzione di energia elettrica, sono inclusi nella fase A1.

Gli impatti di gas naturale utilizzato dal produttore di calcestruzzo, compresa l'estrazione di gas, la trasformazione e la distribuzione e le emissioni prodotte dalla combustione di gas sono inclusi nella fase A3.

MODULO A2: trasporti verso lo stabilimento e trasporti all'interno dello stabilimento.

La fase A2 del prodotto comprende tutti i processi di trasporto a monte e durante il processo di fabbricazione, escludendo il trasporto dei rifiuti dal processo di fabbricazione. Gli impatti dell'estrazione e della lavorazione del combustibile associati ai trasporti sono inclusi in questa fase.

Il trasporto dei rifiuti di produzione è compresa nello stadio A3.

Gli impatti dei trasporti sono basati sulle tipiche modalità di consegna dei prodotti, tenendo conto della modalità di trasporto (strada, ferrovia, acqua, aria), del tipo di veicolo, il carburante e l'efficienza, il carico, la distanza percorsa e il viaggio di ritorno a vuoto.

MODULO A3: fabbricazione, compresi gli impatti derivanti dalla produzione di energia diretta e smaltimento legati al processo di fabbricazione.

Nella fase A3 sono compresi tutti i processi di produzione per il prodotto sotto studio, più la produzione dei materiali accessori, i pre-prodotti e gli imballaggi, oltre a qualsiasi trattamento dei rifiuti e il loro trasporto allo stato finale di rifiuto o allo smaltimento.

- La produzione dei materiali accessori, i pre-prodotti;



- La fabbricazione di prodotti e co-prodotti, inclusa la combustione di eventuali combustibili primari utilizzati nel processo di produzione;
- La fabbricazione degli imballaggi;
- Le lavorazioni delle fasi A1-A3 fino allo stato di rifiuti finali o lo di smaltimento dei residui finali, compresi gli eventuali imballaggi che non lasciano il cancello della fabbrica con il prodotto.

L'output di rifiuti durante questa fase del ciclo di vita può raggiungere lo stato finale di rifiuto quando esso soddisfa le condizioni descritte nel paragrafo 2.3.4.5 della **PCR 2013:02 version 1.0** "Concrete", come stato finale di rifiuto. Vengono poi allocati come co-prodotti come descritto nel paragrafo 2.3.5.3 della **PCR 2013:02 version 1.0** "Concrete".

La fase A3 del prodotto è in linea con lo scopo 1 delle emissioni registrate dal Greenhouse Gas Protocol, tuttavia copre tutti gli impatti non solo il riscaldamento globale / cambiamento climatico. Come per lo scopo 1, lo stadio A3 del prodotto non include gli impatti a monte legati all'estrazione e lavorazione combustibili primari, come il carbone e il gas naturale - questi sono invece inclusi in A1. Gli impatti connessi con elettricità, calore, vapore o combustibili secondari impiegati nella fabbricazione, sono inclusi nella fase A1 del prodotto.

Per un impianto di produzione di calcestruzzo preconfezionato, la produzione del cemento è inclusa in A1 e in A3 sono incluse le operazioni di miscelazione.

MODULO A4: lo stadio di processo della fase di trasporto al sito dei materiali cementizi è stata inclusa all'interno della valutazione della CFP in funzione delle caratteristiche costruttive definite per il reference building considerando:

- il trasporto dal cancello di produzione al luogo di costruzione ipotizzato nella città di Perugia per una distanza pari a 30 km per calcestruzzi e malte;
- il trasporto delle armature in ferro per il calcestruzzo armato per una distanza pari a 433 km tra il produttore situato nella provincia di Brescia e il cantiere di costruzione ipotizzato a Perugia;
- lo stoccaggio dei prodotti durante la fase di distribuzione dal cancello del sito di produzione al cantiere, compresa la fornitura di riscaldamento, raffreddamento, controllo dell'umidità, ecc;
- lo scarto dei prodotti da costruzione per l'installazione di quelli a base cementizia (che copre i processi rilevanti necessari alla fabbricazione dei materiali perduti attraverso lo scarto dei prodotti);
- gli scarti di lavorazione dei rifiuti dall'imballaggio del prodotto e lo scarto di prodotto che si verifica durante i processi di trasporto e di distribuzione fino allo stato finale di rifiuto o di smaltimento dei residui finali;
- non si è considerato il lavaggio di veicoli in questa fase perché già considerata nella fase A3, in quanto si è ipotizzato che venga effettuato solo nella centrale di betonaggio (luogo di produzione) al rientro delle betoniere nell'impianto.



Gli impatti dei trasporti sono stati basati su una consegna tipica dei prodotti, tenendo conto della modalità di trasporto (strada), del tipo di veicolo, del carburante e dell'efficienza, del carico, della distanza percorsa e del viaggio di ritorno a vuoto.

MODULO A5: Questa fase è stata inclusa nel calcolo della CFP in base alle caratteristiche costruttive definite per il reference building ed include i seguenti moduli di informazioni per:

- lo stoccaggio di prodotti, tra cui la fornitura di riscaldamento, raffrescamento, controllo dell'umidità, ecc.;
- non include il lavaggio di veicoli effettuate in cantiere perché si è ipotizzato di farlo solo presso la centrale di betonaggio;
- il pompaggio di calcestruzzo per la messa in opera nel sito;
- non considera il raffreddamento o il riscaldamento del calcestruzzo in sito per consentire la maturazione del calcestruzzo ipotizzando che la costruzione dell'edificio avvenga in condizioni meteorologiche adeguate;
- l'uso di acqua in loco per mescolare il calcestruzzo o per permettere al calcestruzzo di maturare;
- il consumo netto di eventuali casseforme tenendo conto dei normali tassi di riutilizzazione o riciclaggio;
- tutti i materiali accessori necessari per la rimozione del calcestruzzo dai casseri non sono stati considerati perché trascurabili rispetto ai quantitativi di materiali in gioco;
- la pulizia delle attrezzature o casseforme necessarie non sono state considerate;
- lo scarto dei prodotti a base cementizia, che copre i processi rilevanti necessari per la fabbricazione del materiale perduto attraverso lo scarto dei prodotti (circa 1%);
- per il ferro dell'armatura del calcestruzzo si è considerato di acquistarlo a misura riducendo a 0 il valore degli scarti, secondo le moderne tecniche costruttive;
- il trattamento dei rifiuti per i rifiuti di imballaggio del prodotto è nullo in quanto il prodotto viene trasportato sfuso all'interno delle betoniere, mentre si sono considerati gli scarti di prodotto durante i processi di installazione nella fase di costruzione fino allo stato finale di rifiuto o di smaltimento dei residui finali;
- l'installazione del prodotto nell'edificio o nelle opere di costruzione includendo la produzione e il trasporto dei materiali accessori e qualsiasi energia o acqua necessari per l'installazione o la lavorazione funzionamento del cantiere. Comprende anche le lavorazioni eseguite in loco per il prodotto.

I dati per le lavorazioni generali del sito di costruzione (es. le baracche da cantiere, i ponteggi, ecc) che devono essere considerati a livello di edificio o di costruzione delle opere, non sono stati inclusi nella valutazione della CFP. I processi direttamente correlati al calcestruzzo, per esempio, i processi



Cemente Aldo Barbetti S.p.A.

CARBON FOOTPRINT CEMENTO

Pag. 15 di 44

Rev. 1

necessari per compattare il calcestruzzo, realizzare una superficie liscia (es. fluttuante) o altri processi necessari per la maturazione del calcestruzzo sono stati considerati in questa fase di costruzione.

MATERIALE	QUANTITATIVO SCARTATO INDICARE SE: -% SU TOTALE m ³ -% SU TOTALE MASSA -QUANTITA' (INDICARE UNITA' DI MISURA)	% AL TRATTAMENTO DI RICICLAGGIO	% AL TRATTAMENTO DI MESSA A DISCARICA
RCK30-45	1%	100%	0%
Tondini di ferro per armatura RCK30-45	0% materiale comprato su misura		
Tecnoarg	1%	100%	0%
Tondini di ferro per armatura Tecnoarg	0% materiale comprato su misura		
Betonpol 1000	1%	100%	0%
Betonpol 600	1%	100%	0%

Informazioni aggiuntive	Installazione tipica per m ³ e per kg di calcestruzzo e malte
Materiali ausiliari per l'installazione dei prodotti	Casseforme: 1 m ² 18 mm di spessore, in compensato, tasso di riutilizzo 95%
Consumo netto di acqua per l'installazione di calcestruzzi/malte	0.15 m ³ /m ³ 0,00006 m ³ /kg per RCK30-45 0,00009 m ³ /kg per TECNOARG 0,00023 m ³ /kg per BETONPOL600 0,00013 m ³ /kg per BETONPOL1000
Altre risorse utilizzate per l'installazione	n/a
Trasporto calcestruzzi e malte da centrale di betonaggio a cantiere tramite betoniere:	8 m ³ a viaggio inseriti nel modello autocarri con carico fino a 16 t/km
Materiali di scarto prodotti nel sito di costruzione prima del processo di trattamento generati durante l'installazione del prodotto: (per tipo)	Prodotti: 0.3 kg Casseforme (compensato) 0.05 m ² 18 mm compensato 0,00013 kg/kg per RCK30-45 0,00017 kg/kg per TECNOARG



Informazioni aggiuntive	Installazione tipica per m³ e per kg di calcestruzzo e malte
Descrizione quantitative del tipo di energia utilizzata e consumata durante il processo di installazione	Energia elettrica utilizzata per la compattazione del calcestruzzo e delle malte: 0.2 MJ/m ³ 0,00008 MJ /kg per RCK30-45 0,00011 MJ /kg per TECNOARG Gasolio utilizzato per il pompaggio del calcestruzzo e delle malte con cicli da 1 m ³ : 4 litri/m ³ (3/5 litri m ³) 0,0015 l/kg per RCK30-45 0,0020 l/kg per TECNOARG 0,0055 l/kg per BETONPOL600 0,0031 l/kg per BETONPOL1000
Materiali di output per tipo generati nel sito di costruzione dal processo di raccolta dei materiali per i trattamenti di riciclo, recupero di energia e messa a discarica:	Prodotto – riutilizzato in sito Casseforme – riciclaggio inviato a inceneritore per produzione energia
Emissioni dirette all'ambiente (aria, acqua e terreno):	Tutta l'acqua utilizzata evapora o è scaricata nelle fogne.
Massa volumica dei prodotti trasportati:	RCK 30-45: 2.332 kg/m ³ classe di esposizione XC TECNOARG: kg/m ³ 1.743 nessuna classe di esposizione BETONPOL 1000: 1.149 kg/m ³ nessuna classe di esposizione BETONPOL 600: 644 kg/m ³ nessuna classe di esposizione
Fattore di utilizzazione della capacità di volume (fattore: =1 o <1 o ≥ 1	1



MODULO B1-B7: per la fase di utilizzo dell'edificio si è valutato il consumo energetico relativo alla gestione dell'edificio attraverso la simulazione termo energetica dinamica, delle emissioni di anidride carbonica in esercizio di un *Reference Building* italiano per uffici in funzione dei diversi calcestruzzi utilizzati per la sua costruzione. La prima fase dell'attività è consistita nella definizione di un *Reference Building* per uffici rappresentativo del contesto italiano. Le caratteristiche termofisiche dell'involucro edilizio sono state stabilite in funzione degli standard costruttivi generalmente utilizzati in Italia per realizzare un *high performing building*, rispettando gli obiettivi di prestazione energetica fissati per l'anno 2020 sulla base delle direttive nazionali e europee. Nella seconda fase dell'attività, il modello termo-energetico del *Reference Building* è stato costruito attraverso l'uso del software di simulazione dinamica EnergyPlus e ne sono stati valutati i fabbisogni di energia netta per il riscaldamento, il raffrescamento ambientale e l'illuminazione. La terza fase è stata caratterizzata dalla valutazione dei consumi energetici suddivisi per fonte ed in termini di energia primaria per il riscaldamento, il raffrescamento ambientale e l'illuminazione. Si evidenzia che i due usi legati alla climatizzazione in ambiente sono i soli che risentono della scelta tecnologica effettuata a livello di involucro. Sono state stimate le emissioni di anidride carbonica in fase di esercizio legate ai consumi sopra calcolati.

Infine tramite i dati geometrici dell'edificio elaborati sulla base del modello sviluppato si è potuto stimare le quantità in kg dei singoli materiali da costruzione dell'edificio per poter allocare la quota parte di quantità di CO₂ emessa in fase di utilizzo dell'edificio e quella legata alla sua demolizione.

I dati geometrici dell'edificio sono riportati nel paragrafo 4.1.3 B1-B7: CONTRIBUTO CFP CORRELATO ALL'UTILIZZO DELL'EDIFICIO.

Per i materiali cementizi, essendo questi utilizzati solo per la parte strutturale dell'edificio, si è ipotizzato che le attività di manutenzione correlate siano praticamente trascurabili, essendo i prodotti garantiti per un ciclo di vita di 50 anni.

Dovendo valutare la CO₂ emessa nel ciclo di vita dei cementi e non quella emessa globalmente dall'edificio, si sono trascurate le possibili attività di ristrutturazione riguardanti gli altri materiali componenti l'edificio, in quanto queste emissioni, proprio per la metodologia adottata nello sviluppo dello studio LCA per la valutazione della carbon footprint (CFP) dei cementi, verrebbero allocate solo sui singoli materiali coinvolti nelle attività di ristrutturazione.

E' stato inoltre inserito un sistema fotovoltaico, utilizzato a copertura del fabbisogno elettrico del gruppo frigorifero e parzialmente del rimanente fabbisogno elettrico dell'edificio. Tale impianto, costituito da 176 pannelli fotovoltaici (area superficie attiva 174,9 m²; area totale 177,2 m²) che copre tutta la superficie disponibile del tetto ed è caratterizzato da una potenza di picco di circa 38 kWp. Si è considerato un ciclo di vita utile di 25 anni, il quale richiede che l'impianto venga rinnovato una volta durante il ciclo



di vita si 50 anni. Dato che questo impianto contribuisce a garantire un risparmio energetico dell'edificio, sono state valutate le emissioni legate alla sua sostituzione nel ciclo di vita al fine di poterle ripartire su tutti i materiali costituenti l'edificio.

Informazioni aggiuntive	Installazione tipica per m³ e per kg di calcestruzzo e malte
B2 Manutenzione:	
Processo adottato per i materiali a base di cemento (calcestruzzo e malte):	Nessuna manutenzione ordinaria e straordinaria prevista per il ciclo di vita essendo i prodotti contenuti all'interno dell'edificio.
Processo adottato per i pannelli fotovoltaici:	Sostituzione pannelli ogni 25 anni.
Processo adottato per altri materiali:	Nessuna manutenzione ordinaria e straordinaria.
B3 Riparazione:	
Processo adottato per i materiali a base di cemento (calcestruzzo e malte):	Nessuna riparazione prevista.
Processo adottato per i pannelli fotovoltaici:	Nessuna riparazione prevista.
Processo adottato per altri materiali:	Nessuna riparazione prevista.
B3 Sostituzione:	
Processo adottato per i materiali a base di cemento (calcestruzzo e malte):	Nessuna sostituzione prevista.
Processo adottato per altri materiali:	Nessuna sostituzione prevista.
Processo adottato per i pannelli fotovoltaici:	Sostituzione globale dei 177,2 m ² di pannelli. Allocated sui conglomerati cementizi la quota parte in base al peso dei materiali, incluse le armature, sul totale pari a
Ciclo di sostituzione:	25 Anni.
Materiali ausiliari utilizzati durante la sostituzione:	Inclusi nella voce utilizzata nel modello SimaPro.
Materiali di scarto prodotti durante la sostituzione	Kg già considerati all'interno della voce scelta per la costruzione del modello SimaPro.



Informazioni aggiuntive	Installazione tipica per m³ e per kg di calcestruzzo e malte
Trasporti per approvvigionamento nuovi pannelli e smaltimento vecchi pannelli:	km considerati già all'interno della voce scelta nel modello SimaPro.
B4 Ristrutturazione:	
Processo adottato per i materiali a base di cemento (calcestruzzo e malte):	Nessuna ristrutturazione prevista.
Processo adottato per altri materiali:	Nessuna ristrutturazione prevista.
Processo adottato per i pannelli fotovoltaici:	Nessuna ristrutturazione prevista.

MODULO C1-C4: per la fase di demolizione e riciclo si è ipotizzato che i materiali a base cementizia vengano separati e riportati al produttore che poi li riutilizzerà per la produzione di nuovi materiali, utilizzandoli ad esempio come aggregati riciclati o come materiale di riempimento/costruzione di sottofondi per infrastrutture stradali.

PARAMETRI	QUANTITA'	PER kg DI MATERIALI A BASE CEMENTIZIA (CALCESTRUZZI E MALTE)
C1-4 Demolizione:		
Processo di raccolta per tipologia:	1.342.362	kg raccolti separatamente (RCK 30-45 con armatura)
	483.856	Kg raccolti miscelati con altri scarti di costruzione (Tecnoarg con armatura e malte Betonpol)
Sistemi di recupero utilizzati specificati per tipo:	1.635.624	kg per riutilizzo
	1.808.891	Kg per riciclo
	0	Kg per recupero di energia
Messa a discarica:	173.267	kg di prodotti o materiali per discarica
Trasporto materiale	70	km di materiale trasportato fino in cava stabilimento di Gubbio per essere riciclato
	433	km di materiale trasportato fino allo stabilimento di Brescia per essere riciclato
	10	km di materiale trasportato a discarica
Energia utilizzata per demolizione e separazione dei materiali		Dati presenti all'interno delle voci scelte da Ecoinvent nella costruzione del modello



3.2 INVENTARI DEI CEMENTI, CALCESTRUZZI, MALTE E EMISSIONI

I dati elaborati per il CFP sono stati riferiti all'unità funzionale, ovvero a 1.000 kg di cemento. Si riportano di seguito i riferimenti dei modelli utilizzati per la raccolta ed elaborazione dei dati.

RACCOLTA DATI:

- IMPIANTO DI GUBBIO (PG) CEMENTERIE ALDO BARBETTI S.p.A.
- IMPIANTO DI COLOMBELLA (PG) BARBETTI MATERIALS S.p.A.

ELABORAZIONE DATI:

- Valutazione, attraverso la simulazione termo-energetica dinamica, delle emissioni di anidride carbonica in esercizio di un *Reference Building* per uffici in funzione dei diversi calcestruzzi utilizzati per la sua costruzione.
- Modello Excel per calcolo quantitativi materiali necessari per la costruzione del *Reference Building* e ripartizione carico energia necessaria per la gestione sui conglomerati cementizi.
- Modello Excel per calcolo emissioni di CO₂eq per tipo di cemento.

**4.1 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI**

4.1.1 A1-A3: CONTRIBUTO CFP CORRELATO CON PRODUZIONE MATERIALI

Il CFP per la produzione dei materiali a base cementizia utilizzati nella costruzione del *Reference Building* sono quelli di seguito specificati. Si ipotizza che i cementi siano prodotti nell'impianto a ciclo continuo di Gubbio (PG) e i calcestruzzi e le malte nell'impianto di betonaggio di Colombella (PG).

Per quanto riguarda i cementi i dati di seguito riportati fanno riferimento a 1000 kg.

La ricetta della composizione del cemento prodotto oggetto dello studio è rappresentata nella tabella seguente dove sono stati inseriti i quantitativi di clinker delle materie prime, dei prodotti e dei rifiuti non pericolosi recuperati necessari per la produzione. Si precisa che nella tabella non sono indicati i quantitativi di materie prime utilizzate per la produzione del clinker. I quantitativi inseriti fanno riferimento a materiali umidi. I quantitativi oltre il 1.000 rappresentano il contenuto d'acqua presente nei materiali costituenti il cemento.

TIPOLOGIA CEMENTI		CEM II	[%]	CEM IV	[%]
		ALL 42,5 R		AP 42.5 R	
		[kg/t]		[kg/t]	
MATERIE PRIME NATURALI	Calcare	0,00	0,0	0,00	0,0
	Gesso naturale	50,48	5,0	53,16	5,1
	Pozzolana	0,00	0,0	187,30	18,0
	Marna	90,34	9,0	12,85	1,2
PRODOTTI	Clinker	860,34	85,7	794,44	76,5
	Solfato ferroso mono idrato, Additivi, Loppa	2,50	0,2	3,76	0,4
RIFIUTI RECUPERATI	Ceneri volanti (Fly Ash),	0,00	0,0	0,00	0,0
TOTALI:		1.003,7	100	1.038,7	100

Tabella 1 – Composizioni per 1.000 kg per i cementi prodotti.

Per i dettagli sulle assunzioni fatte per il calcolo della CO₂eq nel paragrafo 4.3.

L'impatto ambientale per unità funzionale (declared unit) per il CFP è stato elaborato secondo le indicazioni e i fattori di caratterizzazione dettati dalla UNI EN 15804:2014.

1. Emissioni di gas ad effetto serra/Global Warming [kg CO₂ eq al netto del contributo da biomassa]

PRODUZIONE CEMENTI (A1-A3)	Gas serra [kg CO ₂ eq]
CEM II A-LL 42,5 R	795
CEM IV A (P) 42,5 R	743
CEMENTO MEDIO EDIFICIO*	786,30

Tabella 2 – CFP per la produzione di 1.000 kg di cemento.



Cemente Aldo Barbetti S.p.A.

CARBON FOOTPRINT CEMENTO

Pag. 22 di 44

Rev. 1

FASE	DESCRIZIONE	ACCUMULATO EDIFICIO	FASE EDIFICIO Kg CO2	FASE		ACCUMULATO		Coeff. Allocazione	Criterio di allocazione
				1 ton di CAL-MALTA Kg CO2/t Cal-Malta	1 ton di CAL-MALTA Kg CO2/t Cal-Malta	1 ton CEM. MEDIO Kg CO2 / t cemento	1 ton CEM. MEDIO Kg CO2 / t cemento		
A1-A3	Produzione cemento medio		238.166,67			786,30	786,30		

*Il contributo della emissione del cemento medio edificio è stato calcolato in funzione dei quantitativi di cemento utilizzati per la produzione dei calcestruzzi e delle malte necessari per costruire il *Reference Building* pari a 252,22 t di CEM II ALL 42.5R e 50,67 t di CEM IV AP 42.5R, come riportato in tabella 8 (quantitativi dei materiali costituenti il *Reference Building*).

Il contributo da biomassa delle emissioni di gas serra per i cementi di Gubbio è pari a 0 kg di CO₂ eq.

Le ricette delle composizioni dei calcestruzzi e malte prodotti con i cementi sono rappresentate nella tabella seguente. I quantitativi dei materiali fanno riferimento a **1 m³** di prodotto tal quale.

Tipologie di prodotti/famiglie di prodotti									
I	CALCESTRUZZI STRUTTURALI ALLEGGERITO con aggiunta di ARGILLA ESPANSA (TECNOARG).								
II	CALCESTRUZZI STRUTTURALI con classe di resistenza RCK da 30 a 45, senza aggiunte di ceneri leggere.								
III	BETONPOL 1000 malta per isolamento termico								
IV	BETONPOL 600 malta per isolamento termico								
Calcestruzzi & Malte		I		II		III		IV	
		[kg/m ³]	[%]	[kg/m ³]	[%]	[kg/m ³]	[%]	[kg/m ³]	[%]
MATERIE PRIME NATURALI	Acqua Emunta	192,15	11,02	161,83	6,94	190,68	16,60	170,89	26,52
	Calcare (Pietrisco)	0,00	0,00	773,50	33,17	0,00	0,00	0,00	0,00
	Sabbia frantumata	751,38	43,11	1.073,49	46,04	598,39	52,08	129,97	20,17
PRODOTTI	Cemento CEM II ALL 42.5	396,08	22,72	224,03	9,61	350,98	30,55	334,05	51,83
	Cemento CEM IV AP 42.5	0,00	0,00	96,01	4,12	0,00	0,00	0,00	0,00
	Additivi, Argilla Espansa	403,42	23,15	3,01	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
RIFIUTI RECUPERATI	Polistirolo Riciclato, Acqua di Riciclo	0,00	0,00	0,00	0,00	8,93	0,78	9,56	1,48
TOTALI:		1.743,03	100	2.331,87	100	1.148,98	100	644,47	100

Tabella 3 – Composizione di 1 m³ di calcestruzzi e malte.

Per le assunzioni fatte per il calcolo del CFP fare riferimento a quanto riportato nel paragrafo 4.3.

Il CFP ascrivibile alla produzione dei 1.732.675 kg totali di calcestruzzi e malte necessari per la costruzione del *Reference Building*, come dettagliato all'interno della tabella 8 (quantitativi dei materiali costituenti il *Reference Building*).

L'impatto ambientale per unità funzionale (declared unit) per il CFP è stato elaborato secondo le indicazioni e i fattori di caratterizzazione dettati dalla UNI EN 15804:2014.



Emissioni di gas ad effetto serra/ *Global Warming* [kg CO₂ eq al netto del contributo da biomassa]

Produzione di Calcestruzzi e Malte del <i>Reference Building</i> (A1-A3)	Gas serra [kg CO ₂ eq]
Emissioni riferite alla produzione di 1.000 kg di calcestruzzo e malta	
CALCETRUZZO E MALTE MEDIO EDIFICIO	163,18
CALCESTRUZZI STRUTTURALI ALLEGGERITO con aggiunta di ARGILLA ESPANSA (TECNOARG).	282
CALCESTRUZZI STRUTTURALI con classe di resistenza RCK da 30 a 45, senza aggiunte di ceneri leggere.	123
BETONPOL 1000 malta per isolamento termico	221
BETONPOL 600 malta per isolamento termico	384
Emissioni riferite a 1.000 kg di cemento medio	
CEMENTO MEDIO EDIFICIO	790.80
QUOTAPARTE ALLOCATA A CEM II A-LL 42.5 R (83%)	656,36
QUOTAPARTE ALLOCATA A CEM IV A (P) 42.5 R (17%)	134,44

Tabella 4 – CFP per produzione di calcestruzzi e malte.

FASE	DESCRIZIONE	ACCUMULATO EDIFICIO	FASE EDIFICIO Kg CO ₂	FASE 1 ton di CAL-MALTA Kg CO ₂ /t Cal-Malta	ACCUMULATO 1 ton di CAL-MALTA Kg CO ₂ /t Cal-Malta	FASE 1 ton CEM. MEDIO Kg CO ₂ / t cemento	ACCUMULATO 1 ton CEM. MEDIO Kg CO ₂ / t cemento	Coeff. Allocazione	Criterio di allocazione
A1-A3	Produzione cemento medio		238.166,67			786,30	786,30		
A1-A3	Produzione calcestruzzo e malte	282.733,08	282.733,08	163,18	163,18	4,50	790,80	17,481%	Rapporto massico peso cemento / peso Cal-Malta

Il contributo da biomassa delle emissioni di gas serra è pari a 0 kg di CO₂ eq.

Negli schemi di seguito riportati, ricavati dal software SimaPro utilizzato per il calcolo, si evidenziano i contributi correlati alle singole voci più rappresentative per i vari calcestruzzi prodotti.

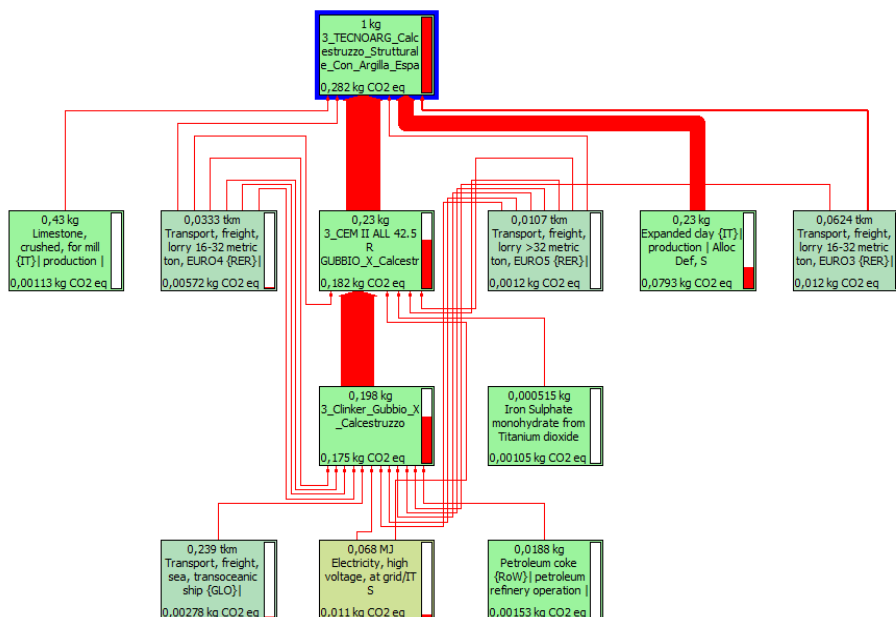


Figura 3 – CFP relativo alla produzione di 1 kg di Tecnoarg.

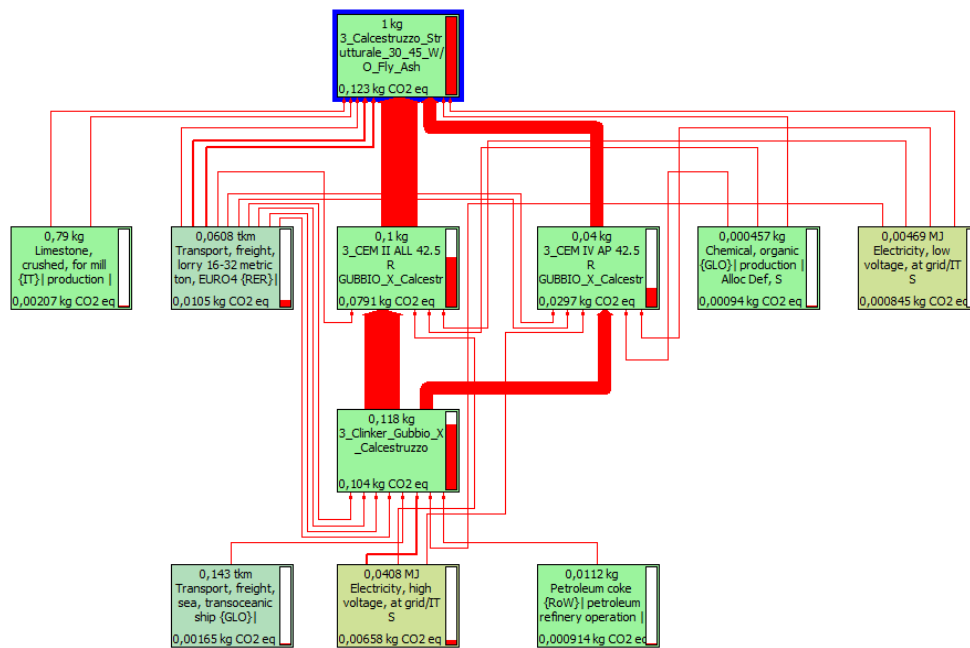


Figura 4 – CFP relativo alla produzione di 1 kg di Calcestruzzo Strutturale RCK 30-45.

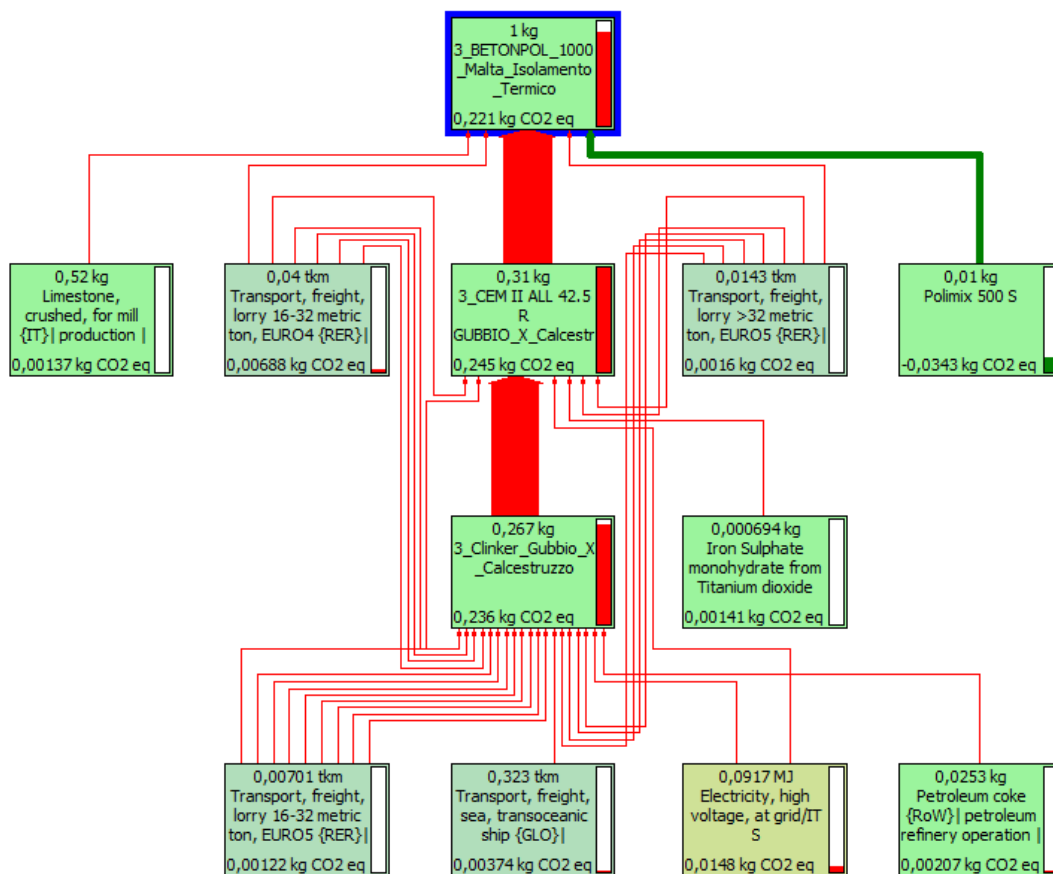


Figura 5 – CFP relativo alla produzione di 1 kg di Betonpol 1000.

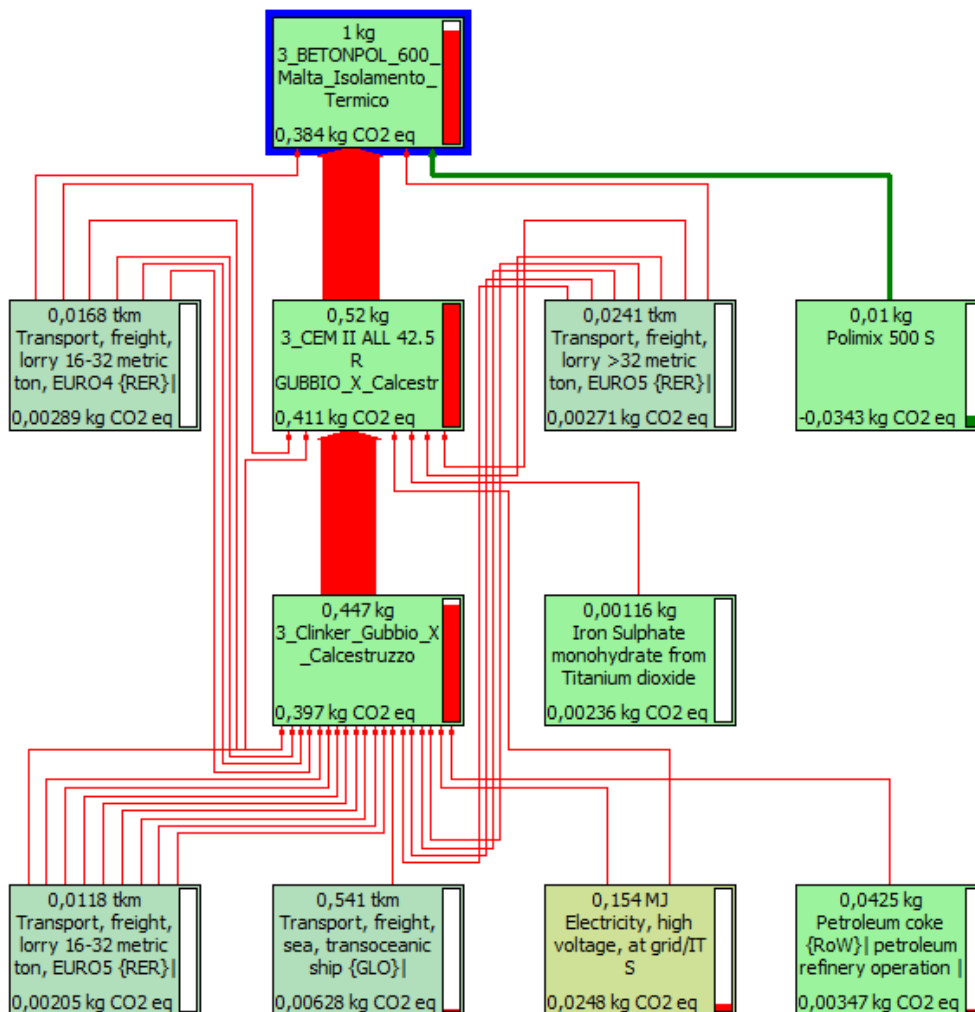


Figura 6 – CFP relativo alla produzione di 1 kg di Betonpol 600.

4.1.2 A4-A5: CONTRIBUTO CFP CORRELATO CON TRASPORTO E COSTRUZIONE EDIFICIO

Il CFP per il trasporto e l'installazione dei materiali a base cementizia utilizzati nella costruzione del *Reference Building* sono quelli di seguito specificati.

Per il calcolo dei materiali necessari si è considerato il modello della struttura portante, della stratigrafia dell'involucro, dei solai e delle pareti interne descritte di seguito.

Per i conglomerati cementizi si sono considerati il trasporto dalla centrale di betonaggio fino al cantiere (30 km), il pompaggio, la compattazione, i consumi d'acqua e di materiali necessari per l'installazione tramite pompaggio. Si sono considerati anche i quantitativi che vengono scartati dovuti alle perdite per il pompaggio dei materiali in sito, includendo i contributi legati ai trasporti e al pompaggio di questi materiali.



Elemento tipologico	Stratigrafia (da esterno verso interno)	Spessore [cm]	Conducibilità termica λ [W/m K]	Trasmittanza U [W/m ² K]
Solaio di copertura	Guaina di finitura	1,5	1,15	0,15
	Massetto in Betonpol 1000	5	0,41	
	Isolante EPS	22	0,036	
	Soletta in latero/cemento con getto di completamento in Tecnoarg	24	0,70	
	Intonaco calce-pozzolana	1,5	0,9	
Solaio controterra	Ghiaia	15	1,3	1,58
	Magrone	5	1,13	
	Impermeabilizzazione	1,5	1,15	
	Solaio in c.a. Rck30/45	25	1,9	
	Massetto in Betonpol 1000	5	0,41	
Solaio tra piano interrato e piano terra	Pavimentazione in malta resinosa	0,25	0,5	0,16
	Intonaco calce-pozzolana	1,5	0,9	
	Isolante EPS	20	0,036	
	Soletta in latero/cemento con getto di completamento in Tecnoarg	24	0,70	
	Massetto in Betonpol 600	5	0,2	
Solaio interpiano	Pavimentazione in resina epossidica	0,4	0,2	1,07
	Intonaco calce-pozzolana	1,5	0,9	
	Soletta in latero/cemento con getto di completamento in Tecnoarg	24	0,70	
	Massetto in Betonpol 600(con interposta guaina fonoassorbente)	5,5	0,2	
	Pavimentazione in resina epossidica	0,4	0,2	
Chiusure esterne opache verticali del piano seminterrato	Parete in c.a. Rck30/45	45	1,13	2,8
	Intonaco	1,5	0,9	
Chiusure esterne opache verticali	Intonaco calce-pozzolana	1,5	0,9	0,14
	Isolante EPS	20	0,036	
	Blocco in laterizio alveolare	25	0,187	
	Intonaco calce-pozzolana	1,5	1,5	
Partizioni interne	Pannello di cartongesso	2,5	0,25	0,84
	Intercapedine d'aria	5	---	
	Isolante EPS	2	0,036	
	Pannello di cartongesso	2,5	0,25	

Tabella 5 – Stratigrafie dei diversi componenti l'involucro.



Le chiusure trasparenti sono costituite da un pacchetto vetrato doppio basso emissivo con interposto argon (4-16-4), la cui trasmittanza termica è pari a 1 W/m²K, mentre il coefficiente di trasmissione solare globale g è pari a 0,42. Il telaio è in alluminio. Le finestre sono dotate di sistemi di schermatura, costituiti da veneziane installate in ambiente interno; tali dispositivi entrano in funzione quando l'irradianza solare incidente sulla superficie trasparente supera i 300 W/m².

Nello schema di seguito riportato, ricavato dal software SimaPro utilizzato per il calcolo si evidenziano i contributi correlati alle singole voci più rappresentative (cut off 1%).

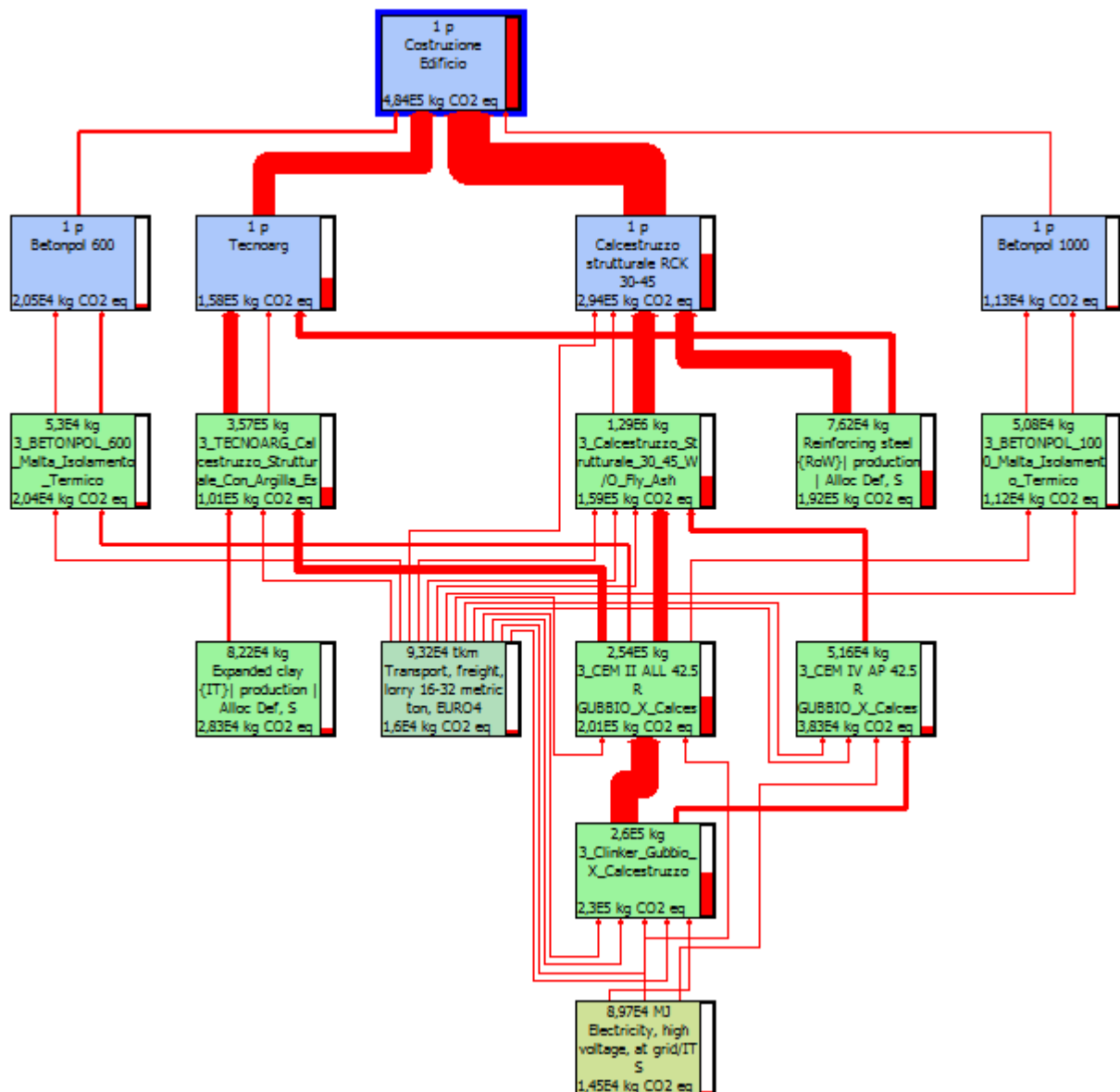


Figura 9 – CFP relativo alla costruzione del *Reference Building* per la quota parte dei conglomerati a base cementizia, includendo anche quelli dovuti alla struttura dell'armatura.

Si riporta il CFP ascrivibile al trasporto dei materiali da costruzione e alla costruzione del *Reference Building* (1.732.675 kg di calcestruzzi e malte e 76.217 kg di armature).

Emissioni di gas ad effetto serra/*Global Warming* [kg CO₂ eq al netto del contributo da biomassa]

Trasporto Materiali da Costruzione e Costruzione Reference Building (A4-A5) Emissioni riferite a 1.000 kg di cemento medio	Gas serra [kg CO ₂ eq]
CALCETRUZZO E MALTE MEDIO EDIFICIO	274,44
CEMENTO MEDIO EDIFICIO	809,43
QUOTAPARTE ALLOCATA A CEM II A-LL 42.5 R (83%)	671,83
QUOTAPARTE ALLOCATA A CEM IV A (P) 42.5 R (17%)	137,60

Tabella 6 – CFP per trasporto dei materiali da costruzione e per costruzione del *Reference Building*.

FASE	DESCRIZIONE	ACCUMULATO EDIFICIO	FASE EDIFICIO Kg CO ₂	FASE		ACCUMULATO		Coeff. Allocazione	Criterio di allocazione
				1 ton di CAL-MALTA Kg CO ₂ /t Cal-Malta	1 ton di CAL-MALTA Kg CO ₂ /t Cal-Malta	1 ton CEM. MEDIO Kg CO ₂ / t cemento	1 ton CEM. MEDIO Kg CO ₂ / t cemento		
A1-A3	Produzione cemento medio		238.166,67			786,30	786,30		
A1-A3	Produzione calcestruzzo e malte	282.733,08	282.733,08	163,18	163,18	4,50	790,80	17,481%	Rapporto massico peso cemento / peso Cal-Malta
A4-A5	Costruzione reference building	484.000,00	201.266,92	111,27	274,44	18,63	809,43	16,745%	Rapporto massico peso cemento / peso Cal Armato-Malta

4.1.3 B1-B7: CONTRIBUTO CFP CORRELATO ALL'UTILIZZO DEL REFERENCE BUILDING

Per il calcolo del CFP correlato all'utilizzo del reference building è stato sviluppato un apposito calcolo dal Politecnico di Torino per valutare i consumi energetici del ciclo di vita dell'edificio.

Il modello termo-energetico

Il *Reference Building* (RB) oggetto di tale studio è un cosiddetto *theoretical Reference Building*, ovvero un edificio fittizio creato sulla base di dati statistici disaggregati relativi alle principali caratteristiche costruttive riuniti insieme per creare un tipico edificio per uffici italiano. Tali dati sono stati tratti dal Report RSE 2009/164 "Caratterizzazione del parco edilizio nazionale – Determinazione dell'edificio tipo per uso ufficio", redatto dall'Enea a seguito di un'indagine effettuata dal Cresme per la determinazione degli edifici tipo ad uso uffici rappresentativi dell'intero parco immobiliare italiano. Nello specifico i dati utilizzati tratti dal suddetto report sono relativi alle caratteristiche geometriche e distributive dell'edificio. Le caratteristiche termofisiche dell'involucro sono state fissate coerentemente con quelle di un *high performing building*. L'edificio è stato simulato a Perugia, in zona climatica E. Le tipiche condizioni climatiche sono state tratte dall'IGDG *Weather for Energy Calculation Database of Climatic Data* del DOE. Come mostrato in Figura 1, il RB presenta cinque piani fuori terra con una superficie lorda complessiva di 2.759,7 m² ed è caratterizzato dalla presenza di un piano interrato non climatizzato di 459,9 m²; la superficie netta climatizzata è pari a 2.299,8 m². La superficie lorda del piano tipo è di 459,9 m², mentre l'altezza lorda interpiano è pari a 3,5 m. L'edificio ha pianta rettangolare, con i lati maggiori orientati a Nord e a Sud. Non sono presenti ostacoli esterni che ombreggino l'edificio.

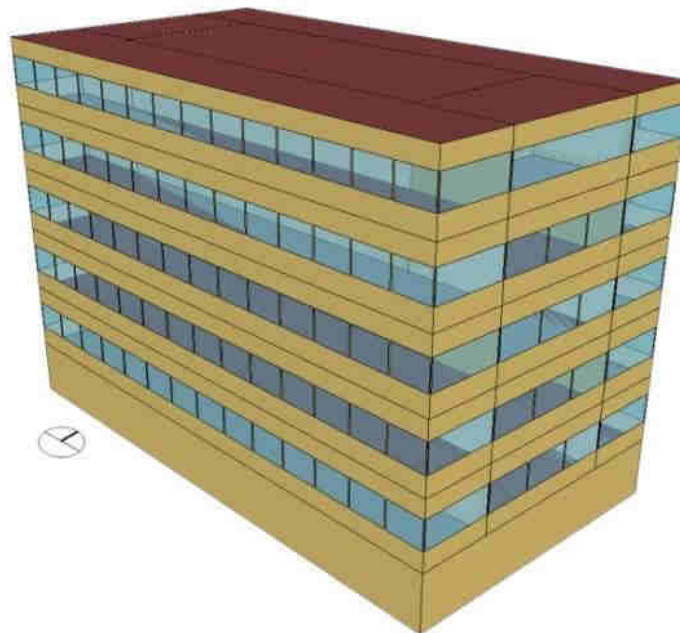


Figura 10 - rappresentazione schematica dell'edificio oggetto di studio (il piano inferiore privo di finestre risulta essere interrato)

Il volume lordo riscaldato dell'intero blocco è di 8.048,2 m³, mentre la superficie disperdente complessiva (relativa al volume riscaldato, escluso il piano interrato) è pari a 2.499 m²; il rapporto di forma S/V è pertanto di 0,31 m⁻¹. Per ogni esposizione il rapporto tra superficie trasparente e superficie opaca è del 45%. In Tabella 1 vengono riportate le caratteristiche geometriche per ciascuna esposizione e quelle totali.

	Totale	Nord	Sud	Est	Ovest
Superficie lorda interrata [m²]	270,8	88,7	88,7	46,7	46,7
Superficie lorda fuoriterra [m²]	1.579,2	517,3	517,3	272,3	272,3
Superficie lorda trasparente [m²]	710,2	232,6	232,6	122,5	122,5

Tabella 7 - caratteristiche geometriche dell'edificio complessive e suddivise per esposizione

L'edificio presenta un scheletro strutturale in calcestruzzo armato costituito da travi e pilastri. La distribuzione interna è caratterizzata da uffici perimetrali e da un'area centrale che racchiude le zone di distribuzione e di servizi igienici di pertinenza. La Figura 2 riporta la suddivisione in zone termiche del piano tipo. Per sviluppare un'analisi termica con un elevato grado di dettaglio, ogni piano dell'edificio è stato suddiviso in cinque zone termiche: una grande zona centrale di



distribuzione/servizi e quattro zone perimetrali ad uso ufficio. Il modello dell'intero edificio si compone, pertanto, di 25 zone termiche alle quali si somma la zona non climatizzata del piano interrato.

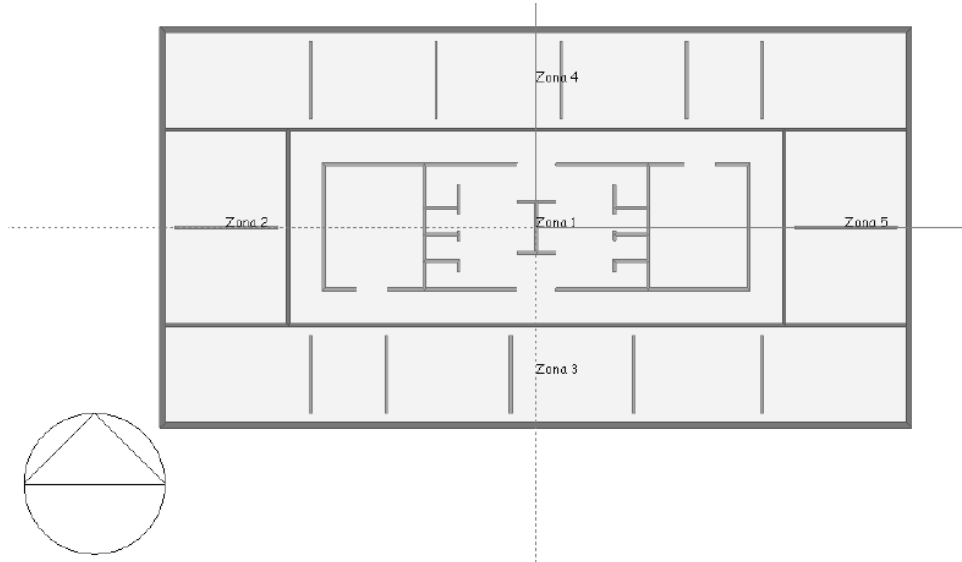


Figura 11 - Suddivisione in zone termiche del piano tipo

Si riportano di seguito i consumi energetici annuali stimati per la gestione del *Reference Building* a cui sono stati aggiunti i consumi elettrici degli ascensori, 5% del totale per ascensore, pari a 7.268x2 kWh anno e sono stati detratti, per valutare le emissioni di CO₂eq, i 49.698 kWh_{el} prodotti dall'impianto fotovoltaico all'anno. Tale produzione permette di coprire il 68% del consumo totale di energia elettrica dell'edificio.

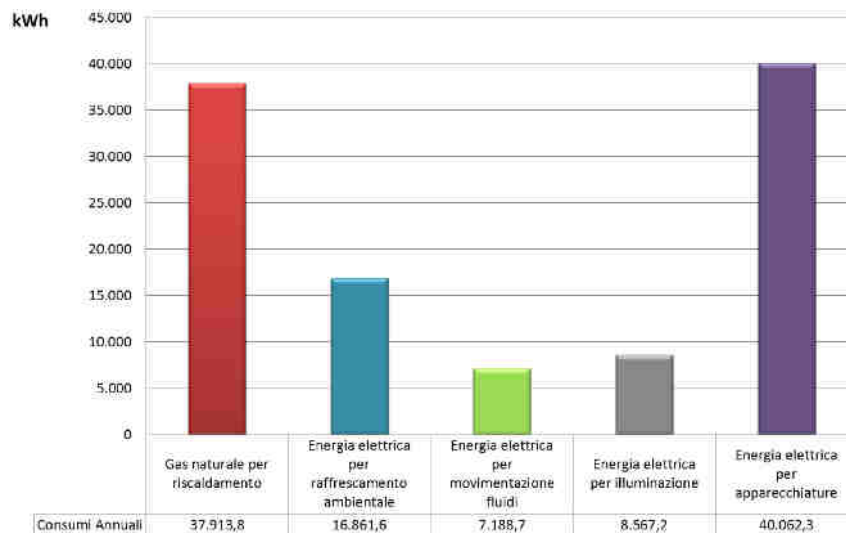


Figura 12 - consumi energetici annuali suddivisi per fonte energetica e per usi finali del *Reference Building*.

Una quota parte dei consumi energetici sono stati allocati ai conglomerati cementizi, comprendendo le armature di acciaio, in funzione del peso massico di questi materiali sul totale dei materiali principali



Cementerie Aldo Barbetti S.p.A.

CARBON FOOTPRINT CEMENTO

Pag. 32 di 44

Rev. 1

utilizzati per la costruzione del *Reference Building*. I dati sono stati poi elaborati con SimaPro. Si riporta di seguito tabella relativa ai contributi dei principali materiali costituenti il *Reference Building*.

	QUANTITA'			% su TOTALE	QUANTITATIVI CEMENTI			
	m ³	kg	t		CEMII ALL42.5R kg/m ³ calcestruzzo	CEMII ALL42.5R t cemento	CEMIV AP42.5R kg/m ³ calcestruzzo	CEMIV AP42.5R t cemento
MATERIALI								
GUAINA		13.799	13,80	0,53%				
GUAINA FONO ASSORBENTE		6	0,01	0,00%				
IMPERMEABILIZZAZIONE		13.799	13,80	0,53%				
PAVIMENTI IN MALTA RESINOSA		16.298	16,30	0,63%				
ISOLANTE EPS		6.973	6,97	0,27%				
LATERIZI		320.071	320,07	12,29%				
INTONACO CALCE POZZOLANA		128.572	128,57	4,94%				
PANNELLO CARTONGESSO		86.711	86,71	3,33%				
PANNELLO RADIANTE A PAVIMENTO		11.955	11,95	0,46%				
VETRO		14.204	14,20	0,55%				
ALLUMINIO INFISSI		5.909	5,91	0,23%				
MARMO		13.132	13,13	0,50%				
GHIAIA		110.389	110,39	4,24%				
MAGRONE		52.895	52,89	2,03%				
ARMATURA TONDINI FERRO per RCK 30-45		53.384	53,38	2,05%				
CALCESTRUZZO RCK 30-45	527,81	1.276.217	1.276,22	49,02%	224,03	118,24	96,01	50,67
ARMATURA TONDINI FERRO per TECNOARG		22.833	22,83	0,88%				
TECNOARG	202,90	353.661	353,66	13,58%	396,08	80,36		
BETONPOL 1000	46,00	50.290	50,29	1,93%	350,98	16,14		
BETONPOL 600	112,16	52.507	52,51	2,02%	334,05	37,47		
TOTALE:	888,86	2.603.602	2.603,60	100%	83%	252,22	17%	50,67

Tabella 8 – quantitativi dei materiali costituenti il *Reference Building*.

E' stato inoltre considerato il contributo alle emissioni di CO₂eq dovuto alla sostituzione dell'impianto fotovoltaico dopo 25 anni di funzionamento.

Si riporta il CFP ascrivibile all'utilizzo del *Reference Building* per un periodo di 50 anni.

Emissioni di gas ad effetto serra/ *Global Warming* [kg CO₂ eq al netto del contributo da biomassa]

Utilizzo del Reference Building 50 anni (B1-B7) Emissioni riferite a 1.000 kg di cemento medio	Gas serra [kg CO ₂ eq]
CALCESTRUZZO E MALTE MEDIO EDIFICIO	856,57
CEMENTO MEDIO EDIFICIO	906,90
QUOTAPARTE ALLOCATA A CEM II A-LL 42.5 R (83%)	752,73
QUOTAPARTE ALLOCATA A CEM IV A (P) 42.5 R (17%)	154,17

Tabella 9 – CFP per utilizzo del *Reference Building* per un periodo di 50 anni.

FASE	DESCRIZIONE	ACCUMULATO EDIFICIO	FASE EDIFICIO Kg CO ₂	FASE		ACCUMULATO		Coeff. Allocations	Criterio di allocazione
				1 ton di CAL-MALTA Kg CO ₂ /t Cal-Malta	1 ton di CAL-MALTA Kg CO ₂ /t Cal-Malta	1 ton CEM. MEDIO Kg CO ₂ / t cemento	1 ton CEM. MEDIO Kg CO ₂ / t cemento		
A1-A3	Produzione cemento medio		238.166,67			786,30	786,30		
A1-A3	Produzione calcestruzzo e malte	282.733,08	282.733,08	163,18	163,18	4,50	790,80	17,481%	Rapporto massico peso cemento / peso Cal-Malta
A4-A5	Costruzione reference building	484.000,00	201.266,92	111,27	274,44	18,63	809,43	16,745%	Rapporto massico peso cemento / peso Cal Armato-Malta
B1-B7	Utilizzo reference building per 50 anni	1.537.000,00	1.053.000,00	582,12	856,57	97,48	906,90	16,745%	Rapporto massico peso cemento / peso Cal Armato-Malta

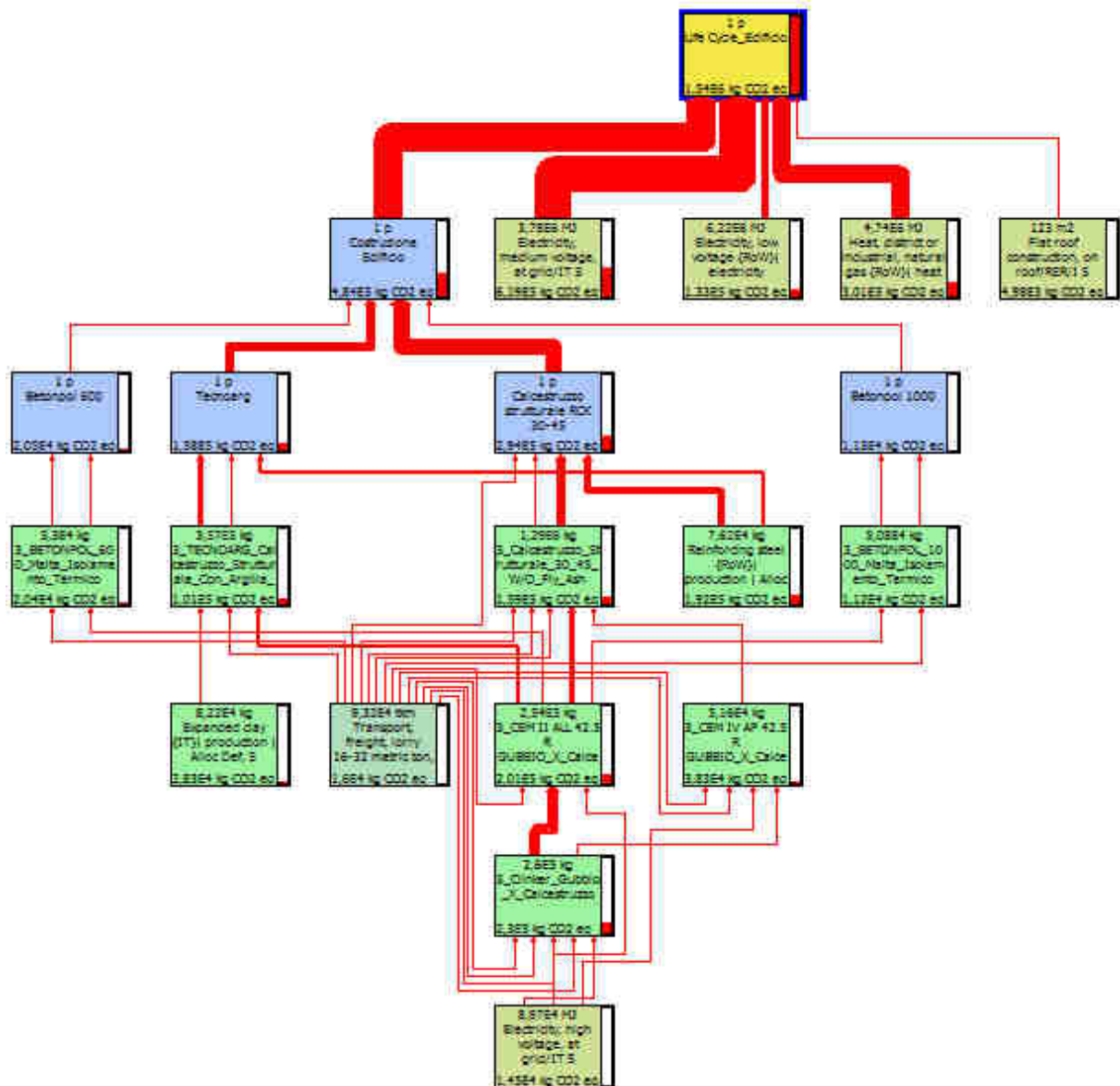


Figura 13 – emissioni di CO₂eq nel ciclo di vita di 50 anni del *Reference Building* non considerando la demolizione, il riciclo e lo smaltimento dei conglomerati cementizi e il recupero delle armature.



4.1.4 C1-C4: CONTRIBUTO CFP CORRELATO ALLA DEMOLIZIONE E RICICLAGGIO

Per il calcolo del CFP correlato alla demolizione e riciclaggio dei conglomerati cementizi è stato costruito un modello all'interno di SimaPro basato sulle seguenti ipotesi:

- tutti i conglomerati cementizi (con armatura o meno) sono trasportati ad un impianto di trattamento per la separazione dei materiali;
- con la lavorazione si recuperano il 90% dei conglomerati cementizi e il 100% dell'acciaio dell'armatura che sono avviati verso attività di riciclaggio;
- il 10% dei conglomerati cementizi viene avviato a discarica.

Non si è ipotizzato al momento uno scenario specifico sulle modalità con cui il materiale recuperato potrebbe essere riciclato. Si evidenzia che attualmente l'utilizzo di aggregati provenienti da processi di riciclo devono essere conformi alla norma Europea armonizzata UNI EN 12620 e per quelli leggeri alla UNI EN 13055-1. E' consentito l'uso di aggregati grossi provenienti da riciclo secondo i limiti riportati nella seguente tabella:

Origine del materiale da riciclo	Classe del calcestruzzo	Percentuale di impiego
Demolizioni di edifici macerie	=C8/10	Fino al 100%
Demolizione di solo calcestruzzo e c.a.	≤C30/37	≤30%
	≤C20/25	Fino al 60%
Riutilizzo di calcestruzzo interno negli stabilimenti di prefabbricazione qualsiasi da qualsiasi classe da calcestruzzi >C45/55	≤C45/55	Fino al 15%
	Stessa classe del calcestruzzo di origine	Fino al 5%

Tabella 10 – limiti per il riutilizzo di aggregati riciclati.

Il calcestruzzo riciclato può anche essere utilizzato come aggregato per la realizzazione dei fondi stradali o come materia prima per la produzione di cemento.

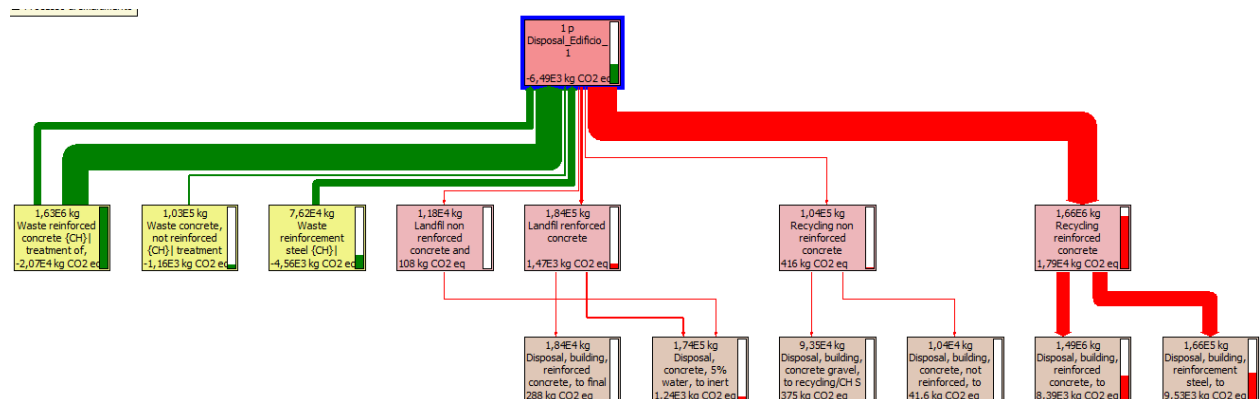


Figura 14 – emissioni di CO₂eq dovute alla demolizione e al riciclaggio dei conglomerati cementizi.

Si riporta il CFP ascrivibile alla demolizione e la riciclaggio dei calcestruzzi armati e non e delle malte.

Emissioni di gas ad effetto serra/*Global Warming* [kg CO₂ eq al netto del contributo da biomassa]

Demolizione e Riciclaggio dei conglomerati cementizi armati e non (C1-C4) Emissioni riferite a 1.000 kg di cemento medio	Gas serra [kg CO ₂ eq]
CALCETRUZZO E MALTE MEDIO EDIFICIO	-3,59
CEMENTO MEDIO EDIFICIO	-0,60
QUOTAPARTE ALLOCATA A CEM II A-LL 42.5 R (83%)	-0,50
QUOTAPARTE ALLOCATA A CEM IV A (P) 42.5 R (17%)	-0,10

Tabella 11 – CFP per demolizione e riciclaggio dei conglomerati cementizi armati e non.

4.1.5 CONTRIBUTO CFP CORRELATO A CARBONATAZIONE DEL CALCESTRUZZO

Il possibile quantitativo di CO₂eq recuperabile grazie alla carbonatazione del calcestruzzo non è stato valutato in quanto le modalità di calcolo, attualmente alla valutazione dei TC104 e del TC229 per definire l’emanazione di specifiche linee guida di calcolo, non sono state ancora approvate e rilasciate.

4.1.6 VALUTAZIONE CFP CEMENTI CICLO DI VITA CRADLE TO GRAVE

Si riporta il CFP ascrivibile alla demolizione e la riciclaggio dei calcestruzzi armati e non e delle malte.

Emissioni di gas ad effetto serra/*Global Warming* [kg CO₂ eq al netto del contributo da biomassa]

Carbon Footprint Cradle to Grave 50 anni (A1-C4) Emissioni riferite a 1.000 kg di cemento medio	Gas serra [kg CO ₂ eq]
CALCETRUZZO E MALTE MEDIO EDIFICIO	852,98
CEMENTO MEDIO EDIFICIO	906,30
QUOTAPARTE ALLOCATA A CEM II A-LL 42.5 R (83%)	752,23
QUOTAPARTE ALLOCATA A CEM IV A (P) 42.5 R (17%)	154,07

Tabella 12 – CFP cradle to grave dei cementi utilizzati nella costruzione del *Reference Building* per un ciclo di vita di 50 anni includendo la demolizione e il trattamento dei rifiuti finali.

FASE	DESCRIZIONE	ACCUMULATO EDIFICIO	FASE		ACCUMULATO		FASE		ACCUMULATO		Coeff. Allocazione	Criterio di allocazione
			FASE EDIFICIO Kg CO ₂	1 ton di CAL-MALTA Kg CO ₂ /t Cal-Malta	1 ton di CAL-MALTA Kg CO ₂ /t Cal-Malta	1 ton CEM. MEDIO Kg CO ₂ / t cemento	1 ton CEM. MEDIO Kg CO ₂ / t cemento					
A1-A3	Produzione cemento medio		238.166,67				786,30		786,30			
A1-A3	Produzione calcestruzzo e malte	282.733,08	282.733,08	163,18	163,18	4,50	790,80	17,481%	Rapporto massico peso cemento / peso Cal-Malta			
A4-A5	Costruzione reference building	484.000,00	201.266,92	111,27	274,44	18,63	809,43	16,745%	Rapporto massico peso cemento / peso Cal Armato-Malta			
B1-B7	Utilizzo reference building per 50 anni	1.537.000,00	1.053.000,00	582,12	856,57	97,48	906,90	16,745%	Rapporto massico peso cemento / peso Cal Armato-Malta			
C1-C4	Demolizione e riciclaggio materiali	1.530.510,00	-6.490,00	-3,59	852,98	-0,60	906,30	16,745%	Rapporto massico peso cemento / peso Cal Armato-Malta			

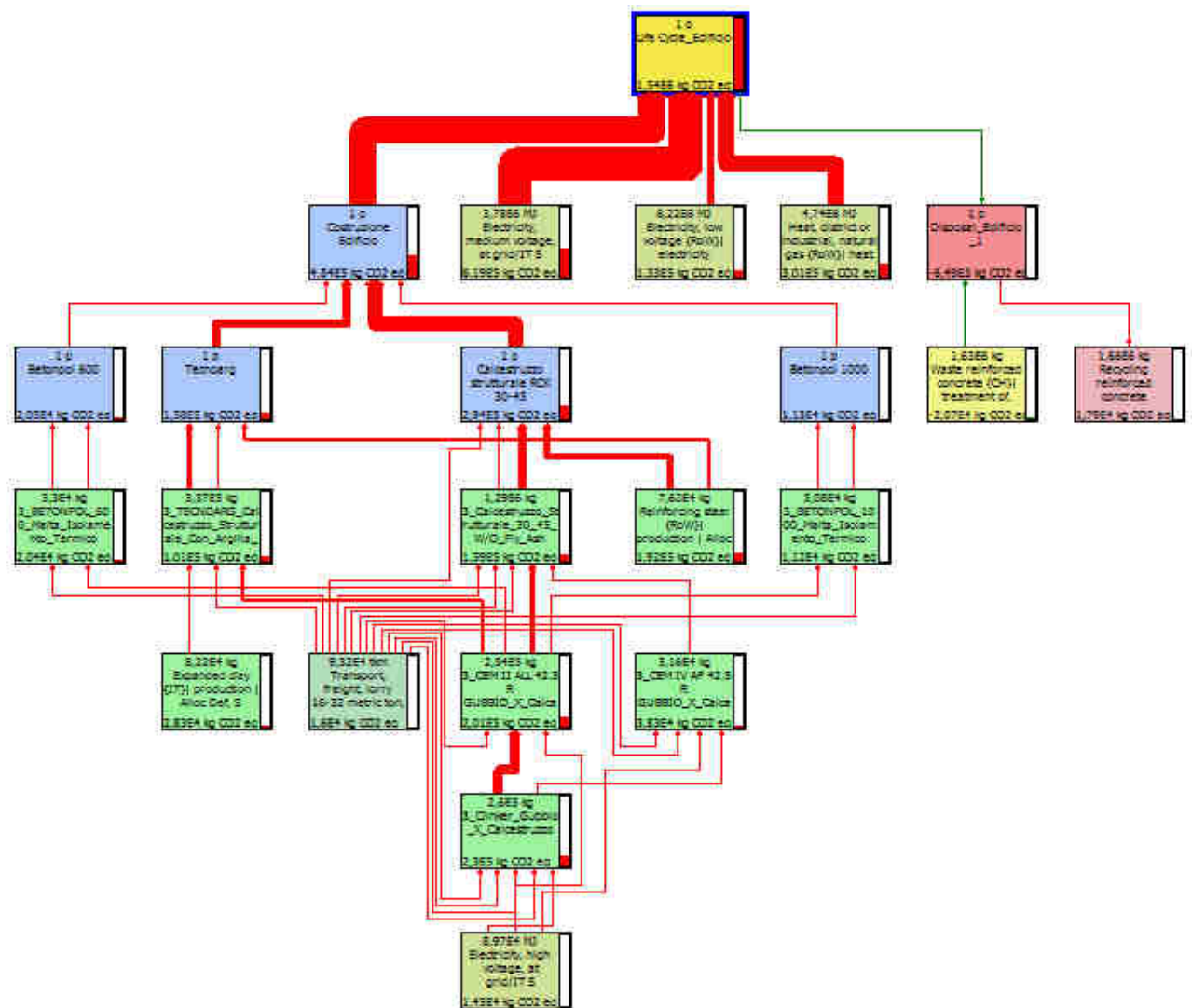


Figura 15 – emissioni di CO₂eq nel ciclo di vita di 50 anni del *Reference Building* cradle to grave.



4.2 ASSUNZIONI E LIMITAZIONI ASSOCIATE ALL'INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI, RELATIVE ALLA METODOLOGIA E AI DATI

Funzione del sistema che si è studiato è la produzione di cemento nell'impianto a ciclo continuo di Gubbio (PG), utilizzando questi cementi per produrre i conglomerati a base cementizia utilizzati nella costruzione del reference building nell'impianto di betonaggio di Colombella (PG).

L'unità funzionale è rappresentata da **1.000 kg (1 tonnellata) di cemento** prodotto nell'anno di riferimento 2012.

Lo studio LCA effettuato è definito come studio "cradle to grave".

I dati e le informazioni utilizzate per la valutazione delle emissioni di CO₂eq si riferiscono all'**anno 2012**.

Relativamente alla tipologia di dati impiegati per il presente studio si evidenzia quanto di seguito riportato per quanto riguarda la produzione di cementi, calcestruzzi e malte.

- ④ I dati relativi alla **composizione di clinker, cemento, calcestruzzi e malte** sono quelli relativi ai **consumi energetici** che derivano da dati forniti dall'azienda.
- ④ I dati relativi alle **materie prime di sostituzione non classificate come rifiuti e i rifiuti**, sono stati valutati a partire dai dati forniti dai vari fornitori. La scelta operata è stata quella di valutare prima l'esistenza di dati dei processi di produzione nella banca dati Ecoinvent, integrandola dove richiesto con dati forniti dai produttori contattati o reperiti su Internet. Per i rifiuti si è tenuto conto solo degli impatti delle eventuali lavorazioni necessarie per renderli utilizzabili in stabilimento come i consumi specifici per elettricità e calore, oltre che gli impatti relativi al loro trasporto. Questi dati sono stati riferiti al volume di produzione specifico dell'impianto, dato fornito dall'azienda produttrice per l'anno 2012. Per quanto riguarda la selezione delle voci disponibili in Ecoinvent 3.01 da inserire nei modelli, si è optato di eseguire la scelta nel seguente modo:
 - selezione in market per quanto riguarda l'uso di energia elettrica, da gas, da gasolio e per l'utilizzo di combustibili
 - selezione in trasformazione per i materiali, i processi e i trasporti.
- ④ I dati relativi al **trasporto su strada delle materie prime in cementeria e nell'impianto di betonaggio** derivano da valutazioni effettuate a partire dalla distanza media dall'impianto e dalle quantità conferite agli impianti nell'anno di riferimento.
- ④ I dati relativi alla **produzione di rifiuti** derivano da dati forniti dall'azienda. Si sono considerati rifiuti solo gli scarti dei materiali utilizzati per la produzione come pallet, sacchi, film in polietilene e i refrattari come definito all'interno della PCR per i cementi mentre per i calcestruzzi



ai rifiuti prodotti dall'impianto. Questi dati sono stati riferiti alle produzioni di cemento e calcestruzzi.

- ④ Le **emissioni atmosferiche** (emissioni di **polveri** incluse) sono state riferite alla produzione di clinker, dei cementi e dei calcestruzzi.
- ④ Non sono stati valutati gli impatti inerenti alle **fasi di manutenzione** e all'utilizzo dei **materiali per la manutenzione** perché trascurabili come da valutazione effettuata negli specifici studi LCA effettuati per l'ottenimento delle certificazioni EPD.

Per quanto riguarda le fasi di costruzione, gestione, demolizione del reference building si rimanda a quanto già specificato all'interno dei singoli paragrafi.

4.3 ASSUNZIONI ADOTTATE PER CALCOLO DEL CARBON FOOTPRINT

Si riportano di seguito le assunzioni adottate per il calcolo della CFP utilizzate nel software SimaPro.

Il CFP per unità funzionale (declared unit) è stato elaborato secondo le indicazioni e i fattori di caratterizzazione dettati dalla UNI EN 15804:2014:

④ GLOBAL WARMING GWP100 (UNI EN 15804:2014) [kg CO₂ eq]

Compartimento	Sottocompartimento	Sostanza	Numero CAS	Fattore	Unità di misura
Aria		1-Propanol, 3,3,3-trifluoro-2,2-bis(trifluoromethyl)-, HFE-7100	014117-17-0	300	kg CO2 eq / kg
Aria		Butane, perfluoro-	000355-25-9	8900	kg CO2 eq / kg
Aria		Butane, perfluorocyclo-, PFC-318	000115-25-3	10000	kg CO2 eq / kg
Aria		Carbon dioxide	000124-38-9	1	kg CO2 eq / kg
Aria		Carbon dioxide, biogenic	000124-38-9	1	kg CO2 eq / kg
Aria		Carbon dioxide, fossil	000124-38-9	1	kg CO2 eq / kg
Aria		Carbon dioxide, land transformation	000124-38-9	1	kg CO2 eq / kg
Aria		Cis-perfluorodecalin	060433-11-6	7500	kg CO2 eq / kg
Aria		Dinitrogen monoxide	010024-97-2	300	kg CO2 eq / kg
Aria		Ethane, 1-chloro-1,1-difluoro-, HCFC-142b	000075-68-3	2300	kg CO2 eq / kg
Aria		Ethane, 1-chloro-2,2,2-trifluoro-(difluoromethoxy)-, HCFC-235da2	026675-46-7	350	kg CO2 eq / kg
Aria		Ethane, 1,1-dichloro-1-fluoro-, HCFC-141b	001717-00-6	730	kg CO2 eq / kg
Aria		Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	000075-37-6	120	kg CO2 eq / kg
Aria		Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	000071-55-6	150	kg CO2 eq / kg
Aria		Ethane, 1,1,1-trifluoro-, HFC-143a	000420-46-2	4500	kg CO2 eq / kg
Aria		Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	000811-97-2	1400	kg CO2 eq / kg
Aria		Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	000076-13-1	6100	kg CO2 eq / kg
Aria		Ethane, 1,2-dibromotetrafluoro-, Halon 2402	000124-73-2	1600	kg CO2 eq / kg
Aria		Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	000076-14-2	10000	kg CO2 eq / kg
Aria		Ethane, 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoro-, HCFC-124	002837-89-0	610	kg CO2 eq / kg
Aria		Ethane, 2,2-dichloro-1,1,1-trifluoro-, HCFC-123	000306-83-2	77	kg CO2 eq / kg
Aria		Ethane, chloropentafluoro-, CFC-115	000076-15-3	7400	kg CO2 eq / kg
Aria		Ethane, hexafluoro-, HFC-116	000076-16-4	12000	kg CO2 eq / kg
Aria		Ethane, pentafluoro-, HFC-125	000354-33-6	3500	kg CO2 eq / kg
Aria		Ether, 1,1,1-trifluoromethyl methyl-, HFE-143a	000421-14-7	760	kg CO2 eq / kg
Aria		Ether, 1,1,2,2-Tetrafluoroethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-347mcc3	000406-78-0	580	kg CO2 eq / kg
Aria		Ether, 1,1,2,2-Tetrafluoroethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-347pcf2	000406-78-0	580	kg CO2 eq / kg
Aria		Ether, 1,1,2,2-Tetrafluoroethyl methyl-, HFE-254cb2	000425-88-7	360	kg CO2 eq / kg
Aria		Ether, 1,1,2,3,3,3-Hexafluoropropyl methyl-, HFE-356pcc3	000382-34-3	110	kg CO2 eq / kg
Aria		Ether, di(difluoromethyl), HFE-134	001691-17-4	6300	kg CO2 eq / kg
Aria		Ether, difluoromethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-245cb2	001885-48-9	710	kg CO2 eq / kg
Aria		Ether, difluoromethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-245fa2	001885-48-9	660	kg CO2 eq / kg
Aria		Ether, nonafluorobutane ethyl-, HFE569sf2 (HFE-7200)		59	kg CO2 eq / kg
Aria		Ether, pentafluoromethyl-, HFE-125	003822-68-2	15000	kg CO2 eq / kg



Compartimento	Sottocompartimento	Sostanza	Numero CAS	Fattore	Unità di misura
Aria		Hexane, perfluoro-	000355-42-0	9300	kg CO2 eq / kg
Aria		HFE-236ca12 (HG-10)		2800	kg CO2 eq / kg
Aria		HFE-338pcc13 (HG-01)		1500	kg CO2 eq / kg
Aria		HFE-43-10pccc124 (H-Galden1040x)		1900	kg CO2 eq / kg
Aria		Methane	000074-82-8	25	kg CO2 eq / kg
Aria		Methane, biogenic	000074-82-8	25	kg CO2 eq / kg
Aria		Methane, bromo-, Halon 1001	000074-83-9	5	kg CO2 eq / kg
Aria		Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	000353-59-3	1900	kg CO2 eq / kg
Aria		Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	000075-63-8	7100	kg CO2 eq / kg
Aria		Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	000075-45-6	1800	kg CO2 eq / kg
Aria		Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	000075-72-9	14000	kg CO2 eq / kg
Aria		Methane, dichloro-, HCC-30	000075-09-2	8,7	kg CO2 eq / kg
Aria		Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	000075-71-8	11000	kg CO2 eq / kg
Aria		Methane, difluoro-, HFC-32	000075-10-5	680	kg CO2 eq / kg
Aria		Methane, fossil	000074-82-8	25	kg CO2 eq / kg
Aria		Methane, monochloro-, R-40	000074-87-3	13	kg CO2 eq / kg
Aria		Methane, tetrachloro-, CFC-10	000056-23-5	1400	kg CO2 eq / kg
Aria		Methane, tetrafluoro-, CFC-14	000075-73-0	7400	kg CO2 eq / kg
Aria		Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	000075-69-4	4800	kg CO2 eq / kg
Aria		Methane, trifluoro-, HFC-23	000075-46-7	15000	kg CO2 eq / kg
Aria		Nitrogen fluoride	007783-54-2	17000	kg CO2 eq / kg
Aria		Pentane, 2,3-dihydroperfluoro-, HFC-4310mee	138495-42-8	1600	kg CO2 eq / kg
Aria		Pentane, dodecafluoro-, PFC-4-1-12	000594-91-2	9200	kg CO2 eq / kg
Aria		PPFMIE		10000	kg CO2 eq / kg
Aria		Propane, 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoro-, HFC-227ea	000431-89-0	3200	kg CO2 eq / kg
Aria		Propane, 1,1,1,3,3-pentafluoro-, HFC-245fa	000460-73-1	1000	kg CO2 eq / kg
Aria		Propane, 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-, HCFC-236fa	000690-39-1	9800	kg CO2 eq / kg
Aria		Propane, 1,3-dichloro-1,1,2,2,3-pentafluoro-, HCFC-225cb	000507-55-1	600	kg CO2 eq / kg
Aria		Propane, 3,3-dichloro-1,1,1,2,2-pentafluoro-, HCFC-225ca	000422-56-0	120	kg CO2 eq / kg
Aria		Propane, perfluoro-	000076-19-7	8800	kg CO2 eq / kg
Aria		Sulfur hexafluoride	002551-62-4	22800	kg CO2 eq / kg
Aria		Trifluoromethylsulfur pentafluoride	000373-80-8	18000	kg CO2 eq / kg

4.4 ASSUNZIONI ADOTTATE PER LO SVILUPPO DEI DATI RELATIVI ALLE MATERIE PRIME NON PRESENTI ALL'INTERNO DEL DATABASE SIMAPRO 8.0.2

Si riportano di seguito le assunzioni adottate per lo sviluppo dei dati relativi alle materie prime non presenti all'interno del database di SimaPro 8.0.2.

1. Pozzolana: creato il ciclo di produzione modificando quello del clay esistente nel database Ecoinvent assumendo che i cicli di produzione siano simili. Sono stati poi allocati sul materiale anche i contributi derivanti dai trasporti.
2. Sabbia da frantumazione di calcare: utilizzato lo stesso ciclo di produzione del limestone crushed for mil esistente nel database Ecoinvent assumendo che i cicli di produzione siano simili, modificando dove possibile i dati relativi al mercato italiano. Sono stati poi allocati sul materiale anche i contributi derivanti dai trasporti.



4.5 ASSUNZIONI ADOTTATE PER LO SVILUPPO DEI DATI RELATIVI ALLE MATERIE PRIME DI SOSTITUZIONE NON CLASSIFICATE COME RIFIUTO

Si riportano di seguito le assunzioni adottate per lo sviluppo dei dati relativi alle materie prime di sostituzione non classificate come rifiuti.

1. Iron Sulphate: può essere prodotto da differenti processi produttivi. Quello utilizzato è proveniente dalla produzione di Biossido di Titanio che produce per ogni tonnellata di Ilmenite 0,75 t di solfato ferroso eptaidrato e 0,25 t di biossido di titanio. Viene utilizzato nella forma monoidrato. Il monoidrato per essere prodotto subisce un'ulteriore lavorazione. Non avendo disponibili dati sui consumi specifici energetici ed elettrici è stato fatto un calcolo per valutare l'apporto di energia da apportare nella reazione per far evaporare l'acqua necessaria per la trasformazione da epta a monoidrato che è risultato pari a circa 300 kWh secondo i dati forniti da Holcim per lo studio realizzato da AITEC. Sono stati poi allocati sul materiale anche i contributi derivanti dai trasporti.
2. Loppa: la loppa non subisce alcuna lavorazione prima di essere utilizzata in stabilimento. Con riferimento a quanto definito nella EN15804 e accettato sia da Cembureau (Associazione Europea dei produttori di cemento) e dal Blast Furnace Committee of FEhS Steel Institute, gli unici contributi che sono stati allocati sul materiale sono quelli relativi ai trasporti e alla granulazione, se esistente, dato che:
 - a. L'allocazione deve essere basata sulle regole dettate dalla EN 15804 che stabilisce che processi che generano un contributo molto basso rispetto al fatturato complessivo (nell'ordine del 1%) possono essere trascurati;
 - b. Deve essere presa in considerazione l'allocazione economica sul processo dell'altoforno;
 - c. L'allocazione economica deve essere basata sul prezzo dell'acciaio e non della ghisa;
 - d. Il valore medio economico della loppa confrontato con l'acciaio si aggira in Italia intorno allo 0.5%.
3. Matrix: è stato sviluppato un modellino per allocare al suo interno i dati ricavati dall'EPD del prodotto forniti da Officine dell'Ambiente.
4. Soluzione ammoniacale: prodotta dal processo di lavorazione del metano come comunicato dal produttore YARA. Si è selezionato il processo esistente all'interno del database di SimaPro 8.0.2 e si è allocata una quota parte dell'impatto basandosi sul dato fornito da YARA che ha comunicato che la soluzione contiene un quantitativo di ammoniaca inferiore al 25%. Sono stati poi allocati sul materiale anche i contributi derivanti dai trasporti.
5. il POLIMIX 500 un prodotto utilizzato per il BETONPOL. Per produrre questo prodotto viene utilizzato del polistirene riciclato. E' stato ricostruito un modello basandosi sui dati forniti dal



produttore. La produzione media mensile è pari a 500 m³. Da pesate eseguite nell'impianto di betonaggio di Colombella si sa che 1 m³ pesa circa 11 kg in mucchio. Il modello è stato normalizzato all'interno di SimaPro per kg di materiale prodotto. Ogni mese mediamente si percorrono circa 1170 km per recuperare i 15.000 kg di polistirolo riciclato. Il trasporto per il recupero del materiale non è stato preso in considerazione in quanto essendo materiale di recupero il trasporto ricade nel ciclo di vita precedente. Per l'approvvigionamento dell'additivo si percorrono 60 km e in 1 anno con due viaggi si trasportano 2400 l. Il peso specifico dell'additivo (75% inorganico e 25% organico) è pari a 0,58 kg. Mensilmente si consumano anche 25 l di gasolio per la movimentazione del prodotto all'interno dello stabilimento. Il consumo elettrico medio mensile è pari a 814 kW con collegamento a bassa tensione.

4.6 ASSUNZIONI ADOTTATE PER LO SVILUPPO DEI DATI RELATIVI ALLE MATERIE PRIME DI SOSTITUZIONE CLASSIFICATE COME RIFIUTO

Si riportano di seguito le assunzioni adottate per lo sviluppo dei dati relativi alle materie prime di sostituzione classificate come rifiuti.

1. Biscotti Fluoridrici: sono considerati un rifiuto (CER 06.03.14). I fanghi forniti da HSE-SOLVAY FLUOR ITALIA S.p.A. subiscono una filtro pressatura per poter essere utilizzati in stabilimento. Dai dati forniti dall'azienda il consumo specifico per t di fango prodotta è pari a 22kWh.
2. Le ceneri pesanti prodotte da inceneritore di biomassa (Prod. Tampierei Energie S.r.l.) e da combustione di carbone (Prod. ENEL Energie S.p.A.) sono un rifiuto (CER 10.01.01) e non subiscono alcuna lavorazione per essere utilizzate nella produzione di clinker. Gli unici contributi che sono stati allocati sul materiale sono quelli relativi ai trasporti.
3. Ceneri pesanti provenienti da inceneritore di RSU: sono un rifiuto (CER 19.01.12) e per essere utilizzate nella produzione di clinker possono subire una raccolta e una lavorazione. Per quelle lavorate abbiamo ottenuto informazioni da due differenti fornitori. Dal fornitore IRIS Ambiente srl che lavora quantitativi modesti la percorrenza media per la raccolta dichiarata è di 100 km. Sono state lavorate circa 98.000 t (dato fornito 98 tkm) e per la lavorazione è stato dichiarato un consumo elettrico di 1,5 kWh/t per la vagliatura e il riscaldamento degli uffici. Il fornitore RMB di Brescia che lavora quantitativi più importanti pari a 243.954 t ha dichiarato una percorrenza media per la raccolta pari a 200 km utilizzando autotreni da 30 t, un consumo elettrico specifico per le varie lavorazioni di 20,96 kWh/t e un consumo termico specifico di 17,78 kWh/t per riscaldamento tramite gasolio da riscaldamento. Per tutti i casi sono stati poi allocati sul materiale anche i contributi derivanti dai trasporti.
4. Fanghi da depurazione delle acque di cicli produttivi:



- a. produzione di derivati organici del silicio/produzione silicio e materie prime base prodotti farmaceutici: sono un rifiuto (CER 07.07.12/06.05.03/07.01.12) che per poter essere utilizzato nella produzione di clinker necessitano di una lavorazione. Il consumo elettrico della lavorazione si è basato su quello fornito dal produttore Momentive Performance Materials Specialties, il più rappresentativo, che si aggira intorno ai 16 kWh, è dato dalla filtropressa e degli agitatori della vasca nella quale vengono accumulati i fanghi prima della filtro pressatura. Mediamente una filtrata dura 3 ore per cui si parla di 48 kWh. Ogni filtrata produce 4,5 ton di fanghi, per cui il consumo elettrico specifico è di 10,6 kWh/t. Sono stati poi allocati sul materiale anche i contributi derivanti dai trasporti.
 - b. Anodizzazione prodotti: sono un rifiuto (CER 06.05.03) che per poter essere utilizzato nella produzione di clinker necessitano di una lavorazione. Il consumo elettrico della lavorazione si è basato su quello fornito dal produttore SAPA Profili s.r.l.. Consumo elettrico specifico è di 10 kWh/t. Sono stati poi allocati sul materiale anche i contributi derivanti dai trasporti.
 - c. Trattamento e produzione tessuti: sono un rifiuto (CER 19.08.02/07.02.12) che per poter essere utilizzato nella produzione di clinker necessitano di una lavorazione. Il consumo elettrico della lavorazione si è basato su quello fornito dal produttore Alcantara S.p.A.. Consumo elettrico specifico è di 30 kWh/t. Sono stati poi allocati sul materiale anche i contributi derivanti dai trasporti.
 - d. Produzione energia elettrica: sono un rifiuto (CER 10.01.21) che per poter essere utilizzato nella produzione di clinker necessitano di una lavorazione. Il consumo elettrico della lavorazione si è basato su quello fornito dal produttore ENEL Energia S.p.A.. Consumo elettrico specifico è di 100 kWh/t. Sono stati poi allocati sul materiale anche i contributi derivanti dai trasporti.
5. Fly Ash: le ceneri leggere prodotte dalla combustione del carbone nelle centrali termoelettriche sono un rifiuto (CER 10.01.02) e non subiscono alcuna lavorazione prima di essere utilizzata in stabilimento. Con riferimento a quanto definito nella EN15804 che stabilisce che by-product prodotti da processi e che generano un contributo molto basso rispetto al fatturato complessivo del processo primario (nell'ordine del 1%) possono essere trascurati, come avviene per la realtà del mercato italiano. Gli unici contributi che sono stati allocati sul materiale sono quelli relativi ai trasporti.
 6. Refrattari: sono un rifiuto (16.11.06). I materiali demoliti quando riciclati internamente allo stabilimento devono essere considerati come materiali evitati ed è deve essere considerato anche il contributo ambientale legato al materiale nuovo che va a rimpiazzare quello demolito.



Se riciclato esternamente allo stabilimento deve essere considerato come rifiuto. Sono stati poi considerati i contributi relativi ai trasporti relativi a quelli dismessi e all'approvvigionamento di quelli nuovi.

7. All'interno dell'impianto di betonaggio si ricicla acqua derivante dai lavaggi dei mezzi tramite recuperatrice.

4.7 ASSUNZIONI ADOTTATE PER LO SVILUPPO DEI DATI RELATIVI AI COMBUSTIBILI ALTERNATIVI

Nel ciclo produttivo non sono utilizzati combustibili alternativi.

5.1 VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DEI DATI

Relativamente alla qualità dei dati impiegati per il presente studio, si possono fare le seguenti considerazioni:

- ④ I dati relativi alla **composizione di clinker, cemento, calcestruzzo e malte** e quelli relativi ai **consumi energetici** sono di tipo **specifico diretto** e soddisfano i requisiti di qualità richiesti dall'oggetto dello studio.
- ④ Non sono stati considerati dati relativi alle **infrastrutture degli impianti produttivi** in quanto trascurabili.
- ④ I dati relativi al **trasporto su strada delle materie prime in cementeria (impianto di Gubbio), della centrale di betonaggio (impianto di Colombella) e trasporto dei materiali al sito di costruzione** sono di tipo **specifico indiretto**.
- ④ I dati relativi al **recupero dei rifiuti** potrebbero essere ulteriormente migliorati ottenendo informazioni più dettagliate sulle modalità di recupero operate.

La qualità dei dati appare nel complesso di buon livello e ha comportato un limitato utilizzo di dati generici contenuto all'interno del 10% come dimostrato negli studi LCA realizzati per l'ottenimento della certificazione EPD e richiesto dalle PCR.

5.2 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E PROGRAMMI DI MIGLIORAMENTO

Per migliorare lo studio LCA per la valutazione del CFP sarà necessario per le valutazioni future prendere atto delle indicazioni/aggiornamenti normativi rilasciati dal CEN TC 350, TC104 e TC229. Inoltre sarà importante migliorare i dati e le assunzioni fatte sui trasporti delle materie prime e dei combustibili (tipologia di mezzi utilizzati e categoria ambientale degli stessi), oltre che sulla produzione di rifiuti, migliorando la tacciabilità dei dati in uscita.



Cementerie Aldo Barbetti S.p.A.

CARBON FOOTPRINT CEMENTO

Pag. 44 di 44

Rev. 1

Per migliorare dal punto di vista ambientale la produzione di cemento, si consiglia di operare principalmente sui seguenti parametri:

- ④ Intensificazione dell'utilizzo di materie prime e di combustibili alternativi.
- ④ Ottimizzazione della logistica per la fornitura delle materie prime.
- ④ Possibilità di applicazione della metodologia LCA come strumento di progettazione e valutazione di scelte strategiche relativamente all'ottimizzazione della produzione in base alle tipologie di cementi meno impattanti dal punto di vista ambientale.