

## ANALISI E VALUTAZIONI DEL CICLO DI VITA

Il Life Cycle Assessment (LCA) è uno strumento quantitativo per la valutazione dell'impatto ambientale che sta acquistando sempre più popolarità tra coloro che si occupano di problemi ambientali.

Bisogna tuttavia dire che in genere della LCA è più noto il nome che i reali contenuti. Oggi l'uso della LCA si sta estendendo anche alla piccola e media industria grazie a una crescente comprensione del suo campo di applicazione e dei benefici che può dare. Gli studi di LCA non interessano solamente l'impresa, ma anche gli ambientalisti e la pubblica amministrazione.

**L'Analisi del Ciclo di Vita è un'analisi sistematica che valuta i flussi di materia ed energia durante tutta la vita di un prodotto, dall'estrazione delle materie prime, alla produzione, all'utilizzo, fino all'eliminazione del prodotto stesso una volta divenuto rifiuto.**

L'obiettivo generale di una LCA è valutare gli impatti ambientali associati alle varie fasi del ciclo di vita di un prodotto, nella prospettiva di un miglioramento ambientale di processi e prodotti.

La caratteristica fondamentale di LCA è costituita dal modo assolutamente nuovo di affrontare l'analisi dei sistemi industriali: dall'approccio tipico dell'ingegneria tradizionale, che privilegia lo studio separato dei singoli elementi dei processi produttivi, si passa ad una visione globale del sistema produttivo, in cui tutti i processi di trasformazione a partire dall'estrazione delle materie prime fino allo smaltimento dei prodotti a fine vita, sono presi in considerazione in quanto partecipano alla realizzazione della funzione per la quale essi sono progettati.

Questa impostazione di studio del sistema produttivo fa parte di una cultura più ampia ed alternativa rispetto a quella che ha supportato il tradizionale modello di sviluppo industriale, vale a dire una cultura che pensa alla produzione industriale nell'ottica del concetto di sviluppo sostenibile, i cui obiettivi fondamentali sono la conservazione delle risorse naturali e la minimizzazione degli effetti delle attività antropiche sull'ambiente.

Più in particolare, l'LCA può essere utilizzata per stimare l'impatto ambientale complessivo di un prodotto per confrontare due prodotti simili dal punto di vista dell'impatto ambientale, per individuare possibili miglioramenti all'interno di un ciclo produttivo.

### **Perché effettuare l'analisi del ciclo di vita di un prodotto?**

- Per realizzare una raccolta completa ed organica di tutti i dati relativi alla fabbricazione di un prodotto, creando così un sistema informatico che supporti un sistema di gestione ambientale, tenendo sotto controllo le emissioni, i consumi delle risorse e gli effetti connessi.
- Per raggiungere un maggior controllo delle prestazioni ambientali di un prodotto e/o di un processo.
- Per evidenziare i "punti deboli" del processo produttivo: individuando le fasi sulle quali è possibile intervenire per diminuire l'impatto ambientale del prodotto, si può arrivare a ridurre i consumi di energia, di materie prime e la produzione di rifiuti, diminuendo di conseguenza i costi di produzione.

- Per valutare la "prestazione ambientale" di un prodotto rispetto a un prodotto analogo, in modo tale da poter fare delle opportune scelte.
- Per progettare e quindi realizzare un prodotto che causi un minor impatto sull'ambiente (Ecodesign).
- Per individuare le possibili migliorie tecnologiche e gestionali di un prodotto e del suo indotto nell'ottica dello sviluppo sostenibile.
- Per migliorare l'immagine del prodotto e dell'Azienda, nei confronti del pubblico.

Come già detto LCA è un metodo completo di analisi ambientale, che permette di studiare nel dettaglio le interazioni di un prodotto, di un processo o di una attività con l'ambiente e può rappresentare quindi uno strumento efficace di gestione ambientale.

Fino ad oggi si sono sviluppate diverse metodologie per l'analisi del ciclo di vita e la standardizzazione di questi metodi per effettuare LCA è stata compiuta da "SETAC" (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) e da "ISO" (International Standard Organization), la quale ha definito ed emanato una norma che offre riferimenti per la corretta applicazione dell'analisi del ciclo di vita (la norma UNI EN ISO 14040).

La definizione di analisi del ciclo di vita proposta da "SETAC" è la seguente:

*"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 ed energia e delle 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 lavorazione delle materie prime, alla produzione trasporto e distribuzione del prodotto, al suo uso, riuso e manutenzione, fino al riciclo e alla collocazione finale del prodotto dopo l'uso."*

Le principali fasi di una analisi del ciclo di vita, secondo la procedura indicata da "SETAC", possono essere così schematizzate:

## **1. DEFINIZIONE DELLO SCOPO E DEI LIMITI DELLO STUDIO**

In questa fase vengono definite:

- le finalità dello studio;
- l'unità funzionale;
- i confini del sistema analizzato;
- i dati necessari;
- eventuali assunzioni;
- le procedure di verifica.

Questa fase preliminare è indubbiamente critica in quanto determina tutta la successiva impostazione LCA, inoltre decidere su cosa siano la "culla" e la "tomba", quindi i confini nell'esecuzione di tale analisi, è uno dei punti di maggiore discussione. Anche la scelta dell'unità funzionale intesa come parametro cui riferire tutti gli elementi che compongono il bilancio ambientale del sistema in esame è un punto problematico. La scelta deve essere fatta ricordando che per unità funzionale occorre intendere la prestazione quantificata e per questo misurabile e oggettivamente riscontrabile di un prodotto, da utilizzare come unità di riferimento in uno studio di LCA.

## **2. REALIZZAZIONE DELL'INVENTARIO DI INPUT E OUTPUT**

Scopo di questa fase è quello di evidenziare tutti i flussi di input e output riferibili alle diverse fasi relative al prodotto. E' in questo secondo step che vengono contabilizzati i flussi delle materie prime, delle emissioni e delle loro componenti. Seguendo la definizione che troviamo nella ISO 14000 è in questa fase che vengono "individuati e quantificati flussi in ingresso e in uscita da un sistema-prodotto, lungo tutta la sua vita". Verranno quindi identificati e quantificati i consumi di risorse (materie prime, acqua, prodotti riciclati), di energia (termica ed elettrica) e le emissioni in aria, acqua e suolo, arrivando così al termine a strutturare un vero e proprio bilancio ambientale. Per la redazione di quest'ultimo dovrà essere controllata la qualità dei dati: in quanto è su quest'ultima che si fonda la validità e l'attendibilità di tutto lo studio di LCA.

I dati raccolti allora potranno essere distinti in 3 categorie:

- Dati Primari (provenienti da rilevamenti diretti);
- Dati Secondari (ricavati dalla letteratura come data base e da altri studi);
- Dati Terziari (provenienti da stime e da valori medi).

Per assicurare che sia da giudicare buona l'attendibilità e la trasparenza dei dati occorrerà, come buona norma riportare:

- L'età dei dati (anno cioè a cui si riferiscono le misurazioni rilevate)
- Il territorio per il quale il dato è significativo
- La tecnologia di riferimento
- Il tipo di campionamento fatto per ciascun dato riportato
- Il processo a cui è riferito il dato
- I metodi di calcolo impiegati per ottenere valori medi
- La varianza e le irregolarità riscontrate nelle misurazioni
- I metodi usati per il controllo i qualità

Potrebbe allora essere costruita una sorta di matrice per definire e valutare con un discreto grado di approssimazione il livello qualitativo dei dati impiegati per avviare un LCA. Un problema riscontrabile subito risiede nella metodologia dell'LCA, la quale per sua stessa natura richiede una grande quantità di informazioni e di dati, di cui il proponente dello studio non sempre dispone. Al fine di stabilire una procedura standard per la fase di inventario, le ricerche si stanno muovendo verso lo sviluppo di modelli matematici specifici per la raccolta dei dati. L'uso di data base, pubblici o privati, permette di migliorare considerevolmente l'efficienza nella realizzazione dello studio. Altro problema che può presentarsi durante questa seconda fase riguarda la ripartizione di consumi e impatti relativi a prodotti differenti generati da uno stesso processo produttivo. Sui criteri da impiegare per tali ripartizioni poche sono ancora le indicazioni fornite. E' evidente che sarà importante cercare di conoscere nel dettaglio il processo produttivo così da poter attribuire ad ogni prodotto finale la quota spettante di materia prima, energia consumata e quindi anche impatti in aria, acqua e rifiuti solidi.

Quando ciò non risulti possibile, in quanto, ad esempio in uno stesso processo vengono lavorati più categorie di prodotti, si potrebbero ripartire consumi e relativi impatti:

- 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

*Es: se in un processo da cui otteniamo 2 prodotti A e B vengono immessi 800 litri d'acqua.*

*Seguendo il criterio di allocazione in peso avremo:*

*Peso prod. A=750 kg - Peso prod. B=250 kg*

*Quantità d'acqua attribuibile ad A=750x800:1000=600*

*Quantità di acqua attribuibile a B=250x800:1000=200*

*Seguendo, invece, il criterio di allocazione per valore economico, avremo:*

*Prezzo prod. A al kg 1000 =750x1000 =750000*

*Prezzo prod. B al kg 3000 =250x3000 =750000*

*Quantità di acqua attribuibile ad A = 400*

*Quantità di acqua attribuibile ad B = 400*

Lo stesso tipo di metodo verrà impiegato per allocare ad ogni singolo prodotto altri consumi e impatti (emissioni in aria, acqua, rifiuti solidi, materie prime o intermedie, energia).

La conoscenza del processo e del sistema in esame, inoltre, implicherà la definizione di eventuali flussi di riciclo interni; questi potranno essere:

- *Ad anello chiuso*, qualora il materiale recuperato, sottoposto a trattamento, venga di nuovo inserito a monte del processo produttivo. In questo caso evidentemente i consumi e gli impatti si andranno a ridurre, in quanto una stessa quantità (di acqua, energia, materie prime) verrà impiegata per più cicli produttivi e quindi ripartita su un numero maggiore di prodotti.

- *Ad anello aperto*, quando il prodotto riciclato verrà immesso in un nuovo processo così che i benefici conseguenti al trattamento saranno "assorbiti" dal nuovo processo.

Oltre agli impatti relativi al processo dovranno essere disaggregati i dati riguardanti:

- Impatti e consumi relativi all'Energia Elettrica importata nel sistema: bisogna chiarire qual è il contesto di Riferimento (Regionale, Nazionale, Comunitario) per poter valutare il mixing di combustibili che concorrono alla produzione del KW elettrico, l'efficienza globale del sistema ed i relativi impatti sull'ambiente.
- Impatti e consumi relativi al sistema di trasporti: i prodotti possono essere trasportati in modi diversi, con impatti diversi per unità di prodotto trasportato; esistono quindi impatti diversi relativi ai differenti mezzi di trasporto utilizzati. Se volessimo fornire un dato sappiamo, ad esempio, che un prodotto trasportato su autocarro produrrà, quale effetto indiretto sull'ambiente, un'emissione di NOx pari a

1,0332 g/km t, mentre il trasporto su ferrovia causerà un'emissione di NOx pari a 0,0401 g/km t.

- Impatti e consumi relativi al sistema di smaltimento rifiuti che verranno prodotti.

In conclusione si può affermare che nella stesura di un inventario occorre fare attenzione a:

- Indicare l'origine dei dati;
- Indicare l'anno a cui i dati si riferiscono;
- Rispettare i parametri minimi di disaggregazione dei dati;
- Nel caso di valori medi di processo indicare sempre i valori minimi e massimi.

### **3. VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI AMBIENTALI**

Consiste nella valutazione della significatività degli impatti ambientali potenziali, associati ai dati derivanti dalla fase di inventario. In questo step dovrebbero essere valutati gli effetti sulla salute e sull'ambiente causati da un prodotto nel corso del suo ciclo di vita. L'analisi e la valutazione dell'impatto ambientale nell'LCA, si articola generalmente in quattro punti:

- **Classificazione** : ciascun impatto (input ed output delle fasi del ciclo di vita), quantificato nella fase di inventario, viene "classificato" sulla base dei problemi ambientali a cui può potenzialmente contribuire. 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 potenzialmente possono contribuire a quel problema ambientale (la stessa sostanza o materiale potrà essere quindi contenuta all'interno di più categorie ambientali).
- **Caratterizzazione** : ciascuna sostanza contribuisce in maniera differente allo stesso problema ambientale; le quantità di ciascun input ed output vengono quindi moltiplicate per un "fattore di peso" che misura l'intensità dell'effetto di una sostanza sul problema ambientale considerato. Questi "fattori di peso" vengono calcolati sulla base di dati puramente scientifici. I dati, una volta moltiplicati per i "fattori di peso", possono essere sommati all'interno di ciascuna categoria ambientale e si ottiene così un insieme di valori adimensionali che definisce il profilo ambientale del sistema.
- **Normalizzazione** : i valori precedentemente ottenuti vengono normalizzati, divisi cioè per un "valore di riferimento" o "effetto normale" ( ad es: gli effetti sull'ambiente causati da una "persona normale" durante un determinato periodo di tempo ) in modo da poter stabilire la magnitudo di ciascun effetto ambientale rispetto ad un valore di riferimento, rappresentato generalmente da dati medi su scala mondiale, regionale o europea e riferiti ad un determinato intervallo di tempo. Attraverso la normalizzazione si può stabilire quindi l'entità relativa di ciascun problema ambientale.
- **Valutazione** : l'obiettivo della fase di valutazione è quello di potere esprimere, attraverso un valore numerico, l'impatto ambientale associato ad un prodotto nell'arco del suo ciclo di vita. I valori degli effetti normalizzati vengono quindi moltiplicati per dei "fattori di peso", che esprimono l'importanza intesa come criticità, che viene attribuita a ciascun problema ambientale. Alla base del calcolo dei "fattori di peso" vi è il principio della "distanza dallo scopo", che afferma che la differenza fra lo stato attuale e quello che si vuole raggiungere è una misura della gravità di un effetto. Sommando i valori degli effetti così ottenuti si ottiene un unico valore

adimensionale: ecoindicatore, che quantifica l'impatto ambientale associato al prodotto.

E' opportuno sottolineare in questa terza fase le difficoltà che nascono nel valutare i dati finali poiché al momento ci sono interessanti metodologie proposte, ma nessuna ancora chiara e univoca, oltre al livello di soggettività che sta dietro alle diverse valutazioni di impatto.

#### **4. INTERPRETAZIONE E ANALISI DEI RISULTATI**

Consiste nell'interpretazione dei risultati delle fasi di inventario e di valutazione degli impatti e nell'eventuale redazione di conclusioni e di raccomandazioni per il miglioramento della performance ambientale del sistema studiato. In questa fase quindi si valutano le opportunità per minimizzare l'impatto associato ad un prodotto. L'analisi del ciclo di vita permette di identificare gli ambiti in cui si potrebbero attuare dei miglioramenti. Si possono così valutare le varie proposte di miglioramento costruendo i relativi profili ambientali e tenendo conto di altri criteri decisionali, scegliere l'alternativa più appropriata. Esistono diversi metodi e sono disponibili numerosi software per effettuare l'analisi dell'impatto ambientale associato al ciclo di vita, in quanto non è stata ancora sviluppata una metodologia standard.

Uno di questi software è il SimaPro che è costituito da due componenti principali: un database per la fase di inventario (costituito dai processi e dagli inputs ed outputs associati ai processi) ed un database per l'analisi dell'impatto ambientale. Con il software SimaPro è possibile analizzare e confrontare prodotti con cicli di vita anche molto complesso, in quanto le banche dati di cui dispone, oltre a contenere un numero molto ampio di dati, possono essere modificate e completate in modo molto flessibile e senza limitazioni da parte dell'utente. I dati sono rappresentati nel semplice e pratico formato sviluppato da "SPOLD", che è standardizzato e che permette di effettuare facilmente modifiche nei dati inseriti.



*Pianta del piano terra dell'edificio*

Il primo passo dell'analisi LCA è la definizione della funzione del sistema in esame e l'individuazione dell'unità funzionale.

La funzione di un sistema edilizio è fornire all'utente un determinato livello di comfort e di qualità della vita, rispettando requisiti di sicurezza, fruibilità ed igiene, secondo quanto previsto dalla norma UNI 82903.

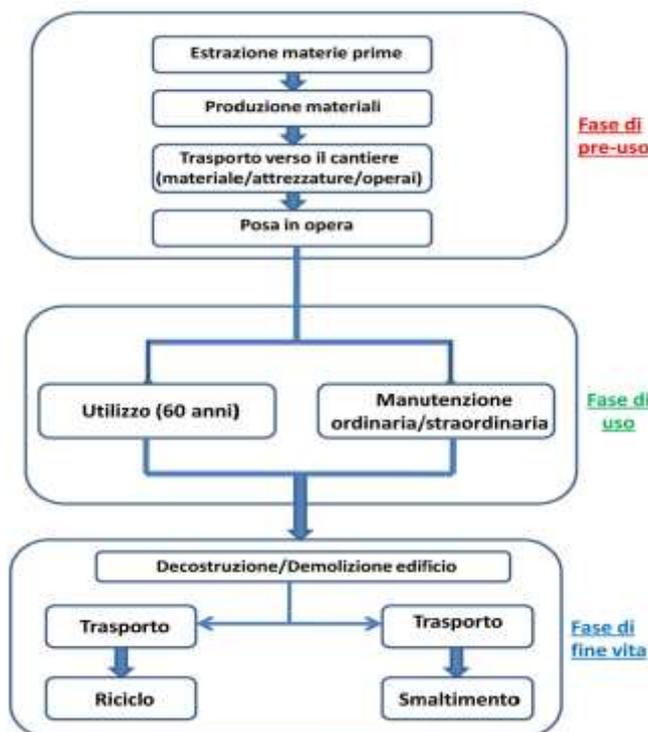
Una corretta progettazione deve, quindi, garantire una piacevole ed uniforme temperatura

interna, un'ottima qualità dell'aria, un'umidità regolare e costante e al contempo garantire i requisiti di sicurezza strutturale, affidabilità e durabilità. Il benessere psicofisico e la salvaguardia della vita degli utenti si considereranno garantiti da opportune condizioni, ipotesi e scelte tecniche, sia su materiali e sistemi che su processi costruttivi relativi alla progettazione ed alla realizzazione dell'edificio di volta in volta in esame.

L'unità funzionale, come già detto, deve essere coerente con scopi ed obiettivi dello studio e deve individuare in modo chiaro e misurabile il riferimento a cui tutti i dati di input e di output devono essere normalizzati.

Nel settore edile, nonostante diversi tentativi di standardizzazione, essa è definita in molte maniere ( $m^2$  di superficie interna utile;  $m^3$  di volume interno utile, numero di occupanti; tonnellate di materiale usato; etc.). Considerato lo scopo del progetto VinCES, e quindi la necessità di confrontare soluzioni costruttive diverse per uno stesso edificio di riferimento, si ritiene opportuno definirla come la superficie utile totale dell'edificio VinCES, quindi pari a  $1562 m^2$  di superficie interna utile.

Per quanto riguarda i confini del sistema edificio, bisognerà tenere ovviamente in conto l'intero ciclo di vita (*from cradle to grave*), dall'estrazione delle materie prime alla fase di dismissione dell'edificio e di smaltimento dei residui. Si opererà però con una ulteriore suddivisione in stadi successivi, illustrata nella seguente figura:



*Confini del sistema in esame: stadi successivi del ciclo di vita dell'edificio*

In maggior dettaglio, si possono distinguere una fase di "pre-uso", una fase di "uso" ed una fase di "fine vita".

La **fase di pre-uso** comprende le fasi tecniche *from cradle to entry gate* (fasi di estrazione e processazione) e *from entry gate to exit gate* (fase produzione del prodotto/servizio). In questa fase rientreranno quindi l'estrazione di materie prime e la produzione dei materiali (o prodotti), compresi i trasporti dal luogo di produzione al cantiere e le relative messe in opera. I siti di produzione e distribuzione della maggior parte dei materiali da costruzione saranno ubicati preferenzialmente sul territorio campano.

*From cradle to entry gate* (produzione dei materiali)

Si valuteranno i carichi ambientali collegati ai soli materiali utilizzati per il sistema in esame, includendo l'estrazione e l'eventuale utilizzo di materiale riciclato, il trasporto alle industrie di trattamento e la lavorazione. Mediante analisi di contributo si individueranno quindi i materiali o processi che implicano i maggiori impatti ambientali.

Lo scopo è quello di analizzare i materiali dello scenario standard, definire una banca dati ad essi relativa (caratteristiche tecniche ed ambientali), individuare l'elemento o gli elementi che incidono maggiormente sul profilo ambientale del sistema totale ed infine individuare nuove soluzioni che ne migliorino le caratteristiche di sostenibilità.

A tal fine l'edificio di riferimento è stato scomposto in due macrosistemi suddivisi in unità costitutive:

- **involucro edilizio:** include tutte le componenti edilizie messe in opera per la realizzazione dell'involucro edilizio, divise a loro volta in componenti e sub-componenti. Nella prima categoria rientreranno gli elementi strutturali (piastra, pilastri, travi, solaio, setti e scale) e non strutturali (tamponature esterne, divisorie e tramezzature), mentre nella seconda i materiali edili utilizzati per realizzare il componente dell'edificio a cui essi si riferiscono (calcestruzzo, acciaio, etc.). Gli elementi strutturali sono realizzati principalmente in calcestruzzo armato, per la modellazione di tale materiale si utilizzerà la norma ISO 133156 in cui sono riportate tutte le fasi del ciclo di vita, nonché gli input e gli *output* ad esso relativi.
- **impiantistica dell'edificio:** indica le componenti impiantistiche dell'edificio, riconducibili agli impianti elettrici, termici ed idrico sanitari

Le tabelle riportate di seguito sintetizzano i sottoinsiemi edilizi dell'involucro e degli impianti con i relativi materiali costitutivi.

Tabella relativa involucro dell'edificio

Unità costruttive	Materiali
Piastra di fondazione	calcestruzzo C25/30; ferri d'armatura (acciaio per reti B450C)
Struttura portante	calcestruzzo per pilastri C28/35; calcestruzzo per travi C25/30; ferri d'armatura (acciaio B450C)
Scale	calcestruzzo C25/30; ferri d'armatura (acciaio B450C); ringhiere in ferro

Solai	calcestruzzo per lastra predalle tipo C35 /45; ferri d'armatura (acciaio B450C); calcestruzzo di completamento C25/30; blocchi di alleggerimento in polistirene
Tamponature e tramezzature	Tamponatura tipo M1: pittura, lastra di cemento rinforzata, barriera al vapore, profilato in acciaio, lana di roccia, cartongesso. Tramezzi tipo M3 ed M4: pittura, pannello di gesso, lana di roccia, profilato in acciaio.
Rivestimenti solai	Rivestimento piastra: collante, massetto autolivellante, massetto alleggerito, barriera al vapore. Rivestimento 1° e 2° solaio: collante, massetto autolivellante, massetto alleggerito, isolamento acustico in gomma, rasante, pittura. Rivestimento solaio di copertura: guaina impermeabilizzante, pannelli di isolamento termico, barriera al vapore, rasante. Rivestimento ballatoi e balconi: collante, massetto autolivellante, guaina impermeabilizzante, spianamento di calce, pannello di isolamento termico, barriera al vapore, rasante, pittura.
Infissi	Infissi interni: legno, gomma, ferro Infissi esterni: vetro, alluminio, EPDM, ferro
Pavimentazione	Gres porcellanato

#### Tabella relativa impiantistica dell'edificio

<b>Impianti</b>	<b>Materiali</b>
Idrico-sanitario	Tubi di adduzione in PVC, tubi di scarico in PVC, caldaia
Termico	Tube in rame, collettori in ottone, caldaia, radiatori
Elettrico	Cavi elettrici, prese e interruttori
Smaltimento acque piovane	Canali di gronda, pluviali, scossaline, bocchettoni (tutti gli elementi sono in rame)

#### *From entry gate to exit gate* (messa in opera dei materiali)

In questo stadio si analizzerà la messa in opera dei materiali, nonché la produzione del sistema edificio. Si includerà il trasporto dall'azienda di produzione al sito di costruzione, l'assemblaggio dei componenti, nonché l'operazione di scavo.

In altri termini, si considereranno i dati relativi ai materiali e ai consumi energetici, come

dedotti dal computo metrico e dagli elaborati di progetto, che si riferiscono alle seguenti tipologie:

- quantità dei diversi materiali e le relative percentuali di scarto dovute a sfridi di lavorazione e ad eventuali danneggiamenti in fase di trasporto e in cantiere
- trasporto dei materiali costituenti l'edificio dai siti di produzione/distribuzione fino al cantiere
- trasporto degli operai al cantiere
- trasporto e consumi energetici, quali l'alimentazione dei macchinari da cantiere, l'illuminazione e la movimentazione di macchine nel sito

La restante fase del *from exit gate to grave* (uso del prodotto/servizio, riciclo e smaltimento finale) è qui adattata al caso specifico delle costruzioni.

Essa comprende una fase di uso ed una fase di fine vita.

La **fase di uso**, comprende tutte le attività relative:

- all'utilizzo dell'edificio da parte degli utenti, valutato su un arco temporale di 60 anni. Si stimerà, in particolare, il consumo di acqua e di energia relativo agli impianti di condizionamento ambientale, di produzione di acqua calda sanitaria, di cottura dei cibi e di illuminazione, tutti correlati alla soluzione costruttiva di riferimento nonché stimati per le successive soluzioni implementate;
- alla manutenzione sia ordinaria che di gestione di eventi inattesi. La prima prevede quelle operazioni che sono ripetute ciclicamente nel tempo, al fine di garantire l'utilizzo della struttura per lo scopo per cui è stata progettata, inserendo in tal caso il quantitativo dei materiali necessari, nonché la relativa messa in opera. Sono, invece, operazioni di ripristino straordinarie quelle poco frequenti, necessarie in caso di eventi imprevedibili (sisma, incendio, frane ed alluvioni) per ristabilire la funzionalità del manufatto.

Per quanto concerne la sostituzione dei singoli materiali la cui vita utile è inferiore ai 60 anni stimati per l'intero edificio, si provvederà in fase di analisi di inventario ad introdurre un fattore di *life span*, indicativo del numero di sostituzioni previste per il particolare elemento considerato. I dati relativi a questa fase, dalle prestazioni strutturali, funzionali, energetiche ed ambientali dei materiali da costruzione, alla costruzione/manutenzione stessa dell'edificio saranno desunti dagli elaborati di progetto.

La **fase di fine vita**, include la demolizione dell'edificio e il trasporto dei materiali di risulta dal cantiere allo stabilimento dove possono essere riciclati, riusati o conferiti in discarica.

Il modello del fine vita della struttura in esame prevederà una prima operazione di smontaggio ed allontanamento di alcune componenti edilizie prima dell'abbattimento con martelloni idraulici e pinze meccaniche e successivo trasporto ai siti di trattamento per il riciclaggio dei materiali, oppure presso la discarica come rifiuti non riutilizzabili.

Si prevedranno a tal proposito tre differenti modalità di smaltimento di rifiuti: riciclo diretto, riciclo parziale previa selezione e separazione dei materiali idonei e disposizione in discarica.

- Per i dati relativi alle operazioni di demolizione/decostruzione si farà riferimento all'esperienza acquisita in altri cantieri di demolizione, oppure, alle pubblicazioni scientifiche che affrontano l'argomento in termini di LCA.
- Nel riciclo diretto, il materiale verrà separato presso l'edificio in corso di demolizione e trasportato presso idonei siti di raccolta: sarà questo il caso del vetro, dell'acciaio e della plastica.
- Nel riciclo parziale, invece, il materiale verrà trasportato presso un impianto di separazione e trattamento e successivamente presso siti di riciclaggio. Si ipotizzerà questa modalità per il calcestruzzo e calcestruzzo armato.
- Si sceglierà, infine, il trasporto in discarica per quei materiali che non potranno essere riciclati per scarsa qualità (materiali mescolati e/o non separabili) o per assenza di mercato del prodotto riciclato.

- 

### **Valutazione carichi ambientali e metodologia LCA, analisi di inventario**

Per i dati necessari alla modellazione di tutte le fasi del ciclo di vita si farà riferimento al database Ecoinvent, associando ai componenti e sub-componenti costituenti l'edificio i materiali ed i processi presenti in tale database, da cui si ricaveranno i relativi carichi ambientali diretti, indiretti ed evitati. In tale fase, nonostante il database sia di buona qualità, si introdurranno inevitabilmente approssimazioni e ipotesi, poiché i dati riguardano situazioni standard, basate per lo più su dati di origine media europea. Nei limiti imposti dalle disponibilità di tempo e di risorse, si provvederà comunque a modificare o integrare il database con dati primari, raccolti sul campo.

In altri termini, le informazioni dal database saranno utilizzate solo per modellare lo scenario standard, al fine di tracciare il profilo ambientale di ogni singolo elemento. Successivamente, sui materiali che più risulteranno incidere sulle prestazioni ambientali, saranno raccolti e processati dati primari, provenienti cioè da rilevamenti diretti, con l'ausilio di aziende ed esperti del settore.

### **Valutazione carichi ambientali e metodologia LCA, analisi ed interpretazione degli impatti ambientali**

Per quantificare le emissioni nell'ambiente e le categorie di impatto ad esse associate si utilizzerà sia il metodo *Global Warming Potential* (GWP) che il metodo IMPACT 2002+. Il GWP consente di quantificare e valutare gli effetti prodotti sul clima da parte dei cosiddetti gas serra (anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), ossido nitroso (N<sub>2</sub>O), il gruppo degli idrofluorocarburi (HFCs), dei perfluorocarburi (PFCs) e l'esafluoruro di zolfo (SF<sub>6</sub>) generati da un prodotto/processo. Rappresenta, in particolare, il rapporto fra il riscaldamento causato da un gas ad effetto serra in uno specifico intervallo di tempo (20, 100 o 500 anni) e il riscaldamento causato nello stesso periodo dalla CO<sub>2</sub> nella stessa quantità, essendo la tonnellata di anidride carbonica equivalente (tCO<sub>2</sub>eq) l'unità di misura alla base di tale metodologia.

Il metodo di valutazione ambientale IMPACT 2002+ consente, invece, di quantificare gli impatti ambientali secondo gli approcci *midpoint-oriented* (basato sulle categorie di impatto) e *damage-oriented* (orientato alla valutazione per categorie di danno). I risultati

desunti dalle analisi d'inventario possono, infatti, essere espressi sia in quindici categorie di impatto che in quattro categorie di danno.

Le categorie di danno utilizzate da IMPACT 2002+ sono:

- **Human Health**, misurata in DALY (Disability Adjusted Life Years) e derivata dalle sei categorie di impatto *Carcinogens*, *Non carcinogens*, *Respiratory inorganics*, *Ionizing radiation*, *Ozone layer depletion*, *Respiratory organics*;
- **Ecosystem quality**, misurata in PDF\*m<sup>2</sup>\*yr (Potentially Disappeared Fraction) derivata dalle categorie di impatto *Aquatic ecotoxicity*, *Terrestrial ecotoxicity*, *Terrestrial acidification/nutritrophication*, *Aquatic acidification*, *Aquatic eutrophication* e *Land occupation*;
- **Climate Change**, misurata in kg di CO<sub>2</sub> equivalente in aria, derivata all'unica categoria di impatto *Global Warming* (misurata su un arco temporale di 500 anni);
- **Resources**, in MJ, elaborata a partire dalle categorie di impatto *Non renewable energy* e *Mineral extraction*.

Valutate le emissioni e i danni, seguirà la fase di interpretazione dei risultati. Saranno anche condotte analisi di sensibilità, analisi di incertezza e analisi contributive con l'obiettivo di verificare l'accuratezza dei dati e della metodologia scelta e la loro influenza sul risultato finale.

Tali procedure consentiranno non solo di calcolare il livello di incertezza dei dati utilizzati, ma anche di individuare quale elemento o processo produttivo incide maggiormente sulla valutazione ambientale.