



Valutazione delle prestazioni ambientali della riqualificazione di edifici verso N-ZEB, tramite metodologia LCA

Grazia Barberio, Giovanni Elmo,
Laura Cutaia

VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI AMBIENTALI DELLA RIQUALIFICAZIONE DI EDIFICI VERSO nZEB, TRAMITE LCA

Barberio G., Elmo G., Cutaia L. (ENEA)

Settembre 2017

Rapporto Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: Edifici a energia quasi zero (nZEB), Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici mirata a conseguire il raggiungimento della definizione di edifici a energia quasi zero (nZEB)

Obiettivo: Studio LCA nella riqualificazione energetica nZEB di un edificio uso ufficio.

Responsabile del Progetto: Luciano Terrinoni, ENEA

Indice

SOMMARIO	4
1 INTRODUZIONE	5
1.1 INTRODUZIONE.....	9
1.2 DEFINIZIONE DI SOSTENIBILITÀ APPLICATA ALL'EDILIZIA	10
1.2.1 <i>Efficienza nel consumo delle risorse</i>	13
1.2.2 <i>Limitazione dell'impatto dei materiali costruttivi e studio delle migliori tecniche</i>	13
1.2.3 <i>Ottimizzazione del rapporto fra edificio ed ambiente circostante</i>	14
1.2.4 <i>Salubrità e comfort ambientale interno</i>	14
1.2.5 <i>Sicurezza, manutenzione e gestione</i>	14
1.2.6 <i>Aspetti etici e sociali</i>	15
1.3 METODI DI VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ IN EDILIZIA: LCA, ECOLABELING, ECO-CERTIFICAZIONI.....	15
1.3.1 <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	16
1.3.2 <i>Metodi di ecolabeling dell'edilizia a "punteggi"</i>	19
1.3.2.1 Protocollo ITACA.....	21
1.3.2.2 Protocollo SB100	22
1.3.2.3 Casaclima Nature.....	22
1.3.2.4 LEED.....	22
1.3.2.5 BREEAM.....	23
1.3.3 <i>Certificazioni ambientali volontarie di prodotti e materiali per l'edilizia</i>	23
1.4 EDIFICI AD ENERGIA QUASI ZERO NZEB	27
1.4.1 <i>Indirizzi per una progettazione verso l'nZEB</i>	29
1.4.2 <i>Sintesi dei criteri guida per la realizzazione di un edificio NZEB</i>	32
2 METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE: LCA PER EDIFICI SOSTENIBILI	34
2.1 DEFINIZIONE DEGLI SCOPI E DEGLI OBIETTIVI	35
2.1.1 <i>Unità funzionale e confini del sistema</i>	35
2.1.1.1 Scelta del metodo.....	36
2.1.2 <i>Descrizione dei sistemi</i>	38
2.2 INVENTARIO	41
2.3 VALUTAZIONE IMPATTI	52
2.3.1 <i>Valutazione impatti scenario 1 vs scenario 2, in ogni singola città</i>	52
2.4 INTERPRETAZIONE.....	56
3 CONCLUSIONI	59
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	60

Sommario

Questo studio presenta i risultati dell'analisi delle prestazioni energetico-ambientali del ciclo di vita di un complesso sistema edificio. In particolare si vogliono analizzare gli effetti del miglioramento dell'efficienza energetica di un edificio convenzionale/tradizionale raggiunto attraverso azioni specifiche che portino ad un miglioramento dell'efficienza energetica di tipo "medio" o "alto" che si avvicini alle condizioni di nZEB (Nearly Zero Emission Building), per diversi contesti geografici nel nord, centro e sud dell'Italia. Un **«edificio a energia quasi zero (nZEB)»** è un edificio ad altissima prestazione energetica il cui fabbisogno energetico - molto basso o quasi nullo - dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili.

Pertanto lo studio prevede:

- in una prima parte, di considerare l'approccio normativo ed il percorso di certificazioni sulle prestazioni energetiche in fase d'uso per gli edifici (le direttive comunitarie riguardanti l'efficienza energetica degli edifici sono un volano per l'incremento delle prestazioni energetiche del settore edile).

A fronte dell'attuale ricchissimo repertorio di soluzioni tecniche in rapida evoluzione, il progettista per contro necessita sempre più di strumenti per effettuare valutazioni certe delle loro performance in termini di sostenibilità, quali certificazioni ed etichette al fine di fare valutazioni quantitative, connesse soprattutto ai componenti, ed analisi qualitative aventi per oggetto l'intero organismo edilizio.

- in una seconda parte, la presentazione dell'applicazione della metodologia di Life Cycle Assessment (LCA) per la valutazione comparata delle prestazioni energetico-ambientali di un edificio convenzionale e di edifici riqualificati con efficientamento energetico in 3 città italiane rappresentative dei diversi contesti geografici nord, centro e sud Italia (Milano, Roma, Palermo).

La seconda parte del presente lavoro illustra, in particolare, gli effetti del miglioramento dell'efficienza energetica raggiunto attraverso azioni specifiche che includono:

- sostituzione ed implementazione di materiali e componenti (materiali innovativi, strati di coibentazione, infissi);
- interventi impiantistici (quali pompe di calore, pannelli,...).

L'obiettivo dello studio è di quantificare il potenziale vantaggio relativo alla riqualificazione di un edificio tramite cui si è conseguito un miglioramento dell'efficienza energetica, rispetto agli impatti associati agli interventi della stessa riqualificazione, in termini energetico-ambientali.

L'analisi sarà di tipo comparativo in quanto si valuteranno gli impatti ambientali dei seguenti scenari, nelle 3 città selezionate:

1. edificio riqualificato medio;
2. edificio riqualificato nZEB.

I dati relativi agli interventi di riqualificazione dell'edificio e al potenziale risparmio energetico del sistema 1 e 2 a seguito della riqualificazione di un edificio convenzionale, saranno forniti da un **TEST CASE** elaborato dall'Università degli Studi di Palermo¹.

La valutazione con LCA comparativa delle prestazioni degli scenari 1 e 2, riqualificazione di 1° livello e nZEB rispettivamente, mostra che lo scenario 2 è di poco più impattante rispetto allo scenario 1 e, in riferimento alle 3 città, si può notare come gli impatti maggiori si abbiano nella città di Milano, seguita da Roma e Palermo.

La conclusione dello studio rimanda ad azioni di R&D per ottimizzare interventi impiantistici e migliorare materiali al fine di poter assicurare che il raggiungimento di obiettivi di risparmio energetico, con benefici sull'ambiente per alcune categorie come per i cambiamenti climatici, non vada ad impattare su altre categorie, a causa dei processi necessari per la produzione di impianti e materiali stessi.

¹ M. Cellura, F. Guarino, T. M. Gulotta, V. La Rocca, S. Longo. "Criticità nella progettazione e realizzazione di interventi di riqualificazione a nZEB: implicazioni pratiche, normative e legislative. Riqualificazione energetica di un edificio uso ufficio finalizzata alla realizzazione di uno studio di LCA". Ricerca di sistema elettrico ENEA, Report finale.

1 Introduzione

Questo studio presenta i risultati dell'analisi delle prestazioni energetico-ambientali del ciclo di vita di un complesso sistema edificio. In particolare si voglio analizzare gli effetti del miglioramento dell'efficienza energetica di un edificio convenzionale/tradizionale raggiunto attraverso azioni specifiche che portino ad un efficientamento di tipo medio o alto che si avvicini alle condizioni di NZEB (Nearly Zero Emission Building), per diversi contesti geografici nel nord, centro e sud dell'Italia.

Pertanto lo studio prevede:

1. in una prima parte, nel capitolo 2, di considerare l'approccio normativo ed il percorso di certificazioni sulle prestazioni energetiche in fase d'uso per gli edifici (le direttive comunitarie riguardanti l'efficienza energetica degli edifici sono un volano per l'incremento delle prestazioni energetiche del settore edile).

Un approccio ingegneristico al progetto edilizio dalla fase preliminare a quella esecutiva, richiede l'assunzione di principi regolatori di natura metodologica e procedurale oltre ad una approfondita conoscenza delle logiche produttive, dei componenti tecnologici e delle loro prestazioni, ma anche dell'organizzazione razionale dei processi di costruzione.

Attualmente la costruzione, e quindi la progettazione, deve indirizzarsi a nuove esigenze e tra queste vi è quella della sostenibilità del prodotto edilizio nel suo complesso. In Italia dagli anni '80 sino ad oggi anche la normativa ha introdotto in modo sempre più sostanziale una precisa definizione di questi requisiti, sino ad arrivare alla UNI 11277/08 che definisce "esigenze e requisiti di eco compatibilità dei progetti di edifici residenziali e assimilabili, uffici e assimilabili, di nuova edificazione e ristrutturazione".

La sostenibilità viene intesa primariamente come efficienza energetica e più in generale riguarda il controllo delle ricadute che l'intero processo edilizio ha sull'ambiente e sulla salute.

In risposta a ciò il mondo dell'edilizia ha iniziato a recepire tali nuove esigenze e generato un'offerta molto estesa e variegata di sistemi e componenti tecnologici, alcuni dei quali già ad oggi ampiamente diffusi sul mercato ed applicati, come ad esempio, i sistemi di tamponamento e rivestimento a secco.

A fronte dell'attuale ricchissimo repertorio di soluzioni tecniche in rapida evoluzione, il progettista per contro necessita sempre più di strumenti per effettuare valutazioni certe delle loro performance in termini di sostenibilità.

Gli strumenti disponibili per questo scopo, oramai consolidati, permettono valutazioni quantitative, di notevole dettaglio, connesse soprattutto ai componenti, come pure analisi qualitative aventi per oggetto l'intero organismo edilizio.

Il tema della misurabilità delle performance relative alla sostenibilità focalizzate specificatamente sui sistemi costruttivi diviene di conseguenza rilevante. Ciò gli consente, di utilizzare strumenti di verifica e di misura della sostenibilità derivanti dalle più accreditate procedure, quali ad esempio quelle LCA ed i metodi a punteggi.

Se consideriamo la ripartizione dei consumi energetici in Italia negli ultimi anni si ha che circa il 30% è da imputare al settore civile ed in particolare il 70% di questa percentuale riguarda il residenziale. L'elevata incidenza dei consumi per riscaldamento e raffrescamento è da attribuire alle caratteristiche dell'involucro edilizio e allo scarso rendimento degli impianti: i 2/3 delle nostre abitazioni sono antecedenti la legge 373/76 e non hanno subito interventi di manutenzione straordinaria.

L'Incremento dei consumi energetici del settore civile è dovuto anche alla variazione dei fattori climatici ed alla maggiore necessità di condizionamento estivo degli ambienti, quest'ultima ancora una volta dovuta alla scarsa qualità degli involucri edilizi.

Pertanto è sorta la necessità di un involucro edilizio che limiti le dispersioni termiche e quindi da qui la necessità di ridurre il fabbisogno energetico sia in regime invernale che estivo. In parallelo, si è sviluppata una crescente sensibilizzazione verso il rispetto dell'ambiente e quindi la tendenza all'adozione nel settore dell'edilizia di materiali, tecnologie e soluzioni costruttive ispirate ad uno

sviluppo sostenibile ed ecocompatibile. La stessa Unione Europea ha avviato già nel 2002 il percorso con la direttiva 2002/91/CE recepita progressivamente da ogni stato membro all'interno di norme nazionali, in modo tale da garantire una maggiore sensibilità alle specificità del clima di ciascun paese e rendere così operativa la Direttiva. Più recentemente con la Direttiva 2010/31/UE l'unione Europea, ha stabilito che limite il 31 dicembre 2020 in cui è previsto che tutti gli edifici di nuova costruzione siano «edifici a energia quasi zero».

Secondo l'interpretazione più riconosciuta Un «edificio a energia quasi zero (NZEB)» è un edificio ad altissima prestazione energetica il cui fabbisogno energetico - molto basso o quasi nullo - dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili.

2. in una seconda parte, capitolo 3, la presentazione dell'applicazione della metodologia di Life Cycle Assessment (LCA) per la valutazione comparata delle prestazioni energetico-ambientali di un edificio convenzionale e di edifici riqualificati con efficientamento energetico in 3 città italiane (Milano, Roma, Palermo). Il paragrafo 1.3 presenta la metodologia LCA e la sua applicazione in letteratura alla valutazione della sostenibilità degli edifici mentre il capitolo 3 presenta l'applicazione della procedura.

La seconda parte del presente lavoro (capitolo 3) illustra, in particolare, gli effetti del miglioramento dell'efficienza energetica raggiunto attraverso azioni specifiche che includono:

-sostituzione ed implementazione di materiali e componenti (materiali innovativi, strati di coibentazione, infissi);

-interventi impiantistici (quali pompe di calore, pannelli,..).

L'obiettivo dello studio è di quantificare il potenziale vantaggio relativo alla riqualificazione di un edificio tramite cui si è conseguito un miglioramento dell'efficienza energetica, rispetto agli impatti associati agli interventi della stessa riqualificazione, in termini energetico-ambientali.

L'analisi sarà di tipo comparativo in quanto si valuteranno gli impatti ambientali dei seguenti scenari, nelle 3 città rappresentative dei diversi contesti geografici nord, centro e sud Italia:

1. edificio riqualificato medio;
2. edificio riqualificato nZEB.

Il ciclo di vita degli edifici terrà conto delle fasi che differiscono tra i 3 scenari e tralasciando invece quelle che sono uguali, tra le seguenti:

- fase di produzione dei materiali
- trasporto di materiali e prodotti dalle aziende produttrici al cantiere,
- fase costruzione dell'edificio
- fase di manutenzione
- fase di riqualificazione
- fase d'uso, che prevede l'analisi del fabbisogno energetico e del potenziale immissione in rete di energia, nel caso di edifici riqualificati
- fase di fine vita dell'edificio

I dati relativi agli interventi di riqualificazione dell'edificio e al potenziale risparmio energetico del sistema 1 e 2 a seguito della riqualificazione di un edificio convenzionale, saranno forniti da un **TEST CASE** elaborato dall'Università degli Studi di Palermo².

² M. Cellura, F. Guarino, T. M. Gulotta, V. La Rocca, S. Longo. "Criticità nella progettazione e realizzazione di interventi di riqualificazione a nZEB: implicazioni pratiche, normative e legislative. Riqualificazione energetica di un edificio uso ufficio finalizzata alla realizzazione di uno studio di LCA". Ricerca di sistema elettrico ENEA, Report finale.

L'immobile, adibito ad ufficio e costruito negli anni '70, occupa una superficie di 403,5 m² con un'altezza netta interna di 3 m e un volume di 1.210,50 m³.

L'edificio include 12 vani, distinti in dettaglio in Tab.1. L'edificio si sviluppa in una sola elevazione fuori terra.

Tab.1 – Zone termiche e destinazione d'uso

Zone termiche	Destinazione d'uso
Zona 1	Ufficio singolo
Zona 2	Ufficio singolo
Zona 3	Ufficio singolo
Zona 4	Ufficio singolo
Zona 5	Corridoio
Zona 6	Bagno/Servizi
Zona 7	Bagno/Servizi
Zona 8	Ufficio open space
Zona 9	Ufficio singolo
Zona 10	Ufficio singolo
Zona 11	Bagno/Servizi
Zona 12	Centrale Termica

La tabella qui di seguito (Tab.2) fornisce uno schema sinottico delle principali azioni che sono previste negli interventi di riqualificazione energetica di un edificio nel caso di efficientamento medio (scenario B) o alto fino a condizioni nZEB (scenario C) e la vita utile di interventi di questo tipo. Sono state colorate in grigio le azioni aggiuntive che potrebbero essere effettuate ma che non sono state affrontate nel test case e pertanto non saranno incluse nello studio di LCA.

Categoria	Dettaglio	Scenario A	Scenario B	Scenario C	Vita utile (anni)
Involucro opaco	Tamponatura esistente	presente	presente	presente	
	Intervento di isolamento	NO	Cappotto EPS e accessori	Cappotto EPS con accessori più performante	30
Involucro trasparente		Infissi esistenti			30
	Intervento		Sostituzione di infissi e telai con doppio vetro	Sostituzione di infissi e telai con triplo vetro	
Impianto di termocondizionamento e ACS	Intervento	Caldaia e condizionatori esistenti	Sostituzione con pompa di calore ad acqua e ventilconvettori	Sostituzione con pompa di calore ad acqua e ventilconvettori	15
Illuminazione	Intervento	Corpi illuminanti esistenti	Sostituzione dell'esistente con LED	Sostituzione dell'esistente con LED	8
Generazione da rinnovabili	Intervento solare-termico	NO	NO	Impianto dimensionato come da Decreto Requisiti Minimi	15
	Intervento fotovoltaico	NO	NO	Impianto dimensionato come da Decreto Requisiti Minimi	20
Sistemi di ventilazione (?)	Intervento	NO	NO	Sistema di ventilazione meccanica controllata (VMC)	15
Sistemi di regolazione	Intervento su termocondizionamento	NO	Regolazione minima per ambiente (valvole termostatiche) richiesta da normativa	Sistema di regolazione domotico con rilevazione di presenza	10
	Intervento su illuminazione	NO	0	Sistema di regolazione domotico con rilevazione di presenza	
Sistemi di schermatura regolabili	Intervento	NO	NO	Installazione schermature solari	30

Tab2: identificazione degli interventi di riqualificazione

Certificazione di edifici

1.1 Introduzione

Nel processo edilizio le interazioni tra la fase di progettazione e quelle di costruzione risultano strettamente connesse. Un approccio ingegneristico ed organizzato al progetto, dalla fase preliminare a quella esecutiva, richiede l'assunzione di principi regolatori di natura metodologica e procedurale oltre ad una approfondita conoscenza delle logiche produttive, dei componenti tecnologici e delle loro prestazioni, ma anche dell'organizzazione razionale dei processi di costruzione.

Attualmente la costruzione, e quindi la progettazione, deve indirizzarsi a nuove esigenze e tra queste vi è quella della sostenibilità del prodotto edilizio nel suo complesso. In Italia dagli anni '80 sino ad oggi anche la normativa ha introdotto in modo sempre più sostanziale una precisa definizione di questi requisiti, sino ad arrivare alla UNI 11277/08 che definisce "esigenze e requisiti di eco compatibilità dei progetti di edifici residenziali e assimilabili, uffici e assimilabili, di nuova edificazione e ristrutturazione". La sostenibilità viene intesa primariamente come efficienza energetica e più in generale in generale riguarda il controllo delle ricadute che l'intero processo edilizio ha sull'ambiente e sulla salute.

In risposta a ciò il mondo dell'edilizia ha iniziato a recepire tali nuove esigenze e generato un'offerta molto estesa e variegata di sistemi e componenti tecnologici, alcuni dei quali già ad oggi ampiamente diffusi sul mercato ed applicati, come ad esempio, i sistemi di tamponamento e rivestimento a secco.

A fronte dell'attuale ricchissimo repertorio di soluzioni tecniche in rapida evoluzione, il progettista per contro necessita sempre più di strumenti per effettuare valutazioni certe delle loro performance in termini di sostenibilità.

Gli strumenti disponibili per questo scopo, oramai consolidati, permettono valutazioni quantitative, di notevole dettaglio, connesse soprattutto ai componenti, come pure analisi qualitative aventi per oggetto l'intero organismo edilizio.

Tali analisi, però, non si prestano facilmente ad essere applicate nelle verifiche, sia in fase progettuale che a costruzione avvenuta, dei sistemi costruttivi nel loro complesso.

Il tema della misurabilità delle performance relative alla sostenibilità focalizzate specificatamente sui sistemi costruttivi diviene di conseguenza rilevante.

Ciò gli consente, di utilizzare strumenti di verifica e di misura della sostenibilità derivanti dalle più accreditate procedure, quali ad esempio quelle LCA ed i metodi a punteggi.

In conclusione si vuole evidenziare un principio trasversale che costituisce un fondamento della cultura ingegneristica lo stretto rapporto esistente tra il progetto e la sua concreta attuazione costruttiva.

Pertanto prima di entrare nel merito della sostenibilità ambientale applicata all'edilizia bisogna porsi i seguenti interrogativi

- Come è possibile valutare la sostenibilità dei sistemi costruttivi, e con quali metodologie?
- Quale è il "peso" ambientale delle strutture di un edificio, in relazione alle altre parti tecnologiche?
- Esistono processi, tecnologie, attenzioni progettuali od esecutive che possono aumentare la performance di sostenibilità di una struttura e, quindi, dell'edificio nel suo complesso?
- Come è possibile migliorare la performance di sostenibilità di una struttura tradizionalmente concepita senza nozione di eco-compatibilità?
- Esistono criteri di valutazione per orientare il progettista nel complesso, articolato e talvolta ambiguo mercato delle soluzioni costruttive definite sostenibili?

Come risulta evidente, soggetto principale della progettazione sostenibile sono i sistemi costruttivi (intesi come serie organizzata di conoscenze tecniche e fasi esecutive finalizzate all'edificazione; siano questi sistemi continui o discontinui, tradizionali, evoluti od industrializzati) con particolare riguardo alla classe di unità tecnologiche delle strutture ed alle intercorrenti relazioni fra questa e le altre classi (fra le quali: chiusure, partizioni interne od esterne, impianti, isolamenti ed impermeabilizzazioni e finiture).

Relativamente al suddetto campo di applicazione si presenteranno le performance di sostenibilità ambientale al fine di formulare proposte di metodo per la valutazione, la misurazione e la certificazione delle prestazioni.

A fianco ed a supporto delle consolidate valutazioni di eco-sostenibilità come LCA si aggiungono argomentazioni inerenti, per esempio: la sostenibilità del cantiere, la sicurezza e rapidità di costruzione, la tipologia della filiera di approvvigionamento di materiali e componenti, la prefabbricazione fuori opera, la durabilità dei componenti in opera, l'interconnettibilità fra sub-sistema delle strutture e gli altri sub-sistemi; tutti aspetti, quelli summenzionati, che sono tipici di un approccio integrato progetto-costruzione e che non possono essere implementati in un processo valutativo del tipo LCA. Sebbene poco esplorate, nelle tematiche della sostenibilità, queste argomentazioni aggiuntive sono perfettamente in linea con i più accreditati orientamenti di definizione della sostenibilità ambientale.

Le strutture, secondo un diffuso e tradizionalmente radicato sentire, sono tema spesso appannaggio degli specialisti, ai quali ne è demandata la progettazione ed il controllo dell'esecuzione. Basta però dare uno sguardo a riviste, manuali, pubblicazioni o cataloghi di fiere che hanno per oggetto (dichiarato) l'edilizia sostenibile, per riscontrarvi una proliferazione di soluzioni strutturali pronte che, oltre ad essere ritenute sostenibili a priori (senza dimostrazione di sussistenza dei requisiti di sostenibilità), vengono anche proposte "chiavi in mano" in un tutto unico in combinazione con tecnologie di involucro, sistemi di impianti tecnici e finiture. I destinatari di queste informazioni non sono più solo gli addetti ai lavori, competenti in materia, ma anche e soprattutto i potenziali committenti e, più in generale, i cosiddetti stakeholders.

Questo repentino cambio di impostazione, e di ruoli, sta turbando un ordine radicato da decenni nel processo edilizio: la committenza o l'utenza finale divengono in tal modo direttamente "sponsor" di soluzioni costruttive che non possiedono relazione con le connotazioni estetiche, funzionali ed economiche che in passato erano le uniche di interesse per committenti.

1.2 Definizione di sostenibilità applicata all'edilizia

La genesi oramai riconosciuta, di ogni nozione di sostenibilità la si trova nell'enunciato, del 1987, del Rapporto della Commissione presieduta dalla norvegese Harlem Brundtland (Our Common Future, della Commissione Mondiale sull'Ambiente e lo Sviluppo – WCED):

"Lo sviluppo sostenibile è quello che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri. Il concetto di sviluppo sostenibile implica dei limiti, non limiti assoluti ma imposti dal presente stato dell'organizzazione tecnologica e sociale nell'uso delle risorse ambientali e dalla capacità della biosfera di assorbire gli effetti delle attività umane"

Un altro importante riferimento cui, anche operativamente, è possibile spesso ricollegarsi per valutare la sostenibilità di un processo, è quello della cosiddetta Triple Bottom Line (talora anche indicata con "TBL"). Proposto da John Elkington, nel 1994. Questo concetto, poi sintetizzato nel 1995 nel postulato People, Planet & Profit, condensa in sé i tre presupposti, come rappresentato in fig. 1, che devono simultaneamente essere rispettati affinché si possa definire sostenibile un processo. In sostanza, nella TBL, vengono enunciate le tre dimensioni della performance di un processo (o, estensivamente, di un'azienda), che devono essere valutate all'atto di "tirare la riga finale" del rendiconto (la bottom line, appunto) esse sono:

- people (società): ricomprende le performance di giustizia ed equità sociale, inerenti la qualità della vita, del lavoro, ecc.;
- planet (pianeta-ambiente): include le performance nei confronti dell'impatto che il processo/azienda ha sull'ecosistema, mediante il consumo delle risorse, il rilascio degli inquinanti, l'impatto sulla salute e sulla biosfera in generale;
- profit (economia): è la classica performance di un'attività di lucro, volta al profitto economico valutato come redditività ma anche come ritorno in valore, capitali ed immagine.



Fig. 1 - La logica integrata della Triple Bottom Line, (J. Elkington 1994).

Questa logica, è spesso richiamata nei protocolli di valutazione che conferiscono certificazioni di sostenibilità ad un processo od a un prodotto, proprio perché la TBL è molto affine all'approccio degli stakeholders aziendali.

In quanto di più recente conio ed anche di più stretta pertinenza con il tema delle costruzioni, devono essere menzionate le norme (nazionali ed internazionali come le ISO) che definiscono esigenze e requisiti di sostenibilità in campo edile.

La figura 2, estratta dalla ISO21930:2007, mostra quale sia l'articolazione delle norme ISO sul tema sostenibilità edilizia e come si relazionino le varie norme rispetto ai tre temi della TBL (nella figura, in particolare, evidenziati dalle tre colonne).

Sempre nelle ISO, si segnala la pertinenza delle ISO 14021 e delle ISO 14024 concernenti l'Environmental Label and declarations e le ISO 14047 e 14004 sul tema dell'Environmental management systems.

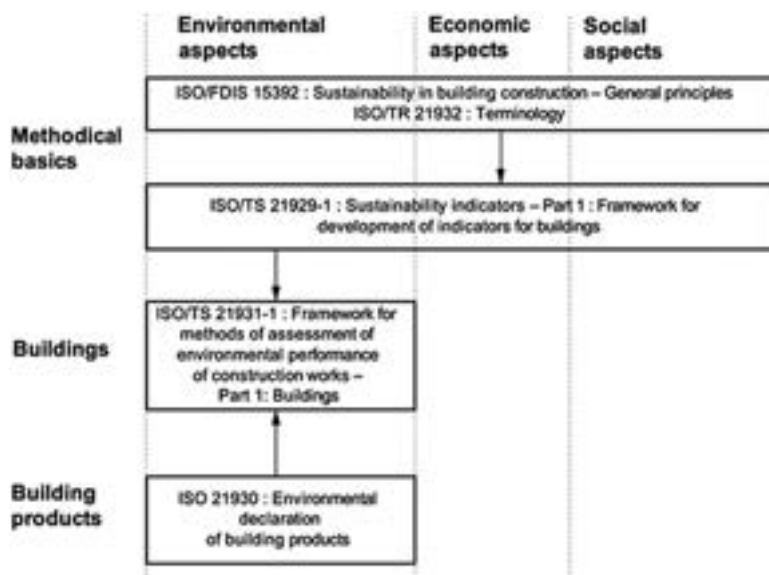


Fig.2 - Articolazione delle ISO nel campo dell'edilizia sostenibile.

Molto importante, perché sinteticamente esplora le classi di esigenze e declina i vari requisiti ad esse afferenti, è la UNI 11277:2008 – Sostenibilità in edilizia. Esigenze e requisiti di ecocompatibilità dei progetti di edifici residenziali e del terziario, di nuova edificazione e ristrutturazione. Nonostante il campo applicativo della UNI suddetta non pertenga l'intero spettro delle funzioni edilizie, sono comunque estrapolabili una generalità di classi di esigenze che al presente discorso interessano al fine di una lettura trasversale e comparata dei vari sistemi di valutazione di cui parleremo in seguito. La norma summenzionata distingue i vari requisiti della sostenibilità in tre classi, definite come sotto riportato:

- Salvaguardia ambientale: insieme delle condizioni relative al mantenimento e miglioramento degli stati dei sovrastemi di cui il sistema edilizio fa parte;
- Utilizzo razionale delle risorse: insieme delle condizioni per utilizzare le risorse dell'ambiente in modo coerente nei confronti degli utenti e dell'ambiente stesso con un regime economico/ambientale definito;
- Benessere, igiene e salute dell'utente: insieme delle condizioni relative a stati del sistema edilizio adeguati alla vita, allo svolgimento delle attività, all'incolumità ed alla salute degli utenti. Le condizioni di benessere fanno riferimento alla percezione sensoriale positiva dell'ambiente da parte dell'utente. Le condizioni di igiene e salute fanno riferimento all'assenza di condizioni patogene e all'incolumità degli utenti, in relazione anche a emissioni di gas tossici, presenza nell'aria di particelle o gas pericolosi, emissioni di radiazioni pericolose, inquinamento o tossicità dell'acqua e del suolo, difetti nell'eliminazione delle acque di scarico, dei fumi e dei rifiuti solidi o liquidi, formazioni di umidità su parti o pareti dell'opera.

Merita un attento esame anche il regolamento UE n. 305/2011 del Parlamento Europeo che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione. Il regolamento UE, che come noto produce la sua efficacia sulle modalità di apposizione della marcatura CE sui prodotti da costruzione, ha introdotto, a fianco dei sei precedenti requisiti imposti ai prodotti da costruzione (resistenza meccanica e stabilità; sicurezza in caso di incendio; Igiene, salute ed ambiente; Sicurezza ed accessibilità nell'uso; Protezione contro il rumore; Risparmio energetico e ritenzione del calore) un settimo requisito: l'uso sostenibile delle risorse naturali.

Questo passaggio legislativo ha impresso concretamente una evoluzione storica anche nel panorama dei componenti e materiali da costruzione. Nell'allegato I del Regolamento summenzionato si definisce il nuovo requisito:

Uso sostenibile delle risorse naturali:

Le opere di costruzione devono essere concepite, realizzate e demolite in modo che l'uso delle risorse naturali sia sostenibile e garantisca in particolare quanto segue:

- a) il riutilizzo o la riciclabilità delle opere di costruzione, dei loro materiali e delle loro parti dopo la demolizione;
- b) la durabilità delle opere di costruzione;
- c) l'uso, nelle opere di costruzione, di materie prime e secondarie ecologicamente compatibili.

Il quadro normativo delle procedure per gli acquisti della pubblica amministrazione in Italia (D.M. 24/11/2015 e s.m.i.) ha recentemente recepito il sistema dei CAM (Criteri Ambientali Minimi) che riguarda, tra le altre categorie di servizi e forniture, anche l'edilizia. I CAM introducono un corpus organico di requisiti di eco-sostenibilità, suddivisi fra prestazioni minime e prestazioni premianti.

Quelli finora menzionati, da un lato, sono i riferimenti basilari, trasversali e universali, con i quali i concetti di sostenibilità debbono giocoforza misurarsi.

Dall'altro lato si trova invece la quotidianità delle verifiche di sostenibilità, fatta di applicazioni, di metodi di certificazione e di certificatori della sostenibilità. Questo mondo, attivo nella concreta applicazione delle logiche di sostenibilità edilizia, è di fatto incardinato su alcuni protocolli di valutazione/certificazione, su protocolli per etichettature di edifici (cfr. Buildings ISO-TS 21931-1, come riportato nel precedente schema) o prodotti per edifici (cfr. Building products ISO 21930).

I più diffusi ed accreditati dei suddetti protocolli sono : BREEAM, LEED, HQE, ITACA, SB100, CASBEE, i quali sono anche detti metodi di Ecolabeling.

Con lo scopo di sintesi fra i suddetti riferimenti ed i vari requisiti che si trovano nei diversi protocolli per la valutazione e certificazione della sostenibilità edilizia sembra utile, effettuare una classificazione degli ambiti tematici in cui possa ripartirsi la sostenibilità applicata in edilizia.

Per pervenire ad una sintesi organica si è operata una comparazione e riduzione delle diverse definizioni degli ambiti tematici o delle tematiche correntemente incontrate quando si tratti di sostenibilità (per esempio le classi di esigenze della UNI 11277:2008) nonché degli ambiti tematici dei più importanti protocolli per la certificazione degli edifici e dell'edilizia.

La struttura delle performances di sostenibilità, che si ottiene con la suddetta operazione di sintesi, si articola in sei categorie, anche definibili come "ambiti tematici".

Tutti assieme, i sei ambiti, raggruppano e inquadrano le performances richieste ad un edificio od un'attività edilizia (sia essa, ad esempio, una ristrutturazione rilevante oppure l'insediamento di un nuovo quartiere) in termini di sostenibilità.

1.2.1 Efficienza nel consumo delle risorse

L'efficienza notoriamente volta alla limitazione dell'impatto sull'ambiente e si concreta non solo limitando il consumo energetico dell'edificio (fino ad annullarlo o invertendolo in un saldo positivo di sovra-produzione); le risorse naturali/ambientali tengono in conto anche il suolo, l'acqua, l'aria e più in generale l'ecosistema. La presente area tematica, quindi, accoglie molte delle più importanti performances di sostenibilità (misurate con vari e diversi indici di impatto) che, ad esempio, sono sovente contemplate nelle Life Cycle Assessment (LCA). L'attenzione, in questo ambito, è rivolta all'impatto dell'edificio durante la sua vita, durante il periodo del suo funzionamento, quale esso fosse una macchina che consuma risorse ed energia e rilascia in ambiente prodotti (tra cui anche energia) e scarti.

La più importante performance da tenere in conto, quando trattasi di costruzioni è certamente quella energetica: in primis l'energia per il riscaldamento/condizionamento ed in seconda battuta l'energia per illuminare, la f.e.m. per gli apparati meccanici, l'energia termica per cucinare, ecc. L'analisi energetica è il primo passo da effettuare e solo dopo questo passaggio obbligato ha senso parlare di altri tipi di prestazioni ambientali (si riporta una rappresentazione grafica di quanto sopra in fig.3). Tuttavia, una volta ottimizzata la prestazione energetica (fino a livelli ZERO ENERGY), l'edificio deve anche ottimizzare il suo consumo di acqua potabile (per usi umani ma anche per l'irrigazione), deve ottimizzare la sua produzione di rifiuti e liquami. Prima ancora di sorgere, inoltre, l'edificio deve essere progettato in modo da ridurre il consumo di suolo e di risorse in generale.

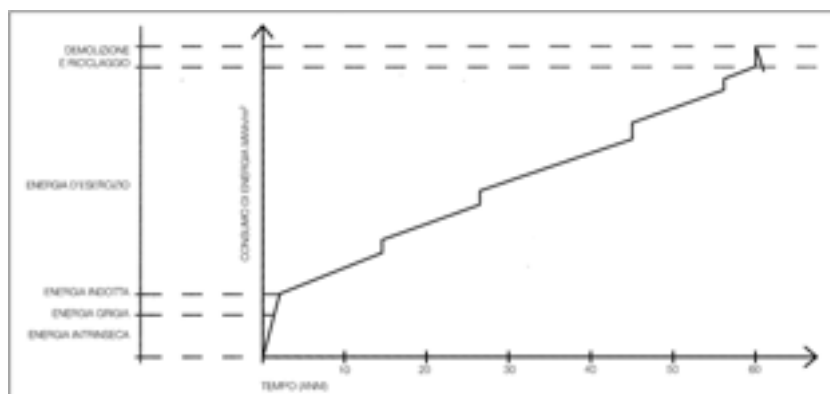


Fig. 3- Energia consumata da un edificio "tradizionale", valutata nel dominio del tempo su tutto l'arco di vita, dalla produzione alla fine vita. L'energia della fase di esercizio, è predominante rispetto alle altre componenti. I piccoli salti della fase d'esercizio rappresentano l'energia spesa per interventi manutentivi ordinari/straordinari.

1.2.2 Limitazione dell'impatto dei materiali costruttivi e studio delle migliori tecniche

È questo l'ambito della **Bioedilizia**, ossia dello studio delle tecniche e dei materiali che ottimizzano la prestazione ambientale *from the Cradle to Grave*, limitando l'impatto (*footprint*) ambientale dell'edificio, facilitandone la manutenzione, aumentandone la durabilità e facilitando, a fine vita, il riciclaggio e lo smaltimento di materiali e componenti il sistema tecnologico. L'attenzione, per questo ambito tematico, è rivolta particolarmente alla fase di produzione/costruzione dell'edificio nonché al suo fine vita, in un approccio complementare con quello del precedente punto.

I parametri di valutazione della performance di impatto ambientale spaziano dall'energia incorporata (e rappresentata anche nel precedente grafico), alle varie risorse incorporate/rilasciate nel processo di costruzione, di smaltimento e riciclaggio a fine vita.

1.2.3 Ottimizzazione del rapporto fra edificio ed ambiente circostante

Costituisce, quello qui analizzato, un ambito piuttosto trasversale agli altri, soprattutto contiguo al primo, con il quale intesse indiscutibili interrelazioni. Questa area tematica si rivolge all'ottimizzazione del rapporto fra l'edificio e l'ambiente circostante, declinando quest'ultimo tramite i seguenti fattori prevalenti:

- Sole (irraggiamento/ombra);
- Vento e brezze;
- Acqua ed umidità ambientale;
- Suolo e vegetazione;
- Visuali e prospettiva.

È questo l'ambito consueto di applicazione della **progettazione bioclimatica**.

Rispetto alle questioni notoriamente misurabili ed ingegnerizzabili dell'efficienza nel consumo delle risorse (in primis quella energetica), ricadenti nel primo punto, nell'area in esame si annoverano anche performances più sfuggenti ad un controllo meramente numerico quali, ad esempio: la salubrità dell'ambiente esterno, lo smaltimento degli inquinanti (es. con la ventilazione naturale), la corretta ombreggiatura e/o soleggiamento dell'edificio anche tramite l'uso della vegetazione esterna, il corretto inserimento dell'edificio nel contesto da un punto di vista visivo-percettivo, la corretta progettazione del verde esterno (per esempio nei confronti della riduzione dell'effetto isola di calore), la corretta progettazione dell'illuminazione notturna esterna (riduzione dell'inquinamento luminoso); tutti aspetti che pertengono la interrelazione che corre fra edificio e suo contesto.

1.2.4 Salubrità e comfort ambientale interno

La classe di esigenze qui descritta raggruppa tutti quei requisiti rivolti alla tutela della salute umana all'interno dell'edificio o nelle sue immediate vicinanze nonché la qualità di vita, intesa come *comfort* (visivo, termoisometrico, olfattivo, acustico). Le tematiche sono tipicamente appannaggio della **bioarchitettura**,

che fin dai suoi primi passi ha avuto fra i primi obiettivi la salubrità dei materiali da costruzione (in primis praticata con l'impiego di materiali "naturali", in contrapposizione a quelli "artificiali").

Possono annoverarsi in questa classe di esigenze, ad esempio, i seguenti requisiti:

- certificazione dei materiali basso-emissivi (ad esempio di VOC – Composti Organici Volatili),
- riduzione dei campi elettromagnetici indoor (di alte e basse frequenze),
- controllo delle concentrazioni indoor del radon effluente dal suolo, controllo del comfort acustico, controllo del confort visivo dovuto all'illuminazione naturale, corretta percezione dell'esterno, controllo degli inquinanti dell'aria indoor (sia tramite la ventilazione naturale che mediante il monitoraggio ed il ricambio mediante impianti HVAC), controllo del fumo di tabacco, controllo del confort termo-isometrico indoor. È indubbia la contiguità ed interrelazione di questa area tematica con la EDI, soprattutto in materia di scelta dei materiali e delle tecniche di posa.

1.2.5 Sicurezza, manutenzione e gestione

La classe di esigenze qui descritta raggruppa tematiche piuttosto disomogenee fra loro, ma accomunate dal dipendere tutte, già in sede di concezione dell'edificio, da una corretta pianificazione, da una programmazione di costruzione, dalla corretta scelta di alcuni materiali o dei sistemi impiantistici.

L'area qui denominata attiene prevalentemente sia all'ambito *people* che a quello *profit* della classificazione *TBL*. Sono infatti in essa ricompresi tutti quei requisiti volti alla qualità di conduzione dell'edificio, come ad esempio la disponibilità di manuali d'uso, di elaborati *as-built*, di sistemi di monitoraggio dei consumi. La corretta gestione passa anche dalla facile ed economica manutenzione, attuata mediante l'adozione di materiali e componenti facilmente manutenibili e di lunga durabilità (si pensi a componenti e materiali dell'involucro edilizio, la cui scelta talvolta, risulta a posteriori causa di grande dispendio di risorse manutentive).

Sono contemplati in SMG anche tutti gli aspetti relativi alla sicurezza e salubrità del cantiere di costruzione (ed eventualmente anche di manutenzione), ovviamente con un livello di performance richiesta superiore al normale *stato dell'arte*.

Sono ricompresi in questa famiglia anche i requisiti che riguardano le dotazioni e predisposizioni dell'edificio che facilitino stili di vita virtuosi (ad esempio: mobilità urbana sostenibile e gestione sostenibile dei rifiuti solidi urbani) come pure quelli che propugnano un approccio integrato alla progettazione, fin dalle prime fasi, in modo da ottimizzare il progetto e promuovere fin da subito i requisiti di sostenibilità.

1.2.6 Aspetti etici e sociali

Quest'ultima classe di requisiti, che sovente non è esplicitamente presente nei protocolli di ecolabeling del costruito, fornisce una corretta classificazione ad una serie di aspetti che trovano la loro prevalente afferenza nella sfera *People* della TBL.

Scorrendo i vari protocolli di ecolabeling si trovano requisiti che prevedono, ad esempio, politiche inclusive, speciali dotazioni per utenti disabili, per famiglie, per bambini, oppure che privilegiano l'impiego di tecniche costruttive locali. In questa categoria ricadono pure quei requisiti che si prefiggono la tutela di valori culturali o storici presenti nel contesto o in un edificio oggetto di ristrutturazione.

È interessante osservare che, in genere, rispetto ad aspetti maggioritari e prevalenti quali i precedenti requisiti elencati, le performances dell'area in questione vengono spesso applicate come requisiti aventi potere di "deroga" rispetto agli altri, qualora l'esigenza sociale possa giudicarsi meritevole pure essa di tutela.

In sintesi la struttura delle 6 classi di requisiti sopra descritti è rappresentata nella fig. 4:

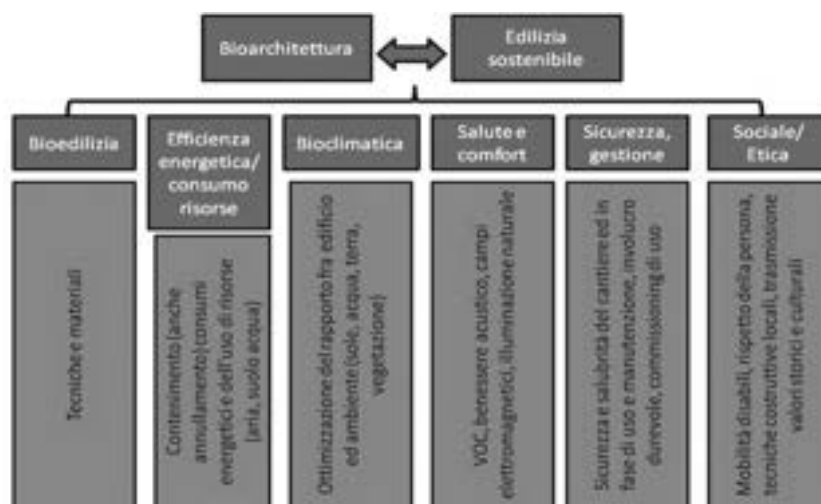


Fig. 4 - Classi di requisiti della sostenibilità applicata all'edilizia.

1.3 Metodi di valutazione della sostenibilità in edilizia: LCA, ecolabeling, eco-certificazioni

Si presenta una rassegna dei principali procedimenti di valutazione della sostenibilità in edilizia i quali :

- misurano la risposta in termini prestazionali alle esigenze di sostenibilità;
- traducono e sintetizzano in un dato, od in una sintesi di dati, i valori prestazionali raggiunti;
- sono utili per un miglioramento della performance di quell'edificio in progetto, od in generale dell'approccio alla progettazione eco-sostenibile.

Il tutto è sintetizzato dallo schema in fig. 5:



Fig. 5 - Obiettivi dei metodi di valutazione della sostenibilità

I metodi di valutazione possono essere classificati (secondo Manfron) in :

qualitativi:

- sintetici: descrivono la sussistenza o meno di una prestazione di sostenibilità (del tipo true/false: T/F);
- analitici: pervengono alla valutazione qualitativa sintetica mediante una scomposizione analitica della prestazione mediante procedure comunque qualitative (T/F);

quantitativi:

- ponderali senza soglia: che misurano la prestazione mediante un mix di indici, fra loro valutati complessivamente in un valore numerico finale mediante un'operazione di pesatura (metodo ponderale). In generale questi metodi sono utili al confronto fra due possibili ipotesi: quella con punteggio migliore è la più sostenibile.
- ponderali con soglia: come i precedenti, ma che confrontano il valore finale con una soglia minima prestazionale; Il metodo può prevedere un sistema di premi a punteggi via via crescenti.
- mono-indice a soglia: si misura la prestazione con un solo indice e la si confronta con un limite a soglia. Il metodo può prevedere premi a punteggi via via crescenti.

misti:

ibridi fra le due categorie precedenti.

A seguire si propone una sistematica rassegna dei metodi di valutazione della sostenibilità, sempre riconducibili alle suddette categorie e con le caratteristiche sopra classificate.

1.3.1 Life Cycle Assessment (LCA)

LCA è l'acronimo di Life Cycle Assessment che in italiano viene tradotto in valutazione del ciclo di vita. L'obiettivo di questo strumento a supporto delle decisioni è quello di soppesare l'impronta ecologica di un prodotto, un processo, un'attività o una gestione, durante tutte le sue fasi di espletamento.

Le origini delle Life Cycle Assessment possono essere rintracciate agli inizi degli anni '60 quando furono redatti i primi bilanci energetici e di massa, spinti dalla crescente preoccupazione per l'esauribilità delle risorse fossili.

Lo studio che si ritiene abbia gettato le basi dell'attuale metodologia venne pubblicato nel 1974 dal Midwest Research Institute: uno studio comparativo su nove diversi contenitori per bevande; si passò per la prima volta ad uno studio di prodotti e non più a singoli processi industriali ai quali era stata fino ad allora applicata la metodologia. Un nuovo impulso a questo genere di lavori si è avuto negli anni '80 allorché, su scala mondiale, si è affermato il problema dei rifiuti solidi. In questo contesto, tra gli anni '80 e '90, le LCA si sono evidenziate come strumento idoneo all'analisi di problemi ambientali; contemporaneamente si è sviluppato l'interesse per la valutazione dei potenziali impatti legati allo sfruttamento delle risorse e alle emissioni nell'ambiente, approfondendo ulteriormente la valutazione rispetto alla

semplice contabilizzazione di consumi ed emissioni. Con gli anni '90 si è avviato un processo di standardizzazione del metodo, concretizzatosi sia nella pubblicazione di manuali da parte di diversi gruppi di ricerca, sia nella pubblicazione, nel 1997, delle ISO 14040.

Una definizione delle LCA si trova nella norma UNI EN ISO 14040: "compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita dei flussi in entrata e in uscita, nonché i potenziali impatti ambientali, di un sistema di prodotto."

È opportuno riportare, in quanto altrettanto esplicativa, la definizione proposta dalSETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry), che descrive la LCA come: "processo oggettivo di valutazione dei carichi ambientali connessi con un prodotto, processo o attività, condotto attraverso l'identificazione e la quantificazione dell'energia e dei materiali impiegati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente, per valutare l'impatto di questi usi di energia e materiali e rilasci nell'ambiente, e per vagliare e realizzare le opportunità di miglioramento ambientale. La valutazione include l'intero ciclo di vita del prodotto, processo o attività, includendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto e la distribuzione, l'uso, il riuso, la manutenzione, il riciclo e lo smaltimento finale."

Le linee guida di riferimento per le LCA sono le norme ISO della serie 14040:

- UNI EN ISO 14040 (1998) Gestione ambientale, Valutazione del ciclo di vita, Principi di riferimento;
- UNI EN ISO 14041 (1999) Gestione ambientale, Valutazione del ciclo di vita, Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione e analisi d'inventario;
- UNI EN ISO 14042 (2000) Gestione ambientale, Valutazione del ciclo di vita, Valutazione dell'impatto del ciclo di vita;
- UNI EN ISO 14043 (2000) Gestione ambientale, Valutazione del ciclo di vita, Interpretazione del ciclo di vita.

La standardizzazione introdotta dalla norma ISO 14040 permette di poter eseguire e, se del caso certificare, uno studio LCA secondo uno schema prestabilito che consenta, in particolare, di evidenziare le caratteristiche di completezza, affidabilità e riproducibilità dell'analisi. La norma prevede la possibilità di un controllo da parte di revisori interni ed esterni ed eventualmente una certificazione da parte di un ente di certificazione riconosciuto. Quanto detto dimostra che l'intento principale sia stato quello di dotare gli studi LCA di requisiti essenziali che ne permettano un utilizzo come riferimento per gli eventuali miglioramenti che si intendono apportare al sistema oggetto dello studio.

La procedura di LCA si compone di quattro fasi:

- Fase 1: Definizione degli scopi e degli obiettivi, fondamentale per definire il processo o l'unità funzionale oggetto di disamina ed i confini dello studio;
- Fase 2: Analisi di inventario (life cycle inventory – LCI), attraverso lo studio del ciclo di vita del processo. In questa fase deve essere ricostruito un modello analogico del processo in esame, che tenga conto del flusso di materiali ed energia di tutti i processi coinvolti ;
- Fase 3: Analisi degli impatti ambientali provocati dal processo (life cycle impact assessment – LCIA), che evidenzia l'entità dei rilasci in ambiente e dei consumi di risorse calcolati nell'inventario;
- Fase 4: Interpretazione e miglioramento dei risultati (life cycle interpretation) utile a proporre i cambiamenti necessari a ridurre l'impatto ambientale dei processi considerati.

Nelle LCA viene definito "sistema" un qualsiasi insieme di dispositivi e/o operazioni che realizzano una o più precise funzioni; esso è delimitato da appropriati confini fisici rispetto al sistema ambiente e con questo ha rapporti di scambio caratterizzati da una serie di input e output. Tali sistemi contengono un gran numero di operazioni collegate tra loro, anche in modo complesso, dai flussi di materiale, di energia e di prodotti finali. Per ciascun sistema devono essere definiti i confini temporali, i confini geografici ed il livello tecnologico:

- Confini temporali: i confini temporali individuano l'intervallo temporale nel quale i potenziali impatti del prodotto (o della attività) sono valutati;
- Confini geografici: l'assunzione di contesti geografici differenti può portare a risultati notevolmente diversi tra loro, in quanto diversi saranno i dati impiegati relativamente ad alcuni processi.
- Livello tecnologico: oltre ai confini temporali e geografici, si deve precisare il livello tecnologico contestuale che viene assunto per l'analisi.

L'approccio dalla culla alla tomba (Cradle to Grave) di uno studio di LCA dovrebbe comprendere tutte le fasi del ciclo di vita. Molto spesso questo richiede un eccessivo (quando non inutile) dispendio di risorse, si può allora decidere di limitare lo studio

ad alcune fasi avendo l'accortezza di specificare quali sono i confini del sistema considerato e, conseguentemente, evidenziare quali i sono processi trascurati nonché le motivazioni delle semplificazioni adottate.

Il ciclo di vita di ogni prodotto (od attività) può essere scomposto in fasi:

- acquisizione delle materie prime;
- produzione;
- trasporto/distribuzione;
- per un edificio va considerata anche la costruzione;
- uso / riuso / manutenzione;
- riciclo;
- per un edificio va considerata anche la de-costruzione;
- gestione dei rifiuti.

Come già accennato il metodo LCA nasce in ambito industriale e solo successivamente è stato "trasferito" e applicato al settore delle costruzioni, con non pochi ostacoli e difficoltà, connesse alla peculiarità del settore.

La valutazione degli impatti, che può differire nella individuazione degli indicatori e del metodo di pesatura degli stessi, può essere effettuata con diversi criteri. Un sintetico elenco dei metodi di valutazione è il seguente:

- Ecoindicator 99;
- Ecosystem Damage Potential – EDP;
- Environmental Design of Industrial Products – EDIP;
- Environmental Priority Strategy in product design – EPS2000;
- IMPACT2002+;
- IPCC2001 (pubblicato da IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change);
- Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts – TRACI.

Per effettuare l'analisi dell'impatto ambientale nel ciclo di vita di un prodotto (od una attività) sono disponibili sul mercato numerosissimi ausili software che implementano le fasi LCI e LCIA, attingendo i dati da più database di riferimento. Quasi tutti i suddetti software sono basati sulla stessa metodologia ed hanno, quindi, molte caratteristiche comuni: ad esempio in ogni software viene considerata l'estrazione delle materie prime, la produzione ed il trasporto dei materiali, la costruzione in-situ, l'occupazione, la

Per effettuare l'analisi dell'impatto ambientale nel ciclo di vita di un prodotto (od una attività) sono disponibili sul mercato numerosissimi ausili software che implementano le fasi LCI e LCIA, attingendo i dati da più database di riferimento. Quasi tutti i suddetti software sono basati sulla stessa metodologia ed hanno, quindi, molte caratteristiche comuni: ad esempio in ogni software viene considerata l'estrazione delle materie prime, la produzione ed il trasporto dei materiali, la costruzione in-situ, l'occupazione, la demolizione ed il successivo riuso, riciclaggio e smaltimento dei materiali.

Ogni criterio di valutazione e pesatura, operato anche tramite l'ausilio del software, può attingere a diversi database cui trarre le quantificazioni degli indici per le più disparate categorie di prodotti nelle più diverse categorie merceologiche. I database sono in genere relazionati al settore cui afferisce la valutazione LCA e sono "vincolati" dal software che si utilizza. I principali database sono Econivent, LCA Food, ELCD, US LCI, GaBi, Australian LCI DB ed altri.

Ad esempio nelle analisi effettuate tramite l'ausilio del software SimaPro, sono presi in considerazione i seguenti metodi di valutazione dell'impatto ambientale Eco-indicator 99, sviluppato dalla Pré (Product Ecology Consultants, la stessa che sviluppa e commercializza il software SimaPro) per conto del ministero dell'Ambiente Olandese. È uno strumento molto efficace per i progettisti poiché consente di aggregare i risultati di un LCA in grandezze o parametri facilmente comprensibili ed utilizzabili, chiamati

Eco-indicatori. La peculiarità di questo metodo è la possibilità di assumere diverse sfumature, specialmente per quanto riguarda la valutazione, a seconda degli atteggiamenti e delle convinzioni di ogni persona. Per consentire una rappresentazione più sfaccettata dei risultati, esso è stato pensato in tre distinte versioni, ognuna delle quali rappresenta una certa tipologia di individui. Per definire le “classi di persone” si è fatto uso della Cultural Theory di Michael Thompson (1990), la quale distingue cinque principali sistemi di valori (anche detti archetipi). Eco Indicator ne considera solamente tre:

- Individualista, è una persona libera da qualsiasi legame, nella sua visione tutto è provvisorio.
- Egalitario, possiede un forte attaccamento al gruppo, ma non alle sue imposizioni.
- Gerarchico, è un soggetto che possiede forti legami sia con il gruppo sia con le sue regole.

L'uso della Cultural Theory permette di sviluppare, per ciascuno dei tre archetipi prescelti, un'ampia gamma di atteggiamenti e convinzioni che vanno a costituire una base importante per lo sviluppo della modellizzazione delle scelte personali. Non si ha un unico modello, ma tre distinte versioni dello stesso modello. Il metodo richiede in primo luogo un inventario di tutte le emissioni e di tutti i consumi di risorse da attribuire al prodotto nel suo intero ciclo di vita, si ha così un elenco di emissioni, consumi di risorse e di impatti di altro tipo che, inserito in una tabella, prende il nome di inventory result. Il metodo valuta esclusivamente tre tipi (o categorie) di danno ambientale, ciascuno dei quali composto da diversi impatti:

- Salute Umana;
- Qualità dell'ecosistema;
- Esaurimento delle risorse.

Ogni categoria di danno è suddivisa in categorie d'impatto. Per la valutazione del danno occorre confrontare fra loro valori ottenuti per le tre categorie. Poiché sono caratterizzate da differenti unità di misura (DAILY, PDF, MJ, Surplus) è necessaria la fase di normalizzazione, nella quale i risultati sono rapportati ad un valore di riferimento.

La fase di valutazione consente di esprimere l'impatto prodotto dall'oggetto analizzato attraverso un indice ambientale finale. I valori degli effetti normalizzati vengono moltiplicati per i fattori di peso di valutazione relativi alle varie categorie di danno e sommati in modo da ottenere un unico valore, l'Eco-indicator (espresso in punti) che quantifica l'impatto associato al prodotto o processo.

1.3.2 Metodi di ecolabeling dell'edilizia a “punteggi”

In parallelo alle valutazioni LCA si sono diffuse le valutazioni della sostenibilità edilizia con i metodi a punteggi (detti di Ecolabeling); questi ultimi sono nati con la finalità di attribuire un'etichettatura ambientale (Eco-Label) agli edifici esaminati. Grazie alla certificazione (l'etichettatura) la performance complessiva di ecosostenibilità è tradotta, evidenziata e resa di facile assimilazione anche ai non addetti ai lavori, gli utenti finali.

I metodi a punteggi funzionano come una “pagella ambientale” dell'edificio, che viene quindi valutato secondo diversi aspetti (requisiti) raggruppati in classi (classi di requisiti). I metodi a punteggi appartengono alla categoria dei metodi misti, componendosi infatti sia di parti qualitative (più spesso analitiche piuttosto che sintetiche), che di parti quantitative (sia ponderali con soglia che mono-indice). In tutti i casi, comunque, è prevista una soglia o comunque una minima sussistenza di un requisito.

Al superamento della soglia di ogni singolo requisito sono attribuiti dei punti (talvolta anche scalati in ragione della prestazione). I punti, alla fine, vengono sommati (talvolta è prevista una operazione di ponderazione, funzionalmente alla importanza che il requisito superato possiede) e concorrono a totalizzare un punteggio finale che genera una graduatoria di merito. La graduatoria prevede, solitamente, un livello minimo per ottenere la certificazione e livelli meritori successivi, scalati fino al massimo punteggio. Alcuni protocolli attribuiscono etichettature molto intuitive e riconoscibili ai livelli prestazionali ammessi (da sufficiente ad eccezionale per il BREEAM, da base a platino per il LEED).

I metodi a punteggi dipendono strettamente dalla tipologia, dimensione e destinazione dell'edificio. Ad esempio, un requisito in materia di performance energetica (ancorché specifico, per unità di superficie,

come ad esempio la prestazione espressa $\text{kWh/mq} \times \text{anno}$) non può contemplare le stesse soglie sia per gli edifici residenziali che per quelli commerciali, per i nuovi edifici o per le ristrutturazioni rilevanti. Non può neppure essere calcolato nello stesso modo sia per una nuova costruzione civile che per una industriale. Ecco, pertanto, che i protocolli si adattano alle diverse fattispecie (magari raggruppando categorie simili di edifici) con diverse edizioni o versioni, ciascuna con caratteristiche “cucite” in funzione della tipologia e/o delle destinazioni d’uso.

Basta scorrere la lista di requisiti di un qualsiasi metodo a punteggi per cogliere la profonda differenza che intercorre tra questo metodo di valutazione e quelli LCA.

Se, da un lato, le LCA consentono valutazioni molto accurate, caratterizzate da un rigore quantitativo nella stima dell’impatto ambientale dell’edificio (sia nella fase di costruzione che in quella di uso e fine vita) è indubbio che queste non potranno cogliere aspetti più difficilmente quantificabili, ma non meno importanti o trascurabili, quali, ad esempio, quelli dell’area SMG (sicurezza e gestione) oppure dell’area SOC (sociale ed etica). Molto più facile, infatti, per le LCA valutare le prestazioni nell’area RIS (consumo delle risorse), oppure EDI (impatto dei materiali e delle tecniche costruttive), come anche in QI (qualità ambientale), laddove queste hanno chiare impronte ambientabili misurabili con gli indicatori di impatto delle LCA. D’altro canto, le valutazioni a punteggi possiedono il difetto di essere elaborate in un determinato contesto geografico/economico/climatico e pertanto risentono di tale limitazione. Sono inoltre scritte sulla base dello stato dell’arte, degli standard normativi o degli usi e consuetudini nel campo delle costruzioni in un preciso momento storico. Una variazione di contesto, pertanto, richiede una correzione dei requisiti e/o delle soglie contenute nel

metodo a punteggi. Paradigmatico è, infatti, il benchmarking del protocollo ITACA, che si riferisce, nel suo zero della scala, proprio all’uso costruttivo corrente o, se presente, al minimo di norma per una data prestazione (e.g. energetica, illuminotecnica, di produzione di rinnovabili in situ, ecc.).

Il fatto che le LCA non producano una valutazione confrontabile con un minimo è un altro aspetto che differenzia i due approcci di valutazione: nel caso delle LCA è necessario operare un confronto fra due sistemi (e.g.: due edifici scolastici, alcune alternative di tamponamento opaco, due soluzioni strutturali per uno stesso edificio, ecc.). La relatività delle LCA le rende quindi valide per confronti fra alternative, oppure per la ricerca di un miglioramento di una soluzione tramite modifiche od aggiustamenti. Le LCA, però, non possono offrire la stessa finalizzazione dei metodi a punteggi, che a causa della loro assolutezza nel conferire il punteggio finale, possono essere usate per etichettare un edificio, senza necessariamente confrontarlo con un altro di riferimento.

Va anche sottolineato che una valutazione LCA che coinvolge un edificio nel suo complesso, è un’operazione complessa e non scevra da passaggi potenzialmente arbitrari che possono inficiare, quantomeno in parte, il rigore quantitativo del metodo. Ben più semplice ed agevole, invece, è la valutazione LCA operata su componenti o sottosistemi o porzioni rappresentative unità tecnologiche (quale, ad esempio, porzioni di involucro, oppure, come si vedrà in seguito, sistemi costruttivi).

I metodi a punteggi, risultano inapplicabili su parti di edifici ed in particolare del sistema tecnologico, sebbene in genere

molti requisiti si focalizzano proprio su questi aspetti (in caso di parzializzazione, i metodi a punteggi vengono amputati della possibilità di certificazione, che può esplicarsi solo a seguito di una completa applicazione del protocollo sull’intero edificio).

Dall’analisi comparata pregi/difetti è possibile ravvisare in sintesi una complementarità fra metodiche LCA ed Ecolabeling.

La nascita e la diffusione dei metodi a punteggi, nel tempo, è avvenuta nei diversi ambiti regionali e politici, cui è seguita l’esportazione di alcuni protocolli anche fuori dai confini nativi; vi è quindi una stretta interrelazione fra geografia e diffusione dei protocolli.

I principali protocolli di valutazione a punteggi sono funzionali ad un’etichettatura di tipo volontaristico degli edifici e che i protocolli sono solitamente gestiti da enti od associazioni (in genere di diritto privato) che ne detengono i diritti di diffusione, pubblicazione, modifica, aggiornamento, nonché quelli di certificazione di terzo soggetto.

Partendo nella rassegna dall’ambito italiano possiamo qui elencare e saranno dettagliati nei seguenti paragrafi:

- Protocollo ITACA

- Protocollo SB100
- CasaClima Nature
- BREEAM
- LEED

1.3.2.1 Protocollo ITACA

Sviluppato dal Consorzio nato diversi anni fa dall'esigenza delle Regioni italiane di dotarsi di strumenti validi per supportare politiche territoriali di promozione della sostenibilità ambientale nel settore delle costruzioni, è stato realizzato da ITACA (Istituto per l'innovazione e Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale – Associazione nazionale delle Regioni e delle Province autonome), nell'ambito del Gruppo di lavoro interregionale per l'Edilizia Sostenibile istituito nel dicembre 2001, con il supporto tecnico di iisBE Italia (international initiative for a Sustainable Built Environment Italia) e ITC-CNR, ed approvato il 15 gennaio 2004 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome. In seguito, il Protocollo è stato adottato da numerose Regioni e amministrazioni comunali, in diverse iniziative volte a promuovere ed incentivare l'edilizia sostenibile attraverso: leggi regionali, regolamenti edilizi, gare d'appalto, piani urbanistici, ecc.

Il Protocollo è derivato dal modello di valutazione internazionale SBTool, sviluppato nell'ambito del processo di ricerca Green Building Challenge, contestualizzato al territorio italiano in relazione alla normativa di riferimento ed ai propri caratteri ambientali.

Il protocollo ha diverse versioni, specificamente scritte per la valutazione di edifici residenziali, commerciali, scolastici, industriali, ecc. In ogni versione sono presenti contemporaneamente opzioni per la nuova edificazione o le ristrutturazioni rilevanti.

ITACA suddivide i vari requisiti (ciascuno esplicitato tramite una "scheda criterio") in cinque aree di valutazione (le classi di requisiti): Qualità del sito / Consumo di risorse / Carichi ambientali / Qualità ambientale Indoor / Qualità del servizio.

Per la ricchezza di schede, la qualità scientifica delle valutazioni ivi riportate e, non ultima, la rilevanza (in alcuni contesti anche avente riflessi su norme cogenti quali le norme di governo del territorio), ITACA è in Italia un protocollo di affidabile riferimento. Si riporta in fig. 6 la struttura sinottica del protocollo ITACA.





Fig. 6 – struttura, criteri, scala di prestazioni e scala di valutazione del protocollo ITACA

1.3.2.2 Protocollo SB100

(Sustainable Building with 100 actions) promosso da ANAB (Associazione Nazionale Architettura Bioecologica).

SB100 raccoglie 100 “azioni” (i requisiti) in 10 aree di valutazione:

Energia / Acqua / Materiali / Rifiuti / Salute / Comfort / Contesto / Informazione / Costi / Gestione.

1.3.2.3 Casaclima Nature

Diffuso dalla Agenzia Casaclima della Provincia Autonoma di Bolzano. Si affianca alla nota certificazione energetica rilasciata dall'Agenzia Casaclima, integrandola con i seguenti aspetti:

Indice di efficienza dell'involucro, Indice emissione CO₂, Impatto ambientale materiali da costruzione, Indice di impatto idrico, Qualità dell'aria interna, Illuminazione naturale, Comfort acustico, Protezione dal gas Radon.

Il percorso di valutazione (che prevede il superamento dei livelli prestazionali minimi per tutti i requisiti suddetti) è finalizzato al rilascio di una certificazione. Un software sviluppato e diffuso dall'Agenzia Casaclima facilita l'implementazione dei dati e l'elaborazione dei risultati.

1.3.2.4 LEED

(Leadership in Energy and Environmental Design) che è gestito da USGBC (United States Green Building Council). Esistono numerose versioni di LEED, valide per diverse fattispecie applicative (residenze, scuole, ospedali, quartieri, ristrutturazioni, negozi, ecc.). In Italia, tramite il GBC Italia, sono tradotte e

sviluppate alcune versioni di LEED (Nuove Costruzioni, Home, Quartieri e Historic Building-HB) che sono adattate alla realtà italiana. GBC Italia cura, con l'ausilio di tecnici, esperti del settore, aziende partner e ricercatori universitari, l'aggiornamento delle versioni esistenti, la traduzione di quelle USGBC e la stesura di nuovi protocolli (come, per esempio, LEED HB). La diffusione di LEED è ormai pressoché globale, con edifici certificati in tutto il mondo.

LEED suddivide i vari requisiti che lo compongono nelle seguenti aree:

Sostenibilità del sito / Gestione delle acque / Energia ed Atmosfera / Materiali e Risorse / Qualità ambientale interna / Innovazione nella progettazione / Priorità Regionale.

Alle suddette classi di requisiti si aggiungono di volta in volta diverse classi che meglio possono cogliere la tipicità del campo di applicazione (ad esempio l'area Valenza Storica per LEED HB oppure Organizzazione e Programmazione del Quartiere in LEED Quartieri).

LEED prevede diversi livelli di prestazione (esito della somma dei punti totalizzati), che vanno dal Base all'Argento all'Oro al Platino. I livelli sono certificati dall'ente terzo certificatore.

1.3.2.5 BREEAM

Sviluppato dall'istituto britannico BRE (Building Research Establishment), in condivisione con altri partner, e diffuso a partire dagli anni '90. Come nel caso di LEED anche BREEAM possiede numerose versioni che calzano per diverse fattispecie applicative (sanità, industria, uffici, scuole, residenze, ecc.). Anche BREEAM, come LEED, è molto diffuso in tutto il pianeta, in 72 nazioni e con già 538090 certificati emessi (dato al febbraio 2016). Anche BREEAM suddivide i requisiti in classi (categorie):

Energia / Salute e benessere / Innovazione / Uso del suolo / Materiali / Gestione / Inquinamento / Trasporti / Rifiuti / Acqua.

In funzione del punteggio ottenuto con BREEAM si possono conseguire e ottenere i certificati per i livelli: Eccezionale, Eccellente, Molto Buono, Buono, Sufficiente.

BREEAM e LEED sono, senza dubbio, i protocolli maggiormente diffusi ed accreditati, soprattutto preferiti dai maggiori investitori Real Estate che attribuiscono un apprezzamento economico ad investimenti immobiliari dotati di questi tipi di certificazioni.

Nelle varie realtà locali nazionali o regionali troviamo anche altri protocolli, quali HQE (Haute Qualité Environnementale, Francia), DGNB (Deutsches Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, Germania), CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency, Giappone); tutti operano con principi e criteri analoghi a quelli già esposti.

1.3.3 Certificazioni ambientali volontarie di prodotti e materiali per l'edilizia

Le valutazioni con LCA o con i metodi a punteggi descritte operano, pur con le opportune differenze dei due approcci, su edifici o parti significative degli stessi. Nel caso delle LCA le minime parti valutabili hanno, in genere, un'autonomia funzionale (trattandosi, ad esempio, di campionature di coperture, pareti, serramenti o strutture).

Al progettista si offrono, tuttavia, anche altre possibilità per soddisfare gli obiettivi primari della sostenibilità: vi è la possibilità, infatti, di selezionare specificamente materiali e componenti edilizi che possiedano adeguate e primarie certificazioni di sostenibilità.

In realtà la scelta di prodotti in possesso di certificazioni di eco-sostenibilità è già parzialmente contemplata in molti metodi a punteggi, tramite specifici requisiti ascrivibili alle categorie [EDI] o [RIS]. Le valutazioni LCA, d'altro canto, prescindono dalle certificazioni dei prodotti, in quanto producono una valutazione autonoma (sono, semmai, i processi di certificazione della sostenibilità dei prodotti edilizi che si avvalgono di valutazioni LCA per esplicitarne l'impatto ambientale).

Le certificazioni che i produttori possono esibire circa le loro aziende riguardano diversi aspetti/obiettivi:

- Qualità del servizio (la serie delle ISO9001);
- Salute e sicurezza umana (es. le serie BS OHSAS);
- Qualità della Gestione Ambientale (la serie ISO 14001 oppure le EMAS, che normano la gestione ambientale dell'azienda nel suo complesso – Sistemi di Gestione

Ambientale-SGA).

Le certificazioni volontarie ambientali di sistema (SGA), sono quelle più pertinenti con le tematiche della sostenibilità, ed hanno come scopo il miglioramento dell'impronta ambientale della ditta, in tutti i suoi aspetti, quindi anche la fisica produzione di un materiale o componente per l'edilizia. La genericità dei SGA li rende applicabili anche a settori diversi dall'industria (trasporti e servizi, per esempio). I SGA non certificano i prodotti specificamente, ma le aziende più in generale. Un SGA permette di:

- avere un approccio strutturato nella definizione degli obiettivi ambientali e nell'individuazione degli strumenti necessari per raggiungerli;
- identificare i rischi ambientali e le opportunità di miglioramento;
- assicurare il rispetto di tutti i requisiti normativi rilevanti per l'ambiente;
- ridurre i costi legati ai consumi energetici, alla gestione dei rifiuti e delle materie prime;
- ridurre i costi relativi agli incidenti ambientali ed alle sanzioni previste;
- avviare un processo di miglioramento continuo della performance ambientale;
- aumentare il valore dell'impresa nel mercato odierno e futuro, partendo da una seria analisi delle problematiche ambientali, siano esse di natura legislativa, tecnica o gestionale;
- migliorare l'immagine aziendale verso i clienti;
- migliorare i rapporti con le autorità pubbliche, le comunità locali ed i rapporti con i lavoratori dipendenti.

I Sistemi di Gestione Ambientale sono attuati attraverso due standard normativi: il Regolamento CE 1221/09 Eco-Management and Audit Scheme-EMAS e le Norme della serie ISO 14000 già nella revisione 2015.

Un SGA, sebbene apprezzabile, poco può comunicare al progettista (od all'utente finale dell'edificio) delle performances di sostenibilità di un materiale o componente edilizio prodotto da quella azienda, sebbene certificata.

Rispetto alle SGA, le certificazioni di eco-sostenibilità dei prodotti possiedono una spendibilità più oggettiva nel progetto sostenibile. Va precisato che quest'ultimo campo è articolato e variegato: spazia da certificazioni autorevoli e riconosciute (quelle, per fare un esempio, richiamate e "premiare" nei metodi a punteggi) a certificazioni con minore grado di rilevanza od incisività

Gli strumenti certificatori utilizzano un marchio (od etichetta) per comunicare ai consumatori del prodotto le sue prestazioni ambientali e il suo grado di rispetto di predeterminati requisiti in materia di compatibilità ambientale. Va fatta subito una prima distinzione tra marchi privati e marchi collettivi. Mentre i primi sono legati ai singoli produttori, che autonomamente stabiliscono requisiti e prestazioni ambientali, i secondi sono gestiti da enti terzi che autonomamente elaborano e gestiscono i sistemi di analisi e di rilascio del marchio verde.

Per ogni settore si hanno varie tipologie di prodotti e marchi con requisiti altrettanto specifici, scelti con criteri diversi: tutto ciò crea non pochi problemi ai consumatori ma anche a chi vorrebbe in qualche modo tentare una comparazione oggettiva sia tra prodotti della stessa categoria merceologica sia tra i diversi sistemi di certificazione del prodotto.

La pertinenza e attendibilità di alcuni di questi marchi è data dalla validità geografica (validità locale, nazionale, internazionale), dal tipo di marchio (di parte terza o non), dall'affidabilità di chi lo rilascia (l'azienda stessa od un Ente terzo pubblico o privato). L'ISO ha elaborato norme per le diverse etichettature ambientali di prodotto. Tali norme rappresentano un'utile base per giungere all'utilizzo di marchi di prodotto comparabili. I tipi di etichettature ambientali si distinguono, tra l'altro, per la diversa applicazione della filosofia e della metodologia del ciclo di vita. Si tratta di tre diverse tipologie di etichettatura, tutte di natura volontaria e tutte conformi ai principi espressi nella UNI EN ISO 14020, che traccia le linee generali per l'utilizzo di asserzioni ambientali. Tali certificazioni, esprimibili in termini di etichette o di loghi, simboli, dichiarazioni, ecc., possono fornire informazioni su un prodotto o un servizio in ragione del suo carattere ambientale complessivo, di un aspetto ambientale specifico o di un certo numero di aspetti.

Queste informazioni, verificate e comunicate in modo non fuorviante, sono evidentemente destinate ai potenziali acquirenti per permettere loro di scegliere consapevolmente, anche dal punto di vista degli impatti ambientali del prodotto. L'obiettivo è dunque promuovere la domanda e l'offerta di prodotti e

servizi in grado di causare minor danno all'ambiente, stimolando così un processo di miglioramento ambientale continuo.

Le tipologie di etichette definite dalle norme ISO sono:

Tipo I (ISO 14024): etichette utilizzabili su prodotti ritenuti conformi a requisiti predefiniti. La caratteristica più rilevante è quella di essere un'etichetta di "terza parte", ovvero per la quale c'è la necessità di una verifica a cura di un organismo, indipendente dal fornitore e dall'acquirente, definito "organismo competente per l'etichettatura ambientale", che certifica tale conformità. I requisiti predefiniti da soddisfare per l'ottenimento dell'etichetta sono i "criteri ambientali di prodotto", relativi ad un'intera categoria di prodotti che devono basarsi su opportuni indicatori derivanti dall'analisi del ciclo di vita per quella specifica tipologia (esempi di etichette in Fig. 7) .



Fig. 7 - Esempi di etichette tipo I.

- **Tipo II (ISO 14021):** include tutte le "asserzioni ambientali auto-dichiarate", ovvero le dichiarazioni, le etichette, i simboli di valenza ambientale presenti sulle confezioni dei prodotti, sugli imballaggi, o nelle pubblicità utilizzati dagli stessi produttori come strumento di informazione ambientale. In questo tipo di etichettatura, non essendo prevista una certificazione di terza parte, la garanzia di affidabilità diviene elemento ancor più significativo. Per un produttore, infatti, utilizzare la UNI EN ISO 14021 rappresenta, da un lato, l'impegno al rispetto di una serie di requisiti concepiti per garantire l'affidabilità delle informazioni veicolate all'acquirente e, dall'altro, la garanzia di non incorrere in imprevisti effetti di mercato negativi, come accuse di concorrenza sleale, dovuti ad asserzioni false. (esempi di etichette in Fig. 8)



Fig. 8 - Esempio di etichetta tipo II.

- **Tipo III (ISO 14025):** documentazione che accompagna la commercializzazione di un prodotto, descrivendone le caratteristiche di impatto ambientale in termini di dati quantificati su determinati parametri predefiniti, basati sempre su uno studio di LCA per la categoria di prodotto in esame. Le etichette di questa serie sono rilasciate sotto controllo di un ente certificatore terzo e competente in materia di certificazione ambientale. Un programma di dichiarazioni ambientali di questo tipo è quindi un processo volontario di definizione dei requisiti minimi da indicare in una dichiarazione, delle categorie di parametri da considerare, del formato della comunicazione dei dati finali.

Tipico esempio di questa forma di etichettatura sono le EPD (Environmental Product Declaration), (fig. 9) che rappresentano una vera e propria "carta di identità ambientale" di un materiale o componente, del quale riportano, oltre alle fondamentali caratteristiche tecniche, chimiche e fisiche, anche gli eco-valori

di impatto, elaborati con procedura LCA conforme alle ISO serie 14040. Le EPD di prodotti di analoga funzione sono confrontabili e permettono una eco-valutazione veramente oggettiva, sulla base dell'impronta ambientale dichiarata e certificata.



Fig. 9 - Esempio di etichetta tipo III: la Environmental Product Declaration.

A fianco delle etichettature codificate per norma ISO si possono trovare altre forme di etichettature o certificazioni, pure quest'ultime rigorosamente di carattere volontaristico.

Quasi tutte si basano sul rispetto di standard prefissati il cui superamento ammette alla certificazione (unitamente alla coltivazione del regime di validità del certificato, mediante i rinnovi periodici).

Il proliferare di questo quarto tipo (potremmo definirle, appunto, di tipo IV) di certificazioni ambientali trae origine dalla rigidità e a-specificità delle etichette tipo I e III, nonché dalla genericità di quelle tipo II.

La maggiore specificità e incisività di una procedura certificativa mirata ad un particolare tipo di prodotti può meglio centrare l'obiettivo che si era prefissa (si pensi, ad esempio, alle certificazioni specifiche per prodotti vernicianti).

Pur avendo sullo sfondo l'obiettivo della sostenibilità, molto spesso la molla che muove il produttore verso la ricerca di una certificazione è quella commerciale: si vogliono assicurare gli acquirenti della eco-compatibilità (o più in generale della sostenibilità) dei propri prodotti.

Si tenta così di mettere in evidenza un particolare profilo green che può fare la differenza con i concorrenti.

Un caso emblematico delle etichettature di tipo IV sono quelle che concernono i materiali a base legno, come pure il legno da costruzione.

I marchi FSC (Forest Stewardship Council) e PEFC (Programme for Endorsement of Forest Certification schemes) rientrano spesso fra i requisiti richiesti al legno da costruzione da parte dei principali protocolli di valutazione della sostenibilità del costruito. Entrambi attestano la gestione sostenibile delle foreste di provenienza del materiale: sono in tal senso certificate le foreste di coltivazione come pure è tracciata tutta la filiera di lavorazione per garantire la medesima qualità dell'origine (Chain of Custody-CoC) (Figura 10).



Fig. 10 - Marchi di gestione sostenibile di filiera per il legno e derivati del legno (carta ed i suoi derivati).

Altri marchi si sono affermati come standard di riferimento per particolari tipologie di prodotti: un caso paradigmatico è il GEV EMICODE, che certifica la composizione e la bassa emissività (e.g.: VOC, Formaldeide, Acetaldeide) di molti tipi di materiali per edilizia, come collanti, sigillanti, livellanti, primers e vernicianti per legno da pavimentazione (Fig. 11).



Fig. 11 - Marchio GEV-EMICODE, nel livello prestazionale EC1-plus.

In Italia sono molto diffusi anche altri marchi che attestano qualità bio-edili, tra questi troviamo quello di ICEA (Istituto di Certificazione Etica ed Ambientale) che si basa su valutazioni LCA, quello di NATURE PLUS che certifica la provenienza dei materiali da fonti minerali o rinnovabili, privi di sostanze nocive per l'ambiente e la salute (Fig.12).

Diffuso è anche il marchio di ANAB (Associazione Nazionale Architettura Bioecologica) che certifica "prodotti a ridotto impatto ambientale, rispettando i requisiti per i materiali da costruzione previsti nell'ambito dei più importanti sistemi di certificazione degli edifici.



Fig. 12 - Marchi NATURE PLUS, ICEA e ANAB per materiali e prodotti da costruzione.

1.4 Edifici ad energia quasi zero nZEB

Se consideriamo la ripartizione dei consumi energetici in Italia negli ultimi anni si ha che circa il 30% è da imputare al settore civile ed in particolare il 70% di questa percentuale riguarda il residenziale (Rif. Fig. 13)



Fig. 13 – Percentuali di ripartizione consumi energetici in Italia nei settori produttivi

Volendo ripartire le tipologie di consumo energetico residenziale per tipo di uso, emerge la rilevanza del consumo per il riscaldamento pari a circa il 68%. L'elevata incidenza dei consumi per riscaldamento e raffrescamento è da attribuire alle caratteristiche dell'involucro edilizio e allo scarso rendimento degli impianti: i 2/3 delle nostre abitazioni sono antecedenti la legge 373/76 e non hanno subito interventi di manutenzione straordinaria.

L'Incremento dei consumi energetici del settore civile è dovuto anche alla variazione dei fattori climatici ed alla maggiore necessità di condizionamento estivo degli ambienti, quest'ultima ancora una volta dovuta alla scarsa qualità degli involucri edilizi.

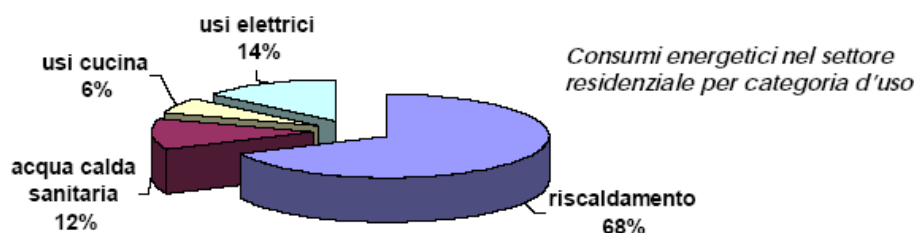


Fig. 14 – Percentuali di ripartizione consumi energetici nell'edilizia in Italia

Pertanto è sorta la necessità di un involucro edilizio che limiti le dispersioni termiche e quindi da qui la necessità di ridurre il fabbisogno energetico sia in regime invernale che estivo.

In parallelo, si è sviluppata una crescente sensibilizzazione verso il rispetto dell'ambiente e quindi la tendenza all'adozione nel settore dell'edilizia di materiali, tecnologie e soluzioni costruttive ispirate ad uno sviluppo sostenibile ed ecocompatibile

La stessa Unione Europea ha avviato già nel 2002 il percorso con la direttiva 2002/91/CE recepita progressivamente da ogni stato membro all'interno di norme nazionali, in modo tale da garantire una maggiore sensibilità alle specificità del clima di ciascun paese e rendere così operativa la Direttiva. Più recentemente con la Direttiva 2010/31/UE l'unione Europea, ha stabilito che limite il 31 dicembre 2020 in cui è previsto che tutti gli edifici di nuova costruzione siano «edifici a energia quasi zero».



Fig. 15 – Rappresentazione simbolica di un edificio nZEB

Secondo l'interpretazione più riconosciuta Un «**edificio a energia quasi zero (nZEB)**» è un edificio ad altissima prestazione energetica il cui fabbisogno energetico - molto basso o quasi nullo - dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili.

1.4.1 Indirizzi per una progettazione verso l'nZEB

I punti salienti per una progettazione indirizzata a realizzare un edificio nZEB possono essere sinteticamente descritti di seguito e comprendono aspetti di pianificazione progettuale di tipo architettonico derivanti da una dettagliata e preliminare conoscenza del contesto fisico e geografico ove sarà ubicato l'immobile e dall'altra aspetti progettuali relativi a giuste scelte di tipo tecnologico costruttivo sempre derivanti da una giusta collocazione del progetto nel contesto ambientale di riferimento.

In sostanza questo è l'approccio dell'architettura bioclimatica, che usa gli elementi naturali del sito (il sole, il vento, l'acqua, il terreno e la vegetazione) per realizzare edifici termicamente efficienti in grado di soddisfare i requisiti di comfort termico, con un apporto minimale degli impianti di climatizzazione. Per tale necessità può essere utilizzata l'analisi bioclimatica del sito attraverso lo studio dell'orientamento e la morfologia dell'area, l'assetto della vegetazione con dinamica delle ombre, vicinanza di eventuali specchi d'acqua o fiumi e loro posizione rispetto ai venti dominanti.

Un progetto bioclimatico è per definizione fortemente dipendente dalle condizioni locali del contesto di intervento. Queste costituiscono il primo e fondamentale input di progetto.

La costruzione di un quadro conoscitivo sistematico delle caratteristiche del sito di intervento, diviene funzionale alle successive fasi di elaborazione progettuale.

Bisogna calare il progetto nel contesto locale di riferimento reperendo tutti i dati climatici del luogo necessari ad un successivo dimensionamento del progetto dal punto di vista energetico come ad esempio:

- Latitudine e longitudine
- Dati climatici della località (es. radiazione solare, zona climatica e gradi giorno, ecc.)
- Condizioni locali specifiche (es. presenza di venti dominanti invernali o brezze estive)

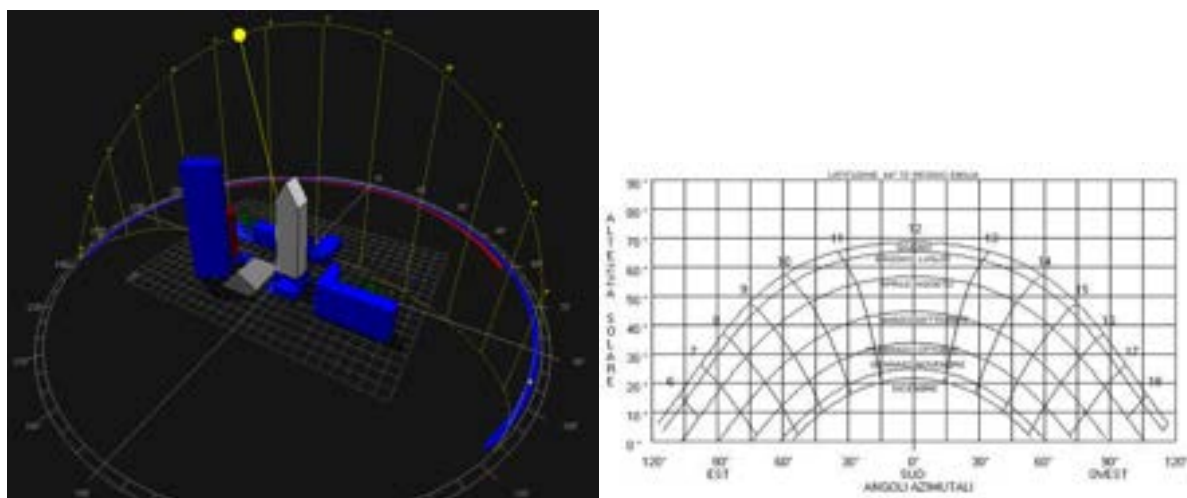


Fig. 16 – Diagrammi solari

In figura 16 sono riportati esempi di simulazione solare dinamica dell'incidenza solare stagionale sul progetto di edificio e diagramma solare. Attualmente sono disponibili strumenti software in grado di costruire automaticamente i diagrammi solare, e di simulare il percorso solare rispetto a un modello di progetto ricostruito nell'ambito del programma. Il moto apparente del sole può essere simulato in ogni stagione e con intervalli di tempo personalizzabili.

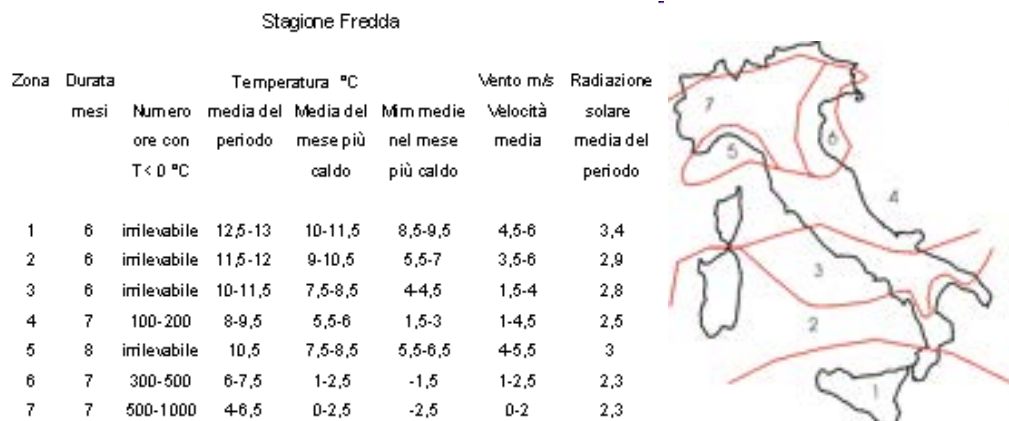


Fig. 17 – Tabella delle Zone climatiche italiane

Nella figura 17 sono invece riportate le Zone climatiche ed i gradi-giorno per la stagione fredda dalla “Guida al controllo energetico della progettazione” edita dal CNR”

La radiazione solare e le coordinate geografiche sono parametri particolarmente rilevanti nella progettazione di superfici captanti per dispositivi solari (collettori solari termici, fotovoltaici e schermature solari passive). Infatti tali superfici vengono installate con inclinazione sul piano orizzontale pari alla latitudine del sito e le prestazioni energetiche sono proporzionali alla radiazione solare incidente.

Input dell’ambiente naturale

- Orientamento e morfologia dell’area, con dinamica delle ombre. La conoscenza di questi parametri consente di determinare con buona approssimazione le potenzialità bioclimatiche di un’ area e conseguentemente valutare in modo attendibile quali strategie specifiche saranno più idonee nella successiva fase progettuale.
- Valutazione dell’accessibilità al sole del sito di progetto : Si riporta sul diagramma solare la sagoma di ostruzione da parte degli elementi contigui all’area, nelle varie stagioni. Si determina così una gerarchia solare all’interno del sito, fondamentale per le successive fasi di progetto.
- Assetto della vegetazione, con dinamica delle ombre e tipologia di essenze, densità e posizione rispetto all’area).
- Vicinanza di eventuali specchi d’acqua o fiumi e loro posizione rispetto ai venti dominanti. Le grandi masse d’acqua, costituiscono generalmente un elemento mitigante per il microclima locale. In particolare nei mesi estivi, l’aria raffrescata e umidificata in corrispondenza di queste superfici può essere convogliata all’interno degli edifici per il raffrescamento passivo delle strutture.
- Condizioni locali specifiche es. presenza di venti dominanti invernali o brezze estive)

Tali fattori possono influenzare in modo significativo il regime termico degli edifici, aumentando le dispersioni dell’involucro nei mesi invernali e contribuendo al raffrescamento e alla ventilazione naturale degli ambienti nei mesi estivi.

Input dell'ambiente antropico:

- Forma e dimensioni delle strutture elevate contigue, con dinamica delle ombre nelle diverse stagioni (fig. 18). Il quadro conoscitivo del contesto non può prescindere dalla conoscenza del contesto edificato del sito e deve necessariamente essere sviluppato per osservazione diretta, eventualmente con l'ausilio di indagini fotografiche e rilevazioni in loco.

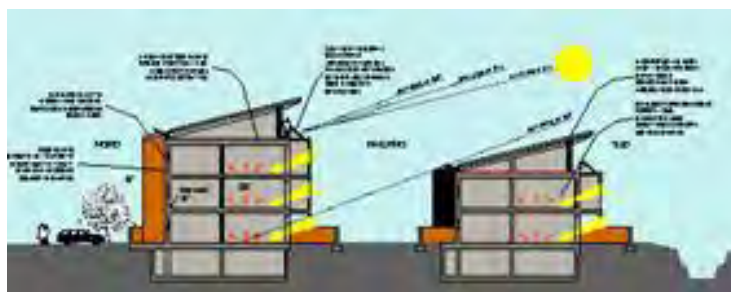


Fig. 18 – Valutazione distanze tra edifici per apporti solari ed ombreggiamenti

E' necessario valutare la effettiva disponibilità di apporti solari per ciascun edificio nelle condizioni di minor insolazione. Inoltre è necessario limitare le "interferenze" ovvero la distanza tra gli edifici dovrebbe garantire in particolare nella stagione invernale la possibilità di un sufficiente accesso al sole in particolar modo per gli edifici piu' sfavoriti.

- Vicinanza di superfici verticali riflettenti (involucri vetrati). La presenza di superfici particolari può influire in modo significativo sulle condizioni di esercizio degli edifici adiacenti. Per superfici assorbenti si intendono superfici continue realizzate in materiali pesanti o scuri (pietra, asfalto ecc.) in grado di assorbire in modo rilevante la radiazione solare e di trattenere e rilasciare lentamente il calore accumulato. Tale caratteristica è da tenere in considerazione, soprattutto per la valutazione del regime estivo. Le superfici riflettenti invece esercitano la loro influenza non solo incrementando il carico termico sulle superfici adiacenti ma anche alterando le condizioni di illuminazione. In particolare è da valutare il rischio di abbagliamento.
- Caratteristiche del suolo (pavimentazioni assorbenti, impermeabili, riflettenti ecc.)
La permeabilità delle superfici è invece un fattore significativo in funzione del regime di smaltimento delle acque meteoriche. Un'eccessiva impermeabilizzazione aumenta lo scorrimento superficiale con conseguente aumento del rischio di allagamenti, mentre una pavimentazione permeabile non opportunamente controllata favorisce la dispersione di volumi d'acqua significativi che potrebbero invece essere riutilizzati nell'ambito dell'edificio come acque bianche non sanitarie. L'analisi dello stato di fatto delle pavimentazioni in termini di analisi della permeabilità è quindi necessaria per la ridefinizione di un corretto assetto nella successiva fase di progetto

1.4.2 Sintesi dei criteri guida per la realizzazione di un edificio NZEB

- Lo schema planimetrico di aggregazione tra gli edifici deve favorire il massimo livello di soleggiamento e protezione dai venti dominanti invernali e l'edificio deve essere orientato secondo l'asse elio-termico
- Si devono privilegiare forme compatte e poco disperdenti tramite ottimizzazione del rapporto S/V (Superficie su Volume). La compattezza deve essere considerata un obiettivo primario del progetto architettonico, in quanto minore è il rapporto S/V le prestazioni energetiche migliorano ed i costi di costruzione diminuiscono)
- E' necessaria la verifica del rapporto tra la distanza degli edifici e l'altezza dei fronti in modo da garantire il soleggiamento a tutti i piani degli alloggi.
- La tipologia dell'edificio deve garantire le stesse potenzialità termico/energetiche per ogni alloggio. Si privilegiano edifici a schiera e in linea.
- La distribuzione interna degli alloggi deve privilegiare il posizionamento dei corpi scale, servizi e bagni verso il fronte Nord e spazi giorno sul fronte Sud.
- Utilizzo di sistemi passivi per il controllo termico e per una corretta ventilazione (massa termica, serre e spazi solari, camino solare, tetto verde, etc.
- Introduzione di sistemi di ombreggiamento per il controllo dell'irraggiamento estivo (fig. 19) (vegetazione, schermi fissi od orientabili).



Fig. 19 – Irraggiamento estivo

- Utilizzo di sistemi attivi per la riduzione del consumo energetico residuo (collettori solari termici e fotovoltaici)
- Il sistema delle aperture deve garantire un ottimo livello di illuminazione naturale all'interno di ogni alloggio.
- Si deve provvedere ad un accurato studio dei ponti termici per una successiva eliminazione o attenuazione ove non possibile (Fig. 20).

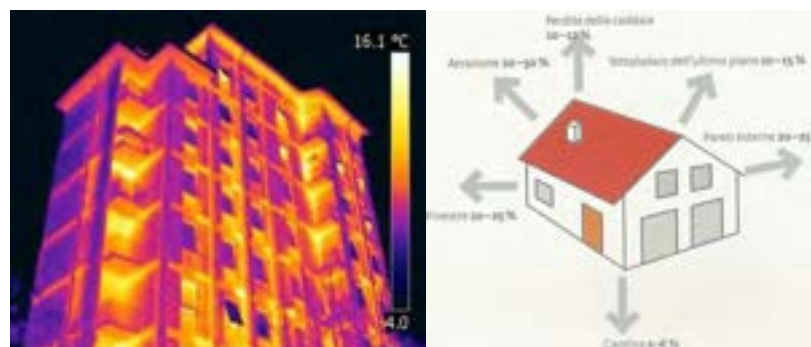


Fig. 20 – Studio ponti termici con termografia

- Ogni edificio deve essere costruito utilizzando materiali eco-compatibili e con ottime prestazioni di isolamento termico della superficie (cappotto termico).
- E' necessario provvedere a sistemi di raccolta delle acque piovane e alla riduzione dei consumi d'acqua

2 Metodologia per la valutazione: LCA per edifici sostenibili

La definizione di LCA proposta al congresso SETAC del 1990 è “procedimento oggettivo di valutazione dei carichi energetici e ambientali relativi a un processo o un’attività, effettuato attraverso l’identificazione dell’energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell’ ambiente. La valutazione include l’intero ciclo di vita del processo o attività, comprendendo l’estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l’uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale”.

La definizione riportata dalle norme ISO invece esprime la LCA come “compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita dei flussi in entrata e in uscita, nonché i potenziali impatti ambientali, di un sistema di prodotto”. Cioè attraverso la LCA si registrano per ogni fase relativa al ciclo di vita di un prodotto, tutte le emissioni e i consumi di risorse, dalla fase di estrazione di materie prime a quella di smaltimento o recupero. Dopo questa prima analisi detta LCI (Life Cycle Inventory), si calcolano e si interpretano gli indicatori dei potenziali impatti associati con tali scambi di energia e materie prime mediante lo step di LCIA (Life Cycle Impact Assessment).

Attraverso questo strumento quindi si analizza un sistema industriale delimitato da confini ben definiti rispetto al sistema ambiente, e si studiano i flussi di scambio tra questi due sistemi o meglio gli input e gli output. Gli input del sistema sono parametri che riguardano i problemi del consumo delle risorse, mentre gli output sono relativi ai problemi di inquinamento.

Effettuando questa analisi si possono confrontare processi produttivi diversi per individuare e supportare quelli che comportano un impatto energetico-ambientale più limitato.

Si presenta l’applicazione del Life Cycle Assessment comparativa dei 3 scenari:

1. Scenario di base
2. Scenario B: riqualificazione low
3. Scenario C: riqualificazione high, NZEB

Ciascuno scenario include l’analisi su 3 differenti contesti geografici (nord, centro e sud Italia) le cui città rappresentative sono: Milano, Roma e Palermo.

La descrizione dell’applicazione dello studio segue le principali fasi della procedura LCA, schematizzate in Figura 21 (ISO 14040 e handbook ILCD):

- 1) Definizione degli scopi e degli obiettivi (*Goal and Scope Definition*): è la fase preliminare in cui vengono definiti le finalità dello studio, l’unità funzionale, i confini del sistema studiato, il fabbisogno e l’affidabilità dei dati, le assunzioni e i limiti.
- 2) Analisi di inventario (*Life Cycle Inventory Analysis*): è la parte del lavoro dedicata allo studio del ciclo di vita del processo o attività; lo scopo principale è quello di ricostruire la via attraverso cui il fluire dell’energia e dei materiali permette il funzionamento del sistema produttivo in esame tramite tutti i processi di trasformazione e trasporto. Redigere un inventario di ciclo di vita significa pertanto costruire il modello analogico del sistema reale che si intende studiare.
- 3) Analisi degli impatti (*Life Cycle Impact Assessment*): è lo studio dell’impatto ambientale provocato dal processo o attività, che ha lo scopo di evidenziare l’entità delle modificazioni generate a seguito dei rilasci nell’ambiente dei consumi di risorse calcolati nell’inventario. È questa la fase in cui si produce il passaggio dal dato oggettivo calcolato durante la fase di inventario al giudizio di pericolosità ambientale.
- 4) Interpretazione e Miglioramento (*Life Cycle Interpretation*): è la parte conclusiva di una LCA, che ha lo scopo di proporre i cambiamenti necessari a ridurre l’impatto ambientale dei processi o attività considerati, valutandoli in maniera iterativa con la stessa metodologia LCA in modo da non attuare azioni tali da peggiorare lo stato di fatto.

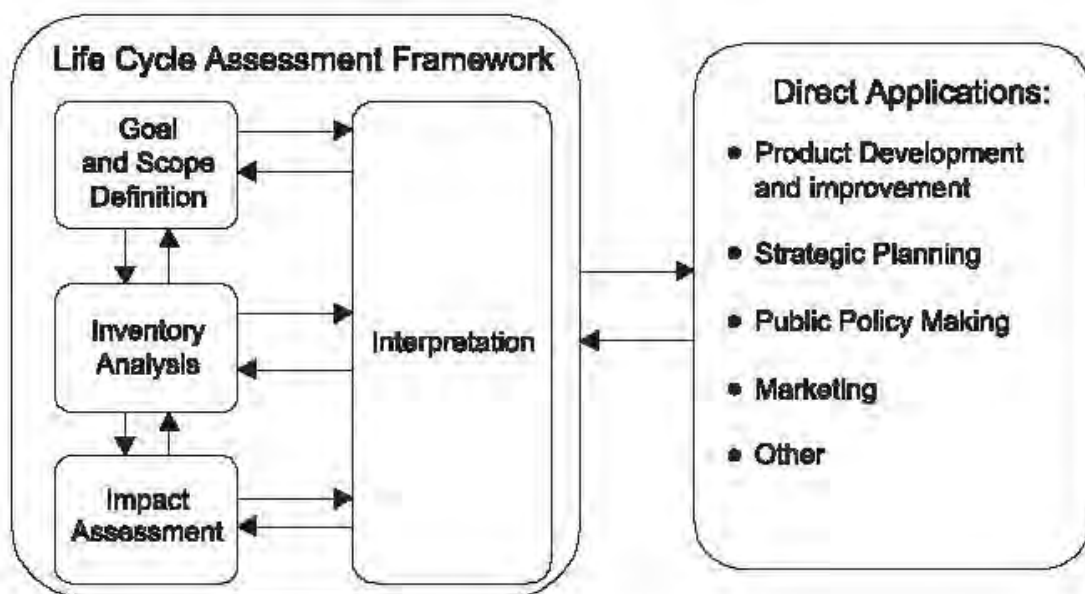


Figura 21 Fasi e applicazioni dell'LCA (ISO 14040, 2006)

Per il caso specifico, nella prima fase saranno descritti gli scenari e gli interventi e le azioni che li contraddistinguono; la fase di inventario presenterà i dati relativi a materiali ed impianti utilizzati per l'efficientamento nonché i dati di fabbisogno energetico dei diversi scenari. Molti di questi dati provengono dallo studio test case condotto dall'Università degli Studi di Palermo (Cellura et al, 2017). Le ultime due fasi presentano i risultati della quantificazione delle prestazioni energetico-ambientali dei diversi scenari, elaborati con il tool di calcolo Simapro 8.4. Tali dati saranno forniti in maniera comparata al fine di evidenziare le migliori prestazioni complessive tra gli scenari analizzati e gli impatti dei diversi interventi rispetto ai benefici conseguiti grazie alla riduzione del fabbisogno energetico.

2.1 Definizione degli scopi e degli obiettivi

Questo studio rientra nell'Accordo di Programma PAR 2016 e sarà pubblicato sui siti dell'ENEA e della Cassa Conguaglio per il Settore Elettrico.

Lo scopo dello studio è di valutare la potenziale convenienza ambientale di interventi di riqualificazione di un edificio volti all'efficientamento energetico e dunque alla riduzione del consumo energetico e degli impatti ad esso associati, fino a prestazioni a energia quasi zero (nearly Zero Energy Building - nZEB).

Infatti attraverso l'applicazione della metodologia di LCA, come di seguito descritto, si quantificano le prestazioni ambientali di un edificio con interventi di riqualificazione di 1°livello (scenario 1) e nZEB (scenario 2) andando a quantificare impatti e benefici associati all'intervento di riqualificazione rispetto alla riduzione di fabbisogno energetico dell'edificio conseguita grazie all'intervento stesso. Gli scenari sono stati simulati per 3 aree geografiche del sud, centro e nord Italia, rappresentative di differenti condizioni climatiche e differenti applicazioni tecnologiche: Palermo, Roma e Milano.

Le analisi relative agli interventi di riqualificazione che costituiscono l'inventario di questo studio LCA sono state svolte dall'università degli Studi di Palermo e sono riportate nel report di Cellura et al, 2017.

2.1.1 Unità funzionale e confini del sistema

Le norme ISO definiscono l'unità funzionale come "una misura della prestazione del flusso in uscita funzionale del sistema prodotto. Lo scopo principale dell'unità funzionale è di fornire un riferimento a cui legare i flussi in entrata e in uscita. Questo riferimento è necessario per consentire la comparabilità dei risultati di una LCA. Per lo studio è stata considerata l'unità funzione dell'edificio per il suo ciclo di vita. In particolare sono state analizzate le fasi di ristrutturazione rispetto all'edificio convenzionale (con

aggiunta e rimozione di impianti e materiali) e il suo utilizzo annuale. Questo ha consentito di valutare il fabbisogno e il risparmio energetico annuo.

Sono esclusi dai confini del sistema tutte le fasi uguali tra gli edifici (quindi la costruzione) e il fine vita dello stesso.

2.1.1.1 Scelta del metodo

Gli impatti ambientali sono stati valutati ricorrendo al Metodo IMPACT 2002+, sviluppato dallo Swiss Federal Institute of Technology (Losanna) e presenta un approccio sia a livello di midpoint (14 categorie di impatto) che endpoint (4 categorie di danno), *Figura n.22*.

Tale metodo include le fasi di caratterizzazione, valutazione del danno, normalizzazione, pesatura e valutazione finale con punteggio singolo.

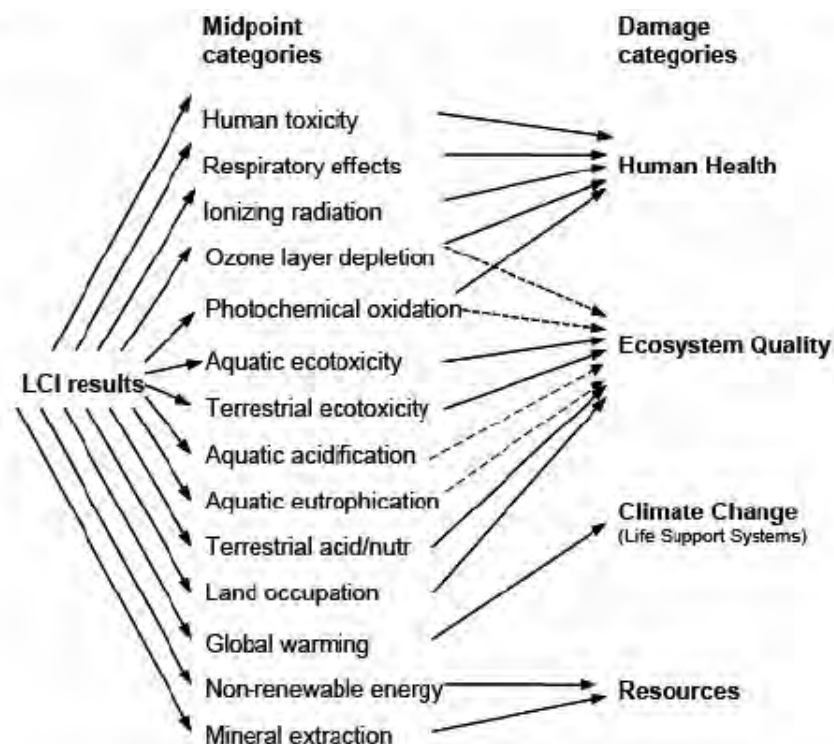


Figura 22 Categorie di impatto e categorie di danno nel metodo Impact 2002+, Joliet et al.2003.

Per quel che concerne i fattori di caratterizzazione il modello IMPACT 2002+ è essenzialmente una versione combinata dei modelli IMPACT 2002, Eco-Indicator 1999, CML 2000 e IPCC.

I fattori di caratterizzazione per la Tossicità Umana e l'Ecotossicità Acquatica e Terrestre sono presi dalla metodologia IMPACT 2002, mentre gli altri provengono da altri metodi come Eco-indicator 99, CML 2001, IPCC.

Nella fase di caratterizzazione si può determinare quantitativamente il contributo delle singole emissioni attraverso la determinazione degli indicatori di categoria.

Per la determinazione degli indicatori si usano dei fattori di conversione basati scientificamente, attraverso cui si convertono i risultati dell'inventario negli indicatori finali di impatto. Utilizzando i fattori di conversione (o fattori di caratterizzazione) si riportano i risultati di inventario relativi ad una singola categoria. I risultati relativi a categorie diverse non sono comparabili tra loro in questa fase.

Ciascuna categoria è poi inclusa nella relativa categoria di danno: salute umana (espressa in DALY, Disability Adjusted Life Years), qualità dell'ecosistema (espressa in PDF, potential disappeared species), cambiamento climatico (espressa in Kg CO₂) e risorse (espressa in MJ).

Nella tabella successiva sono mostrate le sostanze di riferimento per la caratterizzazione e le unità di misura della valutazione del danno per ogni categoria usate nel metodo 2002+.

Midpoint category	Midpoint reference substance	Damage category	Damage unit
Human toxicity	kgeq chloroethylene into air	Human health	DALY
Respiratory (inorganics)	kgeq PM _{2,5} into air	Human health	DALY
Ionizing radiations	Bqeq carbon-14 into air	Human health	DALY
Ozone layer depletion	kgeq CFC-11 into air	Human health	DALY
Photochemical oxidation	Kgeq ethylene into air	Human health	DALY
		Ecosystem quality	
Aquatic ecotoxicity	kgeq triethylene glycol into water	Ecosystem quality	PDF * m ² * yr
Terrestrial ecotoxicity	kgeq triethylene glycol into water	Ecosystem quality	PDF * m ² * yr
Terrestrial acidification/nutrication	kgeq SO ₂ into air	Ecosystem quality	PDF * m ² * yr
Aquatic acidification	kgeq SO ₂ into air	Ecosystem quality	Under development
Aquatic eutrophication	kgeq PO ₄ ³⁻ into water	Ecosystem quality	Under development
Land occupation	m ² eq organic arable land.year	Ecosystem quality	PDF * m ² yr
Global warming	kgeq CO ₂ into air	Climate change	(kgeq CO ₂ into air)
Non-renewable energy	MJ Total primary non-renewable or kgeq crude oil (860 kg/m ³)	Resources	MJ
Mineral extraction or kgeq iron (in ore)	MJ additional energy	Resources	MJ

Tabella: Categorie di impatto e categorie di danno del metodo IMPACT 2002+, Joliet et al.2003.

Il passaggio dalla caratterizzazione alla valutazione dei danni avviene mediante l'applicazione dei fattori di danno ad ogni categoria di impatto:

Midpoint categories	Damage factors	Units
Carcinogens	1,45E-06	DALY/kg chloroethylene
Non-carcinogens	1,45E-06	DALY/kg chloroethylene
Respiratory inorganics	7,00E-04	DALY/kg PM _{2,5}
Ozone layer	1,05E-03	DALY/kg CFC-11
Radiation	2,10E-10	DALY/Bq carbon-14
Respiratory organics	2,13E-06	DALY/kg ethylene
Aquatic ecotoxicity	8,86E-05	PDF.m ² .yr/kg.tdethyleneglycol

Terrestrial ecotoxicity	8,86E-05	PDF.m2.yr/kg.tdethyleneglycol
Terrestrial acidification/nutr.	1,04	PDF-m2-yr/kg SO ₂
Land occupation	1,09	PDF.m2.yr/m2.organic arable land.yr
Global Warming	1	kg CO ₂ /kg CO ₂
Mineral extraction	5,10E-02	MJ/kg iron
Non-renewable energy	45,6	MJ/kg crude oil

Tabella: Fattori di danno, Joliet et al.2003.

I fattori di danno riportati sono normalizzati dividendo l'impatto per il rispettivo fattore di normalizzazione, che consiste nel rapporto tra l'impatto per unità di emissione e l'impatto totale di tutte le sostanze appartenenti alla categoria considerata, per persona per anno. I fattori di normalizzazione relativi alle categorie di danno sono rappresentati nella tabella successiva con i rispettivi valori di pesatura. Attraverso la normalizzazione gli indicatori di impatto si possono esprimere in modo tale da poter effettuare un confronto tra tutte le categorie di impatto. In questo modo si ottengono dei profili ambientali adatti per operazioni di confronto tra diversi sistemi produttivi.

Damage categories	Normalization factors	Unit	Fattore di Pesatura
Human Health	0,0077	DALY/pers/yr	1
Ecosystem Quality	4650	PDF*m2*yr/pers/yr	1
Climate Change	9950	Kg CO ₂ eq/pers/yr	1
Resources	152000	MJ/pers/yr	1

Tabella: Fattori di normalizzazione per le 4 categorie di danno validi per l'Europa occidentale, Joliet et al.2003.

Occorre comunque precisare che i risultati ottenuti con la LCA sono utili per eseguire valutazioni comparative, e non costituiscono previsioni di impatto su recettori ambientali finali, di superamento di soglie e limiti di sicurezza o di rischi per la popolazione e l'ambiente.

2.1.2 Descrizione dei sistemi

I sistemi presi in considerazione sono quelli con la riqualificazione di 1°livello e quella più alta, nZEB. Tali sistemi consentono il passaggio da uno scenario attuale di un edificio in classe energetica E ad un edificio di classe A4 e poi nZEB.

1. Scenario attuale

Allo stato di fatto si è in presenza di un ipotetico immobile di tipo terziario-uffici con tipologie impiantistico-strutturali tipiche delle costruzioni degli anni 70.

- Involucro trasparente costituito da infissi con telaio in alluminio e vetri singoli.
- Involucro opaco non coibentato
- Impianto di illuminazione dotato di corpi illuminanti tramite tubi al neon.
- Impianto di produzione ACS tramite boiler elettrico
- Impianto di riscaldamento centralizzato con caldaia alimentata a gasolio a montanti verticali a tubi (in acciaio) e radiatori in ghisa, senza nessun sistema di controllo ambientale locale, secondo la tipologia standard riportata nello schema in figura.

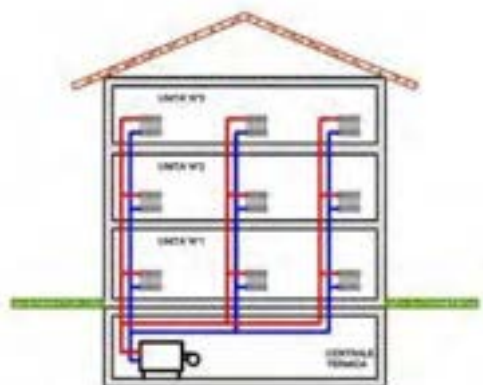


Fig. 21 Schema di un tipico impianto di riscaldamento centralizzato con centrale termica

2. Scenario 1 -low

In questo scenario si prevede la riqualificazione di 1° livello e si ipotizza la sostituzione dei seguenti componenti di cui all'edificio attuale. Descritto precedentemente;

- Sostituzione infissi con vetri a doppia camera (triplo vetro per Milano)
- Posa in opera sull'involucro trasparente verticale di un cappotto termico in lastre di XPS
- Posa in opera sull'involucro trasparente orizzontale di un manto impermeabile con funzione di cappotto termico in lastre di EPS
- Sostituzione nell'impianto d'illuminazione dei vecchi neon con lampade a basso consumo a led.
- Sostituzione del boiler elettrico per ACS e dell'intero impianto di riscaldamento con una pompa di calore reversibile aria/acqua ad alta efficienza in grado di gestire la produzione di ACS e alimentare i termoconvettori locali sia in regime di riscaldamento invernale che in regime di condizionamento estivo con controllo ambientale locale ed integrabile ad un impianto solare termico (Fig. 21) . In questo studio non è stata effettuata l'integrazione dell'impianto solare termico.



Fig. 21 – sistema integrato di climatizzazione ed ACS a pompa di calore

3. Scenario 2 - nZEB

Per questo scenario la riqualificazione porta ad un edificio nearly Zero Energy Building (nZEB). Si ipotizza di effettuare gli stessi interventi dello scenario 1 e si aggiungono i seguenti elementi impiantistici:

- Integrazione all'impianto di climatizzazione di cui allo scenario 1, di un impianto solare termico che soddisfi le esigenze medie di richiesta di ACS ipotizzate nelle previsioni d'uso dell'immobile.
- Integrazione all'impianto elettrico e di un impianto di generazione elettrica di tipo fotovoltaico per soddisfare le esigenze di integrazione da fonte rinnovabile in modo da avvicinarsi alle condizioni di consumo nZEB (Fig. 22).



Fig. 22 – Esempio di piccolo impianto fotovoltaico per strutture piane

2.2 *Inventario*

L'analisi di inventario consiste nella costruzione di un modello analogico della realtà che schematizzi tutti gli scambi di materia e energia presenti tra tutte le operazioni appartenenti al processo considerato. L'obiettivo è quello di fornire i dati relativi al processo di produzione, attraverso cui trarre, nelle fasi successive della LCA, valutazioni riguardo gli effetti ambientali generati.

Di seguito l'inventario del sistema e i corrispondenti processi selezionati sul software SIMAPRO 8.4 per effettuare la valutazione degli impatti di materiali e processi.

Le tabelle da 3 a 6 indicano l'inventario dello scenario 1, di riqualificazione di 1° livello, mentre le tabelle da 7 a 11 includono l'inventario per lo scenario 2 nZEB.

Infine le tabelle 12 e 13 riportano il fabbisogno energetico ed il risparmio energetico e di gasolio dei sistemi 1 e 2 rispettivamente, considerando il miglioramento dell'efficienza energetica rispetto al sistema convenzionale. Nello scenario 2 vi è anche produzione di energia da fonti rinnovabili, considerato che tale scenario implementa l'edificio con pannelli fotovoltaici.

Come si può notare, l'inventario include i materiali utilizzati nella ristrutturazione, quelli eliminati per demolizione rispetto allo stato convenzionale e gli impianti tecnologici implementati per l'efficientamento.

Categoria	Intervento	Tipologia	materiali	quantità _Palermo	quantità _Roma	quantità _Milano	UM	processo DB	UM Processo DB
Involucro opaco verticale	AGGIUNTA	MATERIALE	rete armatura	77,35	77,35	77,35	kg	Glass fibre, at plant/RER U	kg
	AGGIUNTA	MATERIALE	lastra EPS	177,95	284,72	320,31	kg	EPS insulation board, at plant/kg/RNA	kg
	AGGIUNTA	MATERIALE	adesivi-rasanti	3.321,78	3.321,78	3.321,78	kg	Lime mortar, at plant/CH U	kg
	ELIMINAZIONE	RIFIUTO	adesivi-rasanti	3.321,78	3.321,78	3.321,78	kg		
	AGGIUNTA	MATERIALE	intonaco esterno	6.643,56	6.643,56	6.643,56	kg	Stucco, at plant/CH U	kg
	ELIMINAZIONE	RIFIUTO	intonaco esterno	6.643,56	6.643,56	6.643,56	kg	Demolition waste, unspecified	kg
	AGGIUNTA	MATERIALE	acqua	2.524,55	2.524,55	2.524,55	kg	Water, fresh	m3
	ELIMINAZIONE	RIFIUTO	sacchi	88,58	88,58	88,58	kg	Packaging waste, plastic	kg

Tab.3 Inventario dello scenario 1 – involucro opaco verticale

Categoria	Intervento	Tipologia	materiali	quantità _Palermo	quantità _Roma	quantità _Milano	UM	processo DB	UM Processo DB
Involucro opaco orizzontale	AGGIUNTA	nuovo materiale	Lastre isolanti XPS	1.737,45	2.806,65	3.207,60	kg	Polystyrene, extruded (XPS), at plant/RER U	kg
	AGGIUNTA	nuovo materiale	Pavimentazione esterna + PAVIMENTAZIONE INTERNA (CERAMICA)	26.122,50	26.122,50	26.122,50	kg	Ceramic tiles, at regional storage/CH U	kg
	ELIMINAZIONE	rifiuto	pellicola termoretraibile	3,01	3,46	3,63	kg	Packaging waste, plastic	kg
	ELIMINAZIONE	rifiuto	pellicola termoretraibile	11,11	16,56	18,60	kg	Packaging waste, plastic	kg
	AGGIUNTA	nuovo materiale	Adesivi-Rasanti	11.340,00	11.340,00	11.340,00	kg	Adhesive mortar, at plant/ CH U	kg
	AGGIUNTA	nuovo materiale	manto impermeabile	64,80	64,80	64,80	kg	processo costruito in "Construction_sealing" che include: Bitumen adhesive compound, cold, at plant/RER U + fibre glass	kg
	AGGIUNTA	nuovo materiale	Sabbia	2916	2916	2916	kg	processo costruito in "Construction_other"	kg
	AGGIUNTA	nuovo materiale	Ghiaia	6220,8	6220,8	6220,8	kg	processo costruito in "Construction_other"	kg
	AGGIUNTA	nuovo materiale	Cemento	1215	1215	1215	kg	processo costruito in "Construction_other"	kg
	AGGIUNTA	nuovo materiale	Acqua	729	729	729	kg	processo costruito in "Construction_other"	kg

Tab.4 Inventario dello scenario 1 – involucro opaco orizzontale

Categoria	Intervento	Tipologia	materiali	quantità _Palermo	quantità _Roma	quantità _Milano	UM	processo DB	UM Processo DB
Involucro trasparente	AGGIUNTA	MATERIALE	vetro	24,84	24,84	24,84	m2	Per RM e PA: Glazing, double (2-IV), U<1.1 W/m2K, at plant/RER U; Per MI: Glazing, triple (3-IV), U<0.5 W/m2K, at plant/RER U	m2
	AGGIUNTA	MATERIALE	PVC	7,14	7,14	7,14	m2	Single-ply, white, polyester reinforced PVC roofing membrane, 48 mils (1.219 mm)/m2/RNA	m2
	AGGIUNTA	MATERIALE	argon	0	0,71	0,71	kg	Argon, liquid, at plant/RER U	kg
	ELIMINAZIONE	RIFIUTO	vetro	24,84	24,84	24,84	m2	Glass waste	kg
	ELIMINAZIONE	RIFIUTO	telaio metallo	1,05	1,05	1,05	kg	Aluminium waste	kg
Corpi illuminanti	AGGIUNTA		lampade a LED 26W	3,135	3,135	3,135	kg	Light emitting diode {GLO} market for Alloc Def, U	kg
	AGGIUNTA		lampade a LED 18W	1,196	1,196	1,196	kg		kg
	ELIMINAZIONE		lampade a fluorescenza 1x18W	3,4	3,4	3,4	kg	Light bulb waste TOT: 3,135+ 1,196= 4,331	kg

Tab.5 Inventario dello scenario 1 – involucro trasparente e corpi illuminanti

Categoria	Intervento	Tipologia	materiali	quantità _Palermo	quantità _Roma	quantità _Milano	UM	processo DB	UM Processo DB
Impianto di termocondizionamento e ACS	AGGIUNTA	MATERIALE	pompa di calore	12	16	18	kW	Heat, air-water heat pump 10kW, at heat radiator/RER U	kW
	AGGIUNTA	MATERIALE	Scaldacqua	1,2	1,2	1,2	kW	Heat, light fuel oil, at boiler 100kW, non-modulating/CH U	kW
	AGGIUNTA	MATERIALE	ventilconvettori	12	13	14	unità	Ventilation equipment, GE 250 RH, at plant/CH U	
	AGGIUNTA	MATERIALE	Pompa di circolazione	0,25 x 4	0,25 x 4	0,25 x 4	kW	Pump 40W, at plant/CH/I U	p
	AGGIUNTA	MATERIALE	Tot Accessori rame	50,5	53,5	56,5	kg	Copper tube, market mix, at plant S	kg
	AGGIUNTA	MATERIALE	Tot Accessori ottone	152,79332	156,94236	130,21758	kg	Brass, at plant/CH U	kg
	ELIMINAZIONE	MATERIALE	Tot Accessori rame	152,99332	157,14236	130,41758	kg	Copper waste	kg
	ELIMINAZIONE	MATERIALE	Tot Accessori ottone	105,25	134,25	163,25	kg	Construction waste	kg
	ELIMINAZIONE	MATERIALE	Tot Accessori acciaio	156,7	156,7	156,7	kg	Steel waste	kg
	ELIMINAZIONE	MATERIALE	Tot Accessori ghisa	273	273	273	kg	Bitumen waste	kg
	ELIMINAZIONE	MATERIALE	Tot Accessori RAEE	0,8	0,8	0,8	kg	Electronic waste	kg

Tab.6 Inventario dello scenario 1 – Impianto di termocondizionamento e acqua calda sanitaria

Categoria	Intervento	Tipologia	materiali	quantità _Palermo	quantità _Roma	quantità _Milano	UM	processo DB	UM Processo DB
Involucro opaco verticale	AGGIUNTA	MATERIALE	rete armatura	77,35	77,35	77,35	kg	Glass fibre, at plant/RER U	kg
	AGGIUNTA	MATERIALE	lastra EPS	35,59	71,18	71,18	kg	EPS insulation board, at plant/kg/RNA	kg
	AGGIUNTA	MATERIALE	adesivi-rasanti	3.321,78	3.321,78	3.321,78	kg	Lime mortar, at plant/CH U	kg
	ELIMINAZIONE	RIFIUTO	adesivi-rasanti	3.322,78	3.322,78	3.322,78	kg	Demolition waste, unspecified	kg
	AGGIUNTA	MATERIALE	intonaco esterno	6.643,56	6.643,56	6.643,56	kg	Stucco, at plant/CH U	kg
	ELIMINAZIONE	RIFIUTO	intonaco esterno	6.643,56	6.643,56	6.643,56	kg	Demolition waste, unspecified	kg
	AGGIUNTA	MATERIALE	acqua	2.524,55	2.524,55	2.524,55	kg	Water, fresh	m3
	AGGIUNTA	RIFIUTO	sacchi	88,58	88,58	88,58	kg	Packaging waste, plastic	kg

Tab.7 Inventario dello scenario 2 – involucro opaco verticale

Categoria	Intervento	Tipologia	materiali	quantità _Palermo	quantità _Roma	quantità _Milano	UM	processo DB	UM Processo DB
Involucro opaco orizzontale	AGGIUNTA	nuovo materiale	Lastre isolanti XPS	1.737,45	2.806,65	3.207,60	kg	Polystyrene, extruded (XPS), at plant/RER U	kg
	AGGIUNTA	nuovo materiale	Pavimentazione esterna + PAVIMENTAZIONE INTERNA (CERAMICA)	26.122,50	26.122,50	26.122,50	kg	Ceramic tiles, at regional storage/CH U	
	ELIMINAZIONE	rifiuto	pellicola termoretraibile	3,01	3,46	3,63	kg	Packaging waste, plastic	kg
	ELIMINAZIONE	rifiuto	pellicola termoretraibile	11,11	16,56	18,60	kg	Packaging waste, plastic	kg
	AGGIUNTA	nuovo materiale	Adesivi-Rasanti	11.340,00	11.340,00	11.340,00	kg	Lime mortar, at plant/CH U	kg
	AGGIUNTA	nuovo materiale	manto impermeabile	64,80	64,80	64,80	kg	processo costruito in "Construction_sealing" che include: Bitumen adhesive compound, cold, at plant/RER U + fibre glass	kg
	AGGIUNTA	nuovo materiale	Sabbia	2916	2916	2916	kg	processo costruito in "Construction_other"	kg
	AGGIUNTA	nuovo materiale	Ghiaia	6220,8	6220,8	6220,8	kg	processo costruito in "Construction_other"	kg
	AGGIUNTA	nuovo materiale	Cemento	1215	1215	1215	kg	processo costruito in "Construction_other"	kg
	AGGIUNTA	nuovo materiale	Acqua	729	729	729	kg	processo costruito in "Construction_other"	kg

Tab.8 Inventario dello scenario 2 – involucro opaco orizzontale

Categoria	Intervento	Tipologia	materiali	quantità _Palermo	quantità _Roma	quantità _Milano	UM	processo DB	UM Processo DB
Involucro trasparente	AGGIUNTA	MATERIALE	vetro	24,84	24,84	24,84	m2	Per RM e PA: Glazing, double (2-IV), U<1.1 W/m2K, at plant/RER U; Per MI: Glazing, triple (3-IV), U<0.5 W/m2K, at plant/RER U	m2
	AGGIUNTA	MATERIALE	PVC	7,14	7,14	7,14	m2	Single-ply, white, polyester reinforced PVC roofing membrane, 48 mils (1.219 mm)/m2/RNA	m2
	AGGIUNTA	MATERIALE	argon	0	0,71	0,71	kg	Argon, liquid, at plant/RER U	kg
	ELIMINAZIONE	RIFIUTO	vetro	24,84	24,84	24,84	m2	Glass waste	kg
	ELIMINAZIONE	RIFIUTO	telaio metallo	1,05	1,05	1,05	kg	Aluminium waste	kg
Corpi illuminanti	AGGIUNTA		lampade a LED 26W	3,135	3,135	3,135	kg	Light emitting diode {GLO} market for Alloc Def, U	kg
	AGGIUNTA		lampade a LED 18W	1,196	1,196	1,196	kg	Light emitting diode {GLO} market for Alloc Def, U	kg
	ELIMINAZIONE		lampade a fluorescenza 1x18W	3,4	3,4	3,4	kg	Light bulb waste TOT: 3,135+ 1,196= 4,331	kg

Tab.9 Inventario dello scenario 2 – involucro trasparente e corpi illuminanti

Categoria	Intervento	Tipologia	materiali	quantità _Palermo	quantità _Roma	quantità _Milano	UM	processo DB	UM Processo DB
Impianto di termocondizionamento e ACS									
	AGGIUNTA	Impianto	pompa di calore	12	16	18	kW	Heat, air-water heat pump 10kW, at heat radiator/RER U	kW
	AGGIUNTA	Impianto	Scaldacqua	1,2	1,2	1,2	kW	Heat, light fuel oil, at boiler 100kW, non-modulating/CH U	kW
	AGGIUNTA	Impianto	ventilconvettori	12	13	14	unità	Ventilation equipment, GE 250 RH, at plant/CH U	
	AGGIUNTA	Impianto	Pompa di circolazione	0,25 x 4	0,25 x 4	0,25 x 4	kW	Pump 40W, at plant/CH/I U	p
	AGGIUNTA	MATERIALE	Tot Accessori rame	50,5	53,5	56,5	kg	Copper tube, market mix, at plant S	kg
	AGGIUNTA	MATERIALE	Tot Accessori ottone	152,79332	156,94236	130,21758	kg	Brass, at plant/CH U	kg
	ELIMINAZIONE	MATERIALE	Tot Accessori rame	152,99332	157,14236	130,41758	kg	Copper waste	kg
	ELIMINAZIONE	MATERIALE	Tot Accessori ottone	106,25	135,25	164,25	kg	Construction waste	kg
	ELIMINAZIONE	MATERIALE	Tot Accessori acciaio	156,7	156,7	156,7	kg	Steel waste	kg
	ELIMINAZIONE	MATERIALE	Tot Accessori ghisa	273	273	273	kg	Bitumen waste	kg
	ELIMINAZIONE	MATERIALE	Tot Accessori RAEE	0,8	0,8	0,8	kg	Electronic waste	kg

Tab.10 Inventario dello scenario 2 – Impianto di Impianto di termocondizionamento e ACS

Categoria	Intervento	Tipologia	materiali	quantità _Palermo	quantità _Roma	quantità _Milano	UM	processo DB	UM Processo DB
Generazione rinnovabili	AGGIUNTA	Impianto	Solare termico	2,55	2,55	5,1	m2 /lorda)	Solar collector factory/RER/I U	
	AGGIUNTA	Impianto	PV	8	8	8	m2	Photovoltaic cell, multi-Si, at plant/RER U	m2
	AGGIUNTA	Impianto	Inverter	1	1	1	unità	Inverter, for electric passenger car {GLO} market for Alloc Def, U	kg
	AGGIUNTA	MATERIALE	cavo butillico	10	10	10	m	Cable, three-conductor cable {GLO} production Alloc Def, U	m
	AGGIUNTA	MATERIALE	ottone	16,00	16,00	16,00		Brass, at plant/CH U	kg
	AGGIUNTA	MATERIALE	acciaio	168,7	168,7	198,7		Steel, low-alloyed {GLO} market for Alloc Def, U	kg

Tab.11 Inventario dello scenario 2 – Impianto di Generazione rinnovabili

	Palermo	Roma	Milano	UM
Consumo annuo di EE da rete in seguito a ristrutturazione	7.059,22	6.133,23	6.832,04	kWh
Risparmio annuo di energia elettrica da Rete	6271,16	6661,17	7557,55	kWh
Risparmio annuo Gasolio	5.902,95	10.498,16	14.148,29	kg

Tab.12 consumi e risparmi di energia e gasolio per lo scenario 1, nelle 3 città selezionate.

	Palermo	Roma	Milano	UM
Energia Elettrica totale prodotta dai moduli PV e utilizzata	1.327,52	1.153,28	1.066,46	kWh
Consumo annuo di EE da rete in seguito a ristrutturazione	5.676,83	4.888,08	5.422,57	kWh
Risparmio annuo di energia elettrica da Rete	7.653,55	7.906,32	8.967,02	kWh
Risparmio annuo Gasolio	5.902,95	10.498,16	14.148,29	kg

Tab.13 consumi e risparmi di energia e gasolio per lo scenario 2, nelle 3 città selezionate.

2.3 Valutazione impatti

Le informazioni fornite dall'analisi di inventario vengono, nella fase di valutazione, analizzate dal punto di vista ambientale e i dati relativi agli input e agli output del processo vengono trasformati in termini di indicatori di impatti ambientali. Per la valutazione delle ricadute sull'ambiente è necessario considerare non solo l'emissione in sé di sostanze nocive, ma anche le fasi di: trasmissione (ovvero la diffusione e la trasformazione che le sostanze possono subire nell'ambiente) e immissione (ovvero la concentrazione o deposizione di inquinanti nel luogo d'azione). Un impatto ambientale è il risultato di una operazione, quantificato dall'analisi di inventario, a cui corrispondono uno o più effetti stimabili sulla base di ipotesi e convenzioni. L'analisi degli impatti del ciclo di vita è costituita dai seguenti step:

- *Selezione e definizione delle categorie di impatto*: la scelta del metodo è significativa per questo step. In questo caso si è scelto il metodo IMPACT 2002+, già descritto.
- *Classificazione*: assegnazione dei risultati dell'inventario alle categorie di impatto (es: assegnazione delle emissioni di diossido di carbonio al riscaldamento globale).
- *Caratterizzazione*: determinazione dei fattori di conversione per rappresentare diversi impatti in un'unica categoria.
- *Normalizzazione*: espressione degli impatti potenziali in maniera tale da poterli confrontare tra loro.
- *Report dei risultati*: per comprendere meglio i risultati dell'interpretazione si possono raggruppare gli indicatori o porre maggior interesse agli impatti più importanti.

2.3.1 Valutazione impatti scenario 1 vs scenario 2, in ogni singola città

La prima analisi comparativa è stata effettuata tra i due scenari descritti, per ogni singola città, in modo da valutare l'effetto del miglioramento delle prestazioni ambientali.

In tabella 14 si forniscono i valori relativi alla caratterizzazione. Come anticipato dopo aver classificato i contributi dei flussi dell'inventario rispetto agli impatti del processo, nella fase di caratterizzazione si può determinare quantitativamente il contributo delle singole emissioni attraverso la determinazione degli indicatori di categoria, per avere una rappresentazione finale dei potenziali impatti attraverso valori numerici ottenuti dalle operazioni di raggruppamento e classificazione. Per la determinazione degli indicatori si usano dei fattori di conversione basati scientificamente, attraverso cui si convertono i risultati dell'inventario negli indicatori finali di impatto. Utilizzando i fattori di conversione (o fattori di caratterizzazione) si riportano i risultati di inventario relativi ad una singola categoria in modo da poter essere comparabili. Gli indicatori di impatto sono quindi ricavati attraverso questa semplice equazione:

Dati di Inventario · Fattore di Caratterizzazione = Indicatori di Impatto

Categoria d'impatto	Unità	§SCENARIO 1_MI	§SCENARIO 1_PA	§SCENARIO 1_RM	§SCENARIO 2_MI	§SCENARIO 2_PA	§SCENARIO 2_RM
Carcinogens	kg C2H3Cl eq	1178,692	990,6749	1117,611	1294,423	1083,847	1211,011
Non-carcinogens	kg C2H3Cl eq	1322,038	1210,904	1273,959	1562,156	1401,827	1465,081
Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	271,4164	266,7719	269,9987	277,6875	271,3856	274,6629
Ionizing radiation	Bq C-14 eq	1452767	1347093	1413422	1503336	1378999	1446848
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	0,588997	0,322255	0,516262	0,589652	0,322767	0,516781
Respiratory organics	kg C2H4 eq	33,79514	25,90714	31,73984	36,02486	27,83135	33,67926
Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	4628205	4087923	4318499	5464093	4771962	5005648
Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	1490442	1397451	1450170	1750485	1604136	1657683
Terrestrial acid/nutri	kg SO2 eq	1078,86	964,6234	1041,442	1152,282	1014,316	1092,292
Land occupation	m2org. arable	784,8962	764,6282	775,6997	849,5739	815,827	827,0921
Aquatic acidification	kg SO2 eq	281,604	247,1536	271,4044	308,4853	265,232	289,8563
Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim	17,38443	15,94456	16,81766	24,1086	21,72991	22,61211
Global warming	kg CO2 eq	62435,72	53438,03	60188,18	65545,79	55348,64	62176,65
Non-renewable energy	MJ primary	1190041	1026521	1148526	1234577	1053459	1176692
Mineral extraction	MJ surplus	9001,52	8275,145	8587,49	11764,43	10423,77	10736,6

Tab.14 Risultati della caratterizzazione sul confronto tra gli scenari 1 e 2 per tutte le città analizzate

I successivi risultati, Fig.23, 24 e 25, riportano l'analisi del confronto dei due scenari in fase di normalizzazione rispettivamente per tutte le categorie di impatto e per le categorie di danno (aggregate secondo parametri del metodo selezionato), nelle città indagate: Palermo (PA), Roma (RM) e Milano (MI). Attraverso la normalizzazione gli indicatori di impatto si possono esprimere in modo tale da poter effettuare un confronto tra tutte le categorie di impatto. Gli indicatori vengono normalizzati tramite la divisione per un valore selezionato di riferimento (riportato nella descrizione del metodo scelto).

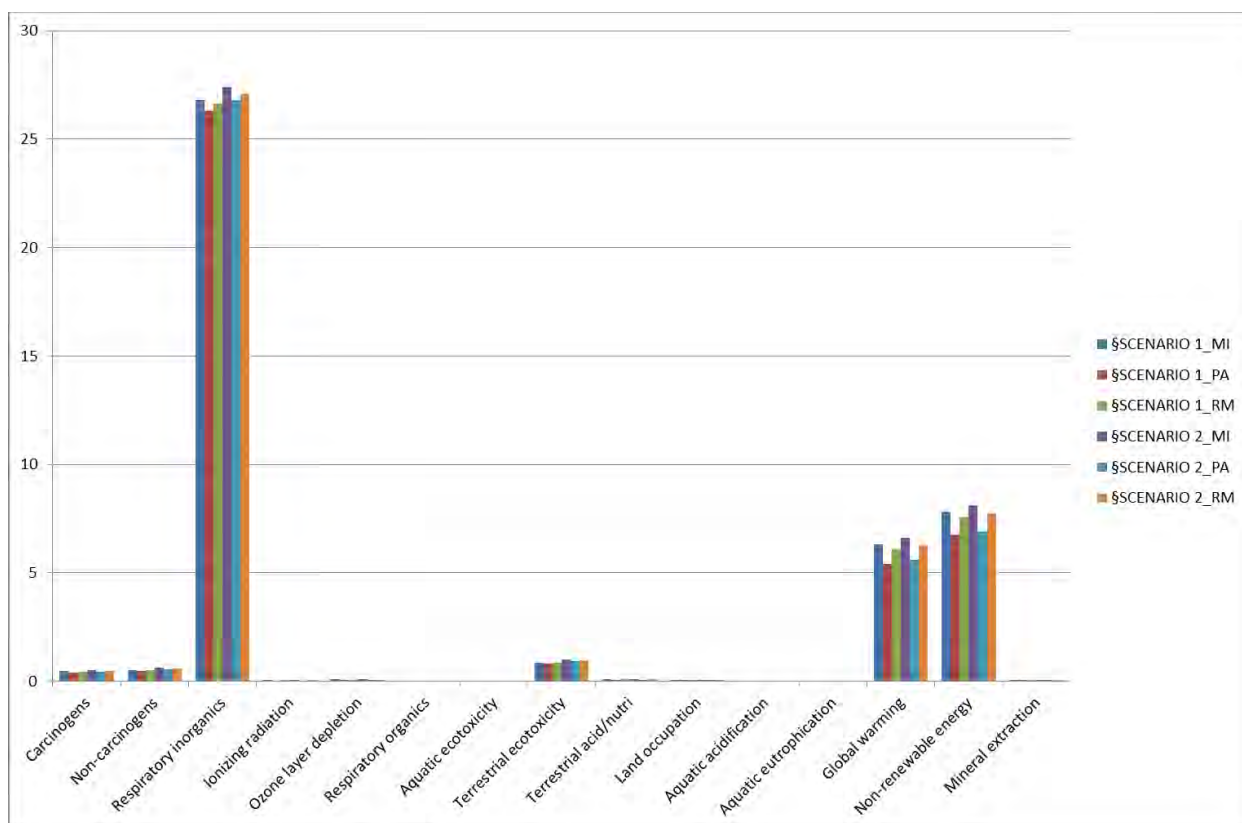


Fig 23 Risultati della normalizzazione sul confronto tra gli scenari 1 e 2 per tutte le città analizzate e per tutte le categorie di impatto.

Facendo una selezione delle categorie di impatto che risultano più impattanti, si ottiene il grafico qui di seguito (Fig.24):

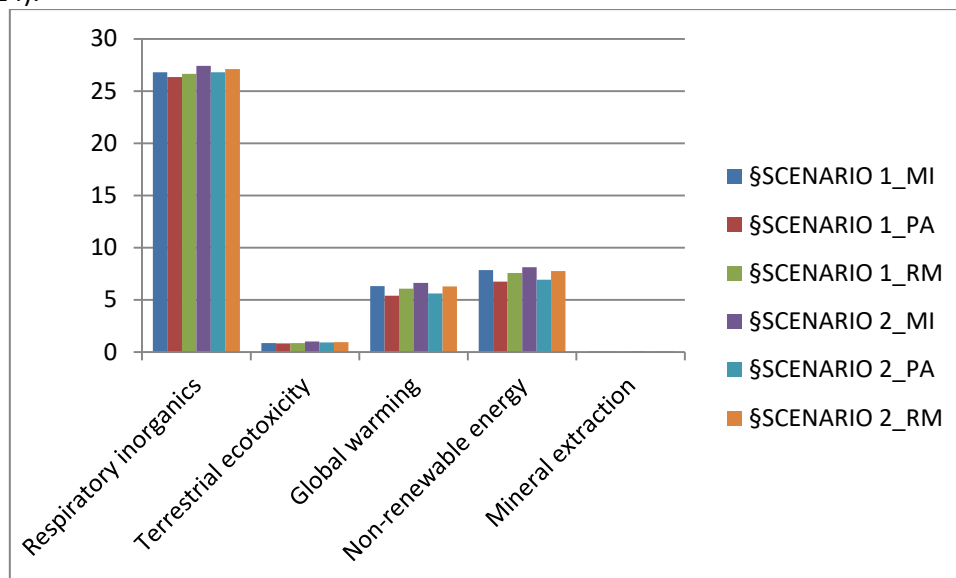


Fig 24 Risultati della normalizzazione sul confronto tra gli scenari 1 e 2 per tutte le città analizzate e per le categorie di impatto più significative.

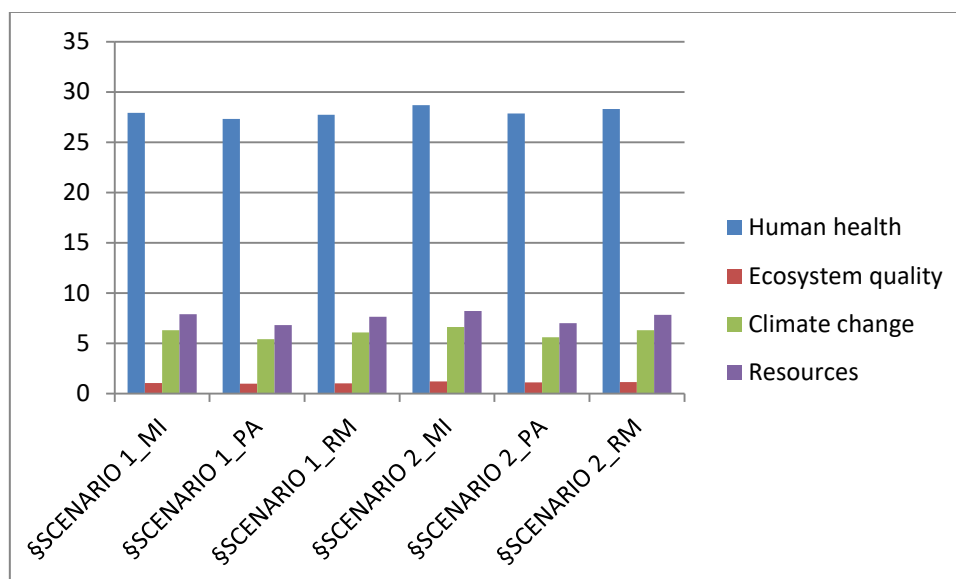


Fig.25 Risultati della normalizzazione sul confronto tra gli scenari 1 e 2 per tutte le città analizzate e per le categorie di danno.

Le categorie di danno su cui si ha maggiore incidenza sono, in ordine decrescente: Salute umana, Utilizzo di risorse, Cambiamenti climatici e qualità dell'ecosistema. La valutazione condotta per punteggio singolo ci conferma questo risultato (Fig. 26) e mostra come le città con maggiore impatto sono

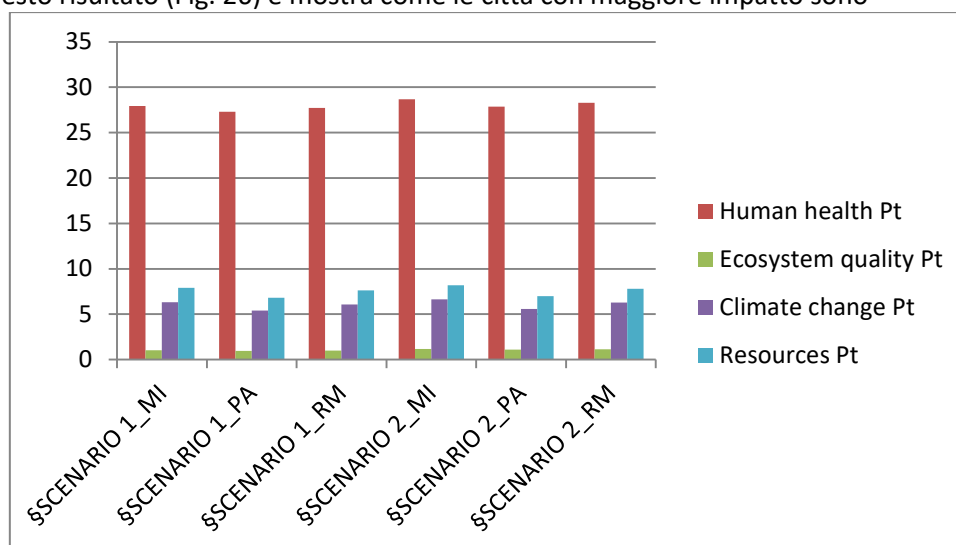


Fig.26 Risultati della valutazione su punteggio singolo per gli scenari 1 e 2 in tutte le città analizzate e per le categorie di danno.

In fig.27 si può valutare l'andamento degli impatti, per categoria di danno e sul punteggio singolo, per le 3 città nei due scenari: si può notare come gli impatti maggiori si abbiano nella città di Milano.

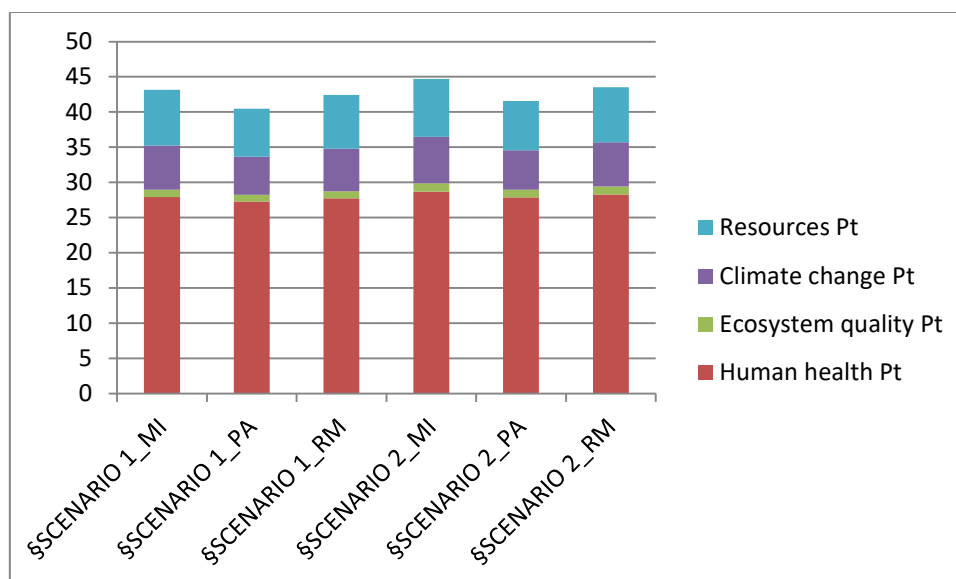


Fig.27 Risultati della valutazione su punteggio singolo per gli scenari 1 e 2 in tutte le città analizzate e per le categorie di danno.

2.4 Interpretazione

La valutazione con LCA comparativa delle prestazioni degli scenari 1 e 2, riqualificazione di 1° livello e nZEB rispettivamente, mostra che lo scenario 2 è di poco più impattante rispetto allo scenario 1.

Questo significa che nonostante il risparmio energetico conseguito (il risparmio di gasolio è infatti identico nei due scenari), l'impatto associato alla produzione degli impianti per il raggiungimento del target nZEB è superiore al beneficio che se ne consegue.

L'analisi considera un consumo annuo pertanto è stata fatta un'analisi di sensibilità portando l'orizzonte temporale del sistema a 20 anni. Tale scelta è da motivarsi con la vita utile dell'impianto dei pannelli fotovoltaici (20 anni) e a tale arco temporale sono stati rapportati tutti gli impianti del sistema, utilizzando la vita utile degli impianti come da tab.15.

Categoria	Dettaglio	Edificio esistente	Scenario 1	Scenario 2	Vita utile (anni)	Quantità da considerare per orizzonte temporale= 20 anni
Involucro opaco	Tamponatura esistente	presente	presente	presente		1
	Intervento di isolamento	NO	Cappotto EPS e accessori	Cappotto EPS con accessori più performante	30	
Involucro trasparente		Infissi esistenti			30	1
	Intervento		Sostituzione di infissi e telai con doppio vetro	Sostituzione di infissi e telai con triplo vetro		
Impianto di termocondizionamento e ACS	Intervento	Caldaia e condizionatori esistenti	Sostituzione con pompa di calore ad acqua e ventilconvettori	Sostituzione con pompa di calore ad acqua e ventilconvettori	15	1,3

Illuminazione	Intervento	Corpi illuminanti esistenti	Sostituzione dell'esistente con LED	Sostituzione dell'esistente con LED	8	2,5
Generazione da rinnovabili	Intervento solare-termico	NO	NO	Impianto dimensionato come da Decreto Requisiti Minimi	15	1,3
	Intervento fotovoltaico	NO	NO	Impianto dimensionato come da Decreto Requisiti Minimi	20	1

Tab.15 Impianti presenti negli scenari analizzati e loro vita utile.

Facendo questa analisi si può valutare se, nel tempo, si ottimizza l'investimento dell'efficientamento nZEB, dal punto di vista ambientale. In Fig.28 si riporta il confronto dei due orizzonti temporali (1 anno e 20 anni) per il solo scenario 2 e si nota come gli impatti si riducano drasticamente, mentre in Fig.29 si riporta il confronto dei 2 scenari con lo stesso orizzonte temporale a 20 anni e la riduzione non è così drastica.

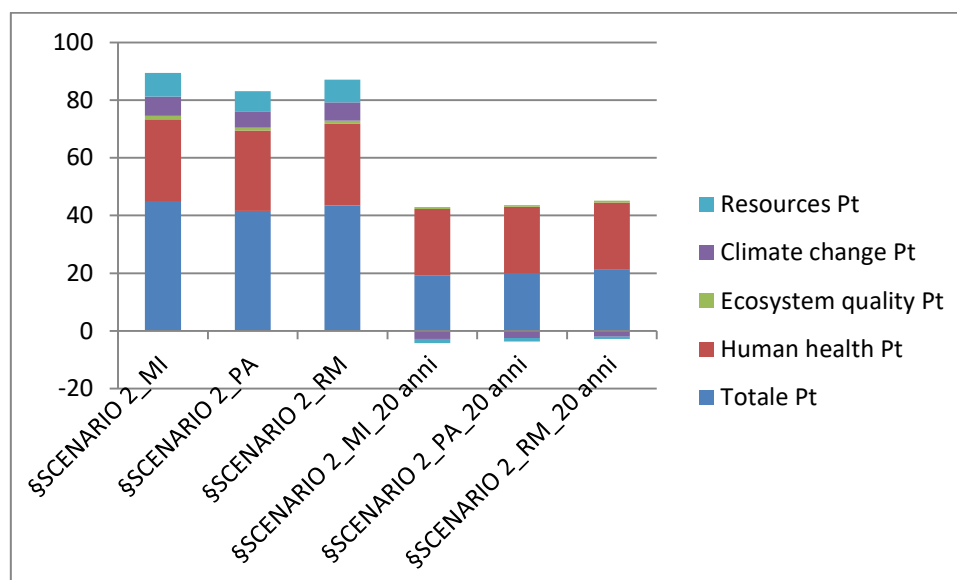


Fig.28 Risultati della valutazione su punteggio singolo, per categoria di danno, per lo scenario2 in tutte le città analizzate, con orizzonte temporale a 20 anni.

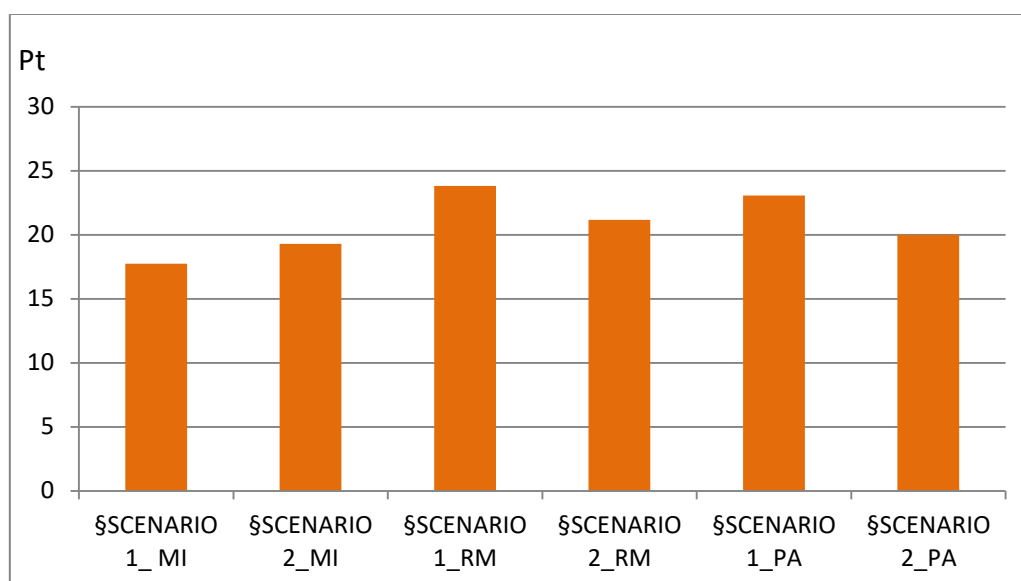


Fig.29 Risultati della valutazione su punteggio singolo, per categoria di danno, per gli scenari 1 e 2 in tutte le città analizzate, con orizzonte temporale a 20 anni.

3 Conclusioni

Questo studio presenta i risultati dell'analisi delle prestazioni energetico-ambientali del ciclo di vita di un complesso sistema edificio. In particolare si voglio analizzare gli effetti del miglioramento dell'efficienza energetica di un edificio convenzionale/tradizionale raggiunto attraverso azioni specifiche che portino ad un efficientamento di tipo medio o alto che si avvicini alle condizioni di NZEB (Nearly Zero Emission Building), per diversi contesti geografici nel nord, centro e sud dell'Italia.

Pertanto lo studio prevede:

1. in una prima parte, nel capitolo 2, di considerare l'approccio normativo ed il percorso di certificazioni sulle prestazioni energetiche in fase d'uso per gli edifici (le direttive comunitarie riguardanti l'efficienza energetica degli edifici sono un volano per l'incremento delle prestazioni energetiche del settore edile).
2. in una seconda parte, capitolo 3, la presentazione dell'applicazione della metodologia di Life Cycle Assessment (LCA) per la valutazione comparata delle prestazioni energetico-ambientali di un edificio convenzionale e di edifici riqualificati con efficientamento energetico in 3 città italiane (Milano, Roma, Palermo). Il paragrafo 1.3 presenta la metodologia LCA e la sua applicazione in letteratura alla valutazione della sostenibilità degli edifici mentre il capitolo 3 presenta l'applicazione della procedura.

La seconda parte del presente lavoro (capitolo 3) illustra, in particolare, gli effetti del miglioramento dell'efficienza energetica raggiunto attraverso azioni specifiche che includono:

-sostituzione ed implementazione di materiali e componenti (materiali innovativi, strati di coibentazione, infissi);

-interventi impiantistici (quali pompe di calore, pannelli,...).

L'obiettivo dello studio è di quantificare il potenziale vantaggio relativo alla riqualificazione di un edificio tramite cui si è conseguito un miglioramento dell'efficienza energetica, rispetto agli impatti associati agli interventi della stessa riqualificazione, in termini energetico-ambientali.

L'analisi sarà di tipo comparativo in quanto si valuteranno gli impatti ambientali dei seguenti scenari, nelle 3 città rappresentative dei diversi contesti geografici nord, centro e sud Italia:

1. edificio riqualificato medio;
2. edificio riqualificato nZEB.

I dati relativi agli interventi di riqualificazione dell'edificio e al potenziale risparmio energetico del sistema 1 e 2 a seguito della riqualificazione di un edificio convenzionale, saranno forniti da un **TEST CASE** elaborato dall'Università degli Studi di Palermo.

La valutazione con LCA comparativa delle prestazioni degli scenari 1 e 2, riqualificazione di 1° livello e nZEB rispettivamente, mostra che lo scenario 2 è di poco più impattante rispetto allo scenario 1 e, in riferimento alle 3 città, si può notare come gli impatti maggiori si abbiano nella città di Milano, seguita da Roma e Palermo.

Questo significa che nonostante il risparmio energetico conseguito (il risparmio di gasolio è infatti identico nei due scenari), l'impatto associato alla produzione degli impianti per il raggiungimento del target nZEB è superiore al beneficio che se ne consegue.

L'analisi considera un consumo annuo pertanto è stata fatta un'analisi di sensibilità portando l'orizzonte temporale del sistema a 20 anni. Tale scelta è da motivarsi con la vita utile dell'impianto dei pannelli

fotovoltaici (20 anni) e a tale arco temporale sono stati rapportati tutti gli impianti del sistema, utilizzando la vita utile degli impianti.

La conclusione dello studio rimanda ad un aumento della ricerca e dello sviluppo per l'ottimizzazione di tecnologie per interventi impiantistici e sui materiali al fine di poter assicurare che azioni volte al risparmio energetico, che hanno benefici sull'ambiente per alcune categorie come per i cambiamenti climatici e l'impronta carbonica, non vadano ad impattare su altre categorie comunemente meno considerate, a causa dei processi necessari per la produzione di impianti e materiali stessi.

4 Riferimenti bibliografici

- UNI EN ISO 14040 (2006)
- Barucco, M.A. I metodi di valutazione della sostenibilità del costruito, UTET, Torino, 2011.
- Butera, F.M. Dalla caverna alla casa ecologica. Storia del comfort e dell'energia, Ed. Ambiente, Milano, 2007.
- Sasso, U. Isolanti SI Isolanti NO, indicazioni operative su come, perché, quando e dove è indicato usare gli isolanti termici in edilizia, Firenze, Alinea editrice, 2003.
- Sasso, U. Dettagli per la Bioclimatica, Firenze, Alinea editrice, 2006.
- Bertagni, S. Sistemi Costruttivi, Criteri per la verifica e certificazione del costruito, EdiCom 2016
- Manfron, V. Qualità ed affidabilità in edilizia, Franco Angeli, Milano, 2005.
- Marangoni, A. La gestione ambientale: la variabile ecologica nell'economia delle aziende industriali, Egea, Milano, 1994.
- UNI/PdR 13:2015, Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità
- <http://www.proitaca.org>
- <http://www.icea.info/it/perche-bio/bio-edilizia>
- <http://www.natureplus.org/>
- Cellura M., F. Guarino, T. M. Gulotta, V. La Rocca, S. Longo, 2017. "Criticità nella progettazione e realizzazione di interventi di riqualificazione a nZEB: implicazioni pratiche, normative e legislative. Riqualificazione energetica di un edificio uso ufficio finalizzata alla realizzazione di uno studio di LCA". Ricerca di sistema elettrico ENEA, Report finale.