



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

DIPARTIMENTO DI RICERCHE ENERGETICHE ED AMBIENTALI

DOTTORATO DI RICERCA IN ENERGETICA

S.S.D. - ING-IND/10

TESI DI DOTTORATO

**STRUMENTI PER LA VALUTAZIONE ENERGETICA DEI
COMPONENTI DI INVOLUCRO EDILIZIO**

Il Decano / Coordinatore del Corso di Dottorato
Prof. Ing. Francesco Castiglia

Tutor
Prof. Ing. Filippo de' Rossi

Candidata
Teresa Perone

Sommario

INTRODUZIONE	5
CAPITOLO 1	8
La normativa energetica	8
1.1 La normativa energetica europea	8
1.2 La legislazione sull'efficienza energetica in Italia fino al D.Lgs. 311/2006 .	12
1.3 La nuova legislazione sull'efficienza energetica: il DPR 59/09	17
1.4 Le Linee guida per la certificazione energetica degli edifici.....	21
1.5 Gli incentivi statali.....	25
CAPITOLO 2	29
Il caso studio.....	29
2.1 Introduzione	29
2.2 Descrizione dell'oggetto di studio.....	29
2.3 Interventi di riqualificazione energetica dell'involucro edilizio dell'edificio oggetto di studio.....	33
2.4 Interventi di riqualificazione dell'impianto dell'edificio oggetto di studio.....	39
CAPITOLO 3	41
I codici di calcolo	41
3.1 Introduzione	41
3.2 Gli standard tecnici europei successivi alla EPBD	42
3.2.1 Il ruolo della norma UNI EN ISO 13790:2008	46
3.3 Le procedure di calcolo italiane	48
3.3.1 Norma UNI/TS 11300: Parte I	50
3.3.2 Norma UNI/TS 11300: Parte II	57
3.4 Strumenti e metodi per la simulazione energetica degli edifici	61
3.4.1 Il BEPS: Building Energy Performance Simulation.....	62
3.4.2 Struttura del software EnergyPlus e procedura di simulazione	65
CAPITOLO 4	73

Analisi energetica e dei costi di investimento	73
4.1 Premessa.....	73
4.2 Analisi energetica dinamica	74
4.3 Calcolo del costo degli interventi	77
4.4 Indici di analisi energetica ed economica	79
4.5 Analisi dei risultati	82
4.5.1 Valutazione del risparmio annuo (beneficio).....	94
4.5.2 Metodo di analisi	96
4.6 Analisi energetica stazionaria	98
CAPITOLO 5:	101
Dalla certificazione energetica alla valutazione della sostenibilità globale del processo edilizio: l'Analisi del Ciclo di Vita (LCA)	101
5.1 Strumenti e sistemi per l'edilizia sostenibile	102
5.2 L'edilizia ad elevata qualità ambientale.....	105
5.3 Struttura di una LCA.....	107
5.3.1 Prima fase di una LCA: definizione degli scopi e degli obiettivi	108
5.3.2 Seconda fase di una LCA: analisi dell'inventario (LCI).....	110
5.3.3 Terza fase di una LCA: Analisi degli impatti (LCIA)	113
5.3.3 Quarta fase di una LCA: interpretazione dei risultati.....	116
5.4 Gli strumenti informatici per analizzare il ciclo di vita.....	117
5.4.1 I principali software per la valutazione ambientale dei materiali edili	117
5.5 Applicazione dell'LCA ad un caso studio nella provincia di Napoli.....	121
5.6 Il ciclo di vita degli edifici.....	122
5.6.1 Il fine vita dei materiali edili	123
5.6.2 Le fasi dello studio e le ipotesi di calcolo	124
5.6.3 Analisi dei risultati	125
5.7 Considerazioni finali	131
CAPITOLO 6:	132
Strumenti per agire e valutare: i protocolli di valutazione ambientale	132
6.1 Le pratiche per la valutazione della sostenibilità energetica: i "Rating System"	132
6.2 Il sistema di certificazione BREEAM	135
6.2.1 Le categorie e il sistema di attribuzione del punteggio.....	135
6.2.2 Procedura di accreditamento e di certificazione BREEAM	139

6.3	Il sistema di certificazione ITACA.....	140
6.3.1	Protocollo ITACA 2009	144
6.3.2	Procedura di accreditamento e di certificazione	154
6.4	Protocollo Itaca “Semplificato” 2009.....	155
6.5	Protocollo ITACA 2011	159
6.6	Il sistema di certificazione LEED negli USA.....	162
6.6.1	Il sistema di attribuzione del punteggio dei crediti	165
6.6.2	Procedura di accreditamento e di certificazione LEED.....	168
6.7	Il sistema di certificazione LEED NC 2009 ITALIA	169
6.7.1	Il sistema di attribuzione del punteggio per i crediti	172
6.7.2	Descrizione delle finalità e dei requisiti dei principali crediti.....	177
6.7.2.1	Crediti per la sostenibilità del sito (SS)	177
6.7.2.2	Crediti per la gestione efficiente dell’acqua (GA).....	179
6.7.2.3	Crediti per la categoria Energia e Ambiente (EA).....	180
6.7.2.4	Crediti per materiali e risorse (MR)	183
6.7.2.5	Crediti per la qualità ambientale interna (QI)	184
6.7.2.6	Crediti per l’innovazione nella progettazione (IP).....	186
6.7.3	Procedura di accreditamento e di certificazione LEED NC 2009.....	186
6.8	I protocolli di valutazione a confronto	188
CAPITOLO 7		191
Applicazione dei Protocolli italiani ad un caso studio nella provincia di Napoli		191
7.1	Descrizione qualitativa dell’edificio	191
7.2	Applicazione del Protocollo Itaca 2011: analisi dei risultati	192
7.2.1	Area di valutazione: qualità del sito (sito).....	194
7.2.2	Area di valutazione: qualità del sito (edificio)	194
7.2.3	Area di valutazione: consumo di risorse	195
7.2.4	Area di valutazione: carichi ambientali	196
7.2.5	Area di valutazione: qualità ambientale indoor	197
7.2.6	Area di valutazione: qualità del servizio	198
7.3	Il risultato finale: motivazioni e riflessioni	199
7.4	Applicazione del Protocollo LEED 2009 NC e Ristrutturazioni: analisi dei risultati.....	201
7.5	Confronto tra i due metodi	206

CONCLUSIONI	209
BIBLIOGRAFIA	216
INDICE DELLE FIGURE.....	221
INDICE DELLE TABELLE.....	224

Introduzione

Le alterazioni climatiche del pianeta e la consapevolezza della dipendenza del sistema energetico mondiale da fonti di origine fossile hanno portato, in ambito internazionale e nazionale, a regolamentare la domanda energetica del settore edilizio in modo da orientarlo verso la cosiddetta “costruzione sostenibile”.

L'obiettivo è il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici mediante progettazione accurata dell'involucro edilizio e degli impianti, ricorso integrato alle fonti energetiche rinnovabili, sia in riferimento alle nuove costruzioni che alla riqualificazione energetica degli edifici esistenti.

Parallelamente, i governi di molti Stati europei hanno introdotto incentivi economici per agevolare interventi di riqualificazione energetica, che garantiscano tempi di ritorno degli investimenti compatibili con le possibilità di spesa dei proprietari degli immobili e il ciclo di vita delle tecnologie impiegate.

Alla luce di quanto detto, il presente lavoro di tesi si propone di effettuare uno studio approfondito del sistema edificio-impianto di climatizzazione, sia in termini energetici che ambientali.

La prima parte del presente scritto, dopo una panoramica sulla normative comunitarie e nazionali sul tema delle prestazioni energetiche degli edifici, affronta la caratterizzazione energetica del sistema edificio-impianti.

Sta diventando sempre più diffuso l'impiego di modelli di simulazione per la progettazione e la verifica della prestazione, poiché la disponibilità di modelli di calcolo avanzati consente di dimensionare, abbastanza velocemente, l'impianto di riscaldamento e climatizzazione in relazione sia alle caratteristiche termofisiche dell'involucro sia alle condizioni d'uso del sistema stesso, sempre in funzione delle condizioni climatiche del sito in cui l'edificio è localizzato.

Inoltre la maggior parte di questi modelli di simulazione consente di studiare il sistema al variare dei parametri che lo definiscono e di confrontare diverse soluzioni progettuali.

Pertanto sono state analizzate le procedure di calcolo previste dalla norma e le caratteristiche essenziali del motore di simulazione Energy Plus utilizzato per le analisi dinamiche.

L'oggetto di studio è stato un edificio multipiano realizzato con struttura portante in conglomerato cementizio armato, tipico degli anni '70.

A partire dalla caratterizzazione delle strutture edilizie è stata realizzata un'accurata modellazione numerica, mediante codici di calcolo per l'analisi energetica dinamica del sistema complesso edificio-impianti e di alcuni interventi possibili da adottare per la

riqualificazione energetica dell'edificio preso in esame, in modo da testare l'efficacia tecnica ed economica di interventi di efficientamento mediante azione sia sull'involucro edilizio che sugli impianti installati.

Inoltre, sono stati stimati i vantaggi in termini di impatto ambientale, valutando la riduzione in termini di emissioni di CO₂ legate alla riduzione del fabbisogno energetico e quindi del consumo di combustibile.

Lo studio è stato condotto collocando l'edificio in esame in quattro diverse città italiane, scelte con riferimento alle diverse zone climatiche della penisola e verificando per ciascuna di esse il consumo energetico ed il tempo di ritorno degli investimenti, con riguardo alle diverse tecnologie di intervento impiegate per il contenimento del fabbisogno energetico.

Per poter confrontare l'edificio sia in regime stazionario che dinamico sono stati valutati due casi studio, per ognuna delle 4 città, con un software commerciale che opera in regime stazionario utilizzando la norma UNI/TS 11300:2008 che è lo strumento che descrive la procedura di calcolo da seguire per la Certificazione Energetica degli edifici.

La seconda parte del presente lavoro affronta lo stato dell'arte in materia di sostenibilità certificata, pertanto sono stati analizzati entrambi gli approcci: la metodologia del Life Cycle Assessment (LCA) e i Rating System.

La prima metodologia consente di valutare la sostenibilità ambientale di un "sistema prodotto" durante tutto il suo Ciclo di Vita, ossia from cradle to grave, comprendendo quindi l'estrazione e la lavorazione delle materie prime, la fase di fabbricazione del prodotto, il trasporto e la distribuzione, l'utilizzo e l'eventuale riuso del prodotto o delle sue parti, la raccolta, lo stoccaggio, il recupero e lo smaltimento finale dei relativi rifiuti.

La valutazione del ciclo di vita è in uso in vari settori produttivi e presenta i vantaggi di un'informazione oggettiva. Trasferita e adeguata al settore delle costruzioni essa diviene uno strumento di analisi che consente di ragionare in un'ottica di sostenibilità ambientale non più solo nella progettazione di fabbricati ma anche nella loro costruzione e nella loro gestione, estendendosi così a tutto il processo edilizio. Il sistema coinvolge quindi anche il mondo della produzione e lo spinge a ricercare soluzioni innovative volte a migliorare le prestazioni dei materiali e a diminuirne l'impatto ambientale.

Si tratta della metodologia più appropriata per valutare l'eco-compatibilità dei prodotti edilizi in maniera scientifica, affidabile e condivisa anche a livello internazionale essendo la procedura normata dalle norme UNI EN ISO della serie 14040.

L'analisi LCA è stata applicata all'edificio preso in esame per l'analisi tecnico-economica degli interventi per la riqualificazione energetica per due differenti tecnologie costruttive.

Risulta evidente che applicare la metodologia sopra descritta ad un edificio risulta un'operazione fortemente impegnativa e onerosa viste la quantità di informazioni richieste.

Per questa ragione si stanno diffondendo su scala nazionale ed internazionale “metodi qualitativi” (Rating System) che, facendo riferimento alle normative tecniche e ai codici di buona pratica esistenti nei diversi paesi in cui vengono applicate, contribuiscono in modo significativo sia all’adozione di corrette pratiche di gestione ambientale da parte delle imprese del settore, sia alla diffusione di materiali edili a basso impatto ambientale presso i consumatori sia pubblici che privati. In particolare i Rating System si basano su liste di requisiti a ciascuno dei quali viene attribuito un giudizio di valutazione su scala numerica, la somma dei crediti numerici acquisiti determina il punteggio globale che esprime quanto è “virtuoso” l’edificio in esame.

Sono stati presentati quindi gli strumenti ad oggi noti e utilizzati a livello internazionale per la valutazione del livello di sostenibilità energetico ambientale degli edifici, da un punto di vista del processo, delle tematiche da essi affrontate, delle professioni coinvolte.

Utilizzare questi sistemi di valutazione di impatto ambientale comporta la necessità di affrontare calcoli complessi che richiedono competenze specifiche, per questa ragione si inseriscono nella pratica della progettazione, della costruzione e della gestione del costruito nuove figure professionali in grado di risolvere e di affrontare le questioni connesse alla valutazione e alla misura delle prestazioni energetiche di un edificio dalla fase di progettazione a quella di esercizio.

Infine è stato determinato il grado di sostenibilità ambientale, secondo i due protocolli italiani “Protocollo Itaca” e “LEED 2009 Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni”, dell’immobile per civile abitazione preso in esame precedentemente.

Il punteggio attribuito ai sottorequisiti elencati nel Protocollo ITACA è dettato dal valore dell’indicatore di prestazione ricavato sulla base delle normative vigenti. Per quanto attiene il sistema di valutazione LEED, invece sarà indispensabile dapprima assicurarsi che l’immobile verifichi obbligatoriamente tutti i prerequisiti elencati in ciascuna area di valutazione e successivamente procedere all’attribuzione del punteggio ad ogni credito, spuntando le voci verificate dall’edificio.

Per entrambe le procedure di valutazione, è necessario conoscere i dati di involucro e i fabbisogni di energia primaria per il riscaldamento e il raffrescamento, di acqua calda sanitaria e i consumi per l’illuminazione artificiale degli ambienti.

Il punteggio finale rappresenterà, per entrambi i sistemi di valutazione, la complessa matrice di interrelazioni che vi è tra le grandi aree dell’energia e atmosfera, della gestione dell’acqua, della sostenibilità del sito, dei materiali e le risorse, della qualità dell’ambiente interno e dell’innovazione identificando in ciascuna delle aree sopra menzionate alcuni aspetti che sono ritenuti primari e di estrema importanza.

Capitolo 1

La normativa energetica

Le preoccupazioni connesse alle alterazioni climatiche del pianeta e la consapevolezza della dipendenza del sistema energetico mondiale da fonti primarie di origine fossile ha portato, in ambito internazionale e nazionale, a regolamentare anche la domanda energetica del settore edilizio in modo da orientarlo verso la cosiddetta “costruzione sostenibile”.

L’obiettivo generale è quello di migliorare le prestazioni energetiche degli edifici con una progettazione accurata dell’involucro edilizio e degli impianti, e il ricorso integrato alle fonti rinnovabili, sia in riferimento alle nuove costruzioni che alla riqualificazione energetica degli edifici esistenti.

In questa ottica, la progettazione di un edificio, viene basata non solo sul rispetto di criteri atti a garantirne la sicurezza strutturale, l’integrazione architettonica con l’ambiente circostante, il comfort e la vivibilità interna, ma si pone attenzione anche ai parametri energetico-ambientali. Durante la vita utile di un edificio, una rilevante quantità dell’energia richiesta viene dispersa verso l’esterno dalle strutture che separano l’edificio dall’ambiente circostante (muri, pavimento, soffitto, finestre) e dagli impianti di riscaldamento.

La scarsa efficienza dipende dal fatto che il parco edilizio italiano presenta oltre diciassette milioni di edifici antecedenti alla *Legge 373/76*, privi pertanto di attenzione progettuale all’isolamento termico, per cui molto spesso gli edifici esistenti sono macchine energivore caratterizzate da significativi sprechi energetici (circa il 70%).

Il comparto del recupero edilizio, rispetto all’intero settore delle costruzioni, costituisce in Italia il principale ambito di investimento, con più del 60% degli investimenti in edilizia.

Per ridurre i consumi di energia di un edificio si sono resi attuativi specifici regolamenti a livello nazionale ed europeo in vista di un reale miglioramento dell’efficienza energetica degli edifici, razionalizzando l’uso delle fonti primarie e premiando gli interventi che riducano i consumi e privilegino l’utilizzo di fonti rinnovabili.

1.1 La normativa energetica europea

In Europa, la direttiva 2002/91/CE, “*Energy Performance of Buildings*” (EPBD), per il miglioramento del rendimento energetico in edilizia, ha dato il primo input ad una politica

comunitaria che abbia come scopo quello di ottimizzare l'uso dell'energia. Con l'emanazione della direttiva si mirava ad accelerare le azioni di risparmio energetico e a ridurre le differenze tra i vari stati dell'Unione, definendo metodologie comuni finalizzate allo sviluppo di standard minimi di prestazione energetica, tali da poter essere applicate a tipologie edilizie differenti.

Le disposizioni in essa contenute riguardano:

1. il quadro generale di una metodologia per il calcolo del rendimento energetico integrato degli edifici;
2. l'applicazione di requisiti minimi in materia di rendimento energetico degli edifici di nuova costruzione;
3. l'applicazione di requisiti minimi in materia di rendimento energetico degli edifici esistenti di grande metratura sottoposti a importanti ristrutturazioni;
4. la certificazione energetica degli edifici;
5. l'ispezione periodica delle caldaie e dei sistemi di condizionamento d'aria negli edifici, nonché una perizia del complesso degli impianti termici le cui caldaie abbiano più di quindici anni.

Per quanto riguarda il primo punto, agli Stati membri era richiesto di adottare le misure necessarie per garantire i requisiti minimi di rendimento energetico per gli edifici. Nel fissare tali requisiti, si può distinguere tra edifici già esistenti e quelli di nuova costruzione, nonché diverse categorie di edifici; tenendo conto delle condizioni generali del clima degli ambienti interni allo scopo di evitare eventuali effetti negativi (quali una ventilazione inadeguata), nonché delle condizioni locali, dell'uso cui l'edificio è destinato e della sua età. I requisiti controllati a scadenze regolari non dovrebbero superare i cinque anni e, se necessario, aggiornati in funzione dei progressi tecnici nel settore dell'edilizia. Gli Stati membri possono, inoltre, decidere di non applicare i requisiti ad alcune categorie di fabbricati, quali: edifici e monumenti ufficialmente protetti come patrimonio designato o in virtù del loro speciale valore architettonico o storico; edifici adibiti a luoghi di culto; fabbricati temporanei con un tempo di utilizzo previsto non superiore a due anni; edifici residenziali destinati ad essere utilizzati meno di quattro mesi all'anno; fabbricati indipendenti con una metratura utile totale inferiore a 50 m².

Per quanto riguarda l'applicazione di requisiti minimi in materia di rendimento energetico degli edifici di nuova costruzione, per una metratura utile totale superiore a 1000 m² deve essere valutata e tenuta presente prima dell'inizio dei lavori di costruzione la fattibilità tecnica, ambientale ed economica di sistemi alternativi (quali ad esempio cogenerazione, sistemi di fornitura energetica decentrati basati su FER, sistemi di riscaldamento e climatizzazione a distanza, pompe di calore).

Il terzo punto, riguardante edifici già esistenti, stabilisce che talora gli edifici di metratura totale superiore a 1000 m² subiscono ristrutturazioni importanti, il loro rendimento energetico deve soddisfare i requisiti minimi per quanto tecnicamente, funzionalmente ed economicamente fattibile.

La certificazione energetica degli edifici, la cui validità è di dieci anni al massimo, comprende dati di riferimento, quali i valori vigenti a norma di legge, e i valori riferimento che consentano ai consumatori di valutare e raffrontare il rendimento energetico dell'edificio. L'attestato è corredato di raccomandazioni per il miglioramento del rendimento energetico in termini di costi-benefici. La certificazione per gli appartamenti di un condominio può fondarsi su una certificazione comune dell'intero edificio per i condomini dotati di un impianto termico comune o sulla valutazione di un altro appartamento rappresentativo dello stesso condominio. Gli Stati membri, inoltre, adottano le misure atte a garantire che negli edifici la cui metratura utile totale supera i 1000 m² occupati da enti pubblici, sia affisso in luogo chiaramente visibile per il pubblico un attestato di certificazione energetica risalente a non più di dieci anni prima.

Per quanto riguarda l'ultimo punto, al fine di ridurre il consumo energetico e i livelli di emissione di biossido di carbonio, gli Stati membri adottano le misure necessarie per prescrivere ispezioni periodiche delle caldaie e dei sistemi di condizionamento d'aria, o adottare provvedimenti atti ad assicurare che sia fornita alle utenze una consulenza in merito alla sostituzione delle caldaie, ad altre modifiche dell'impianto termico o dei sistemi di condizionamento.

La certificazione degli edifici e l'ispezione delle caldaie e dei sistemi di condizionamento d'aria devono essere effettuate in maniera indipendente da esperti qualificati e/o riconosciuti, qualora operino come imprenditori individuali o impiegati di enti pubblici o di organismi privati. Inoltre gli Stati membri adottano le misure necessarie per informare gli utilizzatori di edifici sui diversi metodi e sulle diverse prassi che contribuiscono a migliorare il rendimento energetico realizzando campagne di informazione, che possono essere oggetto di programmi comunitari. Questa direttiva entra in vigore il giorno della pubblicazione nella Gazzetta ufficiale delle Comunità europee [1].

L'8 luglio 2010 è entrata in vigore la Direttiva 2010/31/CE. Essa sostituirà, dal 1 febbraio 2012, la Direttiva 2002/91/CE.

La nuova direttiva, come specifica l'articolo 1, "promuove il miglioramento della prestazione energetica degli edifici all'interno dell'Unione, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne, nonché delle prescrizioni relative al clima degli ambienti interni e all'efficacia sotto il profilo dei costi".

Rispetto alla prima direttiva, la 2010/31/CE dispone l'applicazione di requisiti minimi alla prestazione energetica, non solo ad edifici di nuova costruzione e quelli esistenti di grande metratura, ma anche a:

- tutti gli edifici esistenti, unità immobiliari ed elementi edilizi sottoposti a ristrutturazioni importanti;
- elementi edilizi che fanno parte dell'involucro dell'edificio e hanno un impatto significativo sulla prestazione energetica dell'involucro dell'edificio quando sono rinnovati o sostituiti;
- sistemi tecnici per l'edilizia quando sono installati, sostituiti o sono oggetto di un intervento di miglioramento;

I requisiti minimi della prestazione energetica saranno fissati e aggiornati ogni cinque anni dai singoli Stati.

Tra gli obiettivi della nuova direttiva, viene introdotto un sesto punto che impone piani nazionali destinati ad aumentare il numero di edifici ad "energia quasi zero", cioè di edifici ad altissima prestazione energetica, in cui il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili. Entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione dovranno essere edifici a "energia quasi zero". Per gli edifici pubblici questa scadenza è anticipata al 31 dicembre 2018.

La metodologia per il calcolo della prestazione energetica integrata degli edifici e delle unità immobiliari, non differisce molto da quella della prima direttiva. Essa dovrà essere determinata sulla base delle caratteristiche termiche dell'edificio e delle sue divisioni interne (capacità termica, isolamento, riscaldamento passivo, elementi di raffrescamento, ponti termici), degli impianti di riscaldamento, di produzione di acqua calda, di condizionamento, di illuminazione, e sulla base dell'orientamento dell'edificio, dei sistemi solari passivi e di protezione solare.

Gli Stati membri dovranno istituire un sistema di certificazione energetica degli edifici. L'attestato di prestazione energetica comprenderà la prestazione energetica di un edificio e i valori di riferimento, quali i requisiti minimi di prestazione energetica. Il certificato, di validità massima 10 anni, potrà contenere informazioni supplementari e raccomandazioni per il miglioramento efficace o ottimale in funzione dei costi della prestazione energetica. Il certificato di prestazione energetica dovrà essere rilasciato:

- per gli edifici o le unità immobiliari costruiti, venduti o locati;
- per gli edifici in cui una porzione di oltre 500 m² è occupata da enti pubblici e frequentata dal pubblico.

Dopo cinque anni dall'entrata in vigore della direttiva, la soglia di 500 m² è abbassata a 250 m². In caso di costruzione, vendita o locazione, il certificato di prestazione energetica

dovrà essere mostrato al potenziale acquirente o nuovo locatario e consegnato all'acquirente o al nuovo locatario. In caso di vendita o locazione di un edificio prima della sua costruzione, gli Stati potranno disporre che il venditore fornisca una valutazione della futura prestazione energetica dell'edificio; in tal caso, il certificato di prestazione energetica deve essere rilasciato entro la fine della costruzione.

La direttiva disciplina, infine, le ispezioni degli impianti di riscaldamento degli edifici dotati di caldaie con una potenza superiore a 20 kW e degli impianti di condizionamento d'aria con potenza superiore a 12 kW.

La direttiva sottolinea inoltre l'importanza di mettere a disposizione adeguati strumenti di finanziamento e incentivi per favorire l'efficienza energetica degli edifici ed il passaggio a "edifici ad energia quasi zero" [2].

1.2 La legislazione sull'efficienza energetica in Italia fino al D.Lgs. 311/2006

Il recepimento delle direttive europee ha condotto ad una serie di normative nazionali sul tema delle prestazioni energetiche degli edifici. La Commissione Europea ha dato mandato al CEN (Comitato Europeo di Normazione) per preparare il pacchetto delle norme a supporto della direttiva EPBD ed è rappresentato da 43 titoli o parti.

Si riportano a seguire le principali leggi, norme e parti di norme che risultano determinanti nella definizione globale del processo di efficientamento del settore edilizio.

La prima legge per il contenimento dei consumi energetici, in Italia, dunque è stata la legge N. 373 del 30 aprile del 1976 ed il relativo regolamento di esecuzione D.P.R. 1052 del giugno del 1977 che fissavano regole atte a contenere l'energia spesa per il riscaldamento negli edifici, vincolando però solo le caratteristiche di isolamento dell'edificio, senza valutazione delle prestazioni degli impianti di riscaldamento. La disposizione più rilevante era costituita dall'obbligo del calcolo delle dispersioni termiche dell'involucro, (mediante il coefficiente C_d^1), che dovevano essere contenute entro un valore massimo prestabilito, (C_{dlim}), determinato dal contesto climatico e dal rapporto di forma dell'edificio [3].

La legge mirava ad avere involucri con una buona resistenza termica in modo da assicurare il confort riducendo i consumi energetici per il riscaldamento.

¹ Il Coefficiente volumico di dispersione termica (C_d) è il rapporto tra la potenza termica dispersa per trasmissione attraverso l'involucro riscaldato in condizioni di progetto, ed il prodotto del volume lordo riscaldato e la differenza tra la temperatura interna di progetto e quella esterna di progetto.

Successivamente, la legge N.10 del gennaio 1991 (*"Norme per l'attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia"*) e il D.P.R. del giugno del 1993 N.412, hanno abrogato la legge 373; l'obiettivo del risparmio energetico è affrontato non solo dal punto di vista dell'involucro edilizio ma anche dal punto di vista dell'efficienza dell'impianto, ed inoltre, per la prima volta si è introdotto il tema della *"certificazione energetica"*.

La differenza più significativa, rispetto alla legge precedente, riguardava il legame tra edificio ed impianto in quanto le prestazioni dell'impianto termico e la trasmittanza dell'involucro concorrevano insieme alla determinazione di un nuovo parametro chiamato FEN (*fabbisogno energetico normalizzato per la climatizzazione invernale*) che qualificava sul piano delle prestazioni l'intero sistema.

La legge 10/91 recepiva pienamente le linee guida europee (CEN) e mondiali (ISO) che prevedevano il calcolo dei consumi di energia del sistema edificio-impianto quale parametro da utilizzare come riferimento e guida per analisi, valutazione e validazione delle scelte progettuali. Limitare i consumi rappresentava un passo decisivo verso una filosofia del risparmio energetico e di riduzione degli impatti ambientali, in cui la progettazione degli edifici teneva conto di fattori ambientali, tipologici e tecnologici.

Come si evince da questo breve quadro, c'erano tutte le premesse per realizzare una tra le più avanzate ed efficaci normative di risparmio energetico nel settore edilizio, in quanto la legge 10/91 conteneva i principi cardine per la costruzione di edifici meno onerosi energeticamente introducendo, allo stesso tempo, un'azione di controllo attraverso la certificazione energetica. La legge 10/91 rendeva obbligatorio anche l'uso delle fonti rinnovabili nella progettazione degli edifici pubblici.

Al fine di migliorare i processi di trasformazione dell'energia, ridurre i consumi di energia e migliorare le condizioni di compatibilità ambientale dell'utilizzo dell'energia a parità di servizio reso e di qualità della vita, la legge 10/91 favoriva ed incentivava, in accordo con la politica energetica della Comunità economica europea, l'utilizzazione delle fonti rinnovabili di energia.

In particolare venivano definite fonti energetiche rinnovabili:

- il sole;
- il vento;
- l'energia idraulica;
- le risorse geotermiche;
- le maree;
- la trasformazione dei residui organici o di prodotti vegetali.

Di altra natura erano le fonti energetiche assimilate alle fonti rinnovabili, così come introdotte dalla legge stessa: la cogenerazione, intesa come produzione combinata di energia elettrica o meccanica e di energia termica, il calore recuperabile nei fumi di scarico e da impianti termici, da impianti elettrici e da processi industriali, nonché le altre forme di energia recuperabile in processi, in impianti e in prodotti ivi compresi i risparmi di energia conseguibili nella climatizzazione e nell'illuminazione degli edifici [4].

Tuttavia, per questa legge non tutti i decreti di attuazione sono stati emessi.

Il cammino verso la certificazione energetica continuava e nel 1994 veniva pubblicato il D.M. 6/8/1994 contenente le *“Modificazioni ed integrazioni alla tabella relativa alle zone climatiche di appartenenza dei comuni italiani”* e il *“Recepimento delle Norme UNI per il contenimento dei consumi di energia degli impianti termici degli edifici.”* Nel 1998 la *“riforma Bassanini”* trasferiva le competenze amministrative sulla certificazione energetica degli edifici alle Regioni.

Nella stessa direzione è andata la riforma del 2001 al titolo V della Costituzione. Con tale riforma le Regioni avevano il potere di definire le strategie per l'efficienza energetica degli edifici e per il contenimento dei consumi energetici. L'autonomia delle regioni e la pubblicazione della direttiva 2002/91/CE hanno dato il via alla nascita di un interesse, nonché di un'attenzione crescente e concreta alle strategie di contenimento dei consumi energetici. Nel 2005, è stata pubblicata la norma UNI EN 13790 *“Prestazione termica degli edifici – Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento”* che con la versione del 2008 rappresenta la norma europea oggi più importante in vigore.

Nel 2005, in Italia, sono stati approvati due importanti decreti:

- D.M. 27/7/2005 del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti *“Norme per l'attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia”*.
- D.Lgs. 19/8/2005 n. 192 *“Attuazione della Direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia”*, direttiva che si inquadra nell'ambito delle iniziative prese dalla Comunità Europea nel settore del cambiamento climatico, della sicurezza e dell'approvvigionamento di energia.

Il primo è stato l'ultimo atto della Legge 10/91, ed è stato in vigore per solo tre settimane. Il D.Lgs. 192/2005, invece, rappresenta lo strumento legislativo italiano di formale recepimento della EPBD. Questo introduceva modifiche, integrazioni e aggiornamenti alla disciplina già vigente in materia, rappresentata dalla Legge 10/91 e dal D.P.R. n. 412, definendo il concetto di *“prestazione energetica di un edificio”* come *“la quantità di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari*

bisogni connessi ad un uso standard dell'edificio, compresi tra gli altri, il riscaldamento, il riscaldamento dell'acqua, il raffreddamento, la ventilazione e l'illuminazione."

Obiettivo del decreto era dunque di *"stabilire criteri, condizioni e modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire lo sviluppo delle fonti rinnovabili, contribuire a conseguire gli obiettivi nazionali di limitazione dei gas serra in conformità al protocollo di Kyoto e promuovere la competitività e lo sviluppo tecnologico"*. Questo decreto si applica integralmente a edifici di nuova costruzione e, in caso di ristrutturazione completa, ad edifici di superficie utile superiore a 1000 m² ad esclusione di fabbricati industriali, artigianali ed agricoli non residenziali riscaldati per esigenze di processo produttivo o utilizzando reflui energetici, i fabbricati protetti dal codice dei beni culturali e del paesaggio e i fabbricati isolati di piccole dimensioni [5].

Tale decreto prevedeva che gli edifici dovessero essere dotati, entro l'ottobre del 2006, di un attestato di certificazione energetica, il quale andava allegato a tutti gli atti di compravendita immobiliare, pena di nullità della compravendita stessa. Tale attestato aveva validità temporale pari a 10 anni, andava aggiornato ad ogni intervento di ristrutturazione che modificasse la prestazione dell'edificio o dell'impianto e conteneva i dati relativi all'efficienza energetica dell'edificio unitamente ai valori vigenti a norma di legge ed ai valori di riferimento in modo da consentire valutazioni e confronti [6].

Tale decreto è stato modificato ed integrato con la pubblicazione del D.Lgs. N. 311 approvato dal Consiglio dei Ministri il 29/12/2006: *"Disposizioni correttive ed integrative al D.Lgs. n. 192/2005 in attuazione alla Direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico in edilizia."*

Con l'integrazione dovuta al Dlgs 311/06 la certificazione energetica degli edifici diviene obbligatoria, oltre che per gli edifici di nuova costruzione, anche per gli edifici esistenti in caso di locazione o di trasferimento a titolo oneroso.

L'attestato di certificazione energetica deve essere redatto dal direttore dei lavori e presentato al Comune di competenza contestualmente alla dichiarazione di fine lavori senza oneri aggiuntivi per il committente dell'opera.

Le modifiche introducono anche l'obiettivo della riqualificazione energetica degli edifici esistenti.

Il D.Lgs 311 ha introdotto innovazioni per quanto riguarda le tipologie di calcolo. La precedente versione del decreto privilegiava il metodo di calcolo basato sul limite del fabbisogno di energia primaria, lasciando al progettista libertà di regolare il giusto equilibrio tra isolamento degli edifici e prestazioni degli impianti.

Nel D.Lgs 311/2006, la prestazione energetica di un edificio viene espressa da uno o più descrittori che tengono conto della coibentazione, delle caratteristiche tecniche e di installazione, della progettazione e della posizione in relazione agli aspetti climatici,

dell'esposizione solare e dell'influenza delle strutture adiacenti, dell'esistenza di sistemi di trasformazione propria di energia e degli altri fattori, compreso il clima degli ambienti interni, che influenzano il fabbisogno energetico.

Nell'allegato C del decreto sono indicati i valori limite dei parametri fondamentali per la definizione dell'efficienza energetica degli edifici:

- indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale $(EP_i)^2$ [kWh/m² a, oppure kWh/m³ a];
- trasmittanza termica³ (U) delle strutture opache verticali [W/m² K];
- trasmittanza termica delle strutture opache orizzontali o inclinati [W/m² K];
- trasmittanza termica delle chiusure trasparenti [W/m² K];
- rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico (η_g) [%].

In aggiunta cioè alla verifica del fabbisogno di energia primaria, è introdotta anche la necessità di effettuare la verifica della trasmittanza termica delle diverse strutture edilizie opache e delle chiusure trasparenti che delimitano l'edificio, nonché la verifica del rendimento degli impianti termici [7].

Un'importante novità è costituita dall'introduzione di valori limite differenziati di fabbisogno di energia per la climatizzazione invernale in relazione alle diverse tipologie di edifici. Per il parametro EP_i , i valori limite sono divisi in funzione della tipologia di edificio, del rapporto di forma $(S/V)^4$, della zona climatica, dei gradi giorno⁵ e di tre scadenze temporali: 2006, 2008 e 2010.

Nella tabella 1.1 sono riportati, ad esempio, i valori limite dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale relativi all'anno 2010:

² Quantità di energia primaria complessivamente richiesta nel corso di un anno, per mantenere nel volume riscaldato la temperatura interna di progetto.

³ Flusso di calore che passa attraverso una parete per m² di superficie e per grado di differenza tra le temperature.

⁴ Fattore di forma, in cui V (m³) è il volume lordo delle parti di edificio riscaldato e S (m²) è l'area delle superfici esterne degli elementi che delimitano il volume.

⁵ I gradi giorno di una località sono la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento delle sole differenze positive giornaliere di temperatura dell'ambiente e la temperatura esterna media giornaliera.

Tabella 1.1 $EP_{i,lim}$ [kWh/m² anno] dal 1 gennaio 2010 per edifici residenziali della classe E1.

S/V	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	fino a 600 GG	a 601 GG	a 900 GG	a 901 GG	a 1400 GG	a 1401 GG	a 2100 GG	a 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
<0,2	8.5	8.5	12.8	12.8	21.3	21.3	34	34	46.8	46.8
>0,9	36	36	48	48	68	68	88	88	116	116

Per quello che riguarda le trasmittanza termiche limite delle strutture opache e trasparenti, le tabelle dell'Allegato C, sono divise in funzione della zona climatica e dell'intervallo temporale. La tabella 1.2 riporta ad esempio i limiti per le strutture opache verticali.

Tabella 1.2 Trasmittanza limite per le strutture opache verticali

Zona climatica	Dal 1.1.2006 U (W/ m ² K)	Dal 1.1.2008 U (W/ m ² K)	Dal 1.1.2010 U (W/ m ² K)
A	0.85	0.72	0.62
B	0.64	0.54	0.48
C	0.57	0.46	0.40
D	0.50	0.40	0.36
E	0.46	0.37	0.34
F	0.44	0.35	0.33

1.3 La nuova legislazione sull'efficienza energetica: il DPR 59/09

Una nuova fase per l'efficienza energetica degli edifici e per la pianificazione urbanistica dell'Italia si è aperta il 10 giugno 2009 con la pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale del Decreto del Presidente della Repubblica, 2 aprile 2009, n. 59 :*“Regolamento di attuazione dell'art. 4, comma 1, lett. a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/Ce sul rendimento energetico in edilizia”* in vigore dal 25 giugno 2009.

Il DPR 59/2009 di fatto rende obbligatori la maggior parte dei requisiti minimi transitori previsti dall'Allegato I del D.Lgs 192/2005 e sue modifiche, con alcune novità.

Per quanto riguarda le metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici l'art. 3 definisce che si debbano adottare le norme tecniche nazionali, definite nel contesto

delle norme EN a supporto della direttiva 2002/91/CE, della serie UNI/TS 11300 e loro successive modificazioni. Essa si compone di quattro specifiche tecniche (TS) di cui attualmente sono state pubblicate le prime tre ed entrate in vigore solo le prime due in quanto la parte terza è ancora in revisione:

- a) UNI/TS 11300 - 1 (*Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1*): Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale;
- b) UNI/TS 11300 - 2 (*Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2*): Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.
- c) UNI/TS 11300 - 3 (*Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 3*): Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.
- d) UNI/TS 11300 - 4 (*Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 4*): Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria

Relativamente agli ambiti di applicazione il decreto 192/2005 non è stato modificato, per cui il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici si applica a:

- edifici di nuova costruzione;
- edifici esistenti di superficie utile superiore ai 1000 m², nel caso di ristrutturazione integrale o di ampliamento volumetrico superiore al 20% dell'intero edificio esistente.

Le verifiche che gli edifici devono rispettare sono vincolate al tipo di utenza così come definite al DPR 412/93.

L'art. 4, nel definire i Criteri generali e requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici ed impianti, conferma molti aspetti dell'Allegato I del decreto 192/2005. Resta pertanto obbligatoria la verifica dell'indice di prestazione per la climatizzazione invernale, e viene mantenuta la procedura semplificata nel caso di edifici con rapporto tra superficie trasparente e superficie utile dell'edificio minore di 0,18, (non si calcola l' EP_{cl} e viene posto uguale a quello limite). In aggiunta, viene introdotta la verifica sul valore dell'indice di prestazione energetica per il raffrescamento estivo dell'involucro edilizio ($EP_{e, invol}$)⁶. I valori limite che devono essere rispettati sono mostrati nella tabella 1.3.

⁶ L'indice di prestazione energetica per il raffrescamento estivo dell'involucro edilizio è definito come rapporto tra il fabbisogno annuo di energia termica per il raffrescamento dell'edificio, (calcolata tenendo conto della temperatura di progetto estiva secondo la norma UNI/TS 11300-1), e la superficie utile dell'edificio per gli edifici residenziali, o il volume per gli edifici con altre destinazioni d'uso.

Tabella 1.3 Valori limite per $EP_{e, invol}$

Zona climatica	Tipologia edificio	
	Residenziali ⁷ $EP_{e, invol}$ [kWh/m ² anno]	Altra destinazione d'uso $EP_{e, invol}$ [kWh/m ³ anno]
A-B	40	30
C-D-E-F	14	10

Per quanto riguarda la climatizzazione estiva, sostanzialmente le normative precedenti non normavano tale uso energetico vanificando in parte gli sforzi fatti in campo invernale. La Direttiva 2002/91/CE è il primo testo legislativo in cui si dà finalmente una definizione chiara di sistema di condizionamento d'aria: *"il complesso di tutti i componenti necessari per un sistema di trattamento dell'aria in cui la temperatura è controllata o può essere abbassata, eventualmente in combinazione con il controllo della ventilazione, dell'umidità e della purezza dell'aria"*.

A differenza delle precedenti normative in cui ci si riferiva alla sola necessità di ridurre il fabbisogno energetico dovuto alle richieste termiche invernali, il nuovo decreto pone l'attenzione anche alle prestazioni dell'edificio atte a garantire un adeguato comfort termico in regime estivo. Oltre all' $EP_{e, invol}$ è introdotto per la prima volta un limite anche relativamente al comportamento dell'involucro in regime estivo, attraverso l'introduzione della *trasmissione termica periodica Y_{IE}* , ($W/m^2 K$): *"parametro che valuta la capacità di una parete opaca di sfasare ed attenuare il flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore, definita e determinata secondo la UNI EN 13786"*.

Per il rispetto dei limiti imposti alla Y_{IE} , si può ricorrere a diverse soluzioni tecniche, tra le quali, a titolo d'esempio la copertura a verde⁸, le strutture massive, i materiali a cambiamento di fase.

Pertanto al fine di limitare i fabbisogni energetici in regime estivo e la temperatura interna per tutte le categorie di edifici⁹, nel caso di nuova costruzione e nel caso di ristrutturazioni totali sono introdotte le seguenti prescrizioni tecniche:

⁷ Si intendono gli edifici residenziali della classe E1, così come classificati all'articolo 3, del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme.

⁸ La copertura verde viene definita nel decreto come una copertura continua dotata di un sistema che utilizza specie vegetali in grado di adattarsi e svilupparsi nelle condizioni ambientali caratteristiche della copertura di un edificio.

⁹ Sono inclusi tutti gli edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del decreto N.412 del 1993, ad eccezione delle categorie E.5 (edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili), E.6 (edifici adibiti ad attività sportive), E.7 (edifici adibiti ad attività scolastiche e assimilabili), E.8 (edifici adibiti ad attività industriali e artigianali).

- la valutazione dei sistemi schermanti delle superfici vetrate, interni o esterni, tali da ridurre l'apporto di energia termica per irraggiamento solare;
- per tutte le zone climatiche esclusa la F con irradianza media mensile sul piano orizzontale maggiore o uguale a 290 (W/m^2 anno), le pareti verticali poste a est, sudest, sud, sud-ovest, ovest devono avere una massa superficiale M_s maggiore di 230 (kg/m^2), oppure il valore della trasmittanza termica periodica Y_{IE} deve essere inferiore a 0,12 ($W/m^2 K$);
- per tutte le zone climatiche esclusa la F con irradianza media mensile sul piano orizzontale maggiore o uguale a 290 (W/m^2 anno) le chiusure opache orizzontali ed inclinate devono avere un valore della trasmittanza termica periodica Y_{IE} , inferiore a 0,20 ($W/m^2 K$);
- l'utilizzo delle condizioni ambientali esterne e delle caratteristiche distributive degli spazi per favorire la ventilazione naturale dell'edificio, nonché la previsione di sistemi di ventilazione meccanica nel rispetto di quanto stabilito all'art. 5, comma 13, del D.P.R. 412/1993.

Inoltre è resa obbligatoria la presenza di sistemi schermanti esterni. Qualora se ne dimostri la non convenienza in termini tecnico-economici, questi sistemi possono essere omessi in presenza di superfici vetrate con fattore solare) minore o uguale a 0,5. Tale valutazione deve essere evidenziata nella relazione tecnica.

Il percorso di verifica è differente per gli interventi di ristrutturazione o manutenzione straordinaria relativi all'involucro edilizio e per ampliamenti volumetrici minori del 20%¹⁰.

Diversamente da quanto indicato nel D.Lgs 311, solo per questa categoria di interventi è prescritta la verifica della trasmittanza termica secondo gli stessi limiti riportati nell'Allegato C. I valori di trasmittanza devono essere rispettati a ponte termico corretto o dalla trasmittanza termica media della "parete corrente più ponte termico".

Per nuove costruzioni, ristrutturazioni totali, parziali o manutenzione straordinaria, resta confermato il limite della trasmittanza delle strutture di separazione tra edifici o unità immobiliari o di separazione tra ambienti dotati di impianto di riscaldamento e ambienti non riscaldati, che deve essere minore di 0,80 ($W/m^2 K$). Allo stesso modo deve essere verificata l'assenza di condensazioni superficiali e interstiziali delle pareti opache con condizioni al contorno di umidità relativa interna pari al 65% e temperatura interna 20°C.

Per gli interventi di nuova installazione o ristrutturazione di impianti termici, come già previsto nel punto nell'Allegato C del decreto 192/2005 il valore del rendimento globale

¹⁰ È l'ambito d'intervento descritto all'articolo 3 comma 2 lettera C, punto 1 del decreto legislativo 192/2005.

medio stagionale, nel caso in cui la potenza nominale del focolare del generatore sia maggiore di 100 kW, deve essere maggiore del valore:

$$\eta_g = (75 + 4 \log P_n) \quad [\%]$$

ove P_n è la potenza utile nominale del generatore o dei generatori di calore al servizio del singolo impianto termico. La formula è stata modificata con circa un punto percentuale in più di rendimento rispetto al D.Lgs 311. L'impianto deve essere centralizzato sia per la climatizzazione invernale sia per quella estiva.

Per quanto riguarda le verifiche "estive", il progettista dovrà valutare puntualmente e documentare l'efficacia dei sistemi filtranti o schermanti delle superfici vetrate, tali da ridurre l'apporto di calore per irraggiamento solare. Gli eventuali impedimenti di natura tecnica ed economica all'utilizzo dei predetti sistemi devono essere evidenziati nella relazione tecnica. Tale valutazione può essere omessa in presenza di superfici vetrate con fattore solare (UNI EN 410) minore o uguale a 0.5.

Merita infine un cenno quanto previsto per lo sviluppo delle fonti rinnovabili: il DPR 59/2009 fissa gli obblighi in merito alla dotazione minima di fonti energetiche rinnovabili nel caso di edifici pubblici o privati. In caso di nuova costruzione, nuovi impianti termici o ristrutturazione degli stessi è obbligatorio l'utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione di energia termica ed elettrica, in particolare con una integrazione di almeno il 50% della produzione di acqua calda sanitaria da fonti energetiche rinnovabili; le modalità applicative sono rimandate in relazione al dimensionamento ad un successivo provvedimento. Tale limite è ridotto al 20% per gli edifici situati nei centri storici. Tale prescrizione è una conferma di quanto già stabilito dal D.Lgs. 192/2005.

Anche per l'energia elettrica è imposta una produzione da fonti rinnovabili, ma senza stabilire limiti minimi. Detta prescrizione vale per gli edifici pubblici o privati sia nuovi che esistenti nel caso di ristrutturazione integrale degli elementi edilizi costituenti l'involucro e nel caso di demolizione e ricostruzione in manutenzione straordinaria

Inoltre è previsto l'obbligo di eseguire le predisposizioni all'allaccio alle reti di teleriscaldamento se queste si trovano (oppure sono previste dalla pianificazione) a meno 1 km dall'edificio [8].

1.4 Le Linee guida per la certificazione energetica degli edifici

Con il decreto ministeriale del 26 giugno 2009 sono state introdotte le nuove Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici. Queste definiscono un sistema di

certificazione energetica degli edifici in grado di: fornire informazioni sulla qualità energetica degli immobili di immediata comprensione, contribuendo ad una applicazione omogenea della certificazione energetica degli edifici coerente con la direttiva 2002/91/CE e con i principi desumibili dal D.Lgs. 192, attraverso la definizione di una procedura nazionale che comprenda :

- a) l'indicazione di un sistema di classificazione degli edifici;
- b) l'individuazione di metodologie di calcolo della prestazione energetica utilizzabili in modo alternativo in relazione alle caratteristiche dell'edificio e al livello di approfondimento richiesto;
- c) la disponibilità di metodi semplificati che minimizzino gli oneri a carico dei cittadini.

La certificazione energetica di un edificio, come definita al comma 3 dell'Allegato A al decreto 192, è il *complesso delle operazioni svolte da soggetti qualificati per il rilascio dell'Attestato di Certificazione Energetica e delle raccomandazioni per il miglioramento della prestazione energetica*

Essa parte da una preventiva *diagnosi energetica* a partire dai dati di ingresso relativi a località, utenza, edificio e impianti, finalizzata alla determinazione della prestazione energetica dell'immobile e all'individuazione degli interventi di riqualificazione energetica che risultano economicamente convenienti. La fase successiva consiste nella classificazione dell'edificio in base alla prestazione energetica e nel confronto con i limiti di legge e con le potenzialità di miglioramento in relazione agli interventi di riqualificazione. L'ultimo step è il rilascio dell'Attestato di Certificazione Energetica.

La certificazione energetica, e dunque il conseguimento dell'Attestato di Certificazione Energetica, riguarda tutti gli edifici, come classificati all'art. 3 del D.P.R. 412/1993, esclusi box, cantine, autorimesse, parcheggi multipiano, depositi, strutture stagionali a protezione degli impianti sportivi. Le porzioni delle suddette tipologie escluse, eventualmente adibite ad uffici o assimilabili, sono comunque soggette a certificazione energetica se scorporabili agli effetti dell'isolamento termico. Per gli edifici aventi porzioni con destinazioni d'uso diverse, nel caso non fosse possibile trattare separatamente le diverse zone termiche, la valutazione e la classificazione viene svolta in base alla destinazione d'uso prevalente in termini di volume riscaldato.

La validità massima dell'Attestato di Certificazione Energetica è di 10 anni. L'Attestato decade il 31 dicembre dell'anno successivo a quello della scadenza non rispettata inerente l'attività di controllo e manutenzione degli impianti.

Ai soli fini della vendita di edifici con superficie fino a 1000 m², il proprietario può assolvere agli obblighi di certificazione energetica dichiarando che l'edificio è di classe

energetica G, la peggiore, e che i costi per la gestione energetica dell'edificio sono molto alti. Tale possibilità consente di non produrre l'Attestato di Certificazione Energetica.

La certificazione energetica degli edifici residenziali riguarda il singolo appartamento.

Nel caso di una pluralità di unità immobiliari, in edifici multipiano o in linea, si potrà prevedere, in generale, una certificazione originaria comune per unità immobiliari che presentano caratteristiche di ripetibilità logica e di esposizione, (piani intermedi), sia nel caso di impianti centralizzati che autonomi, a patto che, per quest'ultima tipologia, i generatori di calore siano di pari tipologia e potenza.

La prestazione energetica complessiva dell'edificio è espressa mediante l'indice di prestazione energetica globale EP_{gl} , dato dalla somma degli indici di prestazione energetica relativi alla climatizzazione invernale, alla produzione di acqua calda sanitaria, alla climatizzazione estiva e all'illuminazione artificiale. In particolare la determinazione dell'indice di prestazione energetica per l'illuminazione è obbligatoria solo per collegi, conventi, case di pena e caserme, appartenenti alla categoria E1, e per gli edifici di categoria da E2 ad E7, di cui all'art. 3 del D.P.R. 412/1993.

Tuttavia, nella fase di avvio saranno considerati solo gli indici di prestazione di energia primaria per la climatizzazione invernale e per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici e sanitari.

Per la climatizzazione estiva sono comunque previsti dei metodi di valutazione qualitativa delle caratteristiche dell'involucro edilizio, volti all'individuazione di un livello di qualità prestazionale, che deve essere indicata negli attestati di qualificazione e di certificazione energetica.

Per quanto riguarda le prestazioni estive, in sintesi, sono individuati i seguenti due metodi, la cui scelta di utilizzo è determinata dalla metodologia adottata per il calcolo della prestazione energetica:

- metodo basato sulla determinazione dell'indice di prestazione termica dell'edificio per il raffrescamento ($EP_{e,inv}$), descritto nel precedente paragrafo;
- metodo basato sulla determinazione di parametri qualitativi, sfasamento e fattore di attenuazione (fa), calcolati secondo la norma UNI EN ISO 13786 (*"Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento"*, 2008). Questo metodo può essere utilizzato solo nel caso di edifici residenziali esistenti con superficie fino a 1000 m².

Viene quindi attribuita una qualità prestazionale, decrescente dal livello "I" al livello "V" in funzione dei valori dei parametri calcolati, come riportato nelle tabelle 1.4 e 1.5.

Tabella 1.4 Qualità prestazionale per la climatizzazione estiva rispetto all' $EP_{e,inv}$

$EP_{e,inv}$ [kWh /m ² anno]	Prestazioni	Qualità
<10	Ottime	I
$10 \leq EP_{e,inv} < 20$	Buone	II
$20 \leq EP_{e,inv} < 30$	Medie	III
$30 \leq EP_{e,inv} < 40$	Sufficienti	IV
≥ 40	Mediocri	V

Tabella 1.5 Qualità prestazionale per la climatizzazione estiva rispetto ad attenuazione e sfasamento

Sfasamento [ore]	Attenuazione	Prestazioni	Qualità
$S > 12$	$fa < 0.15$	Ottime	I
$12 \geq S > 10$	$0.15 \leq fa < 0.3$	Buone	II
$10 \geq S > 8$	$0.3 \leq fa < 0.4$	Medie	III
$8 \geq S > 6$	$0.4 \leq fa < 0.6$	Sufficienti	IV
$S \leq 6$	$fa \geq 0.6$	Mediocri	V

Tale valutazione è comunque facoltativa nella certificazione di singole unità immobiliari ad uso residenziale di superficie fino a 200 m², qualora il calcolo della prestazione per la climatizzazione invernale sia effettuato mediante il metodo semplificato di cui all'Allegato 2 delle stesse Linee guida. L'assenza di detta valutazione comporta comunque l'attribuzione del livello minimo di qualità "V".

Come già scritto, l'indicazione della prestazione energetica degli edifici mediante classi ne individua chiaramente il comportamento dal punto di vista dei consumi, e di conseguenza la ricaduta sul valore economico. Classificare gli edifici in base alla prestazione energetica fornisce agli utenti chiare informazioni, che infondono una maggiore consapevolezza e consentono di stimare il valore commerciale dell'immobile anche in funzione della prestazione energetica stessa. Allo stesso modo, il certificato energetico consiste in un valido ausilio nella valutazione della convenienza economica di eventuali interventi di riqualificazione.

In merito alla rappresentazione delle prestazioni energetiche globali e parziali dell'edificio, si ritiene opportuno, per la massima efficacia comunicativa, affiancare ad una rappresentazione grafica diretta delle predette prestazioni, conforme al punto 3 degli allegati 6 e 7 (comprensiva quindi dell'indicazione della prestazione raggiungibile con la realizzazione degli interventi di riqualificazione raccomandati) un sistema di valutazione basato su classi.

La figura seguente mostra il modello di Attestato di Certificazione Energetica, come riportato nel decreto.

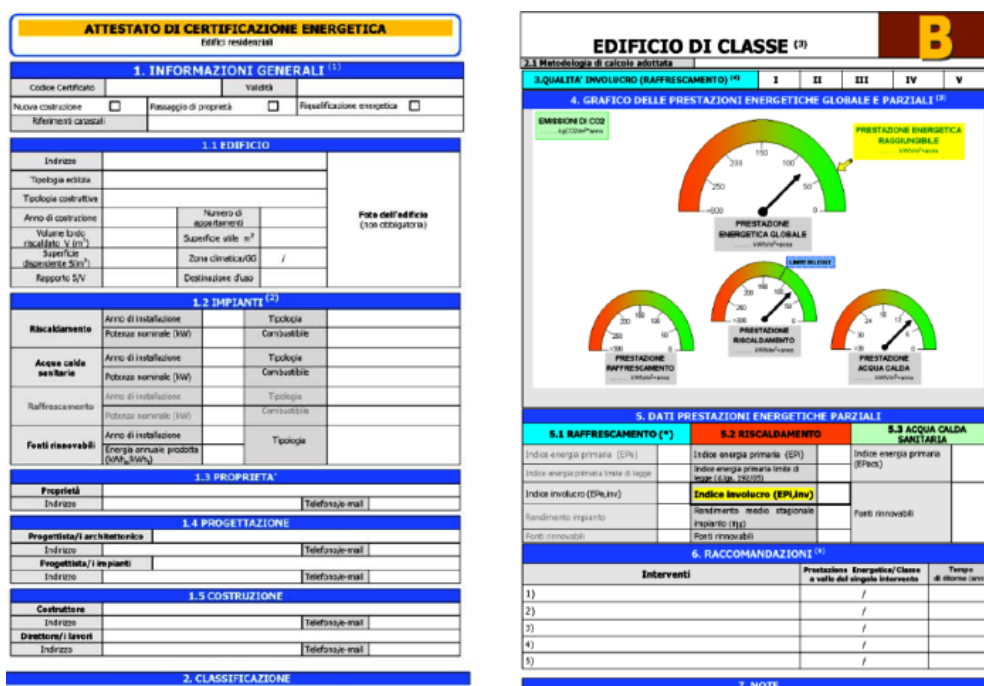


Figura 1.1 Modello di Attestato di certificazione energetica per edifici residenziali

La classe energetica globale dell'edificio è l'etichetta di efficienza energetica attribuita all'edificio sulla base di un intervallo convenzionale di riferimento all'interno del quale si colloca la sua prestazione energetica complessiva. La classe energetica è contrassegnata da una lettera. Possono coesistere delle maggiori specificazioni all'interno della stessa classe (a titolo esemplificativo classe B, B+).

In considerazione del livello medio di efficienza del parco immobiliare nazionale e soprattutto per stimolare interventi di riqualificazione diffusi, che possano concretizzarsi agevolmente in passaggi di classe, si ritiene opportuno, avere a disposizione un congruo numero di classi, soprattutto al di sopra della soglia di riferimento legislativo.

Le classi energetiche individuate sono indicate, con prestazione decrescente, con le lettere da A+ a G. È possibile utilizzare, a livello regionale, dei sistemi di classificazione diversi da quello nazionale, a patto che i valori di prestazione indicati siano confrontabili tra loro.[9]

1.5 Gli incentivi statali

Le norme atte a regolamentare gli incentivi statali per gli interventi di riqualificazione energetica degli edifici sono contenute nel Decreto Legge 6 dicembre 2011, n. 201

"Disposizioni urgenti per la crescita, l'equità e il consolidamento dei conti pubblici" (Manovra Salva Italia), pubblicata sulla Gazzetta ufficiale n. 284 del 06/12/2011 che proroga a tutto il 2012 la detrazione fiscale del 55% per gli interventi di riqualificazione energetica degli edifici.

Ancora per un anno, quindi, sarà possibile usufruire del bonus del 55% alle attuali condizioni.

Dal 1° gennaio 2013 la percentuale scenderà al 36% e l'agevolazione sarà disciplinata dal nuovo articolo 16-bis aggiunto dalla Manovra al Testo Unico delle Imposte sui Redditi - Tuir (Dpr 917/1986), assimilandola quindi a quella per le ristrutturazioni.

Gli interventi di riqualificazione energetica rimasti orfani del 55%, potranno quindi usufruire del 36% che agevola la "realizzazione di opere finalizzate al risparmio energetico, con particolare riguardo all'installazione di impianti da fonti rinnovabili".

Resta invariata la ripartizione della detrazione in 10 rate annuali. Scompare invece la norma che consentiva ai contribuenti di età non inferiore a 75 e 80 anni di ripartire la detrazione rispettivamente in 5 o 3 rate annuali.

Sono detraibili le spese sostenute per i seguenti interventi:

- manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro e risanamento conservativo, ristrutturazione edilizia sulle parti comuni di edificio residenziale (le parti comuni sono: suolo su cui sorge l'edificio, fondazioni, muri maestri, tetti e lastrici solari, scale, portoni d'ingresso, vestiboli, anditi, portici, cortili, parti necessarie all'uso comune, locali per la portineria e per l'alloggio del portiere, ascensori, pozzi, cisterne, fognature, ecc.);
- manutenzione straordinaria, restauro e risanamento conservativo, ristrutturazione edilizia sulle singole unità immobiliari residenziali di qualsiasi categoria catastale, anche rurali, e sulle pertinenze;
- realizzazione di autorimesse o posti auto pertinenziali anche di proprietà comune;
- interventi finalizzati all'eliminazione delle barriere architettoniche (installazione di ascensori e montacarichi, interventi di domotica) per favorire la mobilità delle persone portatrici di handicap;
- adozione di misure finalizzate a prevenire il rischio del compimento di atti illeciti da parte di terzi;
- interventi per la cablatura degli edifici e il contenimento dell'inquinamento acustico;
- realizzazione di opere finalizzate al risparmio energetico, con particolare riguardo all'installazione di impianti da fonti rinnovabili;
- adozione di misure antisismiche;
- bonifica dall'amianto e opere volte ad evitare gli infortuni domestici.

Le ultime novità

Il disegno di legge di conversione della Manovra Monti ha aggiunto agli interventi agevolabili la sostituzione di scaldacqua tradizionali con scaldacqua a pompa di calore dedicati alla produzione di acqua calda sanitaria [10].

La detrazione fiscale del 55%

La detrazione fiscale del 55% delle spese sostenute per la realizzazione di interventi volti al contenimento dei consumi energetici degli edifici esistenti è stata introdotta dall'art. 1, commi 344-349, della Legge 296/2006 (Finanziaria 2007). L'agevolazione per la riqualificazione energetica - a differenza di quella per le ristrutturazioni, riservata ai soli edifici residenziali - interessa i fabbricati esistenti di tutte le categorie catastali (anche rurali) compresi quelli strumentali.

Possono usufruire dell'agevolazione tutti i contribuenti che sostengono spese per l'esecuzione degli interventi su edifici esistenti, su loro parti o su unità immobiliari esistenti posseduti o detenuti. In particolare, sono ammessi all'agevolazione: le persone fisiche, compresi gli esercenti arti e professioni; i contribuenti che conseguono reddito d'impresa (persone fisiche, società di persone, società di capitali); le associazioni tra professionisti; gli enti pubblici e privati che non svolgono attività commerciale.

Sono agevolabili i seguenti lavori:

- interventi di riqualificazione globale su edifici esistenti, fino ad un massimo di 100.000 euro di valore della detrazione;
- interventi sugli involucri degli edifici cioè strutture opache orizzontali (coperture e pavimenti), strutture opache verticali, finestre comprensive di infissi, fino ad un massimo di 60.000 euro;
- installazione di pannelli solari per la produzione di acqua calda, fino ad un massimo di 60.000 euro;
- sostituzione di impianti di climatizzazione invernale, fino ad un massimo di 30.000 euro.

Per fruire dell'agevolazione è necessario acquisire l'asseverazione di un tecnico abilitato; l'attestato di certificazione o di qualificazione energetica, ove richiesto; la scheda informativa relativa agli interventi realizzati. Occorre poi trasmettere all'ENEA, entro 90 giorni dalla fine dei lavori, attraverso il sito internet l'attestato di certificazione o di qualificazione energetica e la scheda informativa.

Ai suddetti interventi agevolabili, già previsti dalla normativa, si aggiungono gli interventi di ricostruzione o ripristino di immobili danneggiati a seguito di eventi calamitosi, anche diversi

dai suddetti (manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro e risanamento conservativo, ristrutturazione edilizia), sempreché sia stato dichiarato lo stato di emergenza. È confermato che tra le spese ammissibili sono comprese quelle di progettazione e per prestazioni professionali connesse all'esecuzione delle opere edilizie e alla messa a norma degli edifici.

La detrazione del 36% si applica anche agli interventi di restauro e risanamento conservativo e di ristrutturazione edilizia su interi fabbricati, eseguiti da imprese di costruzione e da cooperative edilizie, che vendano o assegnino l'immobile entro 6 mesi dal termine dei lavori. All'acquirente o assegnatario dell'unità immobiliare spetta una detrazione pari al 36% del valore degli interventi eseguiti, che si assume in misura pari al 25% del prezzo dell'unità immobiliare risultante nell'atto di compravendita o di assegnazione e, comunque, entro l'importo massimo di 48.000 euro.

Nel caso in cui gli interventi realizzati in ciascun anno siano mera prosecuzione di interventi iniziati in anni precedenti, ai fini del computo del limite massimo delle spese detraibili, si tiene conto anche delle spese sostenute negli stessi anni. Se gli interventi sono realizzati su abitazioni adibite anche all'esercizio dell'arte, della professione o dell'attività commerciale, la detrazione spettante è ridotta al 50%. La detrazione è cumulabile con le agevolazioni già previste sugli immobili vincolati (ex Dlgs 42/2004), ridotte del 50%.

In caso di vendita dell'unità immobiliare sulla quale sono stati realizzati gli interventi, la detrazione non utilizzata è trasferita all'acquirente persona fisica dell'immobile, salvo diverso accordo delle parti. In caso di decesso dell'avente diritto, la fruizione del beneficio fiscale si trasmette, per intero, esclusivamente all'erede che conservi la detenzione materiale e diretta del bene. Quest'ultima norma chiarisce una questione modificata pochi mesi fa dalla Manovra bis (DL 138/2011 convertito nella Legge 148/2011), che aveva introdotto la possibilità per il venditore (o donante) di continuare a usufruire delle detrazioni non ancora utilizzate o di trasferire il diritto all'acquirente (o donatario) persona fisica dell'immobile [11]

Capitolo 2

Il caso studio

2.1 Introduzione

L'immobile preso in esame per l'analisi tecnico-economica degli interventi per la riqualificazione energetica è un edificio a forma di un doppio parallelepipedo a base rettangolare con una faccia laterale combaciante e leggermente sfalsata in modo da formare una doppia risega nella parte centrale dello stabile. La configurazione edilizia presa in considerazione costituisce tipologia costruttiva più diffusa nell'intervallo temporale dal secondo dopoguerra alla fine degli anni '50 ÷ '80', ben rappresentando, ancora oggi, parte consistente del patrimonio edilizio nazionale.

2.2 Descrizione dell'oggetto di studio

L'oggetto di studio è un edificio multipiano realizzato con struttura portante in conglomerato cementizio armato, costruito negli anni settanta antecedentemente all'entrata in vigore della legge n. 373 del 30/04/1976 "Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici" [12].

In figura 2.1 è rappresentata la pianta del piano tipo con indicazione della destinazione d'uso degli ambienti, le dimensioni di ingombro e l'esposizione dei diversi alloggi.

La tipologia edilizia adottata è una palazzina condominiale isolata, di forma regolare, composta da tre piani fuori terra, comprendente, ciascuno, quattro appartamenti ad uso residenziale, per complessivi 12 appartamenti. I dodici appartamenti, su tre livelli, sono serviti da due vani scala. L'isolato è ubicato nel centro cittadino ed è delimitato su tutti i lati da strade pubbliche aperte al traffico pedonale e veicolare. La superficie in pianta del fabbricato è di m^2 368.30; l'altezza, misurata a livello di gronda, è pari a 9.60 m. Il volume lordo del complesso edilizio è di m^3 3.528; il volume lordo riscaldato è di m^3 3.304 circa.

La superficie disperdente, che delimita verso l'esterno, ovvero verso vani non dotati di impianti di riscaldamento (nel caso in esame, i due vani scala), risulta pari a m^2 1.800 circa.



Figura 2.1 Planimetria piano tipo dell'edificio oggetto di studio

La superficie netta calpestabile di ciascun appartamento è legata all'ubicazione nell'ambito dell'edificio. In particolare gli appartamenti centrali presentano una superficie di m^2 60.00 circa, mentre quelli laterali hanno una superficie di m^2 80.00. L'altezza interna netta è di m 3.00, per ogni piano.

Il fabbricato, dall'epoca della sua costruzione, non ha mai subito interventi di manutenzione straordinaria o di ristrutturazione.

Il paramento che racchiude l'involucro riscaldato è costituito da una muratura a cassa vuota dello spessore di cm 30, intonacata su entrambe le facce, composta, internamente, da una parete realizzata con blocchi forati di laterizio dello spessore di cm 10 ed, esternamente, da una parete realizzata con blocchi forati di laterizio dello spessore di cm 15, con interposta camera d'aria dello spessore di cm 5 (figura 2.2).

La muratura è interrotta lungo il perimetro del fabbricato dagli elementi strutturali portanti, pilastri e travi in c.a., che determinano la presenza di molteplici ponti termici nell'involucro dell'edificio.

La copertura dell'edificio, che coincide con il solaio di copertura degli appartamenti dell'ultimo piano, è costituita da un solaio piano dello spessore di cm 30 realizzato con struttura mista di travetti in c.a. gettati in opera e pignatte di laterizio con sovrastante soletta in calcestruzzo armato e rete in acciaio elettrosaldato.

PARETI PERIMETRALI
schema dello struttura

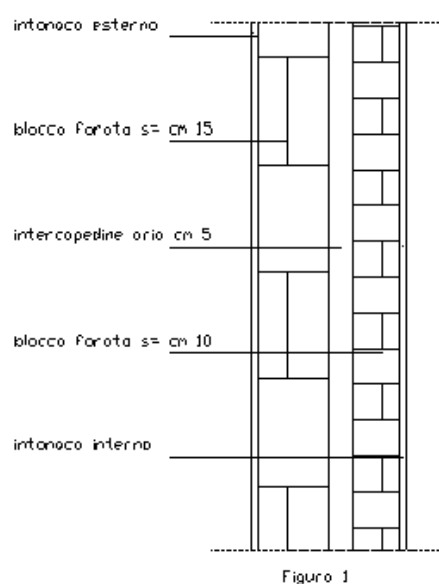


Figura 2.2 Schema strutturale delle pareti perimetrali esterne

Il solaio è reso impermeabile mediante applicazione sulla superficie di guaine a base bituminosa (figura 2.3). La superficie del solaio di copertura è di m^2 367.50, corrispondente al 20.42 % dell'intera superficie disperdente.

SOLAIO DI COPERTURA
schema della struttura

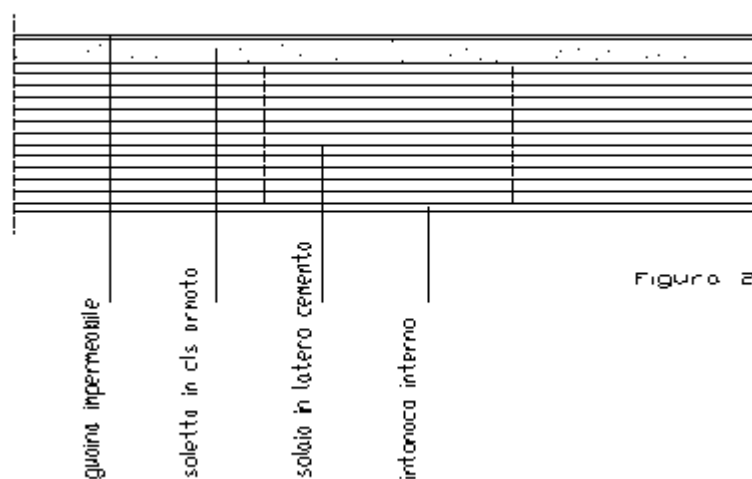


Figura 2.3 Schema strutturale del solaio di copertura

Il calpestio dei piani intermedi è costituito da un solaio piano in latero-cemento dello spessore complessivo di cm 20 dotato di pavimento in ceramica dello spessore di mm 10 con sottostante massetto di sabbia e cemento dello spessore di cm 4 (figura 2.4).

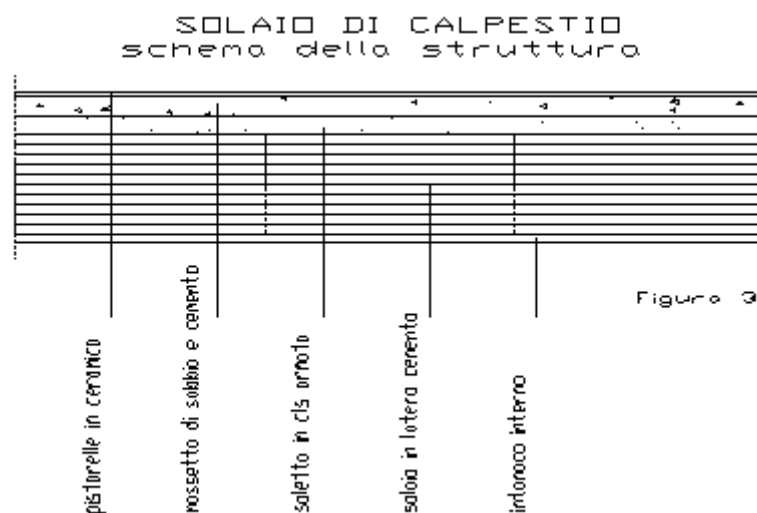


Figura 2.4 Schema strutturale del solaio interpiano

Alla base, lo stabile condominiale confina con il terreno, attraverso una pavimentazione contro terra che coincide con il calpestio degli appartamenti del piano più basso composta, procedendo verso l'esterno, da piastrelle in ceramica dello spessore di mm 10, da un massetto di sottopavimentazione dello spessore di cm 4 e da tradizionale solaio latero-cementizio (figura 2.5). La superficie della pavimentazione contro terra è di m^2 368.30.

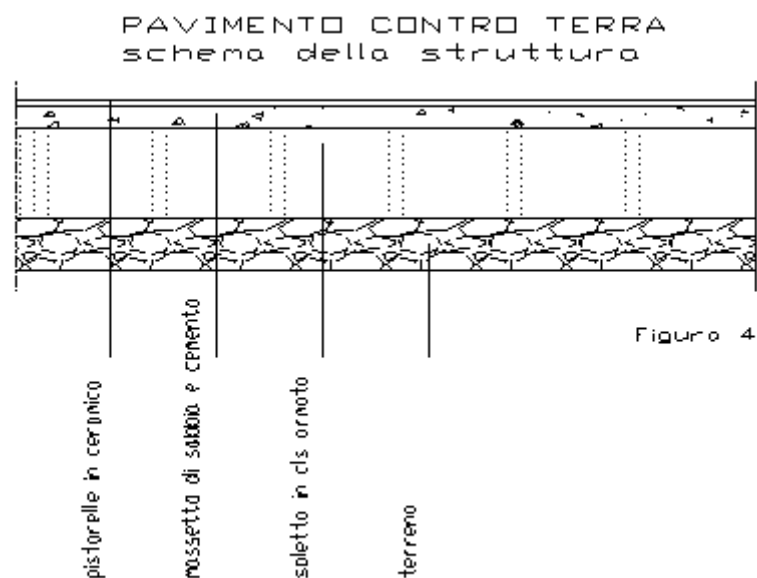


Figura 2.5 Schema strutturale del pavimento contro terra

I serramenti sono costituiti da finestre e porte finestre con telaio in legno dotate di vetro semplice di 4 mm di spessore. Questi sono provvisti di cassonetto interno per l'avvolgibile. La

superficie vetrata complessivamente presente nell'involucro dell'edificio è di m² 205.00 circa, corrispondente all'11.30 % dell'intera superficie disperdente.

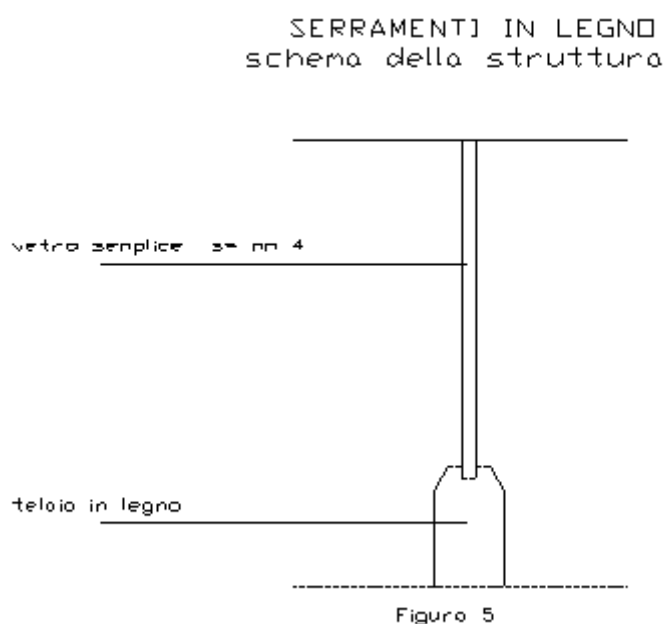


Figura 2.6 Schema strutturale dei serramenti in legno

I divisori interni sono realizzati con tramezzi di blocchi forati dello spessore complessivo di cm 10.

L'edificio innanzi descritto è dotato di impianto termico centralizzato con generatore di calore installato in apposito locale termico, privo di contabilizzazione del calore per singolo utente, per il riscaldamento e per la produzione dell'acqua calda per gli usi igienico sanitari, con bruciatore atmosferico a una stella, alimentato a gas metano. La potenza utile del generatore è di 106 kW. L'impianto di riscaldamento di ogni appartamento è costituito da radiatori in ghisa con distribuzione a colonne montanti e diramazione a piano. La regolazione della temperatura avviene mediante termostato di caldaia installato nel vano termico.

La caldaia ha subito nel corso degli anni solo normali interventi di manutenzione periodica.

2.3 Interventi di riqualificazione energetica dell'involucro edilizio dell'edificio oggetto di studio

Gli interventi realizzabili ai fini della riqualificazione energetica dell'involucro edilizio dell'edificio oggetto di studio possono prevedere l'impiego di diverse tecnologia a seconda della superficie su cui intervenire [13,14]

In particolare, per quanto attiene alle pareti perimetrali, le tecnologie applicabili sono:

- l'isolamento a cappotto termico, che può essere eseguito sia all'esterno che all'interno dell'edificio;
- il sistema a parete ventilata, ad eseguirsi all'esterno;
- l'uso di intonaci isolanti sulla superficie esterna;
- l'isolamento sottofinestra, eseguita all'interno dei locali;
- la coibentazione termica del cassonetto dell'avvolgibile, ove esistente.

Le tecniche di intervento applicabili alla copertura piana possono essere di due tipi:

- l'isolamento del solaio dall'interno;
- l'isolamento del solaio dall'esterno.

Per quanto riguarda le i solai intermedi comunicanti con ambienti non riscaldati (ad esempio cantine o garage) la tecnologia adottabile differisce a seconda che l'intervento venga effettuato su un nuovo edificio o su un edificio esistente.

Nel primo caso la tecnica impiegata è:

- l'isolamento all'estradosso del solaio;

Per le costruzioni esistenti è preferibile la tecnica di:

- l'isolamento all'intradosso del solaio.

Nel caso oggetto di studio il piano più basso non confina con cantine o locali non riscaldati, bensì la pavimentazione è a diretto contatto con il terreno e/o vespaio sottostante, per cui l'intervento realizzabile consiste nella tecnica di isolamento delle pavimentazioni contro terra e, precisamente, nell'applicazione dell'isolamento all'estradosso della pavimentazione.

Infine, per le superfici vetrate (finestre o porte finestre) con telaio in legno, le tecniche utilizzabili consistono nella sostituzione degli infissi esistenti con nuovi infissi dotati di:

- vetrata termoisolante a due lastre con intercapedine di aria;
- vetrata termoisolante a due lastre, basso emissivo, con intercapedine di gas argon;
- vetrata termoisolante a tre lastre, basso emissivo, con intercapedine di gas argon.

Poiché l'obiettivo che si prefigge questo lavoro è quello di procedere alla riqualificazione energetica dell'edificio intervenendo nella maniera quanto meno invasiva possibile, senza modificare cioè i materiali ed i sistemi costruttivi dell'edificio, conservando le dimensioni interne e le altezze interne dei singoli appartamenti ed evitando disagi agli occupanti degli alloggi in conseguenza dei lavori di adeguamento, ma, anche, con il fine di

contenere la spesa in maniera da consentire un tempo di ritorno dell'investimento accettabile, gli interventi previsti sono:

- l'isolamento a cappotto termico all'esterno dell'edificio;
- l'isolamento del solaio piano di copertura dall'esterno;
- la sostituzione degli infissi esistenti con infissi dotati di vetrate termoisolanti;

Non si è considerato, dato l'onere cantieristico l'isolamento del primo solaio.

Tipicamente l'*isolamento a cappotto* consiste nell'applicare sulla faccia esterna della parete un pannello di materiale isolante ricoperto da un intonaco, rinforzato da una armatura e completato da uno strato di finitura. Nel dettaglio, la tecnica consiste nella preparazione preventiva delle superfici esterne dei manufatti, nell'applicazione su di esse tramite incollaggio e/o tassellatura, di pannelli isolanti di natura, consistenza e spessore ritenuti più idonei.

In figura 2.7 è mostrata una tipica stratigrafia di cappotto composta da:

- collante per tenere le lastre isolanti;
- lastre isolanti;
- sagome per i profili verticali e orizzontali di ancoraggio;
- rete di armatura per il rinforzo del primo strato di intonaco;
- rasante di finitura.

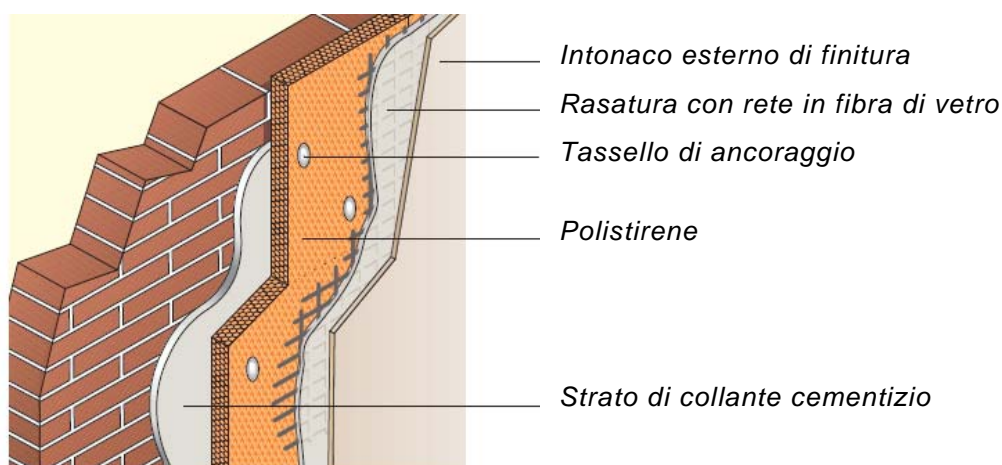


Figura 2.7 Esempio di stratigrafia di parete perimetrale esterna

Questo tipo di coibentazione consente di eliminare i ponti termici e di ridurre gli effetti indotti nelle strutture e nei paramenti murari dalle variazioni della temperatura esterna. Inoltre il sistema consente di migliorare l'inerzia termica dell'edificio, evitando in inverno fenomeni di condensa e aumentando il comfort abitativo.

Questa soluzione è possibile se si dispone di materiali isolanti aventi ottime caratteristiche meccaniche per resistere agli agenti atmosferici e per consentire una posa adeguata.

Un'adeguata permeabilità al vapore e una bassa capacità di assorbimento dell'acqua meteorica completano i dati prestazionali del cappotto esterno.

I materiali più usati sono il polistirene espanso e la lana minerale; sono evitati feltri in fibre minerali per le loro inadeguate caratteristiche meccaniche.

Riguardo *l'isolamento di coperture piane* è importante prevedere una buona impermeabilizzazione per evitare infiltrazioni di acqua e il conseguente deterioramento della struttura e dell'isolamento.

Nella fattispecie al fine di non incidere sull'altezza utile degli appartamenti dell'ultimo piano l'isolamento è stato effettuato all'esterno. Questa tecnica consente di intervenire molto efficacemente in quelle coperture che per vetustà, come nel caso specifico, o carenze tecniche non sono più in grado di garantire il confort termico. A seconda del diverso tipo di protezione di manto impermeabile adottato, il sistema garantisce coperture praticabili o meno.

Dal punto di vista tecnologico, il sistema comporta l'applicazione al di sopra della struttura esistente di un nuovo strato isolante, di un nuovo manto impermeabile ed infine, di una protezione del manto stesso conforme all'uso che tale copertura dovrà avere: ghiaia ed argilla espansa se non praticabile, pavimentazione se praticabile.

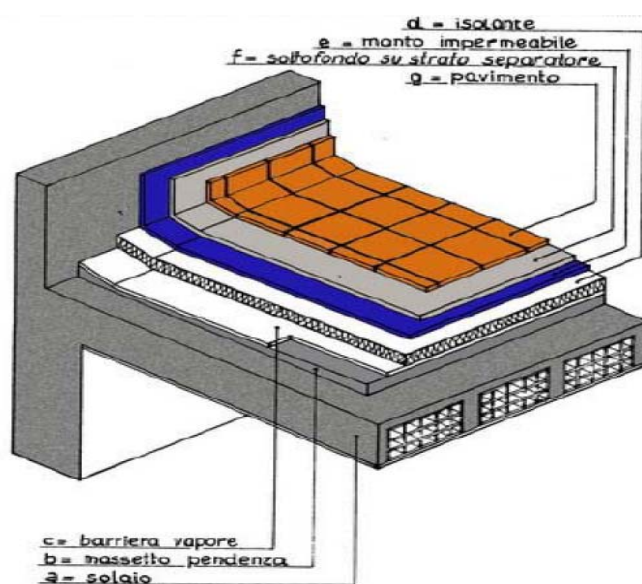


Figura 2.8 Esempio di stratigrafia di solaio

Le *chiusure trasparenti* influiscono sul controllo e sull'utilizzo della radiazione solare sia dal punto di vista del guadagno termico sia per l'illuminazione naturale degli ambienti interni.

Dimensioni, forme e orientamento delle finestre possono influire sull'entità dei guadagni solari e così anche il vetro, a seconda delle sue caratteristiche (singolo/doppio), contribuisce a contenere le perdite di calore. I componenti vetrati possono essere considerati come

captatori della radiazione solare e contribuiscono in modo significativo al bilancio energetico dell'edificio nel riscaldamento invernale e nel raffrescamento estivo. L'energia scambiata è la somma del contributo imputabile alla conduzione, a causa della differenza di temperatura tra l'aria interna e l'aria esterna e all'apporto della radiazione solare incidente. Il primo, rilevante nel periodo invernale a causa della maggiore differenza di temperatura tra l'aria interna e l'aria esterna, deve essere sempre ridotto al minimo, mentre il secondo rappresenta un guadagno energetico in inverno e un carico da eliminare in estate.

I parametri che sintetizzano il comportamento termico di un sistema vetrato sono la trasmittanza termica ed il coefficiente di trasmissione solare totale (o fattore solare), che rappresenta il guadagno solare attraverso un sistema vetrato per unità di energia incidente, trasmesso in un ambiente in parte direttamente e in parte per assorbimento e successivo scambio per convezione e irraggiamento. Tale fattore solare dipende dalla distribuzione spettrale e dalla direzione della radiazione incidente, dalle caratteristiche ottiche intrinseche dei singoli strati del sistema vetrato, dalla presenza di rivestimenti superficiali selettivi, dalle proprietà termiche attraverso le conduttanze dei singoli strati ed i coefficienti di scambio termico superficiali, ed infine dalla presenza di schermi interni.

La parete vetrata può essere costituita da una vetrata semplice o da una vetrata isolante (vetrocamera), che consente di ottenere un migliore isolamento termico. Una finestra con vetrocamera, (figura 2.9), è formata da due lastre di vetro, separate da distanziatori sigillati che creano un'intercapedine d'aria immobile e asciutta che limita gli scambi termici per convezione, sfruttando la scarsa conduttività termica dell'aria.

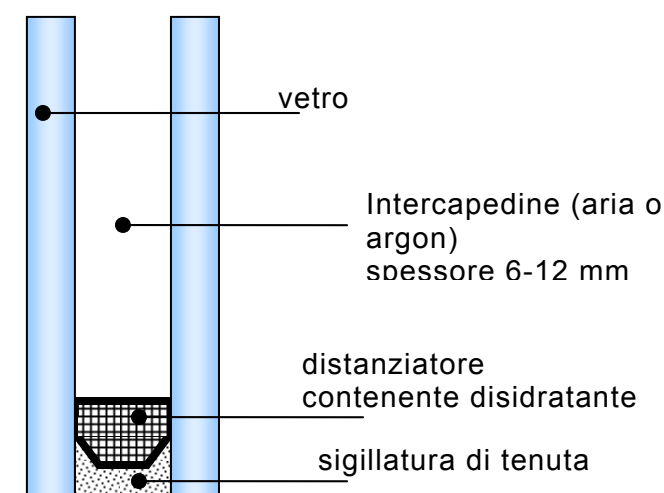


Figura 2.9 Schema di un vetrocamera

La percentuale di energia che penetra all'interno dell'ambiente per un vetrocamera a doppio strato per esempio si riduce di circa il 14% rispetto ad un vetro singolo.

Per migliorare il valore della trasmittanza, è necessario ridurre gli scambi termici per conduzione, convezione ed irraggiamento. Poiché non risulta possibile agire sui coefficienti di scambio superficiale, il miglioramento consisterà nella riduzione degli scambi tra i due componenti della vetrata isolante.

Il controllo della radiazione solare può essere effettuato tramite la scelta accurata del materiale che costituisce la lastra vetrata. Tale scelta è effettuata in base alle proprietà termofisiche ottiche e solari del materiale. In particolare si distinguono:

- vetri colorati assorbenti: dotati di un elevato coefficiente di assorbimento, presentano però il problema del surriscaldamento;
- vetri colorati riflettenti: dotati di una superficie esterna a specchio, evitano il surriscaldamento interno ma riducono notevolmente l'illuminamento e causano problemi di abbagliamento nell'intorno;
- materiale traslucido e isolante trasparente: si utilizza quando si vuole ridurre notevolmente la dispersione termica dell'apertura, rinunciando, però, anche a buona parte dell'illuminazione;
- vetri con pellicole a bassa emissività: sono dotati di pellicole che riducono notevolmente la trasmissione luminosa e termica;
- vetri elettrocromici: le caratteristiche possono variare mediante l'applicazione di una piccola tensione o corrente; essi sono più efficienti dei materiali fotocromici o termocromici le cui prestazioni variano rispettivamente in funzione delle condizioni di luce e termiche.

I vetri basso-emissivi hanno il rivestimento interno della lastra costituito da uno strato di ossidi metallici depositati a caldo e sono quindi sostanzialmente trasparenti alle radiazioni termiche solari, ma enfatizzano l'effetto serra con un evidente vantaggio in inverno, anche se necessitano di un opportuno sistema schermante in estate.

Gli scambi per conduzione e convezione possono essere ridotti sostituendo l'aria racchiusa tra le due lastre con un gas più pesante a conduttività termica inferiore (in genere argon).

Attualmente sono in commercio telai in acciaio, in alluminio, in materiale plastico (PVC) e naturalmente in legno. Nella scelta del tipo di telaio, oltre a fattori estetici, è importante il problema della condensazione superficiale che può verificarsi sui telai metallici che per ovviare a questo devono avere il così detto "taglio termico".

2.4 Interventi di riqualificazione dell'impianto dell'edificio oggetto di studio

La razionalizzazione energetica dell'edificio oggetto di studio passa anche attraverso azioni di miglioramento del rendimento globale dell'impianto termico realizzabile anche, in questo caso, attraverso più tecniche di intervento.

In particolare le tecniche di intervento applicabili sono:

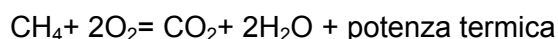
- sostituzione del generatore di calore con generatori a condensazione in modo da migliorare il rendimento di generazione;
- sostituzione dei terminali di erogazione con pannelli radianti in modo da migliorare il rendimento di distribuzione;
- l'integrazione del sistema di regolazione previsto (termostato di caldaia) con l'impiego di una sonda esterna in modo da migliorare il rendimento di regolazione.

Anche nella fattispecie, nell'ottica di rendere quanto meno invasivo l'intervento e di contenere la spesa per tempi di ritorno dell'investimento accettabili, l'azione di riqualificazione è stata limitata alla sostituzione del generatore esistente con uno a condensazione e l'integrazione del sistema di regolazione con una sonda esterna, senza intervenire sul sistema di emissione (radiatori) e sul circuito di distribuzione (a colonne montanti e rami nei paramenti esterni ed interni, non isolati).

Per quanto riguarda le caldaie a gas attualmente in commercio queste hanno rendimenti che spesso superano il valore del 90%, migliorando già i rendimenti delle caldaie tradizionali mai superiori all'85% e non subiscono drastiche riduzioni di rendimento quando non funzionano a pieno carico.

Tuttavia le caldaie a *condensazione* migliorano ancora i rendimenti recuperando parte del calore latente dei fumi della combustione del gas naturale, contenuto nel vapore d'acqua.

Dalla chimica elementare è noto che per ogni mole di gas metano si sviluppano nella combustione due moli di vapore d'acqua, secondo la seguente reazione chimica:



Passando dai termini molari a quelli ponderali e introducendo il potere calorifico inferiore del metano, si ottiene che per ogni metro cubo di gas combustibile, nei fumi umidi vi sono circa 4000 kJ di entalpia latente del vapore acqueo. Anche la quota di entalpia sensibile dei fumi non è trascurabile se si considera che i fumi vengono scaricati a temperature maggiori di 140°C.

Il recupero del il calore latente del vapore presente nei fumi di scarico, consente di ottenere rendimenti tra il 103% e il 108%; la modalità con cui avviene il recupero è mostrata in figura 2.10.

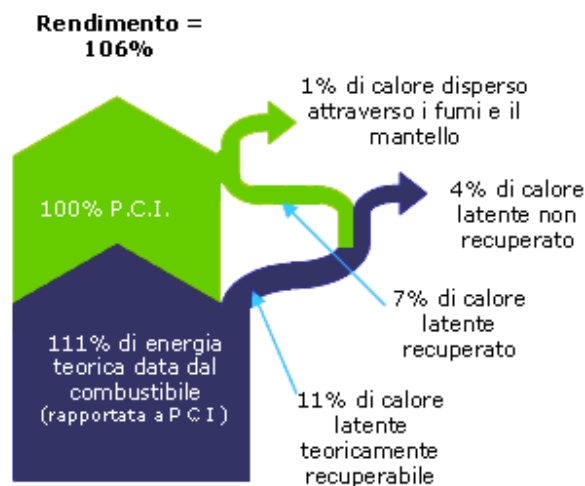


Figura 2.10 Recupero del calore latente in una caldaia a condensazione

Negli impianti di riscaldamento a bassa temperatura le caldaie a condensazione consentono l'ottenimento di un elevato risparmio energetico se confrontate con i fabbisogni derivanti dall'impiego di caldaie tradizionali. Ciò è dovuto alla caratteristica propria dei generatori a condensazione di consentire oltre al recupero di calore sensibile dai fumi, anche di parte di quello latente di vaporizzazione del vapor d'acqua contenuto nei prodotti della combustione, quando la temperatura dell'acqua di ritorno dall'impianto è tale da raffreddare i fumi al di sotto della loro temperatura di rugiada.

L'energia recuperabile è tanto maggiore quanto minore è la temperatura dell'acqua di ritorno dai corpi scaldanti e quindi i rendimenti più elevati si ottengono facendo lavorare la caldaia con un sistema di distribuzione a bassa temperatura (ad esempio i pavimenti radianti), con i quali realizzano una configurazione del sistema di produzione ed emissione ottimale.

Il costo di una caldaia a condensazione può essere più del doppio rispetto ad una tradizionale con un buon rendimento.

Capitolo 3

I codici di calcolo

3.1 Introduzione

La recente evoluzione della legislazione energetica nazionale ed internazionale in tema di efficienza energetica degli edifici, sia attraverso l'introduzione di nuovi requisiti e prescrizioni, sia attraverso la proposta di incentivi economici e fiscali, che con l'introduzione della certificazione energetica, ha definitivamente imposto il tema della sostenibilità energetica quale esigenza fondamentale del progetto, rappresentando il motore per la diffusione di nuove tecnologie edilizie ed impiantistiche.

Nella caratterizzazione energetica del sistema edificio-impianti, sta diventando una pratica sempre più diffusa l'impiego di modelli di simulazione per la progettazione e la verifica della prestazione. Infatti, la disponibilità di modelli di calcolo avanzati consente di dimensionare, abbastanza velocemente, l'impianto di riscaldamento e climatizzazione in relazione sia alle caratteristiche termofisiche dell'involucro sia alle condizioni d'uso del sistema stesso, sempre in funzione delle condizioni climatiche del sito in cui l'edificio è localizzato.

Inoltre la maggior parte di questi modelli di simulazione consente di studiare il sistema al variare dei parametri che lo definiscono e di confrontare diverse soluzioni progettuali.

Da queste considerazioni si comprende l'importanza di avere a disposizione uno strumento che gestisca l'esecuzione di un gran numero di simulazioni, riducendone i tempi di calcolo, in modo da individuare la configurazione ottimale del sistema oggetto di studio in base a parametri tecnici, economici e normativi.

Nei paragrafi seguenti pertanto verranno analizzate le procedure di calcolo previste dalla norma e le caratteristiche essenziali del motore di simulazione Energy Plus utilizzato per le analisi successive.

3.2 Gli standard tecnici europei successivi alla EPBD

La direttiva 2002/91/CE, “*Energy Performance of Buildings*” (EPBD), è entrata ufficialmente in vigore nel gennaio 2003. Per favorire una sua armonica integrazione nei regolamenti legislativi di ciascuna nazione, nel gennaio 2004, la Commissione Europea ha formulato un mandato, il M343, al CEN. In particolare sono stati richiesti al Comitato Europeo per la Standardizzazione, un complesso insieme di nuovi standard tecnici, per ricoprire 31 differenti aspetti relativi alle prestazioni degli edifici e degli impianti ad esso asserviti.

Il mandato citato, riguarda un consistente gruppo di metodologie di calcolo, necessario a consentire una appropriata valutazione degli usi finali di energia e delle correlate emissioni inquinanti per il sistema integrato edificio-impianti.

Ad oggi sono state completate e pubblicate circa 40 norme tecniche, delle quali 30 circa sono completamente nuove, mentre le altre sono revisioni o integrazioni di vecchie procedure. La relazione reciproca tra tutte queste direttive e il loro uso, è regolamentato dal rapporto tecnico del CEN, *CEN/BT WG173 EPBD N. 15*, meglio noto come “*Umbrella Document*”.

Tale documento si è trasformato nel rapporto tecnico CEN/TR 15615:2008, “*Explanation of the general relationship between various European Standards and the Energy Performance of Buildings Directive*”, che contiene le istruzioni per ottenere un uso armonico delle procedure di calcolo introdotte con le direttive e le norme approvate.

Sostanzialmente l’”*Umbrella Document*” identifica quattro documenti principali, necessari all’applicazione delle prescrizioni contenute nell’EPBD, soprattutto relativamente alla certificazione energetica degli edifici:

- EN 15603: *Energy performance of buildings - Overall energy use, CO₂ emissions and definition of ratings*;
- EN 15217: *Energy performance of buildings - Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings* ;
- EN ISO 13790: *Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling*;
- EN ISO 15316: *Energy performance of buildings - Heating systems in buildings*.

In particolare, le prime due consentono di esprimere le prestazioni energetiche dell’edificio, i consumi globali di energia, il fabbisogno di energia primaria e le emissioni di CO₂; inoltre permettono di fare una valutazione degli usi di energia e di dare una definizione

della valutazioni delle prestazioni energetiche, fornendo anche indicazioni generali sul meccanismo di certificazione energetica degli edifici.

Invece, la norma EN ISO 13790:2008 rappresenta il documento chiave per valutare le prestazioni della costruzione, descrivendo le procedure di calcolo per i fabbisogni relativi sia al riscaldamento che al raffrescamento, considerando molti dei fenomeni di scambio termico e dei carichi plausibilmente presenti come:

- il contributo, positivo o negativo, al bilancio dovuto alla trasmissione e alla ventilazione;
- la trasmittanza termica delle componenti opache e delle superfici trasparenti;
- scambi termici radiativi e i carichi endogeni;
- fattori di utilizzazione degli apporti gratuiti e delle perdite.

Infine, l'EN ISO 15316, nelle sue diverse sezioni, descrive le metodologie per il calcolo dei rendimenti relativi ai vari sottosistemi e dispositivi, sia per il riscaldamento domestico che per la produzione di acqua calda sanitaria.

Relativamente alla metodologia di calcolo, nell' "*Umbrella Document*" viene evidenziato che è possibile impostare la metodologia di calcolo secondo diversi approcci.

In particolare, nella norma EN ISO 13790, il fabbisogno può essere calcolato su base oraria, mensile o annuale, attraverso valutazioni più o meno dettagliate, laddove la scelta del livello di approfondimento dipende dagli obiettivi del calcolo e dalla complessità dell'edificio. In particolare si distinguono diversi tipi di valutazione energetica di calcolo, così come classificati nella tabella 3.1.

Per capire questa classificazione, occorre considerare quanto proposto dall'EN 15603, in cui sono individuate due diverse metodologie di valutazione:

- a) valutazioni da calcolo;
- b) valutazioni da misura.

In entrambi i casi le prestazioni energetiche dell'edificio sono valutate a partire dalla somma dei differenti consumi di energia, quali: riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, illuminazione, produzione di acqua calda sanitaria.

Le *valutazioni da misura* sono basate sulle fatture energetiche, in modo da riuscire a ricostruire i fabbisogni energetici sulle richieste reali della costruzione. Invece, le *valutazioni da calcolo* sono basate su valutazioni fisico-numeriche, differenziate per tipologia di costruzione, e si dividono in tre possibili alternative: valutazione di progetto, standard, adattata all'utenza.

Ovviamente, il livello di precisione maggiore si ha con la valutazione adattata all'utenza e con quella basata sulle fatture energetiche, che diventano necessarie quando l'analisi

dell'edificio ha come obiettivo interventi di riqualificazione energetica, per valutare l'effettiva convenienza tecnico-economica di un intervento proposto.

Laddove, invece, lo scopo della valutazione è quello di ottenere un permesso di costruzione o confrontare le prestazioni di energia di diverse costruzioni, si dovrebbe usare uno dei primi due metodi. Infatti, per rendere possibile un confronto coerente, bisogna adoperare le stesse condizioni al contorno, (soprattutto per quanto riguarda i profili di occupazione, le caratteristiche delle apparecchiature installate, la ventilazione, le condizioni impostate di comfort).

Tabella 3.1 Tipi di calcolo per la valutazione energetica

Tipo di valutazione	Dati di progetto			Scopo della valutazione
	Utenza	Clima	Edificio	
Di progetto (Design Rating)	Standard	Standard	Elaborati di progetto	Permesso di costruire, Certificazione o qualificazione energetica
Standard (Asset Rating)	Standard	Standard	Reale	Certificazione o qualificazione energetica
Adattata all'utenza (Tailored Rating)	A seconda della finalità		Reale	Ottimizzazione, diagnosi e programmazione di interventi di riqualificazione

Ritornando alla norma EN ISO 13790, sebbene essa descriva la procedura generale per il fabbisogno energetico della costruzione, le caratteristiche dei sistemi tecnici della costruzione stessa sono definite in altre norme, per cui questa deve essere continuamente confrontata con altri documenti tecnici fra cui:

- EN 15316: *“Heating systems in buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies”*, nelle sue diverse parti fornisce descrizioni complete delle efficienze del sistema di riscaldamento;
- EN15243: *“Ventilation for Buildings - Calculation of room temperatures and of load and energy for buildings with room conditioning systems”*, definisce in modo completo i sistemi di raffrescamento;
- EN 15241: *“Ventilation for buildings – Calculation methods for energy requirements due to ventilation systems in buildings”*, introduce la

metodologia per valutare l'impatto energetico del sistema di ventilazione;

- EN 15193: “*Energy performance of buildings – Energy requirements for lighting.* ”, fornisce la metodologia per la valutazione dell'illuminazione artificiale;
- EN 15232: “*Energy performance of buildings - Impact of Building Automation, Controls and Building Management*”, definisce i criteri per valutare i sistemi di automazione e controllo.

Per quanto riguarda i requisiti minimi di efficienza energetica, nelle norme approvate dal CEN non sono indicati limiti o valori minimi, poiché questi devono essere definiti a livello nazionale, secondo le tipologie di costruzione più diffuse, le tecnologie usate e, soprattutto, il contesto climatico.

Relativamente a quello che in Italia è l'attestato di certificazione energetica, nella norma EN 15217 è contenuto un modello, e alcuni consigli e suggerimenti per crearlo, dove l'etichetta energetica è caratterizzata da differenti classi di prestazione, determinate dal confronto tra i requisiti di prestazione minimi (R_r) e il valore di riferimento per le costruzioni esistenti (R_s).

Il criterio di classificazione adottato della suddetta norma è riportato nella figura 3.1.

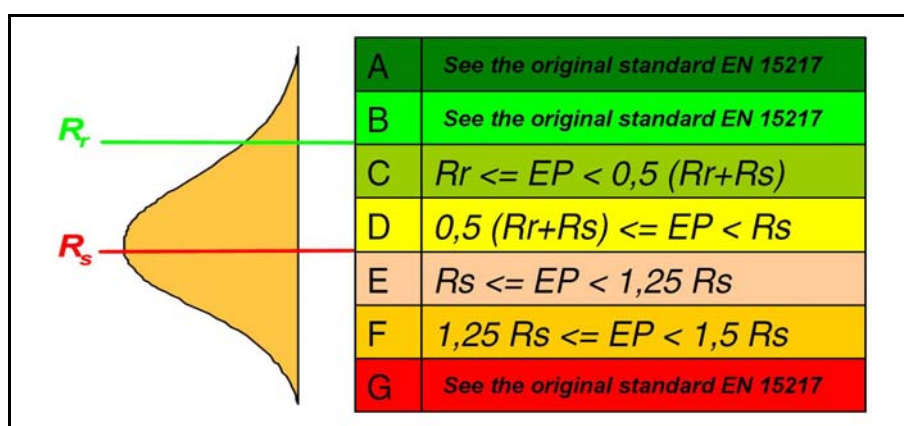


Figura 3.1 Classi energetiche per stabilire le prestazioni energetiche di un edificio
Fonte EN 15217

Per quanto riguarda il criterio per stabilire le classi di prestazioni, possono essere applicate alcune differenti specifiche nazionali, in quanto a volte è molto difficile determinare un valore di riferimento in contesti caratterizzati da un'alta variabilità delle tipologie costruttive, e in condizioni climatiche non uniformi. L'Italia ne è un buon esempio; infatti, essendo caratterizzata da zone climatiche molto differenti e da tecniche diversificate nelle costruzioni, non può essere identificato un unico valore di R_s se non con grandi

approssimazioni. Per questi motivi, lo schema di certificazione italiano, adotta un metodo differente, interamente basato sul valore di R_r .

Per quanto riguarda le verifiche agli impianti, sono stati approvati dal CEN le seguenti norme:

- EN 15378: “ *Energy performance of buildings – Inspection of boilers and heating systems. The standard*”, fornisce i criteri per l’ispezione delle caldaie, della rete di distribuzione e dei terminali, di qualsiasi tipo di sistema di riscaldamento a combustibile liquido, solido o gassoso;
- EN 15239: “*Ventilation for buildings – Energy performance of buildings - Guidelines for inspection of ventilation systems*”, definisce la metodologia per le ispezioni periodiche dei sistemi di ventilazione naturale e meccanica;
- EN 15240: “*Ventilation for Buildings - Energy performance of buildings – Guidelines for the inspection of air-conditioning systems*”, descrive i criteri per il controllo degli impianti di condizionamento.

Quasi tutti i paesi dell’Unione Europea, hanno già recepito o stanno per farlo, nelle legislazioni nazionali, le indicazioni delle norme suddette.

3.2.1 Il ruolo della norma UNI EN ISO 13790:2008

Come già accennato, la norma UNI EN ISO 13790, “*Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling*” (Prestazione energetica degli edifici- Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento), versione ufficiale in lingua inglese della norma europea EN ISO 13790 (edizione marzo 2008), fornisce metodi di calcolo per la valutazione del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti di edifici residenziali e non residenziali, o di una parte degli stessi.

In questo paragrafo, saranno sottolineati alcuni aspetti della metodologia introdotta, ma una descrizione completa sarà data nel paragrafo successivo relativamente alle Specifiche Tecniche pubblicate in Italia.

La UNI EN ISO 13790, è un’estensione delle precedenti versioni (2005 e 2001), che comprendevano solo un metodo semplificato per il calcolo dei fabbisogni termici per il riscaldamento, per edifici residenziali.

L’indicatore calcolato è il fabbisogno annuo di energia per il riscaldamento e il raffrescamento, al netto degli impieghi annuali di energia dei sistemi di riscaldamento,

raffrescamento e ventilazione, e delle richieste per il funzionamento degli ausiliari, separatamente valutati.

La metodologia introdotta da tale direttiva può essere applicata anche ad edifici in cui si distinguono più zone termiche. Occorre sottolineare che si dovrebbe considerare la divisione in più zone termiche quando l'edificio presenta diversi spazi caratterizzati da differenti temperature operative, o interessati da un riscaldamento intermittente e da differenziazioni nel raffrescamento.

La procedura operativa introdotta dalla norma include la valutazione degli scambi termici per trasmissione e ventilazione, sia quando l'edificio è riscaldato che quando è raffrescato ad una temperatura interna costante; il contributo degli apporti termici interni e solari al bilancio termico dell'edificio; i fabbisogni annuali di energia termica per riscaldamento e raffrescamento, al fine di mantenere le temperature prefissate di regolazione all'interno dell'edificio.

La norma assume come riferimento temporale il calcolo su base mensile, anche se è possibile fare bilanci energetici orari per la maggior parte delle simulazioni annuali più dettagliate.

Sostanzialmente nell'applicazione si possono individuare tre passi operativi principali.

Il primo passo consiste nella caratterizzazione dell'involucro edilizio e dello studio del suo comportamento, in modo che il risultato sia l'energia netta richiesta dalla costruzione, senza considerare le efficienze delle apparecchiature. I dati richiesti sono relativi alle caratteristiche termo-fisiche dell'involucro; la destinazione d'uso della costruzione; le condizioni impostate all'interno (temperatura e l'umidità) e le caratteristiche climatiche. A valle di ciò, è possibile valutare i primi due parametri che influiscono sulle dispersioni e sugli apporti:

- flusso termico per trasmissione (scambio diffusivo);
- flusso termico per ventilazione (scambio convettivo);
- flussi di origine solare;
- guadagni dovuti a sorgenti endogene di energia termica.

Il secondo passo, invece, è basato sulla valutazione delle efficienze dei sistemi attivi, quali il riscaldamento e il raffrescamento, la ventilazione, la produzione di acqua calda sanitaria e i sistemi di illuminazione. Il calcolo è effettuato considerando il rapporto tra le efficienze dei vari sottosistemi in cui si può dividere l'impianto, includendo l'opportuna valutazione dei consumi dei dispositivi ausiliari, al fine di pesare i consumi di ciascuno di essi rispetto all'efficienza nel bilancio globale.

Infine con l'ultimo passo si intende sintetizzare i risultati dei primi due, attraverso il calcolo degli indicatori di efficienza energetica.

L'applicazione della metodologia richiede, ovviamente, un insieme di dati d'ingresso, nel seguito elencati:

- i parametri che governano gli scambi per ventilazione e trasmissione;
- i parametri necessari a stimare i guadagni solari e i carichi endogeni;
- le caratteristiche climatiche del sito;
- la definizione delle caratteristiche d'involucro e delle proprietà termofisiche dei componenti opachi e trasparenti;
- i livelli termici da ricreare all'interno dell'ambiente riscaldato o raffrescato;
- le principali caratteristiche tecniche degli impianti operanti;
- i consumi dovuti agli ausiliari e alle operazioni complementari;
- le perdite di energia dovute a sistemi inefficienti preesistenti, e la frazione recuperabile;
- l'individuazione e la caratterizzazione delle differenti zone termiche dell'edificio;
- le caratteristiche dei sistemi di regolazione, distribuzione, emissione e accumulo degli impianti operanti.

In sintesi, come risultati saranno ottenuti:

- fabbisogno annuo di energia per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti;
- energia annuale primaria usata per riscaldamento e raffrescamento considerando le eventuali perdite;
- la durata della stagione estiva ed invernale, che hanno effetto sui consumi di energia, sia in termini di usi finali che di richieste degli ausiliari.

Per concludere, il documento tecnico comprende regole comuni per la definizione delle condizioni al contorno e dei dati di input fisici, stabiliti secondo la metodologia di calcolo adottata [15].

3.3 Le procedure di calcolo italiane

La Specifica Tecnica UNI/TS 11300 sulle prestazioni energetiche degli edifici è nata con l'obiettivo di definire una metodologia di calcolo univoca per la determinazione delle prestazioni energetiche degli edifici. Essa si compone di quattro specifiche tecniche (TS) di cui attualmente sono state pubblicate le prime tre ed entrate in vigore solo le prime due in quanto la parte terza è ancora in revisione:

- **UNI/TS 11300:2008 – Parte I:** *“Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia dell’edificio per la climatizzazione estiva ed invernale”*;
- **UNI/TS 11300: 2008 – Parte II :** *“Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria ”*;
- **UNI/TS 11300: 2008 – Parte III:** *“Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva”*;
- **UNI/TS 11300: 2008 – Parte IV:** *“Prestazioni energetiche degli edifici -Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per riscaldamento di ambienti e produzione di acqua calda sanitaria”*.

Tali Specifiche Tecniche (TS) definiscono le modalità per l’applicazione nazionale della UNI EN ISO 13790:2008, *“Prestazione energetica degli edifici: calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e raffrescamento”*, con riferimento al metodo mensile per il calcolo dei fabbisogni di energia termica per riscaldamento e per raffrescamento.

Le UNI/TS nascono anche dalla necessità di superare la barriera linguistica costituita dal complesso di norme del settore pubblicate dal CEN e da UNI, solo in lingua inglese, in modo da facilitare la consultazione da parte degli utenti, ma anche per fornire univocità di valori e di metodi per consentire la riproducibilità e confrontabilità dei risultati ed ottemperare alle condizioni richieste da documenti a supporto di disposizioni nazionali.

Infatti, oltre a rappresentare un dettagliato e funzionale documento di consultazione per le pratiche di certificazione energetica armonizzato con i contenuti dei documenti normativi emanati in sede comunitaria, queste sono divenute le norme tecniche nazionali che il D.Lgs 115/2008 richiama espressamente come metodologie da adottare per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici.

Nello schema in figura 3.2 viene riassunto il legame reciproco tra le normative nazionali ed europee, che hanno portato alla fine alle specifiche tecniche nel seguito analizzate.

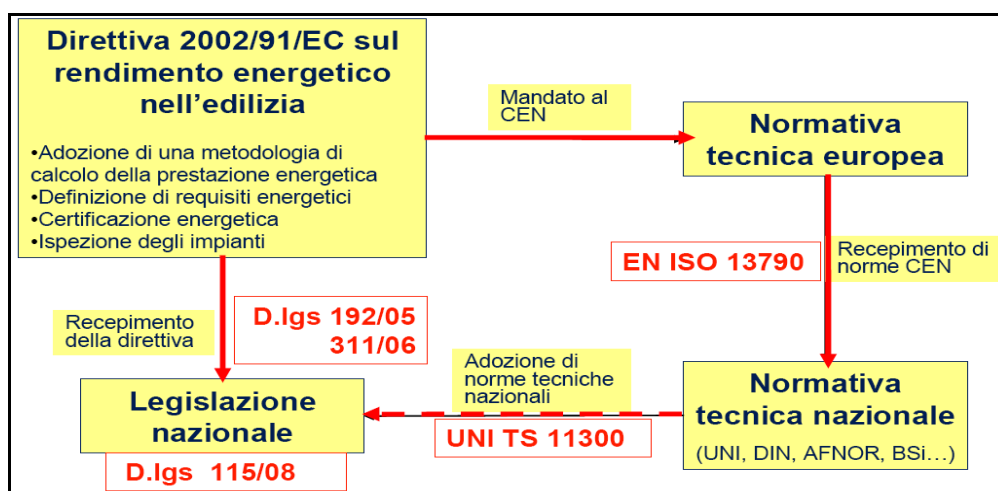


Figura 3.2 Relazione tra legislazione e normativa tecnica

3.3.1 Norma UNI/TS 11300: Parte I

La prima parte della specifica tecnica analizzata, “*Prestazione energetica degli edifici- Determinazione del fabbisogno di energia dell’edificio per la climatizzazione estiva ed invernale*”, fornisce la procedura di calcolo e i dati d’ingresso, per calcolare:

- lo scambio termico per trasmissione e ventilazione dell’edificio, quando viene riscaldato o raffrescato a temperatura interna costante;
- il contributo, al bilancio termico dell’edificio, delle sorgenti di energia interne e solari;
- i fabbisogni annui di energia per il riscaldamento e il raffrescamento, al fine di mantenere le temperature prefissate di regolazione all’interno dell’edificio.

Nella sostanza, la parte-I fornisce l’applicazione nazionale della UNI EN ISO 13790:2008 per il calcolo dei fabbisogni (netti) di energia termica per riscaldamento e per raffrescamento (sensibile) con riferimento al metodo mensile e sostituisce definitivamente la UNI 10379:2005, “*Riscaldamento degli edifici: fabbisogno energetico convenzionale normalizzato*”.

La metodologia per il calcolo del fabbisogno per riscaldamento con il metodo mensile rimane quasi invariata fatta eccezioni per alcune modifiche sui valori dell’intermittenza e sulla ventilazione.

In particolare, la UNI/TS 11300-Parte I consente l’esecuzione di tre tipi di valutazioni in funzione del tipo di edificio (esistente o da realizzare), della finalità della verifica (progetto,

certificazione energetica, diagnosi energetica, etc.) e delle condizioni al contorno (dati climatici e dati relativi alle condizioni di utilizzo reali o di progetto).

Tale norma è rivolta a tutte le possibili applicazioni previste dalla UNI EN ISO 13790:2008: calcolo di progetto (*design rating*), valutazione energetica di edifici attraverso il calcolo in condizioni standard (*asset rating*), o in particolari condizioni climatiche e d'esercizio (*tailored rating*).

Per le prime due procedure di calcolo, si considerano temperature interne fisse in relazione alla categoria d'edificio:

- stagione invernale: 20°C per le abitazioni, 28°C per piscine e saune, 18°C per palestre ed assimilabili o edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali. Gli edifici confinanti, se abitati, sono supposti a 20°C;
- stagione estiva: 26°C per le abitazioni, 28°C per piscine e saune, 24°C per palestre o edifici industriali.

Anche per gli apporti interni si assumono valori in relazione alla categoria di edificio: 6 W/m² per edifici adibiti ad alberghi, uffici ed attività industriali; 8 W/m² per ospedali, case di cura, musei, case di cura ed edifici adibiti ad attività commerciali; 10 W/m² per bar, ristoranti, sale da ballo e piscine.

La procedura di calcolo prevede cinque passi fondamentali:

- definizione dei confini dell'insieme degli ambienti climatizzati e non dell'edificio;
- definizione dei confini delle diverse zone di calcolo, se richiesta;
- definizione delle condizioni climatiche esterne e delle temperature interne;
- calcolo, per ogni mese e per ogni zona dell'edificio, dei fabbisogni netti di energia per il riscaldamento e raffrescamento;
- aggregazione dei risultati relativi ai diversi mesi ed alle diverse zone servite dagli stessi impianti.

Per ogni zona dell'edificio, e per ogni mese, i fabbisogni di energia termica per il riscaldamento ($Q_{H,nd}$) e per il raffrescamento ($Q_{C,nd}$), si calcolano secondo il seguente bilancio termico:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{gn} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{sol} + Q_{int}) \quad (3.1)$$

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls} \cdot (Q_{C,tr} + Q_{C,ve}) \quad (3.2)$$

Ove:

- $Q_{H,ht}$ è lo scambio termico totale per il riscaldamento;
- $Q_{C,ht}$ è lo scambio termico totale per il raffrescamento;
- Q_{int} sono gli apporti termici interni;
- Q_{gn} sono gli apporti termici totali;
- Q_{sol} sono gli apporti termici solari;
- $\eta_{H,gn}$ è il fattore di utilizzazione degli apporti termici;
- $\eta_{C,ls}$ è il fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche;
- $Q_{H,tr}$, $Q_{C,tr}$ e $Q_{C,ve}$, $Q_{H,ve}$ sono gli scambi termici per trasmissione e ventilazione rispettivamente nel caso di riscaldamento e raffrescamento.

Questi ultimi termini si possono calcolare come espresso nelle seguenti equazioni:

$$Q_{H,tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t + \left(\sum_k F_{r,k} \cdot \Phi_{r,mn,k} \right) \cdot t \quad (3.3)$$

$$Q_{H,ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t \quad (3.4)$$

$$Q_{C,tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,C} - \theta_e) \cdot t + \left(\sum_k F_{r,k} \cdot \Phi_{r,mn,k} \right) \cdot t \quad (3.5)$$

$$Q_{C,ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,set,C} - \theta_e) \cdot t \quad (3.6)$$

dove:

- $\theta_{int,set,H}$ e $\theta_{int,set,C}$ sono le temperature interne di regolazione rispettivamente per il riscaldamento e il raffrescamento della zona considerata;
- θ_e è la temperatura media mensile dell'ambiente esterno;
- $F_{r,k}$ è il fattore di forma tra il componente edilizio k-esimo e la volta celeste;
- t è la durata del mese considerato;
- $\Phi_{r,mn,k}$ è l'extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste dal componente k-esimo, mediato nel tempo. Per il calcolo si può fare riferimento alla norma UNI EN ISO 13790;

- $H_{tr,adj}$ e $H_{ve,adj}$ sono i coefficienti globali di scambio termico per trasmissione e ventilazione della zona considerata.

Per valutare lo scambio termico verso gli ambienti non climatizzati, è necessario introdurre il coefficiente di scambio termico per trasmissione tra il volume climatizzato e gli ambienti esterni, attraverso gli ambienti non climatizzati, come prodotto tra il coefficiente globale di scambio termico tra ambiente climatizzato e non, e un fattore di correzione i cui valori si possono ricavare dal prospetto V della norma stessa, in funzione del tipo di ambiente confinante.

Gli apporti termici per ogni zona dell'edificio e per ogni mese, trascurando per semplicità l'addendo relativo ai flussi termici verso l'ambiente non climatizzato adiacente, si calcolano con le equazioni 3.7 e 3.8.

$$Q_{int} = \left(\sum_k \Phi_{int,mn,k} \right) \cdot t \quad (3.7)$$

$$Q_{sol} = \left(\sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right) \cdot t \quad (3.8)$$

In cui:

- $\Phi_{int,mn,k}$ è il flusso termico prodotto dalla k-esima sorgente di calore interna, mediato sul tempo;
- $\Phi_{sol,mn,k}$ è il flusso termico k-esimo di origine solare, mediato sul tempo;
- $\Phi_{sol,k}$ è il flusso termico k-esimo di origine solare calcolato come prodotto tra il fattore di riduzione per ombreggiatura, l'area di captazione solare effettiva e l'irradiazione solare media mensile.

I dati d'ingresso per effettuare i calcoli, tengono conto di diversi fattori che si possono raccogliere in quattro categorie principali:

- **caratteristiche tipologiche dell'edificio:** volume lordo e volume netto dell'ambiente climatizzato, superfici di tutti i componenti dell'involucro, tipologie e dimensioni dei ponti termici, orientamento di tutti i componenti dell'involucro edilizio, fattori di ombreggiatura di tutti i componenti trasparenti;
- **caratteristiche termofisiche e costruttive dell'edificio:** trasmittanza termica dei componenti dell'involucro edilizio, capacità termica areica dei componenti

della struttura dell'edificio, trasmittanza di energia solare totale dei componenti trasparenti, fattori di riduzione dovuti al telaio dei componenti trasparenti, coefficienti di trasmissione lineare dei ponti termici;

- **dati climatici** :medie mensili di temperatura esterna e irradianza solare totale media;
- **dati relativi alle modalità di occupazione e di utilizzo dell'edificio**: temperatura interna di regolazione, numero di ricambi d'aria, durata dei periodi di raffrescamento e riscaldamento, regime di funzionamento dell'impianto termico, modalità di gestione degli schermi, tipo di ventilazione, apporti interni.

Al fine dei calcoli il sistema edificio-impianto, a seconda della situazione, si può considerare costituito da uno o più edifici (fabbricato) o da porzioni di edificio, climatizzati attraverso un unico sistema di generazione ad essi asservito. Ogni porzione di edificio, climatizzata ad una determinata temperatura, con identiche modalità di regolazione, costituisce una zona termica. La figura 3.3 schematizza le possibili situazioni di calcolo.

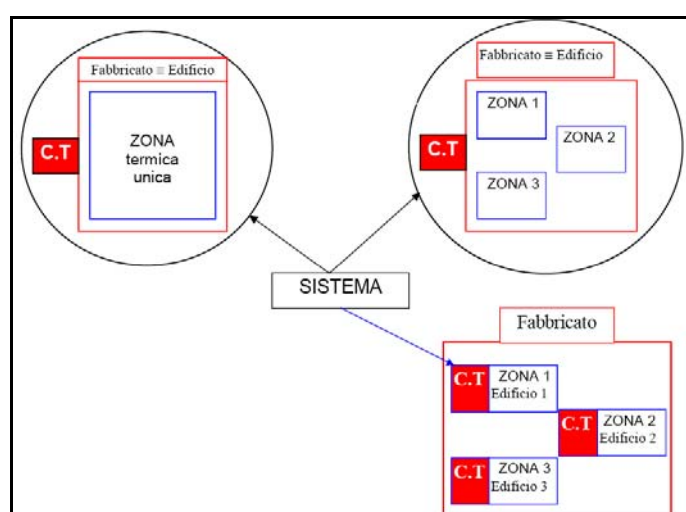


Figura 3.3 Determinazione del sistema edificio-impianto

La zonizzazione non è richiesta se si verificano le seguenti condizioni:

- le temperature interne di regolazione per il riscaldamento differiscono di non oltre 4 K;
- gli ambienti non sono raffrescati o comunque le temperature interne di regolazione per il raffrescamento differiscono di non oltre 4 K;
- gli ambienti sono serviti dallo stesso impianto di riscaldamento;

- se vi è un impianto di ventilazione meccanica, almeno l'80% dell'area climatizzata è servita dallo stesso impianto di ventilazione con tassi di ventilazione nei diversi ambienti che non differiscono di un fattore superiore a 4.

Per quanto riguarda la ventilazione, la norma, nel caso di ventilazione naturale, per gli edifici residenziali, assume un tasso di ricambio d'aria pari a 0,3 vol/h mentre per tutti gli altri edifici si assumono i tassi di ricambio d'aria riportati nella UNI 10339 (*"Impianti aeraulici al fini di benessere"*).

I valori degli indici di affollamento sono assunti pari al 60% di quelli riportati nella suddetta norma ai fini della determinazione della portata di progetto.

Per gli edifici dotati di sistemi di ventilazione meccanica a singolo flusso (aspirazione) la portata di ricambio si calcola come:

$$\mathbf{q_{ve}} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{q_{ve,des}} \quad (3.9)$$

dove

- $\mathbf{q_{ve,des}}$ è la portata d'aria di progetto;
- \mathbf{k} è un coefficiente di contemporaneità di utilizzo delle bocchette aspiranti. In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, si può assumere $k = 1$ per sistemi a portata fissa.

Per gli edifici dotati di sistemi di ventilazione meccanica a doppio flusso la portata di ricambio si calcola come:

$$\mathbf{q_{ve}} = (1 - \eta_{ve}) \cdot \mathbf{q_{ve,des}} \quad (3.10)$$

dove η_{ve} è l'efficienza dell'eventuale recuperatore di calore dell'aria.

L'opzione della ventilazione notturna può essere considerata solo in presenza di ventilazione meccanica, e per tutti i giorni del periodo di raffrescamento.

Gli apporti solari invece vengono considerati come un incremento dello scambio termico per trasmissione e si distinguono a seconda dei componenti:

- a) componenti opachi: in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, il fattore di assorbimento solare di un componente opaco può essere assunto pari a 0.3 per colore chiaro della superficie esterna, 0.6 per colore medio e 0.9 per colore scuro;
- b) componenti trasparenti: i valori della trasmittanza di energia solare totale degli elementi vetrati possono essere ricavati moltiplicando i valori di trasmittanza di

energia solare totale per incidenza normale per un fattore di esposizione assunto pari a 0.9, mentre in assenza di dati si fa riferimento al prospetto 13 della norma (tabella 3.2).

Nella valutazione di tali contributi, deve essere tenuto in conto l'effetto di schermature mobili (solo se integrate nella struttura). In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, l'effetto di schermature mobili può essere valutato attraverso i fattori di riduzione riportati al prospetto 14 della norma, pari al rapporto tra i valori di trasmittanza di energia solare totale della finestra con e senza schermatura.

Tabella 3.2 Prospetto 13 della UNI/TS-I, trasmittanza di energia solare di alcuni tipi di vetro

Tipo di vetro	Trasmittanza di energia solare totale per incidenza normale
Vetro singolo	0.85
Doppio vetro normale	0.75
Doppio vetro con rivestimento basso emissivo	0.67
Triplo vetro normale	0.70
Triplo vetro con rivestimento basso emissivo	0.50
Doppia finestra	0.75

L'ombreggiamento viene calcolato come prodotto dei fattori di ombreggiatura relativi ad ostruzioni esterne, ad oggetti orizzontali e verticali. I valori di tali fattori dipendono dalla latitudine, dall'orientamento dell'elemento ombreggiato, dal clima, dal periodo considerato e dalle caratteristiche geometriche degli elementi ombreggianti. Tali caratteristiche sono descritte da un parametro angolare, come evidenziato ad esempio nella figura 3.4.

Per considerare in modo adeguato gli effetti indotti dai guadagni gratuiti, ovvero dalle dispersioni, tali contributi devono essere moltiplicati per coefficienti riduttivi che tengano conto dell'inerzia dell'edificio. Si devono dunque calcolare i seguenti parametri:

- fattore di utilizzazione degli apporti termici per il calcolo del fabbisogno di riscaldamento, $\eta_{H,gn}$;
- fattore di utilizzazione dello scambio termico per il calcolo del fabbisogno di raffrescamento, $\eta_{C,dis}$;
- capacità termica interna (per gli edifici esistenti desumibili dal prospetto 16);

- intermittenza e attenuazione, assunta inesistente per le valutazioni di progetto e standard (in regime di funzionamento continuo).

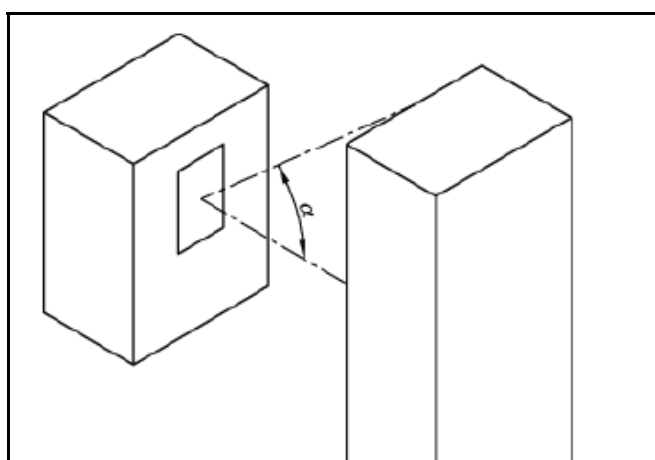


Figura 3.4 Esempio di angolo dell'orizzonte ombreggiato da un'ostruzione esterna

Come ultima osservazione, si sottolinea che nelle appendici della specifica tecnica viene riportato un abaco delle strutture murarie utilizzate in Italia in edifici esistenti, da usare solo in mancanza di dati di progetto, (esempio in figura 3.5); la determinazione semplificata della trasmittanza termica dei componenti opachi in edifici esistenti; la determinazione semplificata della trasmittanza termica dei componenti trasparenti; i fattori di ombreggiatura [16].

STRUTTURA N. <u>9</u> DESCRIZIONE <u>Muratura a cassa vuota</u>						
Sezione struttura		Rif.	Materiali	Massa volumica (kg/m ³)	Spessore (cm)	Conduktivita (W/(m·K))
		1	Intonaco interno (calce e gesso)	1 400	2	0,70
		2	Mattoni forati	800	8	0,30
		3	Intercapedine d'aria	-	6 - 12	
		4	Mattoni forati	800	25	0,30
		5	Intonaco esterno	1 800	2	0,90
		6				
		7				
		8				
		9				
		10				

Figura 3.5 Esempio di trasmittanza per una muratura a cassa vuota come riportata nell'Appendice B della UNI/TS 11300-I

3.3.2 Norma UNI/TS 11300: Parte II

La seconda parte della specifica tecnica analizzata, “*Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria*”, fornisce dati e metodi per la determinazione di :

- fabbisogno di energia utile per acqua calda sanitaria;
- rendimento dei sottosistemi dell'impianto;
- rendimento globale medio stagionale;
- fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione invernale e per la preparazione di acqua calda sanitaria.

La specifica tecnica di applica a sistemi di nuova progettazione, ristrutturati o esistenti sia se per il solo riscaldamento o per sola produzione di acqua calda per usi igienico-sanitari, sia per sistemi misti o combinati per riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria.

Le suddette applicazioni trovano riscontro in diversi tipi di valutazione energetica:

- a) valutazione di calcolo;
- b) valutazione di progetto.

La prima prevede il calcolo del fabbisogno energetico e si differenzia, come nella prima parte della specifica tecnica, in:

- a.1) valutazione di progetto: il calcolo viene effettuato sulla base dei dati di progetto; per le modalità di occupazione e di utilizzo dell'edificio e dell'impianto si assumono valori convenzionali di riferimento. Questa valutazione è eseguita in regime di funzionamento continuo;
- a.2) valutazione standard: il calcolo viene effettuato sulla base dei dati relativi all'edificio e all'impianto reale, come costruito; per le modalità di occupazione e di utilizzo dell'edificio e dell'impianto si assumono valori convenzionali di riferimento. Questa valutazione è eseguita in regime di funzionamento continuo;
- a.3) valutazione in condizioni effettive di utilizzo: il calcolo viene effettuato sulla base dei dati relativi all'edificio e all'impianto reale, come costruito; per le modalità di occupazione e di utilizzo dell'edificio e dell'impianto si assumono valori effettivi di funzionamento. Questa valutazione è eseguita nelle condizioni effettive di intermittenza dell'impianto.

La seconda è una valutazione basata sul rilievo dei consumi con modalità standard.

Ai fini di una accurata diagnosi energetica, si può procedere con la valutazione in condizioni effettive di utilizzo integrata con il rilievo dei consumi. Affinché dati di consumo rilevati possano essere correttamente utilizzati come dati di confronto è necessario definire dei criteri unificati per attribuire i consumi al periodo di tempo prefissato e modalità, anch'esse unificate, per convertire i consumi in portate volumetriche o di massa negli equivalenti energetici.

La specifica tecnica utilizzata considera i seguenti fabbisogni di energia termica utile:

- fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento e la ventilazione dell'edificio: Q_h ;
- fabbisogno di energia termica utile per acqua calda sanitaria: $Q_{h,w}$;
- fabbisogno di energia primaria per usi di condotta: Q_{oth} .

I primi due termini sono utilizzati per il calcolo dei fabbisogni di energia primaria, e sono calcolati al netto di eventuali apporti da perdite recuperabile e dei contributi da energie rinnovabili o sistemi alternativi.

In particolare relativamente al calcolo del fabbisogno per l'acqua calda sanitaria, la norma aggiorna i criteri della *Raccomandazione CTI 03/03* per l'individuazione del fabbisogno energia utile per l'acqua calda sanitaria, che dalle esperienze condotte sul campo sovrastimava tale fabbisogno rispetto alle condizioni reali di utilizzo dell'edificio. Questo aspetto assume grande rilevanza per il corretto dimensionamento degli impianti solari, poiché costituisce il punto di partenza per la verifica della copertura minima del fabbisogno energetico per tale utilizzo, come imposto dalle normative nazionali e/o regionali.

Nel caso particolare di analisi di edifici ad uso residenziale, la valutazione viene condotta in relazione alle dimensioni dell'immobile, ma a differenza del suddetto documento del CTI, viene mantenuta come condizione al contorno una differenza tra la temperatura dell'acqua in ingresso nell'impianto dalla rete e quella convenzionale di erogazione pari a 25 °C. Inoltre modifica il criterio di valutazione facendo riferimento non più alla superficie lorda dell'abitazione, ma bensì a quella utile, venendo così a parzialmente a correggere il sovradimensionamento che derivava dall'applicazione del precedente testo.

Il terzo termine, è costituito da valori convenzionali forniti allo scopo di depurare, in modo unificato, i consumi promiscui di energia primaria da quelli derivanti da usi diversi dal riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria.

Per il calcolo delle prestazioni, gli impianti si considerano suddivisi in sottosistemi, ciascuno dei quali caratterizzato da un rendimento, perdite e richieste per il funzionamento degli ausiliari.

Il fabbisogno di energia primaria , richiesto da ciascuna zona in regime continuo, si calcola, in via semplificata, come il rapporto tra il suddetto fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento e la ventilazione, richiesto da ciascuna zona in regime continuo, (Q_h), e il prodotto dei rendimenti della catena di conversione energetica.

$$Q_H = \frac{Q_h}{\eta_{rg} \cdot \eta_d \cdot \eta_p \cdot \eta_e} \quad (3.11)$$

Ove:

- η_{rg} = rendimento di regolazione;
- η_d = rendimento di distribuzione;
- η_p = rendimento di produzione;
- η_e = rendimento di emissione.

Oppure si può utilizzare l'energia termica utile effettiva, (Q_{hr}), cioè l'energia che deve essere fornita dal sottosistema di distribuzione, calcolata dal bilancio mostrato nell'equazione seguente:

$$Q_{hr} = Q'_h + Q_{I,e} + Q_{I,rg} - Q_{aux,e,Irh} \quad (3.12)$$

Ove:

- Q'_h : fabbisogno ideale al netto dei recuperi ;
- $Q_{I,e}$: perdite totali di emissione;
- $Q_{I,rg}$: perdite totali di regolazione;
- $Q_{aux,e,Irh}$: l'energia termica recuperata dall'energia elettrica del sottosistema di emissione

In questo caso il fabbisogno di energia primaria si può calcolare come:

$$Q_H = \frac{Q_{hr}}{\eta_d \cdot \eta_p} \quad (3.13)$$

Relativamente alle perdite nei diversi sottosistemi, la norma oltre a specificare quali e in che modo sono recuperabili, fornisce due livelli di calcolo: un livello semplificato, basato su valori precalcolati contenuti in tabelle nelle quali sono precisate le condizioni al contorno che fissano i limiti di applicazione delle tabelle; metodi di calcolo dettagliati, per determinare le perdite d'impianto nei casi più complessi o comunque quando non possono essere utilizzati i valori delle tabelle.

In caso di unità immobiliare in edificio condominiale il fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento e la ventilazione dell'edificio, il rendimento di emissione e il rendimento di regolazione sono attribuibili all'unità immobiliare in esame, mentre i rendimenti di distribuzione e di generazione sono da attribuire a parti comuni del condominio, in proprietà delle unità immobiliari condominiali (figura 3.6). Ciò equivale a considerare che

le singole unità immobiliari prelevino energia termica utile dalla rete condominiale con perdite di distribuzione e di generazione determinate dal sistema di fornitura del calore dalla rete condominiale [17].

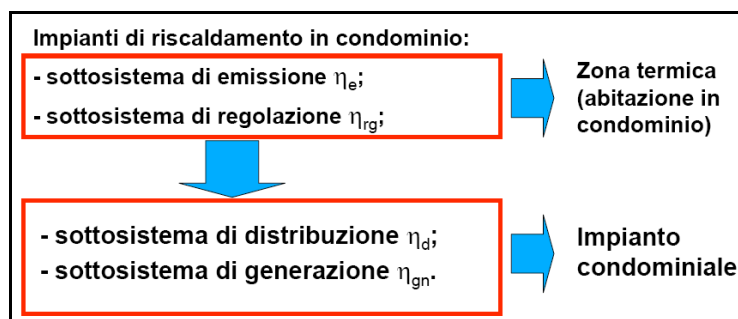


Figura 3.6 Catena di conversione energetica per impianti di riscaldamento in condominio

Infine, è importante sottolineare che la UNI/TS 11300, Parte2 unitamente alla UNI EN 15316-Parti 2-3:2008, "*Impianti di riscaldamento degli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto - Sistemi di distribuzione del calore negli ambienti*", sostituisce la UNI 10347:1993, "*Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Energia termica scambiata tra una tubazione e l'ambiente circostante - Metodo di calcolo*"; mentre unitamente alla UNI EN 15316-Parte 1:2008, "*Impianti di riscaldamento degli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto*", e alla UNI EN 15316-2-Parte 1:2008, "*Impianti di riscaldamento degli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto*", sostituisce la UNI 10348:1993, "*Riscaldamento degli edifici - Rendimenti dei sistemi di riscaldamento - Metodo di calcolo*".

Le principali differenze consistono nel:

- metodo di calcolo per caldaie certificate dal produttore secondo la direttiva 94/42/CEE, in aggiunta al metodo analitico;
- l'introduzione di caldaie a condensazione;
- il calcolo di consumi di acqua calda sanitaria;
- maggior dettaglio per i consumi elettrici degli ausiliari.

3.4 Strumenti e metodi per la simulazione energetica degli edifici

I modelli di simulazione energetica del sistema integrato edificio-impianti più affidabili effettuano calcoli dinamici e possono quindi tener conto di tutti quei fenomeni transitori che influenzano notevolmente le prestazioni di un sistema energetico (condizioni climatiche esterne, affollamento, sistema di illuminazione, inerzia termica dell'involucro edilizio, prestazioni di HVAC in condizioni di carico parziale, regolazione...).

Simulare con metodi di calcolo dinamici le prestazioni energetiche del sistema edificio-impianti permette, in sintesi, un'analisi molto più accurata anche per sistemi complessi.

Infatti, al contrario della simulazione in regime stazionario, la simulazione energetica dinamica tiene conto delle variazioni orarie della temperatura esterna, della radiazione solare e dei carichi interni. Ciò determina un elevato grado di precisione nella valutazione delle temperature degli ambienti e dei fabbisogni energetici per la climatizzazione.

Tra i primi software di analisi energetica e di simulazione dinamica creati, sono da citare Blast e Doe-2, il cui sviluppo è avvenuto tra la fine degli anni '70 e l'inizio degli anni '80. I loro destinatari erano ingegneri e architetti che dovevano dimensionare i sistemi HVAC, *Heating, Ventilation and air Conditioning*, (sistemi di riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria), sviluppare studi di analisi dei costi del ciclo di vita e condurre studi di ottimizzazione energetica.

In questo lavoro di tesi, per simulare il comportamento energetico del sistema edificio-impianti, è stato utilizzato *EnergyPlus*, motore di simulazione che si basa sul metodo delle funzioni di trasferimento e possiede una struttura modulare codificata in Fortran 90, che è proprio l'evoluzione della sinergia fra le distinte basi tecniche Blast e Doe-2, con il contributo dell'*Ashrae* (Technical Committee 4.7 Energy calculation).

Di seguito saranno quindi descritte le caratteristiche principali di tale motore di simulazione, e le problematiche relative alle ipotesi alla base dei modelli matematici risolti dai simulatori come quello utilizzato.

3.4.1 Il BEPS: Building Energy Performance Simulation

Nelle simulazioni energetiche avanzate sono utilizzati vari codici BEPS (*Building Energy Performance Simulations*) e tra questi, i due codici maggiormente accreditati presso la comunità scientifica internazionale sono Doe-2 ed EnergyPlus.

Anche se oggi sono disponibili diversi codici e simulatori, la gran parte di questi è organizzata su architetture sostanzialmente simili. Di solito, in una prima sezione viene richiesta la creazione del modello, necessaria per la definizione delle proprietà termo-fisiche dell'edificio, attraverso la caratterizzazione delle superfici opache e di quelle trasparenti, la programmazione dei carichi endogeni (persone, luci e apparecchiature installate), la costruzione dell'impianto asservito e dei relativi componenti. In questa stessa fase, avviene anche il caricamento dei dati climatici, che generalmente sono file climatici TRY, IWEC o TMY2.

L'algoritmo di risoluzione più comunemente adottato nei codici BEPS, è basato sulle funzioni di trasferimento della conduzione (CTF), che rendono possibile la valutazione dei carichi termici che caratterizzano l'edificio, dell'energia richiesta dal HVAC e delle condizioni

di comfort realizzabili all'interno. Alcuni simulatori di energia rendono disponibili invece algoritmi basati sul metodo delle differenze finite e tra questi EnergyPlus.

Il metodo delle funzioni di trasferimento, proposto per la prima volta da Mitalas nel 1983, si basa sulle *Z-trasformate* che sono adatte a descrivere diversi fenomeni che hanno un insieme di dati di tipo discreto [18].

Mitalas dimostrò che, per i sistemi termici, i coefficienti che servono a descrivere il sistema tendono ad annullarsi velocemente e permettono di scrivere una funzione molto semplice che semplifichi notevolmente il calcolo usando un metodo iterativo.

L'esigenza, alla base di questo tipo di studi, è stata quella di poter effettuare simulazioni simultanee per carichi e sistema fornendo un'accurata previsione di temperatura e comfort. Calcolati i carichi, attraverso un bilancio di energia, questi sono trasferiti simultaneamente al modulo di simulazione della struttura. Tale modulo, poi, calcola la risposta del sistema di riscaldamento e raffrescamento, dell'impianto e del sistema elettrico. Un'eventuale incongruenza rispetto ai carichi forniti dal primo step di simulazione viene rilevata nella simulazione della struttura, e viene utilizzata per correggere l'intervallo di temperature nello step successivo dei bilanci.

Sostanzialmente, i codici numerici valutano i carichi termici risolvendo delle funzioni di trasferimento, che descrivono i fenomeni fisici come l'interrelazione tra variabili d'ingresso (cause) e uscita (effetti).

I carichi termici sono calcolati come somma dei carichi sensibili (costituiti dai carichi radiativi, valutati applicando i coefficienti delle funzioni di trasferimento con l'obiettivo di simulare l'inerzia termica dell'involucro, e da quelli caratterizzati da una natura convettiva) e quelli latenti (connessi ai fenomeni di trasferimento di vapore all'interno dell'edificio).

Bisogna sottolineare che sebbene l'analisi numerica rappresenti un utile strumento per un'immediata comprensione dell'efficacia delle soluzioni adottate sia a livello di involucro edilizio che di gestione e progettazione degli impianti, il limite dei codici per le simulazioni energetiche degli edifici è quello di rappresentare tutto l'ambiente esaminato come un singolo nodo, con un'ipotesi forte di ventilazione a perfetta miscelazione (*valutazione zero-dimensionale*).

In merito a ciò, Drury B. Crawley, uno dei principali sviluppatori di EnergyPlus, ha affermato che *“anche se questo non riflette la realtà fisica, l'unica alternativa attuale è la fluidodinamica computazionale, cioè una simulazione del movimento del fluido (in questo caso aria) complessa e intensiva dal punto di vista computazionale”*.

In particolare nelle applicazioni in cui i fenomeni di stratificazione termica non sono trascurabili, questo tipo di studio numerico non può dare risultati completi e affidabili. Questo accade, ad esempio, simulando spazi interni caratterizzati da elevate altezze interne, o quando per una particolare strategia di diffusione dell'aria è assegnata, intenzionalmente,

una disuniformità nell'ambiente interno, con notevoli differenze per quanto riguarda le condizioni microclimatiche.

I codici dunque implementano i bilanci energetici attraverso una serie di equazioni matematiche che possono essere suddivise in due gruppi principali: il primo, equazione 3.20, contiene la risoluzione di algoritmi relativi alle superfici che delimitano l'edificio (pareti, tetto, cantina, finestre, e, in generale, tutte le superfici che compongono l'involucro dell'edificio), il secondo, equazione 3.21, contiene la risoluzione di algoritmi relativi alle condizioni dell'aria indoor.

$$q_{i,cond} + q_{i,s-rad} = \sum_{k=1}^N q_{ik,rad} + q_{i,conv} \quad (3.20)$$

$$\sum_{i=1}^N q_{i,conv} \cdot A_i + Q_{other} - Q_{extract} = \left(\rho \cdot V_{room} \cdot c_p \cdot \Delta T_{room} \right) / \Delta t \quad (3.21)$$

in cui:

- $q_{i, cond}$ = flusso termico conduttivo che interessa l'i-esima superficie;
- $q_{i, s-rad}$ = flusso termico radiativo tra l'i-esima superficie e una fonte di calore interna o solare;
- $q_{ik, rad}$ = flusso termico radiativo tra l'i-esima superficie e una superficie k;
- $q_{i, conv}$ = flusso termico convettivo sull'i-esima superficie;
- $\sum_{i=1}^N q_{i,conv} \cdot A_i$ = scambio termico convettivo tra l'i-esima superficie (di area = A_i) e l'aria interna;
- Q_{other} = guadagni termici dovuti alla presenza di persone, attrezzature, luci artificiali, ecc;
- $Q_{extract}$ = carico termico totale che deve essere equilibrato;
- $(\rho \cdot V_{room} \cdot c_p \cdot \Delta T_{room}) / \Delta t$ = scambio energetico relativo all'aria indoor; ρ = densità dell'aria; c_p = calore specifico per unità di massa;
- ΔT = differenza di temperatura rispetto all'aria interna;
- Δt = intervallo di tempo di riferimento (in genere 1 ora).

La soluzione dell'equazione 3.20 fornisce le temperature delle superfici interne e la quantificazione degli scambi convettivi di energia che coinvolgono quest'ultime, attraverso i quali possono essere valutate, con l'ausilio delle equazioni 3.21, le temperature medie dell'aria interna, così come il carico termico totale che deve essere bilanciato. Infatti, si può scrivere:

$$q_{ik,rad} = h_{ik,rad} \cdot (T_i - T_k) \quad (3.22)$$

$$q_{i,conv} = h_{i,conv} \cdot (T_i - T_{i,air}) \quad (3.23)$$

dove:

- $h_{i,rad}$ = coefficiente linearizzato di scambio termico radiante;
- T_i = temperatura della superficie interna i;
- T_k = temperatura della superficie interna k;
- $T_{i,aria}$ = temperatura dell'aria interna vicino alla superficie k;
- $h_{i,conv}$ = coefficiente di scambio termico convettivo.

Di solito, il coefficiente di $h_{i,conv}$ non è noto e viene stimato attraverso equazioni empiriche o assunto come una costante. Anche per questi motivi, risulta utile un'analisi accoppiata, mediante simulazioni dinamica energetica dell'edificio e studi di fluidodinamica computazionale (CFD).

3.4.2 Struttura del software EnergyPlus e procedura di simulazione

Come precedentemente scritto, uno dei codici BEPS maggiormente utilizzati è EnergyPlus, nato come risposta alle evidenti lacune mostrate dai suoi antecedenti, Blast e Doe-2. Questi programmi, infatti, non consentono di gestire correttamente i feedback da parte del sistema HVAC né di seguire lo sviluppo tecnologico in questo settore. Inoltre, la natura estremamente complessa dei codici utilizzati dai primi programmi di simulazione ha creato una confusione sul flusso di informazioni all'interno degli stessi quando i dati venivano o dovevano essere modificati e su cosa succedeva durante tale operazione.

EnergyPlus è soprattutto un motore di simulazione, dove sia i dati di input che quelli di output vengono forniti come file di testo. I bilanci energetici, la temperatura interna e le previsioni sulle condizioni di comfort sono ottenuti per mezzo di un algoritmo di risoluzione e

di complesse procedure, sulla base di un'analisi integrata e simultanea della costruzione e dei sistemi tecnici.

In particolare, EnergyPlus è costituito da un sistema complesso di vari moduli e risolutori numerici, che cooperano per valutare l'energia necessaria per il riscaldamento, la ventilazione ed il raffrescamento degli edifici, sia se prodotta da sistemi tradizionali sia se prodotta da sistemi e fonti energetiche del tutto innovative, risolvendo i bilanci di energia quando il sistema è esposto a diverse condizioni ambientali e di funzionamento. La procedura iterativa prevede un continuo scambio di informazioni tra i diversi moduli in parallelo, in modo che i carichi calcolati, in riferimento agli intervalli di tempo specificati dall'utente, vengano trasferiti al modulo di simulazione del sistema edificio, in riferimento allo stesso intervallo di tempo.

L'approccio della simulazione integrata rende possibile anche studi più affidabili per quanto riguarda le soluzioni per una migliore regolazione, l'indagine sull'assorbimento o sul desorbimento dell'umidità con riferimento ai componenti per l'edilizia, le potenzialità degli impianti di riscaldamento e raffrescamento radiante e così via.

Come rappresentato nella figura 3.7, per ottenere risultati attendibili è necessaria una definizione dettagliata di tutte le condizioni al contorno, in quanto l'architettura interattiva risulta piuttosto complessa.

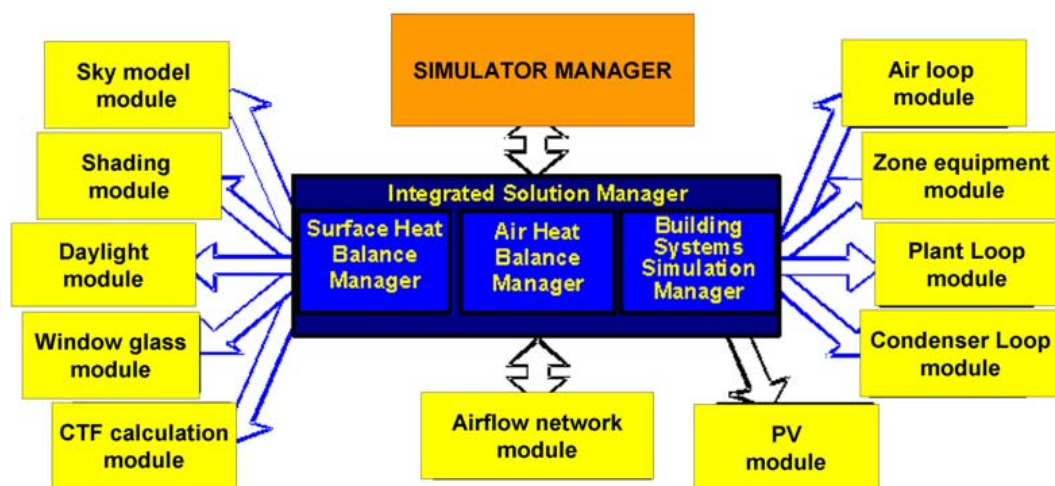


Figura 3.7 Architettura del codice EnergyPlus
Fonte: *Energy Plus Documentation*

Dallo schema precedente si evince una prima importante caratteristica della struttura del software, descritta con maggiore attenzione nel seguito. Il codice presenta un modulo centrale, che è il gestore della simulazione (*Simulator Manager*) dell'edificio e dell'HVAC al quale poi sono sottoposti tutti gli altri moduli per le simulazioni del sistema.

Rispetto ad altri codici di simulazione energetica degli edifici, una delle migliori caratteristiche di EnergyPlus è la grande attenzione nei confronti delle valutazioni della luce diurna, sulla base del modello “*split-flux interreflection*” e su un modello di cielo anisotropo.

Infatti il modello di cielo è molto ben costruito, attraverso i dati che riguardano la posizione del sole e la copertura delle nubi. Questa distribuzione non uniforme della radiazione consente il calcolo preciso della radiazione solare diffusa che interessa ogni tipo di superficie dell’edificio esposta al sole.

A tal riguardo il software fornisce modelli dettagliati di luce diurna in modo da rendere valutabile, per mezzo di una sezione specifica di calcolo (modulo di luce diurna), l’illuminazione naturale degli ambienti, fenomeni di abbagliamento attraverso le finestre, l’integrazione di illuminazione artificiale, con le ovvie richieste di energia ad essa collegate e i relativi profitti termici.

Nelle versioni recenti di EnergyPlus (a partire dalla versione 2.0), viene fornito anche un altro modulo basato su metodi di calcolo “*radiosity interreflection*”. Questo nuovo modulo è stato introdotto per poter valutare gli effetti radiativi anche in caso di finestre e sistemi complessi di superfici trasparenti, caratterizzate da fenomeni di trasmissione multi direzionale.

Nell’ultima versione EnergyPlus è stato completamente ristrutturato, in modo da avere nuove e innovative capacità di simulazione come:

- intervalli di tempo ridotti per i bilanci di energia, (pochi secondi);
- sistemi modulari e impianti integrati con zone di simulazione basate sull’equilibrio termico;
- flusso d’aria multi-zona;
- ricerca del comfort termico realizzabile;
- analisi riferite all’uso di acqua;
- ventilazione naturale e il suo effetto sulla domanda di raffrescamento;
- integrazione e contributi di energia dei sistemi fotovoltaici.

Ritornando alla struttura, per svolgere le sue funzioni, Energy Plus ha tre componenti: un modulo di simulazione del comportamento della struttura, un modulo di simulazione dei bilanci di massa e di energia e un modulo di controllo che sovrintende l’intero processo di simulazione (figura 3.8).

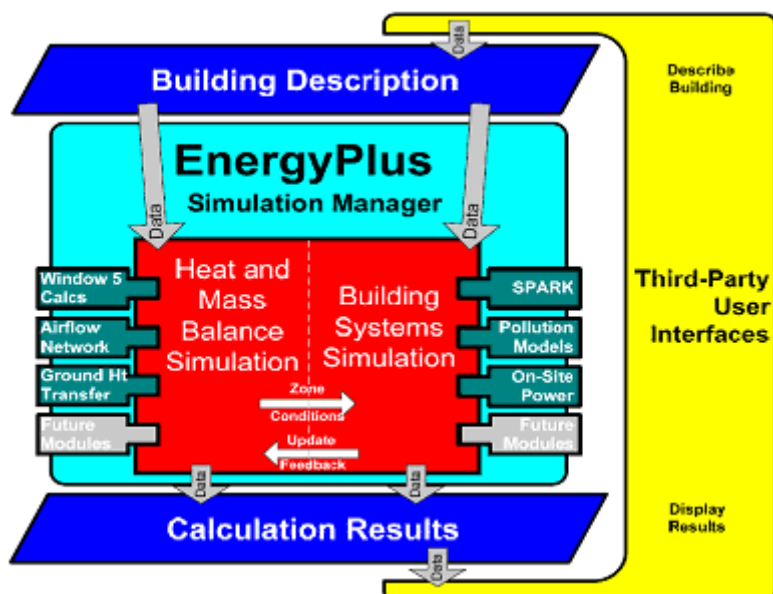


Figura 3.8 Struttura, moduli di calcolo e logica operativa di Energy Plus

Relativamente ai suddetti moduli, nel seguito sono descritte le specifiche funzionalità.

➤ SIMULATION MANAGER:

Il *gestore della simulazione* consiste nella sezione di supervisione del codice numerico, che stabilisce e controlla le interazioni simultanee tra gli altri strumenti di simulazione. Questo modulo infatti guida lo scambio di dati tra il risolutore del bilancio termico e i vari sotto-moduli relativi alle simulazioni del sistema HVAC (cioè caldaie, refrigeratori, pompe, ventilatori e tutti gli ausiliari), e amministra le attività del risolutore, fornendo e gestendo le condizioni al contorno in ingresso, nonché i dati in uscita.

➤ HEAT AND MASS BALANCE SIMULATION:

Questo modulo controlla la simulazione delle zone termiche dell'edificio, nell'ipotesi che in ciascuna zona termica l'aria interna possa essere considerata a temperatura uniforme (*modello zero-dimensionale*). Le altre ipotesi semplificative, relativamente ai modelli di bilancio termico, sono quelle di considerare che le superfici di ogni ambiente abbiano livelli termici uniformi, conduzione in regime monodimensionale e irradiazione superficiale diffusa e uniforme.

Come mostrato nella figura 3.9, il modulo del bilancio di energia e di massa funziona attraverso l'applicazione di strumenti di calcolo diversi:

- Comis: strumento di calcolo per il flusso d'aria multi-zona, infiltrazioni, aria di ventilazione e di contaminazione;

- Window 5: comprende strumenti di calcolo per i corpi finestrati e modulo del cielo anisotropo;
- Modulo della luce diurna: valuta l'illuminamento interno della luce diurna, l'abbagliamento attraverso i corpi finestrati ed i sistemi per il controllo dell'abbagliamento accoppiati con i sistemi di controllo per l'illuminazione elettrica;
- Ground Heat Transfer: modulo per il calcolo del profilo di temperatura sotto il suolo e la valutazione delle potenzialità del terreno in pre-riscaldamento e pre-raffreddamento.

Tutti questi moduli rendono possibile, oltre ad un calcolo integrato, la valutazione e la simulazione di diverse soluzioni tecniche. Ad esempio, il modulo Window 5, attraverso precisi risolutori per la trasmissione e l'assorbimento della radiazione solare visibile, consente l'analisi di diversi e complessi sistemi di superfici trasparenti, le persiane, i sistemi di controllo solare e i sistemi di schermatura interni ed esterni, le finestre mobili interne ed esterne con vetri sfumati e elettrocromici.

Per quanto riguarda i calcoli del bilancio di massa e di energia, questi si basano su un'evoluta procedura del Blast: vale a dire la I-Blast, che fornisce l'integrazione delle simulazioni del sistema edificio-HVAC. Il modulo del bilancio termico gestisce i sotto-moduli per i bilanci di energia, in riferimento all'aria interna e alle superfici di costruzione, agendo come un ponte tra il bilancio termico e il gestore della simulazione del sistema edificio.

Il modulo del bilancio di energia risolve lo scambio energetico tra le superfici esterne ed interne dei componenti dell'involucro edilizio, elaborando gli algoritmi di calcolo (*Conduction Transfer Functions* CTF o *Conduction Finite Difference* CFD) rispetto a tutte le condizioni al contorno assegnate, e considerando i contributi convettivi, conduttivi, radiativi. Un esempio di CTF è riportato nelle equazioni 3.24 e 3.25 nella loro definizione più generica, con riferimento ai flussi che interessano, rispettivamente, le superfici interne e le superfici esterne di un elemento di costruzione.

$$q''_{ki}(t) = -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ki,t-j\delta} \quad (3.24)$$

$$q''_{ko}(t) = -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ko,t-j\delta} \quad (3.25)$$

dove sono presenti i seguenti termini:

- q''_{ki} = flusso sulla superficie interna;
- q''_{ko} = flusso sulla superficie esterna;

- T_i = temperatura della superficie interna;
- T_o = temperatura della superficie esterna;
- t = intervallo di tempo corrente;
- Z = coefficiente CTF all'interno;
- X = coefficiente CTF all'esterno;
- Y = coefficiente CTF trasversale;
- Φ = coefficiente CTF di flusso.

Le funzioni di trasferimento della conduzione si possono considerare un efficace metodo per valutare gli scambi energetici, poiché legano linearmente i flussi di energia (che interessano ogni faccia del muro) ai livelli di temperatura, attuali e precedenti, e ai fenomeni di scambio termico, in modo da rendere possibile la valutazione dei fenomeni di accumulo termico. Tuttavia tale metodo matematico di risoluzione, sebbene molto potente, diventa progressivamente più instabile quando diminuisce il numero di intervalli di tempo, per cui devono essere garantiti almeno 10-15 intervalli di tempo per ogni ora, il che significa un bilancio di energia ogni cinque minuti per l'intero arco dell'anno.

➤ **BUILDING SYSTEM SIMULATION MANAGER:**

Il modulo del bilancio di massa e di energia, come prima descritto, trasmette i risultati di ogni step di simulazione al gestore del sistema di simulazione dell'edificio. Il modulo di simulazione del comportamento della struttura controlla le simulazioni di HVAC, del sistema elettrico, di componenti e dispositivi e delle condizioni delle zone termiche fino al momento dell'inizializzazione, aggiornando le condizioni della zona per quanto riguarda il controllo del microclima indoor (figura 3.9).

I risultati vengono ritrasmessi al modulo del bilancio di massa e di energia, in modo che gli effetti dell'HVAC possano essere calcolati nel nuovo bilancio della zona termica.

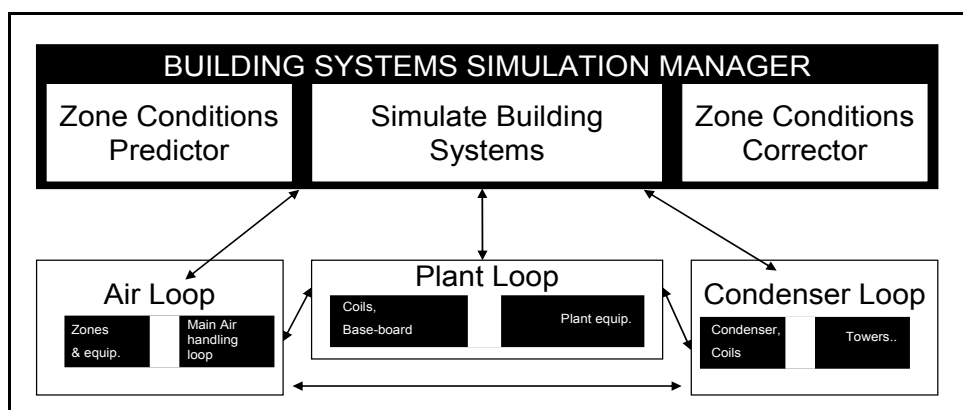


Figura 3.9 Struttura, moduli di calcolo e logica operativa di Energy Plus

Questa sezione rappresenta una delle migliori caratteristiche e peculiarità di EnergyPlus: essa consiste in un metodo di simulazione non-sequenziale, che caratterizza invece tutti i precedenti motori di simulazione energetica di un edificio, in modo da rendere possibile una simulazione pienamente integrata dei carichi, dei sistemi e dei dispositivi attivi di energia.

Per quanto riguarda le soluzioni per il sistema HVAC, oltre ad avere a disposizione diverse configurazioni, se ne possono sviluppare di nuove, aggiungendo o rimuovendo attrezzature specifiche.

Per il calcolo, riguardo all'HVAC, sono previste due circuiti: circuito dell'aria e circuito dell'acqua. Il circuito dell'aria simula i fenomeni di trasporto aereo, l'aria condizionata e la mandata ed il ritorno di questa attraverso i ventilatori, il riscaldamento e il raffreddamento centralizzato, i dispositivi per il recupero di calore e gli economizzatori per l'aria esterna. Sono forniti diverse attrezzature di zona, come ad esempio diffusori, regolatori per la miscelazione, VAV box (Variable Air Volume), unità locali (ventilconvettori, bocchette dell'aria condizionata, unità radianti/convettive ad alta temperatura, pannelli radianti a bassa temperatura). Inoltre tutti questi dispositivi possono essere definiti in modi diversi e modellati per ciascuna zona termica dell'edificio.

Per quanto riguarda il circuito dell'acqua, il metodo di soluzione è iterativo, in questa logica, tutti i componenti di rete sono contemporaneamente simulati e quindi le equazioni di controllo sono aggiornate mediante esplicite differenze finite. Questa procedura continua fino a quando non si ottiene la convergenza dei risultati.

Per quanto riguarda il potenziale offerto da EnergyPlus, una delle migliori caratteristiche di questo motore consiste nella possibilità di aggiungere nuove funzionalità e moduli, con una flessibilità molto estesa. Un nuovo modulo può essere aggiunto, implementando dei nuovi risolutori fisici e inserendo questi nelle strutture cicliche, al fine di estendere gli strumenti dei sottoprogrammi. A proposito di questa flessibilità, le ultime versioni del codice, contengono miglioramenti per quanto riguarda:

- algoritmi affidabili di soluzione simultanea integrata, con intervalli di tempo sub-orari al fine di fornire bilanci di energia e di massa, sia con riferimento all'involucro edilizio che al sistema HVAC;
- calcolo simultaneo degli effetti radiativi e convettivi, sia per le superfici interne che per quelle esterne, durante ogni intervallo temporale;
- sistemi di calcolo per il transitorio termico attraverso elementi di costruzione;
- migliore modellazione del trasferimento del calore al terreno;
- modello combinato di trasferimento di calore e di massa, modello di cielo anisotropo e calcoli avanzati per le superfici finestrate;

- controllo della luce diurna e calcoli di illuminamento interno;
- loop basato su sistemi HVAC configurabili e calcoli di inquinamento atmosferico.

Attualmente EnergyPlus risulta uno dei codici più adatti al fine di valutare la costruzione e le prestazioni del sistema di aria condizionata, sia per quanto riguarda le condizioni microclimatiche realizzabili che le richieste di energia. Naturalmente, tutti i risultati si riferiscono ad un singolo nodo che rappresenta tutta la zona termica (approccio zero-dimensionale). Così, quando è richiesta un'analisi non nel dominio del tempo, ma nel dominio spaziale, l'uso della fluidodinamica computazionale rimane l'unico metodo di analisi per una simulazione affidabile.

Nessun programma è in grado di gestire ogni possibile situazione di simulazione. Ciò nonostante, l'intento di EnergyPlus è quello di trattare molte opzioni di progettazione degli edifici e dei sistemi HVAC sia direttamente che indirettamente, attraverso collegamenti con altri programmi per il calcolo dei carichi termici e/o di energia.

Per una descrizione completa del software è necessario sottolineare anche cosa non è implementato in EnergyPlus:

- il codice non ha un'interfaccia utente. Infatti è un motore di simulazione attorno al quale è possibile sviluppare una terza parte di interfaccia. Gli ingressi sono semplici testi ASCII che possono essere decifrati, ma che è meglio lasciare a una GUI (interfaccia utenti grafica). In questo modo EnergyPlus consente di liberare le risorse indirizzate allo sviluppo di algoritmi e di reindirizzarle verso lo sviluppo di funzioni di interfaccia, al fine di tenere il passo con le esigenze e le aspettative dei progettisti.
- attualmente non è uno strumento di analisi del costo del ciclo di vita, ma fornisce dei risultati che possono essere inseriti in programmi LCC (*Life Cycle Cost*). Infatti, risulta più vantaggioso affidarli a programmi più semplici che possono rispondere più rapidamente alle variazioni dei tassi di incremento e delle metodologie come prescritte dai vari stati e dai vari stati.
- non può sostituire un progettista in quanto non è in grado di verificare la correttezza dei dati in ingresso, dell'intervallo dei diversi parametri e non è in grado di interpretare i risultati ottenuti. L'assistenza agli utenti è assegnata ai vari programmi GUI che sono in grado di aiutare l'utente nella correzione degli errori di input.

Capitolo 4

Analisi energetica e dei costi di investimento

4.1 Premessa

L'analisi energetica dell'edificio oggetto di studio verrà effettuata con due modalità diverse e complementari.

In accordo con i codici di calcolo appena descritti, in termini energetici alcuni interventi sull'involucro edilizio e sull'impianto ritenuti di particolare rilievo e interesse, verranno analizzati con approccio dinamico attraverso il software Energy Plus, ipotizzando, per ogni intervento, l'ubicazione dell'edificio in alcune città italiane, scelte in base alle diverse zone climatiche di riferimento e al patrimonio edilizio prevalente della città.

Nella fattispecie, sono state prese in considerazione le città di Napoli, Palermo, Bologna e Milano.

I calcoli condotti con questo software, tenendo conto con adeguata precisione di tutti i fenomeni transitori precedentemente detti, restituiranno come risultati i reali consumi energetici connessi all'edificio e quindi i benefici tangibili dall'utente il quale potrà percepire l'effettivo vantaggio o svantaggio dell'intervento ipotizzato e, quindi, decidere se procedere o meno alla esecuzione dell'intervento, tenute in debita considerazione anche le eventuali detrazioni fiscali previste della legge italiana, di cui potrà, eventualmente, usufruire.

Verranno, inoltre, valutati alcuni casi attraverso l'utilizzo di Termus, un software commerciale che opera in regime quasi stazionario e, quindi, senza tener conto di tutti quei fenomeni transitori che influenzano notevolmente le prestazioni di un sistema energetico.

In particolare all'interno di tale software si utilizza la norma UNI/TS 11300:2008 che è lo strumento che descrive la procedura di calcolo da seguire per la Certificazione Energetica degli edifici [30].

Con questa analisi i parametri per la certificazione energetica degli edifici (fabbisogno energetico per riscaldamento e raffrescamento) vengono desunti prevedendo un funzionamento continuo dell'impianto di generazione, senza, altresì, valutare adeguatamente le condizioni di affollamento, il sistema di illuminazione, l'inerzia termica dell'involucro edilizio, le prestazioni di HVAC in condizioni di carico parziale, la regolazione, etc. ovvero i

risultati ottenuti non sono quelli reali connessi al quotidiano utilizzo dell'abitazione da parte degli utenti.

In realtà il modello di calcolo quasi stazionario prevede una serie di semplificazioni che portano ad una differenza rispetto alla prestazione energetica reale di un edificio. Tali semplificazioni riguardano fondamentalmente:

- la modellazione dei fenomeni termofisici;
- alcuni dati di ingresso;
- alcuni fenomeni fisici trascurati poiché giudicati poco significativi;
- l'incertezza relativa ad alcuni parametri deterministici;
- l'incertezza relativa alle condizioni al contorno assunte per il calcolo.

4.2 Analisi energetica dinamica

L'analisi dinamica, tenendo conto di tutti i fenomeni transitori che influenzano le prestazioni di un sistema energetico si pone come strumento pratico di valutazione degli effettivi consumi cui l'utente va incontro e che si tramutano in spese effettivamente sostenute.

Grazie a questa analisi, dunque, si potrà evincere l'effettivo risparmio di cui usufruisce l'utente e, in seguito, attraverso la valutazione dei costi di investimento connessi agli interventi di riqualificazione considerati, si potranno determinare quali tra essi siano economicamente convenienti per gli utenti.

Inoltre si potranno anche stimare i vantaggi in termini di impatto ambientale, valutando la riduzione in termini di emissioni di CO₂ legate alla riduzione del fabbisogno energetico e quindi del consumo di combustibile.

Lo strumento utilizzato in questo lavoro di tesi, è EnergyPlus [19,20], mediante l'interfaccia grafica Design Builder [21], adoperata esclusivamente per la costruzione geometrica del modello.

Il codice prevede ad un'analisi integrata e simultanea dell'involucro edilizio e dei sistemi tecnici. Per ottenere risultati attendibili è necessaria una definizione dettagliata di tutte le condizioni al contorno, in quanto l'architettura interattiva risulta piuttosto complessa.

La simulazione in EnergyPlus prevede le seguenti fasi:

- scelta della località e definizione dell'orientamento dell'involucro;
- costruzione del modello geometrico e dei componenti di involucro;
- definizione dei parametri di attività e di funzionamento dell'edificio;
- definizione degli impianti termo-tecnici e di ciascun sottosistema che li costituisce;
- scelta dell'intervallo di simulazione.

Al fine di condurre una realistica simulazione energetica, è necessario considerare le caratteristiche geografiche e climatiche della città in cui realmente è situato l'edificio per i vincoli normativi relativi al periodo convenzionale di riscaldamento e di raffrescamento [22,23]. Dopo aver impostato i parametri climatici descrittivi della località in cui si vuole simulare il comportamento energetico dell'edificio, si è passati alla creazione del modello e alla scelta dei materiali di involucro.

Per creare in maniera corretta un modello di edificio, con il fine di rendere il modello quanto più possibile fedele all'architettura reale, è stato necessario riportare l'esatta geometria e forma di tutte le superfici opache e trasparenti che costituiscono l'involucro edilizio ed il loro corretto posizionamento all'interno di esso.

Una volta completata la creazione del modello, si passa alla scelta sia dei materiali che compongono le superfici opache che di quelli utilizzati per le superfici trasparenti. A tale proposito è bene sottolineare come Design Builder sia già fornito di un completo database di componenti edilizi di ogni tipo. Partendo da questi è stato possibile comporre la stratigrafia di ogni superficie di involucro in modo da ricreare le caratteristiche termiche dell'involucro reale. Inoltre, è risultato agevole implementare nel modello qualsiasi tipo di materiale, non presente all'interno del database, conoscendone la conducibilità termica, il calore specifico e la densità volumetrica.

Relativamente ai solai nel modello sono state ricavate tre trasmittanze diverse in funzione delle resistenze superficiali e conduttive, a seconda che si trattasse del solaio di terra, del solaio interpiano o di quello di copertura.

Una volta completata la costruzione stratigrafica dei componenti di involucro opachi e trasparenti, si passa all'impostazione dei parametri che caratterizzano l'attività svolta nell'edificio.

Il regime d'uso dell'edificio permette di definire i carichi termici interni al sistema, che nella stagione invernale costituiscono apporti gratuiti che decurtano il fabbisogno di riscaldamento mentre in estate si configurano come carichi aggiuntivi.

Per tener fede a quelli che sono i carichi reali, sono state create 7 zone termiche (vano scala, ingresso, corridoio, cucina, soggiorno, bagno e camera da letto) differenti, analizzate contemporaneamente per gestire meglio l'influenza reciproca dei diversi ambienti con caratteristiche sensibili differenti.

Per quanto concerne il profilo di funzionamento degli impianti di riscaldamento e raffrescamento, durante i periodi di accensione, sono stati definiti i seguenti livelli termici all'interno degli ambienti:

- * periodo di riscaldamento → 20°C, dal Lunedì alla Domenica in un periodo convenzionale stimato dal:

- dal 01.12 al 31.03 dalle 6:00 alle 8:00 e dalle 17:00 alle 23:00 per la città di Palermo;
 - dal 15.11 al 31.03 dalle 6:00 alle 9:00 e dalle 16:00 alle 23:00 per la città di Napoli;
 - dal 15.10 al 15.04 dalle 5:00 alle 14:00 e dalle 18:00 alle 23:00 per le città di Milano e Bologna;
- × periodo di raffrescamento → 26°C, dal Lunedì alla Domenica in un periodo convenzionale stimato dal 1 maggio al 30 settembre, per 5 ore al giorno tra tardi pomeriggio e prima serata per tutte le città.

Sono stati analizzati alcuni interventi di riqualificazione dell'involucro edilizio ritenuti "consolidati", ipotizzando, per ogni intervento, l'ubicazione dell'edificio in 4 città italiane, scelte in base alle diverse zone climatiche di riferimento e al patrimonio edilizio prevalente della città [24, 25].

Nella fattispecie, sono state prese in considerazione le città di Napoli, Palermo, Bologna e Milano.

In particolare sono state effettuate 15 simulazioni diverse per ogni città, in modo che per ogni tipo di intervento considerato, partendo da valori di trasmittanza superiori a quelli fissati dalla norma, si possa raggiungere per ogni zona climatica la trasmittanza limite di riferimento (da legge) prevedendo dei casi in cui si migliora quanto previsto da legge.

In particolare i casi analizzati per le varie città sono stati i seguenti:

- Caso A: isolamento a cappotto delle pareti perimetrali esterne, effettuato con pannelli di polistirene espanso estruso: Questa analisi è stata condotta per 3 diversi step dello spessore dell'iso;
- Caso B: isolamento a cappotto termico con i diversi spessori dell'isolante; isolamento del solaio di copertura mediante l'adozione di pannelli di polistirene espanso estruso in modo da raggiungere la trasmittanza limite per le superfici opache orizzontali per le diverse zone climatiche;
- Caso C: sostituzione dei serramenti esterni in legno (finestre e/o porte finestre) con un infisso con vetro - in successione - doppio semplice, doppio basso emissivo e triplo basso emissivo;
- Caso D: sostituzione dei serramenti esterni in legno (finestre e/o porte finestre), con un infisso dotato di vetro termoisolante a due lastre, basso emissivo, con intercapedine in gas argon; iso a cappotto termico con spessore variabile;
- Caso E: sostituzione dei serramenti esterni in legno (finestre e/o porte finestre), con un infisso dotato di trasmittanza limite di riferimento per le superfici trasparenti; isolamento a cappotto termico con spessore variabile; isolamento del solaio di copertura.

I calcoli condotti con tale codice restituiranno - come risultati - realistici consumi energetici connessi all'edificio, da cui si potrà percepire l'effettivo vantaggio o svantaggio connesso all'adozione di ciascun intervento di efficientamento ipotizzato e, quindi, decidere se procedere o meno alla esecuzione di tale riqualificazione energetica, tenute in debita considerazione anche le eventuali detrazioni fiscali previste della legge italiana, di cui si potrà, eventualmente, usufruire.

Inoltre per tutti i casi considerati, l'analisi è stata condotta sia con riferimento al generatore termico esistente nell'edificio, sia prevedendo la sostituzione della caldaia esistente con una caldaia a condensazione, recuperando, quindi, parzialmente il calore latente di condensazione dai fumi: con temperature di mandata non superiori a 70 °C, si prevede un rendimento minimo di funzionamento superiore al 95%, garantendo un risparmio intorno al 10% relativamente all'energia primaria richiesta a valle di ricorso alla presente caldaia esistente.

L'intervento di riqualificazione dell'impianto termico prevede anche l'installazione per ogni radiatore, di valvola termostatica, utile per regolare autonomamente la temperatura di ogni singolo ambiente. L'installazione di dette valvole permetterà anche di sfruttare gli apporti gratuiti di energia, cioè quelli dovuti, ad esempio, alla presenza di un numero significativo di persone, ai raggi del sole attraverso le finestre, agli elettrodomestici. La valvola si chiude al progressivo aumentare della temperatura ambiente, allorquando questa tende ad avvicinarsi a quella desiderata in ambiente. Ciò consente sia risparmio energetico nelle giornate più serene, quando il sole è sufficiente per riscaldare alcuni ambienti, oppure, ad esempio, permette di impostare una temperatura più bassa nelle stanze da letto e una più alta nei servizi. Le valvole termostatiche, installate negli impianti centralizzati, hanno anche una buona influenza sull'equilibrio termico delle diverse zone dell'edificio. Quando i piani più caldi arrivano a 20°C le valvole chiudono i radiatori, consentendo un maggiore afflusso di acqua calda ai piani freddi. Il risparmio di energia indotto dall'uso delle valvole termostatiche può arrivare fino al 20% [34].

4.3 Calcolo del costo degli interventi

Nella tabella 4.1 sono riportati i costi relativi ai casi di intervento, così come analizzati per ciascuna località presa in considerazione.

I computi metrici contemplan prezzi unitari mediati dagli autori tra quelli propri di ogni prezzario regionale delle città esaminate.

Relativamente ai nuovi prezzi, questi sono stati desunti da un'indagine finalizzata alla ricerca ed all'analisi dei prezzi di mercato dei materiali e delle apparecchiature impiegate nei diversi interventi.

Dall'indagine effettuata è emerso che il costo medio dei pannelli di polistirene utilizzati negli interventi, di 2 cm di spessore, è risultato di € 2.60/m².

Tabella 4.1 Costi computati per gli interventi di efficientamento

Intervento di Riqualificazione	COSTO INTERVENTO (€)			
	<i>Bologna</i>	<i>Milano</i>	<i>Napoli</i>	<i>Palermo</i>
Iso verticale 4 cm	-----	-----	-----	34854.23
Iso verticale 6 cm	-----	-----	38354.87	-----
Iso verticale 8 cm	41855,51	41855.5	-----	-----
Iso verticale 10 cm	45356.15	45356.15	45356.15	45356.15
Iso verticale 14 cm	52357.43	52357.43	52357.43	52357.43
Iso 6 cm + Iso solaio 8 cm	-----	-----	55959.61	-----
Iso 10 cm + Iso solaio 8 cm	-----	-----	62960.89	-----
Iso 14 cm + Iso solaio 8 cm	-----	-----	69962.17	-----
Iso 4 cm + Iso solaio 9 cm	-----	-----	-----	53431.28
Iso 10 cm + Isol. solaio 9 cm	-----	-----	-----	63933.20
Iso 14 cm + Isol. solaio 9 cm	-----	-----	-----	70934.48
Iso 8 cm + Isol. solaio 12 cm	63349.50	63349.50	-----	-----
Iso 10 cm + Isol. solaio 12 cm	66850.14	66850.14	-----	-----
Iso 14 cm + Isol. solaio 12 cm	73851.42	73851.42	-----	-----
Doppio vetro	61194.29	61194.29	61194.29	61194.29
Doppio vetro low-e	62844.29	62844.29	62844.29	62844.29
Triplo vetro	64989.29	64989.29	64989.29	64989.29
Iso verticale 4 cm + doppio vetro low-e	-----	-----	-----	97698.52
Iso 6 cm + doppio vetro low-e	-----	-----	101199.16	-----
Iso 8 cm + doppio vetro low-e	104699.80	104699.80	-----	-----
Iso 10 cm + doppio vetro low-e	108200.44	108200.44	108200.44	108200.44
Iso 14 cm + doppio vetro low-e	115201.72	115201.72	115201.72	115201.72
Iso 6 cm + Iso solaio 8 cm+ vetro U _{lim}	-----	-----	107632.09	-----
Iso 10 cm + Iso solaio 8 cm+ vetro U _{lim}	-----	-----	114633.37	-----
Iso 14 cm + Iso solaio 8 cm+ vetro U _{lim}	-----	-----	121634.65	-----
Iso 6 cm + Iso solaio 9 cm+ vetro U _{lim}	-----	-----	-----	105103.76
Iso 10 cm + Iso solaio 9 cm+ vetro U _{lim}	-----	-----	-----	115605.68
Iso 14 cm + Iso solaio 9 cm+ vetro U _{lim}	-----	-----	-----	122606.96
Iso 8 cm + Isol. solaio 12 cm+ vetro U _{lim}	115021.978	115021.98	-----	-----
Iso 10 cm + Isol. solaio 12 cm+ vetro U _{lim}	118522.618	118522.62	-----	-----
Iso 14 cm + Isol. solaio 12 cm+ vetro U _{lim}	125523.898	125523.9	-----	-----

Per quanto riguarda gli infissi, l'analisi effettuata ha evidenziato che il costo della sostituzione dell'intera superficie finestrata dell'edificio considerato non si differenzia di molto da una città all'altra, per cui la spesa per la sostituzione di tutti gli infissi può essere assunta, mediamente, pari a € 61'194.29 per i serramenti dotati di vetro doppio semplice, a € 62'844.29 per quelli con vetro doppio basso emissivo e a € 64'989.29 per quelli con vetro triplo basso emissivo.

Si precisa che nel costo dell'isolamento a cappotto è compreso, oltre alla fornitura e posa in opera dei pannelli, anche il costo delle opere di rifinitura (rasatura e tinteggiatura).

Dai risultati ottenuti emerge che l'incidenza degli oneri della sicurezza è la stessa per tutte le località esaminate, mentre l'incidenza delle opere provvisorie è quasi paragonabile con quella del cappotto termico. E' ovvio che aumentando lo spessore dell'isolamento l'incidenza delle opere provvisorie e degli oneri di sicurezza si discosterà sempre di più da quella dell'isolamento a cappotto. Si precisa, altresì, che il ribasso praticato dalle imprese non andrà applicato agli oneri della sicurezza.

Tutti i calcoli sono stati effettuati considerando il costo relativo ai pannelli di polistirene dello spessore di cm 2.

Per ottenere la stima con riferimento ai pannelli di spessore superiore, è stato incrementato il costo totale di € 1'724.42 per ogni 2 cm in più di spessore impiegato, che rappresenta la spesa relativa all'isolamento a cappotto dell'intera superficie perimetrale delle pareti corrispondente all'incremento dello spessore di 2 cm.

4.4 Indici di analisi energetica ed economica

L'analisi energetica, attraverso il primo e il secondo principio della termodinamica e al concetto di exergia, consente di confrontare sistemi alternativi in termini di efficienza di conversione dell'energia primaria.

Il principale parametro considerato è il Coefficiente di Utilizzo del Combustibile (CUC) che, definito come il rapporto tra l'energia utile resa all'utenza e l'energia primaria richiesta, indica quanto efficacemente un sistema trasforma energia primaria ripercorrendo tutta la catena di conversione energetica che lega l'utenza alla fonte di energia primaria. In questo modo macchine che richiedono vettori diversi di energia, possono essere confrontate riportando l'input energetico al consumo di "combustibile" primario.

Determinare tale parametro permette di confrontare diversi sistemi a parità di energia fornita, valutando il Risparmio di Energia Primaria (REP) che quantifica l'energia primaria risparmiata da un sistema "proposto" rispetto ad un sistema "tradizionale", esso è definito come il rapporto tra l'energia risparmiata in un definito intervallo di tempo (un anno) ed il fabbisogno di energia primaria del sistema "tradizionale" utilizzato.

$$REP = \frac{EP_p^{ST} - EP_p^{SP}}{E_p^{ST}} \quad (4.1)$$

Il valore del REP tende ad 1 quando l'energia primaria richiesta dal sistema proposto (EP_p^{SP}) è piccola rispetto a quella richiesta dal sistema tradizionale (EP_p^{ST}), mentre diventa prossimo a 0 quando il consumo tra i due sistemi è paragonabile. È immediato riconoscere che a parità di energia fornita all'utenza il REP può essere espresso anche in funzione del CUC [26].

$$REP = 1 - \frac{CUC^{ST}}{CUC^{SP}} \quad (4.2)$$

Questo tipo di analisi permette di valutare il risparmio conseguibile sostituendo la caldaia tradizionale con una caldaia a condensazione.

Per gli altri interventi proposti, sarà valutato il risparmio di energia primaria, semplicemente come rapporto percentuale dell'energia richiesta dall'edificio nello stato attuale, e quella richiesta dopo aver effettuato l'intervento di riqualificazione proposto.

Per quanto riguarda l'impatto ambientale, sarebbe necessaria un'analisi globale, tale cioè da coinvolgere non solo l'emissione di sostanze inquinanti ma anche l'impatto acustico e visivo, l'occupazione dei suoli e l'interazione con la fauna e la flora.

Un sistema semplice però è quello che fa riferimento al solo effetto serra, che studia le emissioni di gas climalteranti in termini di anidride carbonica "equivalente" emessa, in cui si riporta ciascun gas serra alla CO_2 , attraverso un fattore di conversione.

Per effettuare tale equivalenza si utilizzano dei coefficienti che dipendono dalla tecnologia e dal combustibile utilizzato nel processo di conversione energetica. In particolare, l'edificio analizzato in questo lavoro di tesi, prevede l'utilizzo di gas naturale ed energia elettrica, pertanto i due coefficienti di cui tener conto sono:

- $\alpha=0,46$ [$kgCO_2/kWh_{el}$] per le emissioni legate all'energia elettrica;
- $\beta=0,2$ [$kgCO_2/kWh_{EP}$] per le emissioni legate all'uso di gas naturale.

In particolare, per la quantificazione delle emissioni legate ad un sistema alimentato ad energia elettrica si fa riferimento all'energia elettrica effettivamente consumata, mentre per i sistemi alimentati a gas naturale si fa riferimento all'energia primaria legata al gas combustibile.

Le potenziali emissioni evitate, su base annua, vengono valutate attraverso il parametro $\Delta CO_2 \%$ che esprime in percentuale, rispetto alle emissioni dell'edificio allo stato attuale (CO_2^{ST}), il risparmio di emissioni equivalenti che l'edificio, a cui sono applicati gli interventi proposti, comporta.

Tale indicatore è definito dalla relazione:

$$\Delta CO_2 \% = \frac{CO_2^{ST} - CO_2^{SP}}{CO_2^{ST}} \cdot 100 \quad (4.3)$$

dove CO_2^{SP} è l'anidride carbonica emessa dall'edificio a valle dell'intervento di riqualificazione. Infine, l'analisi economica dovrà consentire di valutare l'effettiva convenienza dell'intervento proposto, che deve garantire, grazie ai risparmi energetici che permette di conseguire, un rientro economico dell'investimento in tempi accettabili.

Tale analisi permette di paragonare gli interventi proposti in termini di costo d'acquisto e di esercizio, considerando il panorama tariffario dei vettori energetici e quello normativo rivolto agli incentivi economici per la diffusione di sistemi ad elevata efficienza termodinamica.

Un metodo semplice per una valutazione immediata della convenienza economica dell'investimento è quello di valutare il numero di anni necessari affinché i risparmi conseguiti eguaglino il sovraccosto d'investimento iniziale con il parametro del Simple Pay Back period (SPB)¹¹.

Tale metodo può essere usato per effettuare una preselezione delle possibili alternative d'intervento, in quanto il numero di anni impiegato a recuperare l'investimento può essere discriminante nell'accettazione di un progetto; tuttavia esso non fornisce alcuna indicazione sulla redditività dell'investimento in quanto non va oltre il tempo di rimborso necessario.

Pertanto in questo lavoro di tesi, è stato utilizzato anche il VAN, *Net Present Value* (Valore attuale netto), definito dall'espressione seguente 4.4:

$$VAN = \sum_{k=1}^N \frac{F_k}{(1+a)^k} - SC \quad (4.4)$$

In tale metodo cioè i flussi di cassa (F_k cioè il confronto tra esborsi e disponibilità), di diverso ammontare e distribuzione nel tempo, sono riportati ad uno stesso istante di tempo assunto come riferimento; per tale operazione si opera in regime deterministico, fissando i tassi (a) relativi agli N anni di vita stimata così che la serie di flussi di cassa, previsti nel

¹¹ Il SPB è il numero di anni necessario per il ritorno dell'investimento, ed è definito dal rapporto tra il sovraccosto iniziale e il risparmio annuo nei costi di esercizio

periodo considerato, siano riportati al loro valore attuale (VA). A tale valore viene poi sottratto l'esborso iniziale e si ottiene il VAN.

Evidentemente secondo tale metodo, un intervento risulta accettabile solo se il VAN risulta positivo [27].

4.5 Analisi dei risultati

Nelle tabelle che seguono (tabella 4.2 – 4.5) sono riportati: il valore del fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva ed invernale, il risparmio energetico e il risparmio di energia primaria per i vari interventi analizzati per le varie città considerando come generatore la caldaia standard in dotazione.

Tabella 4.2 Palermo. Valutazione di interventi di riqualificazione energetica

<i>Interventi di Riqualificazione</i>	<i>Richiesta energetica post - intervento (kWh/a)</i>	<i>Risparmio energetico (kWh/a)</i>	$\Delta E\%$
Iso verticale 0 cm	45774,27		-----
Iso verticale 4 cm	43556,86	2217,42	5%
Iso verticale 10 cm	42370,29	3403,98	7%
Iso verticale 14 cm	41969,61	3804,66	8%
Iso 4 cm + Iso solaio 9 cm	36074,30	9699,97	21%
Iso 10 cm + Iso solaio 9 cm	34770,58	11003,69	24%
Iso 14 cm + Iso solaio 9 cm	34340,28	11433,99	25%
Doppio vetro	42191,66	3582,61	8%
Doppio vetro b.e.	40073,01	5701,26	12%
Triplo vetro	39066,62	6707,65	15%
Iso 4 cm + doppio vetro b.e.	37620,96	8153,31	18%
Iso 10 cm + doppio vetro b.e.	36325,94	9448,33	21%
Iso 14 cm + doppio vetro b.e.	35894,54	9879,73	22%
Iso 4 cm+Iso solaio 9 cm+vetro U_{lim}	31439,71	14334,56	31%
Iso 10 cm+Iso solaio 9 cm+vetro U_{lim}	30081,95	15692,32	34%
Iso 14 cm+Iso solaio 9 cm+vetro U_{lim}	29636,95	16137,32	35%

Tabella 4.3 Napoli. Valutazione di interventi di riqualificazione energetica

<i>Interventi di Riqualificazione</i>	<i>Richiesta energetica post - intervento (kWh/a)</i>	<i>Risparmio energetico (kWh/a)</i>	<i>ΔE%</i>
Iso verticale 0 cm	67138,41		-----
Iso verticale 6 cm	62139,96	4998,45	7%
Iso verticale 10 cm	60889,91	6248,50	9%
Iso verticale 14 cm	60139,28	6999,13	10%
Iso 6 cm + Iso solaio 8 cm	52223,26	14915,15	22%
Iso 10 cm + Iso solaio 8 cm	50878,00	16260,41	24%
Iso 14 cm + Iso solaio 8 cm	50061,04	17077,37	25%
Doppio vetro	60842,93	6295,48	9%
Doppio vetro b.e.	57601,33	9537,09	14%
Triplo vetro	56290,50	10847,91	16%
Iso 6 cm + doppio vetro b.e.	52041,60	15096,81	22%
Iso 10 cm + doppio vetro b.e.	50674,36	16464,05	25%
Iso 14 cm + doppio vetro b.e.	49612,33	17526,08	26%
Iso 6 cm+Iso solaio 8 cm+vetro U _{lim}	42880,22	24258,19	36%
Iso 10 cm+Iso solaio 8 cm+vetro U _{lim}	41424,47	25713,94	38%
Iso 14 cm+Iso solaio 8 cm+vetro U _{lim}	40552,61	26585,80	40%

Tabella 4.4 Milano. Valutazione di interventi di riqualificazione energetica

<i>Interventi di Riqualificazione</i>	<i>Richiesta energetica post - intervento (kWh/a)</i>	<i>Risparmio energetico (kWh/a)</i>	<i>ΔE%</i>
Iso verticale 0 cm	169540,86		-----
Iso verticale 8 cm	153505,59	16035,27	9%
Iso verticale 10 cm	152067,42	17473,44	10%
Iso verticale 14 cm	150041,09	19499,77	12%
Iso 8 cm + Iso solaio 12 cm	124465,59	45075,27	27%
Iso 10 cm + Iso solaio 12 cm	122967,42	46573,44	27%
Iso 14 cm + Iso solaio 12 cm	120870,17	48670,69	29%
Doppio vetro	152103,68	17437,18	10%
Doppio vetro b.e.	142834,75	26706,11	16%
Triplo vetro	141495,13	28045,73	17%
Iso 8 cm + doppio vetro b.e.	125975,82	43565,04	26%
Iso 10 cm + doppio vetro b.e.	124427,65	45113,21	27%
Iso 14 cm + doppio vetro b.e.	122299,48	47241,37	28%
Iso 8 cm+Iso solaio 12 cm+vetro U _{lim}	98453,04	71087,82	42%
Iso 10 cm+Iso solaio 12 cm+vetro U _{lim}	97270,40	72270,46	43%
Iso 14 cm+Iso solaio 12 cm+vetro U _{lim}	95635,45	73905,41	44%

Tabella 4.5 Bologna. Valutazione di interventi di riqualificazione energetica

<i>Interventi di Riqualificazione</i>	<i>Richiesta energetica post - intervento (kWh/a)</i>	<i>Risparmio energetico (kWh/a)</i>	$\Delta E\%$
Iso verticale 0 cm	170414,83		-----
Iso verticale 8 cm	154785,06	15629,77	9%
Iso verticale 10 cm	153386,89	17027,94	10%
Iso verticale 14 cm	151411,47	19003,36	11%
Iso 8 cm + Iso solaio 12 cm	126654,06	43760,76	26%
Iso 10 cm + Iso solaio 12 cm	125186,81	45228,02	27%
Iso 14 cm + Iso solaio 12 cm	122550,48	47864,35	28%
Doppio vetro	153808,64	16606,18	10%
Doppio vetro b.e.	142478,34	27936,49	16%
Triplo vetro	144337,04	26077,79	15%
Iso 8 cm + doppio vetro b.e.	127964,52	42450,31	25%
Iso 10 cm + doppio vetro b.e.	126457,27	43957,56	26%
Iso 14 cm + doppio vetro b.e.	124380,02	46034,81	27%
Iso 8 cm+Iso solaio 12 cm+vetro U_{lim}	100565,74	69849,08	41%
Iso 10 cm+Iso solaio 12 cm+vetro U_{lim}	99007,57	71407,25	42%
Iso 14 cm+Iso solaio 12 cm+vetro U_{lim}	96836,32	73578,50	43%

Inoltre, per tutti gli interventi ipotizzati, sono state eseguite le analisi energetiche ed economiche nel seguito descritte.

In prima, battuta, gli interventi sono stati valutati singolarmente per le varie città, per poi cumulare quelli ritenuti di maggiore interesse tecnico-applicativo.

Come indicatori economici, sono stati presi in considerazione il costo del kWh_{PRIMARIO} risparmiato, il tempo di ritorno dell'investimento (SPB) e il valore attuale netto (VAN) sulla base di un arco temporale di quaranta anni.

Inoltre è stato stimato il risparmio di emissioni di CO₂ per ogni intervento di riqualificazione e come termine di confronto, il medesimo indicatore, è stato calcolato come costo sostenuto dallo stato per finanziare interventi di efficienza energetica (certificati verdi) e incentivazione della conversione energetica da rinnovabile (tariffa onnicomprensiva per produzione elettrica).

In figura 4.1 è mostrato il costo del kWh_{PRIMARIO} risparmiato per la città di Palermo, attraverso l'applicazione dei singoli interventi di risparmio energetico analizzati uno alla volta: si evince che l'intervento di sostituzione delle finestre con infissi con doppio vetro semplice è il più oneroso.

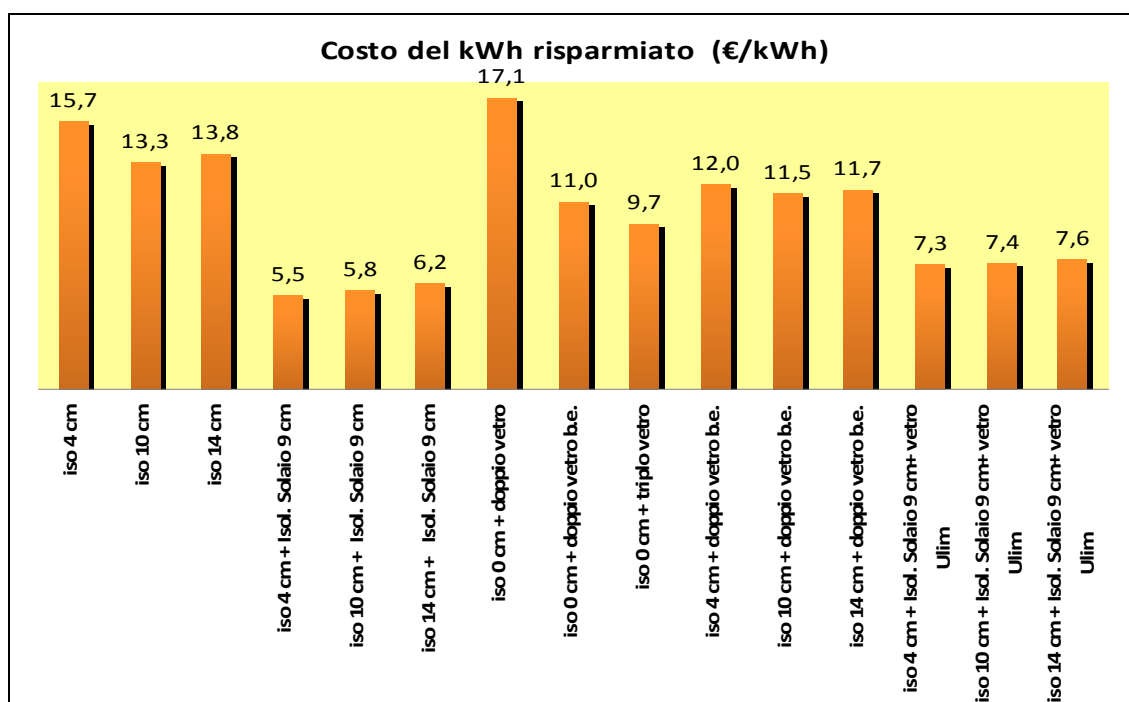


Figura 4.1 Palermo. Costo del kWh risparmiato per gli interventi proposti

In ogni caso, le analisi di sensibilità, al variare dell'impegno monetario, mostrano che esiste, per ogni intervento di riqualificazione (involucro opaco verticale, involucro trasparente, involucro opaco orizzontale), un punto di ottimo tecnico-economico. In particolare, per Palermo e per questa destinazione d'uso, la massima redditività degli interventi si ottiene con livelli medi - e comunque non altissimi - di isolamento rispetto a quanto previsto dalla norma. Ancora a Palermo, come evidenziato in figura 4.2, qualsiasi tipo di intervento, sia senza detrazione che con detrazione del 55%, restituisce dei tempi di ritorno dei denari investiti estremamente elevati poiché considerando le condizioni al contorno imposte (uso ridotto e costi conservativi) solo al di sotto dei 30 anni gli interventi possono essere considerati tecnicamente congrui.

Tali risultati indurrebbero l'utente a non intervenire sull'involucro edilizio e sull'impianto, in quanto non si avrebbero adeguati riscontri economici, nemmeno beneficiando degli incentivi fiscali. Analogamente, anche sugli edifici di nuova costruzione, andrebbero previsti interventi mirati al risparmio dei consumi energetici solo in misura tale da adeguare la resistenza termica dell'involucro edilizio alle verifiche richieste dalla presente legislazione, senza operare iper-isolamento che, inoltre, potrebbe indurre un peggioramento della prestazione estiva.

Inoltre poiché un intervento non può essere valutato solo dal punto di vista finanziario, cioè badando solo alla prospettiva di risparmio economico, ma deve essere analizzato anche in funzione delle risposte che può dare in termini di impatto ambientale, è stata calcolata la riduzione dei kg equivalenti annui di CO₂ dispersi in atmosfera (figura 4.3).

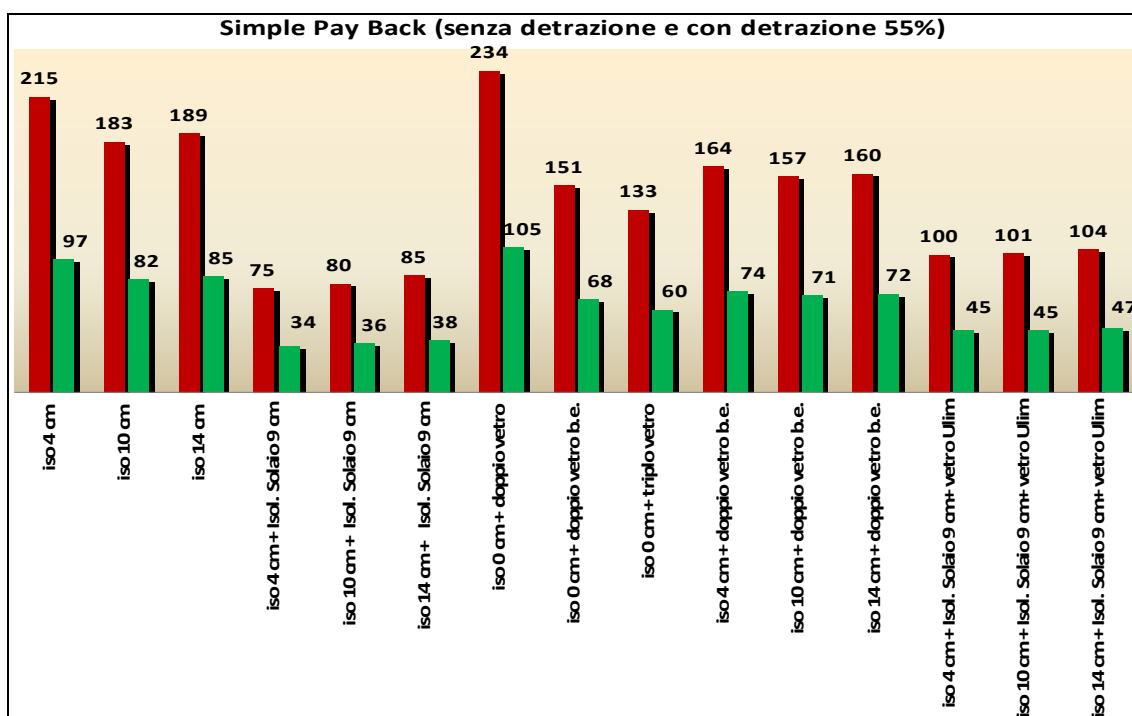


Figura 4.2 Palermo. Tempo di ritorno degli investimenti

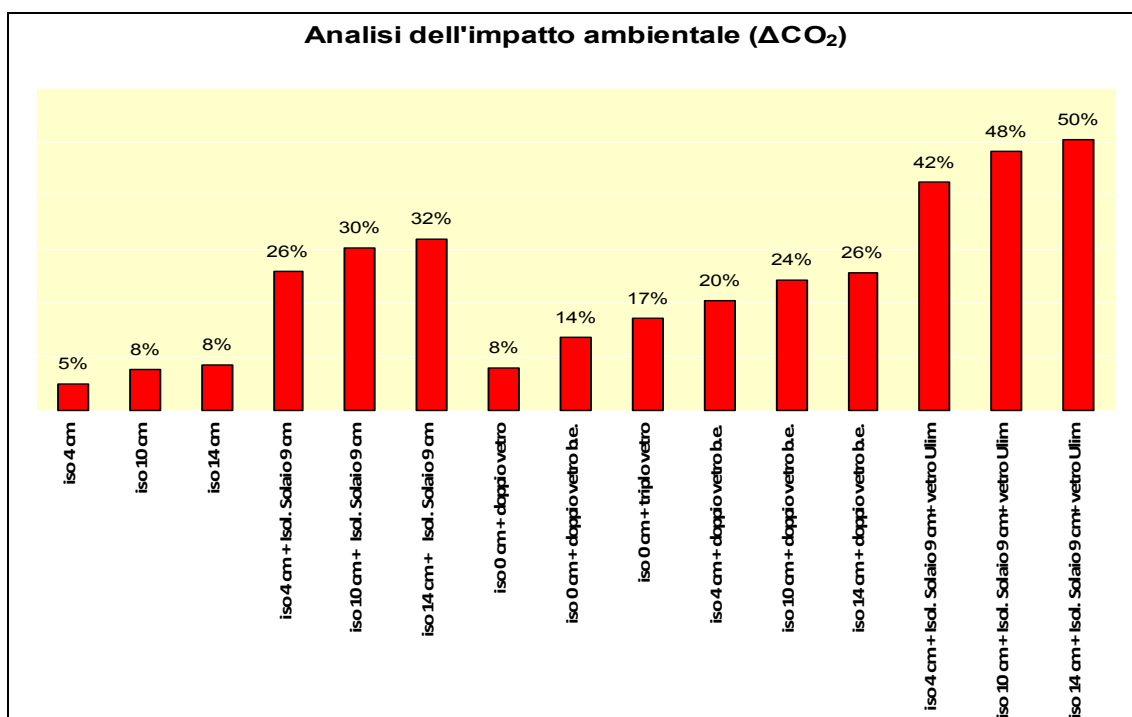


Figura 4.3 Palermo. Risultati dell'analisi dell'impatto ambientale

Dall'analisi del grafico si nota questa volta come sia notevolmente aumentata, nell'economia della riduzione delle emissioni, l'incidenza che ha la sostituzione degli infissi con il massimo livello di isolamento delle pareti perimetrali e l'isolamento del solaio.

Analogamente, la medesima analisi è stata condotta per le città di Napoli, Bologna e Milano. A questa ultima fanno riferimento i grafici 4.4, 4.5 e 4.6 di seguito riportati.

Come si evince dal grafico riportato in figura 4.4, gli interventi di riqualificazione energetica sono molto più efficaci ed economicamente vantaggiosi in zone climatiche più fredde e con molti gradi giorno. Nelle zone calde, invece, in confronto ad un investimento comunque oneroso, non sono riscontrabili adeguati benefici, anche in termini di riduzione delle emissioni nocive in atmosfera.

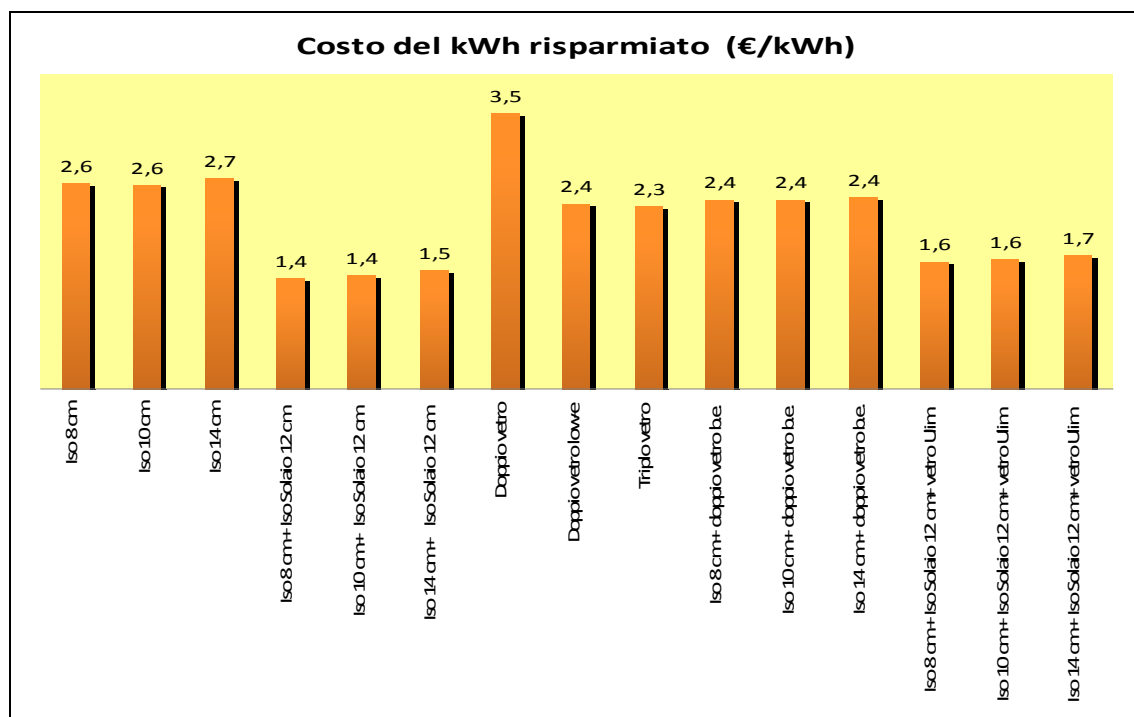


Figura 4.4 Milano. Costo del kWh risparmiato per gli interventi proposti

Altra importante, seppur ovvia considerazione, riguarda il risparmio sui consumi totali annui. Sebbene la riduzione percentuale del fabbisogno di energia segua un andamento simile per tutte le città considerate, raggiungendo il 30% del totale, passando da una parete non isolata ad uno spessore di 14 centimetri di isolante (senza considerare la sostituzione del generatore di calore per la produzione del fluido termo-vettore caldo, in inverno), appare evidente come questa percentuale incida in modo notevolmente diverso a seconda dei consumi di partenza. Tali consumi saranno, ovviamente, maggiori nelle località con più gradi giorno. Pertanto, la convenienza degli interventi presenta un andamento decrescente, da Milano a Palermo.

La figura 4.5 mostra che a Milano tutti gli interventi di riqualificazione energetica sostenuti dall'utente finale (proprietario, locatario, conduttore), se soggetti agli sgravi fiscali al 55%, restituiscono tempi di ritorno accettabili dall'utenza.

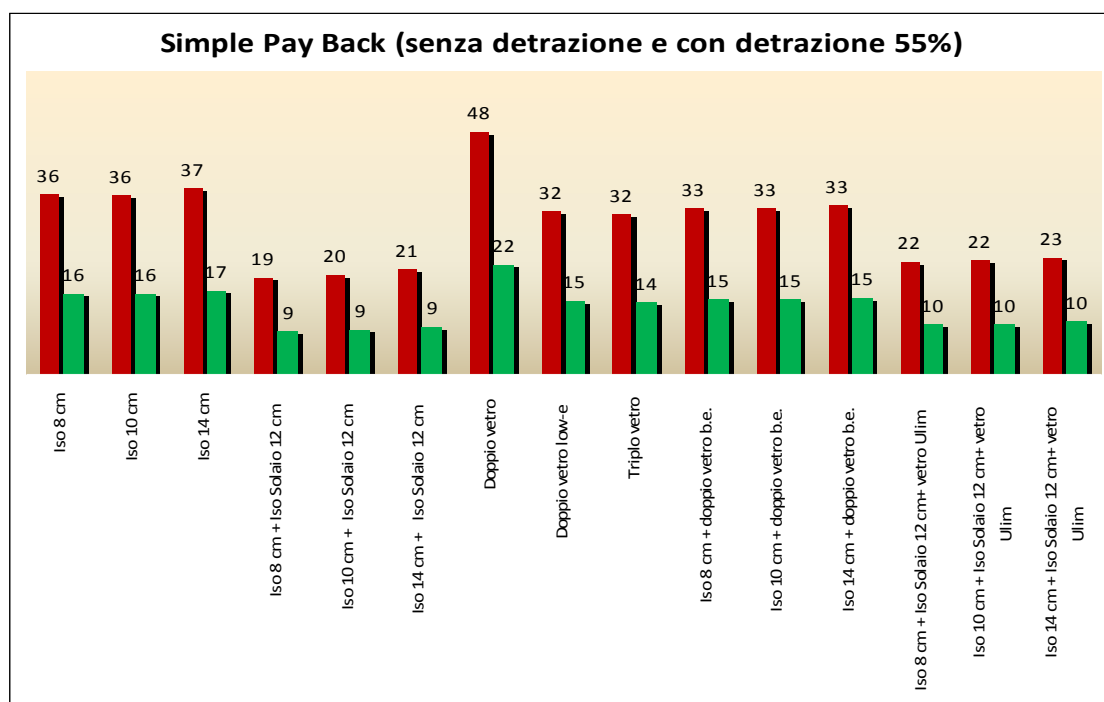


Figura 4.5 Milano. Tempo di ritorno degli investimenti

Riguardo le emissioni equivalenti di CO₂ (figura 4.6), si hanno significative riduzioni nella località di Milano laddove i consumi erano già alti in partenza, mentre in città come Palermo, gli interventi migliorativi non incidono significativamente sul totale delle emissioni già relativamente basse dell'edificio originario.

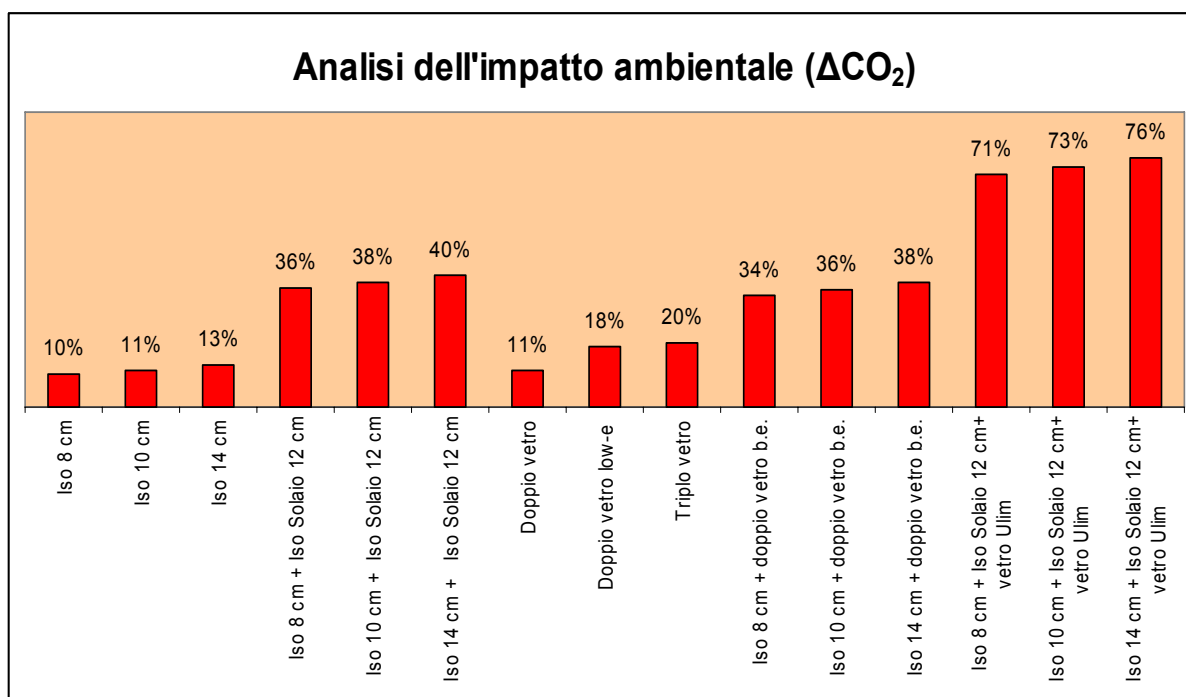


Figura 4.6 Milano. Risultati dell'analisi dell'impatto ambientale

Si riportano i grafici per le città di Napoli e Bologna, valgono considerazioni analoghe a quelle fatte - rispettivamente - per le città di Palermo e Milano.

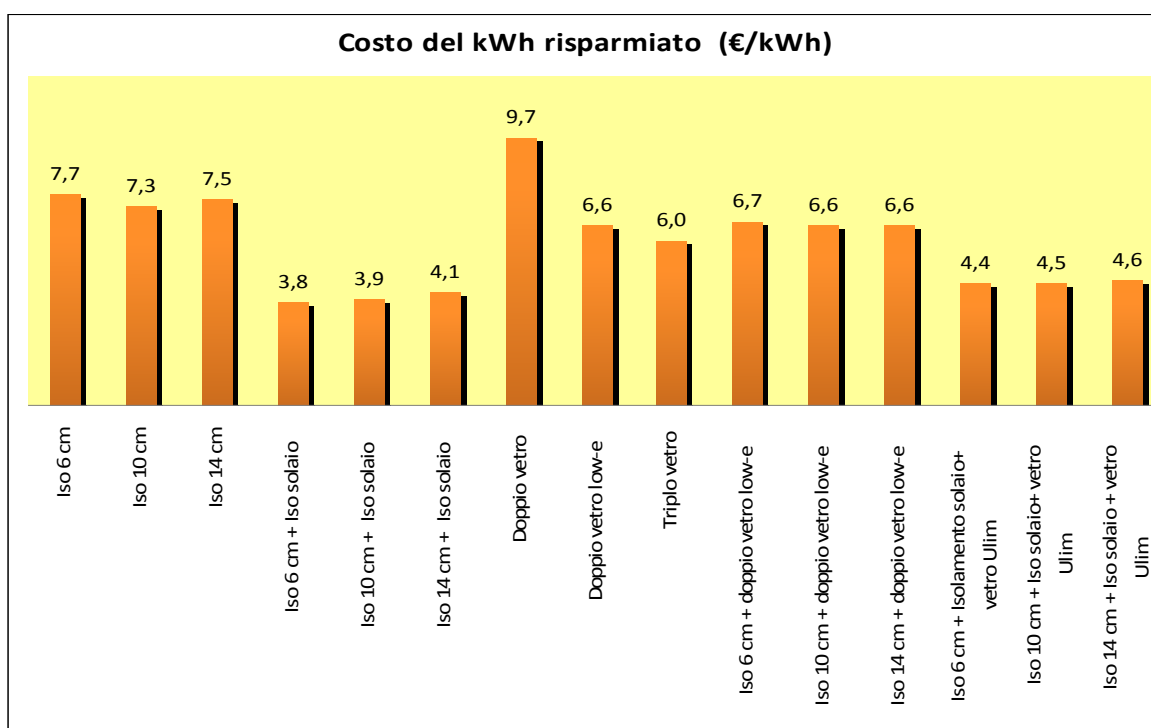


Figura 4.7 Napoli. Costo del kWh risparmiato per gli interventi proposti

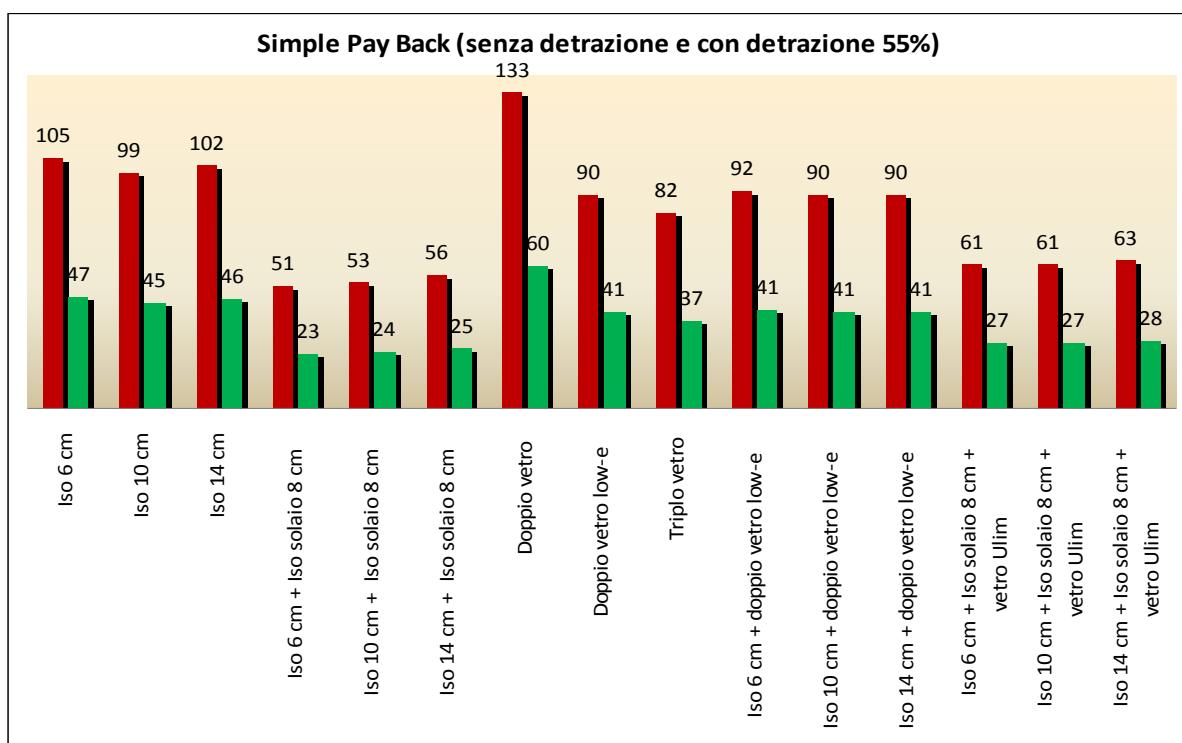


Figura 4.8 Napoli. Tempo di ritorno degli investimenti

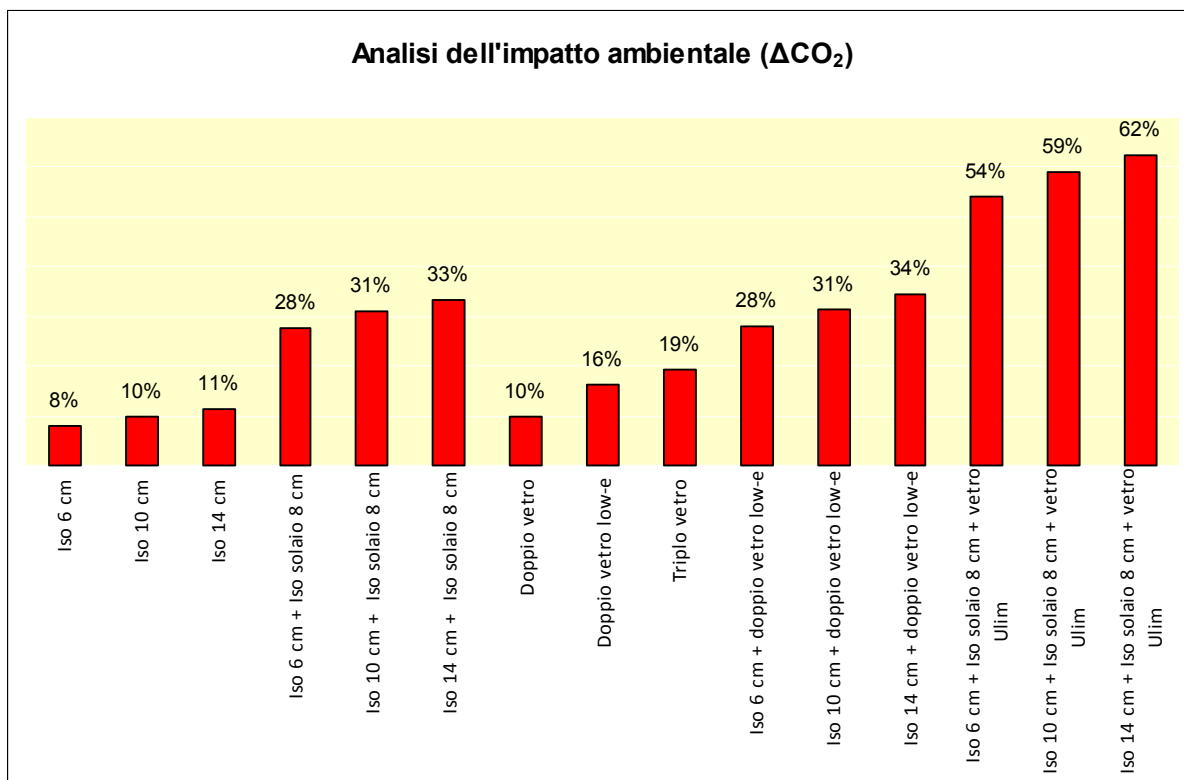


Figura 4.9 Napoli. Risultati dell'analisi dell'impatto ambientale

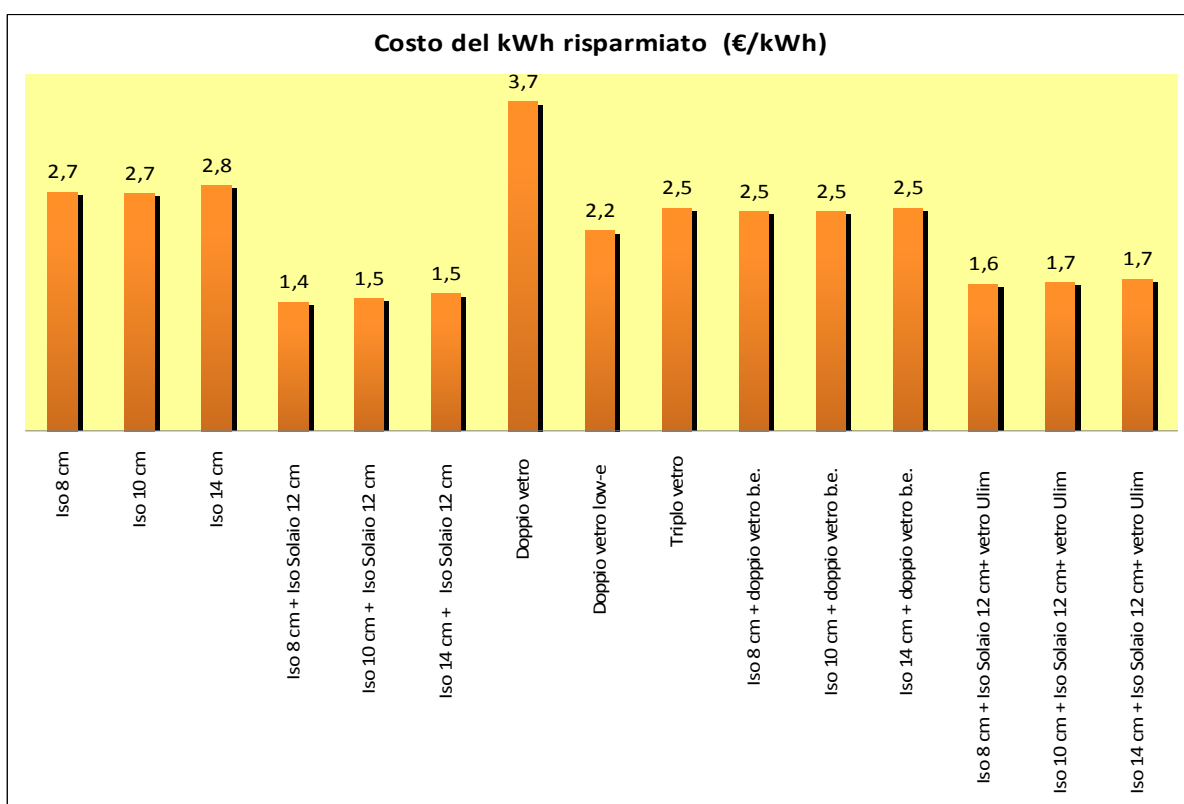


Figura 4.10 Bologna. Costo del kWh risparmiato per gli interventi proposti

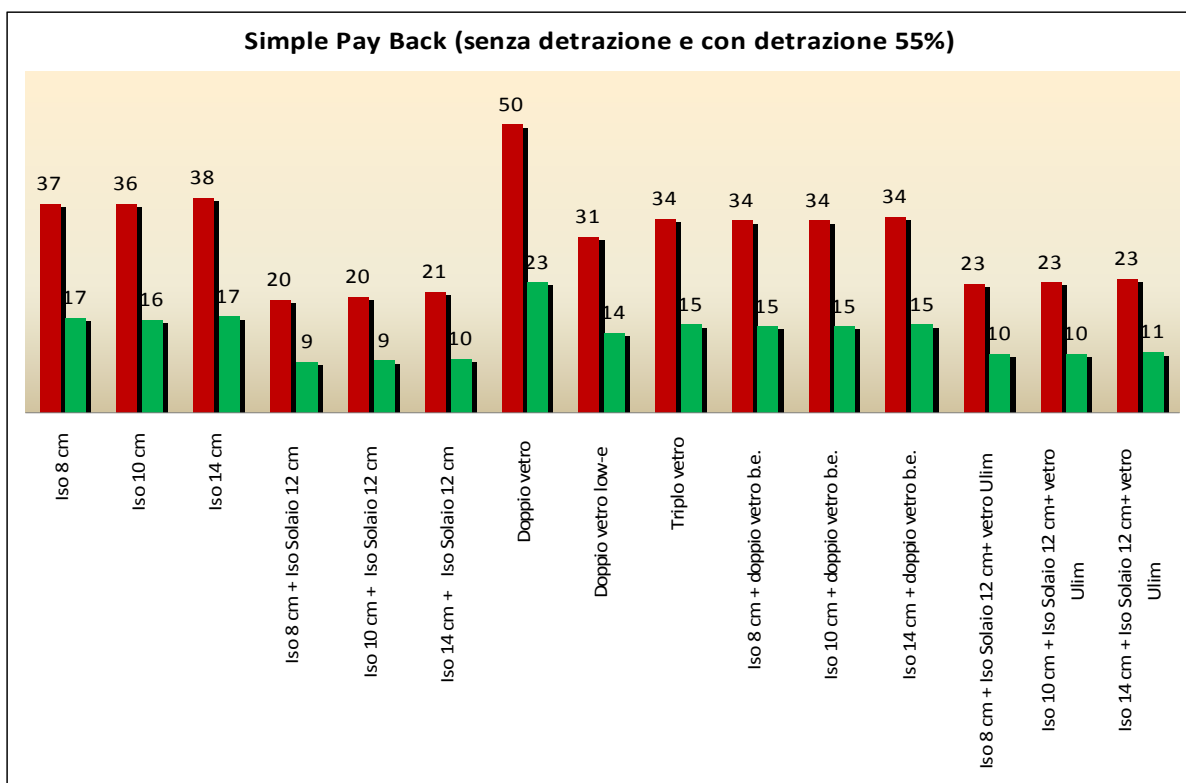


Figura 4.11 Bologna. Tempo di ritorno degli investimenti

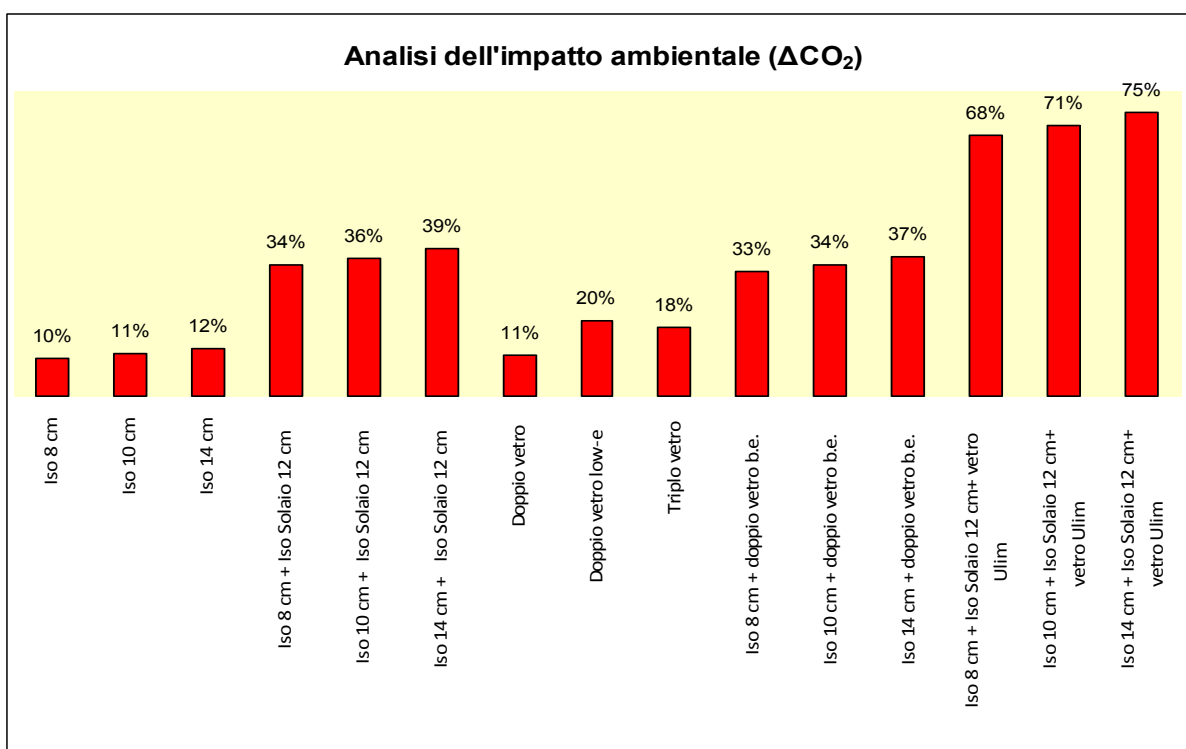


Figura 4.12 Bologna. Risultati dell'analisi dell'impatto ambientale

Infine si riporta, per le quattro città considerate (figure 4.13 - 4.16), per ogni intervento di efficientamento energetico, il costo del kg di CO₂ "non emesso"; ancora, nelle due ultime colonne dei grafici, si riporta, come termine di confronto, il medesimo indicatore, calcolato

come costo sostenuto dallo stato per finanziare interventi di efficienza energetica (certificati verdi) e incentivazione della conversione energetica da rinnovabile (tariffa onnicomprensiva per produzione elettrica).

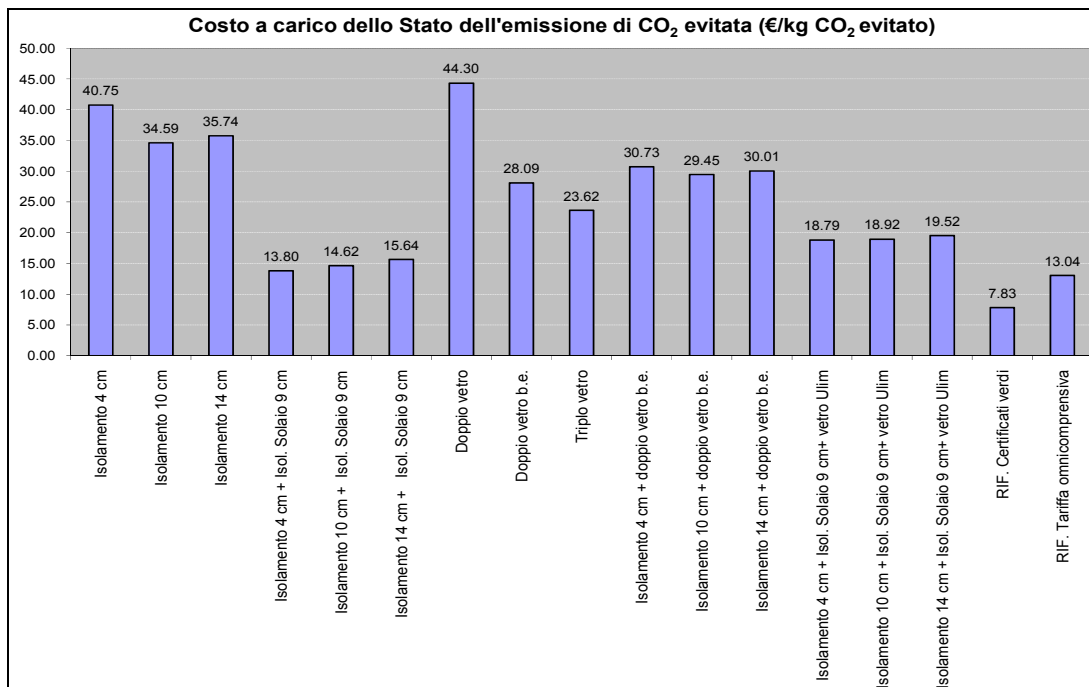


Figura 4.13 Palermo. Costo dell'emissione clima-alterante evitata, confrontato con il costo dell'analogo indicatore conseguente all'ottenimento di certificati verdi o tariffa onnicomprensiva per la produzione elettrica da rinnovabile

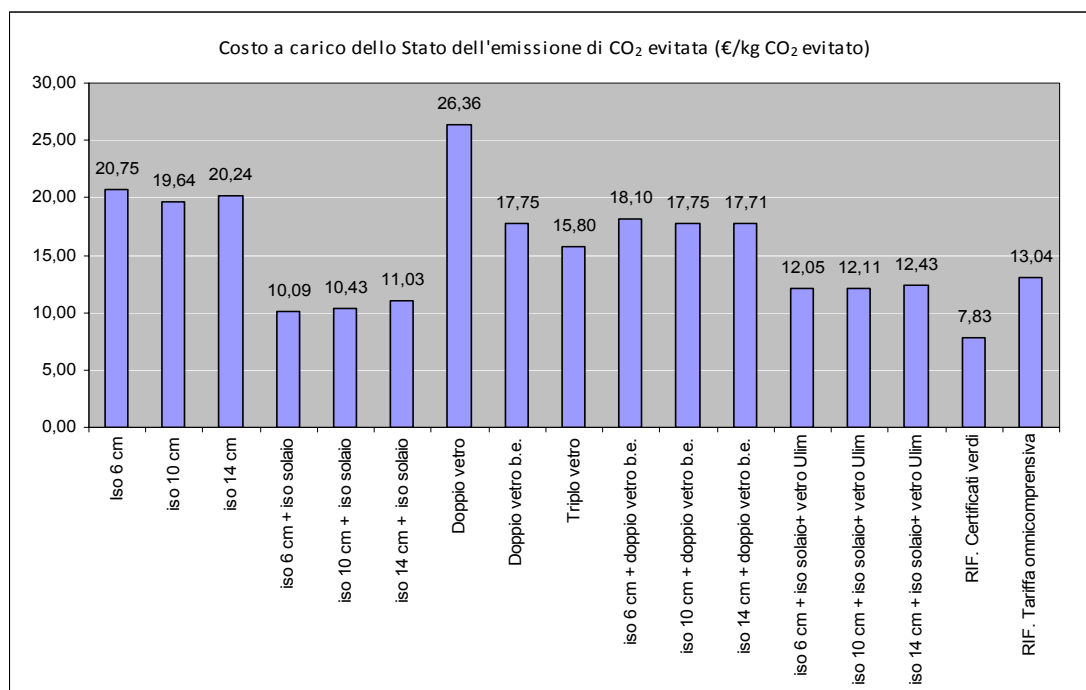


Figura 4.14 Napoli. Costo dell'emissione clima-alterante evitata, confrontato con il costo dell'analogo indicatore conseguente all'ottenimento di certificati verdi o tariffa onnicomprensiva per la produzione elettrica da rinnovabile

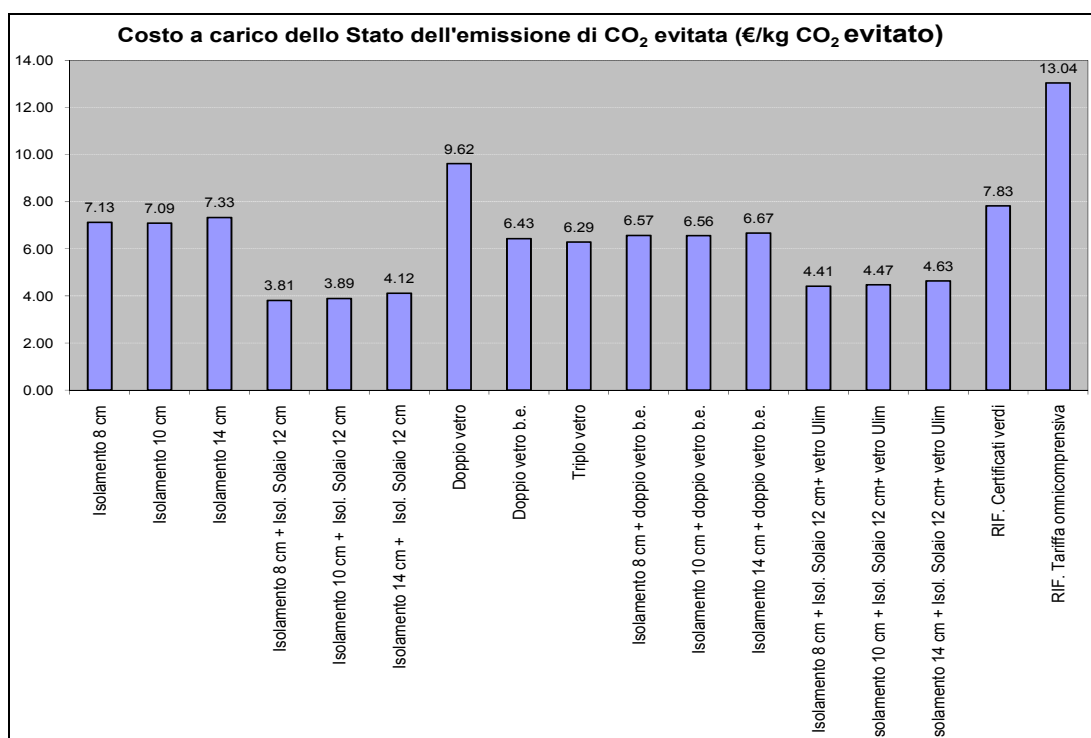


Figura 4.15 Milano. Costo dell'emissione clima-alterante evitata, confrontato con il costo dell'analogo indicatore conseguente all'ottenimento di certificati verdi o tariffa onnicomprensiva per la produzione elettrica da rinnovabile

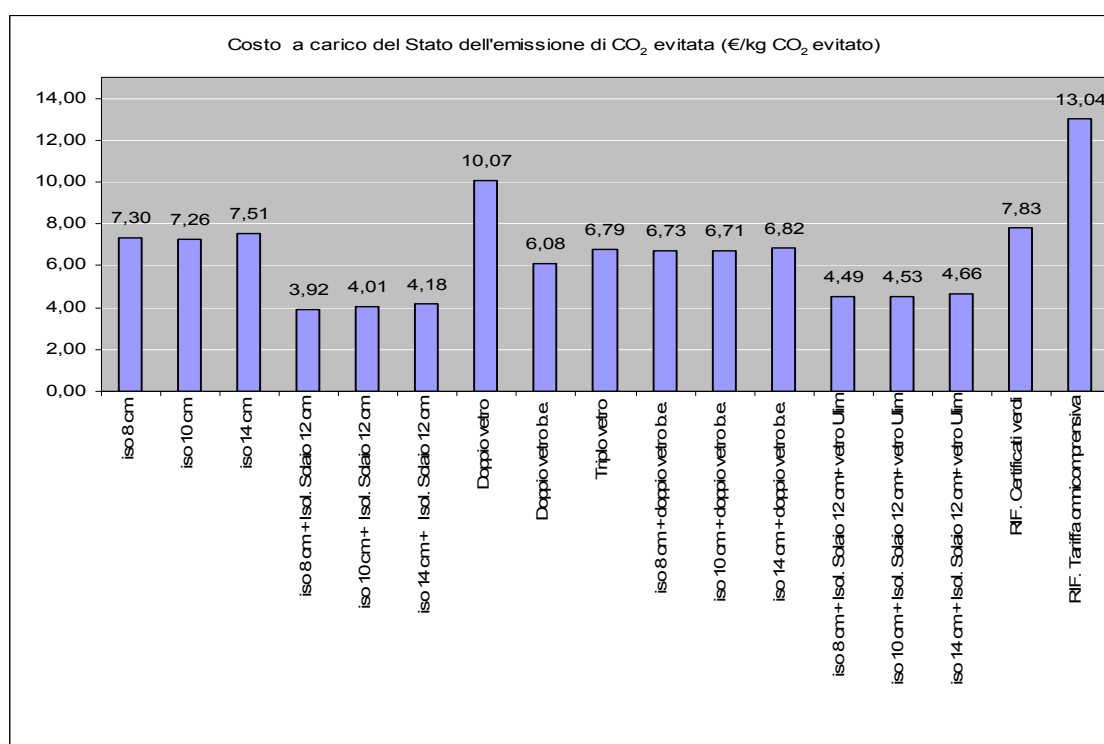


Figura 4.16 Bologna. Costo dell'emissione clima-alterante evitata, confrontato con il costo dell'analogo indicatore conseguente all'ottenimento di certificati verdi o tariffa onnicomprensiva per la produzione elettrica da rinnovabile

Il calcolo è stato condotto rispetto ad una scala temporale ventennale, assumendo che il costo sostenuto sia "una tantum" per gli interventi di efficienza energetica (beneficiando delle

detrazioni al 55% dall'imposte sul reddito), da rinnovarsi annualmente per certificati verdi e tariffa incentivante elettrica.

Per il Sud-Italia (per Napoli valgono le medesime considerazioni fatte) emerge che le politiche di incentivazione condotte dallo Stato relativamente a certificati verdi e conversione elettrica da rinnovabili rappresentino un migliore investimento dei soldi pubblici, in termini di risparmio economico e sostenibilità ambientale, anche rispetto agli interventi sull'involucro edilizio maggiormente sostenibili dal punto di vista dei costi (isolamento dell'involucro opaco congiuntamente a quello della copertura).

Risultato opposto è valutato per il Nord Italia, dove sia a Bologna che a Milano, tutti gli interventi di efficientamento energetico dell'involucro edilizio rappresentano un sistema di incentivazione più proficuo rispetto ai riferimenti considerati.

Per cui, va precisato che in un ottica che tenga conto delle reali differenze climatiche nelle varie regioni di Italia, gli interventi da prevedere nelle zone centro-meridionali devono essere orientati più verso l'aumento dell'inerzia termica e la riduzione del carico dovuto all'irraggiamento solare (semplici schermature) piuttosto che limitarsi alla "sola" riduzione della trasmittanza termica degli elementi di involucro. In tal senso anche i metodi e meccanismi di verifica ai fini della concessione del contributo dovranno adeguarsi utilizzando come parametro il fabbisogno di energia primaria per tutto l'anno.

4.5.1 Valutazione del risparmio annuo (beneficio)

La valutazione del risparmio annuo è stata eseguita, a partire dai risultati ottenuti dall'analisi energetica degli edifici, attraverso tre passaggi successivi.

Una volta calcolato il fabbisogno energetico invernale ed estivo, sia per l'edificio base che per quello aggiornato con gli interventi ipotizzati, si è in un primo momento stimata la richiesta annuale di combustibile per il riscaldamento (metano) e di energia elettrica per il raffrescamento.

Ottenuto il costo totale annuo, l'ultimo passaggio consiste nel valutare la differenza tra i costi ottenuti dall'analisi dell'edificio nelle sue condizioni di partenza, con gli stessi ottenuti però dall'analisi dell'edificio soggetto al particolare intervento in esame.

Il disavanzo tra il costo originale e il costo aggiornato in virtù degli interventi migliorativi ipotizzati rappresenta a tutti gli effetti il risparmio monetario annuo di cui può usufruire l'utente.

Per ogni classe di intervento e per ogni città considerata, si è preso in esame il miglior caso in termini di SPB e si è calcolato il VAN.

Nella tabella di seguito sono riportati, per i vari casi oggetto di studio, il risparmio monetario annuo, il tempo di ritorno dell'investimento e il tempo di ritorno attualizzato per tutti

gli interventi per i quali viene prevista una detrazione fiscale, distribuita in 10 anni, pari al 55% dell'importo totale dei lavori.

Città	Intervento ipotizzato	Risparmio Annuo (€)	SPB [anni] (con detrazione)	VAN [a 40 anni] (con detrazione)	DPB [anni]
Palermo	iso 10 cm	248,50	82	- 22996,7	
Napoli	iso 10 cm	456,10	45	-20409,5	
Milano	iso 8 cm	1170,50	16	-3995,0	
Bologna	iso 10 cm	1242,90	16	-4766,6	
Palermo	iso 4 cm+iso solaio 9 cm	408,00	34	- 25624,7	
Napoli	iso 6 cm+iso solaio 8 cm	1088,70	23	-18862,2	
Milano	iso 8 cm+iso solaio 12 cm	3290,20	9	20011,6	17
Bologna	iso 8 cm+iso solaio 12 cm	3194,20	9	18364,3	18
Palermo	iso 0+triplo vetro	409,60	60	-32284,1	
Napoli	iso 0+triplo vetro	791,80	37	-27521,1	
Milano	iso 0+triplo vetro	2047,10	14	-2262,3	
Bologna	iso 0+doppio vetro b.e.	2039,20	14	-1163,8	
Palermo	iso 10 cm+doppio vetro b.e.	689,70	71	-53653,0	
Napoli	iso 10 cm+doppio vetro b.e.	1201,80	41	-41626,4	
Milano	iso 8 cm+doppio vetro b.e.	3179,9	15	-5670,1	
Bologna	iso 8 cm+doppio vetro b.e.	3098,6	15	-7065,1	
Palermo	iso 4 cm+iso solaio 9 cm+ vetro U_{jim}	1046,30	45	-47427,5	
Napoli	iso 6 cm+iso solaio 8 cm+ vetro U_{jim}	1770,70	27	-31537,6	
Milano	iso 8 cm+iso solaio 12 cm+ vetro U_{jim}	5188,90	10	22864,1	21
Bologna	iso 8 cm+iso solaio 12 cm+ vetro U_{jim}	5098,50	10	21312,9	22

Tabella 4.6 Risultati analisi costi annui dei casi studio

Da una rapida analisi dei risultati ottenuti si può subito notare la considerevole differenza tra il risparmio economico connesso ad una stessa tipologia di intervento (o fortemente simile) effettuata però in città diverse.

Il risparmio annuo decresce infatti in maniera vistosa passando da Milano a Napoli, fino a divenire irrisoria per la città di Palermo.

È altresì evidente, come accostare alla sola sostituzione degli infissi anche l'intervento di isolamento, e viceversa, induca in pratica ad un considerevole aumento del risparmio annuo.

Inoltre, come già evidenziato in precedenza, dall'analisi della tabella si nota che, nonostante siano stati previsti cospicui incentivi finanziari a beneficio dell'investimento, i tempi di ritorno siano, per le città di Napoli e Palermo, ancora troppo elevati per poter suscitare l'interesse dell'utente ad effettuare interventi di riqualificazione energetica.

Considerazioni simili, possono essere fatte dall'andamento del VAN che al quarantesimo anno risulta ancora negativo nella maggior parte dei casi analizzati.

Riguardo l'isolamento verticale e la sostituzione dei componenti trasparenti, con un'analisi semplicistica, quale quella del SPB, si trova che l'investimento per l'intervento si ripaga in tempi accettabili per le città del Nord-Italia mentre il VAN negativo denota che per tali interventi di riqualificazione energetica la spesa da sostenere è troppo elevata.

Solo per le due tipologie di intervento che includono anche l'isolamento del solaio, si ha un VAN positivo per le città di Milano e Bologna, mentre tali interventi risultano essere fortemente antieconomici nelle zone più calde.

Un'ulteriore osservazione riguarda il tipo di intervento preferibile: la scelta verrà indirizzata, a parità di DPB¹², verso quegli interventi che, sebbene in principio più onerosi, assicurano un VAN finale maggiore, e quindi una maggiore prospettiva di guadagno economico a lungo termine.

4.5.2 Metodo di analisi

L'analisi costi-benefici è stata materialmente eseguita a partire dall'importo totale dell'investimento relativo al singolo caso (calcolati per ogni intervento al § 4.3), considerato come negatività monetaria iniziale, si è sommato, anno per anno, il risparmio annuale attualizzato (il risparmio annuale nominale è invece costante) connesso all'intervento considerato.

Il VAN finale, invece, viene valutato a seguito di un lasso di tempo di 40 anni.

Nell'esempio in figura 4.17, relativo al primo intervento riportato in tabella 4.6, si può osservare dettagliatamente il foglio di calcolo utilizzato e le curve costi-benefici risultanti dall'analisi effettuata, sia prevedendo che trascurando le detrazioni fiscali al 55% dell'importo dei lavori sostenuti.

Partendo da destra, nella prima colonna sono inseriti, in ordine crescente, gli anni di osservazione, da 1 a 40. Nella seconda colonna è invece riportato il valore del risparmio annuo nominale, ovviamente costante per tutti gli anni di osservazione. Nella terza colonna vi è invece il risparmio annuo attualizzato che, naturalmente, decresce al crescere dell'anno di osservazione.

Nella quarta colonna (sfondo celeste) è inserito l'importo della detrazione annuale nominale, ottenuta rateizzando in valori costanti la detrazione complessiva del 55% sull'importo totale dei lavori.

La colonna successiva riporta invece i valori della detrazione annuale attualizzata.

¹² DPB è il numero di anni in corrispondenza del quale il VAN assume il valore 0, ovvero i benefici attualizzati hanno ripagato l'investimento iniziale.

La settima colonna, relativa alla sola analisi effettuata tenendo conto delle detrazioni, riporta il risparmio complessivo, ottenuto come somma della detrazione attualizzata annuale e del risparmio annuale attualizzato.

Le ultima due colonne sono relative al VAN rispettivamente senza e con detrazione fiscale. Incrociando questa colonna con la riga relativa all'anno di interesse, si legge proprio il VAN corrispondente; incrociando le stesse colonne con l'ultima riga (relativa al 40° anno di osservazione), si ottiene il VAN finale.

Trattamento 10 cm - Palermo					Investimento (I) -4535€		input	
248,50					INPUT tasso di attualizzazione 5%		FC0	
Anno	RISPARMIO ANNUO	RISPARMIO ANNUO ATTUALIZZ	INPUT DETRAZIONE	DETRAZIONE ANNUA ATTUALIZZ	RISPARMIO COMPLESSIVO	-4535€	-4535€	
1	248,50	236,7	2494,6	2375,8	2612,5	-45119,5	-42743,7	
2	248,50	225,4	2494,6	2262,7	2488,7	-44894,1	-40255,6	
3	248,50	214,7	2494,6	2154,9	2369,6	-44679,4	-37886,0	
4	248,50	204,4	2494,6	2052,3	2256,8	-44475,0	-35629,3	
5	248,50	194,7	2494,6	1954,6	2149,3	-44280,3	-33480,0	
6	248,50	185,4	2494,6	1861,5	2046,9	-44094,8	-31433,0	
7	248,50	176,6	2494,6	1772,9	1949,5	-43918,2	-29483,5	
8	248,50	168,2	2494,6	1688,4	1856,6	-43750,0	-27626,9	
9	248,50	160,2	2494,6	1608,0	1768,2	-43589,9	-25858,7	
10	248,50	152,6	2494,6	1531,5	1684,0	-43437,3	-24174,7	
11	248,50	145,3		0,0	145,3	-43292,0	-24029,4	
12	248,50	138,4		0,0	138,4	-43153,6	-23891,0	
13	248,50	131,8		0,0	131,8	-43021,8	-23759,2	
14	248,50	125,5		0,0	125,5	-42896,3	-23633,7	
15	248,50	119,5		0,0	119,5	-42776,8	-23514,2	
16	248,50	113,8		0,0	113,8	-42663,0	-23400,3	
17	248,50	108,4		0,0	108,4	-42554,5	-23291,9	
18	248,50	103,3		0,0	103,3	-42451,3	-23188,6	
19	248,50	98,3		0,0	98,3	-42352,9	-23090,3	
20	248,50	93,7		0,0	93,7	-42259,3	-22996,7	
21	248,50	89,2		0,0	89,2	-42170,1	-22907,5	
22	248,50	84,9		0,0	84,9	-42085,1	-22822,5	
23	248,50	80,9		0,0	80,9	-42004,2	-22741,6	
24	248,50	77,1		0,0	77,1	-41927,2	-22664,5	
25	248,50	73,4		0,0	73,4	-41853,8	-22591,2	
26	248,50	69,9		0,0	69,9	-41783,9	-22521,3	
27	248,50	66,6		0,0	66,6	-41717,4	-22454,7	
28	248,50	63,4		0,0	63,4	-41654,0	-22391,3	
29	248,50	60,4		0,0	60,4	-41593,6	-22331,0	
30	248,50	57,5		0,0	57,5	-41536,1	-22273,5	
31	248,50	54,8		0,0	54,8	-41481,3	-22218,7	
32	248,50	52,2		0,0	52,2	-41429,2	-22166,5	
33	248,50	49,7		0,0	49,7	-41379,5	-22116,9	
34	248,50	47,3		0,0	47,3	-41332,2	-22069,6	
35	248,50	45,1		0,0	45,1	-41287,2	-22024,5	
36	248,50	42,9		0,0	42,9	-41244,3	-21981,6	
37	248,50	40,9		0,0	40,9	-41203,4	-21940,8	
38	248,50	38,9		0,0	38,9	-41164,5	-21901,8	
39	248,50	37,1		0,0	37,1	-41127,4	-21864,3	
40	248,50	35,3		0,0	35,3	-41092,1	-21829,5	
		VAN (I) -42259,3 (con detraz.)		VAN (I) -22996,7 (con detraz.)				

INCENTIVI 55%											
anni	QUOTA	anni	QUOTA	anni	QUOTA	anni	QUOTA	anni	QUOTA	anni	QUOTA
3	8315,3	4	6236,5	5	4939,2	6	4157,6	7	3563,7	8	3118,2
<p>Calcolare la rata della detrazione (celle gialloverdi) e porla nelle celle azzurre per il corrispettivo numero di anni: - se, ad esempio, la detrazione, in 3 anni, è di 566 €, scrivere 566 nella cella D4, D5 e D6; - se invece è di 466 € in 4 anni, porre 466 nelle celle D4, D5, D6 e D7.</p>											

Figura 4.17 Foglio Excel per calcolo DPB e VAN

Le due curve del grafico (figura 4.18) sono state tracciate riportando in ascissa l'anno di osservazione e in ordinata il VAN (in giallo senza detrazione e in fucsia con detrazione fiscale).

Nella fattispecie si osservi come l'investimento iniziale, pur prevedendo le detrazioni fiscali, dopo 40 anni non è stato ancora ripagato.

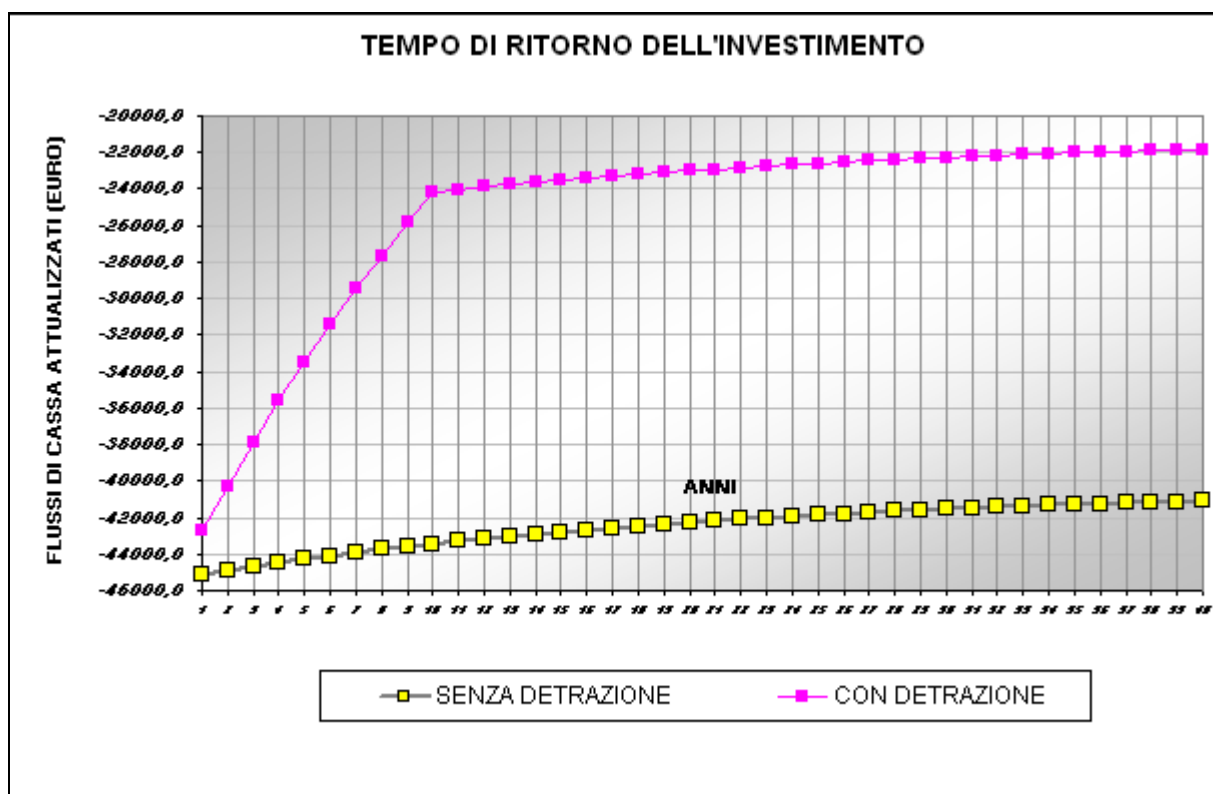


Figura 4.18 Palermo - Isolamento 10 cm: VAN con e senza detrazione

4.6 Analisi energetica stazionaria

Dopo aver confrontato i casi studio con il metodo dinamico basato su una simulazione termoenergetica dettagliata, si utilizza l'approccio cosiddetto semplificato basato sul metodo di calcolo in regime stazionario con condizioni al contorno standard che è recepito nel nostro Paese come modello nazionale per il calcolo della prestazione energetica ai fini delle verifiche di legge [31-33].

Per poter analizzare l'edificio sia in regime stazionario che dinamico, sono stati valutati due casi studio, per ognuna delle 4 città, con il software Termus [28] che opera in regime stazionario.

In particolare i casi analizzati per le varie città sono stati i seguenti:

- Caso base: edificio senza alcun intervento di riqualificazione;
- Caso riqualificato: sono stati previsti una sovrapposizione degli interventi fin qui visti, ovvero sostituzione dei serramenti esterni in legno (finestre e/o porte finestre) con un infisso dotato di trasmittanza limite di riferimento per le superfici trasparenti; isolamento a cappotto termico con il massimo spessore considerato per le varie città;

isolamento del solaio di copertura in virtù del quale si raggiunge la trasmittanza limite per le superfici opache orizzontali per le diverse zone climatiche; sostituzione della caldaia originaria con una a condensazione.

Nella tabelle 4.7 e 4.8 sono riportati, relativamente ai casi appena esplicitati, il fabbisogno invernale di energia primaria (EPi) espresso in kWh/m²a sia in regime stazionario che dinamico.

Tabella 4.7 Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale - Confronto tra calcolo in regime dinamico e calcolo in regime stazionario per l'edificio non riqualificato con caldaia standard

Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale (kWh/m²a) con caldaia standard

Città	Intervento	Analisi dinamica	Analisi stazionaria	Scostamento tra i due modelli	Classe Energetica
Milano	Iso verticale 0 cm	179,85	239,4	25%	G
Bologna	Iso verticale 0 cm	179,03	221,34	19%	G
Napoli	Iso verticale 0 cm	61,58	87,46	30%	G
Palermo	Iso verticale 0 cm	22,05	72,43	70%	G

Tabella 4.8 Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale - Confronto tra calcolo in regime dinamico e calcolo in regime stazionario prevedendo sull'edificio un intervento di riqualificazione (isolamento verticale, isolamento del solaio di copertura e vetro con trasmittanza limite) e la caldaia a condensazione

Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale (kWh/m²a) con caldaia standard

Città	Intervento	Analisi dinamica	Analisi stazionaria	Scostamento tra i due modelli	Classe Energetica
Milano	Iso 14 cm + Iso solaio 12 cm + vetro U _{lim}	70,37	75,34	7%	E
Bologna	Iso 14 cm + Iso solaio 12 cm + vetro U _{lim}	69,92	72,64	4%	E
Napoli	Iso 14 cm + Iso solaio 8 cm + vetro U _{lim}	23,49	25,20	7%	C
Palermo	Iso 14 cm + Iso solaio 9 cm + vetro U _{lim}	6,78	19,66	66%	C

L'analisi è stata condotta con riferimento all'intero anno eseguendo il calcolo del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale. I rendimenti dei sistemi impiantistici e energetici a servizio dell'edificio sono stati definiti attraverso il modello dinamico e utilizzati per entrambi gli approcci di calcolo.

Come si evince dalle tabelle il modello semplificato tende a sovrastimare le valutazioni di fabbisogno energetico per tutti i casi considerati coerentemente con quanto si evince da altri studi presenti in letteratura.

Ciò è dovuto al fatto che vi è una serie di fenomeni fisici (tra cui lo scambio termico con il terreno, lo scambio termico con la volta celeste, l'effetto della capacità termica interna, l'effetto di schermi) la cui modellazione differisce nei due regimi di calcolo, e una serie di condizioni al contorno (tra cui quelle meteo climatiche) i cui valori variano tra un modello e l'altro.

Tali significative variazioni oltre ad inficiare una corretta valutazione previsionale della prestazione energetica possono sviare da corrette scelte progettuali: ad esempio una significativa differenza dei carichi previsti può dare luogo a diverse scelte di carattere impiantistico, rispetto alle quali sarebbe possibile conseguire una più efficace ottimizzazione. Un'ulteriore considerazione riguarda la classe energetica che viene raggiunta grazie alla sovrapposizione delle classi di intervento.

Come si evince dalle tabelle precedenti, l'utilizzo dell'isolamento verticale, dell'isolamento del solaio di copertura e del vetro con trasmittanza limite, contemporaneamente alla sostituzione della caldaia, permette il conseguimento della classe energetica C per le città di Napoli e Palermo, risultando quindi abbastanza soddisfacente, mentre non risulta altrettanto adeguata per le altre città in esame, per le quali si raggiungono classi energetiche ancora inferiori (classe E).

Comunque bisogna evidenziare che per le città di Milano e Bologna si è partiti da valori di E_p molto elevati riuscendo ad ottenere una riduzione per più di un terzo.

In conclusione si può osservare come nel caso di edifici che comprendono significative complessità (forma, tecnologie di involucro, conformazione delle zone termiche riscaldate e non) sia in ogni caso auspicabile utilizzare la simulazione dinamica come modello di calcolo, la quale si basi su condizioni al contorno reali: le semplificazioni adottate nell'imputazione dei dati, così come l'impossibilità da parte del modello stazionario di apprezzare alcuni fenomeni fisici, hanno un peso significativo nell'economia dei risultati finali e dunque dell'utilizzo stesso del modello di calcolo come strumento di progetto.

Capitolo 5:

Dalla certificazione energetica alla valutazione della sostenibilità globale del processo edilizio: l'Analisi del Ciclo di Vita (LCA)

Come asserito da Paul Hawken, “il settore delle costruzioni non è soltanto il più grande settore industriale in termini economici, ma anche in termini di utilizzo di risorse”. A tal proposito basta considerare che in Europa, il settore delle costruzioni incide per circa il 40% sul consumo di energia e sulle emissioni di gas serra, e per circa il 10% sul PIL (Prodotto Interno Lordo) mondiale. Alla luce dei suddetti dati, sta crescendo sempre di più l'interesse nei riguardi delle problematiche connesse all'impatto ambientale associato alla fornitura di un bene o di un servizio. Negli ultimi anni, infatti la riduzione del consumo di risorse (acqua, energia, materie prime) e la minimizzazione dei rilasci ambientali (rifiuti solidi, reflui liquidi e emissioni inquinanti), sono diventati gli obiettivi principali da perseguire per la progettazione e costruzione di edifici “sostenibili” cioè ad alta qualità ambientale.

Al giorno d'oggi affrontare la tematica della sostenibilità ambientale in edilizia non è semplice in quanto la realizzazione di edifici sostenibili richiede che i progettisti abbiano una vasta gamma di conoscenze in discipline alquanto diverse e soprattutto una visione ampia e globale delle problematiche ambientali.

In questo capitolo verrà affrontato il concetto di “sviluppo sostenibile” contestualizzato al settore delle costruzioni, analizzando, nei suoi principali aspetti, la metodologia dell'Analisi del ciclo di vita (Life Cycle Assessment) utilizzata per valutare e migliorare la “qualità ambientale” di prodotti o processi attraverso l'analisi del loro intero ciclo di vita.

L'Analisi del Ciclo di Vita rappresenta inoltre uno dei procedimenti fondamentali per l'attuazione di una Politica Integrata dei Prodotti (IPP), nonché il principale strumento operativo del “Life Cycle Thinking”.

5.1 Strumenti e sistemi per l'edilizia sostenibile

A partire dalla firma del Protocollo di Kyoto, l'ambiente e le sue componenti sono oggetto di interesse da parte dei governi nazionali. Negli ultimi anni, inoltre si è riscontrato un interesse sempre più forte verso le tematiche ambientali anche da parte dei consumatori; ciò è giustificato sia dal desiderio di una migliore qualità della vita, sia dalla consapevolezza che i danni sull'ambiente comportano maggiori spese (tasse sui rifiuti, aumento del costo delle materie prime, aumento della luce...). È importante sottolineare che la partecipazione dell'opinione pubblica, rappresenta un ulteriore stimolo per le autorità che, emanando leggi sempre più restrittive, stanno attuando una politica sempre più orientata verso la sostenibilità ambientale.

L'interesse verso le problematiche ambientali mostrato sia dai consumatori che dai governi, ha stimolato anche il settore economico ed industriale ad adottare una nuova strategia di marketing basata sulla produzione di beni a basso impatto ambientale. In particolare, scegliendo di migliorare le qualità ambientali di un prodotto le imprese si impegnano a ridurre il suo impatto ambientale intervenendo in una o più fasi del ciclo di vita del prodotto stesso. Questa scelta, oltre che rappresentare uno strumento di "comunicazione ambientale", spesso comporta anche una minimizzazione dei rifiuti prodotti ed un risparmio di risorse naturali ed energetiche rappresentando, nello stesso tempo, anche un'opportunità per l'industria di ottenere risparmi economici ed acquisire una maggiore credibilità agli occhi dei consumatori.

In questo modo si estende la sensibilizzazione verso logiche di eco-efficienza, secondo le quali, si possono offrire beni e servizi ad un prezzo competitivo, che soddisfino i bisogni umani e nel contempo assicurino la qualità della vita, realizzando una riduzione sia degli impatti ecologici sia delle risorse.

Il tutto può avvenire in linea con la capacità di carico-assorbimento stimata dalla terra.

I fattori che spingono al raggiungimento della certificazione dell'eco-compatibilità degli edifici sono molteplici e tutti profondamente importanti:

- classificare qualità ambientale e sociale di progetti finanziati dalle pubbliche amministrazioni;
- ottenere dati concreti sulle effettive performance raggiunte in termini di riduzione dell'impatto ambientale e risparmio di risorse, ed avviare adeguate politiche di sviluppo delle conoscenze acquisite;
- guidare i diversi tecnici coinvolti nelle scelte di progetto e di cantiere;
- promuovere sul mercato la diffusione di strategie progettuali, costruttive e di gestione immobiliare sostenibili, sulla base di dati concreti;

- aiutare i futuri utenti nelle scelte di acquisto permettendo loro valutazioni costi benefici in grado di considerare anche le spese energetiche e i vantaggi in termini di confort, benessere e salute dell'abitare.

Questi presupposti teorici della progettazione sostenibile si sono concretizzati in strumenti per verificare, valutare, confrontare le prestazioni raggiunte dagli edifici in rapporto all'ambiente e le sue risorse.

Le prime elaborazioni di sistemi di certificazione sono state sviluppate in nord Europa, (soprattutto in Inghilterra, in Danimarca ed in Olanda), negli Stati Uniti ed in Canada, facendo subito emergere diverse linee di approccio. Tra i diversi approcci si possono ricordare:

1. quelli basati essenzialmente sulla valutazione dei rendimenti energetici, sulla base delle normative nazionali ed internazionali in materia (certificazione energetica);
2. quelli basati su procedure LCA (Life Cycle Assessment) riferite soprattutto ai prodotti da costruzione impiegati ed ai costi energetico ambientali di produzione e di esercizio;
3. quelli basati su eco bilanci utili a testare complessivamente la compatibilità ambientale del costruito.

È importante notare che questi ultimi due approcci, non analizzano solamente le risorse impiegate, nell'uso di materiali ed energia, ma pongono l'attenzione sul contesto fisico, naturale, eco sistemico e sociale. In particolare, la differenza principale tra la valutazione dei rendimenti energetici e la valutazione di compatibilità ambientale del costruito consiste nel fatto che i primi sono strumenti che permettono di identificare solo il livello di consumo energetico complessivo di un edificio, legato alle esigenze attuali degli occupanti, mentre la valutazione di sostenibilità ambientale affianca agli aspetti legati al consumo energetico altri aspetti che attengono sia alla sostenibilità complessiva dell'edificio costruito sia alla sua progettazione e al suo eventuale abbattimento.

In generale, in base alle indicazioni derivanti da varie fonti normative la certificazione ambientale deve:

- avvalersi di metodi e strumenti che abbiano una precisa valenza scientifica;
- tener conto del contesto climatico, sociale, economico e culturale dell'area in cui l'edificio è collocato;
- essere correlabile a sistemi di certificazione riconosciuti a livello internazionale.

La figura 5.1 mostra come la certificazione della sostenibilità ambientale possa essere concepita come un insieme più ampio della certificazione della sostenibilità energetica che, quindi, viene considerata un suo sottoinsieme.

Tornando alle diverse logiche di approccio di certificazione di eco-compatibilità dagli edifici, è importante sottolineare che quest'ultimi non sono uniformi, ma si sono sviluppati in contesti diversi sia relativamente al quadro normativo generale che, soprattutto, alla tradizione edilizia e agli stili di vita. Quasi sempre, inoltre, sono strumenti volontari, che conferiscono una certificazione di qualità che premia, anche in termini di mercato, gli edifici che rispondono a certi requisiti. Tutte queste metodologie per il calcolo della certificazione ambientale hanno in comune alcune difficoltà applicative. Nel passare da un tipo di approccio ad un altro infatti, si riscontrano gli stessi problemi:



Figura 5.1 Rapporto tra la certificazione energetica e la certificazione di sostenibilità ambientale

Tornando alle diverse logiche di approccio di certificazione di eco-compatibilità dagli edifici, è importante sottolineare che quest'ultimi non sono uniformi, ma si sono sviluppati in contesti diversi sia relativamente al quadro normativo generale che, soprattutto, alla tradizione edilizia e agli stili di vita. Quasi sempre, inoltre, sono strumenti volontari, che conferiscono una certificazione di qualità che premia, anche in termini di mercato, gli edifici che rispondono a certi requisiti. Tutte queste metodologie per il calcolo della certificazione ambientale hanno in comune alcune difficoltà applicative. Nel passare da un tipo di approccio ad un altro infatti, si riscontrano gli stessi problemi:

- difficoltà di reperimento dati, per la compilazione dei fogli di calcolo, che possono richiedere sforzi economici e tempi superiori a quelli normalmente impiegati per la progettazione di edifici;
- necessità di rivolgersi a tecnici e certificatori specializzati con l'impiego di risorse anche rilevanti e problemi di coordinamento nel lavoro;
- mancanza di uniformità di condizioni climatiche, ambientali, sociali, culturali nei diversi contesti territoriali e conseguente difficoltà di applicazione degli stessi protocolli in aree geografiche differenti da quella in cui sono stati elaborati;

- mancanza e/o impossibilità di esportazione tra i Paesi delle banche dati necessarie specie in riferimento alle analisi LCA di materiali prodotti processi impiegabili.

Queste difficoltà di applicazione potranno essere superate solo con una più ampia diffusione degli stessi sistemi di certificazione, nonché con un confronto critico tra i diversi sistemi che porti alla formulazione di scenari e procedure più coerenti con le aree in cui questi dovranno essere applicati [35,50].

5.2 L'edilizia ad elevata qualità ambientale

La certificazione della sostenibilità ambientale del costruito si basa su una procedura di eco-valutazione volta a quantificare l'impatto ambientale di un edificio in tutte le sue fasi di vita, considerando l'energia impiegata: nell'estrazione e produzione dei materiali da costruzione, nel trasporto degli stessi sul luogo del cantiere, nella costruzione dell'edificio, nell'uso e nella manutenzione, nel riciclaggio dei materiali e nella dismissione finale.

Una logica di approccio per valutare la sostenibilità ambientale di un edificio o qualsiasi altro bene è l'analisi del Ciclo di Vita (Life Cycle Assessment – LCA) che consente di conoscere gli impatti ambientali provocati da un “sistema prodotto” durante tutto il suo Ciclo di Vita, ossia from cradle to grave, comprendendo quindi l'estrazione e la lavorazione delle materie prime, la fase di fabbricazione del prodotto, il trasporto e la distribuzione, l'utilizzo e l'eventuale riuso del prodotto o delle sue parti, la raccolta, lo stoccaggio, il recupero e lo smaltimento finale dei relativi rifiuti.

Il termine LCA era utilizzato per indicare indifferentemente Life Cycle Analysis o Life Cycle Assessment, solo con la norma ISO 14040 è stata battezzata unicamente come Life Cycle Assessment.

La SETAC, Society of Environmental Toxicology and Chemistry¹³, definisce la LCA come: “processo che permette di valutare gli impatti ambientali associati ad un prodotto, processo o attività, attraverso l'identificazione e la quantificazione dei consumi di materia, energia ed emissioni nell'ambiente e l'identificazione e la valutazione delle opportunità per diminuire questi impatti. L'analisi riguarda l'intero ciclo di vita del prodotto: dall'estrazione e trattamento delle materie prime, alla produzione, trasporto e distribuzione del prodotto, al suo uso, riuso e collocazione finale dopo l'uso”. Dalla definizione si comprende che gli scopi fondamentali di una LCA siano molteplici: fornire un'immagine esauriente delle interazioni delle attività in esame con l'ambiente, far comprendere le conseguenze di tali attività (inquinamento), fornire

¹³ SETAC è una associazione no profit che ha l'obiettivo di promuovere un approccio multidisciplinare per risolvere i problemi di impatti ambientali derivanti dall'impiego dei prodotti chimici e tecnologici. Inoltre, la società ha un ruolo fondamentale nello sviluppo del Life Cycle Management e della metodologia LCA.

ai dirigenti delle aziende informazioni sufficienti per operare scelte di sviluppo più idonee, imporre uno scambio di conoscenze tra i diversi comparti.

Mentre, la normativa UNI EN ISO 14040: 2006, che regola in materia, definisce la procedura di 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”.

La differenza che si evince tra le due definizioni consiste nell’oggetto dell’analisi che viene qualificato come “sistema di prodotto” nella ISO e come “processo o attività” dalla SETAC. Per capire la sottile differenza occorre definire il “sistema industriale” come insieme di procedure atte a produrre beni utili; esso è separato dall’ambiente attraverso confini ben definiti e ad esso collegato tramite lo scambio di input e output (fig. 5.2). In questa ottica l’ambiente non è quello naturale ma tutto ciò che sta all’esterno del sistema industriale considerato. Risulta chiaro che gli input del sistema corrispondono ai parametri che entrano nel tema di risparmio di risorse mentre gli output riguardano i problemi di inquinamento.

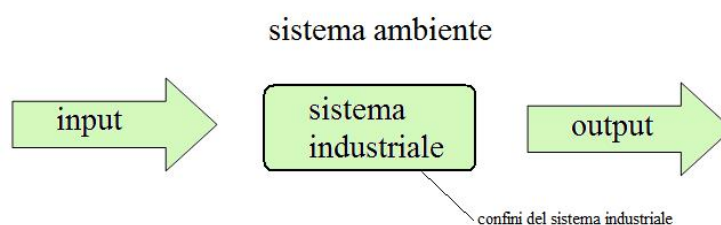


Figura 5.2 Rappresentazione schematica di un sistema industriale e della sua interazione con il sistema ambiente

Il campo di applicazione di una LCA è molto ampio. Esso va dalla gestione della singola azienda a quella dei sistemi socio-economici nazionali, pertanto interessa sia il singolo imprenditore quanto gli organi pubblici di controllo e programmazione.

Il ruolo delle Pubbliche Amministrazioni è quello di assicurare un equilibrio tra la difesa dell’ambiente e lo sviluppo socio-economico del territorio. L’ambiente deve essere, infatti, protetto e salvaguardato come bene collettivo, oltre a rappresentare una risorsa fondamentale per l’economia stessa in un paese, come l’Italia, che ha una sviluppata industria turistica. A tal proposito, l’Analisi di un ciclo di vita è uno strumento particolarmente adatto a perseguire politiche di sviluppo sostenibile come, ad esempio, la progettazione e l’attuazione di un efficace programma di riciclo.

In campo industriale, questo strumento consente all’azienda di analizzare le caratteristiche delle proprie attività operative nell’ottica del loro adeguamento alle norme di legge e agli standard di riferimento mondiali vigenti o proposti per il futuro. Una serie di analisi LCA condotte in modo continuo consentirà di conoscere con precisione l’entità del proprio impatto ambientale e la sua evoluzione nel tempo, e, pertanto, di fissare le procedure operative

dell'azienda in campo ambientale, nonché una serie di parametri di riferimento utili alla migliore gestione della stessa. Tuttavia, le aziende utilizzano questo strumento principalmente per la progettazione ambientale dei prodotti, a scopo di marketing ambientale e per supportare un tipo di gestione attenta all'ambiente [36].

In figura 5.3 sono riportati alcuni esempi di applicazioni di LCA.

Utente LCA	Applicazione	Esempio
Pubbliche Amministrazioni	Pianificazione territoriale	Piano rifiuti (incenerimento vs. discarica) Trasporto pubblico
	Acquisti verdi	Veicoli, articoli per ufficio
	Informazioni ambientali	Ecolabel
Imprese	Identificazione dei punti critici ambientali	Opzioni di miglioramento Strategia ambientale (IPP e EMS)
	Ecodesign	Selezione di componenti, materiali e processi
	Marketing ambientale	ISO 14001, Ecolabel

Figura 5.3 Applicazioni della LCA differenziate per utente pubblico e privato

5.3 Struttura di una LCA

A livello internazionale, la metodologia LCA è standardizzata, da oltre 10 anni, dalle norme ISO (International Organization for Standardization) della serie 14040 aggiornate nel 2006 e recepite anche in Italia come norma UNI. Il quadro normativo attualmente in vigore comprende la UNI EN ISO 14040: 2006 e la UNI EN ISO 14044: 2006. Esse sostituiscono le precedenti UNI EN ISO 14040:1998, UNI EN ISO 14041: 1999, UNI EN ISO 14042: 2001 e UNI EN ISO 14043: 2001. Non si tratta di norme specifiche di prodotto, ma di requisiti generali applicabili a tutti i prodotti indipendentemente dalla loro natura.

Lo studio di valutazione del ciclo di vita cui sottoporre processi o prodotti, secondo la UNI EN ISO 14044 si articola in quattro fasi:

- definizione degli scopi e degli obiettivi (Goal Definition and Scoping);
- compilazione di un inventario degli input e degli output di un determinato sistema (Life Cycle Inventory Analysis, LCI);
- valutazione di impatto (Life Cycle Impact Assessment, LCIA);
- interpretazione dei risultati (Life Cycle Interpretation).

In figura 5.4 viene riportato lo schema operativo della metodologia così come viene proposto dalla norma utilizzando la terminologia specificata.

Prima di illustrare nel dettaglio le fasi elencate è importante sottolineare che l'approccio metodologico è, per sua natura, di tipo dinamico e iterativo. Risulta, quindi, parte fondamentale di tutta l'analisi la verifica della disponibilità dei dati e delle informazioni necessarie allo sviluppo dei calcoli. Inoltre, la gran quantità di dati in gioco e la necessità di

soddisfare le esigenze di ciclicità dell'analisi rende indispensabile utilizzare strumenti di tipo informatico.

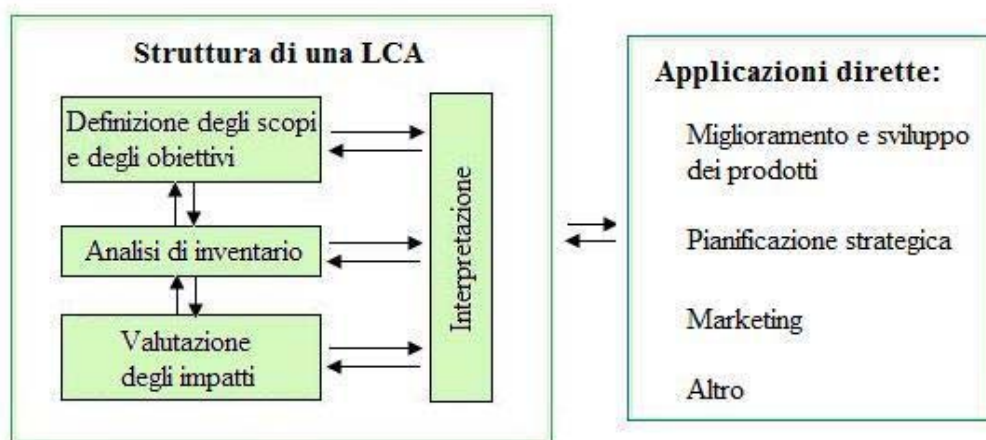


Figura 5.4 Struttura di una LCA proposta dalla norma UNI EN ISO 14040

5.3.1 Prima fase di una LCA: definizione degli scopi e degli obiettivi

Secondo quanto indicato dalla SETAC nella fase di definizione degli obiettivi (goal) della LCA vengono definite le finalità dello studio, le unità funzionali, i confini del sistema, i dati necessari, ed i limiti, come schematizzato in figura 5.5

Schema operativo di una LCA



Figura 5.5 Fase iniziale di una LCA: definizione degli scopi e degli obiettivi.

Secondo la norma, la prima fase di una LCA è articolata in quattro stadi:

1. **Definizione degli scopi:** sono evidenziate le motivazioni per cui è avviata l'analisi e a quali decisioni, azioni o attività contribuirà, nonché i valori e i principi dei finanziatori dello studio ed infine i destinatari ovvero coloro ai quali principalmente è rivolto lo studio.
2. **Individuazione del campo di azione:** viene individuato il campo d'azione, cioè il "sistema" che si intende esaminare: si scelgono i dati, si formulano le varie ipotesi, e in definitiva si determinano le limitazioni a cui saranno soggetti i risultati finali elaborati. Con il termine "sistema" si intende un insieme di dispositivi che realizzano una o più operazioni industriali aventi una determinata funzione; esso è delimitato da confini fisici rispetto al sistema ambiente e con questo è rapportato tramite scambi caratterizzati da una serie di input e output come si deduce in fig. 5.6. Tali sistemi contengono molte operazioni collegate anche in modo complesso da flussi di materiali, di energia, e di prodotti finali, per cui è opportuno individuare dei "sottoinsiemi" con i rispettivi flussi. L'analisi del singolo sottosistema viene definito come "eco bilancio". In questa fase è necessario inoltre precisare a quale area geografica fare riferimento, infatti in base alla posizione geografica si adotteranno scelte differenti riguardo il modello energetico da adottare, il sistema di smaltimento rifiuti e la valutazione degli inquinamenti emessi.

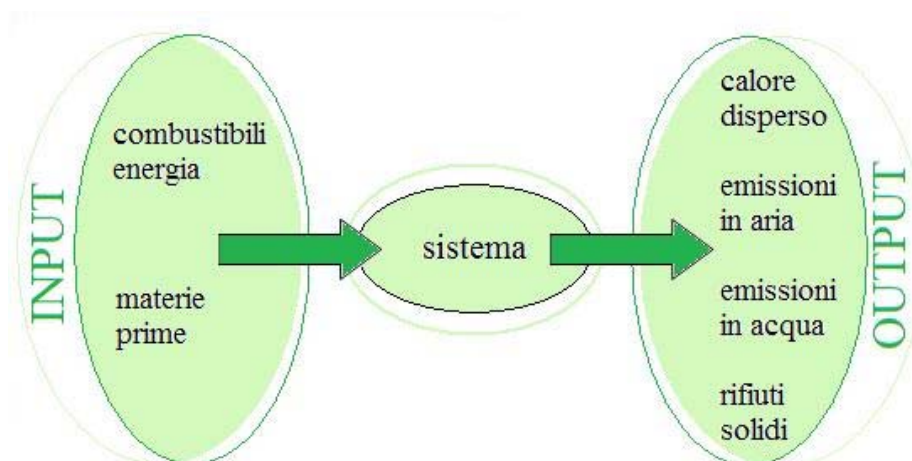


Figura 5.6 Schema di "sistema" in cui gli input sono costituiti da materie prime ed energia e gli output sono soltanto i reflui che tornano all'ambiente

- 3 **Scelta dell'unità funzionale:** Definire un'unità funzionale significa fissare " la misura delle prestazioni che il sistema è in grado di fornire". Un'ulteriore definizione è fornita dalla norma ISO 14040 descrivendo l'unità funzionale come "la prestazione quantificata da un sistema di prodotto da utilizzare come riferimento in uno studio di LCA". L'unità funzionale è indispensabile per rappresentare la quantità del bene o del

servizio su cui si intende analizzare gli effetti del sistema. Lo scopo della scelta dell'unità funzionale è quello di normalizzare tutte le valutazioni effettuate ad ogni singolo parametro di confronto. I vantaggi derivanti dalla normalizzazione delle informazioni risiedono nella possibilità di individuare immediatamente il legame esistente tra il bene prodotto e l'impatto ambientale provocato. La funzione scelta dipende dall'obiettivo e dal campo di applicazione e deve essere definito e misurabile.

- 4 **Analisi della qualità dei dati:** viene specificata l'attendibilità dei dati utilizzati nonché la possibilità che essi subiscano variazioni.

5.3.2 Seconda fase di una LCA: analisi dell'inventario (LCI)

Questa fase costituisce il cuore della LCA poiché il suo obiettivo consiste nell'evidenziare tutti i flussi di input e output riferibili alle diverse fasi relative al prodotto. In base alla definizione che troviamo nella ISO 14000 è in questa fase che vengono "individuati e quantificati, flussi in ingresso e in uscita da un sistema-prodotto, lungo tutta la sua vita". Verranno quindi identificati e quantificati i consumi di risorse (materie prime, acqua, prodotti riciclati), di energia (termica ed elettrica) e le emissioni in aria, acqua e suolo, arrivando così al termine a strutturare un vero e proprio bilancio ambientale.

L'analisi dell'inventario costituisce quindi la prima parte di un'analisi del ciclo di vita (fig.5.7).

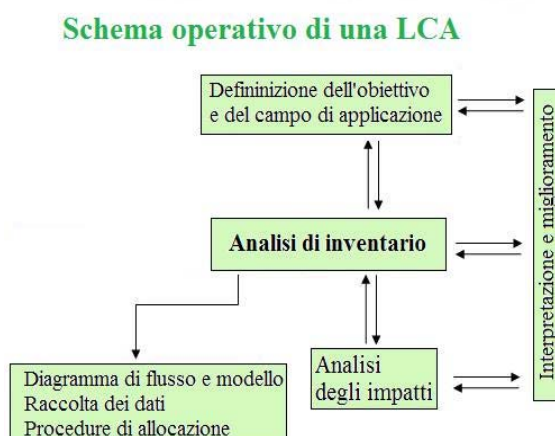


Figura 5.7 La fase di Inventario di una LCA

Nella fase dell'inventario gli studiosi si propongono di realizzare un modello analogico del sistema reale che si sta studiando.

La figura 5.8 fornisce un'idea di come impostare, nella fase preliminare, il processo di modellizzazione.

Il procedimento è iterativo. Man mano che i dati vengono raccolti il sistema si arricchisce e quindi vengono identificati nuovi requisiti o limitazioni riguardanti i dati in modo che siano ancora soddisfatti gli obiettivi dello studio.

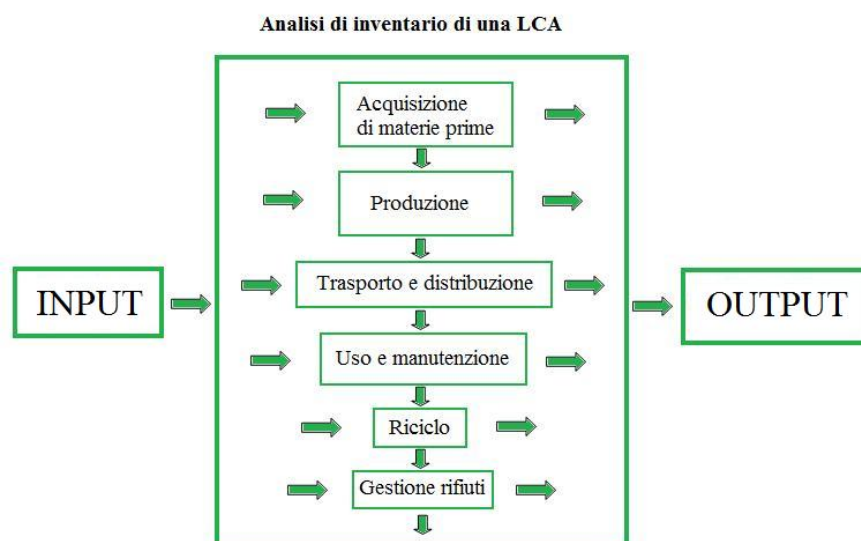


Figura 5.8 L'analisi di inventario attraverso i principali processi che appartengono al generico sistema analizzato (SETAC 1991)

Questa fase si compone di quattro stadi distinti:

- 1 **Definizione del sistema e dei suoi confini:** ogni servizio o prodotto deve essere rappresentato come un sistema, cioè un insieme di operazioni connesse materialmente ed energeticamente tra di loro, ma separate dall'ambiente esterno per mezzo di un confine. Pertanto, occorre stabilire quale sia il sistema e quali i suoi confini.
- 2 **Diagramma di flusso del processo:** il sistema viene suddiviso in una serie di operazioni collegate fra loro; lo schema rappresentativo di questa fase è il diagramma di flusso del processo. Poiché la rappresentazione è una semplificazione della realtà, è importante scegliere il grado di approfondimento che si intende raggiungere in conformità con la qualità dei dati a disposizione.
- 3 **Analisi e reperimento dei dati:** in questa fase si associano i valori ai flussi di massa e di energia entranti ed uscenti da ciascun componente in cui è stato suddiviso il sistema. Quando possibile, si cerca di ottenere le informazioni direttamente dalle aziende coinvolte nei diversi processi industriali. Le valutazioni ricavate devono poi essere normalizzate secondo l'unità funzionale. Eventuali assunzioni, omissioni o incertezze devono essere precisate. La valutazione della qualità dei dati può essere schematizzata attraverso un processo iterativo (fig.5.9).



Figura 5.9 Processo iterativo per la valutazione dell'affidabilità dei dati

- 4 **Procedure di allocazione e di riciclaggio:** una delle prime operazioni è quella di suddividere il sistema in sottosistemi, ciascuno dei quali produce o utilizza un singolo prodotto (sottoprodotto) e tali che, riaggregandoli, si ottiene lo stesso sistema di partenza. Per fare questo è necessario assegnare correttamente input ed output ai sottoinsiemi con una operazione di “allocazione”. Secondo la norma, con il termine “allocazione” si intende una metodologia di calcolo che permette una ripartizione di flussi in ingresso o uscita di un processo unitario appartenente al sistema-prodotto studiato. L’attribuzione avviene secondo regole e metodologie particolari, del carico di energia, di materiali e di emissioni corrispondenti ad un output del sistema produttivo in esame. Relativamente agli scenari di fine vita di un prodotto, è necessario valutare gli impatti ambientali derivanti dalla gestione dei materiali provenienti dalla fase di dismissione. Le procedure più frequentemente adottate per il recupero di materia ed energia sono: riuso, recupero e riciclo (fig.5.10).

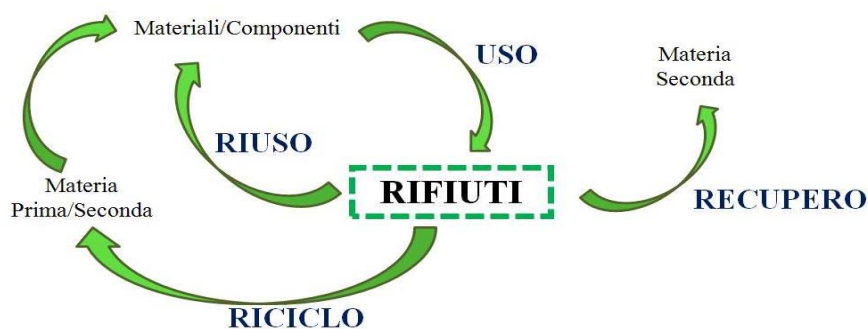


Figura 5.10 Schema del ciclo di vita circolare nella gestione del fine vita.

Il *riuso* è una attività che è possibile eseguire quando il materiale conserva le sue caratteristiche anche dopo la fine della sua vita commerciale e, pertanto, può ancora essere utilizzato. L’operazione di riuso richiede opportuni trattamenti o attività quale, ad esempio, la raccolta differenziata.

Il riuso è una attività che è possibile eseguire quando il materiale conserva le sue caratteristiche anche dopo la fine della sua vita commerciale e, pertanto, può ancora essere utilizzato. L'operazione di riuso richiede opportuni trattamenti o attività quale, ad esempio, la raccolta differenziata.

Il *recupero* è una attività molto diffusa nell'industria. Si tratta di reintrodurre la materia prima in un nuovo ciclo produttivo come "materia seconda". Con questa procedura si evita di l'utilizzo della materia prima vergine o di altra natura. Ad esempio, è molto diffuso il recupero energetico di materie plastiche, carta, legno e tessili che vengono utilizzati come combustibili per la produzione di energia, il compostaggio o le varie pratiche attraverso le quali si creano svariati oggetti con rifiuti di plastica o fogli di carta. Nel settore delle costruzioni è pratica diffusa utilizzare i materiali provenienti dalla demolizione edilizia per il sottofondo delle pavimentazioni stradali. Invece, le attività volte prettamente al recupero energetico sono di due tipologie: a recupero diretto o indiretto. Alla prima appartiene la termovalorizzazione, ossia la combustione del materiale in un impianto che permette di recuperare energia termica contenuta nei fumi della combustione, alla seconda fanno capo i processi che prevedono la trasformazione del materiale in gas combustibile dal quale, successivamente, si recupera energia.

Il *riciclo* prevede la reintroduzione del materiale nello stesso ciclo produttivo da cui proviene come "materia prima seconda". Ad esempio, nel processo di produzione del vetro o del ferro vengono utilizzati i rottami di tali materiali nello stesso impianto insieme alle materie prime naturali. Questa attività consente un notevole risparmio dato che viene evitata o ridotta l'estrazione di materie prime. L'ultimo elemento da considerare di una qualsiasi filiera di gestione dei rifiuti è la discarica controllata. Essa viene considerata un'unità di processo inserita nel sistema di gestione complessivo e, come tale, ne deve essere valutato il carico ambientale che deriva sia dalla fase di costruzione, sia da quella di funzionamento.

5.3.3 Terza fase di una LCA: Analisi degli impatti (LCIA)

La Valutazione di Impatto consiste in un processo di caratterizzazione e valutazione del possibile danno causato all'ambiente dalle sostanze identificate nella fase di Inventario. L'analisi degli impatti ha lo scopo di evidenziare l'entità delle modificazioni ambientali che si generano a seguito dei rilasci nell'ambiente di reflui e del consumo di risorse provocati dall'attività produttiva. La difficoltà di questa fase è nell'interpretazione delle conseguenze delle attività antropiche sull'ambiente e sulla formulazione di modelli di previsione

scientificamente accettabili. Uno schema della fase di valutazione di impatto è riportato in figura 5.11.

Innanzitutto, per valutare l'inquinamento ambientale su diverse scale occorre tener conto di tre diversi fattori quali: emanazione di sostanze nocive (emissione), diffusione e trasformazione che le sostanze subiscono una volta emesse (trasmissione) e, infine, concentrazione e deposizione degli inquinanti nel luogo d'azione (immissione), quindi, nel contesto della LCA, l'impatto è il risultato fisico e immediato di una data operazione che può essere l'emissione di determinate sostanze.

Schema operativo di una LCA

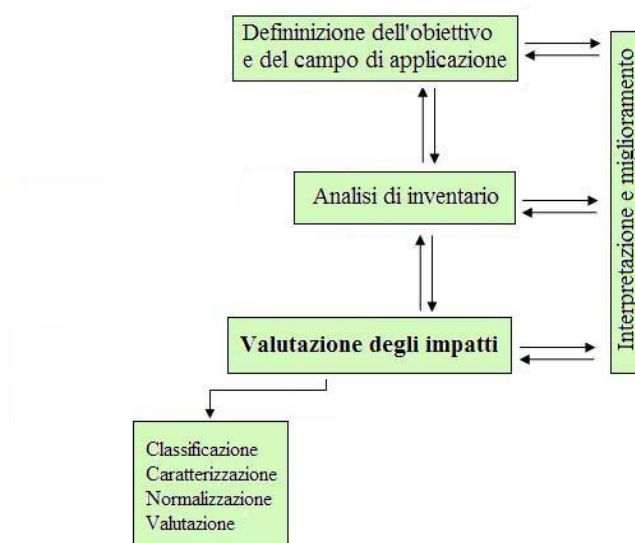


Figura 5.11 Schema operativo della fase di Analisi degli Impatti

Tuttavia, mentre gli impatti sono quantificabili, anche numericamente attraverso l'analisi di inventario, gli effetti sull'ambiente possono solo essere stimati. Inoltre, in base alle caratteristiche chimiche e fisiche delle emissioni, gli effetti ambientali si suddividono in globali, locali e regionali a seconda che si manifestino su scala planetaria o regionale (fig. 5.12); è da precisare, inoltre, che la valutazione degli impatti può riguardare solo effetti globali sia perché i risultati vengono cumulati e, quindi, si hanno solo effetti complessivi, sia perché non è specificato l'istante in cui avvengono i rilasci.

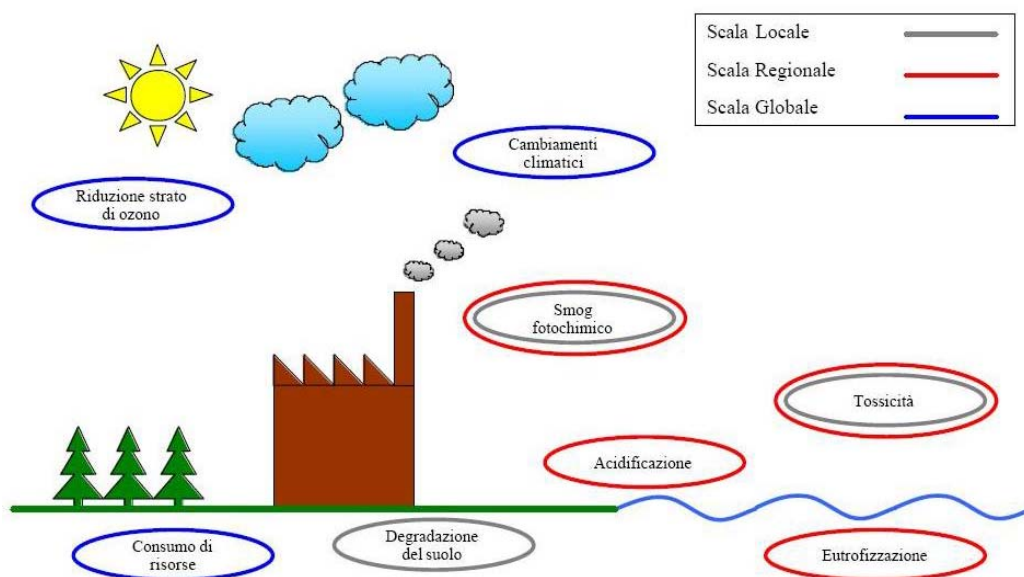


Figura 5.12 Categorie di impatto: scala d'azione

L'analisi degli impatti, secondo la norma consiste in quattro parti:

- 1 **Classificazione.** In questo stadio vengono individuate le categorie di impatto ambientale entro cui collocare i dati (ad esempio l'elenco di sostanze) provenienti dalla fase di bilancio ambientale. Queste categorie riguardano le varie tipologie di conseguenze ambientali che una sostanza può comportare, ad es.: la riduzione di strato di ozono, l'incremento dell'effetto serra. Successivamente si provvede ad associare i diversi tipi di impatto a delle "categorie di danno": qualità dell'ecosistema, salute umana, impoverimento delle risorse naturali.
- 2 **Caratterizzazione.** Viene svolta un'analisi quantitativa dei vari impatti. Per ogni categoria di impatto, infatti viene calcolato il quantitativo di sostanze inquinanti proveniente dal processo che si prende in considerazione. Per ottenere tale dato, ciascun input ed output viene moltiplicato per un "fattore di peso" che misura l'intensità dell'effetto di una sostanza sul problema ambientale considerato. Tali dati possono essere sommati all'interno di ciascuna categoria ambientale in modo da ottenere un insieme di valori adimensionali che definiscono il profilo ambientale del sistema.
- 3 **Normalizzazione.** I valori calcolati attraverso i "flussi peso", sono normalizzati, dividendoli per un "valore di riferimento" ricavato da dati medi su scala mondiale, regionale o europeo ad un definito intervallo di tempo.

- 4 **Valutazione pesata.** I valori degli effetti normalizzati vengono moltiplicati per “fattori di peso” della valutazione, relativi alle categorie di danno. Sommando i valori degli effetti così ottenuti si ottiene un unico valore adimensionale, l’eco-indicatore, che quantifica l’impatto ambientale associato al prodotto. Al termine di questa fase si dovrebbe ottenere un “voto ecologico” che indichi la “eco-efficienza” del prodotto o del processo analizzato. Per cui l’obiettivo finale è quello di esprimere l’impatto ambientale associato al prodotto nell’arco della sua vita.

5.3.3 Quarta fase di una LCA: interpretazione dei risultati

Questa è la fase conclusiva di una LCA ed è definita come il momento in cui creare una valida correlazione tra i risultati dell’analisi dell’inventario e degli impatti, per proporre raccomandazioni conformi agli scopi e obiettivi dello studio. Questa fase viene attuata in una LCA per concretizzare le azioni atte a migliorare lo stato di fatto in termini di correzioni oppure di riprogettazione dell’intero sistema; lo scopo è quello di trovare la massima eco-efficienza (fig. 5.13).

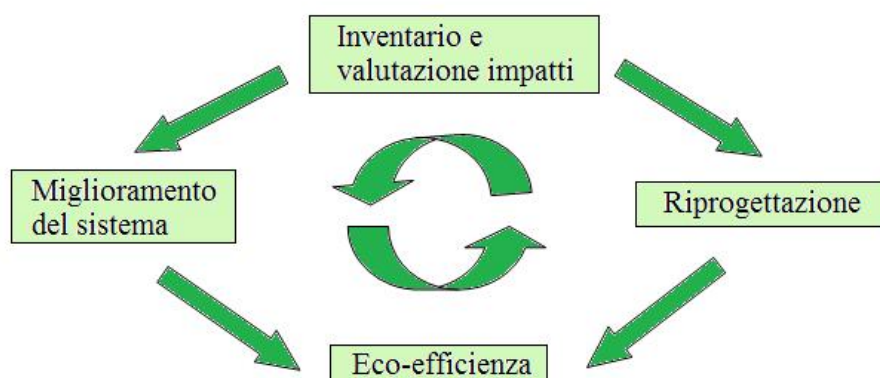


Figura 5.13 La fase di interpretazione e miglioramento correlata alle altre fasi della LCA con l’obiettivo di massimizzare l’eco-efficienza

All’interno di questa fase si individuano due sottofasi:

- analisi dei miglioramenti;
- interpretazione finale dei risultati.

Dopo aver individuato gli ambiti più critici della LCA, si ha un’analisi dei miglioramenti al fine di ridurre gli impatti e i carichi ambientali del prodotto o processo analizzato. In questo contesto si possono rappresentare scenari diversi da quello considerato e confrontare i risultati ottenuti con altri relativi ad una situazione migliore. Infine avviene un’interpretazione finale dei risultati tramite un’analisi di sensibilità in modo da avere una percezione dello studio fruibile e comprensibile.

Questa fase è quella che non ha ancora raggiunto il livello metodologico delle precedenti ma, comunque, è di notevole importanza perché consente, laddove possibile, di migliorare gli impatti in termini di richiesta di energia, di consumo di materie prime e di emissione di rifiuti [36,39].

5.4 Gli strumenti informatici per analizzare il ciclo di vita

Nell'ultimo decennio si sono diffusi numerosi metodi di calcolo, di verifica ed altri strumenti per la valutazione della sostenibilità ambientale utilizzando l'approccio della LCA. Attualmente, sono disponibili decine di *LCA software tools* e ognuno dei quali presenta differenti caratteristiche, livelli di complessità e contiene svariate banche dati. Nonostante ognuno di essi abbia delle proprie caratteristiche, quasi tutti sono basati sulla stessa metodologia ed hanno, quindi, molte peculiarità in comune. Il loro uso varia in base allo stadio del ciclo di vita dei prodotti a cui è applicato: la fase di progettazione in cui viene pensato il prodotto, la fase di produzione o il momento in cui esso viene scomposto per essere riutilizzato, smaltito o riciclato.

La funzione principale dei software è quella di supportare l'utente nella fase di *Inventario* e, pertanto, a tale scopo le caratteristiche più importanti sono:

- la qualità, il volume e la pertinenza dei dati disponibili;
- la facilità di utilizzo del software.

I software sono, inoltre, utilissimi nelle fasi di Valutazione dell'impatto ed Interpretazione. Difatti, nella fase di Valutazione dell'impatto, essi consentono all'utente di scegliere, tra i diversi metodi di valutazione, quello più conforme allo studio con la possibilità di fare anche un confronto fra essi. Per quel che concerne la fase di Interpretazione, ossia dell'analisi dei risultati, i software restituiscono gli esiti delle elaborazioni sottoforma grafica in modo tale da renderne più immediata la comprensione. Inoltre, alcuni degli *LCA software tools* consentono di eseguire un'analisi di sensibilità, di simulare scenari alternativi e di elaborare statistiche sui risultati.

5.4.1 I principali software per la valutazione ambientale dei materiali edili

Nel primo capitolo del presente elaborato si è visto come nel settore edilizio vi sia una forte aliquota dei consumi energetici per la climatizzazione degli ambienti. Inoltre, in questo settore si riscontra un notevole impiego di risorse naturali per la produzione dei materiali ed un forte utilizzo di combustibili fossili nei cicli produttivi degli stessi; queste, in sintesi, sono le principali cause delle cospicue liberazioni in atmosfera di grandi quantità di sostanze

inquinanti (anidride carbonica, ossidi di zolfo e azoto, idrocarburi incombusti, particolato, etc.). L'emissione di queste sostanze possono avere conseguenze ambientali sia su scala regionale sia su scala globale ma risultano spesso di difficile quantificazione. Inoltre, la produzione di materiali edili incide significativamente su altri aspetti ambientali, quali la produzione di rifiuti, l'uso del suolo, l'inquinamento di acqua, suolo e aria e la generazione di rumore.

Alla luce di queste considerazioni, la riduzione del consumo di risorse, sia energetiche che materiali, e la minimizzazione dell'impatto ambientale, sono diventati negli ultimi anni i principali obiettivi da perseguire nei processi di costruzione manutenzione e demolizione del patrimonio edilizio. Tale esigenza è affiancata, a livello europeo, da leggi e regolamenti inerenti all'edilizia e, più in generale, dalle normative internazionali riguardanti le emissioni inquinanti e l'impiego di fonti energetiche non rinnovabili nei comparti produttivi e nel terziario.

Questo approccio comporta una continua innovazione e ricerca nel settore edilizio al fine di eseguire una progettazione "ambientalmente sostenibile". La progettazione si arricchisce così di strumenti di indagine e di valutazione che consentono di stimare l'impatto complessivo sull'ambiente e sulle risorse nell'intero ciclo di vita dell'edificio: dalla fase di costruzione a quella di manutenzione, alla riqualificazione fino alla fase di dismissione.

Attualmente, a disposizione dei progettisti più attenti alle problematiche ambientali, sono presenti sul mercato diversi strumenti software, genericamente denominati *environmental assessment tools*, che hanno l'obiettivo di analizzare l'edificio in termini non solo di consumi energetici in loco e di prestazioni ambientali negli spazi interni ma anche in termini di consumo di risorse energetiche ed ambientali, di emissioni nell'ambiente esterno, prendendo in esame l'intero ciclo di vita dell'edificio.

Ad ogni modo, questa analisi rimane complessa ed onerosa dato che occorre valutare in modo approfondito le prestazioni ambientali ed energetiche di tutti i materiali edili e dei processi di costruzione che non sono affatto di semplice computazione. Per sopperire a queste difficoltà sono stati sviluppati numerosi strumenti per analizzare il ciclo di vita dei materiali o processi. Non tutti, ovviamente, sono adatti a realizzare uno studio di LCA nel settore edilizio.

I *tools* sono stati sviluppati da istituti e società operanti da decenni nel settore della LCA; la loro nascita e diffusione è avvenuta in modo naturale dato che, per condurre una approfondita analisi LCA bisogna trattare una grossa mole di dati e lo strumento più indicato ad immagazzinare ed elaborare è il calcolatore.

Molti degli strumenti sviluppati sono disponibili in commercio con prezzi che vanno dai 1500 € fino ad oltre 10000 €. Per molti programmi sono disponibili le versioni *demo* ma esse, molto spesso, hanno funzioni limitate.

I software rappresentano quindi un sostanziale investimento al fine di eseguire uno studio di LCA per cui sono state reperite più informazioni possibili inerenti i diversi strumenti in commercio e confrontate con le proprie necessità. In tabella 5.1 viene riportata una lista dei principali *life cycle assessment tools* commerciali disponibili.

Tabella 5.1 I principali strumenti software per l'Analisi del ciclo di vita

Tool	Venditore	Località	URL
BEES	NIST Building and Fire Research Laboratory	Stati Uniti	http://www.bfrl.nist.gov/oea/software/bees.html
Boustead Model	Boustead Consulting	Europa	http://www.boustead-consulting.co.uk/products.htm
CMLCA 4.2	Centre of Environmental Science	Olanda	http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/software/cmlca/index.html
Dubo-Calc	Netherlands Ministry of Transport, Public Works and Water Management	Olanda	http://www.rws.nl/rws/bwd/home/www/cgi-bin/index.cgi?site=1&doc=1785
Ecoinvent	Swiss Centre for Life Cycle Inventories	Svizzera	http://www.ecoinvent.ch
Eco-Quantum		Gran Bretagna	http://www.ivam.uva.nl/uk/index.htm
EDIP PC-Tool	Danish LCA Center	Danimarca	http://www.lca-center.dk
Environmental Impact Indicator	ATHENA™ Sustainable Materials Institute	Canada	http://www.athenaSMI.ca
EPS 2000 Design System	Assess Ecostrategy Scandinavia AB	Scandinavia	http://www.assess.se
GaBi 4	PE Europe GmbH and IKP University of Stuttgart	Germania	http://www.gabi-software.com/software.html
GEMIS	Öko-Institut	Germania	http://www.oeko.de/service/gemis/en/index.htm
KCL-ECO 4.0	KCL	Finlandia	http://www1.kcl.fi/eco/softw.html
LCAIT 4.1	CIT Ekologik	Svezia	http://www.lcait.com/01_1.html
LCASys	Philips/ORIGIN	Netherlands	-
LEGEp	LEGEp Software GmbH	Germania	www.legep.de
REGIS	Sinum AG	Svizzera	http://www.sinum.com/htdocs/e_software_regis.shtml
SimaPro	PRé Consultants	Olanda	http://www.pre.nl/simapro.html
Umberto	IFU Hamburg GmbH	Germania	http://www.ifu.com/en/products/umberto

Segue la descrizione del software *SimaPro* che sarà utilizzato per il caso studio presentato nel paragrafo successivo .

SimaPro è sicuramente uno dei software più completi e diffusi a livello internazionale. Include numerosi database ambientali con varie sezioni riguardanti anche i materiali da costruzione. Esso è sviluppato in Olanda dalla *Product Ecology Consultants* (PRè) ed è uno strumento di indagine iterativa che, avvalendosi della metodologia LCA, elabora analisi dettagliate del ciclo di vita di un prodotto o di un processo.

SimaPro contiene al suo interno diversi database, comprendenti le diverse categorie necessarie alla descrizione di un ciclo di vita. Sono, infatti, dettagliatamente classificati e descritti all'interno di ciascuna banca dati, materiali, processi, energie e sistemi di trasporto, metodi di smaltimento e di trattamento dei rifiuti. È un software caratterizzato da elevata potenzialità interattiva poiché le banche date di cui dispone possono, in qualsiasi momento, essere corrette ed integrate in maniera flessibile fornendo la possibilità di creare nuovi materiali e processi ovvero aggiornare quelli esistenti.

La categoria *materiali* è suddivisa in numerose classi: materiali edilizi, prodotti chimici, prodotti agricoli, materiali ferrosi, materiali non-ferrosi, materie plastiche, legno, combustibili, prodotti ceramici, etc.. Per ciascuna famiglia di materiali è definita anche la categoria di rifiuto cui appartiene (ad esempio, le materie plastiche sono considerate come rifiuto in plastica oppure il cemento è ritenuto un rifiuto ceramico) e questa assegnazione è importantissima in quanto ad ogni materiale viene assegnato un tipo di trattamento al quale sarà sottoposto dopo il suo utilizzo.

La categoria *processi* è, anch'essa suddivisa in diverse sottocategorie, secondo una classificazione che raccoglie, all'interno della stessa classe tutte le lavorazioni relative ad un certo tipo di materiale (ad esempio le lavorazioni proprie della plastica, dell'alluminio, etc.).

La categoria *trasporti* è suddivisa in base alla tipologia di trasporto (su strada, ferrovia, acqua, aria); all'interno delle diverse tipologie si può scegliere tra i diversi modi di trasporto (auto, camion, nave, treno).

La categoria *energia* permette di inserire nello studio il tipo di energia utilizzata nelle fasi di produzione e, eventualmente, in quelle di utilizzo del prodotto, classificandola seconda la fonte (nucleare, idroelettrica, da gas, etc.) e secondo la zona di provenienza.

La categoria *smaltimento rifiuti* contiene i dati di inventario delle operazioni di compostaggio, incenerimento, discarica e riciclo associate al fine vita dei prodotti.

La struttura del programma permette di impostare gli interventi relativi al ciclo di vita dei prodotti o processi oggetto delle analisi, utilizzando sia i valori forniti dalle diverse banche dati, sia quelli inseriti dall'utente a seguito di rilevamenti diretti, indiretti o stime. Una volta definito il metodo di valutazione il codice fornisce, mediante grafici e tabelle, i risultati dell'analisi ambientale del prodotto o processo nelle fasi individuate dalla norme della serie UNI EN ISO 14040 nelle rispettive unità di misura. Infine, per un approfondimento sull'analisi, sono disponibili i valori parziali o totali relativi alle emissioni ed ai consumi durante tutto il ciclo considerato.

Per strutturare uno studio di LCA con SimaPro è opportuno seguire un approccio bottom-up suddiviso in tre stadi:

- la definizione dei processi; partendo dal semplice unit process o dal più complesso system process, la categoria processi contiene i singoli blocchi che compongono il ciclo di vita;
- la definizione degli assemblaggi; essi non contengono dati veri e propri ma una lista dei processi precedentemente definiti, per cui è possibile creare un modello della fase di produzione;
- la definizione dei cicli di vita; questi modellano l'intero ciclo di vita del prodotto comprendendo anche il trattamento dei rifiuti in output dalla fase di produzione. Un ciclo di vita contiene dei collegamenti agli assemblaggi ed in più aggiunge i processi relativi ai trattamenti dei rifiuti, l'uso di energia ed eventuali cicli di vita supplementari qualora il sistema sia particolarmente complicato [40, 41].

5.5 Applicazione dell'LCA ad un caso studio nella provincia di Napoli

L'analisi LCA viene condotta alla scala dell'edificio ed è applicata a due costruzioni campione, uguali sotto il profilo volumetrico, per l'organizzazione degli spazi interni e per il contesto climatico, ma differenti per tecnologia costruttiva [37,38].

L'edificio preso in esame è quello utilizzato per l'analisi tecnico-economica degli interventi per la riqualificazione energetica la cui geometria e struttura è stata illustrata ampiamente nel capitolo 2.

Le due diverse tecnologie costruttive analizzate sono denominate: "non verificato" e "riqualificato". Il differente fabbisogno termico per il riscaldamento invernale è stato stimato precedentemente attraverso l'ausilio del codice di calcolo dinamico Energy Plus.

La tipologia "non verificato" è costituita da elementi che non rispettano i limiti della trasmittanza fissati dal decreto legislativo 311/06, per la zona climatica di appartenenza C avendo considerato per ovvie ragioni di vicinanza geografica i dati della città di Napoli.

Infatti, si tratta di un edificio realizzato con copertura orizzontale costituita da un solaio piano dello spessore di cm 30 realizzato con struttura mista di travetti in c.a. gettati in opera e pignatte di laterizio con sovrastante soletta in calcestruzzo armato e rete in acciaio elettrosaldato. Il solaio è reso impermeabile mediante applicazione sulla superficie di guaine a base bituminosa.

Il paramento che racchiude l'involucro riscaldato è costituito da una muratura a cassa vuota dello spessore di cm 30, intonacata su entrambe le facce, composta, internamente, da una parete realizzata con blocchi forati di laterizio dello spessore di cm 10 ed, esternamente, da

una parete realizzata con blocchi forati di laterizio dello spessore di cm 14, con interposta camera d'aria dello spessore di cm 5.

La muratura è interrotta lungo il perimetro del fabbricato dagli elementi strutturali portanti, pilastri e travi in c.a., che determinano la presenza di molteplici ponti termici nell'involucro dell'edificio.

Il calpestio dei piani intermedi è costituito da un solaio piano in latero-cemento. Alla base, lo stabile condominiale confina con il terreno, attraverso una pavimentazione contro terra che coincide con il calpestio degli appartamenti del piano più basso.

I serramenti sono costituiti da finestre e porte finestre con telaio in legno dotate di vetro semplice di 4 mm di spessore e sono provvisti di cassonetto interno per l'avvolgibile.

Il fabbisogno energetico, stimato con il codice di calcolo e per il solo fabbisogno invernale, è pari a 61,58 kWh/m²anno.

Il prototipo di edificio "riqualificato" è costituito da elementi aventi requisiti che rispettano il limite richiesto dal decreto legislativo 311/06. La copertura, in questo caso è realizzata come la precedente ma con l'aggiunta di pannelli isolanti in polistirene espanso di spessore 80 mm con densità pari a 30 kg/m³ dove la trasmittanza scende e risulta pari a 0,386 W/m²K.

Le tamponature a cassa vuota hanno la stessa struttura dell'edificio precedente ma con l'aggiunta di uno strato di isolamento realizzato con pannelli in polistirene espanso di spessore 140 mm con densità pari a 30 kg/m³. La trasmittanza di questo pacchetto murario è U=0,214 W/m²K. Le componenti finestrate sono realizzate con un infisso in legno-PVC con doppio vetro (4-16-4) tale da presentare una trasmittanza limite di riferimento U=2,108 W/m²K.

Infine, per la chiusura verso terra non è stato previsto alcun intervento poiché per la riqualificazione energetica dell'edificio ci si è prefissi di intervenire nella maniera quanto meno invasiva possibile, senza modificare cioè i materiali ed i sistemi costruttivi dell'edificio, conservando le dimensioni interne e le altezze interne dei singoli appartamenti ed evitando disagi agli occupanti degli alloggi in conseguenza dei lavori di adeguamento.

Per un edificio realizzato utilizzando le suddette tecnologie, il fabbisogno energetico stimato per il solo riscaldamento invernale è pari a 32.79 kWh/ m²anno [43-45].

5.6 Il ciclo di vita degli edifici

Per quantificare il danno ambientale complessivo dovuto ad un sistema edilizio, occorre considerare tutto il ciclo di vita dell'edificio [51]. Al fine di valutare gli impatti derivanti da produzione, utilizzo e dismissione dei materiali utilizzati nella costruzione dell'edificio, è fondamentale avere piena conoscenza oltre che delle tecniche costruttive, delle scelte

impiantistiche utilizzate, anche di un computo metrico accurato e delle modalità di smaltimento dei rifiuti provenienti dai processi demolitivi del sistema edificio [46,47].

Prima di procedere all'analisi completa del ciclo di vita si ritiene opportuno aprire una parentesi sulla gestione del fine vita dei materiali edili dato che il contesto italiano si presenta alquanto particolare.

5.6.1 Il fine vita dei materiali edili

La gestione dei rifiuti costituisce la problematica ambientale di maggior rilievo in un cantiere edile. Le caratteristiche dei rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) variano in funzione del tipo di attività; dalle attività di demolizione si ottengono infatti rifiuti misti di varia natura, costituiti da materiali inerti come laterizi, intonaci, calcestruzzo armato e non, metalli etc. Essi rappresentano circa il 30-50% del totale dei rifiuti di C&D. Questi rifiuti possono essere ulteriormente suddivisi in due sottocategorie: rifiuti provenienti dalla micro demolizione (rappresentano il 92%), e quelli provenienti dalle attività di macro demolizione (8%). Questa distinzione è fondamentale ai fini della valutazione del danno ambientale perché, in funzione dell'appartenenza ad uno o ad altro tipo, possono variare le tecniche di demolizione, i macchinari utilizzati e le emissioni associate. Nel caso specifico dei rifiuti da costruzione e demolizione, secondo le norme di riferimento, questi possono essere distinti in rifiuti inerti, recuperabili, non pericolosi, pericolosi.

Dato che tutte le materie prime utilizzate nel processo di costruzione vengono reimmesse nell'ambiente al momento della demolizione risulta necessario attuare forme di recupero quali, ad esempio, il riutilizzo dei materiali generati da attività di C&D. Per raggiungere elevati standard di recupero occorrerebbe garantire una elevata qualità degli scarti già sul cantiere di demolizione ma, attualmente in Italia gli scarti da C&D vengono in gran parte conferiti in discarica (circa il 50%) mentre, il loro riutilizzo avviene solo nei settori produttivi che presentano requisiti di qualità più bassi, quali, ad esempio, le costruzioni stradali. Pertanto nell'ottica dell'aumento dei materiali da recupero e di una riduzione della quantità di rifiuti destinati alla discarica, un ruolo fondamentale è giocato dalla fase di progettazione dell'involucro edilizio che deve essere pensato in funzione del disassemblaggio e non della sua demolizione. La progettazione deve essere inquadrata nell'ottica del ciclo di vita del componente e dell'intero edificio per cui è auspicabile introdurre scelte progettuali in cui si eviti il ricorso, ad esempio, all'incollaggio o alla sigillatura dei componenti tra loro e quindi prevedere il loro smontaggio e riutilizzo [49].

Per quel che riguarda i materiali impiegati nei due edifici pilota si adotta lo scenario previsto dal database Ecoinvent all'interno del quale è contenuto un inventario specifico per lo smaltimento dei materiali da costruzione. In particolare, si è provveduto a rintracciare i

materiali per approssimare quelli usati in fase di costruzione dell'edificio e valutare il tipo di processo a cui sottoporli in fase di dismissione. Per i materiali adoperati, Ecoinvent prevede tre modalità diverse di smaltimento:

- riciclaggio diretto: il materiale viene separato dagli altri in fase di smantellamento dell'edificio;
- riciclaggio parziale: se il materiale (ad esempio il calcestruzzo) è mescolato ad altri in modo che il disassemblaggio non può essere effettuato sul posto, viene trasportato ad un impianto di trattamento in cui verrà separato; la frazione di materiale non riciclabile viene smaltita in discarica o, se possibile, previsto un incenerimento;
- conferimento in discarica: se il materiale non può essere riciclato perché inseparabile da altri o il prodotto ottenuto non ha mercato, viene condotto in discarica [40].

5.6.2 Le fasi dello studio e le ipotesi di calcolo

Per eseguire l'Analisi del Ciclo di Vita è necessario seguire le seguenti fasi:

- *scelta dell'unità funzionale*: è un riferimento cui legare i flussi in entrata ed in uscita; nei casi analizzati è stata scelta come unità funzionale l'intero edificio;
- *scomposizione dell'edificio*: il sistema edificio è stato scomposto in unità di processo, cioè in tutti quegli elementi o materiali che lo costituiscono e sono interessati da flussi di materia ed energia durante la vita utile (ad esempio: tompagnature, coperture, strutture portanti, infissi, etc.); a tal proposito è stato utile disporre del computo metrico;
- *individuazione delle fasi del ciclo di vita*: si considera la produzione, il trasporto, la posa in opera, l'assemblaggio dei componenti; a riguardo sono stati scelti i dati inclusi nei database presenti nel software (Ecoinvent, Buwal250, ETH-ESU, etc.) integrati da quelli presi dalla letteratura;
- *fase operativa*: in questa fase si registrano i consumi di gas naturale per il riscaldamento invernale; essi sono stati stimati, come già detto, con l'ausilio del codice di calcolo EnergyPlus;
- *analisi di inventario*: in questa fase si raccolgono e inseriscono nel programma di calcolo SimaPro i dati relativi alle quantità di materiali utilizzati, le energie spese nella fase d'uso, il trasporto e si costruiscono gli scenari di smaltimento dei materiali utilizzati;
- *analisi dei risultati*: è stata eseguita un'analisi critica dei risultati elaborati da SimaPro.

Ai fini della modellazione dei processi da analizzare, sono state necessarie le seguenti ipotesi ed assunzioni semplificative:

- trattandosi di una procedura di tipo comparativo tra due prototipi di edificio, non sono stati inseriti nel software gli elementi o i processi comuni ad entrambe le soluzioni (quali, ad esempio, la struttura portante, il blocco solaio di terra, gli impianti, i processi comuni di scavo, etc.);
- per il riscaldamento invernale viene scelto di utilizzare una caldaia tradizionale alimentata a gas naturale > di 100 kW.;
- alle voce trasporto è stato considerato quello al sito di trattamento dei rifiuti derivanti dalla demolizione. Per tutti i casi è stato supposto il trasporto su strada tramite camion alimentato a diesel con portata di 16 tonnellate, ipotizzando un carico al 50% su una distanza media di 10 km;
- per lo scenario di smaltimento dei materiali da costruzione, si ipotizza quello descritto al § 5.6.1;
- si assume che gli edifici abbiano vita utile di 40 anni [36,39,40].

5.6.3 Analisi dei risultati

I due prototipi di edificio sono stati sottoposti ad Analisi del ciclo di vita col fine di esaminare e confrontare gli impatti prodotti in riferimento alle fasi di costruzione, uso e dismissione. Il metodo per la valutazione degli impatti utilizzato è stato quello degli Eco-indicatori 99 che consente di aggregare i risultati di un LCA in grandezze o parametri facilmente comprensibili ed utilizzabili, chiamati Eco-indicatori ed in particolare secondo tre categorie di danno: *salute umana*, *qualità dell'Ecosistema* e *consumo di risorse* [42].

Ciascuna delle categorie di danno è suddivisa in diverse categorie di impatto che risultano configurate dall'aggregazione di tutte le sostanze che sono o potrebbero essere responsabili dell'impatto e del danno. Le sostanze dell'inventario vengono collegate alle categorie di impatto tramite una modellizzazione; a valle di questa operazione risulta possibile individuare, all'interno di ogni singola categoria, il danno causato dalla sostanza emessa.

Per gli edifici analizzati, relativamente alla fase operativa e al metodo degli Eco-indicatori 99 si osserva, nelle figure 5.14 e 5.15 in cui vengono riportate le reti relative ai cicli di vita degli edifici, che l'impatto causato dai consumi in fase d'uso copre un'aliquota pari all'83% per l'edificio "non verificato" e al 67,5% per il prototipo "riqualificato".

Già da questa analisi iniziale si evidenziano due importanti risultati:

- la fase d'uso è quella più dispendiosa rispetto alle altre, ad essa infatti, sono attribuite le maggiori emissioni come si vede dal diagramma di flusso;

- i consumi relativi alla fase d'uso possono essere notevolmente ridotti adottando in fase progettuale soluzioni tecnologiche che consentono le riduzioni dei consumi (isolanti, vetri basso-emissivi, etc.).

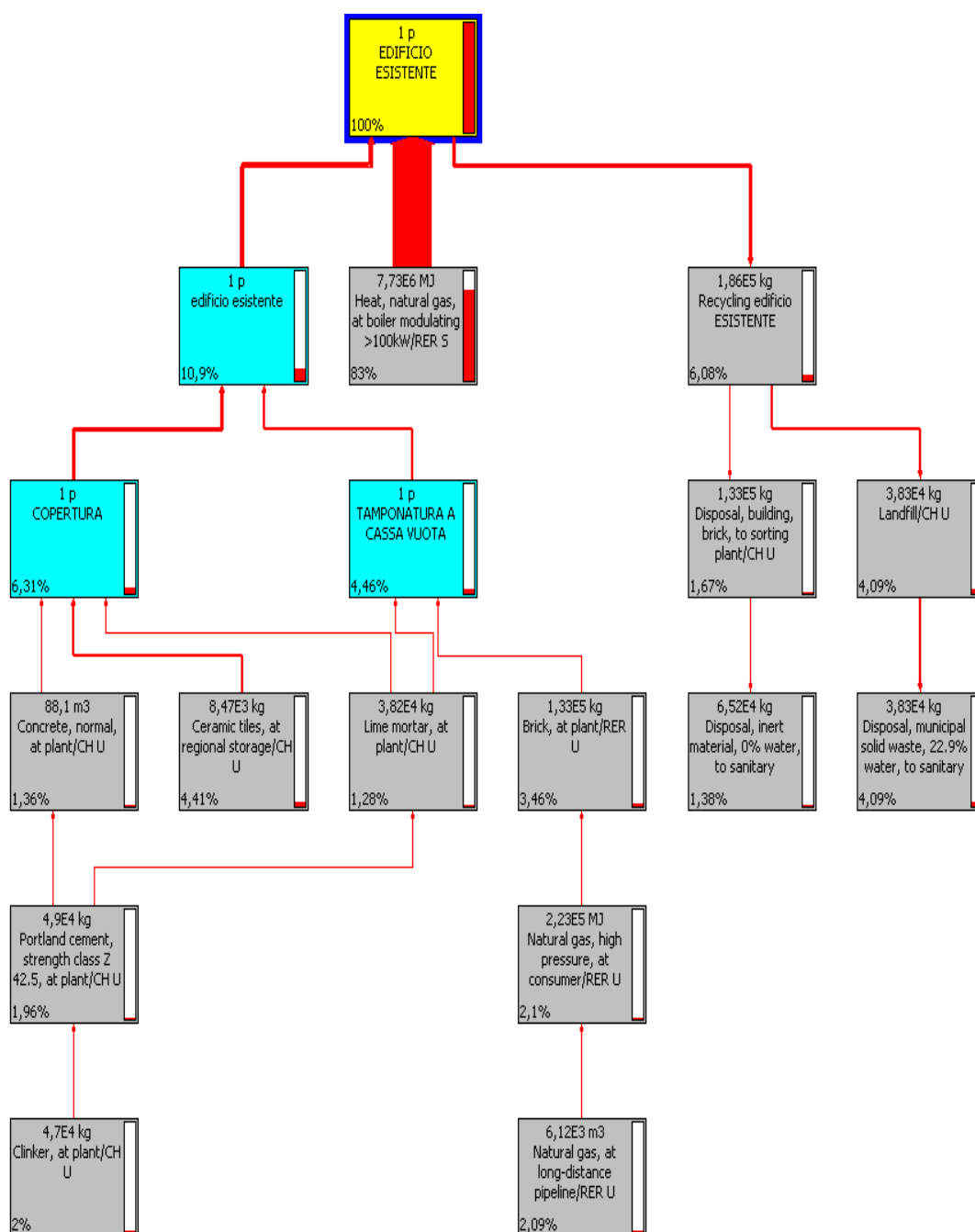


Figura 5.14 Rete del ciclo di vita dell'edificio "non verificato" (sono esclusi i processi con contributo all'impatto inferiore allo 0,87%).

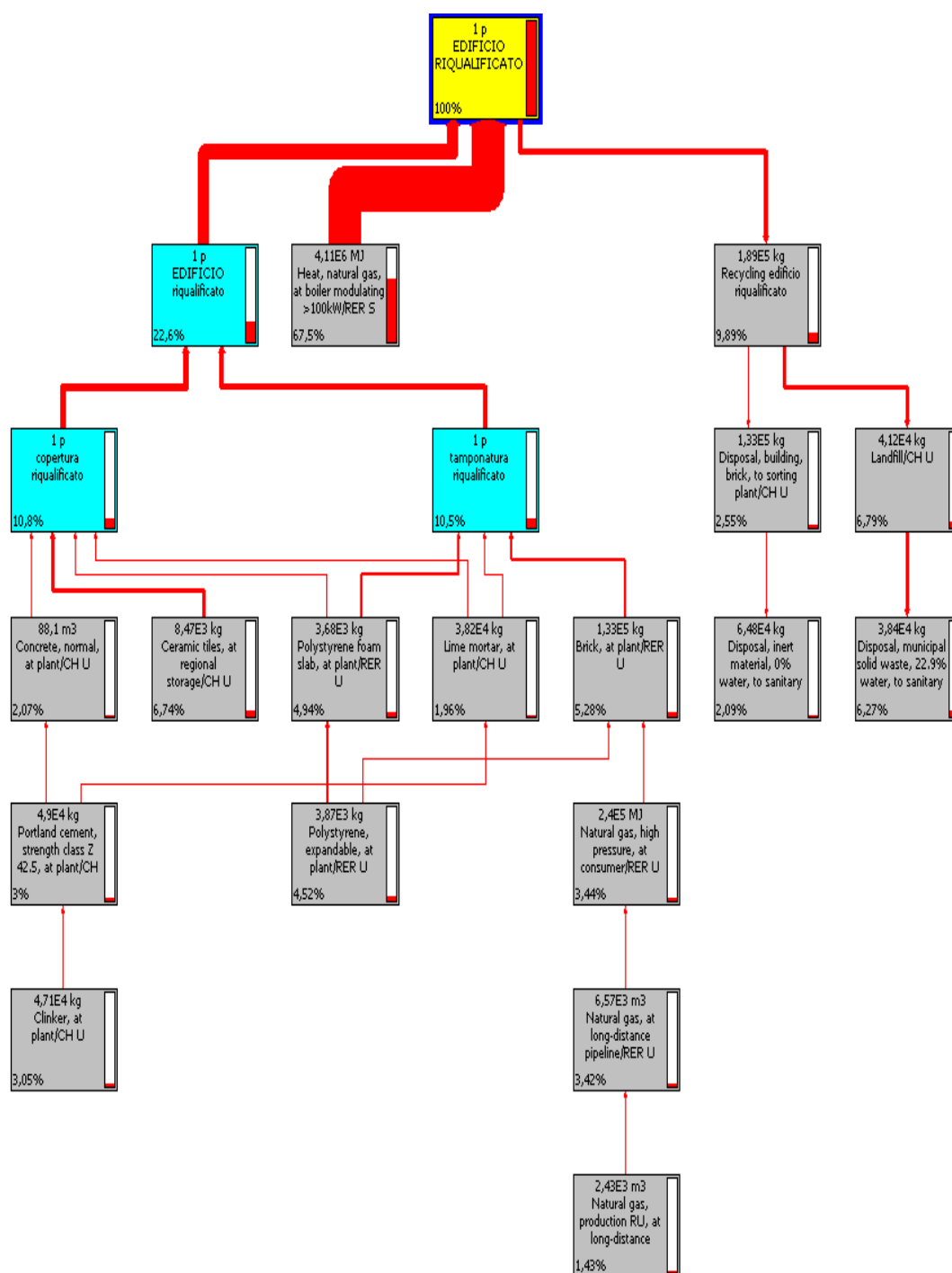


Figura 5.15 Rete del ciclo di vita dell'edificio "riqualificato" (sono esclusi i processi con contributo all'impatto inferiore allo 1,4%).

Si intende sottolineare ancora l'attenzione sul fatto che l'impatto maggiore è quello prodotto durante la fase di esercizio del ciclo di vita del generico edificio. Esso varia, come si può osservare nei diagrammi di flusso, per le diverse tipologie di edificio.

Dalla fase di caratterizzazione (fig. 5.16) dell'analisi comparativa tra i due modelli di edifici, si evince che l'edificio "non verificato" ha impatti maggiori per otto categorie di impatto su un totale di undici; gli impatti rimangono inferiori solo per le categorie *sostanze cancerogene, ecotossicità e risorse minerali*.

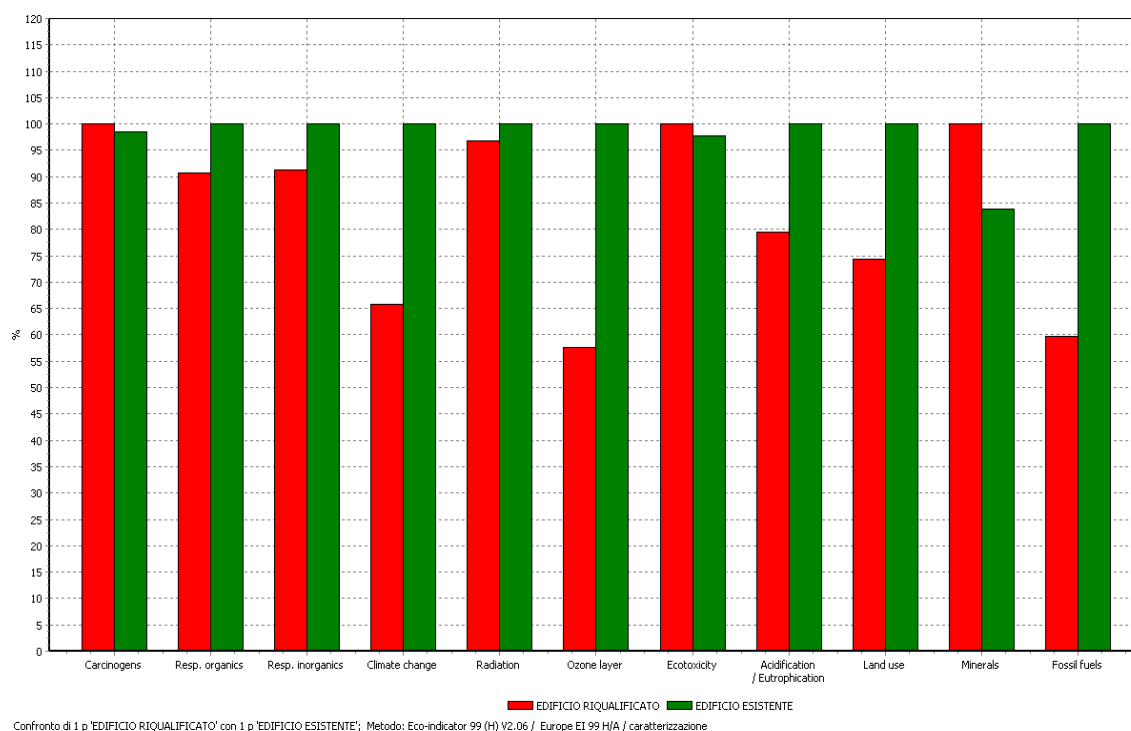


Figura 5.16 Fase di caratterizzazione del confronto tra i due edifici

Lo stesso risultato, aggregato in categorie di danno, è visibile anche dalla fase di pesatura riportata in figura 5.17. Inoltre, è possibile leggere che, per tutti i prototipi, il danno maggiore in assoluto si ha nel consumo di risorse, seguito dai danni alla salute umana ed, infine, alla qualità dell'ecosistema.

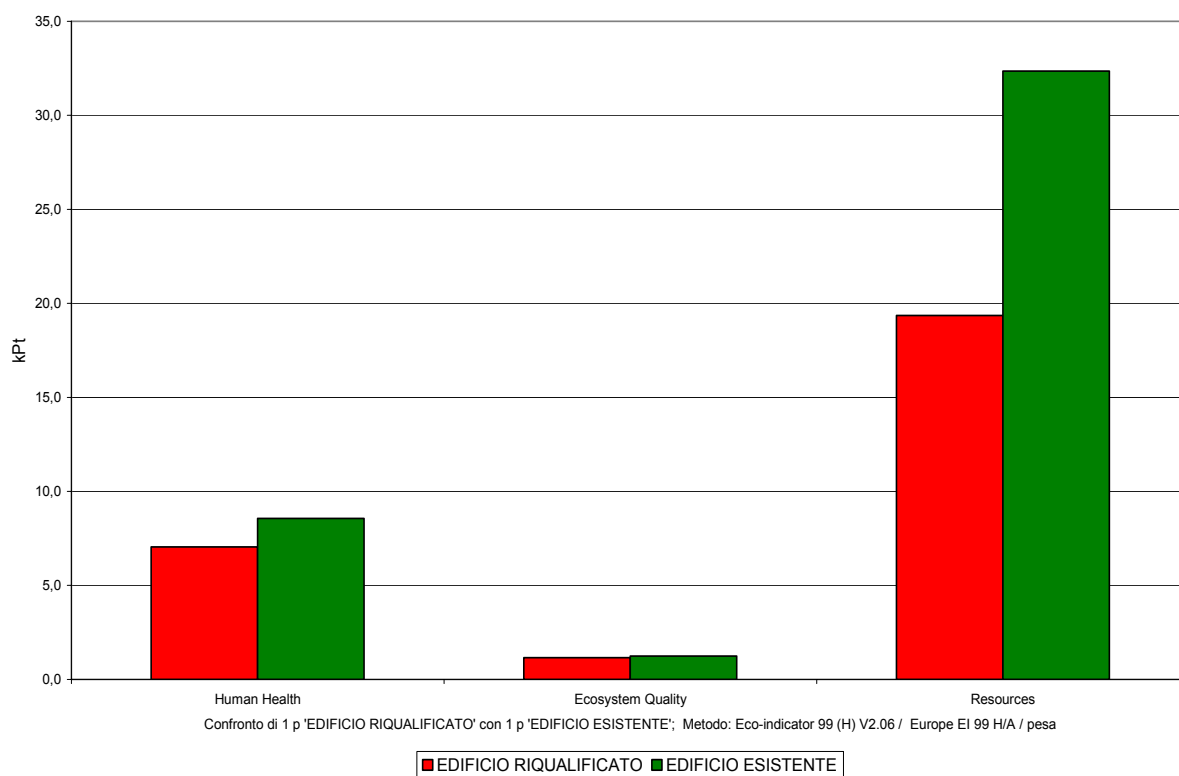


Figura 5.17 Fase di pesatura del confronto fra i due edifici.

Dopo questa analisi comparativa tra le due tipologie di edificio, è interessante vedere in dettaglio ed in che maniera i processi, inclusi nell'inventario, contribuiscono agli impatti per ciascuno degli edifici analizzati.

Si riportano, a titolo di esempio, gli impatti relativi all'edificio "non verificato" dato che in linea di principio, la qualità dei risultati è la stessa anche per l'altra tipologia.

Il dato relativo ai maggiori impatti in fase d'uso è visibile anche dall'analisi dei risultati provenienti dalla fase di pesatura riportata in figura 5.18 relativa all'edificio "non verificato". Dalla lettura dell'istogramma risulta, infatti che la fase di esercizio, rappresentata dal consumo di gas naturale per il riscaldamento e corrispondente alla parte verde del diagramma, è quella che dà il contributo maggiore all'impatto. In particolare influisce arrecando un danno alla categoria consumo di risorse pari circa a 30400 Pt, così come riportato in tabella 5.2.

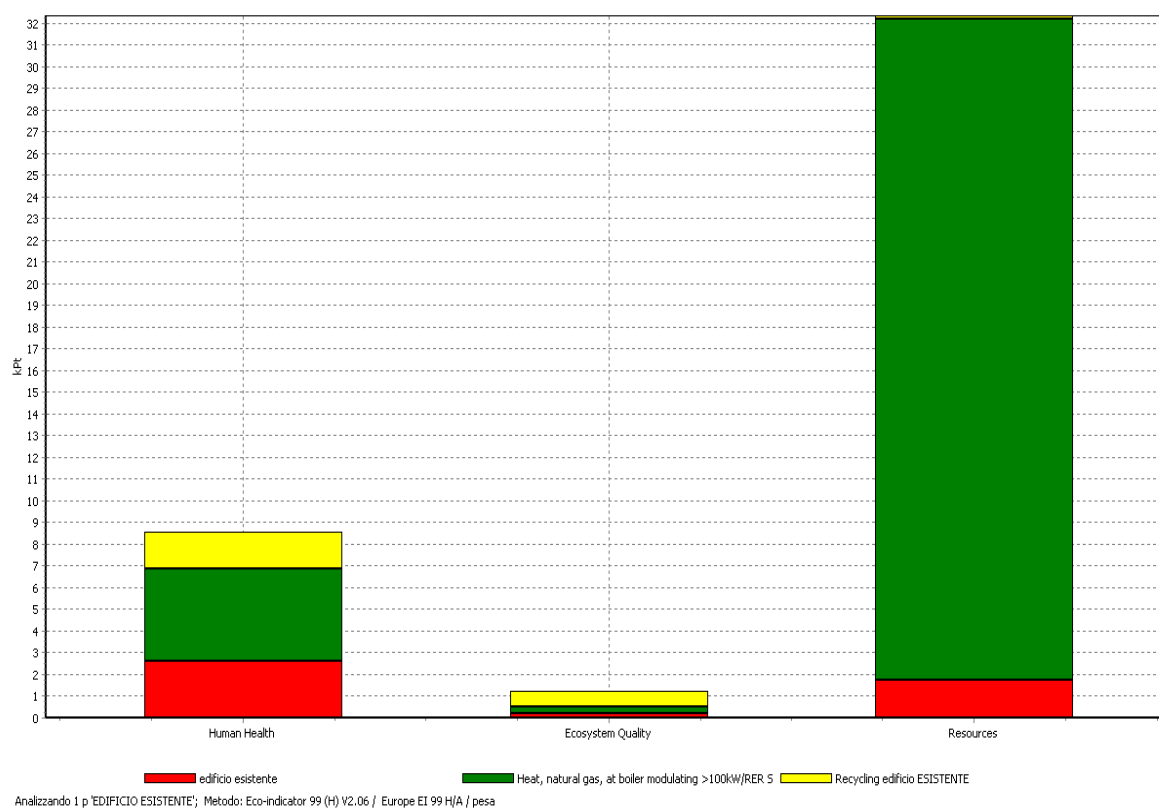


Figura 5.18 Impatti relativi alla fase di pesatura per l'edificio "non verificato"

Tabella 5.2 Impatti pesati relativi all'edificio "non verificato" espressi in categorie di danno (metodo Eco-indicatori 99).

CATEGORIA DI DANNO	UNITÀ	TOTALE	PRODUZIONE	USO	DISMISSIONE
Totale	Pt	42200	4590	35000	2560
Human Health	Pt	8570	2630	4240	1690
Ecosystem Quality	Pt	1240	203	323	713
Resources	Pt	32400	1750	30400	155

I processi di produzione impattano sulle categorie *salute umana* e *consumo di risorse*, rispettivamente con 2630 e 1750 Pt; la fase di dismissione provoca i danni maggiori sulla categoria *salute umana* con 1690 Pt.

La lettura dell'istogramma in figura 5.19, dove sono riportati i danni per ciascuna delle categorie di impatto e per le tre fasi del ciclo di vita dell'edificio "non verificato", permette di notare che il maggior utilizzo di risorse fossili è relativo alla fase d'uso seguita da quella di produzione dei materiali, mentre, il maggior contributo all'emissione di sostanze cancerogene ed aumento dell'ecotossicità deriva dalla fase di dismissione dell'edificio.

La produzione dei materiali utilizzati nella realizzazione dell'edificio comporta anche un impatto non trascurabile sull'emissione di sostanze inquinanti che provocano malattie respiratorie da sostanze inorganiche.

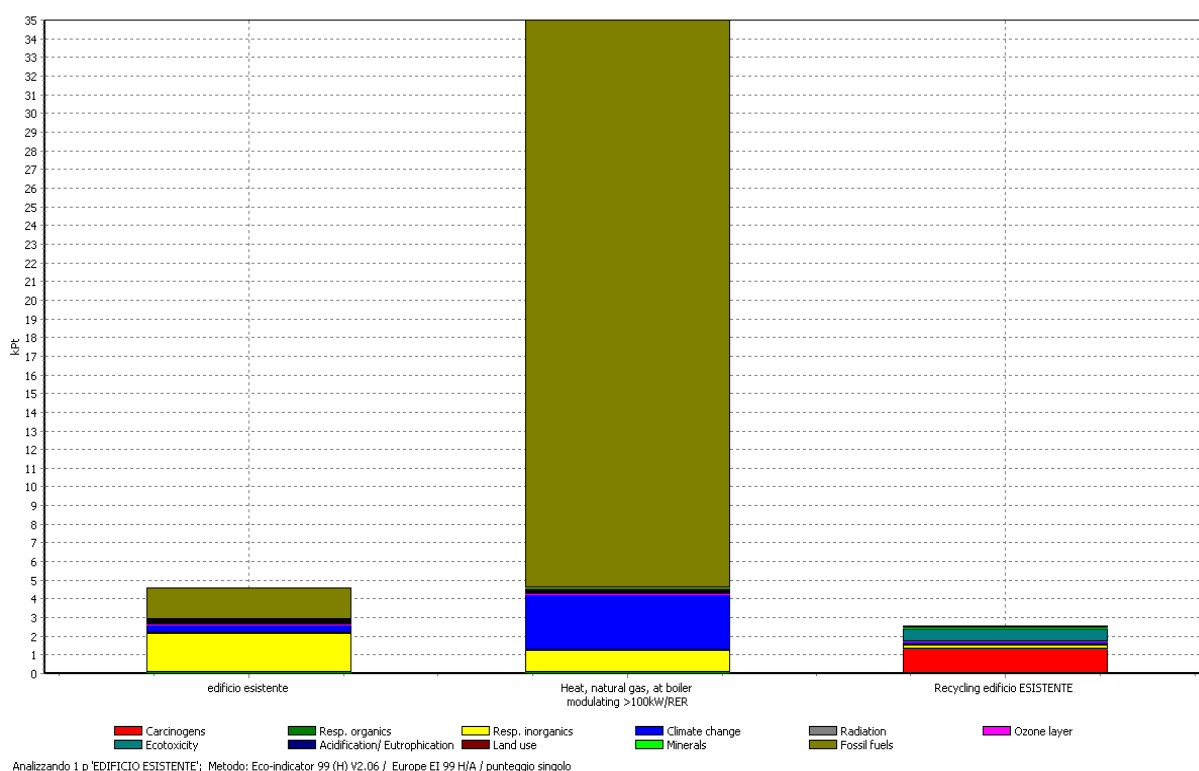


Figura 5.19 Punteggio singolo relativo al ciclo di vita dell'edificio "non verificato"

A questo punto è interessante approfondire l'analisi. Passando ad un livello di maggiore dettaglio, gli effetti relativi ai cambiamenti climatici, così come quelli relativi ad altre categorie di danno, possono essere esplicitati per sostanze emesse responsabili del danno stesso. In figura 5.20 viene riportato il diagramma con i contributi, espressi in Pt, delle principali sostanze responsabili dei cambiamenti climatici per l'edificio "non verificato". Il contributo maggiore è rappresentato dalle emissioni di anidride carbonica [40,42].

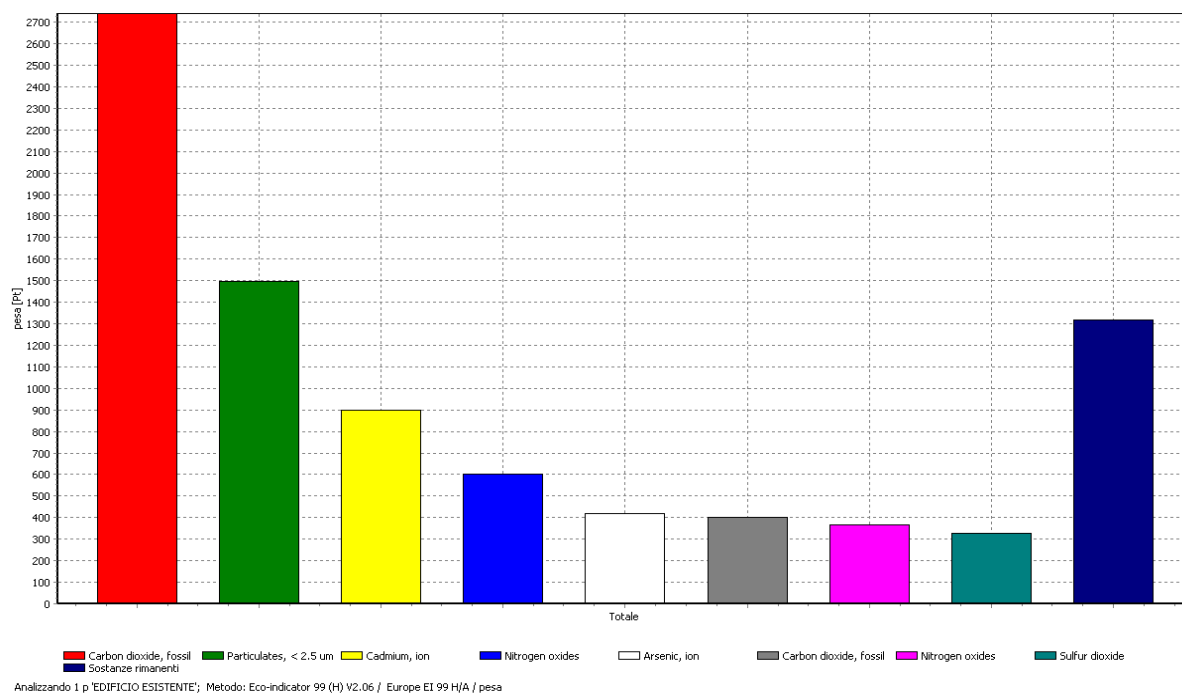


Figura 5.20 Sostanze maggiormente responsabili dei cambiamenti climatici nel ciclo di vita dell'edificio "non verificato"

5.7 Considerazioni finali

In definitiva, l'analisi dei carichi ambientali derivanti dalla comparazione dei due edifici evidenzia come, fondamentalmente, gli impatti associati all'intero ciclo (realizzazione, uso e smaltimento) sono diversi a seconda della tipologia di edificio analizzato. In particolare, sono complessivamente più bassi nel caso dell'edificio "riqualificato" rispetto a quello "non verificato".

Questo dato consente di far riflettere sull'importanza degli interventi rivolti al risparmio energetico in fase d'uso che sebbene incidano in maniera quasi irrilevante in fase di produzione, presentano grossi vantaggi in fase d'uso.

Un ulteriore vantaggio si otterrebbe dalla fase di fine vita dei materiali che potrebbe rappresentare un danno ambientale negativo qualora si preveda un corretto riciclaggio di tutti i materiali. Il problema del riutilizzo è legato essenzialmente ad una corretta progettazione che deve prevedere l'effettiva possibilità di recupero del materiale. Gli scenari ipotizzati in questo caso studio prevedono il conferimento in discarica di grossi quantitativi di materiali. Concludendo, risulta quindi necessario progettare e costruire in modo sostenibile ed "eco-compatibile" e l'Analisi del ciclo di vita risulta un valido strumento per diffondere questa cultura.

Capitolo 6:

Strumenti per agire e valutare: i protocolli di valutazione ambientale

Il tema della sostenibilità energetica ambientale applicato all'edilizia può essere affrontato secondo un duplice approccio: il primo è l'Analisi del Ciclo di Vita, di cui si è discusso ampiamente nel capitolo 5, il secondo sta trovando riscontro su scala internazionale all'interno di procedure di carattere volontario (condivise cioè fra committenti e progettisti) denominate *Rating System*, le quali fanno riferimento, ove possibile, alle normative tecniche e ai codici di buona pratica esistenti nei diversi paesi in cui vengono applicate. Utilizzare i *Rating System*, comporta la necessità sia di affrontare calcoli complessi che richiedono competenze specifiche, sia di verificare successivamente che il processo edilizio si sviluppi in coerenza con gli obiettivi progettuali volti alla sostenibilità, per questa ragione si inseriscono nella pratica della progettazione, della costruzione e della gestione del costruito nuove figure professionali in grado di risolvere e di affrontare dalla fase di progetto a quella di esercizio, le questioni connesse alla valutazione e alla misura delle prestazioni energetiche di un edificio.

Queste certificazioni ambientali applicate al settore delle costruzioni rivestono un ruolo fondamentale in quanto possono contribuire in modo significativo all'adozione di corrette pratiche di gestione ambientale da parte delle imprese del settore, oltre che alla diffusione di materiali edili a basso impatto ambientale presso i consumatori sia pubblici che privati [52].

In questo capitolo saranno descritte le principali pratiche di valutazione della costruzione sostenibile: il Protocollo ITACA utilizzato in numerose regioni italiane, il sistema di valutazione anglosassone BREEAM, quello statunitense LEED e il LEED Italia.

6.1 Le pratiche per la valutazione della sostenibilità energetica: i "Rating System"

Il contenimento del consumo e l'uso efficiente di risorse nel progetto urbanistico ed edilizio sono quantificati da corrette procedure di certificazione realizzata mediante l'attribuzione di

crediti per ciascuno dei requisiti caratterizzanti la sostenibilità di un edificio. Dalla somma dei crediti ricevuti dipende il livello di certificazione che attesta la prestazione raggiunta in termini di sostenibilità ambientale.

Si riportano nella tabella che segue (tabella 6.1) gli strumenti di valutazione a punteggio esistenti su scala mondiale:

Tabella 6.1 Strumenti di valutazione a punteggio esistenti su scala mondiale

Strumento di valutazione ambientale degli edifici	Ente	stato	anno
BREEAM – BRE Environmental Assessment Method	BRE – Building Research Establishment	Inghilterra	1990
HQE - Haute Qualité Environnementale Assosation	HQE, CSTB, Qualitel	Francia	1990
LEED - Leadership in Energy and Environmental Design	U.S. Green Building Council	USA	1993
GBTool – Green Building Tool	Green Building Challenge	internazionale	1998
SBTool – Sustainable Building Tool	iiSBE (International Initiative for a Sustainable Built Environment)		
Total Quality Assessment Oesterreichisches	Oekologie-Institut	Austria	2000
Protocollo Itaca	Itaca – Istituto per l’Innovazione e la Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale	Italia	2001
SB100	ANAB – Associazione Nazionale di Architettura Bioecologica	Italia	
CASBEE – Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency	JaGBC - Japan Green Build Council	Giappone	2001
SBTool VERDE	iiSBE	Spain	
SBTool PT/MARS	iiSBE Portugal	Portogallo	
SBTool CZ	iiSBE Czech Republic	Rep. Ceca	
Eco-bau	Geschäftsstelle eco-bau	Svizzera	
Green Star	GBCA – Green Building Council	Australia	2002
DGNB – Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen	German Sustainable Building Council	Germania	2008

Tra le principali procedure proposte a scala internazionale, quelle a cui si fa più riferimento sono :

- ✓ **BREEAM:** il British Research Establishment’s Environmental Assessment Method sviluppato da BRE, in Gran Bretagna è il primo e più noto metodo di valutazione a punteggio [54];
- ✓ **PROTOCOLLO ITACA:** è lo strumento di valutazione nazionale italiano, creato dal Gruppo di lavoro Interregionale istituito nel Gennaio 2002 [60,61];
- ✓ **LEED:** il Leadership in Energy and Environmental Design, è stato sviluppato da U.S.Green Building Council, negli Stati Uniti [58];
- ✓ **LEED NC:** è la versione italiana del Leadership in Energy and Environmental Design, in vigore in Italia dal 10 Aprile 2010 [62].

In generale, ciascuna procedura contiene una checklist che, in termini energetici prende in considerazione e valuta:

- la riduzione di domanda di energia per climatizzazione invernale ed estiva;
- la riduzione della domanda di energia per illuminazione artificiale;
- la produzione di energia a partire da fonti rinnovabili;
- la riduzione delle emissioni inquinanti;
- l'impatto della costruzione sull'ambiente in cui è inserita.

Tutti i metodi presentati sono schematizzabili attraverso una struttura mostrata in figura 6.1:



Figura 6.1 Schematizzazione dei metodi rating system

Come mostrato in figura, il primo passo verso la valutazione di impatto ambientale di un edificio è sempre la “definizione dei parametri di valutazione” che vengono raggruppati per aree specifiche, gruppi di criteri e requisiti. Per ciascuno dei parametri sono stati definiti degli indici quali/quantitativi specifici che rendono possibile la valutazione della prestazione dell’edificio considerato rispetto ai parametri stessi. È importante sottolineare che le singole valutazioni vengono di norma “pesate” in base all’importanza relativa attribuita al parametro; infine, attraverso l’ausilio di fogli di calcolo opportunamente predisposti si ottiene una valutazione complessiva delle performance energetico e/o ambientali.

6.2 Il sistema di certificazione BREEAM

Il Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) [53] è un sistema britannico di valutazione ambientale specifico per diverse tipologie di edificio e fornisce un sistema di qualità indipendente, valutato dai professionisti, che è conforme ai sistemi ISO 9001 per la revisione e valutazione delle prestazioni. Tale protocollo è stato sviluppato da BRE (British Research Establishment).

Il sistema viene impiegato su base volontaria ma, in Inghilterra, ha ottenuto un successo rilevante al punto che più del 25% dei nuovi edifici per uffici sono stati valutati attraverso la sua applicazione.

A partire dal 1990, anno di debutto del BREEAM con la prima versione relativa agli edifici per il terziario, il BRE ha adeguato lo schema del metodo a una serie di tipologie edilizie: uffici, scuole ed edifici per l'istruzione, strutture sanitarie, industriali, giuridiche, residenziali, istituti carcerari ed edifici commerciali.

6.2.1 Le categorie e il sistema di attribuzione del punteggio

Secondo quanto descritto dal BREEAM Multi-residential 2008 – BES 5064, i crediti attraverso i quali un edificio viene valutato sono raggruppati in una serie di macro-aree di valutazione:

- 1) **Gestione e controllo del processo:** definizione delle attività di commissioning, di valutazione degli impatti ambientali del cantiere sul sito, della security;
- 2) **Salute e benessere:** condizioni ambientali interne con riferimento ai temi di comfort acustico, termico, visivo e IAQ;
- 3) **Energia:** consumi energetici ed emissioni di CO₂ in ambiente;
- 4) **Trasporti:** accessibilità al sito e trasporti;
- 5) **Acqua:** uso efficiente della risorsa acqua;
- 6) **Materiali:** aspetti ambientali legati alla scelta e all'uso di materiali;
- 7) **Rifiuti:** produzione di rifiuti e attività di riciclo;
- 8) **Uso del suolo:** scelta del sito, valorizzazione della biodiversità;
- 9) **Inquinamento dell'aria e dell'acqua;**
- 10) **Innovazione:** uso di tecnologie innovative.

Queste categorie sono poi divise ulteriormente a seconda della tipologia di edificio valutato. La categoria gestionale riguarda sia come il processo di progettazione e costruzione viene gestito, sia come l'edificio è stato progettato tenendo conto della sua funzione futura.

Riguardo l'assegnazione dei crediti, è possibile fare una distinzione tra quelli assegnati durante la fase di progettazione e quelli conferiti durante la fase di costruzione. In particolare, nella fase di progettazione, possono essere assegnati crediti consultando coloro che utilizzeranno l'edificio, considerando la manutenzione e tematiche di sicurezza e guardando al costo di vita utile delle diverse opzioni. Durante la fase di costruzione, invece si conferiscono crediti se le imprese limitano l'impatto dei lavori sull'ambiente circostante, come ad esempio minimizzare l'inquinamento di aria e acqua, il monitoraggio dell'energia utilizzata, delle emissioni di anidride carbonica e l'uso dell'acqua stessa. Alla fine dei lavori di costruzione, inoltre alcuni crediti vengono dati se il collaudo viene affidato a un'impresa competente.

Per assicurare che l'edificio venga valutato correttamente esistono dei manuali d'uso da consultare sia per i tecnici competenti, sia per le imprese di gestione e manutenzione e per gli utenti, che garantiscono l'assegnazione di crediti corretti.

La salute e il benessere degli occupanti di un edificio è un elemento che, come spesso dimostrato da varie prove, ha un impatto sulla produttività futura. Fornire un piacevole ambiente di lavoro è una caratteristica fondamentale di un edificio sostenibile, come già scritto precedentemente.

Pertanto, è importante sottolineare che il sistema britannico BREEAM fornisce crediti se l'edificio include tra le sue caratteristiche:

- buoni livelli di illuminazione naturale e di accesso ad aperture verso l'esterno;
- buona qualità di illuminazione artificiale;
- buona qualità dell'aria e possibilità di ventilazione naturale;
- controllo da parte degli utenti della temperatura e dell'illuminazione naturale;
- buoni livelli di acustica interna.

Strategie di illuminazione e ventilazione efficienti possono contribuire al guadagno di crediti nella categoria Energia. Altri crediti sono guadagnati se si valuta che l'edificio ha bassi livelli di emissione di biossido di carbonio, o per l'inclusione di tecnologie a basso o zero emissione di anidride carbonica come i boiler a biomassa o i pannelli fotovoltaici. Infine, crediti vengono anche assegnati per l'inclusione del monitoraggio di energia e per le specificazioni di ascensori e sistema di illuminazione esterna efficiente.

Anche la posizione di un edificio ha un impatto sulle sue prestazioni ambientali. Ciò influisce su altre due categorie: trasporti e utilizzo del suolo ed ecologia. Gli edifici che hanno un facile accesso a sistemi di trasporto pubblico o che incoraggiano sistemi di circolazione sostenibile come l'utilizzo di biciclette o camminare, e che nel contempo scoraggiano l'utilizzo individuale della macchina, ottengono un punteggio molto alto in questa categoria.

Riguardo la categoria utilizzo del suolo ed ecologia, la posizione dell'edificio influisce relativamente al numero di crediti se l'edificio stesso viene costruito su un territorio reclamato e/o contaminato. La scelta di un'area a basso valore ecologico e che non subirà un cambio in negativo, una volta costruito l'edificio, porterà a un ulteriore numero di crediti. Altri crediti sono ottenibili per la valorizzazione del potenziale ecologico di un'area e per la gestione a lungo termine dell'impatto dell'edificio sull'ecologia dell'area stessa.

La riduzione dell'uso di acqua al di sotto della pratica comune, per esempio tramite l'installazione di wc, rubinetti e docce con flusso controllato così come la raccolta di acqua piovana, aiuta ad accumulare crediti. Se l'uso dell'acqua è misurato tramite l'utilizzo di un contatore che controlla la presenza di perdite e chiude l'approvvigionamento di acqua al wc quando non utilizzato, porta alla somma di ulteriori crediti.

È opportuno sottolineare che l'organo BRE non solo ha sviluppato il sistema BREEAM, ma anche la "Green Guide to Specification". Questa guida valuta i materiali da costruzione comuni usati nei pavimenti e nelle loro finiture, nelle pareti, nelle finestre, nei tetti, nell'isolamento, nella protezione di confine e nelle opere esterne per capire la loro prestazione ambientale. La Green Guide usa un approccio basato sul ciclo di vita utile e valuta i materiali dalla loro estrazione alla loro lavorazione, fino al loro utilizzo e smaltimento. I materiali hanno un punteggio da A+ fino a E, dove A+ simbolizza il minore impatto.

Risulta chiaro che, gli edifici che massimizzano l'uso dei materiali "ecologici" otterranno un punteggio maggiore. In aggiunta alla specificazione di materiali con un impatto ambientale ridotto, i crediti sono anche assegnati ai materiali che vengono procurati responsabilmente, per esempio il legno FSC o prodotti simili.

Gli altri materiali dovrebbero essere estratti e lavorati da compagnie che operano sotto la certificazione ISO 14001. Si incoraggia inoltre il riuso di strutture e materiali già esistenti.

L'ultima categoria si occupa della riduzione del rischio di inquinamento. Il modo in cui l'edificio riduce il suo impatto su una serie di tipi di inquinamento è soggetto a valutazione. Questi includono il riscaldamento globale, il rischio di inondazioni, inquinamento di fonti idriche, rumore e inquinamento luminoso notturno.

Un edificio può acquisire crediti "extra" se è a emissioni zero, o se è dotato di alti livelli di illuminazione diurna e una percentuale significativa di materiali A+ o recuperati da fonti sostenibili. Sono anche disponibili crediti aggiuntivi quando un professionista accreditato BREEAM è coinvolto fin dall'inizio della fase progettuale. Il professionista fornisce supporto durante tutta la fase di progettazione e costruzione per far sì che l'edificio raggiunga gli obiettivi prefissati. Il professionista completa un pre-esame del progetto incontrando i progettisti e il committente e verificando le varie problematiche. Insieme, poi, decidono se i vari crediti possono essere raggiunti e un obiettivo di classificazione viene così stabilito. Dopo questo passaggio, il professionista collabora con il team di progettazione e costruzione

per far in modo che tale obiettivo venga raggiunto. Questo fa sì che il team di progettazione si focalizzi e che i principi di sostenibilità siano incorporati fin dall'inizio nell'edificio.

Gli edifici vengono valutati in due fasi, alla fine della progettazione e alla fine della costruzione, ma sempre con i medesimi criteri. Sommando i crediti acquisiti per ciascuna categoria si ottiene uno specifico livello di certificazione. I livelli di certificazione possono essere, come mostrato in tabella 6.2, con i relativi intervalli: non superato, accettabile, superato, buono, molto buono, eccellente ed eccezionale.

Tabella 6.2 Classificazione BREEAM

Assessment score	Assessment rating	Star rating
< 10	Unclassified	—
10 – 25	Acceptable	★
25 – 40	Pass	★★
40 – 55	Good	★★★
55 – 70	Very good	★★★★
70 – 85	Excellent	★★★★★
> 85	Outstanding	★★★★★★

Il conseguimento del livello out standing consente il rimborso delle procedure di certificazione.

Di seguito viene riportato il fac-simile di una scheda di valutazione BREEAM, fig. 6.2:

BREEAM

BREEAM Category

BREEAM Scheme and version
BREEAM - Retail - 2008

Materials & Waste
MAT1 - Materials specification

Issue reference & title
MAT1 - Materials specification

Total no. of credits available
4

Requirements identified on type of project and stage of assessment

Relates to issues that are assessed on a similar basis in the Code for Sustainable Homes.

Rating level: PASS, GOOD, VERY GOOD, EXCELLENT & OUTSTANDING

Rating Level	P	G	VG	EX	O
Min. credits to achieve rating	-	-	1	2	2

No. of credits required to reach each rating level

Aim and description of issue

Criteria for awarding credits

Requirements to achieve available credit(s)

Element	Fit Out only
External Walls	Internal Walls
Windows	Ceiling and ceiling finishes
Roof	Floor finishes
Upper Floor Slabs (All floor slabs except ground floor)	-

The calculator awards points for each element according to their Green Guide rating as follows:

Green Guide Rating	Points Awarded
A+	3
A	2
B	1
C	0.5
D	0.25
E	0

The calculator translates the total number of points in to BREEAM credits as follows:

Total Points	Credits
2	1
4	2
8	3
10	4

Compliance notes to support above requirements

Compliance notes

New Build
There are no additional or different requirements to those outlined above specific to new build projects.

Refurbishment
For each element that is reused in situ, BREEAM allocates an 'A+' rating and these elements should also be included in the 'A+' rated areas in the AWT calculator. New elements specified as part of a refurbishment project, e.g. windows, must be assessed as outlined above.

Shell Only
There are no additional or different requirements to those outlined above specific to shell only assessments.

Fit Out Only
Based on the high environmental impact of floor finishes covering these elements there 2 credits available.

Finding exact Green Guide Ratings
Whilst exact matches in specifications are not always found, it should be possible to identify a similar specification and use its rating for the purposes of assessment. Where no similar specification can be found seek guidance from BRE on the appropriate rating.

Schedule of Evidence Required

Item	Design Stage	PCR Stage
Item 1	<ul style="list-style-type: none"> Specification confirming: <ul style="list-style-type: none"> A detailed description of the each element and its constituent materials. Design drawings or specification detailing: <ul style="list-style-type: none"> Location and area (m²) of each considered element. 	<ul style="list-style-type: none"> Assessor's building/site inspection and photographic evidence confirming: <ul style="list-style-type: none"> Element in-situ (where possible) And: <ul style="list-style-type: none"> As built drawings and, where relevant, written design team confirmation of any changes to materials specification.

Evidence responses/Ag assessor to demonstrate compliance

Figura 6.2 Fac-simile scheda di valutazione BREEAM

6.2.2 Procedura di accreditamento e di certificazione BREEAM

L'organo che emette la certificazione è il BRE. Il certificato rilasciato dal BRE, è da una parte, una garanzia della qualità ambientale del manufatto edilizio e, dall'altra, si configura per l'impresa come portatore di specifici vantaggi: un fattore di successo commerciale che risponde agli attuali atteggiamenti dei consumatori; una riduzione dei costi relativi alla prevenzione e agli incidenti; una credenziale ambientale dell'impresa che è sicuramente in grado di generare profitti

Il BRE riconosce una figura professionale denominata BREEAM *Accredited Professional*, il cui compito è fornire un supporto a partire dal concept fino alla cantierizzazione. La presenza di tale figura all'interno del processo viene riconosciuta in termini di crediti per la selezione innovazione (ad eccezione degli schemi di protocollo destinati ad edifici residenziali).

Il processo di certificazione si articola in cinque fasi :

1. registrazione *on-line* del progetto, pagamento della tassa di iscrizione e definizione del protocollo da utilizzare in ragione alla destinazione d'uso.
2. applicazione di uno strumento di prevalutazione (*Pre- Assessment Estimator*), accessibile *on line*, grazie al quale è possibile eseguire una stima preliminare dei crediti conseguibili.
3. definizione del livello di sostenibilità che si desidera conseguire.
4. assegnazione al gruppo di progetto da parte del BRE di un professionista accreditato (BREEAM AP) che rilascerà un attestato, che riconoscerà la sua presenza nel processo e quindi ne attesterà la qualità.
5. valutazione del progetto da parte del BRE in due fasi (DS E PCS) ed eventuale rilascio del certificato.

La certificazione avviene accorpando due livelli:

- **Il Design Stage (DS):** si tratta di una valutazione in fase di progetto che non costituisce nessuna certificazione, ma solo una prima verifica;
- **Il Post-Construction Stage:** in questa fase viene rilasciato l'eventuale attestato di certificazione perché si valuta l'edificio "as built" come costruito e non più come progettato.

In figura 6.3 è riportato il palazzo vincitore della categoria Breeam Award 2010 della categoria uffici.



Figura 6.3 Horizon House a Bristol (UK), vincitore del BREEAM Award 2010 nella categoria uffici.

6.3 Il sistema di certificazione ITACA

Il Protocollo ITACA è il sistema di valutazione del livello di sostenibilità ambientale degli edifici approvato dalla Conferenza dei Presidenti delle Regioni Italiane nel gennaio del 2004. È basato sulla metodologia *SBMethod* messa a disposizione da *iiSBE Italia*¹⁴ che, insieme a ITC-CNR¹⁵ e ITACA¹⁶, gestisce il Protocollo a livello nazionale.

Alla base di questo protocollo c'è il processo di ricerca internazionale denominato Green Building Challenge che, a partire dal 1996, si è posto come obiettivo la definizione di uno standard di valutazione degli edifici, che fosse comune a livello internazionale e insieme adatto a una completa contestualizzazione rispetto ai singoli ambiti locali di applicazione.

L'esito di tale processo di ricerca è stata la definizione di una metodologia nota come *SBMethod*. Principio fondamentale dell'*SBMethod* è la quantificazione, attraverso un punteggio di prestazione, del livello di sostenibilità di una costruzione rispetto alla prassi costruttiva tipica della regione geografica di riferimento, definita come benchmark.

Insieme ad oltre 20 Paesi, anche l'Italia ha aderito al processo di ricerca Green Building Challenge e, nel 2000, è stata sviluppata e testata la prima applicazione della metodologia al contesto italiano dando vita allo strumento operativo *SBTool IT* la cui prima versione è del 2002 e fu presentata in occasione della conferenza mondiale Sustainable Building a Oslo.

¹⁴ *iiSBE Italia*: è un'organizzazione non - profit volta alla diffusione di politiche, metodologie e strumenti per la promozione di un ambiente costruito sostenibile. L'associazione è una diramazione di *iiSBE, international initiative for a Sustainable Built Environment*, e ne condivide le medesime finalità.

¹⁵ *L'Istituto per le Tecnologie della Costruzione del Consiglio Nazionale della Ricerca (ITC-CNR)* è il partner scientifico principale di *iiSBE Italia*.

¹⁶ *Itaca (Istituto per l'innovazione e Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale)* è l'organo tecnico della Conferenza delle Regioni e delle Province autonome italiane in materia di appalti pubblici e, attraverso il gruppo di lavoro interregionale per la bioedilizia, opera nel campo della sostenibilità ambientale degli edifici.

L'SBTool 2002 residenziale può essere considerato la matrice del Protocollo ITACA. Il Protocollo Itaca è un sistema di valutazione della sostenibilità degli edifici qualitativo (sistema a punteggio - Rating Systems) e prevede una strutturazione di un framework a livelli gerarchici:

- aree di valutazione;
- categorie;
- criteri.

Le aree di valutazione tengono in considerazione le principali problematiche ambientali quali la qualità del sito, il consumo di risorse, i carichi ambientali, la qualità dell'ambiente indoor, la qualità del servizio, gli aspetti economici e sociali, gli aspetti culturali e percettivi. Attraverso la valutazione dei singoli criteri, viene preso in esame un particolare aspetto dell'edificio riferito a uno specifico tema (energia, acqua, materiali, comfort, impatto sul sito, qualità del servizio ecc.) verificando se, per quel determinato aspetto, l'edificio raggiunge l'obiettivo di sostenibilità richiesto e quanto si discosta dalla prassi costruttiva corrente.

I punteggi ottenuti per ciascun aspetto valutato vengono aggregati attraverso una somma pesata fino a definire un unico punteggio finale complessivo.

In particolare, il Protocollo Itaca per l'attribuzione dei punteggi fa riferimento alla seguente scala di valori in cui ogni criterio riceve un punteggio da -1 a 5:

Tabella 6.3 Schema di valutazione del sistema di certificazione Itaca

-1	Rappresenta una prestazione inferiore allo standard industriale e /o alla pratica accettata;
0	Rappresenta la prestazione minima accettabile definita da leggi o regolamenti vigenti nella regione, o nel caso in cui non vi siano specifici regolamenti di riferimento; rappresenta la pratica comune utilizzata nel territorio;
1	Rappresenta un lieve miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti ed alla pratica comune;
2	Rappresenta un moderato miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti ed alla pratica comune;
3	Rappresenta un significativo miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti ed alla pratica comune. È da considerarsi come la pratica corrente migliore
4	Rappresenta un moderato incremento della pratica corrente migliore;
5	Rappresenta una prestazione considerevole avanzata rispetto alla pratica corrente, di carattere sperimentale e dotata di prerogative di carattere scientifico

Più dettagliatamente, in ogni scheda di valutazione è indicato il metodo utilizzato per la definizione della scala prestazionale (o scala di benchmark) con riferimento alla legislazione e normativa vigente e alla letteratura tecnica utilizzata.

La definizione dei valori della scala prestazionale avviene assegnando due livelli e calcolando gli altri per interpolazione lineare. Il primo benchmark definito è sempre quello corrispondente al livello 0, mentre il secondo può essere il livello 3 o il livello 5.

La procedura di definizione dei valori di partenza può essere sviluppata sostanzialmente nelle due modalità chiarite in seguito, a seconda che esista o meno uno specifico quadro legislativo o normativo o un regolamento che fissi dei requisiti minimi per l'indicatore considerato. I benchmark, come gli indicatori, possono essere di tipo quantitativo o qualitativo.

Il livello 0 corrisponde generalmente al requisito minimo richiesto dalla legge o alla pratica costruttiva corrente. Nel caso in cui si fosse legiferato in materia, la procedura di definizione del suo valore risulta relativamente semplice in quanto si basa esclusivamente sull'analisi di leggi, norme e regolamenti vigenti specifici per la prestazione da verificare. Qualora non vi fosse un quadro legislativo di riferimento, invece, la procedura di definizione è più complessa: il valore di riferimento deve essere appositamente calcolato, pertanto si rende necessaria un'analisi approfondita dello stato dell'arte, della pratica costruttiva e delle specifiche politiche di settore, uno studio dei dati statistici nazionali e l'eventuale sviluppo di modelli di regressione al fine di estrapolare i dati non presenti nel campione analizzato. Inoltre può essere necessario effettuare simulazioni ad hoc mediante specifici strumenti di calcolo applicati ad edifici modellizzati rappresentativi del parco costruito, per i quali vengono applicate soluzioni tecnologiche e costruttive definite sulla base della pratica costruttiva corrente. I risultati delle simulazioni dipendono non solo dal tipo di modello dell'edificio costruito, ma anche dai dati climatici e/o ambientali della località in cui si trova e dai profili di gestione e utilizzo impostati, pertanto si rende necessario un ulteriore e fondamentale sforzo di interpretazione dei risultati.

Il livello 3 corrisponde ad un significativo miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti e alla pratica corrente. Nel caso in cui si sia legiferato in materia e qualora la legge preveda valori limite dell'indicatore più restrittivi di quelli in vigore, da applicarsi nel medio periodo, si assegna il livello 3 della scala prestazionale corrispondente a tali limiti. Inoltre è possibile utilizzare i target fissati dalle politiche regionali, nazionali e internazionali. Se non esistono requisiti imposti, invece, il valore del benchmark deve essere appositamente calcolato: trattandosi di un livello di "migliore pratica corrente", le analisi dello stato dell'arte e della realtà esistente devono essere condotte riferendosi a edifici con prestazioni elevate, cercando per quanto possibile di ricavare valori di benchmark oggettivi e generalizzabili. Se si effettuano simulazioni con strumenti quasi - statici o dinamici,

l'approccio da seguire nella scelta dei modelli degli edifici da simulare dovrebbe essere il seguente: si parte da edifici corrispondenti al livello 0, rappresentativi del parco costruito, e si modificano i relativi modelli mediante l'applicazione delle soluzioni architettoniche, costruttive ed impiantistiche migliori disponibili, mirate ad elevarne le prestazioni globali; la scelta delle soluzioni migliorative deve essere effettuata sulla base di uno studio dello stato dell'arte riportato sulla letteratura tecnico-scientifica. La simulazione fornisce come risultato, previa interpretazione dell'esperto, quei valori di riferimento associabili alla miglior pratica corrente.

Il livello 5 corrisponde ad una prestazione considerevolmente avanzata rispetto alla pratica corrente, che può essere di natura sperimentale e può rendere necessario un ingente investimento economico iniziale. Nel caso in cui si sia legiferato in materia e qualora la legge preveda valori limite particolarmente restrittivi, o da applicarsi entro un lasso di tempo relativamente lungo, si assegnano al livello cinque della scala di benchmark tali valori. Inoltre è possibile utilizzare i target fissati dalle politiche regionali, nazionali e internazionali.

Se non esistono indicazioni di legge o politiche di questo tipo, il benchmark deve essere calcolato; la complessità della procedura di definizione di un target così elevato è data dal fatto che allo stato dell'arte esistono pochissimi edifici con prestazioni energetiche e ambientali associabili al livello 5, e quindi un'analisi del parco costruito può risultare poco significativa.

Tuttavia vi sono casi in cui risulta più immediato definire tale livello: ad esempio, considerando l'indicatore relativo alle emissioni effetto serra prodotte annualmente per l'esercizio dell'edificio, al livello 5 può essere associata una configurazione ad emissioni zero.

Le caratteristiche di trasparenza e oggettività di valutazione di tale strumento, la natura prestazionale e non prescrittiva dei suoi criteri di valutazione, l'aderenza alla normativa tecnica nazionale dei metodi di calcolo e la semplice comunicazione del risultato finale sono gli aspetti che, nel 2002, hanno indotto l'associazione delle Regioni Italiane ad adottare la metodologia SB come base per la realizzazione di uno strumento di valutazione di natura pubblica e di riferimento nazionale: nasce così il Protocollo ITACA.

L'ultimo "aggiornamento" della versione nazionale del Protocollo è datato aprile 2011 mentre sono presenti una serie di versioni regionali, che fanno però riferimento al protocollo ITACA 2009, tra le quali quelle di: Piemonte, Liguria, Toscana, Marche, Lazio, Puglia, Basilicata, Campania, Veneto (Biover), Friuli-Venezia Giulia (VEA), Valle d'Aosta e Umbria.

La maggior parte dei protocolli regionali trova applicazione all'interno di bandi, gare d'appalto, programmi di incentivazione (Programma Casa per edilizia residenziale pubblica) e nei Piani Casa pubblici, basati su meccanismi di premialità finanziaria e volumetrica in base ai risultati della valutazione.

6.3.1 Protocollo ITACA 2009

La definizione del livello di sostenibilità ambientale di un edificio, attraverso il sistema di valutazione ITACA, aggiornato al 2009, avviene misurando la sua prestazione rispetto a 49 criteri raggruppati in 18 categorie a loro volta aggregate in 5 aree di valutazione:

Le aree di valutazione sono le seguenti :

1. qualità del sito;
2. consumo di risorse;
3. carichi ambientali;
4. qualità dell'ambiente indoor;
5. qualità del servizio.


I criteri di valutazione, all'interno di ciascuna area di valutazione, sono caratterizzati dalla presenza di indicatori di controllo o parametri necessari per la verifica del soddisfacimento del requisito qualitativo o quantitativo che esso sia.

I requisiti proposti sono caratterizzati da una serie di elementi fondanti così di seguito sintetizzabili:

- hanno una valenza economica, sociale e ambientale di un certo rilievo;
- sono quantificabili o definibili anche solo a livello qualitativo ma comunque secondo criteri quanto più precisi possibile;
- perseguono degli obiettivi di ampio respiro;
- hanno comprovata valenza scientifica;
- sono dotati di prerogative di interesse pubblico.

Nella tabella 6.4 sono riportati i criteri per ciascuna area di valutazione, con riferimento agli edifici residenziali, per interventi di nuova costruzione e recupero edilizio.

Tabella 6.4 Elenco generale dei crediti nuove costruzioni e ristrutturazioni

		Residenziale
		Elenco generale dei criteri NUOVE COSTRUZIONI E RECUPERO
ELENCO CRITERI		
1. Qualità del sito		
1.1 Condizioni del sito		
1.1.1	Livello di contaminazione del sito	
	Esigenza:	Favorire l'uso di aree industriali dismesse e/o contaminate
	Indicatore di prestazione:	Livello di contaminazione del sito precedentemente alla bonifica
	Unità di misura:	Adimensionale
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	

1.1.2 Livello di urbanizzazione del sito	
Esigenza:	Favorire l'uso di aree urbanizzate per limitare il consumo di terreno.
Indicatore di prestazione:	Livello di urbanizzazione dell'area in cui si trova il sito di costruzione.
Unità di misura:	Qualitativo
Dati richiesti:	
Documentazione:	
1.1.3 Riutilizzo di strutture esistenti	
Esigenza:	Favorire il riutilizzo della maggior parte dei fabbricati esistenti, disincentivare le demolizioni e gli sventramenti di fabbricati in presenza di strutture recuperabili.
Indicatore di prestazione:	Percentuale di superficie orizzontale/inclinata della costruzione esistente che viene riutilizzata.
Unità di misura:	%
Dati richiesti:	
Documentazione:	
1.2 Accessibilità ai servizi	
1.2.1 Accessibilità al trasporto pubblico	
Esigenza:	Favorire la scelta di siti da cui sono facilmente accessibili le reti di trasporto pubblico ed in cui si incoraggia l'uso del trasporto pubblico
Indicatore di prestazione:	Indice di accessibilità ai trasporti pubblici
Unità di misura:	-
Dati richiesti:	
Documentazione:	
1.2.2 Distanza da attività culturali e commerciali	
Esigenza:	Favorire la scelta di siti prossimi a centri commerciali e culturali
Indicatore di prestazione:	Distanza in metri da un numero sufficiente di strutture culturali o di commercio al dettaglio
Unità di misura:	m
Dati richiesti:	
Documentazione:	
1.2.3 Adiacenza ad infrastrutture	
Esigenza:	Favorire la realizzazione di edifici in prossimità delle reti infrastrutturali per evitare impatti ambientali determinati dalla realizzazione di nuovi allacciamenti.
Indicatore di prestazione:	Distanza dell'edificio dalle reti infrastrutturali (acquedotto, fognatura, rete elettricità e gas).
Unità di misura:	-
Dati richiesti:	
Documentazione:	
2. Consumo di risorse	
2.1 Energia primaria non rinnovabile richiesta durante il ciclo di vita	
2.1.1 Energia inglobata nei materiali da costruzione	
Esigenza:	Ridurre l'energia primaria contenuta nei

	Indicatore di prestazione:	materiali utilizzati per la costruzione dell'edificio Rapporto percentuale tra la quantità di energia primaria contenuta nei materiali da costruzione (Embodied Energy - EE) dell'edificio da valutare e la quantità di energia primaria contenuta nei materiali da costruzione di un edificio corrispondente alla tipica pratica costruttiva
	Unità di misura:	%
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
2.1.2 Trasmittanza termica dell'involucro edilizio		
	Esigenza:	Ridurre il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale
	Indicatore di prestazione:	Rapporto percentuale tra la trasmittanza media di progetto degli elementi di involucro (U) e la trasmittanza media corrispondente ai valori limite di legge (U _{lim})
	Unità di misura:	%
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
2.1.3 Energia netta per il riscaldamento		
	Esigenza:	Ridurre il fabbisogno energetico dell'edificio ottimizzando le soluzioni costruttive e le scelte architettoniche in particolare relativamente all'involucro
	Indicatore di prestazione:	Rapporto percentuale tra il fabbisogno annuo di energia netta per il riscaldamento e ACS (Q _h) e il fabbisogno annuo di energia netta per il riscaldamento e ACS corrispondente alla tipica pratica costruttiva (Q _{hlim})
	Unità di misura:	%
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
2.1.4 Energia primaria per il riscaldamento		
	Esigenza	Ridurre i consumi di energia primaria per il riscaldamento
	Indicatore di prestazione:	Rapporto tra energia primaria annua per il riscaldamento (E _{Pi}) e energia primaria limite prevista dal DLgs 311/06 (E _{Pilim})
	Unità di misura:	%
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
2.1.5 Controllo della radiazione solare		
	Esigenza:	Ridurre gli apporti solari nel periodo estivo
	Indicatore di prestazione:	Trasmittanza solare totale minima del pacchetto tipico finestra/schermo (fattore solare - g _t)
	Unità di misura:	-
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
2.1.6 Inerzia termica dell'edificio		

Esigenza:	Mantenere buone condizioni di comfort termico negli ambienti interni nel periodo estivo, evitando il surriscaldamento dell'aria
Indicatore di prestazione:	Trasmittanza termica periodica (Yie)
Unità di misura:	W/m ² K
Dati richiesti:	
Documentazione:	
2.1.7 Energia netta per il raffrescamento	
Esigenza:	Ridurre il fabbisogno energetico dell'edificio ottimizzando le soluzioni costruttive e le scelte architettoniche in particolare relativamente all'involucro
Indicatore di prestazione:	Rapporto percentuale tra il fabbisogno annuo di energia netta per il raffrescamento (Qc) e il fabbisogno annuo di energia netta per il raffrescamento corrispondente alla tipica pratica costruttiva (Qclim)
Unità di misura:	%
Dati richiesti:	
Documentazione:	
2.1.8 Energia primaria per il raffrescamento	
Esigenza:	Ridurre il fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento
Indicatore di prestazione:	Rapporto percentuale tra l'energia primaria annua per il raffrescamento (EPe) e l'energia primaria annua per il raffrescamento corrispondente alla tipica pratica costruttiva (EPelim)
Unità di misura:	%
Dati richiesti:	
Documentazione:	
2.2 Energia da fonti rinnovabili	
2.2.1 Energia termica per ACS	
Esigenza:	Incoraggiare l'uso di energia prodotta da fonti rinnovabili (solare termico) per la produzione di ACS
Indicatore di prestazione:	FSt – fattore di copertura solare: % del fabbisogno stimato di energia termica per la produzione di ACS coperta da fonti rinnovabili (solare termico), parametrizzata in funzione del numero di piani
Unità di misura:	%
Dati richiesti:	
Documentazione:	
2.2.2 Energia elettrica	
Esigenza:	Incoraggiare l'uso di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili
Indicatore di prestazione:	FSeI– fattore di copertura solare: % del fabbisogno stimato di energia elettrica coperta da fonti rinnovabili parametrizzato in funzione del numero di piani
Unità di misura:	%
Dati richiesti:	
Documentazione:	

2.3 Materiali eco compatibili		
2.3.1	Materiali da fonti rinnovabili	
	Esigenza:	Ridurre il consumo di materie prime non rinnovabili
	Indicatore di prestazione:	Percentuale dei materiali provenienti da fonti rinnovabili che sono stati utilizzati nell'intervento
	Unità di misura:	%
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
2.3.2	Materiali riciclati/recuperati	
	Esigenza:	Favorire l'impiego di materiali riciclati e/o di recupero per diminuire il consumo di nuove risorse
	Indicatore di prestazione:	Percentuale dei materiali riciclati e/o di recupero che sono stati utilizzati nell'intervento.
	Unità di misura:	%
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
2.3.3	Materiali locali	
	Esigenza:	Favorire l'approvvigionamento di materiali pesanti, come aggregati, sabbia, cemento, mattoni, acciaio e vetro, di produzione locale
	Indicatore di prestazione:	Rapporto fra il peso dei materiali pesanti utilizzati prodotti localmente (aggregati, sabbia, cemento, mattoni, acciaio e vetro) e quelli totali utilizzati nella realizzazione dell'edificio
	Unità di misura:	%
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
2.3.4	Materiali locali per finiture	
	Esigenza:	Favorire l'approvvigionamento di materiali per finiture di produzione locale.
	Indicatore di prestazione:	Rapporto tra il peso dei materiali di finitura prodotti localmente e quello totale dei materiali di finitura utilizzati nell'edificio.
	Unità di misura:	%
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
2.3.5	Materiali riciclabili e smontabili	
	Esigenza:	Favorire una progettazione che consenta smantellamenti selettivi dei componenti in modo da poter essere riutilizzate o riciclate. Incentivare quindi la riduzione del consumo di materie prime e i rifiuti da demolizione
	Indicatore di prestazione:	Misure adottate per agevolare lo smontaggio, il recupero o il riciclo dei componenti
	Unità di misura:	-
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
2.4 Acqua		

potabile	
2.4.1	Acqua potabile per irrigazione
Esigenza:	Ridurre i consumi di acqua potabile per irrigazione attraverso l'impiego di strategie di recupero o di ottimizzazione d'uso dell'acqua
Indicatore di prestazione:	Volume di acqua potabile risparmiata rispetto al fabbisogno base calcolato
Unità di misura:	%
Dati richiesti:	
Documentazione:	
2.4.2	Acqua potabile per usi indoor
Esigenza:	Ridurre dei consumi di acqua potabile per usi indoor attraverso l'impiego di strategie di recupero o di ottimizzazione d'uso dell'acqua
Indicatore di prestazione:	Volume di acqua potabile risparmiata per usi indoor rispetto al fabbisogno base calcolato
Unità di misura:	%
Dati richiesti:	
Documentazione:	
3. Carichi Ambientali	
3.1 Emissioni di CO₂ equivalente	
3.1.1	Emissioni inglobate nei materiali da costruzione
Esigenza:	Ridurre la quantità di emissioni di CO ₂ equivalente da energia primaria non rinnovabile impiegata nell'estrazione, produzione e trasporto di materiali e componenti dell'edificio
Indicatore di prestazione:	Rapporto percentuale tra la quantità di emissioni di CO ₂ equivalente inglobata nei materiali da costruzione dell'edificio in progetto e la quantità di emissioni di CO ₂ equivalente inglobata nei materiali da costruzione di un edificio standard
Unità di misura:	%
Dati richiesti:	
Documentazione:	
3.1.2	Emissioni previste in fase operativa
Esigenza:	Ridurre la quantità di emissioni di CO ₂ equivalente da energia primaria non rinnovabile impiegata per l'esercizio annuale dell'edificio
Indicatore di prestazione:	Rapporto percentuale tra la quantità di emissioni di CO ₂ equivalente annua prodotta per l'esercizio dell'edificio in progetto e la quantità di emissioni di CO ₂ equivalente annua prodotta per l'esercizio di un edificio standard con la medesima destinazione
Unità di misura:	%
Dati richiesti:	
Documentazione:	
3.2 Acque reflue	
3.2.1	Acque grigie inviate in fognatura
Esigenza:	Minimizzare la quantità di effluenti scaricati in fognatura
Indicatore di prestazione:	Volume di rifiuti liquidi non prodotti

		rispetto alla quantità di riferimento calcolata in base al fabbisogno idrico per usi indoor
	Unità di misura:	%
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
3.2.2 Acque meteoriche captate e stoccate		
	Esigenza:	Favorire la raccolta di acqua piovana per un successivo riutilizzo
	Indicatore di prestazione:	Volume di acqua piovana recuperata e stoccata all'anno rispetto a quella effettivamente recuperabile dalla superficie captante
	Unità di misura:	%
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
3.2.3 Permeabilità del suolo		
	Esigenza:	Minimizzare l'interruzione e l'inquinamento dei flussi naturali d'acqua
	Indicatore di prestazione:	Quantità di superfici esterne permeabili e rispetto al totale delle superfici esterne di pertinenza dell'edificio
	Unità di misura:	%
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
3.3 Impatto sull'ambiente circostante		
3.3.1 Effetto isola di calore: coperture		
	Esigenza:	Garantire che gli spazi esterni di pertinenza abbiano condizioni di comfort termico accettabile durante il periodo estivo
	Indicatore di prestazione:	Rapporto tra l'area delle coperture con un coefficiente di riflessione pari o superiore al 65% per i tetti piani o con un coefficiente di riflessione pari o superiore al 25% per i tetti a falda o con sistemazione a verde o ombreggiate (ore 12 del 21 giugno)) e l'area complessiva delle superfici di riferimento
	Unità di misura:	%
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
3.3.2 Effetto isola di calore: aree esterne pavimentate		
	Esigenza:	Garantire che gli spazi esterni di pertinenza abbiano condizioni di comfort termico accettabile durante il periodo estivo
	Indicatore di prestazione:	Rapporto tra l'area delle superfici esterne sistemate a verde o pavimentate con materiali aventi un coefficiente di riflessione pari o superiore al 30% o pavimentate con elementi alveolari o ombreggiate (ore 12 del 21 giugno) e l'area complessiva delle superfici di riferimento
	Unità di misura:	%
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	

4. Qualità ambientale indoor		
4.1 Ventilazione		
4.1.1	Ventilazione	
	Esigenza:	Garantire una ventilazione che consenta di mantenere un elevato grado di salubrità dell'aria, minimizzando al contempo i consumi energetici per la climatizzazione
	Indicatore di prestazione:	Presenza di strategie progettuali per garantire i ricambi d'aria necessari per almeno l'80% dei locali, senza ricorrere alla semplice apertura delle finestre
	Unità di misura:	-
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
4.1.2	Controllo degli agenti inquinanti: Radon	
	Esigenza:	Controllare la migrazione del gas Radon dai terreni agli ambienti interni.
	Indicatore di prestazione:	Presenza di strategie progettuali per il controllo della migrazione di Radon.
	Unità di misura:	-
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
4.2 Benessere termoigrometrico		
4.2.1	Temperatura dell'aria	
	Esigenza:	Mantenere un livello soddisfacente di comfort termico limitando al contempo i consumi energetici
	Indicatore di prestazione:	Modalità di scambio termico con le superfici in funzione della tipologia di sistema di distribuzione dell'impianto di riscaldamento e raffrescamento e dei terminali scaldanti
	Unità di misura:	-
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
4.3 Benessere visivo		
4.3.1	Illuminazione naturale	
	Esigenza:	Assicurare adeguati livelli d'illuminazione naturale in tutti gli spazi primari occupati
	Indicatore di prestazione:	Fattore medio di luce diurna: rapporto tra l'illuminamento naturale medio dell'ambiente e quello esterno (nelle identiche condizioni di tempo e di luogo) ricevuto dall'intera volta celeste su una superficie orizzontale esposta all'aperto, senza irraggiamento
	Unità di misura:	%
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
4.4 Benessere acustico		
4.4.1	Isolamento acustico involucro edilizio	
	Esigenza:	Assicurare che la progettazione dell'isolamento acustico della facciata più esposta sia tale da garantire un livello di

	Indicatore di prestazione:	rumore interno che non interferisca con le normali attività Indice di isolamento acustico standardizzato di facciata (D'2m,nT,w)
	Unità di misura:	Qualitativo
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
4.4.2	Isolamento acustico partizioni interne	
	Esigenza:	Assicurare che vi siano accorgimenti progettuali per ridurre il rumore tra gli ambienti interni dell'edificio
	Indicatore di prestazione:	Indice del potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti (R'w)
	Unità di misura:	Qualitativo
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
4.4.3	Rumore da calpestio	
	Esigenza:	Assicurare che vi siano accorgimenti progettuali per ridurre il rumore causato da calpestio
	Indicatore di prestazione:	Indice del livello normalizzato di rumore da calpestio di solai (L'n,w)
	Unità di misura:	Qualitativo
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
4.5 Inquinamento elettromagnetico		
4.5.1	Campi magnetici a frequenza industriale (50Hertz)	
	Esigenza:	Minimizzare il livello dei campi elettrici e magnetici a frequenza industriale (50 Hz) negli ambienti interni al fine di ridurre il più possibile l'esposizione degli individui
	Indicatore di prestazione:	Presenza/assenza di strategie per la riduzione dell'esposizione
	Unità di misura:	-
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
5. Qualità del servizio		
5.1 Controllabilità degli impianti		
5.1.1	BACS (Building Automation and Control System) e TBM (Technical Building Management)	
	Esigenza:	Ottimizzare l'efficienza energetica degli impianti in base al livello di automazione installato.
	Indicatore di prestazione:	Classe di efficienza energetica dell'edificio in base al sistema di automazione installato.
	Unità di misura:	-
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
5.2 Mantenimento delle prestazioni in fase operativa		
5.2.1	Disponibilità della documentazione tecnica degli edifici	
	Esigenza:	Ottimizzare l'operatività dell'edificio e dei suoi sistemi tecnici
	Indicatore di prestazione:	Presenza di un piano di conservazione e aggiornamento della documentazione

	Unità di misura:	tecnica
	Dati richiesti:	-
	Documentazione:	
5.2.2	Sviluppo ed implementazione di un piano di manutenzione	
	Esigenza:	Ottimizzare gli interventi di manutenzione sull'edificio
	Indicatore di prestazione:	Presenza di un piano di manutenzione
	Unità di misura:	-
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
5.2.3	Mantenimento delle prestazioni dell'involucro edilizio	
	Esigenza:	Assicurare che attraverso il progetto di particolari e dettagli costruttivi sia ridotto al minimo il rischio di formazione e accumulo di condensa superficiale sulla facciata dell'edificio e interstiziale per la durabilità e l'integrità degli elementi
	Indicatore di prestazione:	Funzione del soddisfacimento requisiti norma UNI EN ISO 13788
	Unità di misura:	-
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
5.3 Aree comuni dell'edificio		
5.3.1	Supporto all'uso di biciclette	
	Esigenza:	Favorire la disposizione di strutture per posteggiare le biciclette dove siano utilizzabili piste ciclabili
	Indicatore di prestazione:	Rapporto tra il numero di posteggi per le biciclette predisposti e il numero di occupanti dell'edificio
	Unità di misura:	%
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
5.3.2	Aree attrezzate per la gestione dei rifiuti	
	Esigenza:	Favorire, attraverso la predisposizione di apposite aree posizionate in luoghi di facile accessibilità per gli utenti e per i mezzi di carico, la raccolta differenziata dei rifiuti solidi
	Indicatore di prestazione:	Accessibilità alle aree di raccolta dei rifiuti e presenza di strategie per la raccolta differenziata dei rifiuti solidi organici e non organici.
	Unità di misura:	-
	Dati richiesti:	
	Documentazione:	
5.3.3	Aree ricreative	
	Esigenza:	Dotare gli utenti del progetto di spazi di verde per lo svago
	Indicatore di prestazione:	Rapporto tra l'area di superfici esterne destinate a spazi verdi per lo svago degli utenti e l'area complessiva delle superfici esterne di pertinenza dell'edificio
	Unità di misura:	%
	Dati richiesti:	

Documentazione:		
5.4 Domotica		
5.4.1 Qualità del sistema di cablatura		
Esigenza:	Permettere la trasmissione dati all'interno dell'edificio per diverse finalità (Televisione, Internet, Video CC etc)	
Indicatore di prestazione:	Presenza e caratteristiche cablaggio strutturato nelle parti comuni o negli alloggi	
Unità di misura:	-	
Dati richiesti:		
Documentazione:		
5.4.2 Videocontrollo		
Esigenza:	Monitoraggio visivo degli spazi abitativi al fine di accrescere la sicurezza – prevenire danni.	
Indicatore di prestazione:	Presenza e ubicazione videocamere per videocontrollo	
Unità di misura:	-	
Dati richiesti:		
Documentazione:		
5.4.3 Anti intrusione, Controllo accessi e Safety		
Esigenza:	Accrescere la sicurezza	
Indicatore di prestazione:	Presenza/assenza di tecnologie per controllo degli accessi e delle intrusioni	
Unità di misura:	-	
Dati richiesti:		
Documentazione:		
5.4.4 Integrazione sistemi		
Esigenza:	Ottimizzazione servizio sistemi domotici attraverso la loro integrazione	
Indicatore di prestazione:	Presenza/assenza di integrazione tra i sistemi	
Unità di misura:	-	
Dati richiesti:		
Documentazione:		

I pesi di Aree di Valutazione, Categorie e Criteri rappresentano il grado di rilevanza che esse assumono all'interno del sistema di valutazione. Tali pesi vengono stabiliti dalla Regione e possono essere modificati esclusivamente dalla Regione stessa.

6.3.2 Procedura di accreditamento e di certificazione

L'organo competente per il rilascio della certificazione è SBC. Per assegnare al progetto un giudizio di sostenibilità, è richiesto che i punteggi delle singole aree risultino sempre al di sopra di una soglia predefinita. Nel caso in cui il punteggio dell'area di valutazione risulti inferiore alla soglia, se ne deduce che sarebbe necessario innalzare il livello di qualità della

gestione, intervenendo sin dalla fase progettuale. Il processo di certificazione si articola in tre fasi:

1. **Prevalutazione.** Consta nella compilazione da parte del gruppo di progetto delle schede di valutazione. Si provvederà poi ad una revisione e, in caso positivo emetterà un report tecnico di prevalutazione.
2. **Certificazione del progetto (previa registrazione).** Si tratta di una procedura analoga al primo step, in caso di validazione positiva verrà emesso il certificato.
3. **Certificazione “as built” (previa registrazione).** È una procedura analoga al primo step, in caso di valutazione positiva verrà emesso il certificato.

La certificazione di compatibilità energetico-ambientale, può dunque essere rilasciata a scelta del richiedente o in fase di progetto, o sull’edificio costruito, o ancora in entrambe le fasi: saranno diverse tipologie di certificazione.

6.4 Protocollo Itaca “Semplificato” 2009

Considerata l’effettiva complessità di alcune parti del metodo si è affiancato ad esso un sistema di valutazione ridotto composto di 14 schede: il protocollo semplificato o anche Protocollo ITACA Sintetico approvato in data 25 febbraio 2009; questo ha fatto propri quei requisiti che sono stati ritenuti fondamentali ed indispensabili per la realizzazione di interventi aventi caratteristiche minime di eco sostenibilità.

Per comporre la struttura del Protocollo Sintetico è stata effettuata una selezione di schede da quello completo, secondo i seguenti principi:

- ✓ continuità tecnico-scientifica con il Protocollo Sintetico di prima versione;
- ✓ inclusione delle schede di maggiore rilevanza dal punto di vista tecnico;
- ✓ inclusione di un numero di schede minimo sufficiente per includere nella valutazione le principali problematiche ambientali;
- ✓ eliminazione dalla struttura precedente delle schede di minor rilievo;
- ✓ trasversalità dei criteri individuati rispetto alle diverse tipologie edilizia (residenziale, sanitario, scuole, ecc.).

I criteri selezionati sono 14 così come elencati di seguito, tabella 6.5:

Tabella 6.5 Criteri di valutazione del protocollo Semplificato

1. Qualità del sito		
1.1 Condizioni del sito		
1.1.2	Livello di urbanizzazione del sito	
	Esigenza:	Favorire l'uso di aree urbanizzate per limitare il consumo di terreno.
	Indicatore di prestazione:	Livello di urbanizzazione dell'area in cui si trova il sito di costruzione.
	Unità di misura:	Qualitativo

2. Consumo di risorse		
2.1 Energia primaria non rinnovabile richiesta durante il ciclo di vita		
2.1.2	Trasmittanza termica dell'involucro edilizio	
	Esigenza:	Ridurre il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale
	Indicatore di prestazione:	Rapporto percentuale tra la trasmittanza media di progetto degli elementi di involucro (U) e la trasmittanza media corrispondente ai valori limite di legge (U_{lim})
	Unità di misura:	%
2.1.4	Energia primaria per il riscaldamento	
	Esigenza:	Ridurre i consumi di energia primaria per il riscaldamento
	Indicatore di prestazione:	Rapporto tra energia primaria annua per il riscaldamento (EPI) e energia primaria limite prevista dal DLgs 311/08 (EP _{lim})
	Unità di misura:	%
2.1.7	Energia netta per il raffrescamento	
	Esigenza:	Ridurre il fabbisogno energetico dell'edificio ottimizzando le soluzioni costruttive e le scelte architettoniche in particolare relativamente all'involucro
	Indicatore di prestazione:	Rapporto percentuale tra il fabbisogno annuo di energia netta per il raffrescamento (Q _c) e il fabbisogno annuo di energia netta per il raffrescamento corrispondente alla tipica pratica costruttiva (Q _{clim})
	Unità di misura:	%

2.2 Energia da fonti rinnovabili		
2.2.1	Energia termica per ACS	
	Esigenza:	Incoraggiare l'uso di energia prodotta da fonti rinnovabili (solare termico) per la produzione di ACS
	Indicatore di prestazione:	FSt – fattore di copertura solare: % del fabbisogno stimato di energia termica per la produzione di ACS coperta da fonti rinnovabili (solare termico), parametrizzata in funzione del numero di piani
	Unità di misura:	%
2.2.2	Energia elettrica	
	Esigenza:	Incoraggiare l'uso di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili
	Indicatore di prestazione:	FSEl– fattore di copertura solare: % del fabbisogno stimato di energia elettrica coperta da fonti rinnovabili parametrizzato in funzione del numero di piani
	Unità di misura:	%
2.3 Materiali eco-compatibili		
2.3.1	Materiali da fonti rinnovabili	
	Esigenza:	Ridurre il consumo di materie prime non rinnovabili
	Indicatore di prestazione:	Percentuale dei materiali provenienti da fonti rinnovabili che sono stati utilizzati nell'intervento
	Unità di misura:	%
2.3.2	Materiali riciclati/recuperati	
	Esigenza:	Favorire l'impiego di materiali riciclati e/o di recupero per diminuire il consumo di nuove risorse
	Indicatore di prestazione:	Percentuale dei materiali riciclati e/o di recupero che sono stati utilizzati nell'intervento
	Unità di misura:	%
2.4 Acqua potabile		
2.4.2	Acqua potabile per usi indoor	
	Esigenza:	Ridurre dei consumi di acqua potabile per usi indoor attraverso l'impiego di strategie di recupero o di ottimizzazione d'uso dell'acqua
	Indicatore di prestazione:	Volume di acqua potabile risparmiata per usi indoor rispetto al fabbisogno base calcolato
	Unità di misura:	%

3. Carichi Ambientali		
3.1 Emissioni di CO₂ equivalente		
3.1.2	Emissioni previste in fase operativa	
	Esigenza:	Ridurre la quantità di emissioni di CO ₂ equivalente da energia primaria non rinnovabile impiegata per l'esercizio annuale dell'edificio
	Indicatore di prestazione:	Rapporto percentuale tra la quantità di emissioni di CO ₂ equivalente annua prodotta per l'esercizio dell'edificio in progetto e la quantità di emissioni di CO ₂ equivalente annua prodotta per l'esercizio di un edificio standard con la medesima destinazione
	Unità di misura:	%

4. Qualità ambientale indoor	
4.2 Benessere termoigrometrico	
4.1 Ventilazione	
4.2.1	Temperatura dell'aria
Esigenza:	Mantenere un livello soddisfacente di comfort termico limitando al contempo i consumi energetici
Indicatore di prestazione:	Modalità di scambio termico con le superfici in funzione della tipologia di sistema di distribuzione dell'impianto di riscaldamento e raffreddamento e dei terminali scaldanti
Unità di misura:	-
4.3 Benessere visivo	
4.3.1	Illuminazione naturale
Esigenza:	Assicurare adeguati livelli d'illuminazione naturale in tutti gli spazi primari occupati
Indicatore di prestazione:	Fattore medio di luce diurna: rapporto tra l'illuminamento naturale medio dell'ambiente e quello esterno (nelle identiche condizioni di tempo e di luogo) ricevuto dall'intera volta celeste su una superficie orizzontale esposta all'aperto, senza irraggiamento
Unità di misura:	%
4.5 Inquinamento elettromagnetico	
4.5.1	Campi magnetici a frequenza industriale (50Hertz)
Esigenza:	Minimizzare il livello dei campi elettrici e magnetici a frequenza industriale (50 Hz) negli ambienti interni al fine di ridurre il più possibile l'esposizione degli individui
Indicatore di prestazione:	Presenza/assenza di strategie per la riduzione dell'esposizione
Unità di misura:	-

5. Qualità del servizio	
5.2 Mantenimento delle prestazioni in fase operativa	
5.2.1	Disponibilità della documentazione tecnica degli edifici
Esigenza:	Ottimizzare l'operatività dell'edificio e dei suoi sistemi tecnici
Indicatore di prestazione:	Presenza di un piano di conservazione e aggiornamento della documentazione tecnica
Unità di misura:	-

L'attuazione di un protocollo ridotto ha preso corpo anche in relazione al fatto che si è ritenuto potesse agevolare l'applicazione di criteri di edilizia biocompatibile in quegli interventi singoli o più piccoli per volume e dimensione, che in genere rappresentano la parte più consistente dell'attività edilizia attuata da soggetti privati. Un tale sistema rappresenta quindi una modalità più agevole per avviare e rendere operativo un nuovo approccio alla progettazione responsabile.

6.5 Protocollo ITACA 2011

Lo scorso 21 aprile è stato approvato dal Consiglio Direttivo di Itaca il Protocollo ITACA nazionale 2011. Questo recepisce tutti i rilievi intervenuti in fase di applicazione dello strumento da parte delle Regioni e le osservazioni tecniche avanzate dalle associazioni nazionali degli operatori economici, sia del settore imprenditoriale che della produzione, e degli Ordini professionali.

La principale novità è il Protocollo per Uffici pubblici e privati, in accordo con la Direttiva 2010/31/CE che prevede per il 2020 che gli edifici pubblici siano a consumo quasi “zero”.

A questo si aggiungeranno a breve, strumenti di valutazione per scuole, aree industriali ed edifici commerciali.

Il Protocollo ITACA 2011 si può considerare una sintesi tra il Protocollo sintetico e quello completo 2009. Esso infatti prevede 34 criteri (tematiche di valutazione) rispetto ai 49 del 2009 completo ed ai 14 della versione sintetica.

La dimensione dei criteri da valutare è stata bilanciata per coniugare l'esigenza di una agile applicazione con il valore scientifico della valutazione, ma anche al fine di proporre un riferimento unico che facilitasse l'allineamento dei protocolli a livello regionale attualmente molto eterogenei.

L'aggiornamento del Protocollo è stato anche necessario per allineare lo strumento di valutazione alle nuove norme tecniche UNI in materia di energia (serie UNI 11300) e comfort e alle “Linee Guida nazionali per la certificazione energetica”.

Nel Protocollo ITACA 2011 è prevista un'articolazione del punteggio di valutazione secondo tre livelli. Infatti oltre a pesare i punteggi ottenuti rispetto a criteri e sottocriteri, è presente un punteggio relativo alla qualità della localizzazione (10% in entrambi i protocolli), che prescinde dalle scelte progettuali, e uno relativo alla qualità della costruzione (90%). La combinazione dei due punteggi esprime quello complessivo della costruzione.

Tabella 6.6 Criteri di valutazione e pesatura del Protocollo ITACA 2011

<i>Configurazione tool</i> RESIDENZIALE	<i>Tipo di intervento</i> NUOVA COSTRUZIONE	PESO		
		nella categoria	nel tool singolo	nel tool completo
A. Qualità del sito		10%		
A.1 Selezione del sito		100%		
A.1.5	Riutilizzo del territorio	34%	34%	3%
A.1.6	Accessibilità al trasporto pubblico	23%	23%	2%
A.1.8	Mix funzionale dell'area	23%	23%	2%
A.1.10	Adiacenza ad infrastrutture	20%	20%	2%
A.3 Progettazione dell'area		90%		
A.3.3	Aree esterne attrezzate	27%	1%	1%
A.3.4	Supporto all'uso di biciclette	73%	4%	3%
B. Consumo di risorse		5%		
B.1 Energia primaria non rinnovabile richiesta durante il ciclo di vita		100%		
B.1.2	Energia primaria per il riscaldamento	50%	7%	6%
B.1.5	Energia primaria per acqua calda sanitaria	50%	7%	6%
B.3 Energia da fonti rinnovabili		30%		
B.3.3	Energia prodotta nel sito per usi elettrici	100%	5%	4%
B.4 Materiali eco-compatibili		10%		
B.4.1	Riutilizzo di strutture esistenti	0%	0%	0%
B.4.6	Materiali riciclati/recuperati	22%	3%	2%
B.4.7	Materiali da fonti rinnovabili	28%	3%	3%
B.4.9	Materiali locali per finiture	22%	3%	2%
B.4.10	Materiali riciclabili e smontabili	28%	3%	3%
B.5 Acqua potabile		25%		
B.5.1	Acqua potabile per irrigazione	64%	4%	4%
B.5.2	Acqua potabile per usi indoor	36%	2%	2%
B.6 Prestazioni dell'involucro		45%		
B.6.2	Energia netta per il raffrescamento	58%	5%	5%
B.6.3	Trasmittanza termica dell'involucro edilizio	42%	4%	3%
B.6.4	Controllo della radiazione solare	0%	0%	0%
B.6.5	Inerzia termica dell'edificio	0%	0%	0%
C. Carichi Ambientali		20%		
C.1 Emissioni di CO2 equivalente		30%		
C.1.2	Emissioni previste in fase operativa	100%	6%	5%
C.3 Rifiuti solidi		15%		
C.3.2	Rifiuti solidi prodotti in fase operativa	100%	3%	3%
C.4 Acque reflue		35%		
C.4.1	Acque grigie inviate in fognatura	71%	5%	4%
C.4.3	Permeabilità del suolo	29%	2%	2%
C.6 Impatto sull'ambiente circostante		20%		
C.6.8	Effetto isola di calore	100%	4%	4%
D Qualità ambientale indoor		20%		
D.2 Ventilazione		20%		
D.2.5	Ventilazione e qualità dell'aria	100%	4%	4%
D.3 Benessere termoigrometrico		25%		
D.3.2	Temperatura dell'aria nel periodo estivo	100%	5%	5%
D.4 Benessere visivo		20%		
D.4.1	Illuminazione naturale	100%	4%	4%
D.5 Benessere acustico		25%		
D.5.6	Qualità acustica dell'edificio	100%	5%	5%
D.6 Inquinamento elettromagnetico		10%		
D.6.1	Campi magnetici a frequenza industriale (50Hertz)	100%	2%	2%
E. Qualità del servizio		10%		
E.1 Sicurezza in fase operativa		20%		
E.1.9	Integrazione sistemi	100%	2%	2%
E.2 Funzionalità ed efficienza		25%		
E.2.4	Qualità del sistema di cablatura	100%	3%	2%
E.6 Mantenimento delle prestazioni in fase operativa		55%		
E.6.1	Mantenimento delle prestazioni dell'involucro edilizio	67%	4%	3%
E.6.5	Disponibilità della documentazione tecnica degli edifici	33%	2%	2%

Il Protocollo per Uffici contiene criteri analoghi a quelli del Residenziale, ma differenti nei parametri di calcolo e nelle scale di prestazione per l'attribuzione dei punteggi. Avere una stessa struttura di base consente di avere standard declinati solo in termini di indicatori e scale di prestazione ma tecnicamente armonizzati. In più nel protocollo Uffici:

- ❖ sono previsti alcuni criteri specifici, come quelli relativi ai sistemi di BACS (Building Automation);
- ❖ oltre al “Controllo della temperatura dell'aria nel periodo estivo”, si aggiungono altri due sottocriteri relativi al Benessere Termoigrometrico .

Tabella 6.7 Sottocriteri aggiuntivi per il Protocollo ITACA per Uffici

D.3 Benessere termoigrometrico	
D.3.1	Temperatura dell'aria e umidità relativa in ambienti raffrescati meccanicamente
Esigenza:	Mantenere un livello soddisfacente di comfort termico in ambienti raffrescati meccanicamente.
Indicatore di prestazione:	Valore assoluto del voto medio previsto degli occupanti relativamente alle condizioni di temperatura dell'aria e umidità relativa durante la stagione estiva (PMV,me).
Unità di misura:	-
D.3.2	Temperatura dell'aria nel periodo estivo
Esigenza:	Mantenere un livello soddisfacente di comfort termico durante il periodo estivo.
Indicatore di prestazione:	Scarto medio tra la temperatura operativa e la temperatura ideale degli ambienti nel periodo estivo (DT_m).
Unità di misura:	°C
D.3.3	Temperatura dell'aria e umidità relativa in ambienti riscaldati meccanicamente
Esigenza:	Mantenere un livello soddisfacente di comfort termico in ambienti riscaldati meccanicamente.
Indicatore di prestazione:	Valore assoluto del voto medio previsto degli occupanti relativamente alle condizioni di temperatura dell'aria e umidità relativa durante la stagione invernale (PMV,mi).
Unità di misura:	-

Infine si riportano le principali osservazioni e criticità:

- Entrambi i protocolli (residenziale e uffici) differenziano le nuove costruzioni dagli interventi di recupero edilizio;
- È stata introdotta una distribuzione percentuale dei pesi valida a livello nazionale;
- Rispetto al protocollo sintetico in cui si premiano le zone fortemente urbanizzate per contenere la dispersione insediativa, sono favoriti i siti in cui sia ottimale il mix funzionale tra distanza da attività culturali e commerciali, accessibilità al trasporto pubblico ed aree attrezzate esterne. Infatti mentre nel protocollo sintetico l'area di valutazione “Qualità del sito” pesa solo il “livello di urbanizzazione del sito” nel protocollo 2011 si pesano due categorie una relativa alla “selezione del sito” e una alla “progettazione dell'area”.

- Il consumo di energia primaria per la produzione di acs viene valutato secondo quanto prescritto dal DPR 59/2009 mentre nel protocollo sintetico veniva assegnato un punteggio in funzione della produzione di acs da fonti rinnovabili;
- Sia rispetto al protocollo completo che a quello sintetico, viene introdotto un nuovo criterio nella categoria dei "Materiali eco-compatibili" che è quello relativo al Riutilizzo delle strutture esistenti al fine di disincentivare le demolizioni in presenza di strutture recuperabili;
- Rispetto al protocollo completo sono state eliminate le voci relative all'energia immagazzinata nei materiali da costruzione ed alle connesse emissioni di anidride carbonica equivalente;
- Rispetto al protocollo completo al 2009 nella categoria dei Carichi ambientali il peso maggiore compete al trattamento delle acque reflue e non al contenimento delle emissioni.

6.6 Il sistema di certificazione LEED negli USA

Il sistema di certificazione LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) è uno standard applicato in oltre 100 Paesi nel mondo, sviluppato dall'*U.S. Green Building Council* (USGBC) [55].

Gli standard LEED, elaborati dall'USGBC e presenti anche in Italia tramite *GBC ITALIA* [56] che ne ha creato una versione locale, indicano i requisiti per costruire edifici ambientalmente sostenibili, sia dal punto di vista energetico che dal punto di vista del consumo di tutte le risorse ambientali coinvolte nel processo di realizzazione.

L'organizzazione che definisce e promuove lo standard LEED è l'*US Green Building Council* [59], associazione non-profit nata nel 1993 che oggi conta più di ventimila membri, e oltre ad un ruolo "tecnico", ha anche il compito di informare, sensibilizzare ed orientare la comunità verso un'edilizia ecosostenibile.

Il comitato è composto da professionisti appartenenti a diversi campi tra cui architetti, agenti immobiliari, proprietari di immobili, avvocati, ambientalisti e rappresentanti del settore industriale. E' proprio in tale contesto che nasce il programma principale di USGBC atto alla certificazione energetica e ambientale degli edifici con il nome di LEED, presentato ufficialmente nell'Agosto del 1998, per la progettazione, costruzione e gestione di edifici sostenibili ad alte prestazioni e che si sta sviluppando sempre più a livello internazionale.

Il LEED è una richiesta di certificazione su base volontaria, in cui è il progettista stesso che si preoccupa di raccogliere i dati per la valutazione e di inviarli al U.S.

Green Building Council; può essere utilizzato su ogni tipologia di edificio e promuove un sistema di progettazione integrata che riguarda l'intero edificio

La prima versione, LEED version 1.0 si proponeva di valutare le prestazioni ambientali solamente degli edifici esistenti e di nuova costruzione durante tutto il loro ciclo di vita, dalla fase di progettazione a quella di esercizio. Con il passar degli anni il sistema si è evoluto per cui in aggiunta sono stati realizzati sistemi di valutazione specifici per tipologia edilizia in relazione anche alle caratteristiche del mercato immobiliare. Pertanto è nato il protocollo di valutazione LEED *for Core & Shell*, un'applicazione di mercato specifica, che riconosce la natura unica del processo di progettazione fornendo criteri di indirizzo per la certificazione degli aspetti *core-and-shell* di un edificio e può essere abbinato ad altre certificazioni quali il LEED *for Commercial Interiors* che si occupa specificatamente della certificazione di interni commerciali indirizzandone la progettazione degli spazi e l'allestimento, e LEED *for Existing Buildings*.

Infatti il sistema Core & Shell certifica l'involucro e le parti comuni dell'edificio nel caso in cui il costruttore e o certificatore sia solo parzialmente o non coincidente con il locatario, incentivando la prosecuzione del processo da parte dei futuri locatari per le parti di propria competenza, in modo che questi possano completare la valutazione con certificazioni specifiche alla destinazione d'uso reale, nella quale verranno analizzati in modo più dettagliato specifici ambiti come gli arredi, le risorse e le finiture utilizzate al fine di incentivare sia l'utilizzo di materiali a basso impatto ambientale, sia una progettazione degli spazi di lavoro in grado di ottimizzare la qualità ambientale interna.

Il LEED *for New Construction* si occupa della certificazione di edifici di nuova costruzione commerciali o istituzionali ad alte prestazioni, (biblioteche, musei, chiese, hotel ed edifici residenziali con 4 o più vani abitabili), dalla fase progettuale, alla messa in opera, al commissioning fino al collaudo. Lo stesso protocollo può essere utilizzato anche per le ristrutturazioni importanti di edifici esistenti, ove per ristrutturazioni importanti si intende una sostituzione o modifica degli impianti di condizionamento dell'aria, significativi interventi strutturali o cambiamenti nelle destinazioni d'uso degli spazi interni.

Per altri interventi di minore entità, il protocollo più adatto è LEED *for Existing Buildings (Operations & Maintenance)* LEED che certifica la sostenibilità di ciascuna operazione di manutenzione ordinaria o straordinaria. Possono esservi sottoposte tutte le costruzioni, come definite dai regolamenti edilizi standard. Tale protocollo è applicabile per operazioni di piccola ristrutturazione, modifiche nei processi, aggiornamenti dei sistemi, piccoli cambiamenti di destinazione d'uso degli spazi,

modifiche o aggiunta di nuove funzionalità. Inoltre è applicabile a nuove costruzioni che siano state precedentemente certificate con uno degli altri protocolli. Il *LEED for Existing Buildings (Operations & Maintenance)* incoraggia i proprietari e i costruttori a realizzare pratiche sostenibili e a ridurre gli impatti ambientali delle loro costruzioni nel loro intero ciclo di vita.

Quando gli edifici sono progettati e costruiti parzialmente per essere occupati dal proprietario o dallo sviluppatore e parzialmente per essere occupati da altri gli inquilini, il proprietario o lo sviluppatore ha influenza diretta solo sulla parte che occupa. Affinché un tal progetto persegua *LEED for New Construction* il proprietario o l'inquilino deve occupare più del 50% della superficie utile della costruzione, in caso contrario la certificazione più adatta è *LEED for Core & Shell*.

A questi si aggiunge il *LEED for School* che si occupa nello specifico di edifici scolastici di nuova costruzione, di cui indirizza la progettazione degli spazi interni, e delle ristrutturazioni importanti di edifici scolastici esistenti. Lo stesso protocollo può essere utilizzato anche per le costruzioni non prettamente accademiche incluse in un campus universitario quali per esempio gli uffici amministrativi o dormitori.

A questi due si aggiunge infine il *LEED for Homes* rivolto agli edifici abitativi di piccole dimensioni e il *LEED for Neighborhood Development*, indirizzato alla certificazione di aree residenziali e quartieri fornendo supporto per una progettazione urbanistica sostenibile.

LEED è un sistema, che come altri in questo campo, si occupa di:

- stabilire uno standard comune di misurazione dei “green building”, definiti come edifici a basso impatto ambientale;
- promuovere e fornire un sistema integrato di progettazione che riguarda l'intero edificio;
- dare riconoscimento a chi realizza prestazioni “virtuose” nel campo delle costruzioni;
- stimolare la competizione sul tema della prestazione ambientale;
- stabilire un valore di mercato con la creazione di un marchio riconosciuto a livello mondiale;
- aiutare i committenti ad accrescere la consapevolezza dell'importanza di costruire “green”;
- migliorare il mercato e il settore delle costruzioni.

Nel 2008, data la crescente richiesta di certificazione degli edifici secondo LEED, con il supporto di USGBC è stato fondato il GBCI (*Green Building Certification Institute*), il cui compito è quello di guidare il team di progettazione e costruzione all'ottenimento della certificazione LEED.

Recentemente è stata pubblicata l'ultima versione del sistema di valutazione *LEED 2009* e quindi la versione LEED v2.2 è stata sostituita nel giugno 2009 dal *LEED v3*.

Rivolgendosi all'intero processo (dalla progettazione fino alla costruzione vera e propria) e ad ogni parte dell'edificio, il LEED opta per una visione olistica della sostenibilità sfruttando ogni possibilità di ridurre impatti ambientali di vario genere ed emissioni nocive degli edifici in costruzione. Si individuano e delineano così le "*best practice*" per ingegneri, architetti, professionisti e l'intera comunità del settore, destinate a divenire linee guida nella certificazione di parte terza.

I vantaggi competitivi per coloro che adottano gli standard LEED, siano essi professionisti o imprese, sono identificabili soprattutto nella certificazione da parte di un ente terzo, considerata fondamentale per ottenere un riscontro positivo sul mercato.

La certificazione LEED, infatti, fornisce al mercato una definizione condivisa, un obiettivo comune e uno standard misurabile. Si tratta di uno standard volontario, adottato dal mercato attraverso un processo di creazione del consenso.

Si può quindi affermare che il LEED corrisponde per l'edilizia alla versione dell'etichetta informativa, presente sulle confezioni di tutti i prodotti alimentari. Lo scopo è avere lo stesso dettaglio di informazioni anche per gli edifici, il cui valore è solitamente stimato in centinaia di migliaia di euro. Nel caso di edifici certificati LEED, la modalità stessa di valutazione consente di disporre di informazioni dettagliate: l'aggregazione dei criteri aree-chiave di LEED consente di individuare edifici con elevate performance.

6.6.1 Il sistema di attribuzione del punteggio dei crediti

Il sistema di certificazione energetica LEED si basa sull'attribuzione di crediti/punti per ogni categoria caratterizzante la sostenibilità ambientale di un edificio. Dalla somma dei crediti deriva il livello di certificazione ottenuto.

La nuova versione introduce un sistema standardizzato a 100 punti che sono distribuiti in modo maggiore ai crediti che assicurano un effetto relativamente più basso sull'ambiente.

I criteri sono raggruppati in sei categorie, che prevedono prerequisiti prescrittivi obbligatori e un numero di performance ambientali, che assieme definiscono il punteggio finale dell'edificio:

- **Siti sostenibili** : gli edifici certificati LEED devono essere costruiti sulla base di un piano di smaltimento che riduca la produzione di rifiuti e impieghi materiale riciclato o prodotto localmente;
- **Gestione efficiente dell'acqua**: la presenza di sistemi per il recupero dell'acqua piovana o di rubinetti con regolatori di flusso deve garantire la massima efficienza nel consumo di acqua;
- **Energia ed atmosfera**: utilizzando l'energia da fonti rinnovabili e locali, è possibile ridurre in misura significativa la bolletta energetica degli edifici;
- **Materiali e risorse**: ottengono un punteggio superiore, nel sistema di valutazione LEED, gli edifici costruiti con l'impiego di materiali naturali, rinnovabili e locali, come il legno;
- **Qualità degli ambienti interni**: gli spazi interni dell'edificio devono essere progettati in maniera tale da consentire una sostanziale parità del bilancio energetico e favorire il massimo confort abitativo per l'utente finale;
- **Progettazione ed innovazione**: l'impiego di tecnologie costruttive migliorative rispetto alle *best practice* è un elemento di valore aggiunto, ai fini della certificazione LEED.

Rispetto alle precedenti versioni, maggiori punti sono disponibili per i crediti che contribuiscono a ridurre l'impatto ambientale della costruzione. Per esempio, il LEED 2009 considera il cambiamento climatico come l'impatto ambientale più importante e ciò si riflette nei crediti della categoria Energia e Atmosfera dove i punti totali sono cambiati da 17 a 35 in LEED-NC v3. Nella tabella seguente sono riportati i punti che è possibile acquisire per ogni categoria, e quelli che nella precedente versione di LEED erano acquisibili.

Tabella 6.8 Differenza nei punteggi delle categorie tra LEED v2.2 e LEED v3.0

Category	LEED-NC v2.2 ²	LEED-NC v3 (released April 2009)
Sustainable Sites	14	26
Water Efficiency	5	10
Energy & Atmosphere	17	35
Materials & Resource	13	14
Indoor Environmental Quality	15	15
Total points	64	100

Ai 100 punti si possono sommare altri ulteriori dieci punti di bonus, 6 per *l'Innovazione nella Progettazione*, e 4 per *le Priorità Regionali*.

Si può notare che le due categorie che permettono di avere un maggior punteggio sono quelle appartenenti al campo dei progettisti HVAC cioè “Energia ed atmosfera” e “Qualità ambientale interna”.

La figura 6.4 illustra come sono strutturate le scheda di valutazione, considerando come esempio LEED for New Construction v3.0.

0		0		0		Sustainable Sites		Possible Points: 26	
Y	?	N	d/	C					
Y			C		Prereq 1	Construction Activity Pollution Prevention			
			d		Credit 1	Site Selection			1
			d		Credit 2	Development Density and Community Connectivity			5
			d		Credit 3	Brownfield Redevelopment			1
			d		Credit 4.1	Alternative Transportation—Public Transportation Access			6
			d		Credit 4.2	Alternative Transportation—Bicycle Storage and Changing Rooms			1
			d		Credit 4.3	Alternative Transportation—Low-Emitting and Fuel-Efficient Vehicles			3
			d		Credit 4.4	Alternative Transportation—Parking Capacity			2
			C		Credit 5.1	Site Development—Protect or Restore Habitat			1
			d		Credit 5.2	Site Development—Maximize Open Space			1
			d		Credit 6.1	Stormwater Design—Quantity Control			1
			d		Credit 6.2	Stormwater Design—Quality Control			1
			C		Credit 7.1	Heat Island Effect—Non-roof			1
			d		Credit 7.2	Heat Island Effect—Roof			1
			d		Credit 8	Light Pollution Reduction			1

Figura 6.4 Schede di valutazione LEED for New Construction v3.0

La descrizione dettagliata dei crediti e dei prerequisiti, per il protocollo di certificazione delle Nuove Costruzioni, verrà fatta nel prossimo paragrafo, relativamente al sistema di certificazione italiano poiché questo risulta formalmente simile al protocollo da cui discende.

Sommando i crediti conseguiti all'interno di ciascuna delle sei categorie, si ottiene uno specifico livello di certificazione, che attesta la prestazione raggiunta dall'edificio in termini di sostenibilità ambientale.

I punti richiesti per la certificazione 2009 di LEED sono cambiati a seguito del cambiamento nel sistema di attribuzione dei crediti. Ora è richiesto un minimo di 40 punti per la certificazione. In tabella sono mostrati il vecchio sistema di certificazione e il nuovo, in modo che sia evidente il cambiamento nella soglia di classificazione.

Tabella 6.9 Differenze nella classificazione tra LEED v2.2 e LEED v3.0

Category	LEED-NC v2.2	LEED-NC v3 (released April 2009)
Certified	26-32 points	40-49 points
Silver	33-38 points	50-59 points
Gold	39-51 points	60-79 points
Platinum	52-69 points	80+ points

Nella figura 6.5 viene riportato un esempio di placca che viene consegnata al termine della certificazione LEED.

**Figura 6.5** Esempio della placca che viene consegnata al termine della certificazione LEED

Tra gli edifici a cui è stato riconosciuto il più alto livello di certificazione LEED, ovvero il Platinum, citiamo la *Jewish Reconstruction Congregation* figura 6.6.

Si tratta della nuova sinagoga di Evanston, è stata costruita con il legno riciclato rigenerato dai fienili. Anche i mattoni sono stati riciclati dal vecchio edificio tempio, compreso quello sull'altare.

**Figura 6.6** Jewish Reconstruction Congregation

6.6.2 Procedura di accreditamento e di certificazione LEED

La procedura di certificazione LEED consiste in tre fasi:

1. **Registrazione del progetto:** si effettua la registrazione on-line del progetto e del gruppo di progettazione. Successivamente si riceverà il dossier di benvenuto e la conferma di ammissione al programma;

2. **Supporto tecnico:** si riceve il set di documenti relativi alla LEED *Reference Guide* e si ottiene l'accesso alle regole per l'interpretazione dei crediti LEED;
3. **Certificazione dell'edificio** si presenta la documentazione al termine dei lavori.

Dopo l'esame effettuato dall' USGBC e la sua approvazione, il progetto riceve una targa e un certificato che riporta la classificazione LEED ottenuta. Alcuni dei vantaggi che derivano dalla partecipazione a questo sistema di classificazione sistema di certificazione LEED sono il riconoscimento dell'edificio da parte del mercato immobiliare, la qualificazione per la sempre più ampia gamma di incentivi statali e locali, un contributo alla crescita delle conoscenze di base e l'ottenimento di una targa di certificazione e di un certificato attestante la classificazione LEED.

6.7 Il sistema di certificazione LEED NC 2009 ITALIA

Gli standard LEED, elaborati dall' USGBC, sono presenti anche in Italia grazie al lavoro di *Green Building Council ITALIA* che ne ha creato una versione locale, indicando i requisiti per costruire edifici ambientalmente sostenibili, sia dal punto di vista energetico che dal punto di vista del consumo di tutte le risorse ambientali coinvolte nel processo di realizzazione.

Green Building Council ITALIA è un' organizzazione no-profit promossa dalla Società Consortile Distretto Tecnologico Trentino.

L'obiettivo primario dell'associazione è l'introduzione delle pratiche sostenibili nel mercato edilizio: a tal scopo furono istituiti nel marzo 2008 il Comitato LEED e il Comitato Tecnico Scientifico per l'adattamento del sistema LEED NC (per nuove costruzioni) alla realtà italiana. Nell'Aprile 2009 fu lanciato per la prima volta il LEED Italia v.0.9b che manteneva i contenuti e le forme della versione 2.2 di LEED e consentiva di certificare gli immobili sulla base di standard internazionali adatti però al contesto normativo nazionale e alle specifiche caratteristiche dell'edilizia italiana. Nello stesso anno, a seguito della nuova versione LEED 2009 lanciata da USGBC, si decise di passare all'adattamento del sistema 2009 che richiese la sostanziale riscrittura di alcuni crediti e una importante rivisitazione di quelli precedentemente adattati. Questa procedura ha richiesto meno tempo del previsto, circa 9 mesi, grazie all'esperienza accumulata per la creazione di LEED Italia NC v. 0.9b e alla dedizione del Comitato LEED; il progetto infatti fu iniziato nel luglio 2009 si è concluso con il lancio ufficiale in aprile 2010, a seguito dell'approvazione degli organi istituzionali di USGBC.

A meno di un anno dal lancio di LEED Italia *Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni*, già sono in arrivo i protocolli LEED per le *Scuole*, LEED per gli *Involucri* e GBC Italia Home per il *residenziale sotto i quattro piani fuori terra*.

Vi sono diversi motivi che spiegano questo successo: il primo riguarda il processo di certificazione che prevede una figura terza, il Green Building Certification Institute (GBCI), quale ente certificatore *super partes* rispetto all'ente normatore (US GBC e GBC Italia) e agli attori coinvolti nel processo di progettazione/realizzazione

Il secondo è la non esistenza di un unico protocollo LEED, ma di una serie di protocolli accomunati da uno schema concettuale che si declina in modo diverso in funzione della tipologia dell'edificio che si vuole certificare.

Il terzo è legato alla diffusione internazionale di tutto il sistema LEED-GBC.

Il LEED è lo strumento che permette di tradurre in punteggio la complessa matrice di interrelazioni che vi sono tra le grandi aree dell'*energia* e *atmosfera*, della *gestione dell'acqua*, della *sostenibilità del sito*, dei *materiali* e le *risorse*, della *qualità dell'ambiente interno* e dell'*innovazione*; per fare questo, tutti i protocolli identificano in ciascuna delle aree sopra menzionate alcuni aspetti che sono ritenuti primari e di estrema importanza, chiamati Pre-Requisiti. Se tutti questi non vengono soddisfatti non è possibile certificare l'edificio in alcun modo.

Un esempio può essere la prevenzione dell'inquinamento dalle attività di cantiere all'interno dell'area *Siti Sostenibili*, oppure la riduzione del consumo di acqua potabile indoor nell'area *Gestione delle Acque* o il raggiungimento di prestazioni energetiche minime nell'area *Energia e Atmosfera*.

In concomitanza ai pre-requisiti obbligatori, vi sono aspetti facoltativi, chiamati *Crediti*, che vengono scelti dalla committenza e dal gruppo di progettazione/costruzione in funzione degli obiettivi di sostenibilità che si vogliono raggiungere. Un esempio può essere la bonifica di un sito contaminato (area *Siti Sostenibili*), oppure l'utilizzo di materiali rapidamente rinnovabili (area *Materiali e Risorse*) o l'ottimizzazione della luce naturale

Ogni credito è associato a un punteggio, la somma di tutti i punteggi ottenibili è pari a 110. L'ottenimento dei crediti (e del punteggio associato a ciascuno di essi) avviene dopo verifica da parte dell'ente certificatore (GBCI), il quale controlla la documentazione fornita dal gruppo di progettazione/costruzione.

La certificazione LEED 2009 Italia *Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni* è aggiudicata in accordo con la seguente scala di valutazione, fig.6.7:

- **Base:** 40- 49 punti conseguiti
- **Argento:** 50- 59 punti conseguiti
- **Oro:** 60- 79 punti conseguiti

- **Platino:** 80 o più punti conseguiti



Figura 6.7 Rappresentazione dei 4 livelli di certificazione LEED NC 2009

Uno dei vantaggi legati a questo schema sta nella possibilità di raggiungere un livello attraverso differenti combinazioni di crediti.

Alla domanda “È più sostenibile un edificio che consuma poca energia, oppure un edificio che consuma poca acqua o un edificio che non ha richiesto materie prime vergini per la sua costruzione?” la risposta più corretta è “Dipende”.

La flessibilità del protocollo sta nella possibilità di misurare l’ottimizzazione dell’edificio in funzione della specificità del luogo e delle esigenze della committenza, permettendo l’ottenimento del livello di certificazione voluto quale conseguenza di una progettazione e realizzazione a tutto tondo che nei contenuti richiede un approccio ben più approfondito e completo di quanto richiesto a livello normativo, sia in termini di soglie che di numero di aspetti trattati.

Le Direttive CE 2002/91 e 2010/31 trovano nel metodo proposto in LEED una naturale forma di applicazione; la certificazione energetica nazionale viene in LEED integrata con tutti i consumi legati all’utilizzo dell’edificio.

Anche in materia di risparmio idrico, LEED fissa nuovi parametri, anticipando una normativa che non è ancora presente. In materia di sostenibilità del sito, il protocollo mette in relazione scelte della pubblica amministrazione con scelte del gruppo di progettazione/costruzione, enfatizzando ancora come sia necessaria una logica integrata, specialmente in materia di riduzione delle emissioni legate all’utilizzo dell’automobile.

In materia di qualità dell’ambiente interno, LEED impone la necessità di considerare quel *trade-off* tra qualità dell’aria, consumi energetici, scelta di prodotti atossici ed ergonomia degli spazi. Nonostante i molti crediti contenuti nel protocollo, può anche capitare che un particolare aspetto considerato e trattato dal gruppo di progettazione/costruzione non trovi possibilità di misura; l’area Innovazione permette di avere un protocollo aperto e sempre in grado di premiare quella parte di professionisti il cui ingegno non trova misurabilità in un credito già definito.

Il certificare un edificio con i protocolli LEED permette di confrontarsi con i più alti livelli di standard e di qualità internazionali, lasciando la possibilità di scegliere la propria strategia e di misurarla in modo oggettivo e pragmatico.

6.7.1 Il sistema di attribuzione del punteggio per i crediti

Il sistema di certificazione LEED 2009 NC ha la distribuzione dei crediti imperniata sugli effetti che ogni credito ha sull'ambiente e sulla salute umana rispetto ad un insieme di categorie d'impatto. Tali categorie sono definite come l'impatto ambientale ed umano della progettazione, costruzione, funzionamento e manutenzione dell'edificio. Per quantificare l'importanza delle differenti categorie d'impatto su ciascun credito è stata utilizzata una combinazione di approcci, inclusi la modellazione energetica, la valutazione del ciclo di vita, l'analisi dei trasporti. La conseguente distribuzione dei punti tra i crediti definisce il peso di ciascun credito. Come base per la pesatura di ogni credito si utilizzano le categorie definite dall'agenzia governativa ambientale *U.S. Environmental Protection Agency* all'interno del software TRACI (*Tools for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts*). Inoltre prende in considerazione anche il sistema di pesatura implementato dal NIST (*National Institute of Standards and Technology*) che consente di comparare reciprocamente le diverse categorie di impatto e di assegnare conseguentemente il relativo peso a ciascuna di esse.

Il sistema di pesatura dei crediti LEED 2009 NC è basato sui seguenti parametri, validi in tutti i sistemi di certificazione LEED [64]:

- tutti i crediti LEED valgono almeno 1 punto;
- tutti i crediti LEED hanno un valore intero positivo, non esistono valori frazionari o negativi;
- tutti i crediti LEED ricevono un peso unico e fisso in ogni sistema di valutazione, senza variazioni geografiche;
- tutti i sistemi di valutazione LEED hanno 100 punti di base; le categoria IP (Innovazione nella Progettazione) e PR (Priorità Regionale) permettono di conseguire ulteriori dieci punti di bonus.

In funzione dei criteri visti in precedenza, il processo di pesature dei crediti di LEED 2009 si sviluppa in tre passaggi:

1. in base ad un edificio di riferimento per la certificazione LEED si stima l'impatto ambientale nelle diverse categorie derivate dal software TRCI;

2. si individua il peso relativo dei diversi impatti dell'edificio per ogni categoria in accordo ai valori indicati dal sistema NIST;
3. si assegna il punteggio di ciascun credito in base ai dati che quantificano l'impatto dell'edificio sull'ambiente e sulla salute umana.

Una volta assegnato ad ogni credito un punteggio correlato all'importanza relativa degli impatti degli edifici e delle corrispondenti conseguenze ambientali, è possibile determinare l'influenza ambientale complessiva di ciascun credito attraverso una media pesata che combina le considerazioni relative agli impatti dell'edificio e il valore relativo delle diverse categorie d'impatto.

Il sistema di valutazione LEED 2009 Italia *Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni*, definisce in definitiva un insieme di standard prestazionali per la certificazione del progetto e della costruzione di edifici commerciali o istituzionali e per edifici residenziali di grande altezza, sia pubblici sia privati.

I prerequisiti e i crediti del sistema di valutazione sono divisi nelle seguenti categorie :

1. **Sostenibilità del sito- SS** (1 prerequisito- 8 crediti): gli edifici certificati devono avere il minor impatto possibile sul territorio e sull'area di cantiere;
2. **Gestione efficiente dell'acqua- GA** (1 prerequisito- 3 crediti) : la presenza di sistemi per il recupero dell'acqua piovana o di rubinetti con regolatori di flusso deve garantire la massima efficienza nel consumo di acqua;
3. **Energia ed Atmosfera- EA** (3 prerequisiti, 6 crediti): utilizzando al meglio l'energia da fonti rinnovabili e locali, è possibile ridurre in misura significativa la bolletta energetica degli edifici;
4. **Materiali e Risorse- MR** (1 prerequisito, 7 crediti): ottengono un punteggio superiore, gli edifici costruiti con l'impiego di materiali naturali, rinnovabili e locali, come il legno
5. **Qualità degli ambienti interni- QI** (2 prerequisiti, 8 crediti): gli spazi interni dell'edificio devono essere progettati in modo da contribuire favorevolmente al bilancio energetico e favorire il massimo confort abitativo per gli occupanti;
6. **Innovazione nella progettazione – IP** (2 crediti): l'impiego di tecnologie costruttive migliorative è un elemento di valore aggiunto, ai fini della certificazione;
7. **Priorità regionale- PR**: per promuovere l'importanza delle tematiche ambientali per una particolare area geografica, GBC Italia con il supporto dei Chapter locali identifica sei tra i crediti contenuti nelle cinque categorie di base che possono avere rilevanza territoriale. In conseguimento di uno di questi sei crediti identificati permette di ottenere un punto aggiuntivo nella categoria *Priorità Regionale*, fino ad un massimo di quattro; qualora il progetto sia in grado di raggiungere più di quattro

crediti, il gruppo di lavoro ha la facoltà di decidere quali adottare nella categoria *Priorità Regionale*.

La figura 6.8 mostra la distribuzione in percentuale delle categorie.

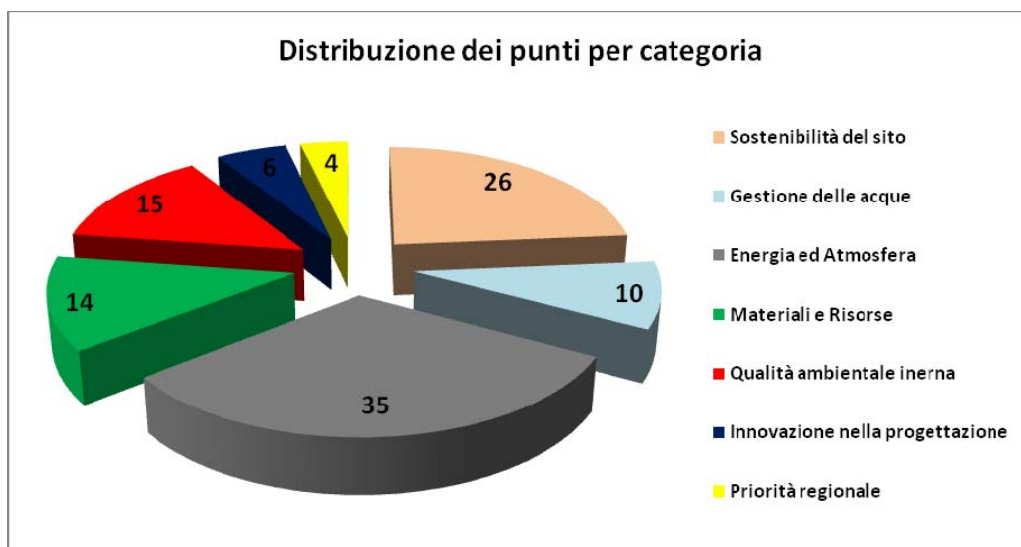


Figura 6.8 Rappresentazione dei punteggi delle categorie LEED NC 2009

Nella figura 6.9 sono riportati i crediti delle singole categorie e i punteggi conseguibili.

SI	?	NO	Sostenibilità del Sito	Punteggio massimo:	26
SI			Prereq. 1	Prevenzione dell'inquinamento da attività di cantiere	Obbligatorio
			Credito 1	Selezione del sito	1
			Credito 2	Densità edilizia e vicinanza ai servizi	5
			Credito 3	Recupero e riqualificazioni dei siti contaminanti	1
			Credito 4.1	Trasporti alternativi: accesso ai trasporti pubblici	6
			Credito 4.2	Trasporti alternativi: portabiciclette e spogliatoi	1
			Credito 4.3	Trasporti alternativi: veicoli a bassa emissione e a carburante alternativo	3
			Credito 4.4	Trasporti alternativi: capacità dell'area di parcheggio	2
			Credito 5.1	Sviluppo del sito: proteggere e ripristinare l'habitat	1
			Credito 5.2	Sviluppo del sito: massimizzazione degli spazi aperti	1
			Credito 6.1	Acque meteoriche: controllo della quantità	1
			Credito 6.2	Acque meteoriche: controllo della qualità	1
			Credito 7.1	Effetto isola di calore: superfici esterne	1
			Credito 7.2	Effetto isola di calore: coperture	1
			Credito 8	Riduzione dell'inquinamento luminoso	1
SI	?	NO	Gestione delle Acque	Punteggio massimo:	10
SI			Prereq. 1	Riduzione dell'uso dell'acqua	Obbligatorio
			Credito 1	Gestione efficiente delle acque a scopo irriguo	2 - 4
				Riduzione dei consumi del 50%	2
				Nessun uso di acqua potabile per l'irrigazione	4
			Credito 2	Tecnologie innovative per le acque reflue	2
			Credito 3	Riduzione dell'uso dell'acqua	2 - 4
				Riduzione del 30%	2
				Riduzione del 35%	3
				Riduzione del 40%	4

SI	?	NO	Energia e Atmosfera		Punteggio massimo:	35
SI			Prereq. 1	Commissioning di base dei sistemi energetici dell'edificio		Obbligatorio
SI			Prereq. 2	Prestazioni energetiche minime		Obbligatorio
SI			Prereq. 3	Gestione di base dei fluidi refrigeranti		Obbligatorio
			Credito 1	Ottimizzazione delle prestazioni energetiche		1 - 19
				Riduzione del fabbisogno:		
				10% per Nuove costruzioni e di 5% per Ristrutturazioni		1
				12% per Nuove costruzioni e di 8% per Ristrutturazioni		2
				16% per Nuove costruzioni e di 12% per Ristrutturazioni		3
				18% per Nuove costruzioni e di 14% per Ristrutturazioni		4
				20% per Nuove costruzioni e di 16% per Ristrutturazioni		5
				22% per Nuove costruzioni e di 18% per Ristrutturazioni		6
				24% per Nuove costruzioni e di 20% per Ristrutturazioni		7
				26% per Nuove costruzioni e di 22% per Ristrutturazioni		8
				28% per Nuove costruzioni e di 24% per Ristrutturazioni		9
				30% per Nuove costruzioni e di 26% per Ristrutturazioni		10
				32% per Nuove costruzioni e di 28% per Ristrutturazioni		11
				34% per Nuove costruzioni e di 30% per Ristrutturazioni		12
				36% per Nuove costruzioni e di 32% per Ristrutturazioni		13
				38% per Nuove costruzioni e di 34% per Ristrutturazioni		14
				40% per Nuove costruzioni e di 36% per Ristrutturazioni		15
				42% per Nuove costruzioni e di 38% per Ristrutturazioni		16
				44% per Nuove costruzioni e di 40% per Ristrutturazioni		17
				46% per Nuove costruzioni e di 42% per Ristrutturazioni		18
				48% per Nuove costruzioni e di 44% per Ristrutturazioni		19
			Credito 2	Produzione in sito di energie rinnovabili		1 - 7
				2.5% di energie rinnovabili		1
				5% di energie rinnovabili		2
				7.5% di energie rinnovabili		3
				10% di energie rinnovabili		4
				12.5% di energie rinnovabili		5
				15% di energie rinnovabili		6
				17.5% di energie rinnovabili		7
			Credito 3	Commissioning avanzato dei sistemi energetici		2
			Credito 4	Gestione avanzata dei fluidi refrigeranti		2
			Credito 5	Misure e collaudi		3
			Credito 6	Energia verde		2

SI	?	NO	Materiali e Risorse		Punteggio massimo:	14
SI			Prereq. 1	Raccolta e stoccaggio dei materiali riciclabili		Obbligatorio
			Credito 1.1	Riutilizzo degli edifici: mantenimento di murature, solai e coperture esistenti		1 - 3
				Riutilizzo del 55%		1
				Riutilizzo del 75%		2
				Riutilizzo del 95%		3
			Credito 1.2	Riutilizzo degli edifici: mantenimento del 50% degli elementi non strutturali interni		1
			Credito 2	Gestione dei rifiuti da costruzione		1 - 2
				50% di Contenuto riciclato o recuperato		1
				75% di Contenuto riciclato o recuperato		2
			Credito 3	Riutilizzo dei materiali		1 - 2
				Riutilizzo del 5%		1
				Riutilizzo del 10%		2
			Credito 4	Contenuto di riciclato		1 - 2
				10% di Contenuto		1
				20% di Contenuto		2
			Credito 5	Materiali estratti, lavorati e prodotti a distanza limitata (materiali regionali)		1 - 2
				10% dei materiali		1
				20% dei materiali		2
			Credito 6	Materiali rapidamente rinnovabili		1
			Credito 7	Legno certificato		1

SI	?	NO	Qualità ambientale Interna		Punteggio massimo:	15
SI			Prereq. 1	Prestazioni minime per la qualità dell'aria		Obbligatorio
SI			Prereq. 2	Controllo ambientale del fumo di tabacco		Obbligatorio
			Credito 1	Monitoraggio della portata dell'aria di rinnovo		1
			Credito 2	Incremento della ventilazione		1
			Credito 3.1	Piano di gestione IAQ: Fase costruttiva		1
			Credito 3.2	Piano di Gestione IAQ: prima dell'occupazione		1
			Credito 4.1	Materiali basso emissivi: adesivi, primers, sigillanti, materiali cementizi e finiture per legno		1
			Credito 4.2	Materiali basso emissivi: pitture		1
			Credito 4.3	Materiali basso emissivi: pavimentazioni		1
			Credito 4.4	Materiali basso emissivi: prodotti in legno composito e fibre vegetali		1
			Credito 5	Controllo delle fonti chimiche ed inquinanti indoor		1
			Credito 6.1	Controllo e gestione degli impianti: illuminazione		1
			Credito 6.2	Controllo e gestione degli impianti: comfort termico		1
			Credito 7.1	Comfort termico: progettazione		1
			Credito 7.2	Comfort termico: verifica		1
			Credito 8.1	Luce naturale e visione: luce naturale per il 75% degli spazi		1
			Credito 8.2	Luce naturale e visione: visuale esterna per il 90% degli spazi		1

SI	?	NO	Innovazione nella Progettazione		Punteggio massimo:	6
			Credito 1.1	Innovazione nella Progettazione: titolo specifico		1
			Credito 1.2	Innovazione nella Progettazione: titolo specifico		1
			Credito 1.3	Innovazione nella Progettazione: titolo specifico		1
			Credito 1.4	Innovazione nella Progettazione: titolo specifico		1
			Credito 1.5	Innovazione nella Progettazione: titolo specifico		1
			Credito 2	Professionista Accreditato LEED (LEED AP)		1

SI	?	NO	Priorità Regionale		Punteggio massimo:	4
			Credito 1.1	Priorità Regionale: credito specifico		1
			Credito 1.2	Priorità Regionale: credito specifico		1
			Credito 1.3	Priorità Regionale: credito specifico		1
			Credito 1.4	Priorità Regionale: credito specifico		1

SI	?	NO	Sostenibilità del Sito		Punteggio massimo:	26
SI			Prereq. 1	Prevenzione dell'inquinamento da attività di cantiere		Obbligatorio
			Credito 1	Selezione del sito		1
			Credito 2	Densità edilizia e vicinanza ai servizi		5
			Credito 3	Recupero e riqualificazione dei siti contaminanti		1
			Credito 4.1	Trasporti alternativi: accesso ai trasporti pubblici		6
			Credito 4.2	Trasporti alternativi: portabiciclette e spogliatoi		1
			Credito 4.3	Trasporti alternativi: veicoli a bassa emissione e a carburante alternativo		3
			Credito 4.4	Trasporti alternativi: capacità dell'area di parcheggio		2
			Credito 5.1	Sviluppo del sito: proteggere e ripristinare l'habitat		1
			Credito 5.2	Sviluppo del sito: massimizzazione degli spazi aperti		1
			Credito 6.1	Acque meteoriche: controllo della quantità		1
			Credito 6.2	Acque meteoriche: controllo della qualità		1
			Credito 7.1	Effetto isola di calore: superfici esterne		1
			Credito 7.2	Effetto isola di calore: coperture		1
			Credito 8	Riduzione dell'inquinamento luminoso		1
SI	?	NO	Gestione delle Acque		Punteggio massimo:	10
SI			Prereq. 1	Riduzione dell'uso dell'acqua		Obbligatorio
			Credito 1	Gestione efficiente delle acque a scopo irriguo		2 - 4
				Riduzione dei consumi del 50%		2
				Nessun uso di acqua potabile per l'irrigazione		4
			Credito 2	Tecnologie innovative per le acque reflue		2
			Credito 3	Riduzione dell'uso dell'acqua		2 - 4
				Riduzione del 30%		2
				Riduzione del 35%		3
				Riduzione del 40%		4

Figura 6.9 Lista di verifica relativa al LEED Italia 2009 Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni

6.7.2 Descrizione delle finalità e dei requisiti dei principali crediti

Di seguito verrà data una breve descrizione di alcuni crediti che si ritengono di particolare importanza per le categorie precedentemente illustrate, perché consentono di accumulare un numero maggiore di punti.

6.7.2.1 Crediti per la sostenibilità del sito (SS)

Tale categoria, nel valutare l'impatto del costruito sull'ambiente circostante assume come prerequisito fondamentale quello di prevenire l'inquinamento provocato dalle attività di costruzione controllando i fenomeni di erosione del suolo, di sedimentazione nelle acque riceventi e la produzione di polveri.

Credito SS 2– Densità edilizia e vicinanza ai servizi

Il credito ha l'obiettivo di indirizzare lo sviluppo edilizio verso aree urbane dove sono presenti già servizi e infrastrutture. Per cui si acquistano 5 punti se si costruisce in un'area

già edificata e con una densità edilizia di $2.5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ oppure se è edificato in una zona che soddisfi i seguenti criteri:

- zona precedentemente edificata;
- comprende almeno 10 servizi di base entro un raggio di 800 m;
- è dotata di accesso pedonale tra l'edificio e i servizi di base;
- è situata entro 800 m da un'area residenziale con una densità media di 10 unità abitative ogni 400 m^2 .

Credito SS 4 – Trasporti alternativi

La finalità del credito è quella di ridurre l'inquinamento e l'impatto ambientale generati dal traffico automobilistico. L'edificio in esame può sommare i punteggi di due diversi sottocriteri:

- Credito SS 4.1: accesso ai trasporti pubblici;
- Credito SS 4.2: portabiciclette e spogliatoi;
- Credito SS 4.3: veicoli a bassa emissione e a carburante alternativo;
- Credito SS 4.4: capacità dell'area di parcheggio.

Nel primo caso si acquistano 6 punti se l'edificio è ad una distanza percorribile a piedi inferiore ad 800 m da una stazione ferroviaria o metropolitana, oppure ad una distanza percorribile a piedi inferiore ad 400 m dalle fermate di servizi pubblici di trasporto.

Per il secondo sottocredito si acquista un ulteriore punto se gli edifici residenziali hanno un deposito coperto e in sicurezza per le biciclette per almeno il 15% degli occupanti, mentre per gli edifici del terziario si verifica se hanno un deposito coperto e in sicurezza per le biciclette per almeno il 5% degli occupanti ad una distanza inferiore ai 200 m dall'ingresso e spogliatoi pari almeno allo 0,5% degli occupanti equivalenti a tempo pieno.

Con il terzo sottocriterio si acquistano tre punti se sono previsti parcheggi preferenziali o a costo ridotto per veicoli a bassa emissione o a carburante alternativo, se sono installate stazioni di rifornimento di carburante alternativo per il 3% della capacità totale del parcheggio, se si forniscono veicoli a bassa emissione o a carburante alternativo per il 3% degli occupanti equivalenti a tempo pieno o infine fornire agli occupanti un servizio di car sharing con tali veicoli.

L'ultima voce di credito consente di guadagnare due punti a seconda del dimensionamento della capacità del parcheggio in modo conforme alle prescrizioni degli strumenti urbanistici locali e alla destinazione d'uso dell'edificio.

6.7.2.2 Crediti per la gestione efficiente dell'acqua (GA)

Questa serie di crediti si pone l'obiettivo di limitare gli sprechi di acqua potabile premiando un suo uso più "razionale", incentivando sistemi di conservazione e riuso, sollecitando l'inserimento nei progetti di impianti chimici per il trattamento e l'uso delle cosiddette "acque grigie" da destinarsi agli scarichi generali. L'unico prerequisito è quello di implementare strategie che complessivamente realizzano un risparmio idrico del 20% rispetto al caso di riferimento calcolato per l'edificio in oggetto, escludendo l'irrigazione. Per calcolare il caso di riferimento, sono riportati, come nella seguente tabella, i dati da considerare per le attività commerciali e residenziali.

Tabella 6.10 Dati da considerare per le attività commerciali e residenziali

APPARECCHIATURE COMMERCIALI, ACCESSORIE, ED APPLICAZIONI	VALORI DI RIFERIMENTO
WC commerciali	6,0 litri per flusso *
Orinatori commerciali	4,0 litri per ciclo
Rubinetti di lavabi commerciali	8,5 litri al minuto a 4 bar per applicazioni private (come di hotel, motel, camere di ospedale) 2,0 litri a 4 bar per tutti gli altri eccetto l'utilizzo privato 1 litro per ciclo per rubinetti temporizzati
Rubinetti spray di prelavaggio (applicazione per prodotti alimentari)	Portata \leq 6,0 litri al minuto (non è specificata alcuna pressione; nessun requisito richiesto)

APPARECCHIATURE RESIDENZIALI, ACCESSORIE, ED APPLICAZIONI	VALORI DI RIFERIMENTO
WC residenziali	6,0 litri per flusso *
Rubinetti di lavabi residenziali	8,5 litri al minuto a 4 bar
Lavelli cucina residenziali	
Doccia residenziale	9, 5 litri al minuto a 5 bar**

Credito GA 1 – Gestione efficiente delle acque a scopo irrigui

Ulteriori crediti si possono acquisire limitando o evitando l'utilizzo di acque potabili, di superficie o del sottosuolo disponibili nelle vicinanze del sito dell'edificio, per scopi irrigui. In questo caso si acquisiscono due punti se si riducono i consumi del 50% rispetto al valore calcolato nel periodo estivo, mentre se ne acquisiscono quattro se non si utilizza acqua potabile o perché si usa solo acqua captata, acque di rifiuto recuperate, acque grigie riciclate o perché sono state predisposte particolari tipologie vegetative che non necessitano di sistemi di irrigazione permanenti.

Credito GA 3 – Riduzione dell'uso d'acqua

Il progettista dell'impianto idrosanitario di un edificio sostenibile ha come obiettivo la riduzione della quantità totale di acqua potabile consumata da un edificio e la riduzione al minimo possibile dell'impatto che questo consumo di acqua comporta sull'acquedotto e sulle reti di scarico.

Per minimizzare il consumo di acqua potabile in un edificio si può ricorrere o all'impiego di acqua riciclata o ad apparecchi sanitari come ad esempio:

- Rubinetti a funzionamento automatico
- WC a doppio pulsante
- Orinatori a bassa portata
- Orinatori senza acqua

Le percentuali minime di risparmio d'acqua per ogni soglia di punteggio sono mostrate nella tabella seguente.

Tabella 6.11 Percentuale minima di risparmio d'acqua

RIDUZIONE PERCENTUALE	PUNTI
30%	2
35%	3
40%	4

6.7.2.3 Crediti per la categoria Energia e Ambiente (EA)

L'area dedicata all' "Energia ed Atmosfera" è quella caratterizzata dal maggior numero di punti conseguibili. I prerequisiti fondamentali sono tre:

1. **Il Commissioning di base degli impianti dell'edificio:** consiste nel verificare che i sistemi energetici siano installati, tarati e funzionino in accordo con le richieste del committente, i documenti di progetto e i documenti di appalto. In particolare tale verifica, andrà fatta come minimo ai sistemi di produzione dell'acqua calda sanitari, ai sistemi di controllo dell'illuminazione artificiale e naturale, agli impianti di produzione di energia rinnovabile, agli impianti di riscaldamento, ventilazione, aria condizionata e refrigerazione.
2. **Prestazioni energetiche minime:** per stabilire un livello minimo di efficienza energetica, si richiede che l'edificio rispetti le disposizioni obbligatorie della ASHRAE/IESNA 90.1- 2007, e rispetti le prescrizioni del DPR 59/2009. Il calcolo delle

prestazioni energetiche può avvenire o attraverso una procedura semplificata, o attraverso la simulazione in regime dinamico dell'edificio;

3. **Gestione di base dei fluidi refrigeranti:** la finalità è quella di ridurre la distruzione dell'ozono stratosferico vietando l'utilizzo di refrigeranti a base di CFC e di HCFC negli impianti nuovi e prescrivendo la sostituzione per quelli non conformi a servizio di edifici esistenti.

Credito EA 1 Ottimizzazione delle prestazioni energetiche

L'ottimizzazione delle prestazioni energetiche assume come livello di partenza quello verificato nel secondo prerequisito. Rispetto a questo, sono possibili due valutazioni che permettono di conseguire un punteggio differente.

La prima opzione prevede una procedura semplificata per determinare la riduzione percentuale di fabbisogno di energia primaria totale dell'edificio, con un calcolo in condizione standard per i principali indici di fabbisogno, come indicato dalle UNI/TS 11300, e il calcolo dell'energia di processo come indicato dallo Standard ASHRAE 90.1.2007.

In proporzione ai risultati ottenuti si attribuiscono i punteggi riportati nella tabella seguente.

Tabella 6.12 Punteggi da attribuire in base alla riduzione percentuale di fabbisogno di energia primaria totale dell'edificio

EDIFICIO NUOVO	EDIFICIO ESISTENTE	PUNTI
10%	5%	Perequisito
15%	10%	1
20%	15%	2
≥25%	≥20%	3

La seconda opzione è un calcolo in regime dinamico seguendo il Building Performance Rating Method riportato nell'Appendice G della norma ANSI/ASHRAE 90.1-2007. I punti sono assegnati in funzione dell'energia risparmiata per il funzionamento globale dell'edificio, e le percentuali sono riportate nella tabella 6.13.

Per ottenere i punti di credito attraverso questa opzione il progetto dovrà rispettare sia le prescrizioni del secondo prerequisito, sia includere tutti i consumi di energia del progetto e quelli ad esso associati, sia essere comparato con un edificio di riferimento, che rispetti i requisiti dell'appendice G, precedentemente citata con alcune variazioni per l'adattamento alla realtà italiana [29].

Tabella 6.13 Punteggi da attribuire in relazione all'energia risparmiata per il funzionamento globale dell'edificio

EDIFICIO NUOVO	EDIFICIO ESISTENTE	PUNTI
10%	5%	Prerequisito
12%	8%	1
14%	10%	2
16%	12%	3
18%	14%	4
20%	16%	5
22%	18%	6
24%	20%	7
26%	22%	8
28%	24%	9
30%	26%	10
32%	28%	11
34%	30%	12
36%	32%	13
38%	34%	14
40%	36%	15
42%	38%	16
44%	40%	17
46%	42%	18
48%	44%	19

Credito EA 2 : Misure e Verifiche (M&V)

L'obiettivo del credito è quello di promuovere un livello crescente di produzione autonoma di energia da fonti rinnovabili. I punti acquisibili, come mostrato nella tabella seguente, sono scalati in funzione della percentuale di soddisfacimento del fabbisogno annuo di energia primaria con fonti rinnovabili.

Tabella 6.14 Punteggio da attribuire in funzione della percentuale di soddisfacimento del fabbisogno annuo di energia primaria con fonti rinnovabili

% ENERGIA RINNOVABILE	PUNTI
2.5 %	1
5 %	2
7.5%	3
10 %	4
12.5 %	5
15 %	6
17.5 %	7

Credito EA 5 Misure e Collaudi

I requisiti per questo credito comportano l'installazione di sensori ed un sistema di monitoraggio nell'edificio per poter misurare e registrare i principali parametri prestazionali dell'impianto HVAC come la portata di aria, il consumo di energia dei componenti principali (ventilatori, pompe...).

6.7.2.4 Crediti per materiali e risorse (MR)

Un edificio produce una quantità enorme di rifiuti e scarti, a partire dalla sua costruzione, durante tutto il suo ciclo di vita per finire alla sua demolizione e smaltimento. I crediti di questa area indirizzano da una parte ad una politica di acquisti volta a ridurre l'impatto ambientale (acquisti di beni derivati da materiali riciclati, prodotti nelle vicinanze del sito, assemblati con materiali locali o biodegradabili e non tossici...) e dall'altra ad una politica di gestione dei rifiuti che miri a ridurre la produzione e all'incentivarne il riciclo attraverso uno smaltimento "ecologico". L'unico prerequisito è la raccolta e lo stoccaggio dei materiali riciclabili, predisponendo all'interno dell'edificio una zona facilmente accessibile per tale operazione.

Credito MR 1 : Riutilizzo degli edifici

La finalità del credito è quella di estendere il ciclo di vita del patrimonio edilizio esistente, riducendo i rifiuti e l'impatto ambientale delle nuove costruzioni anche in relazione alla produzione e al trasporto. L'edificio in esame può sommare i punteggi di due diversi sottocriteri:

- **Credito MR 1.1:** mantenimento di murature, solai e coperture esistenti;
- **Credito MR 1.2:** mantenimento del 50% degli elementi non strutturali interni.

Nel primo caso si possono ottenere massimo 3 punti in funzione della percentuale di riutilizzo, (come mostrato in tabella), che consente di mantenere la struttura dell'edificio esistente (inclusi i solai portanti e le coperture) e dell'involucro edilizio (rivestimento esterno e pareti, ad esclusione di finestre e materiali di rivestimento non strutturali).

Tabella 6.15 Punteggio da attribuire in funzione della percentuale di riutilizzo degli edifici

RIUTILIZZO DEGLI EDIFICI	PUNTI
55%	1
75%	2
95%	3

Per il secondo sottocriterio si può guadagnare un ulteriore punto se si mantengono elementi non strutturali interni esistenti (tramezzi, porte, rivestimenti di pavimenti e di soffitti) per almeno il 50% dell'edificio finito, ampliamenti compresi.

Credito MR 5: Materiali estratti, lavorati e prodotti a distanza limitata

L'obiettivo è quello di sostenere l'uso di risorse locali riducendo gli impatti derivanti dal trasporto, favorendo allo stesso tempo l'utilizzo di trasporti a limitato impatto ambientale come quello su rotaia o via mare. Il massimo dei punti acquisibili è due ed esistono tre opzioni.

In una prima opzione si assegna un punto se si utilizzano materiali e prodotti da costruzione che siano estratti, accolti o recuperati, nonché lavorati, entro un raggio di 350 km dal sito di costruzione per un minimo del 10% del valore totale dei materiali. Si acquistano due punti se la percentuale sale al 20%.

La seconda opzione assegna un punto se si utilizzano materiali e prodotti da costruzione che siano estratti, accolti o recuperati, nonché lavorati, entro un raggio di 1050 km dal sito di costruzione per un minimo del 10% del valore totale dei materiali trasportati via ferrovia o via mare. Si acquistano due punti se la percentuale sale al 20%.

Infine la terza opzione è una combinazione delle precedenti secondo quanto mostrato nella tabella seguente.

Tabella 6.16 Punteggio da attribuire in base ai materiali estratti, lavorati e prodotti a distanza limitata

MATERIALI ESTRATTI, LAVORATI E PRODOTTI A DISTANZA LIMITATA	PUNTI
3 % (350 km) + 7 % (1050 km) = 10%	1
12 % (350 km) + 8 % (1050 km) = 20%	2

6.7.2.5 Crediti per la qualità ambientale interna (QI)

Per garantire una adeguata qualità degli ambienti interni i crediti di tale categoria agiscono sul controllo della qualità dell'aria, sull'ottimizzazione della ventilazione, sul controllo dei contaminanti e delle muffe, sulla verifica e manutenzione periodica degli impianti, sull'uso di un sistema di sensori in grado di regolare autonomamente e in qualsiasi momento la miscela di aria entrante (con la rilevazione in tempo reale dell'umidità, della temperatura, del livello di CO₂, ...), sul comfort acustico, sull'illuminazione, sull'accesso a finestre o aperture ecc.

Per fare ciò, si devono rispettare due prerequisiti fondamentali:

1. **prestazioni minime per la qualità dell'aria:** si devono assicurare le portate di ventilazione indicate nella UNI EN 15251 con riferimento alla Classe II. Per gli edifici non residenziali si deve far riferimento alla categoria *low polluting buildings* nonché devono essere rispettati i criteri progettuali della UNI EN 13779;
2. **Controllo del fumo di tabacco ambientale:** si prescrive il divieto di fumare all'interno degli edifici entro una distanza di almeno 8 metri dagli ingressi e dalle finestre apribili, oppure individuare e segnalare opportunamente zone in cui è consentito fumare, con talune specificate caratteristiche.

Credito QI 1 - Monitoraggio della portata di aria esterna

L'obiettivo principale è quello di installare sistemi di monitoraggio permanenti per generare un segnale d'allarme quando i livelli dello scostamento dei valori di anidride carbonica variano rispetto ai valori di progetto del 10% o più. Inoltre per gli spazi ventilati meccanicamente occorre monitorare le concentrazioni di biossido di carbonio all'interno di tutti gli spazi densamente occupati e prevedere un sistema di misurazione della portata d'aria esterna capace di misurare il flusso d'aria esterno con un'accuratezza di circa il 15% rispetto alla portata d'aria esterna minima di progetto.

Credito QI 6 – Controllo e gestione degli impianti

Lo scopo è quello di fornire agli occupanti un elevato livello di regolazione degli impianti installati per migliorare la loro produttività e salute. Complessivamente si possono acquisire due punti:

- **Credito QI 6.1:** illuminazione;
- **Credito QI 6.2:** comfort termico.

Nel primo credito è necessario garantire la possibilità di una regolazione individuale e collettiva dell'impianto di illuminazione per almeno il 90% degli occupanti in maniera da poter adattare l'intensità luminosa alle necessità e alle referenze individuali e collettive.

Con il secondo credito è necessario garantire la possibilità di una regolazione individuale del comfort termico per almeno il 50% degli occupanti. Le finestre apribili possono essere usate, al posto di sistemi individuali di controllo, per gli occupanti di quelle aree che distano meno di sei metri dalla parete esterna e lateralmente meno di tre metri da una delle due estremità del serramento apribile.

6.7.2.6 Crediti per l'innovazione nella progettazione (IP)

Le metodologie da adottare per l'accrescimento della sostenibilità degli edifici sono in costante e continua evoluzione; grazie alla ricerca scientifica nuove tecnologie sono frequentemente immesse sul mercato e vanno ad influire sulla progettazione, la costruzione e la funzionalità degli edifici. Questa serie di crediti è studiata quindi per garantire che l'edificio finale sia quanto più possibile dotato di accorgimenti e tecnologie atte a garantire una alta efficienza e sostenibilità della struttura in accordo con tutti i crediti delle aree precedentemente descritte.

Credito IP 1 - Innovazione nella progettazione

Lo scopo è fornire al team di progettazione ed ai progettisti l'opportunità di acquisire punti per prestazioni al di sopra dei requisiti fissati dal sistema di classificazione e/o per prestazioni innovative nelle categorie di edifici sostenibili non menzionate specificatamente dal suddetto sistema di classificazione. Il conseguimento del credito può essere realizzato con una combinazione di percorsi. Un primo percorso è quello di conseguire un miglioramento significativo e misurabile nelle prestazioni dell'edificio, in termini di sostenibilità ambientale, per cui si assegna un punto per ciascuna innovazione introdotta fino ad un massimo di cinque. Un secondo percorso prevede il raggiungimento di una prestazione eccezionale per un prerequisito o credito per cui siano presenti indicazioni relative alla sezione Prestazione esemplare.

In generale in questa categoria può essere conseguito un punto attraverso il superamento di oltre il doppio dei parametri richiesti dai requisiti.

Credito IP 2 – Accredimento professionale LEED

Lo scopo è promuovere la progettazione integrata richiesta dal sistema LEED mentre il requisito è che almeno un membro del team di progettazione deve essere certificato LEED.

6.7.3 Procedura di accreditamento e di certificazione LEED NC 2009

Il sistema di valutazione LEED 2009 Italia *Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni* è stato sviluppato in primo luogo per edifici civili italiani di nuova edificazione ad uso istituzionale e commerciale, ma può essere applicato anche a differenti tipologie di edificio. In sostanza, tutti gli edifici commerciali sono idonei alla certificazione e la definizione "commerciale" comprende strutture utilizzate come uffici, negozi e attività di servizio, edifici istituzionale, alberghi ed edifici residenziali con almeno quattro piani abitabili.

Il protocollo è orientato anche a ristrutturazioni importanti, cioè che coinvolgono elementi rilevanti degli impianti di climatizzazione, significativi cambiamenti dell'involucro edilizio e il rinnovo o riorganizzazione funzionale degli spazi interni.

I gruppi di progettazione interessati ad acquisire la certificazione LEED devono prima di tutto registrarsi sul sito web di Green Building Council Italia contenente tutte le informazioni sui costi di registrazione dei soci di GBC e non. La candidatura di un progetto richiede l'invio di una descrizione generale del progetto comprendente dettagli specifici riguardanti il soggetto che richiede la certificazione, la committenza, l'edificio, il sito di costruzione e il gruppo di progettazione; questo permette ai revisori LEED di comprendere le principali caratteristiche del progetto e la prestazione dell'edificio. La documentazione generale richiede anche i dettagli fondamentali attinenti le condizioni del sito di progetto, gli obiettivi della committenza, il programma dei lavori, l'occupazione prevista dell'edificio al suo completamento e l'identificazione del gruppo della progettazione.

I progetti per poter accedere alla certificazione LEED devono rispettare i termini indicati dai Requisiti Minimi di Programma associati al sistema di valutazione cui si riferiscono, oppure devono possedere le caratteristiche minime indicate. I Requisiti Minimi si evolveranno nel tempo contestualmente ai sistemi di valutazione LEED. È importante sottolineare inoltre che il Green Building Certification Institute (GBCI) si riserva il diritto di revocare la certificazione LEED ad ogni progetto LEED 2009 Italia, in caso di difformità rispetto a qualsiasi requisito Minimo di Programma.

Una volta che il progetto candidato dimostra di soddisfare tutti i Requisiti Minimi di Programma, il rispetto di tutti i Prerequisiti del sistema di certificazione, e che il punteggio complessivo ottenuto dai criteri proposti dai crediti LEED è superiore alla soglia minima, ottiene la certificazione LEED con un livello che dipende dalla conformità del progetto al sistema di valutazione.

Tuttavia qualora il gruppo di progettazione non accetti l'eventuale giudizio negativo della commissione giudicatrice ha la facoltà di appellarsi su LEED Online.

LEED 2009 Italia Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni suddivide la certificazione dell'edificio in due fasi: *Progettazione e Costruzioni*.

- **Revisione nella fase di Progettazione:** ogni gruppo di progettazione può chiedere solo una volta la revisione nella fase di Progettazione. Essa si articola in una fase preliminare (Preliminary Design Review) e una fase finale (Final Design Review). Il superamento con successo della fase di Progettazione non dà diritto alla certificazione LEED, ma rappresenta un elemento utile al gruppo di progettazione per valutare le potenzialità di ottenimento dei crediti e per mantenere un costante

coinvolgimento di tutti gli interessati al fine di assicurare che l'edificio sia costruito secondo le specifiche di progetto;

- **Revisione nella fase di Costruzione:** al termine della realizzazione del progetto, il gruppo di progettazione può sottoporre al giudizio dei certificatori tutti i crediti che si intendono ottenere per la Fase di Costruzione (Construction Phase Review) e ogni eventuale credito non inviato precedentemente nella fase di Progettazione.

Completata tutta la documentazione richiesta e il relativo pagamento, GBCI provvede alla verifica finale di conseguimento della certificazione, credito per credito (*final review*). I crediti anticipati nella fase di Progettazione che non hanno subito modifiche saranno automaticamente aggiudicati, mentre tutti gli altri crediti saranno valutati con successo (Awarded) o meno (Denied).

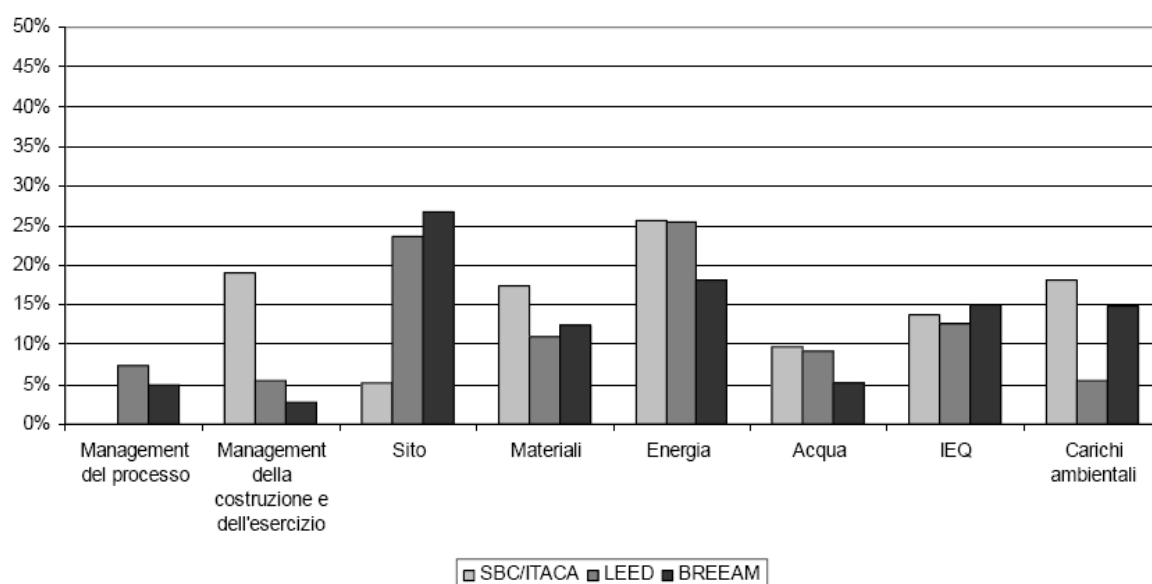
Gli edifici che raggiungono uno di questi livelli di valutazione riceveranno una lettera formale non appena concluso il processo di certificazione.

6.8 I protocolli di valutazione a confronto

Appare evidente che tra i diversi protocolli ci siano affinità di contenuto e di organizzazione formale e amministrativa, che è possibile raggrupparli in sette tematiche:

- gestione del processo: cioè la presenza di figure professionali dedicate con ruoli specifici a supporto del progetto;
- gestione della costruzione e dell'edificio: cioè applicazione di strategie di monitoraggio e gestione delle risorse;
- sito: cioè controllo di aspetti legati alla tutela del cantiere, alla conservazione delle realtà ambientali di pregio, alla biodiversità ed ai trasporti;
- materiali: cioè valutazione dell'energia inglobata nei materiali utilizzati e adozione di specifiche certificazioni dei componenti;
- acqua: cioè strategie di contenimento nell'uso della risorsa acqua;
- qualità dell'ambiente interno: cioè comfort termico, acustico e visivo;
- carichi ambientali: cioè controllo delle emissioni inquinanti in ambiente.

Nella tabella seguente vengono messi in evidenza i pesi attribuiti dai tre principali protocolli analizzati, espressi in percentuale, assegnati ai sette argomenti sopra citati: i pesi rappresentano il grado di rilevanza che essi assumono all'interno del sistema di valutazione.

Tabella 6.17 Confronto tra i pesi in percentuale attribuiti ai diversi crediti dei Protocolli sopra citati

Dall'analisi di questo grafico si evince che:

- non esistono differenze rilevanti per i pesi assegnati dai tre protocolli agli argomenti Materiali, Energia, Acqua e Qualità dell'ambiente interno;
- i Protocolli LEED for New Construction e BREEAM conferiscono un peso, anche se contenuto, alla Gestione del Processo: in particolare LEED conferisce rilevanza sia alla presenza all'interno del gruppo di progetto di un professionista accreditato in grado di interpretare correttamente le richieste del protocollo, sia di un' autorità terza preposta alla verifica del conseguimento degli obiettivi, mentre BREEAM assegna valore solo alla presenza di un' autorità terza e ITACA non considera proprio questa problematica;
- ITACA attribuisce un peso molto più elevato rispetto agli altri due protocolli alla Gestione della costruzione ed esercizio;
- la rilevanza assegnata al Protocollo ITACA alla gestione del sito è inferiore di quella assegnata alle altre due procedure: infatti, non vengono prese in considerazione tutte le ricadute sul cantiere sull'area di progetto, che invece godono di crediti dedicati all'interno dei su citati protocolli LEED e BREEAM;
- l'influenza attribuita da ITACA e BREEAM ai carichi ambientali è notevole rispetto a quella data da LEED.

Un'ulteriore differenza tra i protocolli riguarda la struttura delle certificazioni e il grado di flessibilità ed adattabilità al contesto [63,65].

La figura 6.10 chiarisce quanto appena scritto.

BREEAM	LEED	SB-M
Unica certificazione che comprende •Progetto •Costruito •Esercizio	Unica certificazione che comprende •Progetto •Costruito •Esercizio	Certificazioni indipendenti per •Progetto •Costruito •Esercizio

BREEAM	LEED	SB-M
Macroarea geografica	Nazione	Ambito locale

Figura 6.10 Confronto tra la struttura delle certificazioni di certificazione e il grado di flessibilità ed adattabilità al contesto dei diversi Protocolli

CAPITOLO 7

Applicazione dei Protocolli italiani ad un caso studio nella provincia di Napoli

Nella condivisione degli obiettivi del protocollo di Kyoto anche in Italia il mercato dell'edilizia si sta trasformando, orientandosi verso una progettazione concretamente sostenibile sia in termini energetici, sia in termini ambientali.

Per cui nel presente lavoro è stato effettuato inizialmente uno studio approfondito del sistema edificio-impianti e di alcuni interventi possibili da adottare per la riqualificazione energetica di un edificio residenziale, utilizzando un'accurata modellazione numerica, mediante codici di calcolo dinamici, in modo da testare l'efficacia tecnica ed economica di interventi di efficientamento mediante azione sia sull'involucro edilizio che sugli impianti termo-tecnici installati.

Tale metodo è stato posto a confronto con il metodo di calcolo in regime stazionario con condizioni al contorno standard che è recepito nel nostro Paese come modello nazionale per il calcolo della prestazione energetica ai fini delle verifiche di legge.

Come già precedente evidenziato, per conoscere e certificare il grado di sostenibilità ambientale degli edifici, sono stati esaminati nei capitoli precedenti entrambi gli approcci: la metodologia del Life Cycle Assessment e i Rating System.

Dopo aver applicato, nel capitolo precedente, la metodologia dell'Analisi del Ciclo di Vita, in questo capitolo viene determinato il grado di sostenibilità ambientale, secondo i due protocolli italiani "Protocollo Itaca" e "LEED 2009 Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni", dell'immobile per civile abitazione preso in esame precedentemente per l'analisi tecnico economica degli interventi per la riqualificazione energetica.

7.1 Descrizione qualitativa dell'edificio

L'oggetto di studio è un edificio multipiano le cui caratteristiche architettoniche ed impiantistiche sono state ampiamente mostrate nel secondo capitolo.

I due protocolli sono stati applicati al caso in cui è stata prevista la sostituzione dei serramenti esterni in legno (finestre e/o porte finestre) con un infisso dotato di trasmittanza limite di riferimento per le superfici trasparenti dedotta dalla norma vigente, l'isolamento a cappotto termico con spessore di 14 cm e l'isolamento del solaio di copertura con spessore di 8 cm.

Le relative prestazioni energetiche e ambientali sono state analizzate e valutate considerando i dati climatici della città di Napoli, nella quale l'edificio è collocato. L'immobile è posto in un contesto urbano di periferia dove vi è la presenza di reti di trasporto pubblico locale costituite da bus e tram. Tra le strutture di commercio, di servizio, sportive e culturali del quartiere più vicine, sono state considerate un supermercato, una palestra, una farmacia, una scuola elementare e un ufficio postale.

7.2 Applicazione del Protocollo Itaca 2011: analisi dei risultati

Si riporta, di seguito, lo schema generale (Tabella 7.1) che mostra i criteri appartenenti al Protocollo ITACA 2011 per destinazione d'uso residenziale, la rispettiva pesatura (di criteri, delle categorie, delle aree di valutazione e dei due strumenti – sito ed edificio) e i risultati conseguiti per l'analisi dell'immobile sopra descritto oggetto di ristrutturazione.

Come si evince dallo schema oltre a pesare i punteggi ottenuti rispetto a criteri e sottocriteri, è presente un punteggio relativo alla qualità della localizzazione (10%) che prescinde dalle scelte progettuali, e uno relativo alla qualità dell'edificio e delle aree di pertinenza (90%). La combinazione dei due punteggi esprime quello complessivo della costruzione.

Tabella 7.1 Criteri del Protocollo ITACA 2011 per ristrutturazione con destinazione d'uso residenziale

Configurazione tool
RESIDENZIALE

Tipo di intervento
RISTRUTTURAZIONE

A. Qualità del sito	
A.1 Selezione del sito	
A.1.5	Riutilizzo del territorio
A.1.6	Accessibilità al trasporto pubblico
A.1.8	Mix funzionale dell'area
A.1.10	Adiacenza ad infrastrutture

A. Qualità del sito	
A.3 Progettazione dell'area	
A.3.3	Aree esterne attrezzate
A.3.4	Supporto all'uso di biciclette
B. Consumo di risorse	
B.1 Energia primaria non rinnovabile richiesta durante il ciclo di vita	
B.1.2	Energia primaria per il riscaldamento
B.1.5	Energia primaria per acqua calda sanitaria
B.3 Energia da fonti rinnovabili	
B.3.3	Energia prodotta nel sito per usi elettrici
B.4 Materiali eco-compatibili	
B.4.1	Riutilizzo di strutture esistenti
B.4.6	Materiali riciclati/recuperati
B.4.7	Materiali da fonti rinnovabili
B.4.9	Materiali locali per finiture
B.4.10	Materiali riciclabili e smontabili
B.5 Acqua potabile	
B.5.1	Acqua potabile per irrigazione
B.5.2	Acqua potabile per usi indoor
B.6 Prestazioni dell'involucro	
B.6.2	Energia netta per il raffrescamento
B.6.3	Trasmittanza termica dell'involucro edilizio
B.6.4	Controllo della radiazione solare
B.6.5	Inerzia termica dell'edificio

C. Carichi Ambientali	
C.1 Emissioni di CO2 equivalente	
C.1.2	Emissioni previste in fase operativa
C.3 Rifiuti solidi	
C.3.2	Rifiuti solidi prodotti in fase operativa
C.4 Acque reflue	
C.4.1	Acque grigie inviate in fognatura
C.4.3	Permeabilità del suolo
C.6 Impatto sull'ambiente circostante	
C.6.8	Effetto isola di calore

D Qualità ambientale indoor	
D.2 Ventilazione	
D.2.5	Ventilazione e qualità dell'aria
D.3 Benessere termoigrometrico	
D.3.2	Temperatura dell'aria nel periodo estivo
D.4 Benessere visivo	
D.4.1	Illuminazione naturale
D.5 Benessere acustico	
D.5.6	Qualità acustica dell'edificio
D.6 Inquinamento elettromagnetico	
D.6.1	Campi magnetici a frequenza industriale (50Hertz)

E. Qualità del servizio	
E.1 Sicurezza in fase operativa	
E.1.9	Integrazione sistemi
E.2 Funzionalità ed efficienza	
E.2.4	Qualità del sistema di cablatura
E.6 Mantenimento delle prestazioni in fase operativa	
E.6.1	Mantenimento delle prestazioni dell'involucro edilizio
E.6.5	Disponibilità della documentazione tecnica degli edifici

PESO		
nella categoria	nel tool singolo	nel tool completo
10%		
100%		
100%		
0%	0%	0%
36%	36%	4%
34%	34%	3%
30%	30%	3%
90%		
5%		
100%		
27%	1%	1%
73%	4%	3%
45%		
30%		
50%	7%	6%
50%	7%	6%
10%		
100%	5%	4%
25%		
24%	3%	2%
17%	2%	2%
21%	2%	2%
17%	2%	2%
21%	2%	2%
15%		
64%	4%	4%
36%	2%	2%
20%		
0%	0%	0%
32%	3%	3%
33%	3%	3%
36%	3%	3%
20%		
30%		
100%	6%	5%
15%		
100%	3%	3%
35%		
71%	5%	4%
29%	2%	2%
20%		
100%	4%	4%
20%		
20%		
100%	4%	4%
25%		
20%		
100%	5%	5%
20%		
100%	4%	4%
25%		
10%		
100%	2%	2%
10%		
20%		
100%	2%	2%
25%		
100%	3%	2%
55%		
67%	4%	3%
33%	2%	2%

7.2.1 Area di valutazione: qualità del sito (sito)

Analizzando in maniera approfondita il contesto urbano nel quale è collocato l'immobile è stato possibile attribuire ad ogni sottorequisito della categoria “**selezione del sito**” un punteggio; infine, il voto complessivo della categoria ottenuto come somma dei voti pesati dei sottorequisiti è pari a **0,1875**.

Come si evince dalla tabella 7.2, alla voce “Riutilizzo del territorio” non è stato attribuito nessun punteggio poiché non è prevista l'applicabilità di tale criterio per gli interventi di ristrutturazione.

Tabella 7.2 Elenco dei requisiti e sotto requisiti relativi categoria qualità del sito (ubicazione)

A. Qualità del sito		Punti	Punteggio pesato
A.1 Selezione del sito		6,25	0,1875
A.1.5	Riutilizzo del territorio	----	----
A.1.6	Accessibilità al trasporto pubblico	0	0
A.1.8	Mix funzionale dell'area	3,25	0,0975
A.1.10	Adiacenza ad infrastrutture	3	0,09

Riguardo l'accessibilità ai servizi l'immobile ottiene un punteggio pari a 0, infatti la struttura essendo in zona di periferia risulta distante sia dalle fermate di autobus che di tram, per le principali attività sportive e culturali, commerciali e di servizio si ottiene un buon punteggio pari a 3,25 ; tuttavia, essendo localizzata in un sito già servito da infrastrutture esistenti viene attribuito dal Protocollo Itaca alla voce “adiacenza ad infrastrutture” un punteggio pari a 3.

7.2.2 Area di valutazione: qualità del sito (edificio)

Riguardo alla categoria “**progettazione dell'area**” per la valutazione dell'edificio e delle aree di pertinenza si è ottenuto un voto complessivo pesato pari a 0 (tabella 7.3) poiché anche se alla voce “aree esterne di uso comune attrezzate” è stato attribuito un punteggio pari a 3 avendo nelle aree esterne di pertinenza dell'edificio spazi attrezzati atti a favorire aggregazione e attività ludico/ricreative, al sottorequisito “supporto all'uso di biciclette” è stato attribuito -1 poiché il numero dei posteggi per le biciclette non è sufficiente per tutti gli utenti dell'edificio.

Tabella 7.3 Elenco dei requisiti e sotto requisiti relativi alla categoria qualità del sito (edificio)

A. Qualità del sito		Punti	Punteggio pesato
A.3 Progettazione dell'area		2	0
A.3.3	Aree esterne attrezzate	3	0,03
A.3.4	Supporto all'uso di biciclette	-1	0,03

7.2.3 Area di valutazione: consumo di risorse

Il termine “**consumo di risorse**” si riferisce al consumo di energia proveniente da fonti rinnovabili, di materiali eco-compatibili, dell’acqua potabile e dell’energia primaria non rinnovabile richiesta durante il ciclo di vita dell’immobile.

Analizzando dettagliatamente le risorse “consumate” dall’edificio durante la sua fase di realizzazione ed esercizio, si è ottenuto un punteggio pesato pari a **0,49** (tabella 7.4) che rappresenta un lievissimo miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti ed alla pratica comune.

B. Consumo di risorse		Punti	Punteggio pesato
B.1 Energia primaria non rinnovabile richiesta durante il ciclo di vita		17,8	0,49
B.1.2 Energia primaria per il riscaldamento		-0,28	-0,0168
B.1.2	Energia primaria per il riscaldamento	0,72	0,0432
B.1.5	Energia primaria per acqua calda sanitaria	-1	-0,06
B.3 Energia da fonti rinnovabili		-1	-0,04
B.3.3	Energia prodotta nel sito per usi elettrici	-1	-0,04
B.4 Materiali eco-compatibili		7	0,16
B.4.1	Riutilizzo di strutture esistenti	5	0,1
B.4.6	Materiali riciclati/recuperati	-1	-0,02
B.4.7	Materiali da fonti rinnovabili	-1	-0,02
B.4.9	Materiali locali per finiture	5	0,1
B.4.10	Materiali riciclabili e smontabili	-1	-0,02
B.5 Acqua potabile		7,5	0,25
B.5.1	Acqua potabile per irrigazione	5	0,2
B.5.2	Acqua potabile per usi indoor	2,5	0,05
B.6 Prestazioni dell'involucro		4,58	0,1374
B.6.2	Energia netta per il raffrescamento	---	---
B.6.3	Trasmittanza termica dell'involucro edilizio	-1	-0,03
B.6.4	Controllo della radiazione solare	4,17	0,1251
B.6.5	Inerzia termica dell'edificio	1,41	0,0423

Tabella 7.4 Elenco requisiti e sotto requisiti relativi alla categoria Consumi di risorse

Il Protocollo conferisce un'importanza significativa (vedi tabella 7.1) alla voce "energia primaria non rinnovabile richiesta durante il ciclo di vita" a cui corrisponde il punteggio di -0,28; il basso punteggio è dovuto a diversi fattori tra cui il non aver posto particolare attenzione alla tipologia di materiale utilizzato e al correlato consumo di risorse durante tutto il suo ciclo di vita e il non aver previsto l'uso di energia prodotta da fonti rinnovabili (solare termico, fotovoltaico, biomasse) per la produzione di ACS. Per ridurre il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale, è stato previsto un isolamento tale da garantire i valori di trasmittanza che soddisfino i limiti normativi e la sostituzione della caldaia tradizionale con una a condensazione in modo da migliorare il rendimento dell'impianto.

Il punteggio pari a 7, relativo al criterio "materiali eco compatibili", è stato influenzato dal non utilizzo, durante la ristrutturazione, di materiali riciclati/recuperati, smontabili e facilmente riciclabili oppure provenienti da fonti rinnovabili; l'unico intervento che ha inciso favorevolmente è stato quello di favorire l'approvvigionamento di materiali pesanti (come aggregati, sabbia, cemento, mattoni, acciaio e vetro) e di materiali per finiture di produzione locale (distanza limite 300 Km).

Inoltre, durante la fase di ristrutturazione, attraverso l'impiego di strategie di recupero o di ottimizzazione d'uso dell'acqua, si è cercato di ridurre i consumi di acqua potabile per usi indoor e per l'irrigazione, ottenendo un buon punteggio di 7,5.

La categoria "prestazioni dell'involucro" ha ottenuto un punteggio complessivo pari a 4,58; alla voce "Energia netta per il riscaldamento" non è stato attribuito nessun punteggio poichè non è prevista l'applicabilità di tale criterio per gli interventi di ristrutturazione e il non aver previsto interventi di ristrutturazione al solaio di terra ha penalizzato in modo molto incisivo il calcolo del criterio "Trasmittanza termica dell'involucro edilizio" ottenendo il punteggio di -1.

Per ridurre gli apporti solari nel periodo estivo (voce Controllo della radiazione solare) sono state previste tende mobili di colore chiaro e sono stati portati in conto solo gli oggetti orizzontali per ciascuna esposizione; con questi accorgimenti la trasmittanza solare minima del pacchetto schermo/finestra è risultata pari a 0.20 a cui corrisponde il punteggio di 4,17.

Infine il criterio "Inerzia termica dell'edificio" ha ottenuto un punteggio positivo pari a 1,41.

7.2.4 Area di valutazione: carichi ambientali

Il Protocollo Itaca nella categoria **carichi ambientali** pone l'attenzione alle emissioni di anidride carbonica equivalente, ai rifiuti solidi, alle acque reflue e all'impatto sull'ambiente circostante. Valutando questi quattro criteri, si è giunti al punteggio pesato della categoria che, come si evince dalla tabella seguente, risulta essere pari a 0,28.

C. Carichi Ambientali	
C.1 Emissioni di CO2 equivalente	
C.1.2	Emissioni previste in fase operativa
C.3 Rifiuti solidi	
C.3.2	Rifiuti solidi prodotti in fase operativa
C.4 Acque reflue	
C.4.1	Acque grigie inviate in fognatura
C.4.3	Permeabilità del suolo
C.6 Impatto sull'ambiente circostante	
C.6.8	Effetto isola di calore

Punti	Punteggio pesato
7,07	0,28
2,4	0,12
2,4	0,12
5	0,15
5	0,15
0,67	0,0468
1,67	0,0668
-1	-0,02
-1	-0,04
-1	-0,04

Tabella 7.5 Elenco requisiti e sottorequisiti relativi alla categoria Carichi Ambientali

Confrontando i pesi attribuiti ai diversi criteri (tabella 7.1), si evince che l'importanza maggiore è conferita al requisito Acque reflue a cui corrisponde un punteggio di 0.67. Durante la ristrutturazione, come già precedentemente accennato, sono state previste strategie per minimizzare di circa il 30 % la quantità di effluenti scaricati in fognatura ma non è stato favorita la raccolta di acqua piovana per un successivo riutilizzo.

Al criterio "rifiuti solidi" viene attribuito il massimo punteggio in quanto è stata prevista la raccolta differenziata dei rifiuti solidi attraverso la predisposizione di apposite aree, facilmente accessibili per gli utenti e per i mezzi di carico.

Riguardo la voce Emissioni di anidride carbonica equivalente si ha un punteggio di 2,4 poichè gli interventi di riqualificazione previsti hanno portato una buona riduzione delle emissioni in conseguenza alla riduzione del fabbisogno di energia per riscaldamento e raffrescamento.

Infine, la voce Impatto sull'ambiente circostante ottiene un punteggio negativo poichè sia l'ultimo strato della copertura piana che le aree esterne pavimentate non contribuiscono all'effetto isola di calore.

7.2.5 Area di valutazione: qualità ambientale indoor

Alla **qualità ambientale indoor** corrisponde un punteggio pesato pari a 0,35. Come mostra la tabella 7.6, il risultato è da attribuire al "benessere visivo" a cui compete il massimo punteggio, dati gli adeguati livelli d'illuminazione naturale in tutti gli spazi primari occupati. L'immobile infatti, non è circondato da ostacoli fissi (alberi, recinzioni...) nè sono presenti oggetti verticali che fanno ombra sui serramenti.

D Qualità ambientale indoor	
D.2 Ventilazione	
D.2.5	Ventilazione e qualità dell'aria
D.3 Benessere termoigrometrico	
D.3.2	Temperatura dell'aria nel periodo estivo
D.4 Benessere visivo	
D.4.1	Illuminazione naturale
D.5 Benessere acustico	
D.5.6	Qualità acustica dell'edificio
D.6 Inquinamento elettromagnetico	
D.6.1	Campi magnetici a frequenza industriale (50Hertz)

Punti	Punteggio pesato
8	0,35
0	0
0	0
3	0,15
3	0,15
5	0,20
5	0,20
0	0
0	0
0	0
0	0

Tabella 7.6 Elenco di requisiti e sottorequisiti relativi alla categoria Qualità Ambientale Indoor

Come si evince chiaramente dalla tabella, ai requisiti “ventilazione”, “qualità acustica dell’edificio” e “inquinamento elettromagnetico” è stato conferito un punteggio nullo in quanto per l’edificio non si sono previste dispersioni per un sistema di ventilazione che consenta di mantenere un elevato grado di salubrità dell’aria minimizzando al contempo i consumi energetici per la climatizzazione (il ricambio d’aria è assicurato solamente dalla disposizione trasversale delle finestre). Inoltre in base all’isolamento e al rumore immesso da impianti tecnologici si è ottenuta una sufficiente “classe acustica globale dell’edificio” in modo da acquisire 0 punti e si precisa che non sono state adottate strategie per ridurre l’esposizione ai campi magnetici a frequenza industriale.

Infine il criterio “Benessere termoigrometrico” ha ottenuto 3 punti poiché si ha un livello soddisfacente di comfort termico durante il periodo estivo.

7.2.6 Area di valutazione: qualità del servizio

Per la categoria **qualità del servizio** si è ottenuto un punteggio totale pesato pari a 0,21.

Come mostra la tabella seguente il punteggio è da attribuire alla presenza di un adeguato cablaggio strutturato nelle parti comuni e ponendo attenzione agli spessori dei singoli strati delle stratigrafie si è ridotto al minimo il rischio di formazione e accumulo di condensa interstiziale dell’involucro in modo che la curabilità e l’integrità degli elementi costruttivi non venga compromessa.

	Punti	Punteggio pesato
E. Qualità del servizio	8	0,21
E.1 Sicurezza in fase operativa	0	0
E.1.9 Integrazione sistemi	0	0
E.2 Funzionalità ed efficienza	3	0,06
E.2.4 Qualità del sistema di cablatura	3	0,06
E.6 Mantenimento delle prestazioni in fase operativa	5	0,15
E.6.1 Mantenimento delle prestazioni dell'involucro edilizio	5	0,15
E.6.5 Disponibilità della documentazione tecnica degli edifici	0	0

Tabella 7.7 Elenco requisiti e sotto requisiti della categoria Qualità del Servizio

7.3 Il risultato finale: motivazioni e riflessioni

Conferendo ad ogni categoria un punteggio pesato è stato possibile ottenere un voto per le singole aree di valutazione che poi sono state a loro volta “pesate” in modo tale che la somma dei punteggi dia un unico voto.

Il certificato di sostenibilità ambientale dell'edificio oggetto di studio ha totalizzato 1,51 punti.

Tale punteggio consente diverse osservazioni, talune strettamente connesse al caso studio analizzato, agli interventi proposti e a quelli che si sarebbero potuti proporre, altre più generali sull'applicabilità e sulla struttura del protocollo stesso. Il caso studio infatti permette di evidenziare le criticità che si potrebbero verificare nell'applicare sistemi di certificazione ambientali, nonché di suggerire eventuali modifiche o estensioni.

La prima cosa da sottolineare è l'ambito di applicazione: ristrutturazione anziché nuova costruzione. È noto infatti che mentre la progettazione di un nuovo edificio permette una gamma molto ampia di soluzioni tecniche percorribili per soddisfare i vincoli imposti e i limiti ai consumi, negli interventi di recupero il campo si restringe a quelle soluzioni in grado di conciliare prestazioni energetiche soddisfacenti con i vincoli posti dalla preesistenza.

Pertanto esistono dei vincoli relativamente agli interventi che si possono operare e che inficiano il punteggio che si può conseguire; pertanto mentre un edificio di nuova costruzione progettato con l'obiettivo che sia sostenibile, potrebbe conseguire un punteggio elevato riuscendo durante la sua vita utile a raggiungere ottime prestazioni, invece un edificio progettato nella maniera tradizionale e poi ristrutturato secondo i criteri di sostenibilità, necessita di valutazioni rigorose per valutare l'effettivo miglioramento e l'effettiva fattibilità degli interventi.

Gli interventi proposti, relativamente all'involucro edilizio, ad esempio, sono quelli ritenuti più idonei rispetto ad un'accurata analisi costi-benefici; infatti si sono considerati spessori di isolamento che se da un lato permettessero di rispettare i limiti sulle trasmittanze, riuscissero a tenere contenuti i costi, ma che nonostante tutto sono ritenuti invasivi per l'utente. Pertanto non si è considerata la ristrutturazione del solaio di terra che avrebbe consentito un punteggio maggiore ai sottocriteri della categoria "Prestazioni dell'involucro".

Quanto esposto spiega perché, nel caso in esame, consistenti interventi di ristrutturazione, sebbene avessero potuto migliorare la sostenibilità ambientale dell'immobile, non sono stati eseguiti. Questo ha comportato l'attribuzione di un punteggio nullo o addirittura penalizzante a molteplici sottorequisiti condizionando fortemente il punteggio finale dell'immobile.

Un altro accorgimento utile per migliorare la sostenibilità dell'immobile sarebbe potuto essere la progettazione di una cisterna di raccolta delle acque piovane. L'acqua meteorica infatti, esclusi i primi 4/5 mm di pioggia, è perfettamente pulita e quindi sarebbe potuta essere utilizzata per l'irrigazione delle aree verdi senza dover più ricorrere all'acqua potabile comunale.

Se si fosse trattato di un edificio di nuova costruzione, si sarebbe potuto realizzare un impianto di riscaldamento invernale di tipo radiante oppure si sarebbero potute studiare le soluzioni tecnologiche e costruttive particolari per migliorare il sistema di ventilazione quali canali e griglie di ventilazione garantendo dunque un livello di ricambi d'aria adeguato alle attività occupazionali previste. Risulta evidente che nel caso di un edificio già esistente, sostituire un impianto di riscaldamento tradizionale con uno radiante oppure migliorare il sistema di ventilazione dell'intera palazzina, sarebbero state operazioni fin troppo dispendiose ed invasive.

Un'altra nota importante al risultato ottenuto è relativo al punteggio basso della categoria "qualità del sito". Il Protocollo, così come è stato ideato infatti, attribuisce un punteggio più alto ad edifici costruiti in aree fortemente urbanizzate penalizzando gli edifici periferici. Infatti viene dato maggior rilievo alla vicinanza ai servizi commerciali e terziari nonché ai mezzi di trasporto pubblici rispetto ad esempio alla qualità della vita e dell'aria.

Si potrebbe pertanto pensare di introdurre sottocriteri che tengano conto della vivibilità e salubrità del contesto abitativo, facendo una riflessione più accurata sui singoli pesi in modo da avere un punteggio totale più equamente bilanciato in funzione dell'obiettivo della progettazione o riqualificazione rispetto al contesto urbano in cui si inserisce.

Contestualizzando queste osservazioni e i diversi commenti per i punteggi ottenuti con il fatto che in Italia c'è un esiguo tasso di turnover degli edifici (ciclo di vita che va da 50 a più di 100 anni), è chiaro che se da un lato bisogna migliorare le prestazioni energetiche degli edifici esistenti usando un approccio diverso rispetto a quello utilizzato per gli edifici di nuova

costruzione che rappresentano una piccola percentuale del patrimonio edilizio italiano, dall'altro anche i protocolli di valutazione ambientale dovrebbero essere differenziati per i due contesti.

Si ritiene infatti che il protocollo debba riuscire ad evidenziare in modo maggiore le possibilità e le potenzialità diverse per gli edifici di nuova costruzione e per le ristrutturazioni.

Si potrebbe pensare di realizzare una scheda dedicata a quest'ambito, in cui si siano introdotte delle voci di criterio specifiche quali ad esempio la valutazione degli interventi sugli impianti esistenti, la contabilizzazione e il monitoraggio dei consumi, il miglioramento di classe energetica conseguito rispetto allo stato esistente, la valutazione rispetto ad un'analisi costi-benefici degli interventi proponibili in modo da valutare anche l'onere economico per il committente.

Un'ulteriore riflessione è rivolta ai pesi che sono stati attribuiti alle aree di valutazione che potrebbero essere differenziati anche e soprattutto a seconda del contesto urbano.

In particolare, oltre alla variazione dei pesi nel caso di ristrutturazione e nuova costruzione, si potrebbe introdurre una scala differenziata per edifici situati in periferia o nel centro urbano, e a seconda che la realtà territoriale sia o meno densamente popolata. Infatti, banalmente, la qualità del sito dovrebbe avere un peso maggiore in un piccolo paese rurale di provincia, con l'obiettivo di contenere le modifiche al paesaggio, rispetto ad una città metropolitana in cui ben poco si può fare sul contesto oppure dare un peso maggiore ai carichi ambientali nelle città densamente popolate soprattutto relativamente al sottocriterio riguardante le emissioni.


7.4 Applicazione del Protocollo LEED 2009 NC e Ristrutturazioni: analisi dei risultati

Un sistema di certificazione LEED, come già precedentemente evidenziato, è caratterizzato da diverse categorie che sono definite come l'impatto ambientale ed umano della progettazione, costruzione, funzionamento e manutenzione dell'edificio quali ad esempio emissioni di gas serra, uso di combustibili fossili, agenti fossili e cancerogeni, inquinamento dell'aria e dell'acqua ed infine condizioni dell'ambiente interno. Per quantificare l'importanza delle differenti categorie di impatto su ciascun credito è stata utilizzata una combinazione di approcci inclusi la modellazione energetica, la valutazione del ciclo di vita, l'analisi dei trasporti.

Al fine di conseguire il certificato di sostenibilità ambientale, è necessario spuntare le voci riportate nel foglio di calcolo in formato Excel riportato in tabella 7.8.

Innanzitutto per poter procedere con la compilazione del foglio di calcolo è necessario che l'immobile oggetto di studio verifichi obbligatoriamente i prerequisiti di ogni area di valutazione. È importante osservare che tutti i crediti valgono almeno un punto, non esistono punteggi negativi o frazionari e tutti i requisiti ricevono un punteggio unico e fisso senza variazioni geografiche. Infine tutti i sistemi di valutazione LEED hanno 100 punti di base; le categorie IP (Innovazione nella progettazione) e PR (Priorità Regionale) permettono di conseguire 10 ulteriori punti bonus.

Tabella 7.8 Foglio di calcolo "LEED 2009 Nuove costruzioni e Ristrutturazioni"

		LEED 2009 Italia Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni			
		Lista di controllo dei crediti			
9	0	0	Sostenibilità del Sito		Punti max: 26
Y	N	?			
Y			Prereq 1	Prevenzione dell'Inquinamento da Attività di Cantiere	
1			Credito 1	Selezione del Sito	
	N		Credito 2	Densità Edilizia e Vicinanza ai Servizi	
	N		Credito 3	Recupero e Riqualificazione dei Siti Contaminati	
6			Credito 4.1	Trasporti Alternativi: Accesso ai Trasporti Pubblici	
	N		Credito 4.2	Trasporti Alternativi: Portabiciclette e Spogliatoi	
	N		Credito 4.3	Trasporti Alternativi: Veicoli a Bassa Emissione e a Carburante Alternativo	
	N		Credito 4.4	Trasporti Alternativi: Capacità dell'Area di Parcheggio	
1			Credito 5.1	Sviluppo del Sito: Proteggere e Ripristinare l'Habitat	
1			Credito 5.2	Sviluppo del Sito: Massimizzazione degli Spazi Aperti	
	N		Credito 6.1	Acque Meteoriche: Controllo della Quantità	
	N		Credito 6.2	Acque Meteoriche: Controllo della Qualità	
	N		Credito 7.1	Effetto Isola di Calore: Superfici Esterne	
	N		Credito 7.2	Effetto Isola di Calore: Coperture	
	N		Credito 8	Riduzione dell'Inquinamento Luminoso	
6	0	0	Gestione delle Acque		Punti max: 10
Y			Prereq 1	Riduzione dell'Uso dell'Acqua	
4			Credito 1	Gestione Efficiente delle Acque a Scopo Irriguo	
				Riduzione dei Consumi del 50%	2
				Nessun Uso di Acqua Potabile per l'Irrigazione	4
	N		Credito 2	Tecnologie Innovative per le Acque Reflue	
2			Credito 3	Riduzione dell'Uso dell'Acqua	
				Y	Riduzione del 30%
					Riduzione del 35%

				Riduzione del 40%	4
16	0	0	Energia e Atmosfera		Punti max: 35
Y			Prereq 1	Commissioning di Base dei Sistemi Energetici dell'Edificio	
Y			Prereq 2	Prestazioni Energetiche Minime	
Y			Prereq 3	Gestione di Base dei Fluidi Refrigeranti	
11			Credito 1	Ottimizzazione delle Prestazioni Energetiche	1 - 19
				Riduzione del fabbisogno di 12% per Nuove Costruzioni e di 8% per Ristrutturazioni	1
				Riduzione del fabbisogno di 14% per Nuove Costruzioni e di 10% per Ristrutturazioni	2
				Riduzione del fabbisogno di 16% per Nuove Costruzioni e di 12% per Ristrutturazioni	3
				Riduzione del fabbisogno di 18% per Nuove Costruzioni e di 14% per Ristrutturazioni	4
				Riduzione del fabbisogno di 20% per Nuove Costruzioni e di 16% per Ristrutturazioni	5
				Riduzione del fabbisogno di 22% per Nuove Costruzioni e di 18% per Ristrutturazioni	6
				Riduzione del fabbisogno di 24% per Nuove Costruzioni e di 20% per Ristrutturazioni	7
				Riduzione del fabbisogno di 26% per Nuove Costruzioni e di 22% per Ristrutturazioni	8
				Riduzione del fabbisogno di 28% per Nuove Costruzioni e di 24% per Ristrutturazioni	9
				Riduzione del fabbisogno di 30% per Nuove Costruzioni e di 26% per Ristrutturazioni	10
				Riduzione del fabbisogno di 32% per Nuove Costruzioni e di 28% per Ristrutturazioni	11
				Riduzione del fabbisogno di 34% per Nuove Costruzioni e di 30% per Ristrutturazioni	12
				Riduzione del fabbisogno di 36% per Nuove Costruzioni e di 32% per Ristrutturazioni	13
				Riduzione del fabbisogno di 38% per Nuove Costruzioni e di 34% per Ristrutturazioni	14
				Riduzione del fabbisogno di 40% per Nuove Costruzioni e di 36% per Ristrutturazioni	15
				Riduzione del fabbisogno di 42% per Nuove Costruzioni e di 38% per Ristrutturazioni	16
				Riduzione del fabbisogno di 44% per Nuove Costruzioni e di 40% per Ristrutturazioni	17
				Riduzione del fabbisogno di 46% per Nuove Costruzioni e di 42% per Ristrutturazioni	18
				Riduzione del fabbisogno di 48% per Nuove Costruzioni e di 44% per Ristrutturazioni	19
N			Credito 2	Produzione in sito di Energie Rinnovabili	1 - 7
				2.5% di Energie Rinnovabili	1
				5% di Energie Rinnovabili	2
				7.5% di Energie Rinnovabili	3
				10% di Energie Rinnovabili	4
				12.5% di Energie Rinnovabili	5
				15% di Energie Rinnovabili	6
				17.5% di Energie Rinnovabili	7
	N		Credito 3	Commissioning Avanzato dei Sistemi Energetici	2
2			Credito 4	Gestione Avanzata dei Fluidi Refrigeranti	2
3			Credito 5	Misure e Collaudi	3
	N		Credito 6	Energia Verde	2
7	0	0	Materiali e Risorse		Punti max: 14

Y			Prereq 1	Raccolta e Stoccaggio dei Materiali Riciclabili			
3			Credito 1.1	Riutilizzo degli Edifici: Mantenimento di Murature, Solai e Coperture Esistenti		1 - 3	
				Riutilizzo del 55%		1	
				Riutilizzo del 75%		2	
				Riutilizzo del 95%		3	
1			Credito 1.2	Riutilizzo degli Edifici: Mantenimento del 50% degli Elementi Non Strutturali Interni		1	
	N		Credito 2	Gestione dei Rifiuti da Costruzione		1 - 2	
				50% di Contenuto Riciclato o Recuperato		1	
				75% di Contenuto Riciclato o Recuperato		2	
	N		Credito 3	Riutilizzo dei Materiali		1 - 2	
				Riutilizzo del 5%		1	
				Riutilizzo del 10%		2	
	N		Credito 4	Contenuto di Riciclato		1 - 2	
				10% di Contenuto		1	
				20% di Contenuto		2	
2			Credito 5	Materiali Estratti, Lavorati e Prodotti a Distanza Limitata (Materiali Regionali)		1 - 2	
				10% dei Materiali		1	
				Y 20% dei Materiali		2	
	N		Credito 6	Materiali Rapidamente Rinnovabili		1	
1			Credito 7	Legno Certificato		1	
12	0	0	Qualità Ambientale Interna			Punti max:	15
Y			Prereq 1	Prestazioni Minime per la Qualità dell'Aria			
Y			Prereq 2	Controllo Ambientale del Fumo di Tabacco			
	N		Credito 1	Monitoraggio della Portata dell'Aria di Rinnovo		1	
1			Credito 2	Incremento della Ventilazione		1	
	N		Credito 3.1	Piano di Gestione IAQ: Fase Costruttiva		1	
	N		Credito 3.2	Piano di Gestione IAQ: Prima dell'Occupazione		1	
1			Credito 4.1	Materiali Basso Emissivi: Adesivi, Primers, Sigillanti, Materiali Cementizi e Finiture per Legno		1	
1			Credito 4.2	Materiali Basso Emissivi: Pitture		1	
1			Credito 4.3	Materiali Basso Emissivi: Pavimentazioni		1	
1			Credito 4.4	Materiali Basso Emissivi: Prodotti in Legno Composito e Fibre Vegetali		1	
1			Credito 5	Controllo delle Fonti Chimiche ed Inquinanti Indoor		1	
1			Credito 6.1	Controllo e Gestione degli Impianti: Illuminazione		1	
1			Credito 6.2	Controllo e Gestione degli Impianti: Comfort Termico		1	
1			Credito 7.1	Comfort Termico: Progettazione		1	
1			Credito 7.2	Comfort Termico: Verifica		1	
1			Credito 8.1	Luce Naturale e Visione: Luce Naturale per il 75% degli Spazi		1	

1			Credito 8.2	Luce Naturale e Visione: Visuale Esterna per il 90% degli Spazi	1
0	0	0	Innovazione e Processo di Progettazione		Punti max: 6
	N		Credito 1.1	Innovazione nella Progettazione: Titolo Specifico	1
	N		Credito 1.2	Innovazione nella Progettazione: Titolo Specifico	1
	N		Credito 1.3	Innovazione nella Progettazione: Titolo Specifico	1
	N		Credito 1.4	Innovazione nella Progettazione: Titolo Specifico	1
	N		Credito 1.5	Innovazione nella Progettazione: Titolo Specifico	1
	N		Credito 2	Professionista Accreditato LEED (LEED AP)	1
0	0	0	Priorità Regionale		Punti max: 4
	N		Credito 1.1	Priorità Regionale: Credito Specifico	1
	N		Credito 1.2	Priorità Regionale: Credito Specifico	1
	N		Credito 1.3	Priorità Regionale: Credito Specifico	1
	N		Credito 1.4	Priorità Regionale: Credito Specifico	1
50	0	0	Totale		Punti max: 110
Certificato Base: 40-49 Punti; Argento: 50-59 Punti; Oro: 60-79 Punti; Platino: 80-110 Punti					

Sommando i punti attribuiti a ciascuna area di valutazione si ottiene il punteggio finale dell'immobile. L'edificio oggetto di studio, riportando **50** punti, ha ottenuto il “*certificato argento*”.

Riguardo la “selezione del sito”, l'immobile ottiene un punteggio pari a 9 punti su 26. In particolare, il LEED attribuisce un'importanza significativa alla riduzione dell'inquinamento e dell'impatto ambientale generato dal traffico automobilistico (voce “Trasporti alternativi: accesso ai trasporti pubblici”). L'immobile infatti, distando meno di 400m dalla fermata di autobus, viene premiato dal LEED con il massimo punteggio (6 punti). Tuttavia, il Protocollo penalizza il sito in cui l'immobile è collocato poiché non sono presenti parcheggi preferenziali per veicoli a bassa emissione, nè strategie per limitare le alterazioni della dinamica del ciclo idrologico, mediante la riduzione delle superfici di copertura impermeabili o con l'aumento delle infiltrazioni in sito. Inoltre non è previsto il controllo della qualità e della quantità delle acque meteoriche né sono state realizzati interventi per ridurre l'effetto isola di calore.

Inoltre, si registra un corretto sistema di “gestione delle acque” a cui sono attribuiti 6 punti su 10. Il risultato raggiunto è da attribuirsi sia alla presenza di strategie tecnologiche che hanno portato ad una riduzione del fabbisogno idrico della palazzina di circa il 30%, sia alla

presenza di un'opera di captazione dell'acqua di falda che permette l'irrigazione delle aree verdi evitando l'uso di acque potabili disponibili nelle vicinanze dell'edificio.

Tuttavia, è conferita maggior importanza all'area di valutazione "Energia e Atmosfera" assegnando un punteggio massimo di 35 punti. In particolare, il LEED al fine di ridurre gli impatti economico-ambientali associati all'uso eccessivo di energia, promuove gli interventi di ottimizzazione delle prestazioni energetiche degli immobili e degli impianti conferendo agli edifici fino ad un massimo di 19 punti. La palazzina oggetto di studio registrando una riduzione del fabbisogno energetico del 28%, ottiene ben 11 punti.

L'area di valutazione "Materiali e risorse" ottiene un punteggio pari a 7 punti su un totale di 14. Infatti durante gli interventi di ristrutturazione, come già precedentemente evidenziato, viene mantenuta la struttura dell'edificio esistente, dell'involucro edilizio e degli elementi interni non strutturali.

L'area di valutazione "Qualità ambientale interna" che ha totalizzato 12 punti su 15 ha lo scopo di tutelare la salute degli occupanti, migliorare la qualità dello spazio abitato e contribuire al raggiungimento delle condizioni di comfort degli occupanti stessi. Come si evince dal certificato LEED, l'immobile dispone di una buona qualità ambientale interna poichè verifica la maggior parte dei requisiti.

Infine, riguardo le ultime due aree di valutazione "Innovazione e Processo di progettazione" e "Priorità Regionale" non sono stati ottenuti punteggi di bonus.

7.5 Confronto tra i due metodi

I due approcci di calcolo per la valutazione della prestazione energetica degli edifici recepiti dai due rating system applicati, rispettivamente i protocolli ITACA e LEED, si basano su metodi diversi.

In particolare ITACA recepisce i contenuti del D.lgs 192/2005 e s.m.i. che riconosce un modello di calcolo semplificato per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, basato sul metodo di calcolo in regime quasi stazionario con condizioni al contorno standard come riferimento. Tale metodo è descritto all'interno della norma ISO CEN 13790:2007 come metodo semplificato per la stima dei fabbisogni di energia connessi alla climatizzazione invernale ed estiva e recepito in Italia attraverso le norme UNI/TS 11300. Tale metodo include una serie di assunzioni volte a semplificare il calcolo, che in Italia è reso necessario dalla legislazione in materia di efficienza energetica in edilizia e posto come base per la procedura di Certificazione Energetica degli edifici.

La valutazione della prestazione energetica dell'edificio a progetto viene confrontata con quella di riferimento riportata dai citati strumenti di legge. Si tratta dei valori limite previsti in relazione alla zona climatica, e al rapporto di forma della costruzione. Il rapporto tra questi

valori, ossia quelli di progetto e quelli limite di legge, definisce il miglioramento percentuale conseguibile.

LEED e BREEAM per contro introducono una pratica diffusa negli Stati Uniti, non nel nostro Paese ad eccezione degli ambiti connessi alla ricerca universitaria, ossia la simulazione termoenergetica dinamica. Essa sottende competenze specifiche sia per ciò che attiene la fisica dell'edificio, sia con riferimento all'utilizzo degli stessi strumenti software di supporto al calcolo. L'adozione di questo approccio di fatto spinge verso un'evoluzione delle competenze professionali necessarie per lo svolgimento di valutazioni di carattere energetico, superiori rispetto a quelle comunemente diffuse.

In particolare LEED e BREEAM, pongono come riferimento lo standard ASHRAE ANSI IESNA 90.1 che contiene sia indicazioni prescrittive da osservare, sia indicazioni metodologiche, quali ad esempio l'uso della simulazione dinamica [29]. La norma propone un metodo definito Building Performance Rating Method, il quale consente di valutare la prestazione di un edificio confrontandola con quella di un edificio di riferimento definito Baseline. Questo aspetto è del tutto simile a quello descritto in precedenza, con la differenza che in questo caso il confronto non viene eseguito con dei valori prestabiliti dalla legge, bensì simulando un edificio di riferimento costruito con opportune caratteristiche. Le prestazioni dell'edificio proposto e dell'edificio di riferimento riguardano la totalità degli usi finali in gioco e devono essere valutate attraverso una simulazione termoenergetica dinamica.

Dall'approfondimento svolto sui due metodi appaiono alcuni aspetti.

Per quanto attiene l'applicabilità dei metodi è evidente come l'approccio quasi stazionario con condizioni al contorno standard, essendo stato concepito per condurre calcoli richiesti per le procedure di legge del nostro Paese, abbia già superato positivamente attente sperimentazioni che ne dimostrano l'affidabilità. E' altresì vero che questo approccio si rivolge alla sola prestazione energetica per la climatizzazione invernale ed estiva, cui viene aggiunta quella connessa alla produzione di acqua calda sanitaria. Il calcolo include evidenti semplificazioni con riferimento sia all'impostazione del calcolo basato sulle condizioni medie mensili, sia alle condizioni al contorno utilizzate.

Per contro l'utilizzo della simulazione termoenergetica dinamica con condizioni al contorno reali consente un calcolo più completo, includendo tutti gli usi finali dell'energia, e più dettagliato, fornendo calcoli orari.

Il modello semplificato per il calcolo della prestazione energetica degli edifici presenta alcuni evidenti limiti. I passaggi di calcolo descritti e le assunzioni prese per la definizione delle condizioni al contorno semplificano significativamente il problema, riducendone l'accuratezza del calcolo. Inoltre il dettaglio dei dati di output non consente di acquisire approfondite informazioni sul modello.

Per quanto riguarda il modello di calcolo basato sulla simulazione termoenergetica dettagliata, esso consente approfondimenti più dettagliati del problema, e l'acquisizione di informazioni relative a diversi ambiti, dalla prestazione energetica al comfort ambientale. Tali modelli orientano alla progettazione integrata, nella quale queste accurate descrizioni consentono di intervenire attivamente sul progetto e hanno diversi effetti sul progetto.

Conclusioni

Nel presente lavoro di tesi è stato effettuato uno studio approfondito del sistema edificio-impianto di climatizzazione, sia in termini energetici che ambientali.

Nell'ambito del risparmio energetico si possono individuare due strade da perseguire: la progettazione ex-novo di edifici ad alta efficienza energetica e la riqualificazione energetica (o retrofit energetico) degli edifici esistenti.

In particolare, nel lavoro presentato, è stato affrontato l'aspetto riguardante i possibili interventi di riqualificazione energetica di un edificio multipiano realizzato con struttura portante in conglomerato cementizio armato, tipico degli anni '70.

Poiché l'obiettivo è stato di procedere alla riqualificazione energetica dell'edificio intervenendo nella maniera quanto meno invasiva possibile, senza modificare i sistemi costruttivi dell'edificio, conservando le dimensioni e le altezze interne dei singoli appartamenti ed evitando disagi agli occupanti degli alloggi in conseguenza dei lavori di adeguamento, ma, anche, con il fine di contenere la spesa per un tempo di ritorno dell'investimento accettabile, gli interventi previsti sono stati:

- l'isolamento a cappotto termico all'esterno dell'edificio;
- l'isolamento del solaio piano di copertura dall'esterno;
- la sostituzione degli infissi esistenti con infissi dotati di vetrate termoisolanti.

Non è stato considerato, dato l'onere cantieristico e gli effetti benefici in regime estivo della situazione attuale, l'isolamento del primo solaio.

Relativamente all'impianto termico, sempre nell'ottica di rendere quanto meno invasivo l'intervento e di contenere la spesa, l'azione di riqualificazione è stata limitata alla sostituzione del generatore esistente con uno a condensazione e l'integrazione del sistema di regolazione con valvole termostatiche sui singoli corpi scaldanti, con attenzione al bilanciamento del circuito di distribuzione (a colonne montanti e rami nei paramenti interni, non isolati).

Sono stati analizzati con approccio dinamico attraverso il software Energy Plus, alcuni interventi di riqualificazione dell'involucro edilizio ritenuti "consolidati", ipotizzando, per ogni intervento, l'ubicazione dell'edificio in 4 città italiane, scelte in base alle diverse zone climatiche di riferimento e al patrimonio edilizio prevalente della città.

Nella fattispecie, sono state prese in considerazione le città di Napoli, Palermo, Bologna e Milano.

In particolare sono state effettuate 15 simulazioni diverse per ogni città, in modo che per ogni tipo di intervento considerato, partendo dalla situazione esistente e quindi da valori di

trasmissione superiori a quelli fissati dalla norma, si possa raggiungere per ogni zona climatica la trasmittanza limite di riferimento (da legge).

Inoltre sono stati ipotizzati interventi tali da consentire miglioramenti in termini di trasmittanza rispetto alla norma.

Per tutti gli interventi ipotizzati, sono state eseguite le analisi energetiche ed economiche nel seguito descritte.

In prima, battuta, gli interventi sono stati valutati singolarmente per le varie città, per poi cumulare quelli ritenuti di maggiore interesse tecnico-applicativo.

Come indicatori economici, sono stati presi in considerazione il costo del kWh_{PRIMARIO} risparmiato, il tempo di ritorno dell'investimento (SPB) e il valore attuale netto (VAN) sulla base di un arco temporale di quaranta anni.

Inoltre è stato stimato il risparmio di emissioni di CO₂ per ogni intervento di riqualificazione e come termine di confronto, il medesimo indicatore, è stato calcolato come costo sostenuto dallo stato per finanziare interventi di efficienza energetica (certificati verdi) e incentivazione della conversione energetica da rinnovabile (tariffa onnicomprensiva per produzione elettrica).

A partire dall'analisi eseguita si evince che gli interventi scelti sono realmente efficaci ed economicamente vantaggiosi in zone climatiche fredde mentre, valutando il comportamento energetico dell'edificio in regime invernale ed estivo, nelle zone calde, non sono riscontrabili benefici tali da rendere economicamente convenienti alcuni interventi. Inoltre talvolta è possibile riscontrare un peggioramento delle prestazioni in regime estivo e, pertanto, anche in termini di riduzione delle emissioni nocive in atmosfera non sempre sono emersi miglioramenti.

Si precisa, inoltre, che è stato previsto per il VAN un periodo di riferimento di 40 anni poiché assunto pari alla vita utile dell'edificio mentre la durata media degli interventi di riqualificazione è di 20-25 anni.

A Bologna e Milano gli interventi di riqualificazione energetica individuati, se soggetti alle detrazioni al 55%, restituiscono tempi di ritorno accettabili. Tuttavia modifiche al sistema di incentivazione statale (ad esempio, il passaggio dal sistema delle detrazioni a quello del parziale contributo in conto capitale) potrebbero rivelarsi maggiormente proficue, anche decurtando lievemente l'importo finanziato.

Ancora in merito alle incentivazioni pubbliche, l'attuale sistema di detrazioni fiscali risulta essere non idoneo a garantire una adeguata diffusione di questi interventi di riqualificazione energetica nelle regioni del Sud. Gli interventi di efficientamento dell'involucro edilizio usualmente prospettati ed analizzati nel presente lavoro, infatti, nonostante i bonus fiscali, continuano a risultare il più delle volte anti-economici nel breve-medio periodo per i climi di Napoli e Palermo.

Risultato opposto è valutato per il Nord Italia, dove sia a Bologna che a Milano, tutti gli interventi di efficientamento energetico dell'involucro edilizio rappresentano un sistema di incentivazione più proficuo rispetto ai riferimenti considerati.

Per cui, va precisato che in un'ottica che tenga conto delle reali differenze climatiche nelle varie regioni di Italia, gli interventi da prevedere nelle zone centro-meridionali devono essere orientati più verso l'aumento dell'inerzia termica e la riduzione del carico dovuto all'irraggiamento solare (semplici schermature) piuttosto che limitarsi alla "sola" riduzione della trasmittanza termica degli elementi di involucro. In tal senso anche i metodi e meccanismi di verifica ai fini della concessione del contributo dovranno adeguarsi utilizzando come parametro il fabbisogno di energia primaria per tutto l'anno.

Dopo aver confrontato i casi studio con il metodo dinamico basato su una simulazione termoenergetica dettagliata, è stato utilizzato l'approccio cosiddetto semplificato basato sul metodo di calcolo in regime stazionario con condizioni al contorno standard che è recepito nel nostro Paese come modello nazionale per il calcolo della prestazione energetica ai fini delle verifiche di legge.

Per poter analizzare l'edificio sia in regime stazionario che dinamico, sono stati valutati due casi studio, per ognuna delle 4 città, con un software commerciale che opera in regime stazionario.

Dall'analisi si evince che il modello semplificato tende a sovrastimare le valutazioni di fabbisogno energetico per tutti i casi considerati coerentemente con quanto si evince da altri studi presenti in letteratura.

Tali significative variazioni, oltre ad inficiare una corretta valutazione previsionale della prestazione energetica e quindi di tipo economico, possono sviare da corrette scelte progettuali: ad esempio una significativa differenza dei carichi previsti può dare luogo a diverse scelte di carattere impiantistico, rispetto alle quali sarebbe possibile conseguire una più efficace ottimizzazione.

Ciò è dovuto al fatto che vi è una serie di fenomeni fisici (tra cui lo scambio termico con il terreno, lo scambio termico con la volta celeste, l'effetto della capacità termica interna, l'effetto di schermi) la cui modellazione differisce nei due regimi di calcolo, e una serie di condizioni al contorno (tra cui quelle meteo climatiche) i cui valori variano tra un modello e l'altro.

In conclusione si può osservare come nel caso di edifici che comprendono significative complessità (forma, tecnologie di involucro, conformazione delle zone termiche riscaldate e non) sia in ogni caso auspicabile utilizzare la simulazione dinamica come modello di calcolo, la quale si basi su condizioni al contorno reali: le semplificazioni adottate nell'imputazione dei dati, così come l'impossibilità da parte del modello stazionario di apprezzare alcuni fenomeni

fisici, hanno un peso significativo nell'economia dei risultati finali e dunque dell'utilizzo stesso del modello di calcolo come strumento di progetto.

La seconda parte del presente lavoro si è proposto di affrontare il tema della sostenibilità energetica in edilizia esaminando la metodologia del Life Cycle Assessment (LCA) e i Rating System.

Nel quinto capitolo è stata, quindi, illustrata la metodologia del Life Cycle Assessment, individuata come lo strumento più adatto ad ottimizzare le prestazioni energetico-ambientali dell'edificio e dei suoi componenti, facendo riferimento alla norma che regola in materia e gli strumenti informatici per eseguire uno studio di LCA.

Inoltre l'analisi LCA è stata condotta alla scala dell'edificio, è stata applicata a due costruzioni campione, uguali sotto il profilo volumetrico, per l'organizzazione degli spazi interni e per il contesto climatico, ma differenti per tecnologia costruttiva.

Le due diverse tecnologie costruttive analizzate sono denominate: "non verificato" e "riqualificato".

La tipologia "non verificato" è costituita da elementi che non rispettano i limiti della trasmittanza fissati dal decreto legislativo 311/06, per la zona climatica di appartenenza C avendo considerato per ovvie ragioni di vicinanza geografica i dati della città di Napoli.

Il prototipo di edificio "riqualificato" è costituito da elementi aventi requisiti che rispettano il limite richiesto dal decreto legislativo 311/06.

L'analisi dei carichi ambientali derivanti dalla comparazione dei due edifici evidenzia come, fondamentalmente, gli impatti associati all'intero ciclo (realizzazione, uso e smaltimento) sono diversi a seconda della tipologia di edificio analizzato. In particolare, sono complessivamente più bassi nel caso dell'edificio "riqualificato" rispetto a quello "non verificato".

Questo dato consente di far riflettere sull'importanza degli interventi rivolti al risparmio energetico in fase d'uso che sebbene incidano in maniera quasi irrilevante in fase di produzione, presentano grossi vantaggi in fase d'uso.

Un ulteriore vantaggio si otterrebbe dalla fase di fine vita dei materiali che potrebbe rappresentare un danno ambientale negativo qualora si preveda un corretto riciclaggio di tutti i materiali. Il problema del riutilizzo è legato essenzialmente ad una corretta progettazione che deve prevedere l'effettiva possibilità di recupero del materiale. Risulta quindi necessario progettare e costruire in modo sostenibile ed "eco-compatibile" e l'Analisi del ciclo di vita risulta un valido strumento per diffondere questa cultura.

Benchè la metodologia del Life Cycle Assessment sia lo strumento più adatto e completo a valutare le prestazioni energetico-ambientali dell'edificio e dei suoi componenti, la complessità di tale approccio ha portato ad una maggiore diffusione di metodi basati su

protocolli contenenti schede di requisiti finalizzati a testare complessivamente la compatibilità ambientale del costruito.

Tale meccanismo di valutazione sta trovando riscontro su scala internazionale all'interno di procedure a carattere volontario (condivise cioè fra committenti e progettisti) denominate Rating System, le quali fanno riferimento, ove possibile, alle normative tecniche e ai codici di buona pratica esistenti nei diversi paesi in cui vengono applicate. Utilizzare i Rating System, comporta la necessità sia di affrontare calcoli complessi che richiedono competenze specifiche, sia di verificare successivamente che il processo edilizio si sviluppi in coerenza con gli obiettivi progettuali volti alla sostenibilità, per questa ragione si inseriscono nella pratica della progettazione, della costruzione e della gestione del costruito nuove figure professionali in grado di risolvere e di affrontare dalla fase di progetto a quella di esercizio, le questioni connesse alla valutazione e alla misura delle prestazioni energetiche di un edificio.

In particolare in questo lavoro di tesi sono state approfondite le principali pratiche di valutazione della costruzione sostenibile: il Protocollo ITACA utilizzato in numerose regioni italiane, il sistema di valutazione anglosassone BREEAM, quello statunitense LEED e il LEED Italia.

Inoltre è stato determinato il grado di sostenibilità ambientale, secondo i due protocolli italiani "Protocollo Itaca" e "LEED 2009 Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni", dell'immobile per civile abitazione utilizzato per l'analisi tecnico-economica degli interventi per la riqualificazione energetica.

Le caratteristiche strutturali, i dati di fabbisogno ottenuti attraverso la modellazione dinamica e numerose informazioni relative alle caratteristiche del sito sono i dati di input necessari a compilare le schede.

Dall'analisi dei risultati si evince che il grado di sostenibilità dell'immobile ottenuto a seguito dell'applicazione del Protocollo Itaca è pari a 1,51 che rappresenta un lieve miglioramento delle prestazioni rispetto ai regolamenti vigenti ed alla pratica comune.

Tale punteggio consente diverse osservazioni, talune strettamente connesse al caso studio analizzato, agli interventi proposti e a quelli che si sarebbero potuti proporre, altre più generali sull'applicabilità e sulla struttura del protocollo stesso. Il caso studio infatti permette di evidenziare le criticità che si potrebbero verificare nell'applicare sistemi di certificazione ambientali, nonché di suggerire eventuali modifiche o estensioni.

La prima cosa da sottolineare è l'ambito di applicazione: ristrutturazione anziché nuova costruzione. È noto infatti che mentre la progettazione di un nuovo edificio permette una gamma molto ampia di soluzioni tecniche percorribili per soddisfare i vincoli imposti e i limiti ai consumi, negli interventi di recupero il campo si restringe a quelle soluzioni in grado di conciliare prestazioni energetiche soddisfacenti con i vincoli posti dalla preesistenza.

Pertanto esistono dei vincoli relativamente agli interventi che si possono operare e che inficiano il punteggio che si può conseguire; pertanto mentre un edificio di nuova costruzione progettato con l'obiettivo che sia sostenibile, potrebbe conseguire un punteggio elevato riuscendo durante la sua vita utile a raggiungere ottime prestazioni, invece un edificio progettato nella maniera tradizionale e poi ristrutturato secondo i criteri di sostenibilità, necessita di valutazioni rigorose per valutare l'effettivo miglioramento e l'effettiva fattibilità degli interventi.

Gli interventi proposti, relativamente all'involucro edilizio, ad esempio, sono quelli ritenuti più idonei rispetto ad un'accurata analisi costi-benefici; infatti si sono considerati spessori di isolamento che se da un lato permettono di rispettare i limiti sulle trasmittanze, riuscendo a tenere contenuti i costi, dall'altro non sono invasivi per l'utente. Pertanto non si è considerata la ristrutturazione del solaio di terra che avrebbe consentito un punteggio maggiore ai sottocriteri della categoria "Prestazioni dell'involucro".

Quanto esposto spiega perché, nel caso in esame, consistenti interventi di ristrutturazione (quali progettazione cisterna di raccolta delle acque piovane, impianto di tipo radiante, sistema a parete ventilata), sebbene avessero potuto migliorare la sostenibilità ambientale dell'immobile, non sono stati eseguiti. Questo ha comportato l'attribuzione di un punteggio nullo o addirittura penalizzante a molteplici sottorequisiti condizionando fortemente il punteggio finale dell'immobile.

Un'ulteriore riflessione è rivolta ai pesi che sono stati attribuiti alle aree di valutazione che potrebbero essere differenziati anche e soprattutto a seconda del contesto urbano.

In particolare, oltre alla variazione dei pesi nel caso di ristrutturazione e nuova costruzione, si potrebbe introdurre una scala differenziata per edifici situati in periferia o nel centro urbano, e a seconda che la realtà territoriale sia o meno densamente popolata. Infatti, banalmente, la qualità del sito dovrebbe avere un peso maggiore in un piccolo paese rurale di provincia, con l'obiettivo di contenere le modifiche al paesaggio, rispetto ad una città metropolitana in cui ben poco si può fare sul contesto oppure dare un peso maggiore ai carichi ambientali nelle città densamente popolate soprattutto relativamente al sottocriterio riguardante le emissioni.

Con riferimento al Protocollo LEED l'edificio oggetto di studio ha ottenuto 57 punti a cui corrisponde il "Certificato Argento".

A partire dai risultati del caso studio, si sono riscontrate le principali differenze tra i due sistemi di valutazione esaminati:

- non esistono differenze rilevanti per i pesi assegnati dai due protocolli agli argomenti Materiali, Energia, Acqua e Qualità dell'ambiente interno;
- il Protocollo LEED conferisce un peso, anche se contenuto, alla Gestione del Processo dando rilevanza sia alla presenza all'interno del gruppo di progetto di un

professionista accreditato che sia capace di interpretare correttamente le richieste del protocollo, sia di un'autorità terza preposta alla verifica del conseguimento degli obiettivi, invece ITACA non considera proprio questa problematica;

- ITACA attribuisce un peso molto più elevato alla Gestione della costruzione ed esercizio;
- la rilevanza assegnata al Protocollo ITACA alla gestione del sito è inferiore di quella assegnata al LEED: infatti, non vengono prese in considerazione tutte le ricadute sul cantiere sull'area di progetto, che invece godono di crediti dedicati all'interno del su citato protocollo LEED;
- l'influenza attribuita da ITACA ai carichi ambientali è notevole rispetto a quella data dal LEED.

Infine si ritiene opportuno evidenziare che mentre il protocollo LEED prevede un'unica certificazione per il progetto, il costruito e la fase di esercizio, il sistema di valutazione ITACA prevede certificazioni indipendenti.

Bibliografia

- [1] Direttiva 2002/91/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia.
- [2] Direttiva 2010/31/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia.
- [3] Legge del 30 aprile 1976, n. 373, "*Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici*".
- [4] Legge del 9 gennaio 1991, n. 10, "*Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia*".
- [5] Regolamento di esecuzione D.P.R. del 26 agosto 1993, n. 412, "*Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della Legge 9 gennaio 1991, n. 10*".
- [6] Decreto legislativo del 19 agosto 2005, n. 192, "*Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*".
- [7] Decreto legislativo del 29 dicembre 2006, n. 311, "*Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia*".
- [8] Regolamento di esecuzione D.P.R. del 2 aprile 2009, n. 59, "*Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia*".
- [9] Decreto Ministeriale del 26 Giugno 2009, "*Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*".
- [10] Decreto Legge del 6 dicembre 2011, n. 201, "*Disposizioni urgenti per la crescita, l'equità e il consolidamento dei conti pubblici*" (Manovra Salva Italia).
- [11] Parlamento della Repubblica Italiana, Legge del 27 dicembre 2006, n. 296, "*Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (Legge finanziaria 2007)*". (GU n. 244 del 27.12.2006).
- [12] P. Rava, "*Tecniche costruttive per l'efficienza energetica e la sostenibilità*", Progettazione Tecniche e Materiale, No. 94, Maggioli Editore, 2007.

- [13] P. Mazzei, L. Bellia, F. Ascione, *“Le metodologie di calcolo degli indici di prestazione energetica degli edifici”*. Relazione ad invito per il Congresso Nazionale AICARR “Certificazione energetica: Normative e modelli di calcolo per il sistema edificio-impianti posti a confronto”, Bologna 16 Ottobre 2008, pp. 105 – 137.
- [14] Carletti, F. Sciarpi, *“Progettazione di edifici a basso consumo ed evoluzione normativa. Applicazione ad un caso studio nell’Italia Centrale”*, Atti del 62° Congresso Nazionale ATI, Vol I, pp.315- 320, 11-14 Settembre 2007.
- [15] Norma UNI EN ISO 13790 del 2008, *“Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento”*.
- [16] Norma UNI/TS 11300-1 del 2008, *“Prestazione energetica degli edifici -Determinazione del fabbisogno di energia dell’edificio per la climatizzazione estiva ed invernale”*.
- [17] Norma UNI/TS 11300-2 del 2008, *“Prestazione energetica degli edifici -Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria”*.
- [18] Mitalas G.P., *“Room dynamic Thermal Response”*, Proceedings of the Fourth International Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings, Tokyo, Japan, March 30- April 2, 1983.
- [19] U.S. Department of Energy, *Energy Plus simulation software*, Version 5.0.0, 2010.
- [20] Crawley D.B., Latrice L.K., Winkelmann F.C., Buhl W.F., Huang Y.J., Pedersen C.O., Strand R.K., Richard J.L., Fisher D.E., Witte M. J., Glazer J., *“Energy Plus: creating a new - generation building energy simulation program”*, Energy and Buildings , No. 33,pp. 319- 331, 2001.
- [21] DesignBuilder Software Ltd, Version 2.1, 2010.
- [22] Norma UNI 10349 del 1994, *“Riscaldamento e Raffrescamento degli Edifici. Dati Climatici”*.
- [23] Decreto del Presidente della Repubblica n. 412 del 1993, *“Regolamento recante norme per la progettazione, l’installazione, l’esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell’art. 4, comma 4, della L. 9 gennaio 1991, n. 10”*. (GU n. 242 del 14-10-1993).
- [24] Carderi, A. Spinello, *“Guida alla progettazione del sistema edificio-impianto di riscaldamento”*, Legge 10/91, ENEA.
- [25] E. Fabrizio, *“Strumenti per la stima dei consumi energetici”*, in “CDA” n.02/2009.
- [26] Mastrullo R., Mazzei P., Vanoli R., *“Fondamenti di energetica”*, Liguori Editore, Napoli, 1992.

- [27] Dentice d'Accadia M., Sasso M., Sibilio S., Vanoli R., *"Applicazioni di energetica, Introduzione all'analisi tecnico- economica di sistemi per il risparmio energetico"*, Liguori Editore, 1999.
- [28] Termus, Prestazioni Energetiche e Certificazione. ACCA Software S.p.A. <http://www.acca.it>.
- [29] ANSI/ASHRAE Standard 90.1:2007, *"Energy Standard for Buildings Exept Low Rise Residential Buildings - User's Manual"*.
- [30] V. Corrado, S. Paduos, *"La nuova legislazione sull'efficienza energetica degli edifici. Requisiti e metodi di calcolo"*, CELID, Torino.
- [31] P. Baggio, F. Cappelletti, P. Romagnoni, *"Il calcolo della prestazione energetica degli edifici. Gli esiti a confronto"*, Atti del convegno AICARR, Padova, 5 giugno 2008.
- [32] F. Busato, R. Lazzarin, *"Confronto tra modelli di calcolo per la certificazione energetica degli edifici: potenzialità e limiti"*, Atti del convegno AICARR, Padova, 5 giugno 2008.
- [33] A. Gasparella, P. Baggio, A. Prada, M. Barattieri, *"Metodi di calcolo standardizzato e simulazione dinamica: analisi degli scostamenti"*, Atti del convegno AICARR, Bologna, 29 ottobre 2009.
- [34] L. Stefanutti, Tipologie di impianti, in *"Manuale degli impianti di climatizzazione"*, Tecniche nuove, Milano, 2008.
- [35] G. Baldo, M. Marino, S. Rossi, *"Analisi del ciclo di vita LCA"*, Edizioni Ambiente, Milano, 2005.
- [36] Livio de Santoli, *"Analisi del ciclo di vita del sistema edificio-impianto"*, Palombi editore, Roma, 2006.
- [37] Ugo Sasso, *"Il nuovo manuale europeo di bioarchitettura"*, Mancosu Editore, Roma, 2008.
- [38] A.M. Papadopoulos, *"State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments"*, vol 37, Energy and Buildings, pp.77–86, 2005.
- [39] UNI EN ISO 14040:2006, *"Environmental management - Life cycle assessment"*.
- [40] Software SimaPro 7.1 della PRé Consultants.
- [41] "SimaPro 7 Manual" disponibile on-line sul sito www.pre.nl.
- [42] Metodo degli Eco-Indicatori 99 disponibile sul sito www.pre.nl.
- [43] R. Lazzarin, F. Busato, F. Castellotti, *"L'impatto energetico ed economico dell'isolamento termico degli edifici in Italia"*. Atti della Conferenza Nazionale sulla politica energetica in Italia, Bologna, Aprile 2005.

- [44] A.M. Papadopoulos, “*State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments*”, vol 37, Energy and Buildings, pp.77–86, 2005.
- [45] Papadopoulos, E. Giama, “*Environmental performance evaluation of thermal insulation materials and its impact on the building*”, vol. 42, Building and Environment, pp. 2178-2187, 2007.
- [46] M. Filippi, G. Rizzo, “*Certificazione energetica e verifica ambientale degli edifici*”, Flaccovio Editore, 2007.
- [47] F. Asdrubali, G. Baldinelli, M. Battisti, C. Baldassarri, “*Analisi ed ottimizzazione energetico-ambientale di un edificio mediante la valutazione del ciclo di vita (LCA)*”. Atti dell'8° Congresso Nazionale CIRIAF, Perugia, Aprile 2008.
- [48] F. Asdrubali, C. Baldassarri, “*Analisi ed ottimizzazione energetico-ambientale di un edificio-pilota mediante la valutazione del ciclo di vita (LCA)*”. Atti del 47° Convegno internazionale AICARR, Tivoli (Roma), ottobre 2009.
- [49] Gian Andrea Blangini, “*Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy*”, vol 44, Building and Environment, pp. 319-330, 2009
- [50] F. Cappellaro, S. Scalbi, 2° Workshop della Rete Italiana LCA - “*Sviluppi dell’LCA in Italia: percorsi a confronto*”. Marzo 2008.
- [51] F. M. De Carli, A. Papparotto, M. Scarpa, A. Zarrella, R. Zecchin, “*LCA e edifici residenziali*”, n. 9, Cda, 2006.
- [52] ASHRAE Green Guide, “*The Design, Construction and Operation of Sustainable Buildings*”, Elsevier, Oxford, 2006;
- [53] BRE Environmental & Sustainability Standard, BES 5055: ISSUE 3.0, BREEAM Multi-residential 2008 Assessor Manual.
- [54] <http://www.breeam.co.uk/>
- [55] <http://www.usgbc.org/>
- [56] <http://www.gbcitalia.org/>
- [57] <http://www.bre.co.uk>
- [58] <http://www.leed.net>
- [59] <http://www.green-building.com>
- [60] <http://www.itaca.org>
- [61] Protocollo ITACA 2009.

-
- [62] LEED 2009 Italia "Nuove costruzioni e ristrutturazioni".
- [63] C. Becchio, S.P. Corgnati, M. Filippi, D.Guglielmino, "*I protocolli di valutazione della costruzione sostenibile: caratteristiche, applicabilità, dinamiche di processo*". 47° Convegno Internazionale AICARR , Tivoli - Roma, 8 - 9 ottobre 2009.
- [64] John Boecker, AIA, LEED AP, Integrative Design: "*The key to cost-effective high-performance buildings and LEED projects*". 47° Convegno Internazionale AICARR , Tivoli - Roma, 8 - 9 ottobre 2009.
- [65] M. Filippi and E. Fabrizio, "*Sustainable building in Italy: the rules, professions and the market*". In: Cooper I and Symes M. Sustainable urban development volume 4: Rethinking professionalism in Europe. London: Routledge.
- [66] E. Fabrizio, D. Guglielmino, L.Rollino, "*Requisiti quantitativi o qualitativi, valutazione dei protocolli di certificazione per il progetto sostenibile*", AICARR JOURNAL n°4.

Indice delle figure

Figura 1.1	Modello di Attestato di certificazione energetica per edifici residenziali	25
Figura 2.1	Planimetria piano tipo dell'edificio oggetto di studio	30
Figura 2.2	Schema strutturale delle pareti perimetrali esterne.....	31
Figura 2.3	Schema strutturale del solaio di copertura	31
Figura 2.4	Schema strutturale del solaio interpiano	32
Figura 2.5	Schema strutturale del pavimento contro terra	32
Figura 2.6	Schema strutturale dei serramenti in legno	33
Figura 2.7	Esempio di stratigrafia di parete perimetrale esterna.....	35
Figura 2.8	Esempio di stratigrafia di solaio	36
Figura 2.9	Schema di un vetrocamera	37
Figura 2.10	Recupero del calore latente in una caldaia a condensazione	40
Figura 3.1	Classi energetiche per stabilire le prestazioni energetiche di un edificio	45
Figura 3.2	Relazione tra legislazione e normativa tecnica	50
Figura 3.3	Determinazione del sistema edificio-impianto.....	54
Figura 3.4	Esempio di angolo dell'orizzonte ombreggiato da un'ostruzione esterna	57
Figura 3.5	Esempio di trasmittanza per una muratura a cassa vuota come riportata nell'Appendice B della UNI/TS 11300-I.....	57
Figura 3.6	Catena di conversione energetica per impianti di riscaldamento in condominio	61
Figura 3.7	Architettura del codice EnergyPlus	66
Figura 3.8	Struttura, moduli di calcolo e logica operativa di Energy Plus	68
Figura 3.9	Struttura, moduli di calcolo e logica operativa di Energy Plus	70
Figura 4.1	Palermo. Costo del kWh risparmiato per gli interventi proposti	85
Figura 4.2	Palermo. Tempo di ritorno degli investimenti.....	86
Figura 4.3	Palermo. Risultati dell'analisi dell'impatto ambientale.....	86
Figura 4.4	Milano. Costo del kWh risparmiato per gli interventi proposti.....	87
Figura 4.5	Milano. Tempo di ritorno degli investimenti	88
Figura 4.6	Milano. Risultati dell'analisi dell'impatto ambientale	88
Figura 4.7	Napoli. Costo del kWh risparmiato per gli interventi proposti	89
Figura 4.8	Napoli. Tempo di ritorno degli investimenti.....	89
Figura 4.9	Napoli. Risultati dell'analisi dell'impatto ambientale.....	90
Figura 4.10	Bologna. Costo del kWh risparmiato per gli interventi proposti.....	90

Figura 4.11	Bologna. Tempo di ritorno degli investimenti	91
Figura 4.12	Bologna. Risultati dell'analisi dell'impatto ambientale	91
Figura 4.13	Palermo. Costo dell'emissione clima-alterante evitata, confrontato con il costo dell'analogo indicatore conseguente all'ottenimento di certificati verdi o tariffa onnicomprensiva per la produzione elettrica da rinnovabile	92
Figura 4.14	Napoli. Costo dell'emissione clima-alterante evitata, confrontato con il costo dell'analogo indicatore conseguente all'ottenimento di certificati verdi o tariffa onnicomprensiva per la produzione elettrica da rinnovabile	92
Figura 4.15	Milano. Costo dell'emissione clima-alterante evitata, confrontato con il costo dell'analogo indicatore conseguente all'ottenimento di certificati verdi o tariffa onnicomprensiva per la produzione elettrica da rinnovabile	93
Figura 4.16	Bologna. Costo dell'emissione clima-alterante evitata, confrontato con il costo dell'analogo indicatore conseguente all'ottenimento di certificati verdi o tariffa onnicomprensiva per la produzione elettrica da rinnovabile	93
Figura 4.17	Foglio Excel per calcolo DPB e VAN	97
Figura 4.18	Palermo - Isolamento 10 cm: VAN con e senza detrazione	98
Figura 5.1	Rapporto tra la certificazione energetica e la certificazione di sostenibilità ambientale	104
Figura 5.2	Rappresentazione schematica di un sistema industriale e della sua interazione con il sistema ambiente	106
Figura 5.3	Applicazioni della LCA differenziate per utente pubblico e privato	107
Figura 5.4	Struttura di una LCA proposta dalla norma UNI EN ISO 14040	108
Figura 5.5	Fase iniziale di una LCA: definizione degli scopi e degli obiettivi. .	108
Figura 5.6	Schema di "sistema" in cui gli input sono costituiti da materie prime ed energia e gli output sono soltanto i reflui che tornano all'ambiente	109
Figura 5.7	La fase di Inventario di una LCA	110
Figura 5.8	L'analisi di inventario attraverso i principali processi che appartengono al generico sistema analizzato (SETAC 1991)	111
Figura 5.9	Processo iterativo per la valutazione dell'affidabilità dei dati	112
Figura 5.10	Schema del ciclo di vita circolare nella gestione del fine vita.	112
Figura 5.11	Schema operativo della fase di Analisi degli Impatti	114

Figura 5.12	Categorie di impatto: scala d'azione	115
Figura 5.13	La fase di interpretazione e miglioramento correlata alle altre fasi della LCA con l'obiettivo di massimizzare l'eco-efficienza.....	116
Figura 5.14	Rete del ciclo di vita dell'edificio "non verificato" (sono esclusi i processi con contributo all'impatto inferiore allo 0,87%).	126
Figura 5.15	Rete del ciclo di vita dell'edificio "riqualificato" (sono esclusi i processi con contributo all'impatto inferiore allo 1,4%).	127
Figura 5.16	Fase di caratterizzazione del confronto tra i due edifici	128
Figura 5.17	Fase di pesatura del confronto fra i due edifici.....	128
Figura 5.18	Impatti relativi alla fase di pesatura per l'edificio "non verificato" .	129
Figura 5.19	Punteggio singolo relativo al ciclo di vita dell'edificio "non verificato"	130
Figura 5.20	Sostanze maggiormente responsabili dei cambiamenti climatici nel ciclo di vita dell'edificio "non verificato"	131
Figura 6.1	Schematizzazione dei metodi rating system	134
Figura 6.2	Fac-simile scheda di valutazione BREEAM	138
Figura 6.3	Horizon House a Bristol (UK), vincitore del BREEAM Award 2010 nella categoria uffici.	140
Figura 6.4	Schede di valutazione LEED for New Construction v3.0	167
Figura 6.5	Esempio della placca che viene consegnata al termine della certificazione LEED	168
Figura 6.6	Jewish Reconstruction Congregation	168
Figura 6.7	Rappresentazione dei 4 livelli di certificazione LEED NC 2009	171
Figura 6.8	Rappresentazione dei punteggi delle categorie LEED NC 2009	174
Figura 6.9	Lista di verifica relativa al LEED Italia 2009 Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni.....	177
Figura 6.10	Confronto tra la struttura delle certificazioni di certificazione e il grado di flessibilità ed adattabilità al contesto dei diversi Protocolli	190

Indice delle tabelle

Tabella 1.1	EP _{i,lim} [kWh/m ² anno] dal 1 gennaio 2010 per edifici residenziali della classe E1.....	17
Tabella 1.2	Trasmittanza limite per le strutture opache verticali.....	17
Tabella 1.3	Valori limite per EP _{e, invol}	19
Tabella 1.4	Qualità prestazionale per la climatizzazione estiva rispetto all' EP _{e, invol}	24
Tabella 1.5	Qualità prestazionale per la climatizzazione estiva rispetto ad attenuazione e sfasamento.....	24
Tabella 3.1	Tipi di calcolo per la valutazione energetica.....	44
Tabella 3.2	Prospetto 13 della UNI/TS-I, trasmittanza di energia solare di alcuni tipi di vetro.....	56
Tabella 4.1	Costi computati per gli interventi di efficientamento.....	78
Tabella 4.2	Palermo. Valutazione di interventi di riqualificazione energetica.....	82
Tabella 4.3	Napoli. Valutazione di interventi di riqualificazione energetica.....	83
Tabella 4.4	Milano. Valutazione di interventi di riqualificazione energetica.....	83
Tabella 4.5	Bologna. Valutazione di interventi di riqualificazione energetica.....	84
Tabella 4.6	Risultati analisi costi annui dei casi studio.....	95
Tabella 4.7	Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale - Confronto tra calcolo in regime dinamico e calcolo in regime stazionario per l'edificio non riqualificato con caldaia standard.....	99
Tabella 4.8	Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale - Confronto tra calcolo in regime dinamico e calcolo in regime stazionario prevedendo sull'edificio un intervento di riqualificazione (isolamento verticale, isolamento del solaio di copertura e vetro con trasmittanza limite) e la caldaia a condensazione.....	99
Tabella 5.1	I principali strumenti software per l'Analisi del ciclo di vita.....	119
Tabella 5.2	Impatti pesati relativi all'edificio "non verificato" espressi in categorie di danno (metodo Eco-indicatori 99).....	129
Tabella 6.1	Strumenti di valutazione a punteggio esistenti su scala mondiale.....	133
Tabella 6.2	Classificazione BREEAM.....	138
Tabella 6.3	Schema di valutazione del sistema di certificazione Itaca.....	141
Tabella 6.4	Elenco generale dei crediti nuove costruzioni e ristrutturazioni.....	144
Tabella 6.5	Criteri di valutazione del protocollo Semplificato.....	156
Tabella 6.6	Criteri di valutazione e pesatura del Protocollo ITACA 2011.....	160
Tabella 6.7	Sottocriteri aggiuntivi per il Protocollo ITACA per Uffici.....	161

Tabella 6.8	Differenza nei punteggi delle categorie tra LEED v2.2 e LEED v3.0	166
Tabella 6.9	Differenze nella classificazione tra LEED v2.2 e LEED v3.0.....	168
Tabella 6.10	Dati da considerare per le attività commerciali e residenziali.....	179
Tabella 6.11	Percentuale minima di risparmio d'acqua	180
Tabella 6.12	Punteggi da attribuire in base alla riduzione percentuale di fabbisogno di energia primaria totale dell'edificio	181
Tabella 6.13	Punteggi da attribuire in relazione all'energia risparmiata per il funzionamento globale dell'edificio	182
Tabella 6.14	Punteggio da attribuire in funzione della percentuale di soddisfacimento del fabbisogno annuo di energia primaria con fonti rinnovabili	182
Tabella 6.15	Punteggio da attribuire in funzione della percentuale di riutilizzo degli edifici.	183
Tabella 6.16	Punteggio da attribuire in base ai materiali estratti, lavorati e prodotti a distanza limitata	184
Tabella 6.17	Confronto tra i pesi in percentuale attribuiti ai diversi crediti dei Protocolli sopra citati.....	189
Tabella 7.1	Criteri del Protocollo ITACA 2011 per ristrutturazione con destinazione d'uso residenziale	193
Tabella 7.2	Elenco dei requisiti e sotto requisiti relativi categoria qualità del sito (ubicazione).....	194
Tabella 7.3	Elenco dei requisiti e sotto requisiti relativi alla categoria qualità del sito (edificio).....	195
Tabella 7.4	Elenco requisiti e sotto requisiti relativi alla categoria Consumi di risorse	195
Tabella 7.5	Elenco requisiti e sottorequisiti relativi alla categoria Carichi Ambientali ..	197
Tabella 7.6	Elenco di requisiti e sottorequisiti relativi alla categoria Qualità Ambientale Indoor	198
Tabella 7.7	Elenco requisiti e sotto requisiti della categoria Qualità del Servizio	199
Tabella 7.8	Foglio di calcolo "LEED 2009 Nuove costruzioni e Ristrutturazioni"	202