



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica

**Analisi LCA di un edificio residenziale a basso
consumo energetico al variare delle condizioni
climatiche e del mix energetico di riferimento**

Relatore: Prof.ssa Anna Stoppato

Laureando: Marco Bergagnin
Matricola n. 1154877

Anno Accademico 2018/2019

Indice

SOMMARIO	17
INTRODUZIONE	19
CAPITOLO 1 – Introduzione al caso studio	21
1.1 Introduzione metodologia LCA	21
1.2 L’edificio	23
1.3 Località	26
CAPITOLO 2 – Analisi dell’edificio.....	29
2.1 Costruzione del modello dell’edificio con TRNbuild	29
2.2 Analisi con Simulation Studio	32
2.3 Analisi nelle diverse località	34
Tarvisio:.....	35
Catania.....	39
Ostersund.....	41
Siviglia	44
Calgary	46
Houston	49
2.4 Analisi e confronti.....	51
2.5 La ventilazione naturale per il raffrescamento.....	53
CAPITOLO 3: - Impianto solare termico.....	55
3.1 Introduzione al solare termico.....	55
3.2 Solare termico normativa.....	57
3.2.1 Calcolo fabbisogno.....	57
3.2.2 Produzione collettori.....	58
3.3 Analisi diverse località solare termico.....	63
Tarvisio.....	65
Catania.....	67
Ostersund.....	69
Siviglia	71
Calgary	73
Houston	75
3.4 Analisi risultati.....	77
CAPITOLO 4 - Consumi elettrici abitazione	79
4.1 Consumi impianti	80
4.2 Analisi finale consumi.....	81

4.3 Fotovoltaico	82
4.4 Compendio finale consumi	85
CAPITOLO 5 - Analisi con SimaPro.....	89
5.1 Software.....	89
5.1.1 Metodo Cumulative Energy Demand (CED)	92
5.1.2 Metodo ECO-INDICATOR 99	92
5.1.3 EDIP '97 - 2003 - Environmental Design of Industrial Product	95
5.2 differenti mix energetici	96
Italia.....	97
Svezia	98
Spagna	99
Alberta.....	100
Texas	101
5.2.1 Valori finali di input in SimaPro	102
5.3 Anlisi degli impatti.....	103
5.3.1 Tarvisio	104
5.3.2 Catania	126
5.3.3 Ostersund	134
5.3.4 Siviglia	142
5.3.5 Calgary.....	150
5.3.6 Houston.....	158
CAPITOLO 6 – Conclusioni	167
BIBLIOGRAFIA	173

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.2.1 Pianta dell'abitazione presa in considerazione

Figura 1.2.2 Confronto dell'esposizione in diversi orari al 21 dicembre e al 21 giugno

Figura 2.1.1 Dettaglio delle stratigrafie di muri esterni ed interni dell'edificio

Figura 2.1.2 Dettaglio delle stratigrafie di solaio interpiano e verso il terreno

Figura 2.1.3 Dettaglio delle stratigrafie del tetto

Figura 2.2.1 Schermata a video del progetto in Trnsys

Figura 2.2.2 Andamento delle temperature nei due nodi aria con impianti attivi

Figura 2.2.3 Carichi termici richiesti nell'arco delle 8760 di simulazione nei due nodi aria

Figura 2.3.1 Andamento delle temperature nei due nodi aria con il condizionamento disattivato ed indice di infiltrazioni d'aria indesiderate 0,1.

Figura 2.3.2 Andamento delle temperature nei due nodi aria con il condizionamento disattivato ed indice di infiltrazioni d'aria indesiderata 1

Figura 2.3.3 Andamento delle temperature nei due nodi aria con entrambi gli impianti disattivati, indice di infiltrazioni d'aria indesiderata 0,1 e temperatura di "initial condition" 5°C.

Figura 2.3.4 Andamento delle temperature nei due nodi aria con entrambi gli impianti disattivati, indice di infiltrazioni d'aria indesiderata 0,1 e temperatura di "initial condition" 20°C.

Figura 2.3.5 Andamento delle temperature nei due nodi aria con il condizionamento attivo e il riscaldamento disattivo

Figura 2.3.6 Andamento delle temperature nei due nodi aria durante il periodo estivo con il condizionamento disattivo e tasso di infiltrazione di aria 1.

Figura 2.3.7 Andamento delle temperature nei due nodi aria con tutti gli impianti disattivati

Figura 2.3.8 Andamento delle temperature nei due nodi aria con condizionamento disattivato e riscaldamento attivo

Figura 2.3.9 Andamento delle temperature nei due nodi aria con tutti gli impianti disattivati

Figura 2.3.10 Andamento delle temperature nei due nodi aria con tutti gli impianti disattivati, tasso di infiltrazione aria 0,1 e temperatura di initial condition 20°C

Figura 2.4.1 Confronti fabbisogni per il riscaldamento

Figura 2.4.2 Confronti fabbisogni per il condizionamento

Figura 3.1.1 Efficienza dei moduli al variare delle condizioni al contorno

Figura 3.2.2.1 Schema d'impianto solare termico

Figura 3.3.1 Confronto dei diversi fattori di copertura mensili per la città di Padova

Figura 3.3.2 Confronto dei diversi fattori di copertura mensili per la città di Tarvisio.

Figura 3.3.3 Confronto dei diversi fattori di copertura mensili per la città di Catania

Figura 3.3.4 Confronto dei diversi fattori di copertura mensili per la città di Ostersund

Figura 3.3.5 Confronto dei diversi fattori di copertura mensili per la città di Siviglia

Figura 3.3.6 Confronto dei diversi fattori di copertura mensili per la città di Calgary

Figura 3.3.7 Confronto dei diversi fattori di copertura mensili per la città di Houston

Figura 3.4.1 Confronto diverse quantità di energia elettrica prelevata dalla rete per integrare i pannelli solari

Figura 4.3.1 Specifiche tecniche dei moduli fotovoltaici

Figura 4.3.2 Confronto dei valori dell'energia elettrica prodotta

Figura 4.3.3 Confronto dei valori dell'energia consumata con le batterie di accumulo

Figura 5.1.1 Schermata a video delle fasi del prodotto in SimaPro

Figura 5.3.1.1 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 4%, Tarvisio

Figura 5.3.1.2 Rappresentazione ad albero della fase di pre uso analizzata con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 5%, Tarvisio

Figura 5.3.1.3 Rappresentazione ad albero dell'edificio con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 5%, Tarvisio

Figura 5.3.1.4 Rappresentazione ad albero dell'involucro con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 5%, Tarvisio

Figura 5.3.1.5 Analisi di contributo assembly "Involucro", metodo Cumulative Energy Demand, Tarvisio

Figura 5.3.1.6 Analisi di contributo materiali involucro con metodo Cumulative Energy Demand, Tarvisio

Figura 5.3.1.7 Composizione percentuale in massa dell'involucro edilizio

Figura 5.3.1.8 Analisi di contributo assembly "impianti" con metodo Cumulative Energy Demand, cut off 3.5%, Tarvisio

Figura 5.3.1.9 Analisi di contributo assembly "Involucro", metodo Cumulative Energy Demand, Tarvisio

Figura 5.3.1.10 Analisi di contributo materiali involucro con metodo Cumulative Energy

Demand, Tarvisio

Figura 5.3.1.11 Rappresentazione ad albero della fase d'uso analizzata con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 4%, Tarvisio

Figura 5.3.1.12 Rappresentazione ad albero della fase fi fine vita analizzata con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 8%, Tarvisio

Figura 5.3.1.13 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Eco-indicator 99; Cut-off 5%, Tarvisio

Figura 5.3.1.13 Analisi intero ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; Tarvisio

Figura 5.3.1.14 Analisi intero ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Tarvisio

Figura 5.3.1.15 Analisi di contributo assembly "Involucro" con metodo Eco-indicator 99; Caratterizzazione, Tarvisio

Figura 5.3.1.16 Analisi di contributo materiali involucro con metodo Eco-indicator 99, Tarvisio

Figura 5.3.1.17 Rappresentazione ad albero dell'assembly "Impianti" analizzata con il metodo Eco-indicator 99; Cut-off 5%, Tarvisio

Figura 5.3.1.18 Analisi di contributo materiali impianti con metodo Eco-indicator 99, Tarvisio

Figura 5.3.1.19 Analisi impianti con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Tarvisio

Figura 5.3.1.20 Analisi fase d'uso con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Tarvisio

Figura 5.3.1.21 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo EDIP 2003; Cut-Off 5%, Tarvisio

Figura 5.3.1.22 Analisi intero ciclo di vita con metodo EDIP 2003; Caratterizzazione, Tarvisio

Figura 5.3.1.23 Analisi intero ciclo di vita con metodo EDIP 2003; peso, Tarvisio

Figura 5.3.1.24 Analisi di contributo materiali intero ciclo vita con metodo EDIP 2003; Tarvisio

Figura 5.3.1.25 Analisi fase d'uso con metodo EDIP 2003; peso, Tarvisio

Figura 5.3.2.1 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 4%, Catania

Figura 5.3.2.2 Rappresentazione ad albero della fase d'uso analizzata con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 4%, Catania

Figura 5.3.2.3 Analisi di contributo fase d'uso, metodo Cumulative Energy Demand, Catania

Figura 5.3.2.4 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Eco indicator 99; Cut-off 4%, Catania

Figura 5.3.2.5 Analisi intero ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Catania

Figura 5.3.2.6 Analisi fase d'uso con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Catania

Figura 5.3.2.7 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo EDIP 2003; Cut-Off 5%, Catania

Figura 5.3.2.8 Analisi fase d'uso con metodo EDIP 2003; peso, Catania

Figura 5.3.3.1 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 5%, Ostersund

Figura 5.3.3.2 Rappresentazione ad albero della fase d'uso analizzata con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 4%, Ostersund

Figura 5.3.3.3 Analisi di contributo fase d'uso, metodo Cumulative Energy Demand, Ostersund

Figura 5.3.3.4 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Eco-indicator 99; Cut-off 4%, Ostersund

Figura 5.3.3.5 Analisi intero ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Ostersund

Figura 5.3.3.6 Analisi fase d'uso con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Ostersund

Figura 5.3.3.7 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo EDIP 2003; Cut-Off 5%, Ostersund

Figura 5.3.3.8 Analisi fase d'uso con metodo EDIP 2003; peso, Ostersund

Figura 5.3.4.1 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 4%, Siviglia

Figura 5.3.4.2 Rappresentazione ad albero della fase d'uso analizzata con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 4%, Siviglia

Figura 5.3.4.3 Analisi di contributo fase d'uso, metodo Cumulative Energy Demand, Siviglia

Figura 5.3.4.4 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Eco indicator 99; Cut-off 8%, Siviglia

Figura 5.3.4.5 Analisi intero ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Siviglia

Figura 5.3.4.6 Analisi fase d'uso con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Siviglia

Figura 5.3.4.7 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo EDIP 2003; Cut-Off 5%, Siviglia

Figura 5.3.4.8 Analisi fase d'uso con metodo EDIP 2003; peso, Siviglia

Figura 5.3.5.1 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 5%, Calgary

Figura 5.3.5.2 Rappresentazione ad albero della fase d'uso analizzata con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 5%, Calgary

Figura 5.3.5.3 Analisi di contributo fase d'uso, metodo Cumulative Energy Demand, Calgary

Figura 5.3.5.4 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Eco-indicator 99; Cut-off 4%, Calgary

Figura 5.3.5.5 Analisi intero ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Calgary

Figura 5.3.5.6 Analisi fase d'uso con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Calgary

Figura 5.3.5.7 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo EDIP 2003; Cut-Off 4%, Calgary

Figura 5.3.5.8 Analisi fase d'uso con metodo EDIP 2003; peso, Calgary

Figura 5.3.6.1 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 4%, Houston

Figura 5.3.6.2 Rappresentazione ad albero della fase d'uso analizzata con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 4%, Houston

Figura 5.3.6.3 Analisi di contributo fase d'uso, metodo Cumulative Energy Demand, Houston

Figura 5.3.6.4 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Eco-indicator 99; Cut-off 4%, Houston

Figura 5.3.6.5 Analisi intero ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Houston

Figura 5.3.6.6 Analisi fase d'uso con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Houston

Figura 5.3.6.7 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo EDIP 2003; Cut-Off 4%, Houston

Figura 5.3.6.8 Analisi fase d'uso con metodo EDIP 2003; peso, Houston

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 2.3.1 Fabbisogni termici per il riscaldamento e il condizionamento nella località di Padova

Tabella 2.3.2 Fabbisogni termici per il riscaldamento e il condizionamento nella località di Tarvisio

Tabella 2.3.3 Valori medi mensili ricavati dal sito energyplus.net espressi in °C.

Tabella 2.3.3 Fabbisogni termici per il riscaldamento e il condizionamento nella località di Catania

Tabella 2.3.4 Valori medi mensili ricavati dal sito energyplus.net espressi in °C.

Tabella 2.3.5 Fabbisogni termici per il riscaldamento e il condizionamento nella località di Ostersund

Tabella 2.3.5 Valori medi mensili ricavati dal sito energyplus.net espressi in °C.

Tabella 2.3.6 Valori della radiazione solare in MJ/m², il valore si riferisce ad un valore medio mensile.

Tabella 2.3.7 Fabbisogni termici per il riscaldamento e il condizionamento nella località di Siviglia

Tabella 2.3.8 Valori medi mensili ricavati dal sito energyplus.net espressi in °C.

Tabella 2.3.10 Fabbisogni termici per il riscaldamento e il condizionamento nella località di Calgary

Tabella 2.3.11 Valori medi mensili ricavati dal sito energyplus.net espressi in °C.

Tabella 2.3.12 Fabbisogni termici per il riscaldamento e il condizionamento nella località di Houston

Tabella 2.3.13 Valori medi mensili ricavati dal sito energyplus.net espressi in °C.

Tabella 2.4.1 Apporti termici richiesti per il riscaldamento

Tabella 2.4.2 Apporti termici richiesti per il condizionamento

Tabella 3.2.2.1 Specifiche tecniche per l'impianto solare termico

Tabella 3.2.2.2 Temperature medie mensili per ogni città presa in esame espresse in °C

Tabella 3.2.2.3 Valori della radiazione solare media mensile utilizzati nelle simulazioni

Tabella 3.3.1 Specifiche tecniche dell'impianto solare termico per la città di Padova

Tabella 3.3.2 Specifiche tecniche dell'impianto solare termico per la città di Tarvisio

Tabella 4.1.1 Dettaglio degli usi elettrici obbligati dell'abitazione

Tabella 4.2.1 Rendimento complessivo della pompa di calore durante i diversi periodi dell'anno

Tabella 4.2.2 Resoconto valori dei consumi di energia elettrica, tutti i valori riportati

sono espressi in kWh/anno.

Tabella 4.3.1 Dettagli per il dimensionamento dell'impianto fotovoltaico

Tabella 4.3.2 Procedura per il dimensionamento fotovoltaico

Tabella 4.3.3 Valori di utilizzo dell'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico

Tabella 4.4.1 Copertura impianto fotovoltaico e prelievi dalla rete

Tabella 4.4.2 Energia prelevata dalla rete

Tabella 5.1.2.1 Valori percentuali di come sono pesate le diverse categorie di impatto

Tabella 5.2.1 Istogramma dettagliato del mix energetico per l'Italia

Tabella 5.2.2 Istogramma dettagliato del mix energetico per la Svezia

Tabella 5.2.3 Istogramma dettagliato del mix energetico per la Spagna

Tabella 5.2.4 Istogramma dettagliato del mix energetico per l'Alberta

Tabella 5.2.5 Istogramma dettagliato del mix energetico per il Texas

Tabella 5.3.1.1 Analisi ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; Caratterizzazione

Tabella 5.3.1.2 Analisi ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; Caratterizzazione

Tabella 5.3.1.3 Analisi ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Tarvisio

Tabella 5.3.2.1 Analisi ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Catania

Tabella 5.3.2.2 Valori dei punteggi di impatto della fase d'uso, Catania

Tabella 5.3.2.3 Percentuali dei punteggi di impatto della fase d'uso dovute dal mix energetico di riferimento, Italia.

Tabella 5.3.2.4 Valori percentuali di impatto per ogni categoria considerata dal metodo EDIP, Catania

Tabella 5.3.3.1 Analisi ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Ostersund

Tabella 5.3.3.2 Valori dei punteggi di impatto della fase d'uso, Ostersund

Tabella 5.3.3.3 Percentuali dei punteggi di impatto della fase d'uso dovute dal mix energetico di riferimento, Svezia.

Tabella 5.3.3.4 Valori percentuali di impatto per ogni categoria considerata dal metodo EDIP, Catania

Tabella 5.3.4.1 Analisi ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Siviglia

Tabella 5.3.4.2 Valori dei punteggi di impatto della fase d'uso.

Tabella 5.3.4.3 Percentuali dei punteggi di impatto della fase d'uso dovute dal mix

energetico di riferimento, Spagna

Tabella 5.3.4.4 Valori percentuali di impatto per ogni categoria considerata dal metodo EDIP, Siviglia

Tabella 5.3.5.1 Analisi ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Calgary

Tabella 5.3.5.2 Valori dei punteggi di impatto della fase d'uso.

Tabella 5.3.5.3 Percentuali dei punteggi di impatto della fase d'uso dovute dal mix energetico di riferimento, Alberta.

Tabella 5.3.5.4 Valori percentuali di impatto per ogni categoria considerata dal metodo EDIP, Calgary

Tabella 5.3.6.1 Analisi ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Houston

Tabella 5.3.6.2 Valori dei punteggi di impatto della fase d'uso.

Tabella 5.3.6.3 Percentuali dei punteggi di impatto della fase d'uso dovute dal mix energetico di riferimento, Texas.

Tabella 5.3.6.4 Valori percentuali di impatto per ogni categoria considerata dal metodo EDIP, Houston

SOMMARIO

Negli ultimi anni sia a livello nazionale che mondiale vi è un'elevata attenzione verso l'inquinamento antropico, il problema del riscaldamento globale e l'effetto serra, anche le istituzioni mondiali iniziano a spingere verso un futuro più sostenibile. Sono sempre più diffusi gli edifici che permettono di ridurre il consumo di energia. È proprio la diffusione di questi edifici che presentano un ridotto (o quasi nullo) consumo energetico in fase d'uso che spinge a riconsiderare il peso in termini di impatti energetici ed ambientali associati alla costruzione dell'edificio e alla produzione di tutti i materiali che vengono poi assemblati in loco. A tale scopo l'analisi LCA (Life Cycle Assessment), metodologia riconosciuta a livello internazionale per la valutazione affidabile delle prestazioni energetico-ambientali, rappresenta un utile strumento per determinare le fasi e i componenti più impattanti del ciclo vita di un organismo edilizio. Io nello specifico ho preso come riferimento un edificio residenziale a basso consumo energetico, i dati relativi all'abitazione oggetto dello studio sono estrapolati da un progetto di ricerca del politecnico di Torino [8]. Nella prima parte dell'elaborato di tesi, ho selezionato diverse località sparse per l'Italia e nel mondo, con climi anche molto diversi tra loro, prestando attenzione anche a scegliere nazioni con differente mix energetico. Per ogni città ho svolto una stima dei consumi nella fase d'uso della casa con il software di simulazione Trnsys. Successivamente ho integrato l'abitazione con il dimensionamento di un impianto solare termico e uno fotovoltaico per minimizzare la quantità di energia prelevata dalla rete. La metodologia LCA e le sue peculiarità entrano in gioco nella seconda parte dell'elaborato, in cui è stata svolta un'analisi mediante il software SimaPro andando di volta in volta modificare i dati di input per quanto riguarda i consumi di energia elettrica dalla rete modificando il diverso mix energetico per ogni nazione. Per alcuni dati relativi alla fase d'uso ho utilizzato anche studi presenti in letteratura. Sono state considerate la fase di pre uso (produzione, trasporto, messa in opera e manutenzione dei materiali), la fase d'uso (fabbisogni energetici dell'edificio) e la fase di fine vita (demolizione selettiva, trasporto, trattamento e smaltimento dei rifiuti). Per la valutazione degli impatti sono stati utilizzati il metodo Cumulative Energy Demand, il metodo Eco-indicator 99 ed il metodo EDIP 2003.

INTRODUZIONE

Come citato nella gazzetta ufficiale dell'unione europea [16], gli edifici sono responsabili del 40% del consumo globale di energia nell'Unione europea e tale valore è in continuo aumento. La riduzione dei consumi energetici e l'utilizzo di energia da fonti rinnovabili nel settore dell'edilizia costituiscono quindi misure importanti e necessarie per ridurre la dipendenza energetica dell'Unione e le emissioni di gas a effetto serra. Le misure adottate per ridurre il consumo di energia nell'UE consentirebbero a quest'ultima di conformarsi al protocollo di Kyoto allegato alla convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) e di rispettare sia l'impegno a lungo termine di mantenere l'aumento della temperatura globale al di sotto di 2 °C, sia l'impegno di ridurre entro il 2020 le emissioni globali di gas a effetto serra di almeno il 20 % al di sotto dei livelli del 1990 e del 30 % qualora venga raggiunto un accordo internazionale. [13], [14], [15].

Le misure per l'ulteriore miglioramento della prestazione energetica degli edifici dovrebbero tenere conto delle condizioni climatiche locali, nonché dell'ambiente termico interno e dell'efficacia sotto il profilo dei costi. Tali misure non dovrebbero influire su altre prescrizioni relative agli edifici quali l'accessibilità, la sicurezza e l'uso cui è destinato l'edificio. È proprio per questo motivo che nel mio elaborato, a differenza dell'edificio in sé, che rimane il medesimo per ogni collocazione, cerco la miglior efficienza sia nel dimensionamento degli impianti fotovoltaico che solare termico, ottimizzando il numero dei moduli e la loro inclinazione. Questa operazione contribuisce a ridurre ulteriormente i già bassi consumi energetici, facendo diventare molto più rilevante l'impatto causato dalla costruzione dell'edificio in sé, dalla produzione dei materiali necessari rispetto alla fase di utilizzo della casa, considerando che il tempo stimato di vita è di circa 70 anni.

L'analisi LCA (Life Cycle Assessment) è oggi il metodo di valutazione maggiormente accreditato a livello internazionale per la quantificazione del danno ed i suoi esiti possono essere immediatamente correlati agli impatti sulla salute umana, sulla qualità degli ecosistemi e sul consumo delle risorse naturali [7], [17].

L'applicazione di tale metodologia in edilizia diventa quindi fondamentale nella fase di progettazione dell'organismo edilizio e soprattutto riveste primaria importanza in termini di affidabilità e rilevanza dei risultati, anche quando è impiegata a supporto dei processi decisionali per la definizione di politiche strategiche nel settore [3].

CAPITOLO 1 – Introduzione al caso studio

L'obiettivo primario di questa tesi è quello di analizzare la sostenibilità ambientale di un edificio residenziale a basso consumo energetico e valutare in modo critico quali differenze comporta la diversa collocazione geografica e climatica focalizzandosi quindi sulla fase d'uso.

1.1 Introduzione metodologia LCA

Le normative, in particolare quelle europee, che introducono il metodo LCA per la valutazione dell'impatto ambientale nell'edilizia sono abbastanza recenti e questo strumento è ancora poco conosciuto e poco diffuso sul mercato. Soprattutto in Italia, per la difficoltà di accesso ai dati ambientali, visto che manca una banca dati italiana e la scarsità di dati primari su prodotti da costruzione, manca completamente la figura di un operatore che sappia valutare per intero la complessità del metodo.

Il Life Cycle Assessment (LCA) è una procedura standardizzata che permette di valutare i danni ambientali connessi all'intero ciclo di vita di un prodotto o un servizio. Il metodo è stato codificato dal SETAC (Society of Toxicology and Chemistry) nel 1993 e normato dagli standard ISO della serie 14040 nel 1997. [5]

Il metodo si fonda considerando che ogni processo smuove dei flussi di sostanze ed energia in ingresso mentre in uscita si hanno dei flussi di rifiuti solidi, liquidi e gassosi. Analizzare questi flussi consente di definire il profilo ambientale del prodotto stesso, il suo ecoprofilo. Vengono resi noti inoltre i consumi di materia ed energia e i rifiuti causati da ogni unità di prodotto, dall'estrazione delle materie prime fino al cancello dello stabilimento (form cradle to gate) [2];

Dal punto di vista metodologico, uno studio LCA si articola in quattro fasi:

1. Definizione degli obiettivi e del campo di applicazione della ricerca, si stabilisce un'unità funzionale e si individuano i confini del sistema che ci si appresta ad analizzare.
2. Analisi dell'inventario: è necessario ora raccogliere tutti i dati relativi ai flussi di input (materie prime, energia, acqua) e di output (emissioni in aria, acqua, rifiuti solidi) per ciascuno dei processi in ciascuna fase del ciclo di vita del prodotto, tenendo non solo in considerazione quindi il periodo di vita dell'edificio, ma

anche tutte le lavorazioni che i materiali utilizzati hanno subito a monte.

3. Valutazione degli impatti ambientali: in questa fase bisogna valutare l'impatto di ogni singolo materiale nelle diverse categorie di impatto, solitamente si considerano principalmente:

- riscaldamento globale (GWP), in kg CO₂ eq.
- riduzione dello strato di ozono stratosferico (ODP), in kg CFC-11 eq.
- acidificazione di suoli e acque (AP), in kg SO₂ eq.
- eutrofizzazione (EP), in kg (PO₄)₃- eq.
- formazione di ozono troposferico (POCP), in kg C₂H₄ eq.
- degradazione abiotica di risorse non fossili (ADP), in kg Sb eq.
- degradazione abiotica di risorse fossili (ADP), in MJ

Per poter confrontare tra loro, o sommare se necessario diverse quantità di sostanze che causano un certo impatto ambientale viene effettuato un processo di caratterizzazione: con l'aiuto di fattori di equivalenza, i differenti contributi delle sostanze vengono adeguatamente pesati per rendere uniforme l'interpretazione dei risultati [6].

4. La quarta fase di interpretazione dei risultati, non fa altro che raccogliere quanto ottenuto dal punto 3, evidenziare i processi e le sostanze che generano i maggiori impatti al fine di individuare gli aspetti più impattanti che possono essere corretti o migliorati.

1.2 L'edificio

La casa considerata è progettata per una famiglia di 4 persone, il progetto originario, ricavato da una ricerca del DITAG del Politecnico di Torino in collaborazione con "Studio Roatta Architetti" è strutturato su un piccolo lotto di 750m², un terreno facilmente reperibile in tutte le località che sono state prese in esame. Si tratta dunque di un'abitazione privata unifamiliare che presenta una struttura portante in cemento armato, è composta da piano interrato che è suddiviso in 5 vani di cui 2 ad uso cantina ed uno come autorimessa, tutti senza la presenza di impianti di riscaldamento o condizionamento. Al piano terra, adibito a zona giorno, vi sono salotto cucina uno studio, una camera ed una stanza di servizio, in Figura 1.2.1 riporto la pianta nello specifico.

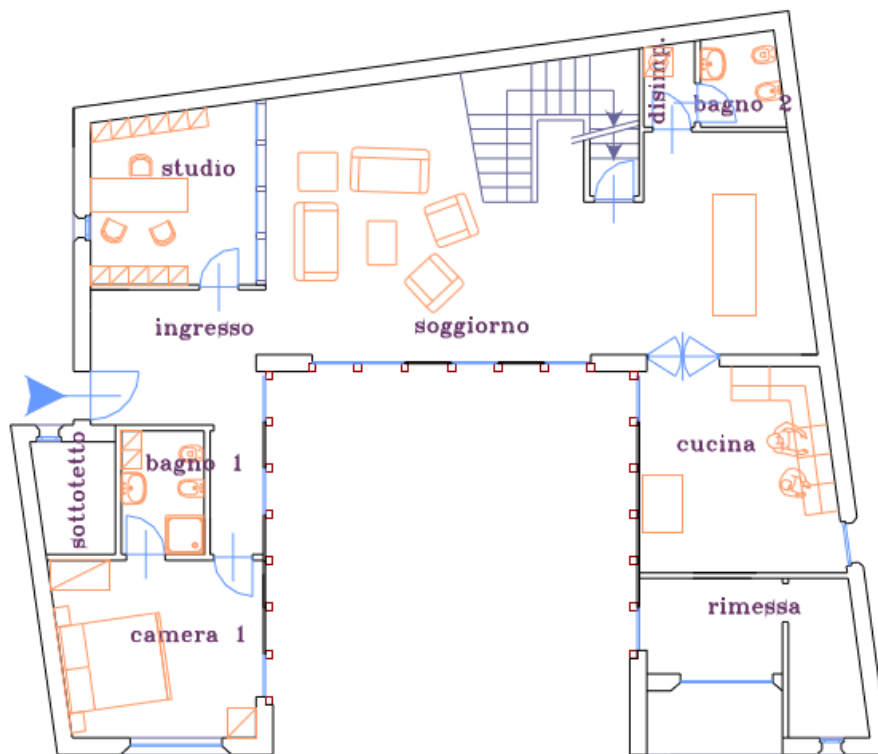


Figura 1.2.1 Pianta dell'abitazione presa in considerazione

Al primo piano si completa la zona notte con altre due camere ed un bagno. È inoltre allestita una dependance per eventuali ospiti che comprende una camera da letto un bagno ed un angolo cottura.

La superficie calpestabile complessiva è di 367 m² (174,41 m² piano interrato, 137,42 m² piano terra e 55 m² primo piano), una superficie riscaldata di 192 m² e volume lordo di 941, 5 m³. Il volume si articola su tre bracci raccolti attorno ad una corte centrale.

È stata prestata particolare attenzione all'esposizione ai raggi del sole, per cercare di massimizzare il comfort all'interno e di ottimizzare la radiazione per contribuire al riscaldamento degli ambienti. L'edificio si sviluppa intorno ad una corte centrale, con un guscio esterno che ne racchiude uno più interno, che segue gli assi dei punti cardinali con la facciata principale interamente esposta a sud per massimizzare il soleggiamento.

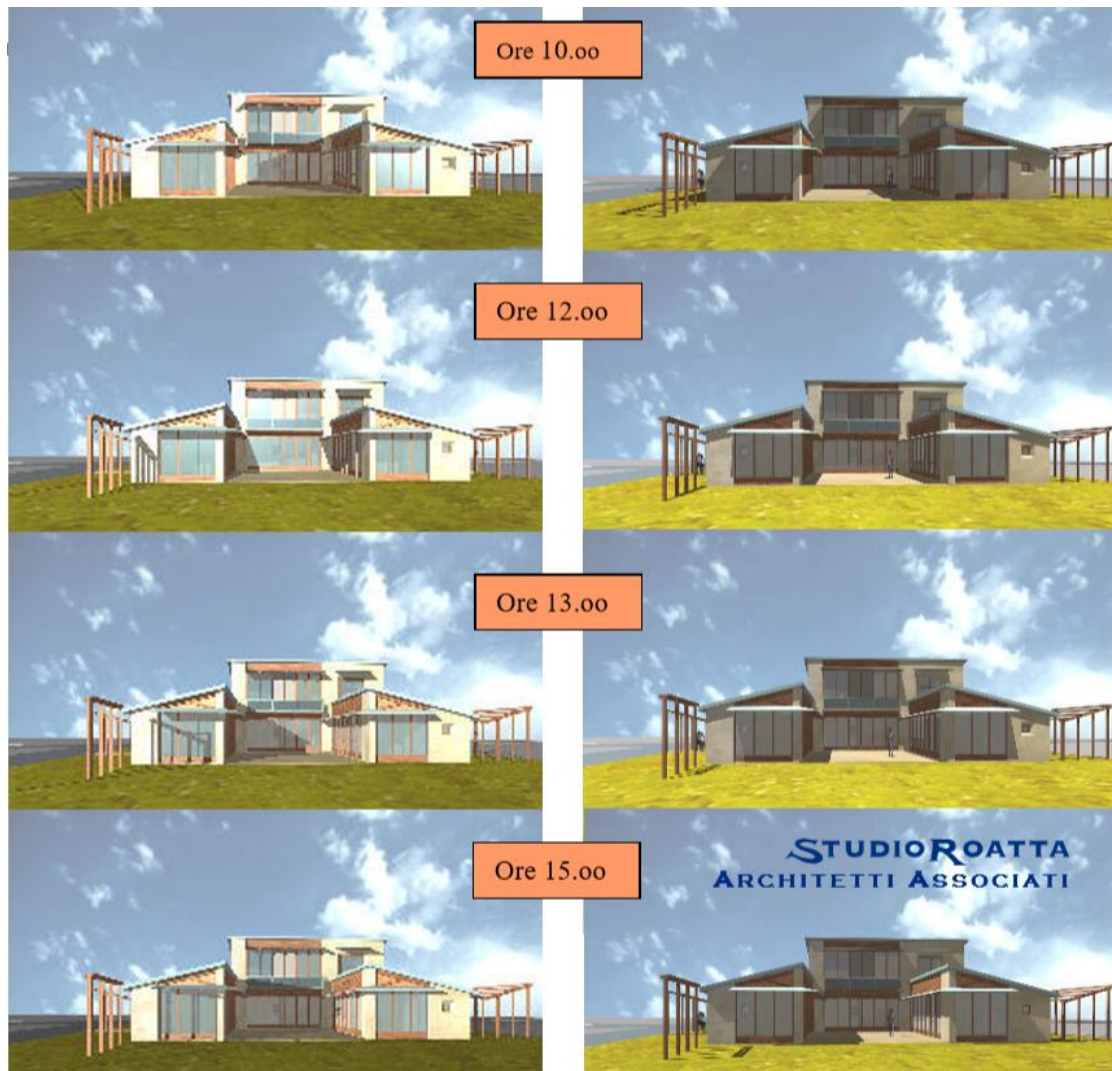


Figura 1.3.2 Confronto dell'esposizione in diversi orari al 21 dicembre e al 21 giugno

Le principali scelte costruttive ed impiantistiche che permettono a tale edificio di rientrare nella categoria a basso consumo energetico sono:

- il maggior numero delle superfici vetrate rivolte a sud sono integrate con opportuni sistemi di ombreggiatura fissi in grado di garantire lo sfruttamento degli apporti solari in inverno ed evitare il surriscaldamento dell'edificio in estate; inoltre le finestre sono di piccole dimensioni se collocate sul lato nord-est ed ovest ed hanno una strombatura a feritoia che ne migliora l'efficienza in termini di illuminazione naturale interna;
- le superfici vetrate sono realizzate in vetro triplo con uno spessore di 4-6mm ciascuno ed una doppia intercapedine, con telai spessi oltre 10cm che hanno trasmittanza media compresa tra 1,22-1,65 W/m²K;
- ricambio d'aria garantito da un sistema di ventilazione meccanica controllata, dotato di recuperatore di calore e scambiatore passivo a terreno; in questo modo sono ridotte al minimo le dispersioni termiche per ventilazione, mantenendo la salubrità dei locali;
- isolamento termico realizzato con fibra di legno nella copertura (U=0,18 W/m²K) e sughero bruno nelle pareti esterne (U=0,21 W/m²K), ed un isolamento continuo all'intradosso del solaio sull'interrato, eliminazione dei ponti termici strutturali tramite "taglio" termico alla base della muratura, taglio dei solai fra interno ed esterno al piano terreno;
- si effettua inoltre una distribuzione del calore a bassa temperatura tramite sistemi radianti a parete. Tutta la produzione del calore è attuata tramite pompa di calore aria-acqua ad elevata efficienza anche alle temperature più basse;
- sono progettati dei collettori solari termici vetrati piani (2 m² ciascuno) per la produzione di acqua calda sanitaria, il loro numero varia a seconda della località presa in considerazione con l'intento di raggiungere un fattore di copertura dell'impianto prossimo ad 1, senza superare l'unità in modo rilevante per evitare il fenomeno della stagnazione e dover predisporre dei sistemi di dispersione del calore ausiliari nei mesi più caldi e con un irraggiamento solare più elevato.
- È presente inoltre un impianto fotovoltaico dotato di batterie per l'accumulo, l'orientazione è sempre la medesima, sfruttando gli assi della casa che seguono i punti cardinali è facile esporre i moduli a sud, mentre l'inclinazione è variabile, in relazione alla collocazione geografica.

Per quanto riguarda al dettaglio dei materiali e le loro quantità si fa riferimento al rapporto [9] redatto dal politecnico di Torino che mi ha permesso di approfondire la ricerca in questo campo.

1.3 Località

Per analizzare in modo critico ed evidenziare le qualità di questa tipologia di edificio ho deciso di scegliere delle collocazioni geografiche molto differenti tra loro sia come valori di temperatura media mensile, sia come valori di irradiazione solare, che comporta nette differenze negli apporti termici alla struttura e varia notevolmente la producibilità e l'efficacia dei sistemi integrati all'edificio (impianto solare termico e fotovoltaico).

Oltre ad un fattore climatico poi ho cercato di considerare anche delle città, o meglio delle nazioni, che potessero differire tra loro nel mix energetico, per accentuare le differenze di impatto nel ciclo vita dell'edificio della fase d'uso, dove l'utilizzo dell'energia elettrica della rete nazionale incide comunque in modo rilevante.

Partendo quindi dal modello base che era stato implementato per la città di Padova, ho scelto un clima freddo ed un clima caldo sempre entro i confini nazionali, nello specifico:

TARVISIO: Tarvisio è un comune italiano di 4266 abitanti della provincia di Udine in Friuli-Venezia Giulia, si trova a 732m s.l.m, le coordinate geografiche, utilizzate per ottenere i dati della radiazione solare dal sito dell'ENEA,

Latitudine: 46° 30' 20" N
Longitudine: 13°35'12" E

La zona climatica per il territorio di Tarvisio è la fona F, con 3959 gradi giorno. Tale collocazione permette di non avere limitazioni né giornaliere né stagionali, per quanto riguarda il periodo di utilizzo del riscaldamento [26].

Il grado-giorno (GG) di una località è l'unità di misura che stima il fabbisogno energetico necessario per mantenere un clima confortevole nelle abitazioni: rappresenta la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, degli incrementi medi giornalieri di temperatura necessari per raggiungere la soglia di 20 °C. Più alto è il valore del GG e maggiore è la necessità di tenere acceso l'impianto termico.

Catania è un comune italiano di 312.505 abitanti nell'omonima provincia, situata sulla costa orientale della Sicilia, con un'altitudine di 7 m s.l.m, le coordinate geografiche, utilizzate per ottenere i dati della radiazione solare da sito dell'ENEA sono:

Latitudine: 37° 29' 32 N

Longitudine: 15° 4' 13 E

La zona climatica per il territorio di Catania è la zona F, con 833 gradi giorno, in questo contesto gli impianti di riscaldamento sono operativi dal 1 dicembre al 31 di marzo, per un massimo di 8 ore giornaliere.

Per ampliare i risultati ottenuti successivamente ho considerato altre due europee, che avessero due climi opposti, la mia scelta è ricaduta Ostersund per il clima più freddo e su Siviglia, per il clima caldo. Queste due località oltre che per il clima differiscono molto anche per il diverso mix energetico dei rispettivi stati di appartenenza, che analizzeremo nello specifico successivamente.

Per Ostersund, le coordinate utilizzate come riferimento per la radiazione sono:

Latitudine: 63°10'45" N

Longitudine: 14°38'08" E

Altitudine sul livello del mare: 328 m

Come si può notare questa località si trova molto a nord, quasi a ridosso del circolo polare artico, il sole durante il periodo invernale rimane prossimo all'orizzonte e la radiazione disponibile è molto limitata.

A Siviglia invece, città andalusa nel sud-ovest della Spagna, il clima è molto più soleggiato, con temperature medie mensili spesso superiori al 20°C, le coordinate utilizzate sono:

Latitudine: 37°22'58" N

Longitudine: 5°58'23" W

Altitudine sul livello del mare: 16 m

Vengono poi fornite le coordinate delle due località extraeuropee, senza dilungarci troppo nelle specifiche climatiche, che sarebbero analoghe a quelle delle due città europee appena citate, mi preme tuttavia evidenziare che la scelta è ricaduta su tali città specialmente per il diverso mix energetico della nazione di appartenenza (che andrò ad analizzare nello specifico nella seconda parte del mio elaborato nel Capitolo 5, quando entrerà nei dettagli delle impostazioni del software SimaPro), che influisce in modo specifico sull'analisi della fase d'uso dell'edificio come anche, seppur in piccola parte, nella fase realizzativa.

Le coordinate utilizzate per Calgary, città del Canada nello stato dell'Alberta sono:

Latitudine: 51°03'00" N

Longitudine: 114°05'07" W

Altitudine sul livello del mare: 1042 m

Quelle invece di Houston in Texas, nell'estremo sud degli stati uniti d'America sono:

Latitudine: 29°45'47" N

Longitudine: 95°21'47" W

Altitudine sul livello del mare: 30 m

CAPITOLO 2 – Analisi dell’edificio

2.1 Costruzione del modello dell’edificio con TRNbuild

Per analizzare le caratteristiche dell’edificio dal punto di vista termico è necessario implementare il modello con il software Trnsys, che è dotato di un’interfaccia dedicata denominata TRNBuild. Qui dopo aver scelto l’emisfero dove è situata l’abitazione è necessario definire l’orientazione di tutte le superfici; come anticipato in precedenza esse seguono gli assi dei punti cardinali quindi tale procedimento è molto immediato. Molto importante è anche l’inclinazione del tetto che va ad influire in modo rilevante nel computo termico finale dell’edificio. La parte riscaldata dell’edificio è stata suddivisa in una ZONA_GIORNO corrispondente al piano terra e in una ZONA_NOTTE corrispondente al primo piano. Per ciascuna delle due zone ho definito un nodo aria, rispettivamente AN_1 per la ZONA_GIORNO e AN_2 per la ZONA_NOTTE. Per quanto riguarda i muri perimetrali e il tetto, sono state considerate le dimensioni esterne: in questo modo si ha una superficie disperdente maggiore e quindi un margine di sicurezza più elevato.

Riporto in Figura 2.1.1 le stratigrafie dei muri considerati, inserite nel software di calcolo:

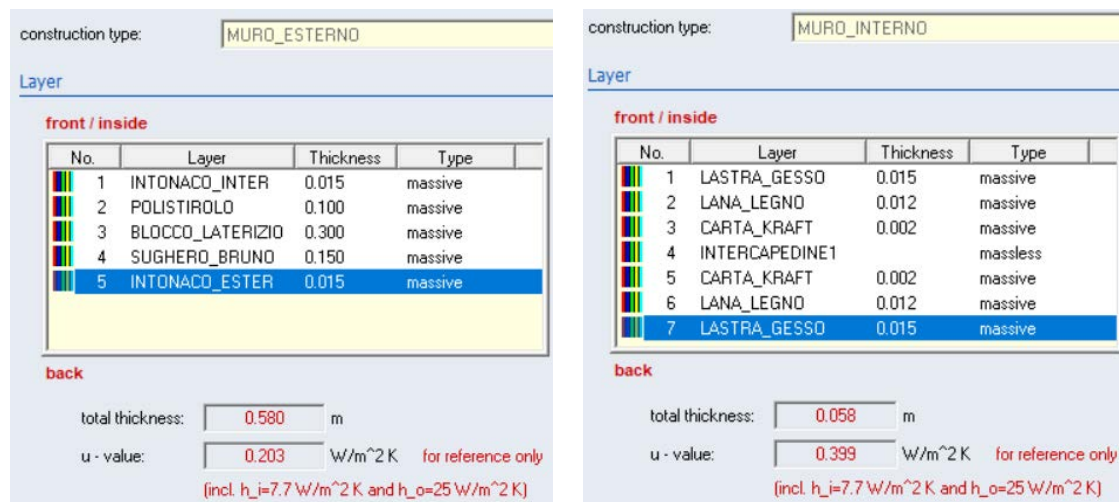


Figura 2.1.1 Dettaglio delle stratigrafie di muri esterni ed interni dell’edificio

Di seguito anche i solai ed il tetto, per comodità si considera che il solaio poggia direttamente sul suolo, in modo da potergli conferire la specifica di “external” anche se in realtà confinerebbe con una zona non riscaldata ad uno di autorimessa e cantina, priva di riscaldamento, in modo che tutti i risultati che otteniamo dalla modellazione risultino maggiormente cautelativi per le dispersioni verso il suolo sottostante.

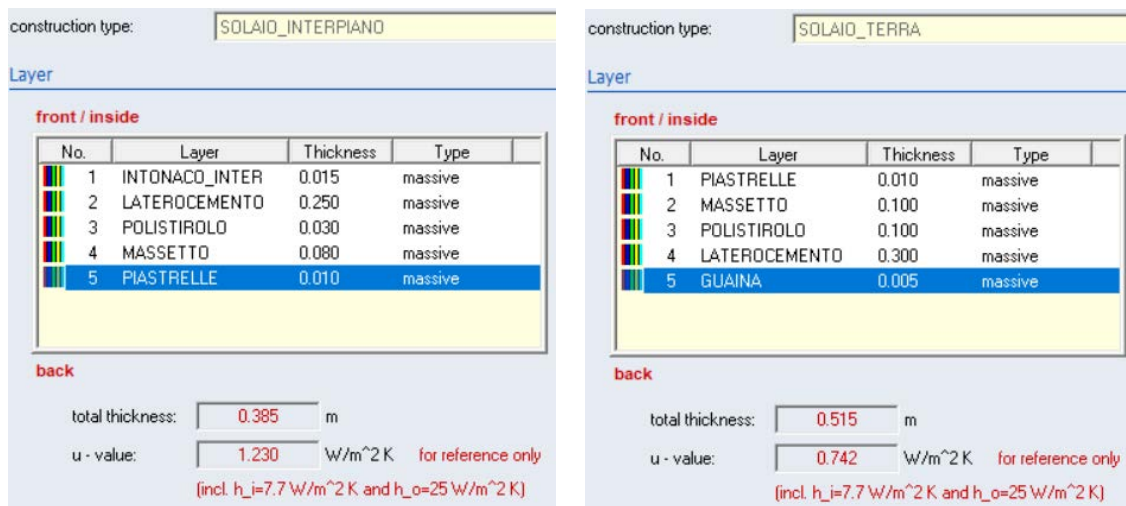


Figura 2.1.2 Dettaglio delle stratigrafie di solaio interpiano e verso il terreno

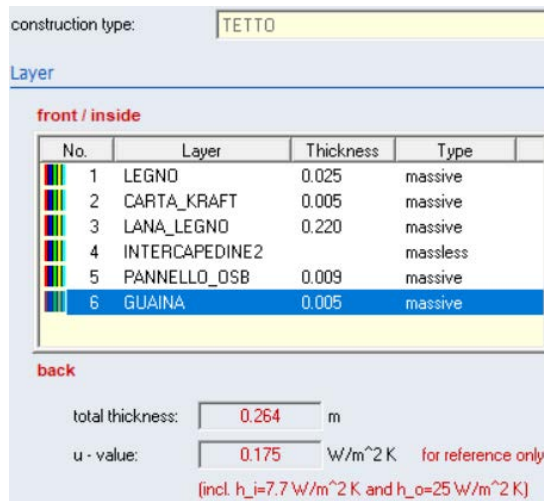


Figura 2.1.3 Dettaglio delle stratigrafie del tetto

Per quanto riguarda gli elementi vetrati, nella versione di Trnsys utilizzata è possibile implementare al massimo tre finestre, quindi sono state tralasciate le superfici vetrate rivolte a Nord (che meno influiscono sul computo finale), mentre le superfici vetrate rivolte a Sud, quelle rivolte ad Est e quelle rivolte ad Ovest sono state rispettivamente sommate in un unico elemento finestrato.

La finestra utilizzata è una tra quelle disponibili all'interno della libreria di TRNBuild, trovando il valore dei fattori di ombreggiamento esterno ed interno che rispecchiassero al meglio la situazione.

Per quanto riguarda le specifiche del regime dell'edificio è stato impostato un tasso di infiltrazione d'aria di 0,1 vol/h per entrambe le zone termiche. Il sistema di riscaldamento è un sistema ideale di potenza infinita (100% di tipo convettivo), con una temperatura interna minima di 20°C. Allo stesso modo il condizionamento per l'estate con una temperatura massima di 26° C. È poi interessante analizzare cosa accadrebbe lasciando inattivo il condizionamento o disattivando il riscaldamento, per vedere le oscillazioni di temperatura all'interno degli ambienti. Gli apporti termici interni sono considerati pari a 4 W/m², un valore di default per gli edifici, costante tutto l'anno, suddiviso in 30% di potenza termica radiante e 70% di potenza termica convettiva.

2.2 Analisi con Simulation Studio

Dopo aver ultimato il modello strutturale dell'edificio è possibile importarlo in Simulation studio, un software che permette di incrociare dei dati climatici specifici di ogni località con l'edificio in questione e ci fornisce i valori di temperatura di ogni nodo aria e i carichi termici necessari per mantenere le condizioni prefissate.

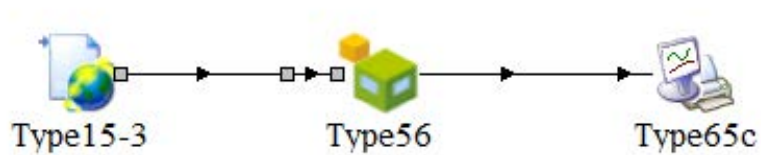


Figura 2.2.1 Schermata a video del progetto in Trnsys

Nell'interfaccia del programma compare a video questo schema, il Type15-3 è il blocco che raccoglie i dati sul clima, ottenuti dal sito energyplus.net, tra i vari formati disponibili, è stato utilizzato il file con estensione epw.

Il Type56 è il blocco che rappresenta l'edificio, viene collegato al file con estensione b18 generato in precedenza in TRNBuild.

Il Type65c è il blocco che consente di estrapolare i risultanti, generando un file di testo esterno con i valori specifici per ogni ora dell'anno delle grandezze già citate in precedenza. Eseguendo il "run" del modello quello che compare a video è un grafico con tutti i valori elencati ed è possibile evidenziarli o meno per leggere con maggior efficacia i risultati già da un primo impatto visivo.

In Figura 2.2.2 è riportata la schermata con in evidenza solo le temperature, come si può notare il loro valore è prossimo ai 20°C e quasi stabile per tutto l'inverno, poiché il riscaldamento è quasi sempre attivo per mantenere la temperatura richiesta, mentre d'estate la temperatura sale avvicinandosi alla temperatura di accensione del condizionamento.

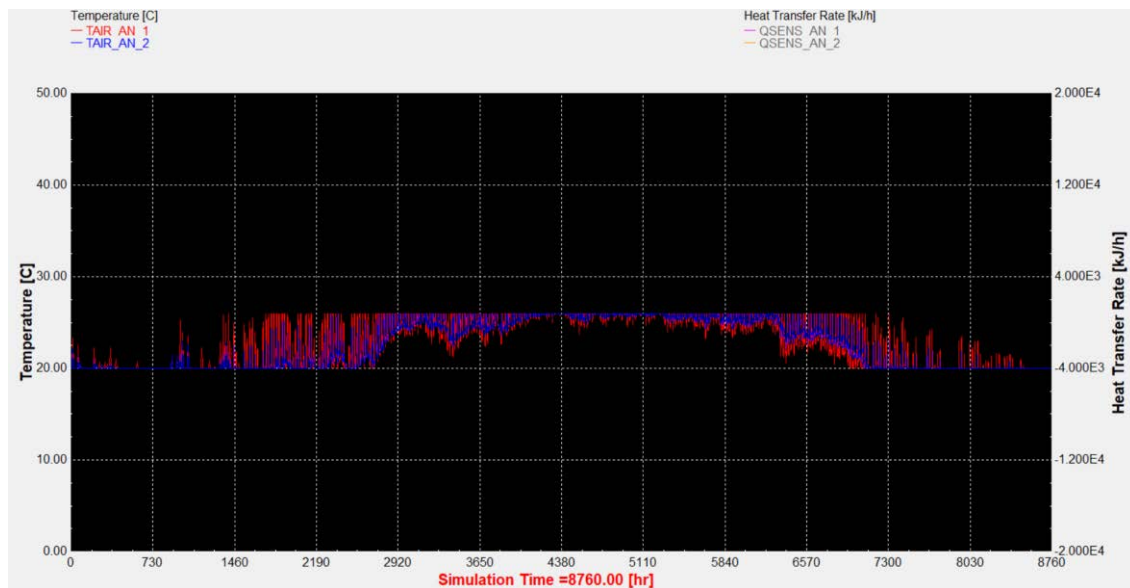


Figura 2.2.2 Andamento delle temperature nei due nodi aria con impianti attivi

Qui sotto in Figura 2.2.3 sono evidenziati gli apporti di calore sensibile necessari per mantenere le temperature sopra evidenziate, quelli negativi sono di riscaldamento, quindi calore fornito ai rispettivi nodi aria, mentre quelli di segno positivo si riferiscono al condizionamento.

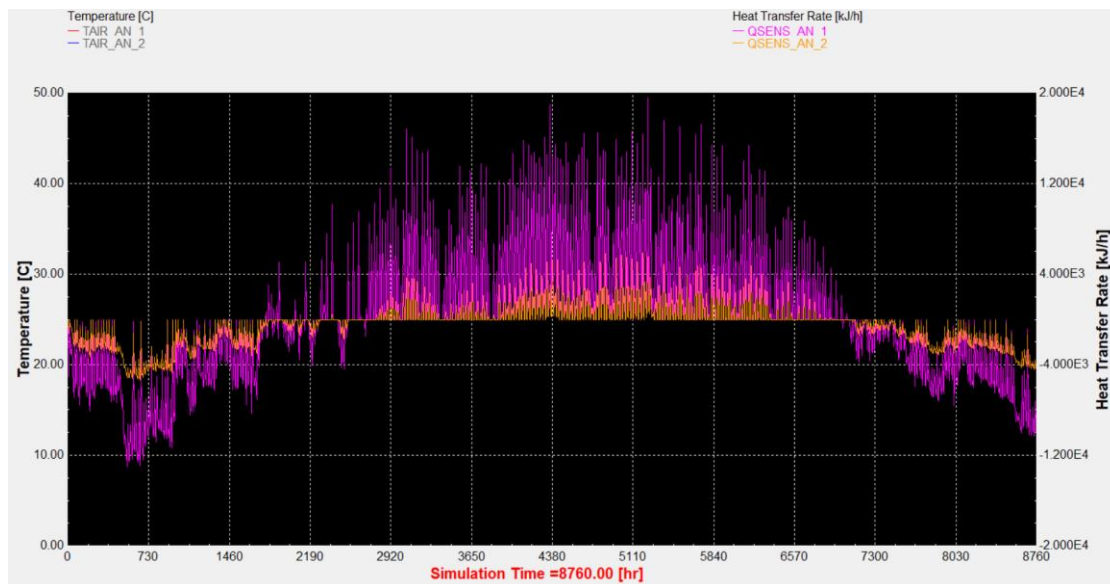


Figura 2.2.3 Carichi termici richiesti nell'arco delle 8760 di simulazione nei due nodi aria

2.3 Analisi nelle diverse località

Procediamo ora con l'analisi dei risultati ottenuti per le diverse località, i valori ricavati dal type 65c, sono inseriti in un file Excel che ci permette di fare un calcolo complessivo ed immediato in quanto fornisce 8760 valori, uno per ogni ora dell'anno preso in considerazione. Tutti i risultati sono riportati nella Tabella 2.3.1. Per completezza sono riportati anche i valori ottenuti per la località di Padova (caso base), in modo da avere immediatamente un riferimento per paragonare i differenti output.

Padova

<i>Stagione di riscaldamento</i>	15 ottobre-15 aprile
<i>Superficie utile [m²]</i>	367
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento AN_1 [kWh]	1,87E+03
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento AN_2 [kWh]	7,76E+02
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento [kWh]	2,65E+03
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento [kWh/m ²]	7,22
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento [MJ]	9535
<i>Stagione di condizionamento</i>	1 giugno - 30 settembre
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO AN_1[kWh]	6415,91848
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO AN_2[kWh]	1877,264783
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO TOTALE [kWh]	8293,183262
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO TOTALE [kWh/m ²]	22,5972296

Tabella 2.3.1 Fabbisogni termici per il riscaldamento e il condizionamento nella località di Padova

Tarvisio:

<i>Stagione di riscaldamento</i>	Tutto l'anno
<i>Superficie utile [m²]</i>	367
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento AN_1 [kWh]	4,58E+03
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento AN_2 [kWh]	2,04E+03
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento [kWh]	6,62E+03
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento [kWh/m ²]	18,03
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento [MJ]	23823
STAGIONE DI CONDIZIONAMENTO	1 giugno - 31 agosto
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO AN_1[kWh]	2842,87
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO AN_2[kWh]	633,56
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO TOTALE [kWh]	3476,43
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO TOTALE [kWh/m ²]	9,47

Tabella 2.3.2 Fabbisogni termici per il riscaldamento e il condizionamento nella località di Tarvisio

Risulta un fabbisogno di energia per riscaldamento pari a 23823 MJ/anno. Considerando un rendimento globale medio stagionale stimato per l'impianto termico (comprensivo dei rendimenti di regolazione, di distribuzione e di emissione) pari a 2,55 [8], risulta un consumo di energia elettrica di 9342 MJ/anno che corrispondono a 2595 kWh/anno.

Per quanto riguarda il condizionamento, risulterebbero ulteriori 3475kWh termici, che al netto col COP dell'impianto, 3,1 per la stagione estiva, corrispondono a 1121 kWh elettrici annui. Date le altre prestazioni dell'edificio in termini di isolamento e di capacità di sfruttare la radiazione solare incidente, risulta un fabbisogno che è circa la metà rispetto a quello per il riscaldamento, tuttavia a mio parere in una località del genere l'impianto di condizionamento è del tutto trascurabile, è sufficiente sfruttare la ventilazione fornita dall'apertura di qualche finestra nelle prime ore della mattina o nel tardo pomeriggio per bilanciare i carichi termici forniti dalla radiazione solare. Le temperature medie mensili del luogo infatti non raggiungono nemmeno i 17°C (vedi tabella sotto) nel mese più caldo, le temperature massime non raggiungono quasi mai i 30°C anche nel periodo estivo, scendendo di notte spesso sotto i 10°C anche nei mesi di luglio e agosto. Approfondirò tale aspetto al termine dell'analisi dei fabbisogni termici per tutte le località analizzate

TEMPERATURE MEDIE MENSILI												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
TARVISIO	-4,4	-2	2,4	6,5	11,5	14,4	16,3	15,9	12,6	7,6	3,7	-1

Tabella 2.3.3 Valori medi mensili ricavati dal sito energyplus.net espressi in °C.

Per completezza analizziamo la stessa situazione impostando come “off” il condizionamento, per vedere quale sarebbe la temperatura massima che si raggiungerebbe all’interno dell’abitazione. Nel compiere tale procedimento bisogna anche modificare le condizioni iniziali presenti all’interno dell’abitazione, diversamente si inizierebbe la simulazione con una temperatura dell’abitazione interna di 20°C con la casa priva di impianto di riscaldamento e questa inerzia termica andrebbe ad alterare la simulazione travisando il nostro scopo. Per scegliere una adeguata temperatura per le condizioni iniziali, eseguiamo un run partendo dalle condizioni standard con la temperatura settata ed il riscaldamento in modalità “off” ed osserviamo la temperatura che si registra a fine simulazione. Successivamente impostiamo questa temperatura, che nello specifico si riferisce alle ore 23.00 del 31 dicembre come temperatura di “initial condition” assegnandola così per le ore 00.00 del 1 gennaio, in modo da iniziare la simulazione con le perfette condizioni nell’abitazione, per Tarvisio questa temperatura è di 5°C.

Dopo aver esportato i risultati della simulazione in un file Excel è immediato ottenere i risultati desiderati, la temperatura minima che raggiunge l’edificio a Tarvisio è di 0,2 °C, che si misurano nella zona giorno. È proprio la zona giorno a subire delle variazioni più consistenti di temperatura, poiché nel nostro modello abbiamo implementato gli elementi vetrati, a causa dei vincoli imposti dal software di modellazione, in maggior numero rispetto alla zona notte.

Di notevole interesse è modificare inoltre il valore delle infiltrazioni d’aria indesiderate, inizialmente abbiamo impostato un valore di 0,1, che si addice molto ad un edificio come quello progettato dove è presente una ventilazione meccanica controllata e non è necessario aprire o chiudere le finestre. Con questo tipo di “setting” si raggiungono temperature spesso superiori ai 40°C, con punte superiori al 46°C.

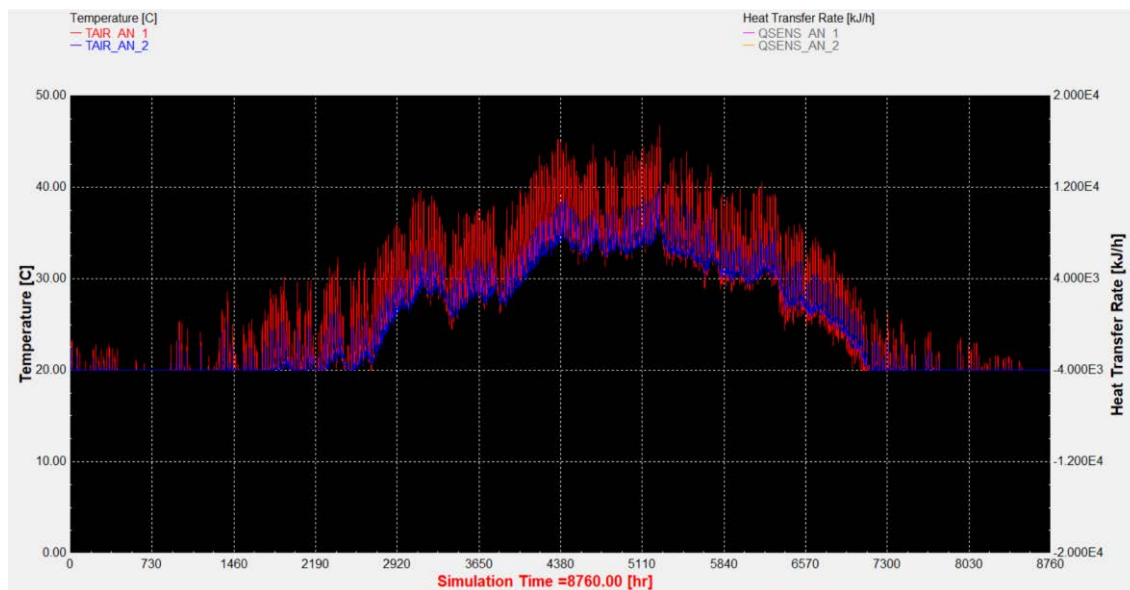


Figura 2.3.1 Andamento delle temperature nei due nodi aria con il condizionamento disattivato ed indice di infiltrazioni d'aria indesiderata 0,1.

Alzando questo valore ad 1, si nota come la temperatura nel periodo estivo non raggiunga i picchi di temperatura che si ottenevano in precedenza, la temperatura sfiora per un breve periodo i 30°C con due picchi isolati di 36°C.

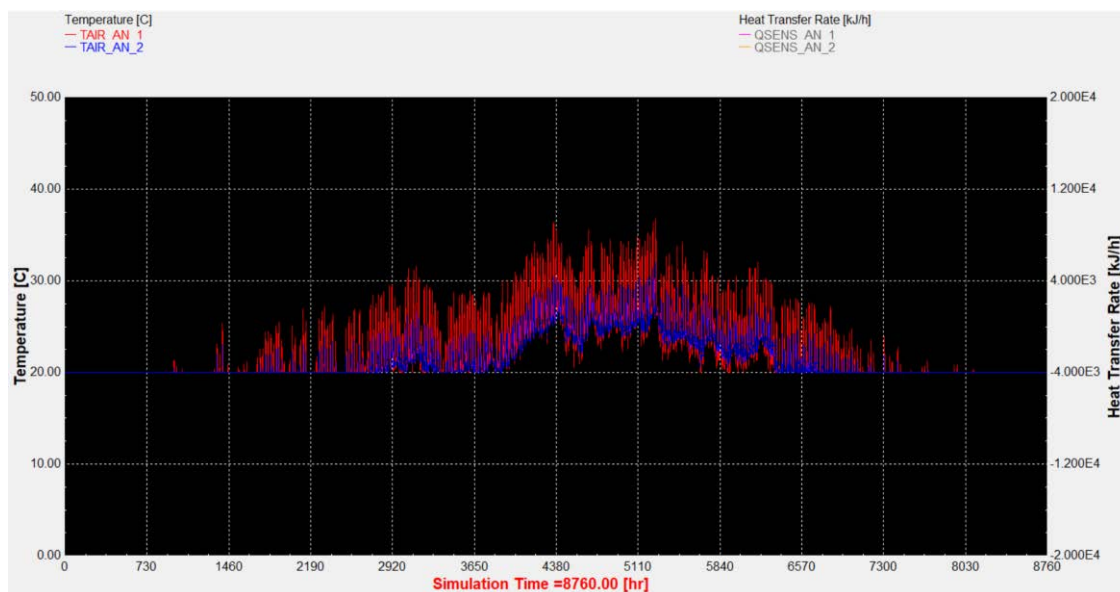


Figura 2.3.2 Andamento delle temperature nei due nodi aria con il condizionamento disattivato ed indice di infiltrazioni d'aria indesiderata 1.

Notiamo inoltre come la media delle temperature sia decisamente più piatta e confortevole per gli ospiti, tale aspetto va ad avvalorare la mia tesi esposta in precedenza dell'inutilità di un impianto di condizionamento, in quanto arieggiando in modo mirato gli ambienti si riescono a ridurre del tutto le eventuali spese per il raffrescamento degli ambienti.

Riporto ora anche per completezza una simulazione con tutti gli impianti disattivati, per vedere come vari stagionalmente la temperatura all'interno dell'edificio.

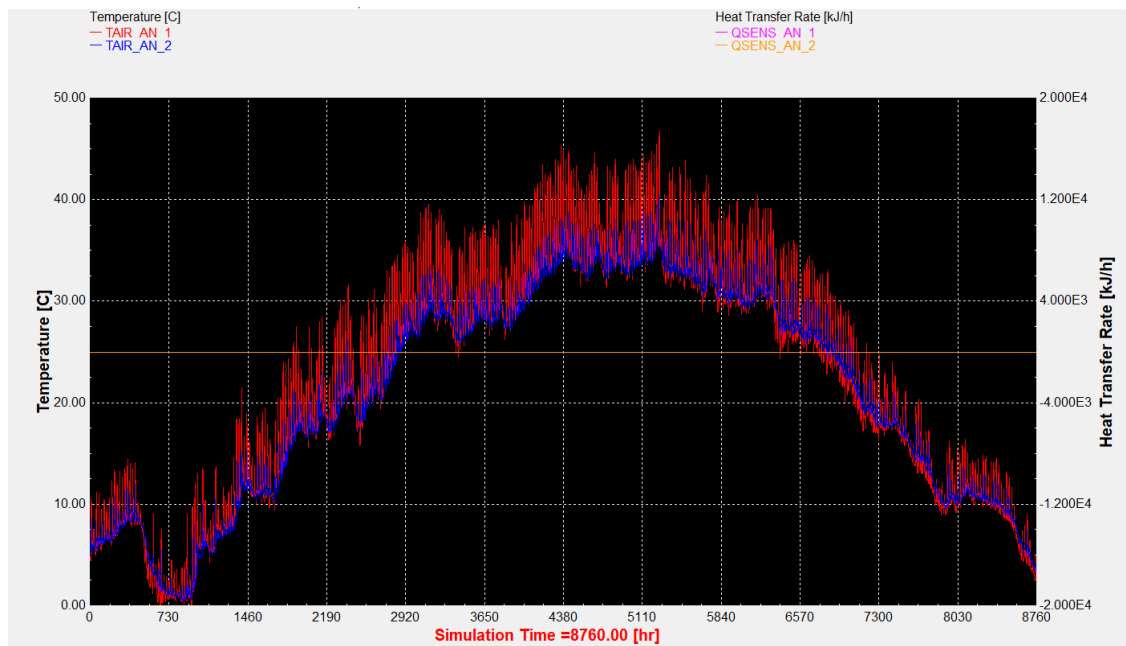


Figura 2.3.3 Andamento delle temperature nei due nodi aria con entrambi gli impianti disattivati, indice di infiltrazioni d'aria indesiderata 0,1 e temperatura di "initial condition" 5°C.

Catania

<i>Stagione di riscaldamento</i>	1 dicembre-31 marzo
<i>Superficie utile [m²]</i>	367
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento AN_1 [kWh]	5,78E+01
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento AN_2 [kWh]	8,68E+00
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento [kWh]	6,64E+01
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento [kWh/m ²]	0,18
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento [MJ]	239
STAGIONE DI CONDIZIONAMENTO	1 giugno - 30 settembre
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO AN_1[kWh]	6357,62
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO AN_2[kWh]	1918,17
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO TOTALE [kWh]	8275,78
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO TOTALE [kWh/m2]	22,55

Tabella 2.3.3 Fabbisogni termici per il riscaldamento e il condizionamento nella località di Catania

Risulta un fabbisogno di energia per riscaldamento pari a 239 MJ/anno. Considerando ora un rendimento (comprensivo dei rendimenti di regolazione, di distribuzione e di emissione) pari a 2,80, risulta un consumo di energia elettrica di 85 MJ/anno che corrispondono a 24 kWh/anno. Un valore praticamente irrisorio visto la considerevole radiazione solare anche durante il periodo invernale e le temperature medie mensili che sono particolarmente elevate se confrontate con quelle di Padova o Tarvisio.

	TEMPERATURE MEDIE MENSILI											
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
CATANIA	9,9	10,4	12	14,1	17,8	22	25	25,5	23,2	18,4	15,1	11,7

Tabella 2.3.4 Valori medi mensili ricavati dal sito energyplus.net espressi in °C.

Qui è molto interessante notare cosa succederebbe se l'impianto di riscaldamento fosse completamente spento, la temperatura all'interno della casa nel periodo invernale scenderebbe solamente a 17,9°C. anche qui come in precedenza abbiamo fatto una simulazione per verificare se l'inerzia termica con delle condizioni iniziali pari a 20°C all'interno dell'edificio avesse delle conseguenze. Tuttavia anche impostando una temperatura di 10°C come valore iniziale (valore evidentemente troppo basso per questo tipo di località) in breve tempo grazie all'apporto della radiazione solare e delle elevate temperature medie mensili di una località costiera la temperatura supera autonomamente i 20°, andando talvolta addirittura sopra i 26°C e richiedendo (teoricamente) il

condizionamento anche nei mesi più freddi dell'anno. Come detto in precedenza temperature al di sotto dei 20 gradi si raggiungono solo per poche ore durante la notte, quando viene meno la radiazione solare.

Discorso totalmente opposto invece va fatto per il condizionamento, in questa località è fondamentale e rimane attivo per un elevato numero di ore. Per quanto riguarda i valori finali, l'impianto è attivo dal 1 giugno al 31 settembre.

Fortunatamente i picchi di temperatura si raggiungono nelle ore in cui è maggiore anche la radiazione solare quindi è possibile sfruttare direttamente la radiazione solare trasformata dai pannelli fotovoltaici per alimentare l'impianto di condizionamento. Il valore numerico di 8275kWh termici richiesti, come evidenziato in tabella, si traducono in 2805kWh elettrici al netto del COP estivo complessivo con i rendimenti di regolazione, di distribuzione e di emissione.

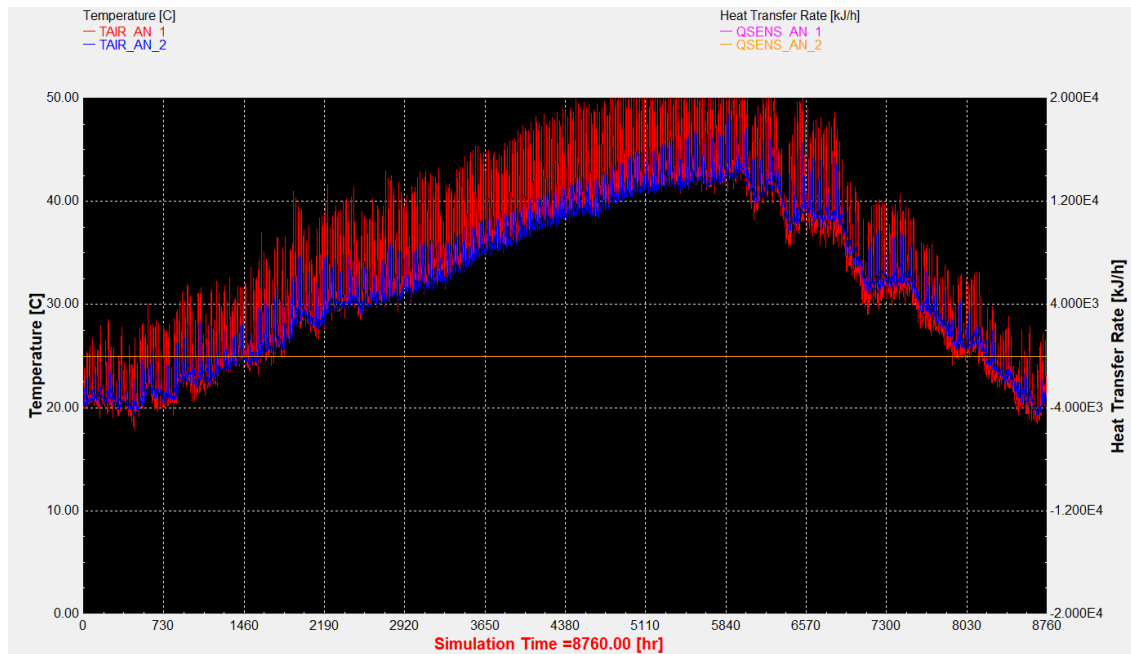


Figura 2.3.4 Andamento delle temperature nei due nodi aria con entrambi gli impianti disattivati, indice di infiltrazioni d'aria indesiderata 0,1 e temperatura di "initial condition" 20°C.

Se l'impianto di condizionamento fosse disattivo i picchi di temperatura che si raggiungerebbero sono notevoli, nella zona giorno, quella che subisce maggiormente gli sbalzi termici come detto in precedenza, si supererebbero spesso i 50°C con una punta di 55.5°C nel mese di agosto.

Ostersund

<i>Stagione di riscaldamento</i>	tutto anno
<i>Superficie utile [m²]</i>	367
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento AN_1 [kWh]	7,10E+03
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento AN_2 [kWh]	3,03E+03
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento [kWh]	1,01E+04
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento [kWh/m ²]	27,61
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento [MJ]	36473
stagione di condizionamento	1 giugno - 31 agosto
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO AN_1[kWh]	3355,74
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO AN_2[kWh]	840,68
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO TOTALE [kWh]	4196,42
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO TOTALE [kWh/m2]	11,43

Tabella 2.3.5 Fabbisogni termici per il riscaldamento e il condizionamento nella località di Ostersund

Risulta un fabbisogno di energia per riscaldamento pari a 36473 MJ/anno. Considerando il rendimento fissato (comprensivo dei rendimenti di regolazione, di distribuzione e di emissione) pari a 2,5, risulta un consumo di energia elettrica di 14590 MJ/anno che corrispondono a 4052 kWh/anno. Un valore quasi 4 volte superiore rispetto alla città di Padova e quasi doppio rispetto a Tarvisio: ciò è dovuto sia alle rigide temperature invernali, inferiori allo zero, come medie mensili per ben 5 mesi l'anno, ma anche per i bassissimi valori di radiazione solare a causa dell'elevata latitudine. In questa località nei mesi invernali il sole sale di pochi gradi sopra l'orizzonte, basti pensare che a latitudini leggermente superiori trascorrono intere settimane senza che il sole salga sopra l'orizzonte.

	TEMPERATURE MEDIE MENSILI											
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
OSTERSUND	-5,8	-5,9	-3,2	1,5	7,2	11,1	14	12,5	7,6	3,2	-1,6	-3,5

Tabella 2.3.5 Valori medi mensili ricavati dal sito energyplus.net espressi in °C.

	RADIAZIONE SOLARE MEDIA MENSILE											
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
OSTERSUND	2,16	5,76	10,44	14,4	16,596	15,912	14,76	13,176	10,8	6,912	2,988	0,72

Tabella 2.3.6 Valori della radiazione solare in MJ/m², il valore si riferisce ad un valore medio mensile.

Come si può vedere le temperature già dal mese di novembre iniziando a scendere sotto i 20 gradi, per poi oscillare per tutta la stagione invernale intorno gli 0°C. per effettuare questo tipo di run ho settato infatti proprio il valore di 0°C come condizioni iniziali, per annullare l'eventuale inerzia termica dell'abitazione nelle prime ore di simulazione.

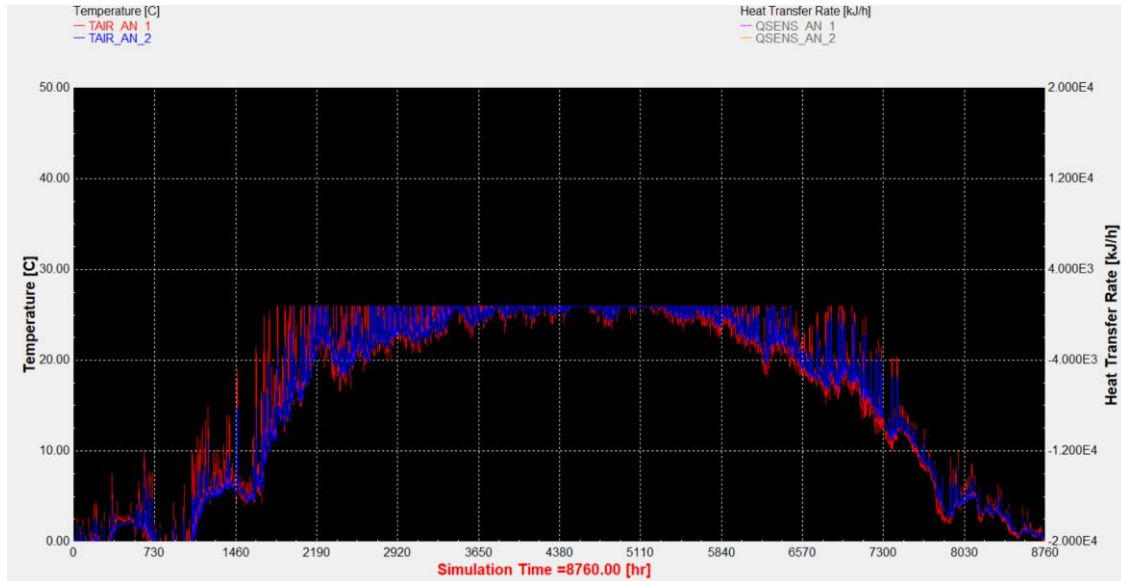


Figura 2.3.5 Andamento delle temperature nei due nodi aria con il condizionamento attivo e il riscaldamento disattivo

La temperatura minima che si registra ha addirittura un valore negativo in entrambe le zone della casa, nello specifico si arriva a $-4,3^{\circ}\text{C}$ nella zona giorno, questo soprattutto a causa dei bassissimi valori di radiazione solare che caratterizzano località che si trovano a questa latitudine.

Per quanto riguarda il condizionamento, si ottiene un fabbisogno molto inferiore rispetto a quello per il riscaldamento, in termini numerici di 4197 kWh termici richiesti, come evidenziato in tabella, che si traducono in circa 1600 kWh elettrici al netto del COP.

È interessante notare come esso risulti superiore a quello evidenziato per la città di Tarvisio, nonostante l'apporto per il riscaldamento sia decisamente superiore come detto sopra. Questo fenomeno si spiega poiché durante i mesi estivi il sole rimane decisamente più basso e la radiazione colpisce le pareti verticali con un angolo più favorevole per scaldare l'edificio.

A questo si aggiungono le radiazioni che attraverso gli elementi vetrati penetrano all'interno dell'abitazione ed apportano dei carichi termici che a lungo andare richiedono l'accensione dell'impianto di condizionamento durante i mesi estivi. Questo ragionamento ovviamente non giustifica a mio parere la necessità di un impianto di condizionamento, è sufficiente sfruttare la ventilazione fornita dall'apertura di qualche finestra nelle prime ore della mattina o nel tardo pomeriggio per bilanciare i carichi termici forniti dalla radiazione solare. Le temperature medie mensili del luogo infatti non superano i 15°C nel mese più caldo e difficilmente le temperature massime superano i 26°C anche nel periodo estivo (temperatura alla quale interviene il raffrescamento). Lasciando inattivo il condizionamento le temperature all'interno della casa con un fattore di infiltrazione di aria esterna di 0,1, superano spesso i 40°C, portando ad un valore di 1 come fatto in precedenza per Tarvisio calano drasticamente, soprattutto a casa dei valori abbastanza bassi delle temperature medie mensili anche nei mesi estivi.

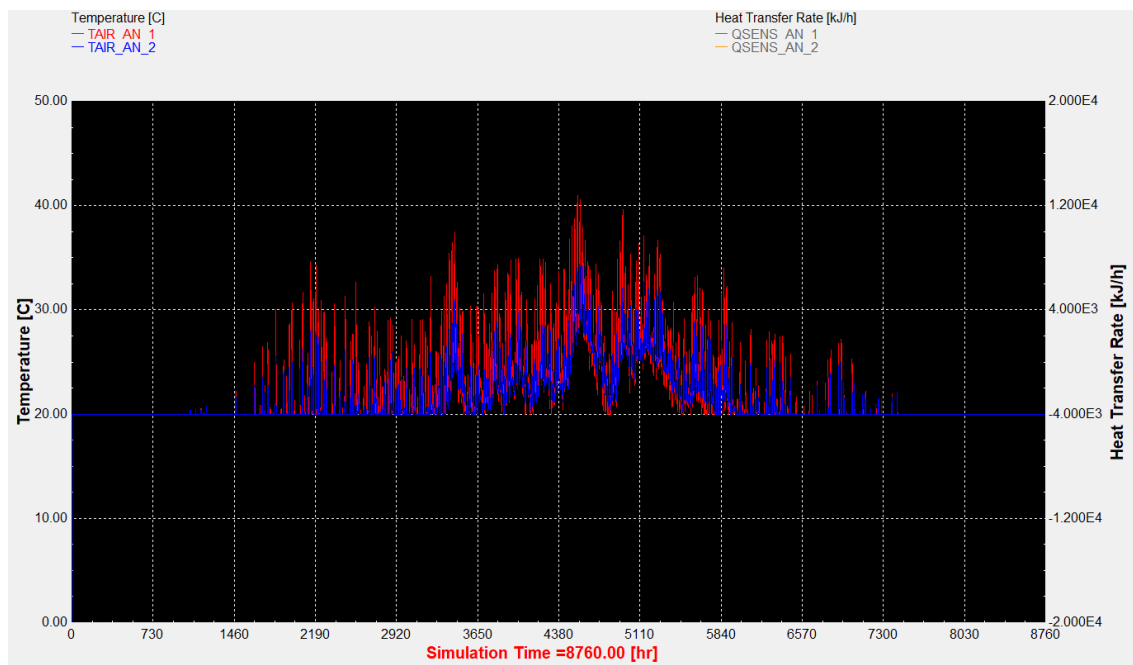


Figura 2.3.6 Andamento delle temperature nei due nodi aria durante il periodo estivo con il condizionamento disattivo e tasso di infiltrazione di aria 1.

Siviglia

<i>Stagione di riscaldamento</i>	1 dicembre - 31 marzo
<i>Superficie utile [m²]</i>	367
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento AN_1 [kWh]	3,50E+00
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento AN_2 [kWh]	4,74E-01
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento [kWh]	3,98E+00
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento [kWh/m ²]	0,01
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento [MJ]	14
stagione di condizionamento	1 giugno - 30 settembre
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO AN_1[kWh]	8286,75
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO AN_2[kWh]	2218,95
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO TOTALE [kWh]	10505,70
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO TOTALE [kWh/m ²]	28,63

Tabella 2.3.7 Fabbisogni termici per il riscaldamento e il condizionamento nella località di Siviglia

Come è evidente dalla tabella sopra riportata il fabbisogno di riscaldamento in questa località è pressoché nullo. Lasciando infatti spento l'impianto la temperatura minima che si registra è di 19,2°C, prossima a quella di 20°C che si avrebbe attivando l'impianto. Questo grazie alle temperature medie mensili molto elevate ed ai notevoli apporti termici dati dalla radiazione solare, anche nei mesi invernali si raggiungono temperature inferiori ai 20°C solo per poche ore notturne.

	TEMPERATURE MEDIE MENSILI											
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
SIVIGLIA	10,7	11,9	14	16	19,6	23,4	26,9	26,8	24,4	19,5	14,3	11,1

Tabella 2.3.8 Valori medi mensili ricavati dal sito energyplus.net espressi in °C.

Il condizionamento risulta invece essenziale, il valore di 10505 kWh termici richiesti, come evidenziato in tabella, si traducono in 3597 kWh elettrici al netto del COP, un valore addirittura superiore se confrontato con il fabbisogno di riscaldamento per la città di Ostersund, che è risultata la più dispendiosa tra quelle analizzate.

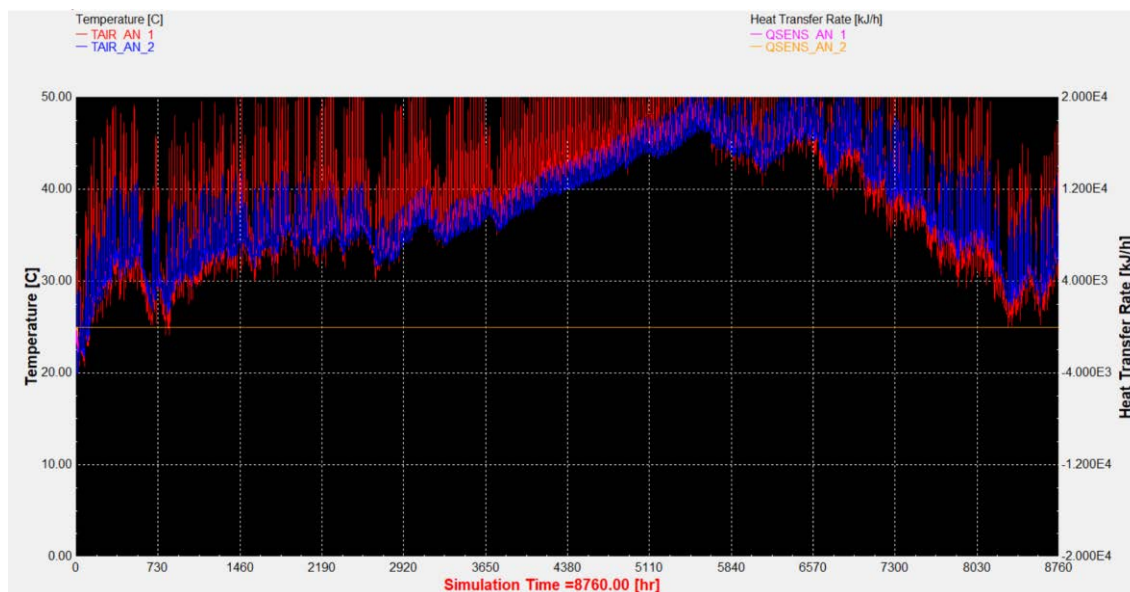


Figura 2.3.7 Andamento delle temperature nei due nodi aria con tutti gli impianti disattivati

Si noti come sarebbe impossibile rimanere senza condizionamento con temperature interne che sarebbero costantemente sopra i 30°C, spesso anche sopra i 40°, condizioni quindi che difficilmente sarebbero sopportabili anche ventilando gli ambienti attraverso le finestre poiché le temperature esterne sono comunque molto elevate.

Calgary

<i>Stagione di riscaldamento</i>	tutto anno
<i>Superficie utile [m²]</i>	367
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento AN_1 [kWh]	3,81E+03
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento AN_2 [kWh]	1,20E+03
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento [kWh]	5,01E+03
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento [kWh/m ²]	13,65
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento [MJ]	18032
stagione di condizionamento	1 giugno - 31 agosto
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO AN_1[kWh]	4659,696532
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO AN_2[kWh]	1031,501973
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO TOTALE [kWh]	5691,198506
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO TOTALE [kWh/m2]	15,50735288

Tabella 2.3.10 Fabbisogni termici per il riscaldamento e il condizionamento nella località di Calgary

Risulta un fabbisogno di energia per riscaldamento pari a 18032 MJ/anno. Considerando il rendimento fissato di 2.45 (comprensivo dei rendimenti di regolazione, di distribuzione e di emissione), risulta un consumo di energia elettrica di 7360 MJ/anno che corrispondono a 2044 kWh/anno.

	TEMPERATURE MEDIE MENSILI											
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
CALGARY	-8,2	-6,4	-3,8	4,3	9,4	14,6	16,8	16	10,2	5,9	-3,6	-7,9

Tabella 2.3.11 Valori medi mensili ricavati dal sito energyplus.net espressi in °C.

Tale valore è circa la metà del fabbisogno termico per Ostersund, l'altra località con clima freddo scelta per l'analisi, questo poiché Calgary si trova ad una latitudine decisamente inferiore rispetto alla città svedese, di conseguenza la radiazione solare incide in modo rilevante sugli apporti termici necessari per mantenere la temperatura settata. Perciò nonostante le temperature nei mesi invernali risultino decisamente più rigide nella città canadese, l'apporto energetico per il riscaldamento è sensibilmente inferiore.

Un altro dettaglio che salta subito all'occhio è la grande variazione di temperatura c'è tra giorno e notte, questo è dovuto al rilevante apporto termico dato dalla radiazione solare, combinato alle rigide temperature che si registrano nei mesi invernali durante la notte, che influiscono in modo rilevante anche sulla temperatura interna.

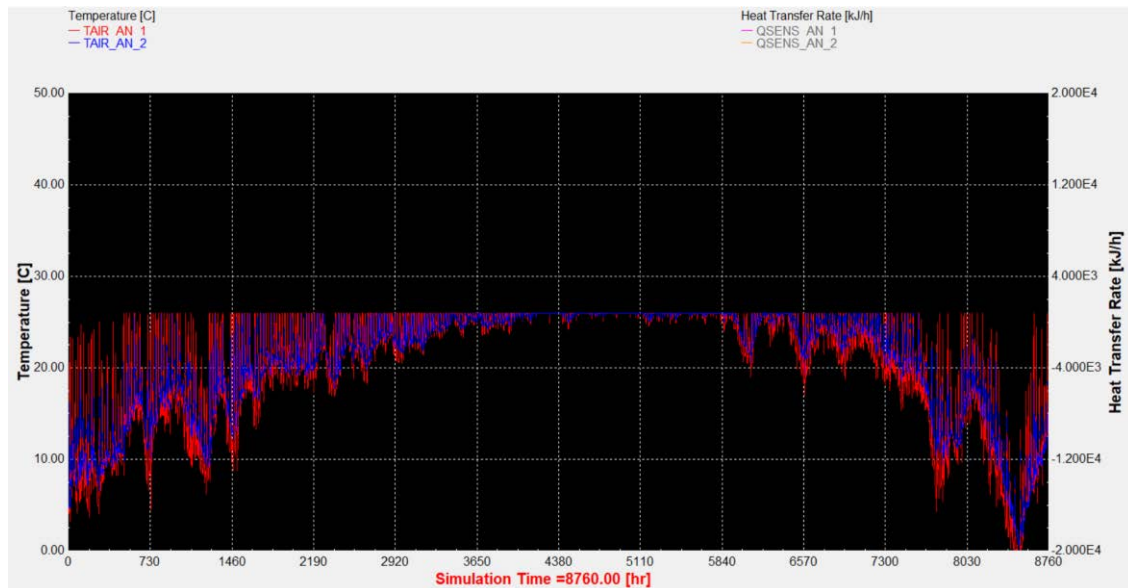


Figura 2.3.8 Andamento delle temperature nei due nodi aria con condizionamento disattivato e riscaldamento attivo

Ciò è evidente anche nel periodo di condizionamento, Calgary nei mesi estivi necessita un condizionamento di 5691 kWh termici richiesti, come evidenziato in tabella, che si traducono in circa 1867 kWh elettrici al netto del COP=3,05 considerato.

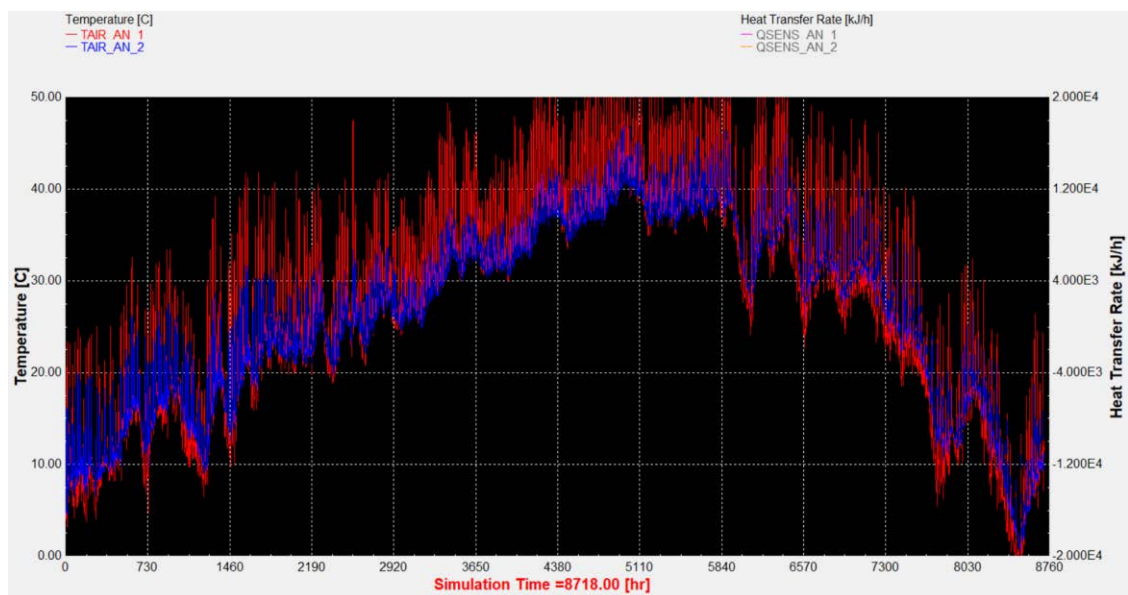


Figura 2.3.9 Andamento delle temperature nei due nodi aria con tutti gli impianti disattivati

Confrontando la città canadese con Tarvisio, che come temperature medie mensili è analoga, ha necessità di un carico termico quasi doppio per mantenere la temperatura costante all'interno dei nodi aria, poiché essendo il sole più basso sull'orizzonte infonderà con maggior facilità la sua radiazione all'interno dell'abitazione, aumentando notevolmente la temperatura. Basti pensare che anche nel mese di gennaio la temperatura tende a raggiungere i 26°C, richiedendo paradossalmente l'accensione del condizionamento con temperature esterne anche inferiori allo zero. Risulta quindi a mio avviso superfluo un dimensionamento di un impianto per il raffrescamento, si può far fronte alle eccessivamente alte temperature negli ambienti riscaldati esclusivamente arieggiando tramite le finestre gli ambienti.

Houston

Stagione di riscaldamento	1 dicembre - 31 marzo
Superficie utile [m ²]	367
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento AN_1 [kWh]	9,11E+00
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento AN_2 [kWh]	0,00E+00
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento [kWh]	9,11E+00
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento [kWh/m ²]	0,02
Fabbisogno annuo di energia per riscaldamento [MJ]	33
Stagione di condizionamento	1 maggio - 30 novembre
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO AN_1[kWh]	11949,31279
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO AN_2[kWh]	3780,370425
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO TOTALE [kWh]	15729,68322
FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO TOTALE [kWh/m2]	42,86017226

Tabella 2.3.12 Fabbisogni termici per il riscaldamento e il condizionamento nella località di Houston

Come è evidente dalla tabella il fabbisogno di riscaldamento in questa località è pressoché nullo: lasciando infatti spento l'impianto la temperatura minima che si registra è di 19,8°C, solo per qualche giorno si scende sotto i 20 gradi. Questo grazie alle temperature medie mensili molto elevate ed ai notevoli apporti termici dati dalla radiazione solare anche nei mesi invernali.

Per quanto concerne il condizionamento, il valore di 15729 kWh termici richiesti, come evidenziato in tabella 2.3.12, si traducono in 5424 kWh elettrici al netto del COP, il valore più alto in assoluto finora riscontrato. Ma è un risultato atteso, come si può vedere le temperature medie mensili sono nettamente maggiori di quelle delle altre località considerate.

	TEMPERATURE MEDIE MENSILI											
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
HOUSTON	12,1	12,1	15,9	20,5	24	27,4	27,8	27,3	25,8	21,2	17,4	11,8

Tabella 2.3.13 Valori medi mensili ricavati dal sito energyplus.net espressi in °C.

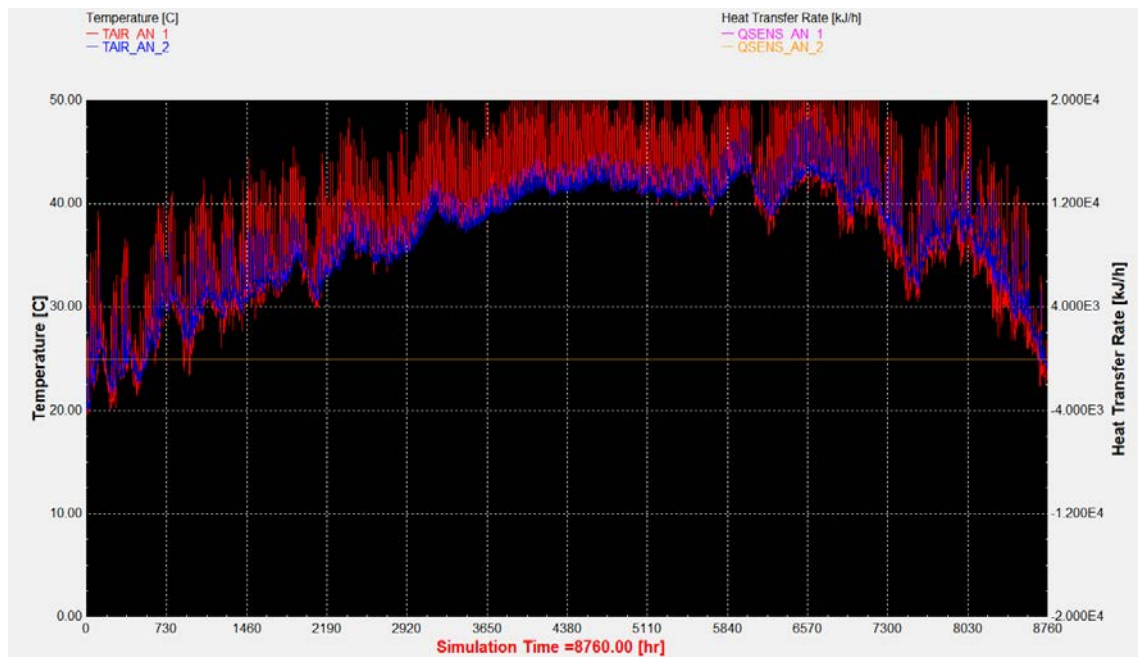


Tabella 2.3.10 Andamento delle temperature nei due nodi aria con tutti gli impianti disattivati, tasso di infiltrazione aria 0,1 e temperatura di initial condition 20°C

2.4 Analisi e confronti

CONFRONTI FABBISOGNO RISCALDAMENTO		
PADOVA	2648,74	[kWh]
TARVISO	6617,48	[kWh]
CATANIA	66,44	[kWh]
OSTERSUND	10131,44	[kWh]
SIVIGLIA	3,98	[kWh]
CALGARY	5008,86	[kWh]
HOUSTON	9,11	[kWh]

Tabella 2.4.1 Apporti termici richiesti per il riscaldamento

Per quanto riguarda il riscaldamento riporto a grafico solo le tre località scelte come clima “freddo” oltre che a Padova, considerata come località di controllo, poiché le tre località calde, come anticipato prima, non hanno un fabbisogno paragonabile, avendo una richiesta termica che differisce di ordini di grandezza.

Come si può facilmente notare la città con il fabbisogno termico più elevato è Ostersund, perché combina bassissimi valori di radiazione solare e temperature molto rigide. Segue a ruota Tarvisio, che nonostante abbia un clima meno rigido nel periodo invernale rispetto a Calgary si trova ad una latitudine alla quale i raggi solari faticano maggiormente a scaldare gli ambienti interni dell’edificio.

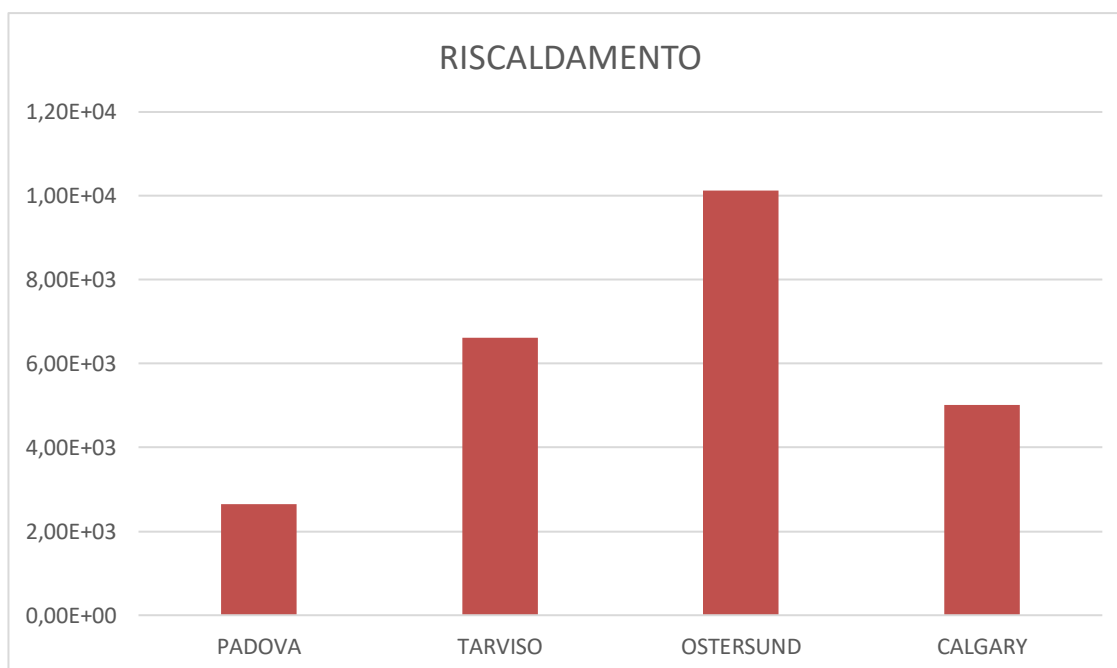


Figura 2.4.1 Confronti fabbisogni per il riscaldamento

CONFRONTI FABBISOGNO CONDIZIONAMENTO		
PADOVA	8293,18	[kWh]
TARVISO	3476,43	[kWh]
CATANIA	8275,78	[kWh]
OSTERSUND	4196,42	[kWh]
SIVIGLIA	10505,70	[kWh]
CALGARY	5691,20	[kWh]
HOUSTON	15729,68	[kWh]

Tabella 2.4.2 Apporti termici richiesti per il condizionamento

Per quanto riguarda il condizionamento invece è possibile confrontare tra loro tutte le città prese in esame. Il fabbisogno di condizionamento nelle città “fredde” come abbiamo analizzato nel dettaglio in precedenza è un valore che non rispecchia a pieno la realtà, dato che con un’opportuna ventilazione attraverso le finestre, o con dette modifiche nell’introduzione di aria dall’esterno a temperatura ambientale sarebbe possibile pressoché annullare tale fabbisogno.

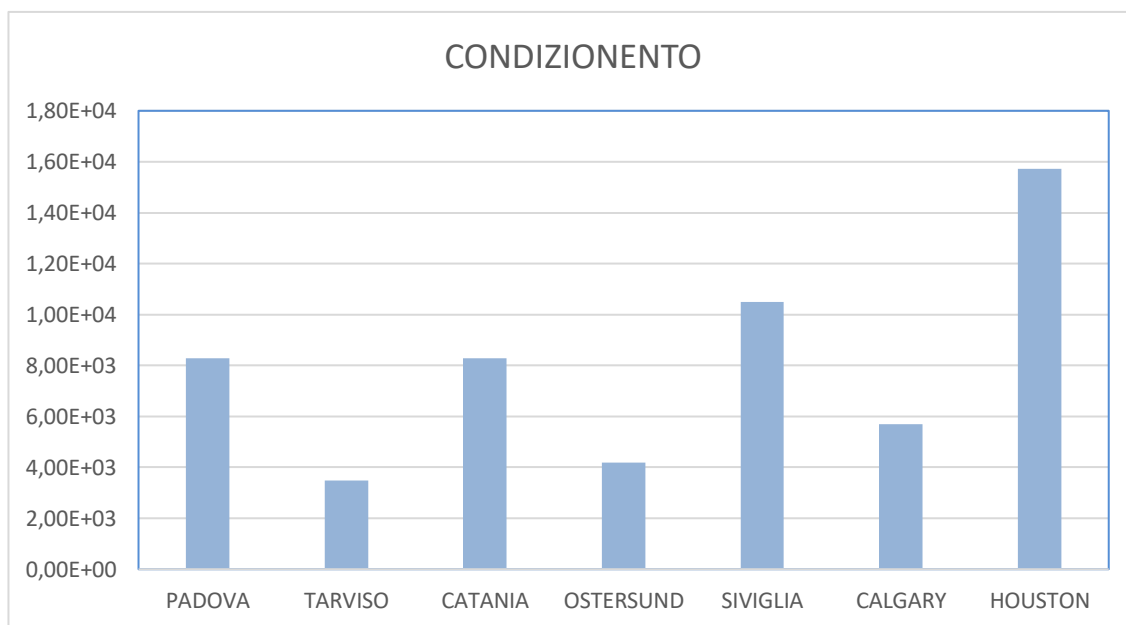


Figura 2.4.2 Confronti fabbisogni per il condizionamento

2.5 La ventilazione naturale per il raffrescamento

Negli Stati Uniti, l'energia utilizzata nella gestione degli edifici rappresenta circa il 40% dell'energia totale consumata. Recenti studi suggeriscono che gli edifici ventilati naturalmente possono utilizzare molta meno energia rispetto a quelli climatizzati completamente. Questo in gran parte perché, con la ventilazione naturale, si sfruttano dei principi fisici per guidare il flusso d'aria da scambiare tra l'interno e l'esterno e per mescolare l'aria all'interno dello spazio [20], [22].

Con un'attenta progettazione delle aperture quindi la ventilazione naturale può essere usata per il raffrescamento dell'edificio. Nelle abitazioni residenziali di moderna costruzione essa gioca un ruolo fondamentale per il mantenimento della temperatura di comfort: grazie alla ventilazione naturale è possibile mantenere una temperatura intorno ai 26 °C anche se le temperature esterne arrivano fino a 40 °C. In questo contesto si sfruttando diverse strategie: il ricambio d'aria notturno reso possibile dalle più basse temperature esterne rispetto l'interno dell'edificio oppure un moto continuo dell'aria che aumenta la sensazione di freschezza dell'ambiente domestico.

Con tali accorgimenti però si presentano dei problemi che tenendo i serramenti chiusi ermeticamente prima non si presentavano:

- Acustica: aprendo le finestre si perde completamente la schermatura sonora verso l'esterno, la sfida può essere superata attraverso un'attenta progettazione, sfruttando dei pannelli fonoassorbenti disposti in maniera ottimale in prossimità degli infissi nel caso ci trovi in un contesto particolarmente rumoroso.
- Qualità dell'aria: gli edifici ventilati naturalmente in alcune località densamente urbanizzate non possono utilizzare aria esterna senza un'adeguata filtrazione. In situazioni in cui il requisito per la filtrazione dell'aria è derivato dal particolato d'aria esterno le concentrazioni sono alte a livello della strada. Se l'edificio è sufficientemente alto si può posizionare la presa d'aria sul tetto, il miglioramento dell'aria esterna aumenta notevolmente con l'altezza lontano dalla strada e può essere sufficiente per consentire per la ventilazione naturale da utilizzare [21].

➤ Umidità

È difficile controllare l'umidità negli edifici a ventilazione naturale, specialmente se la casa è situata in luoghi particolarmente caldi con umidità prossime al 100%. Tuttavia, questo non significa che dovrebbe essere scartata a priori la ventilazione naturale, sicuramente nelle mezze stagioni la ventilazione naturale si potrebbe affiancare alla ventilazione meccanica, integrandola con un sistema di controllo dell'umidità.

Da uno studio trovato in letteratura sulla ventilazione naturale in un'abitazione residenziale a Cipro sono emersi risultati molto interessanti nel caso della ventilazione notturna, sono stati esaminati diversi schemi di apertura delle finestre, ventilazione a lato singolo e trasversale. I risultati mostrano che la ventilazione notturna è la strategia più efficace per il raffreddamento passivo nelle abitazioni durante l'estate. Questa strategia riduce le temperature massime dell'aria interna e migliora anche le condizioni termiche interne durante il giorno successivo. Inoltre, la ventilazione trasversale, durante la notte, sfrutta appieno le temperature relativamente basse dell'aria esterna e raffredda l'involucro dell'edificio nel miglior modo possibile. Il documento conferma il contributo positivo della ventilazione naturale per il raffreddamento nell'architettura a Cipro e in altre aree della regione del Mediterraneo orientale, dove si possono trovare condizioni climatiche simili, tipologie di costruzione, materiali e tecniche di costruzione. Ciò rende plausibile la mia ipotesi di poter escludere in modo completo la presenza di un impianto di condizionamento in tutte le località scelte con clima freddo, riducendo a zero il costo del condizionamento estivo. [25]

CAPITOLO 3: - Impianto solare termico

3.1 Introduzione al solare termico

Integrato all'edificio che consideriamo come caso studio è prevista la realizzazione di un impianto solare termico per la copertura dei fabbisogni di acqua calda sanitaria. Il principio progettuale normalmente utilizzato per un impianto solare termico è quello di ottimizzare il rapporto fra costi di realizzazione ed energia prodotta, tenendo conto dei dati relativi a:

- fabbisogni dell'utente;
- orientamento e inclinazione delle superfici;
- condizioni climatiche;

Un collettore solare trasforma la radiazione solare in calore e si distingue così da un pannello fotovoltaico, che la trasforma in corrente elettrica. L'elemento principale è l'assorbitore, che ha la funzione di assorbire la radiazione solare incidente a onde corte e di trasformarla in calore. Si utilizza solitamente un metallo con buona capacità di condurre il calore (per esempio il rame) che dovrebbe riuscire a convertire la maggior parte della radiazione solare in calore. Al giorno d'oggi vengono impiegati assorbitori dotati di un cosiddetto strato selettivo, che determina un alto grado di assorbimento ($\alpha > 0,95$) nel range delle lunghezze d'onda della radiazione solare e contemporaneamente irradia poca energia, grazie a un basso fattore di emissività ($\epsilon < 0,1$) nelle lunghezze d'onda della radiazione termica. Un efficiente contatto tra l'assorbitore e un fluido termovettore in circolazione (per esempio acqua, glicole oppure aria) garantisce la cessione del calore al fluido termovettore e di conseguenza il trasporto fuori dal collettore del calore pronto per essere usato.

Quello che mi preme maggiormente trattare è la distinzione tra le varie tipologie di pannelli disponibili sul mercato, poiché in base alla collocazione geografica sarebbe opportuno modificare la tipologia di pannello installato.

La tecnologia più diffusa di pannelli solari è il collettore solare piano, dotato di una piastra in rame con finitura selettiva che permette un assorbimento energetico del 95% e ne limita l'emissione al 5%. Esistono due tipologie di collettori piani, coperti o scoperti, a seconda della presenza o meno di un vetro che isola i tubi assorbenti dall'aria circostante, per cercare di diminuire le dispersioni per scambio termico verso l'ambiente esterno. Il vetro temperato è antiriflesso e antigrandine, però non è sottovuoto: il liquido infatti circola sotto la parte vetrata.

Il tubo sottovuoto invece adotta degli accorgimenti costruttivi che limitano le dispersioni termiche ed esaltano le capacità di captazione della radiazione solare. Ne consegue un maggior accumulo di energia termica anche in condizioni ambientali sfavorevoli con temperature più rigide.

L'utilizzo del tubo sottovuoto racchiude importanti concetti:

- la forma tubolare, rispetto a quella piana, garantisce sempre la perpendicolarità delle radiazioni incidenti sulla superficie assorbente, minimizzando le perdite per riflessione e massimizzando la quantità di calore assorbita.
- Realizza un effetto serra, permettendo alla radiazione solare di filtrare, dato che essa è costituita da raggi con piccole lunghezze d'onda mentre risulta opaco alla radiazione emessa dall'assorbitore caratterizzata da lunghezze d'onda maggiori.
- Vi è la presenza di tubi di vetro coassiali: uno esterno e uno interno, nell'intercapedine tra i due tubi, l'aria viene eliminata per formare il vuoto (da qui il nome di "tubo sottovuoto") che permette di eliminare la perdita di calore per conduzione e convezione e di garantire protezione e durata all'assorbitore;

Vediamo nel dettaglio le diverse curve di rendimento che si possono ottenere per le diverse tipologie di collettore:

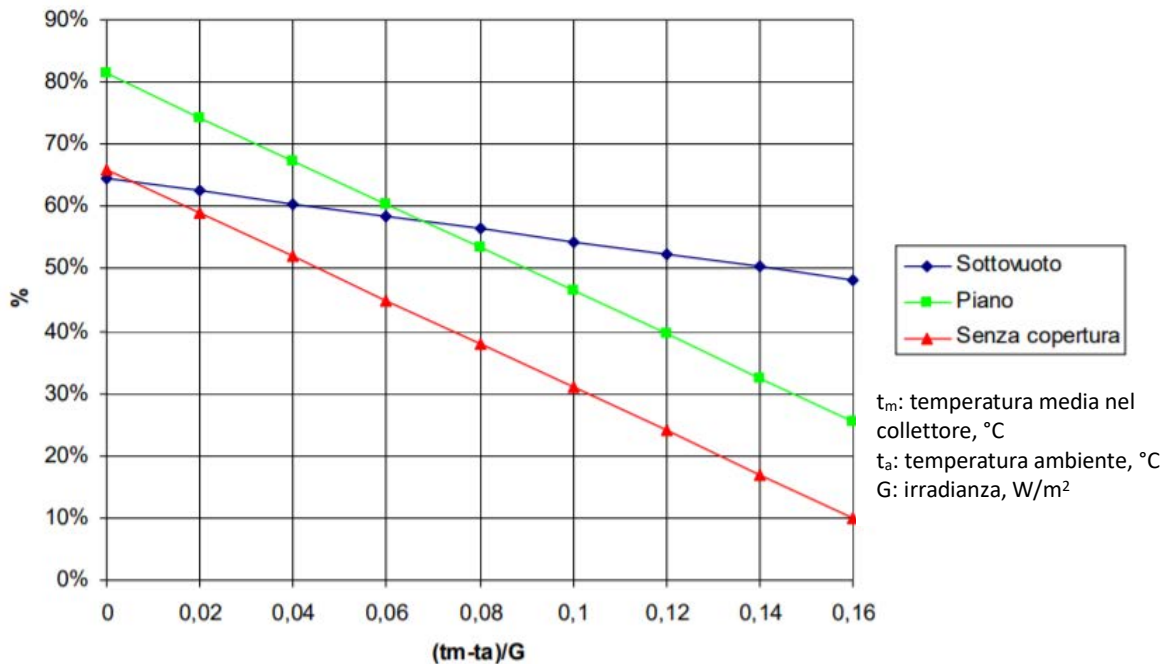


Figura 3.1.1 Efficienza dei moduli al variare delle condizioni al contorno

Più favorevoli sono le condizioni ambientali, (radiazione solare elevata e temperature dell'aria elevate) più risulta conveniente un pannello piano, più economico ed in questo caso anche più efficiente.

Perciò in località fredde come per esempio Ostersund e Calgary, sarebbe impensabile ottenere una copertura del fabbisogno nei mesi invernali senza sfruttare la tecnologia dei pannelli sottovuoto, mentre in località come Houston, Catania o Siviglia sarebbe probabilmente sufficiente utilizzare dei semplici moduli piani vetrati.

Non meno importante è anche l'aspetto economico, la scelta tra le due tipologie va quindi ponderata in funzione di diversi fattori.

3.2 Solare termico normativa

3.2.1 Calcolo fabbisogno

Il calcolo del fabbisogno di energia per la produzione di ACS è stato eseguito secondo la norma UNI 11300 parte 2, per quantificare il fabbisogno di energia primaria, si deve dapprima calcolare il fabbisogno e successivamente determinare le prestazioni del sistema dovute a tale fabbisogno.

Il fabbisogno si calcola in base alla portata di acqua per le varie destinazioni d'uso e alla differenza di temperatura di erogazione e di immissione. L'energia termica richiesta per acqua calda sanitaria (ACS) Q_w , in [kWh], è data da:

$$Q_w = \rho_w \times c_w \times [V_w \times (\theta_{er} - \theta_o)] \times G$$

dove:

ρ_w è la massa volumica dell'acqua pari a 1000 [kg / m³];

c_w è il calore specifico dell'acqua, pari a 1,162 * 10⁻³ [kWh / (kg · K)];

V_w è il volume di acqua giornaliero richiesto dall'attività o servizio [m³ / giorno];

θ_{er} è la temperatura di erogazione dell'acqua [°C];

θ_o è la temperatura dell'acqua fredda in ingresso [°C];

G è il numero di giorni del periodo di calcolo considerato [giorni].

I valori di fabbisogno giornaliero sono pertanto valutati su dati medi e si riferiscono a valutazioni standard. La temperatura di richiesta deve essere pari a 40°C mentre la temperatura di ingresso di 12°C (differenza di temperatura di riferimento pari a 28°C).

3.2.2 Produzione collettori

La valutazione della produzione energetica dei collettori solari è stata eseguita secondo la norma UNI EN 15316-4-3 che implementa un metodo di calcolo basato sulla procedura di calcolo della Carta-f.

Premetto subito che la scelta del pannello per il calcolo dei fattori di copertura, è ricaduta su un pannello sottovuoto, in modo tale da poterlo applicare in modo uguale in tutte le collocazioni geografiche e poterle facilmente confrontare tra loro. Ho mantenuto invece la libertà di modificare il numero dei moduli necessari per ottimizzare i fattori di copertura mese per mese, così come ho anche variato l'angolo di inclinazione dei moduli. Questo per cercare di uniformare il più possibile i fattori di copertura per evitare di sovradimensionare l'impianto ed incorrere nel fenomeno della stagnazione.

Questo fenomeno si può verificare in alcune condizioni particolari, come un guasto del circolatore, quindi la mancata circolazione del fluido termovettore o il mancato sfruttamento dell'energia ricavata dal sole.

Il fluido raggiunge temperature molto elevate e questo fenomeno durerà finché il calore prodotto dal pannello non sarà superiore al calore prelevato dall'utenza. La temperatura può superare anche i 200°C, i danni possono essere temporanei, ma anche deteriorare in seguito il funzionamento stesso di tutto l'impianto solare.

Può esserci fuori uscita di liquido da valvole di sicurezza, con corrosione delle guaine isolanti e materiali plastici, il liquido perde le caratteristiche per cui diventa un cattivo vettore di calore, pena la sua completa sostituzione.

L'energia prodotta dal sistema solare termico è stata calcolata, mese per mese, secondo la seguente relazione, con il risultato espresso in kWh:

$$Q_{sol,out,m} = f_{sol,m} * Q_{sol,us,m} = (1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3) * Q_{sol,us,m}$$

dove:

$Q_{sol,us,m}$ è il fabbisogno termico globale mensile per la fornitura di acqua calda sanitaria e comprende anche le dispersioni della rete di distribuzione ACS, con un fattore di aumento del 5%;

$$X = \frac{A \cdot U_{loop} \cdot \eta_{loop} \cdot \Delta T \cdot f_{st} \cdot t_m}{Q_{sol,us,m} \cdot 1000}$$

Dove:

A è l'area di apertura della totalità dei collettori [m²];

U_{loop} è il coefficiente di dispersione termica del circuito collettori (compresi i tubi) [W/m²K]

$\eta_{loop} = a_1 + a_2 \cdot 40 (U_{loop,p} / A)$;

U_{loop,p} è il coefficiente di dispersione globale di tutte le tubazioni del circuito collettori [W/mK];

η_{loop} è il fattore di efficienza del circuito collettori, inclusa l'influenza dello scambiatore;

ΔT è la differenza di temperatura di riferimento, definita $\Delta T = \theta_{ref} - \theta_{e,avg}$

Con θ_{ref} temperatura di riferimento; per sistemi ACS:

$\theta_{e,avg}$ temperatura media esterna del mese preso in considerazione

f_{st} è il fattore correttivo del volume del serbatoio di accumulo

t_m durata del periodo preso in considerazione [h]

vi è poi il coefficiente Y, definito come

$$Y = \frac{A \cdot IAM \cdot \eta_{loop} \cdot \eta_0 \cdot I_m \cdot t_m}{Q_{sol,us,m}}$$

η_0 è il fattore di efficienza del collettore a perdite nulle, riferito all'area di apertura;

IAM è il modificatore dell'angolo di incidenza del collettore, a 50° ;

I_m irradiazione solare media sul piano del collettore del periodo (mese) considerato [W/m²].

I dati relativi alla radiazione solare mensile sul piano del collettore sono stati ricavati dal database Pv-gis.

Altri eventuali valori sono visibili in Tabella 3.2.2.1 dove riporto la schermata del foglio di lavoro Excel utilizzato per svolgere il processo.

Riporto anche di seguito un esempio di come venga integrato l'impianto solare termico con l'ausiliario per arrivare alla copertura totale del fabbisogno nei mesi in cui $f < 1$.

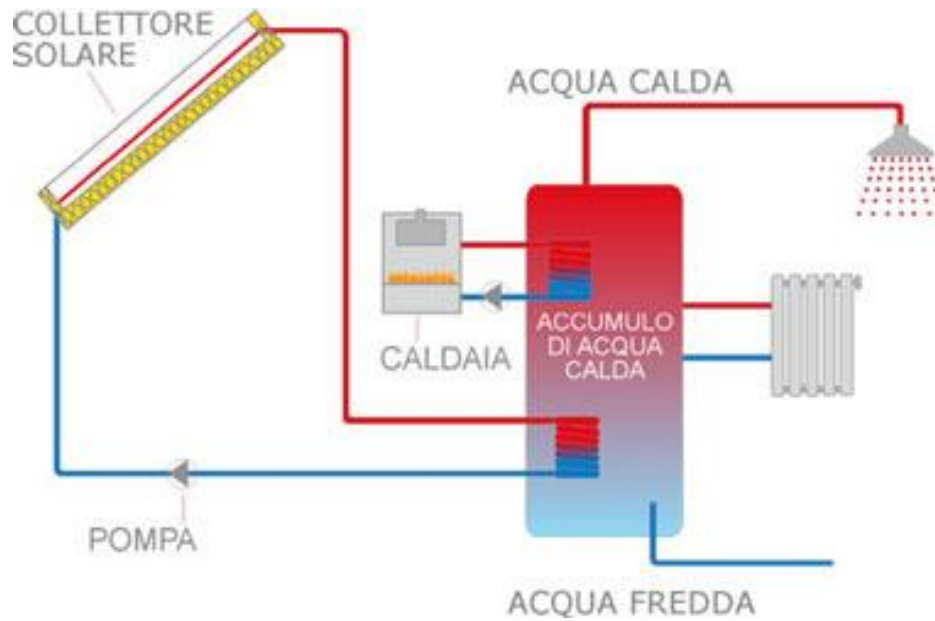


Figura 3.2.2.1 Schema d'impianto solare termico

Per comodità di analisi ho implementato in Excel un foglio di calcolo, con i relativi parametri della tipologia di collettore che è stato utilizzato, che mi permetta di estrarre in automatico i fattori di copertura mese per mese.

Dimensionamento impianto solare termico secondo EN 15316-4-3--- TES1		PROCEDIMENTO		coefficienti calcolo frazione mensile	
6,9	Fl medio mensile [MJ/m²]	8	Area totale collettori	1,029	a
79,86111	W/m ²	600	V _{ref} [litro]	0,065	b
		1,02	fattore correttivo volume	0,245	c
50	fabbisogno per persona [litri]			0,0018	d
4	numero di persone	102,172	θ_{ref} [C°]	0,0215	e
241	fabbisogno totale [litri]	100,272	$\theta_{ref} - \theta_{avg}$ [C°]		
1,9	temp media mensile [C°] $\theta_{e,avg}$	255,4011	$Q_{sol,us,m}$ energia mensile richiesta [kWh]		
12	temperatura acqua ingresso θ_{w}	9	$U_{loop,b}$ [coeff dispersione globale dispersioni]		
40	temperatura richiesta θ_{p}	4,625	U_{loop} [coeff dispersione tecnica circ collettori]		
		0,9	η_{loop} rendimento loop		
caratteristiche tecniche moduli					
0,8	η_0 riferimento superficie di apertura	9,921429	coefficiente X		
3,5	a_1 rif superficie di apertura	1,259609	coefficiente Y		
0	a_2 rif superficie apertura	0,482675	frazione mensile di copertura dell'impianto		
2	superficie di apertura	123,2757	$Q_{col,aut,m}$ calore ricavato [kWh]		
0,94	λ_{m} modificatore angolo incidenza				
4	numero moduli usati				
560	volume collettore accumulato				
31	numero giorni mese	744	ore		
4,186	calore specifico acqua				
1	fattore perdita ACS				
0,1	verifica rendimento loop	assumo uguale a 0,1 e poi vado a verificarlo con la formula inversa e il coeff di scambio termico deve essere uniforme a quello da catalogo			
224	U_{st} trasmittanza globale scambiatore				
	valori che dipendono dal mese di riferimento				

Tabella 3.2.2.1 Specifiche tecniche per l'impianto solare termico

In figura 3.2.2.2 sono riportati tutti i valori delle temperature medie mensili per ogni località analizzata, i valori sono quelli presi dal sito energyplus.net, che sono gli stessi che sono stati implementati in Trnsys per ottenere i carichi termici dell'edificio. Tutti i valori sono espressi in °C.

	TEMPERATURE MEDIE MENSILI											
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
PADOVA	1,9	4	8,4	13	17,1	21,3	23,6	23,1	19,7	13,8	8,2	3,6
TARVISO	-4,4	-2	2,4	6,5	11,5	14,4	16,3	15,9	12,6	7,6	3,7	-1
CATANIA	9,9	10,4	12	14,1	17,8	22	25	25,5	23,2	18,4	15,1	11,7
OSTERSUND	-5,8	-5,9	-3,2	1,5	7,2	11,1	14	12,5	7,6	3,2	-1,6	-3,5
CALGARY	-8,2	-6,4	-3,8	4,3	9,4	14,6	16,8	16	10,2	5,9	-3,6	-7,9
HOUSTON	12,1	12,1	15,9	20,5	24	27,4	27,8	27,3	25,8	21,2	17,4	11,8
SIVIGLIA	10,7	11,9	14	16	19,6	23,4	26,9	26,8	24,4	19,5	14,3	11,1

Tabella 3.2.2.2 Temperature medie mensili per ogni città presa in esame espresse in °C

Per quanto riguarda invece i valori della radiazione solare, essi sono stati mediati tra i valori forniti dal software Pv-gis e quelli disponibili dal Solar Electricity Handbook 2017, in modo da avere dati il più possibilmente affidabili.

In questo caso i valori sono espressi in MJ/m², il valore fa riferimento ad un valore giornaliero medio mensile. Per le sole città di Padova e Catania sono invece utilizzati i valori presi dalla norma UNI 10349, per una superficie verticale esposta a sud.

	RADIAZIONE SOLARE MEDIA MENSILE											
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
PADOVA	6,90	9,50	10,50	9,60	9,50	9,30	10,00	10,90	12,20	12,00	8,20	8,10
TARVISO	7,20	12,38	15,26	15,91	15,91	15,41	16,27	15,80	14,80	12,38	9,32	5,40
CATANIA	14,50	14,50	13,50	11,50	10,00	9,10	9,70	11,80	14,20	15,10	15,30	13,30
OSTERSUND	2,16	5,76	10,44	14,40	16,60	15,91	14,76	13,18	10,80	6,91	2,99	0,72
CALGARY	6,98	10,76	14,29	16,49	15,80	15,73	17,10	16,42	14,69	12,06	7,99	6,62
HOUSTON	13,36	14,11	16,31	16,67	16,67	16,38	17,06	17,21	17,89	17,24	14,76	13,39
SIVIGLIA	15,98	17,60	20,05	19,26	18,86	19,84	21,24	21,89	20,77	17,39	15,01	14,04

Tabella 3.2.2.3 Valori della radiazione solare media mensile utilizzati nelle simulazioni

3.3 Analisi diverse località solare termico

Inizio riportando i risultati ottenuti per la città di Padova in Tabella 3.1.1, caso studio svolto per poi avere anche in questo caso un metro di paragone per analizzare le diverse località sopra citate.

valori di input	GEN	FEB	MAZ	APR	MAGG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	MEDIO
radiazione mensile	6,9	9,5	10,5	9,6	9,5	9,3	10	10,9	12,2	12	8,2	8,1	
T media mensile giorni del mese	1,9	4	8,4	13	17,1	21,3	23,6	23,1	19,7	13,8	8,2	3,6	
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	8,2	31	
valori di output													
fabbricco ACS [l]	7471	6748	7471	7230	7471	7230	7471	7471	7230	7471	1976,2	7471	
θref [C°]	102,2	99,4	93,6	87,5	82,1	76,6	73,5	74,2	78,7	86,5	93,9	99,9	
θref - θavg [C°]	100,3	95,4	85,2	74,5	65,0	55,3	49,9	51,1	59,0	72,7	85,7	96,3	
Q solus,m energia mensile prodotta [kWh]	255,4	230,7	255,4	247,2	255,4	247,2	255,4	255,4	247,2	255,4	247,2	255,4	3007,1
U loop,p [coeff dispersione globale dispersioni]	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
U loop [coeff dispersione tecnica circ collettori]	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	
η loop rendimento loop	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
coefficiente X	9,92	8,75	7,82	6,84	5,96	5,07	4,58	4,69	5,41	6,67	7,86	8,84	
coefficiente Y	1,26	1,73	1,92	1,75	1,73	1,70	1,83	1,99	2,23	2,19	1,50	1,48	
frazione mensile di copertura dell'impianto	0,48	0,73	0,83	0,81	0,84	0,86	0,93	0,98	1,02	0,95	0,66	0,62	0,81
Qsol,out,m calore ricavato [kwh]	123,28	168,12	210,85	199,30	213,56	213,23	238,24	250,74	250,87	242,92	164,07	158,74	
numero moduli utilizzati	4												
inclinazione dei moduli	verticali												

Tabella 3.3.1 Specifiche tecniche dell'impianto solare termico per la città di Padova

Riporto ora in Figura 3.3.1 per comodità dei grafici per evidenziare al meglio la variazione dei fattori di copertura mese per mese, tenendo conto del diverso numero di moduli utilizzati e della diversa inclinazione per sfruttare al meglio la radiazione solare.

Numero moduli: 4

Inclinazione moduli: verticale

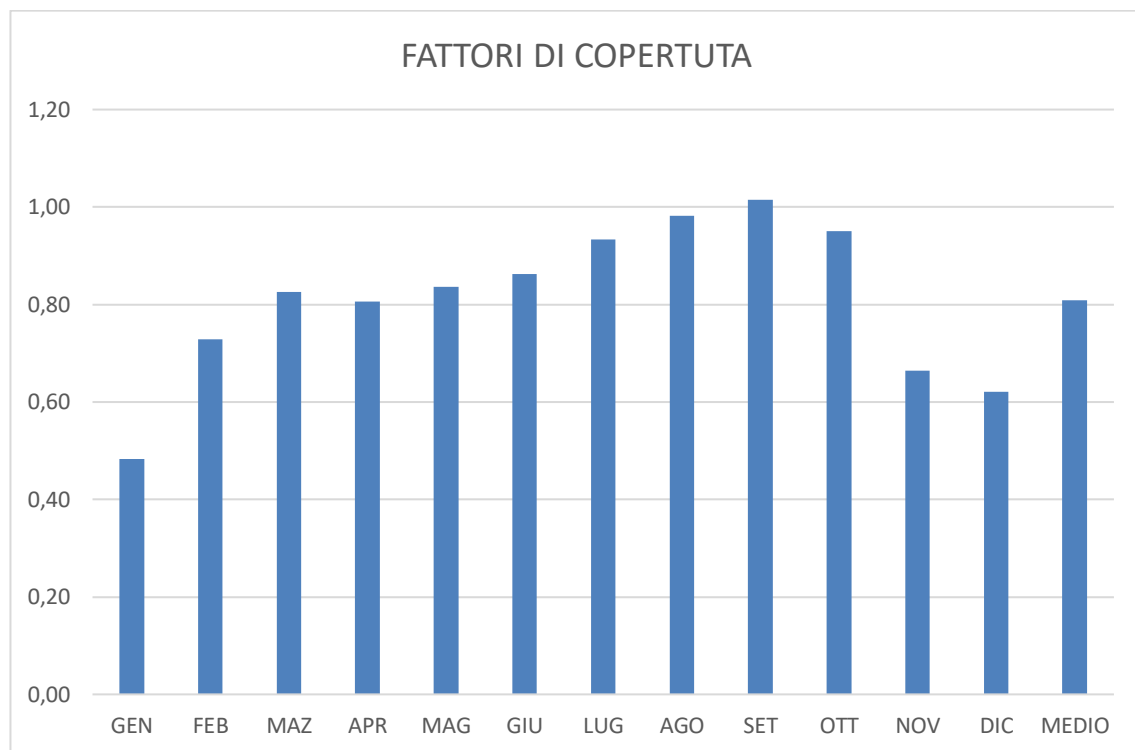


Figura 3.3.1 Confronto dei diversi fattori di copertura mensili per la città di Padova

Come si può vedere sfruttando i moduli direttamente poggiati su una superficie verticale, oltre che un evidente risparmio in termini di praticità di installazione si ottengono fattori di copertura abbastanza livellati, che permettono di avere al contempo un buon fattore di copertura annuale e non avere dei picchi che portino il rischio della stagnazione.

valori di input		GEN	FEB	MAZ	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	MEDIO
radiazione mensile		7,2	12,4	15,3	15,9	15,9	15,4	16,3	15,8	14,8	12,4	9,3	5,4	
T media mensile		-4,4	-2	2,4	6,5	11,5	14,4	16,3	15,9	12,6	7,6	3,7	-1	
giorni del mese		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	3,7	31	
valori di output														
fabbisogno ACS [l]		7471	6748	7471	7230	7471	7230	7471	7471	7230	7471	891,7	7471	
θref [C°]		110,49	107,32	101,51	96,10	89,50	85,67	83,16	83,69	88,05	94,65	99,80	106,00	
θref - θavg [C°]		114,89	109,32	99,11	89,60	78,00	71,27	66,86	67,79	75,45	87,05	96,10	107,00	
Qsol,us,m energia mensile richiesta [kWh]		255,4	230,7	255,4	247,2	255,4	247,2	255,4	255,4	247,2	255,4	247,2	255,4	3007,142
U loop,p [coeff dispersione globale dispersioni]		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
U loop [coeff dispersione tecnica circ collettori]		4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	
η loop rendimento loop		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
coefficiente X		8,91	7,32	6,63	6,00	5,22	4,77	4,47	4,54	5,05	5,82	6,43	7,16	
coefficiente Y		0,99	1,70	2,09	2,18	2,18	2,11	2,23	2,16	2,03	1,70	1,28	0,74	
frazione mensile di copertura dell'impianto		0,36	0,77	0,92	0,98	1,01	1,01	1,06	1,04	0,98	0,83	0,62	0,26	0,82
Qsol,out,m calore ricavato [kWh]		92,11	176,71	236,18	241,29	258,22	250,43	270,57	265,48	241,12	211,38	152,07	67,02	2462,56
Qsol,out,m calore ricavato effettivo [kWh]		92,11	176,7	236,2	241,3	258,2	250,4	255,4	255,4	241,1	211,4	152,1	67,02	2437,32
numero moduli utilizzati		3												
inclinazione dei moduli		61°												

Tabella 3.3.2 Specifiche tecniche dell'impianto solare termico per la città di Tarvisio

Numero moduli: 3
Inclinazione moduli: 61°

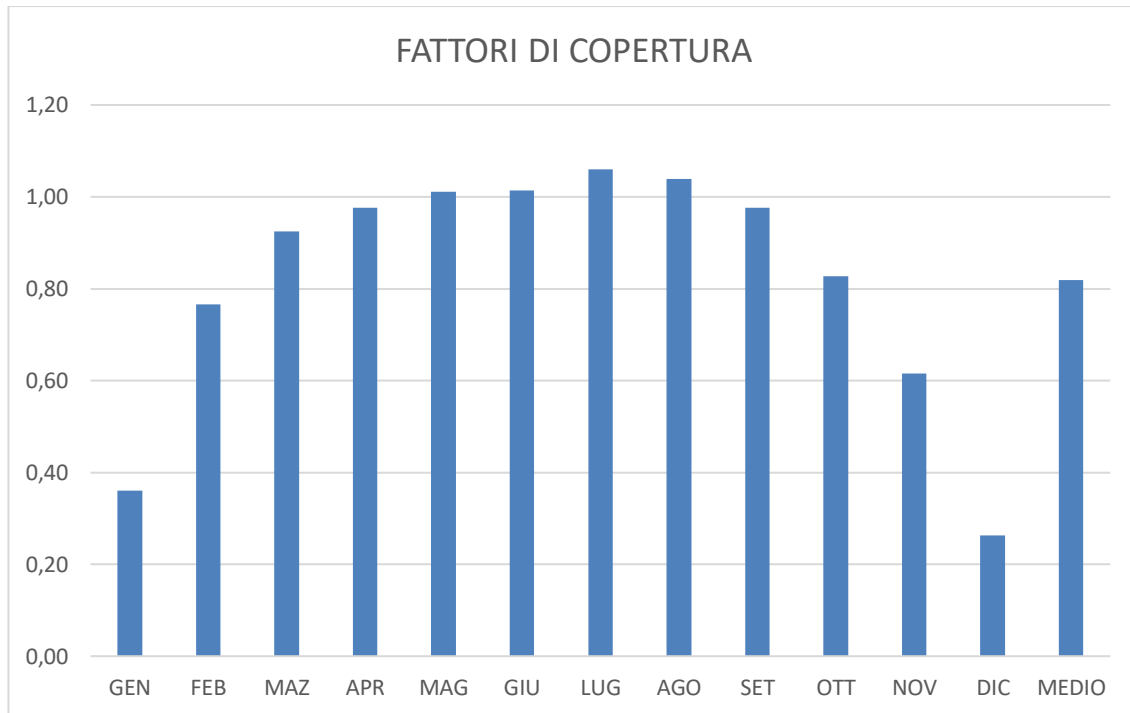


Figura 3.3.2 Confronto dei diversi fattori di copertura mensili per la città di Tarvisio.

Per la città di Tarvisio l'inclinazione ottimale è di 61° rispetto all'orizzontale, ciò permette di avere anche nei mesi invernali un discreto fattore di copertura nonostante le temperature medie mensili siano abbastanza rigide, mentre nei mesi estivi questa inclinazione permette di livellare di radiazione solare avvicinandoli alla copertura totale del fabbisogno.

Mi preme evidenziare come nonostante Tarvisio abbia una collocazione addirittura leggermente peggiore rispetto a Padova, andando ad ottimizzare l'inclinazione è possibile addirittura disporre di un numero minore di moduli ed avere lo stesso fattore di copertura. Si raccomanda un'ottima coibentazione dei tubi di alimento e dell'acqua calda in uscita che non potendo contenere percentuali di glicole potrebbero essere soggetti a congelamento nel periodo invernale e comportare gravi danni all'impianto, con la rottura dei tubi o degli scambiatori di calore.

valori di input	GEN	FEB	MAZ	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	MEDIO
radiazione mensile	14,5	14,5	13,5	11,5	10	9,1	9,7	11,8	14,2	15,1	15,3	13,3	
T media mensile	10,7	11,2	12,9	15,5	19,1	23,5	26,5	26,5	24,1	19,9	19,9	15,9	
giorni del mese	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
valori di output													
fabbisogno ACS [l]	7471	6748	7471	7230	7471	7230	7471	7471	7230	7471	7230	7471	
θref [C°]	90,56	89,90	87,65	84,22	79,47	73,66	69,70	69,70	72,87	78,41	83,69	88,44	
θref - θavg [C°]	79,86	78,70	74,75	68,72	60,37	50,16	43,20	43,20	48,77	58,51	67,79	76,14	
Q sol,us,m energia mensile richiesta [kWh]	255,40	230,68	255,40	247,16	255,40	247,16	255,40	255,40	247,16	255,40	247,16	255,40	3007,14
U loop,ρ [coeff dispersione globale dispersioni]	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
U loop [coeff dispersione tecnica circ collettori]	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	
η loop rendimento loop	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
coefficiente X	5,34	5,27	5,00	4,60	4,04	3,36	2,89	2,89	3,26	3,92	4,54	5,10	
coefficiente Y	1,99	1,99	1,85	1,57	1,37	1,25	1,33	1,62	1,94	2,07	2,09	1,82	
frazione mensile di copertura dell'impianto	0,95	0,95	0,92	0,84	0,77	0,75	0,81	0,94	1,04	1,04	1,02	0,91	0,91
Qsol,out,m calore ricavato [kwh]	242,51	219,86	235,12	206,60	197,06	184,24	207,38	240,27	256,94	266,45	252,17	231,58	2740,17
Qsol,out,m calore ricavato effettivo [kwh]	242,51	219,9	235,1	206,6	197,1	184,2	207,4	240,3	247,2	255,4	247,2	231,6	2714,34
numero moduli utilizzati	3												
inclinazione dei moduli	verticali												
FABBI SOGNO TERMICO SODDISFATTO													
0,9026													

Tabella 3.3.3 Specifiche tecniche dell'impianto solare termico per la città di Catania

Numero moduli: 3
Inclinazione moduli: verticale

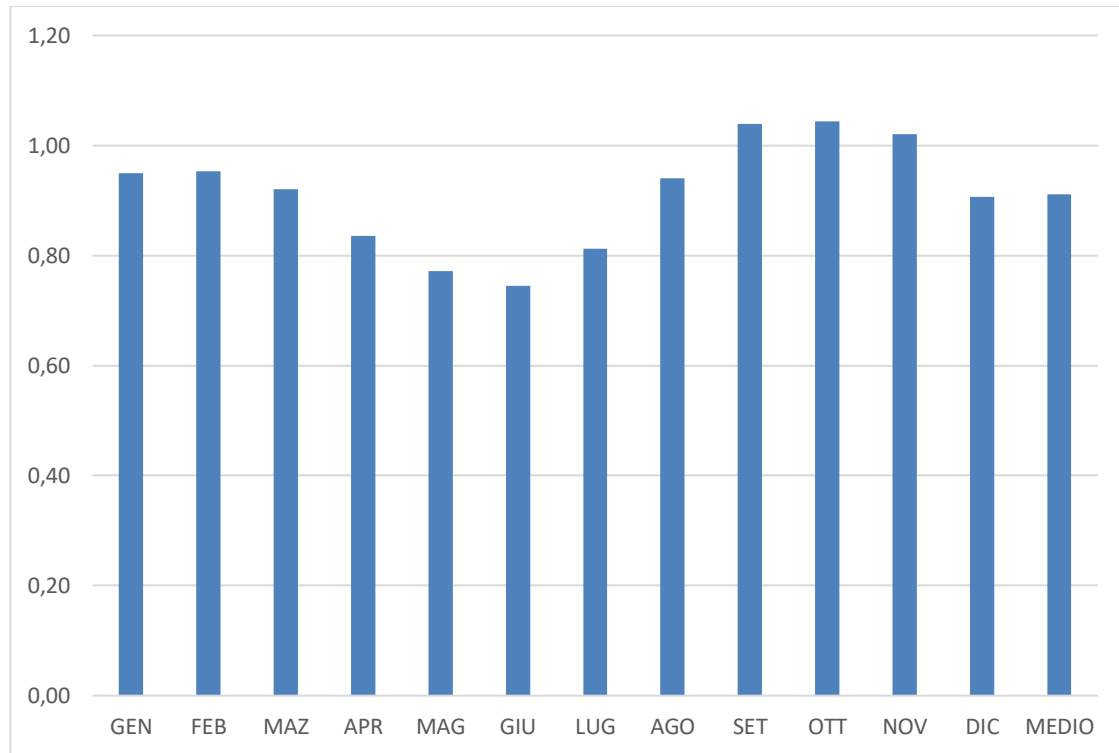


Figura 3.3.3 Confronto dei diversi fattori di copertura mensili per la città di Catania

Anche nella località di Catania abbiamo utilizzato lo stesso numero di moduli presenti a Tarvisio, con la differenza che qui l'orientazione dei moduli è verticale, in questo modo nei mesi estivi la radiazione che raggiunge la superficie dei pannelli è minore di quella che arriva nel resto dell'anno. Il vantaggio è che le temperature medie mensili estive sono molto elevate e permettono in ogni caso di avere un fattore di copertura complessivo superiore a 0,9, risultato più che soddisfacente.

Ostersund

valori di input	GEN	FEB	MAZ	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	MEDIO
radiazione mensile	2,16	5,76	10,44	14,40	16,60	15,91	14,76	13,18	10,80	6,91	2,99	0,72	
T media mensile	-5,8	-5,9	-3,2	1,5	7,2	11,1	14	12,5	7,6	3,2	-1,6	-3,5	
giorni del mese	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
valori di output													
fabbisogno ACS [l]	7471	6748	7471	7230	7471	7230	7471	7471	7230	7471	7230	7471	
θref [C°]	112,34	112,47	108,90	102,70	95,18	90,03	86,20	88,18	94,65	100,46	106,79	109,30	
θref - θavg [C°]	118,14	118,37	112,10	101,20	87,98	78,93	72,20	75,68	87,05	97,26	108,39	112,80	
Q sol,us,m energia mensile richiesta [kWh]	255,40	230,68	255,40	247,16	255,40	247,16	255,40	255,40	247,16	255,40	247,16	255,40	3007
U loop,p [coeff dispersione globale dispersioni]	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
U loop [coeff dispersione tecnica circ collettori]	4,63	4,63	4,63	4,63	4,63	4,63	4,63	4,63	4,63	4,63	4,63	4,63	
η loop rendimento loop	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
coefficiente X	11,69	10,86	10,28	9,28	8,07	7,24	6,62	6,94	7,99	8,92	9,94	10,35	
coefficiente Y	0,39	1,05	1,91	2,63	3,03	2,90	2,69	2,41	1,97	1,26	0,55	0,13	
frazione mensile di copertura dell'impianto	-0,14	0,34	0,74	0,95	1,06	1,07	1,06	0,99	0,84	0,51	0,02	-0,35	0,5923
Qsol,out,m calore ricavato [kWh]	-37,00	79,01	189,49	235,84	270,53	265,07	271,46	253,43	206,85	131,49	5,81	-89,09	1782,89
Qsol,out,m calore ricavato effettivo [kWh]	0,00	79,01	189,5	235,8	255,4	247,2	255,4	253,4	206,8	131,5	0	0	1854,08
numero moduli utilizzati	4												
inclinazione dei moduli	verticali												

Tabella 3.3.4 Specifiche tecniche dell'impianto solare termico per la città di Ostersund

Numero moduli: 4
Inclinazione moduli: 63°

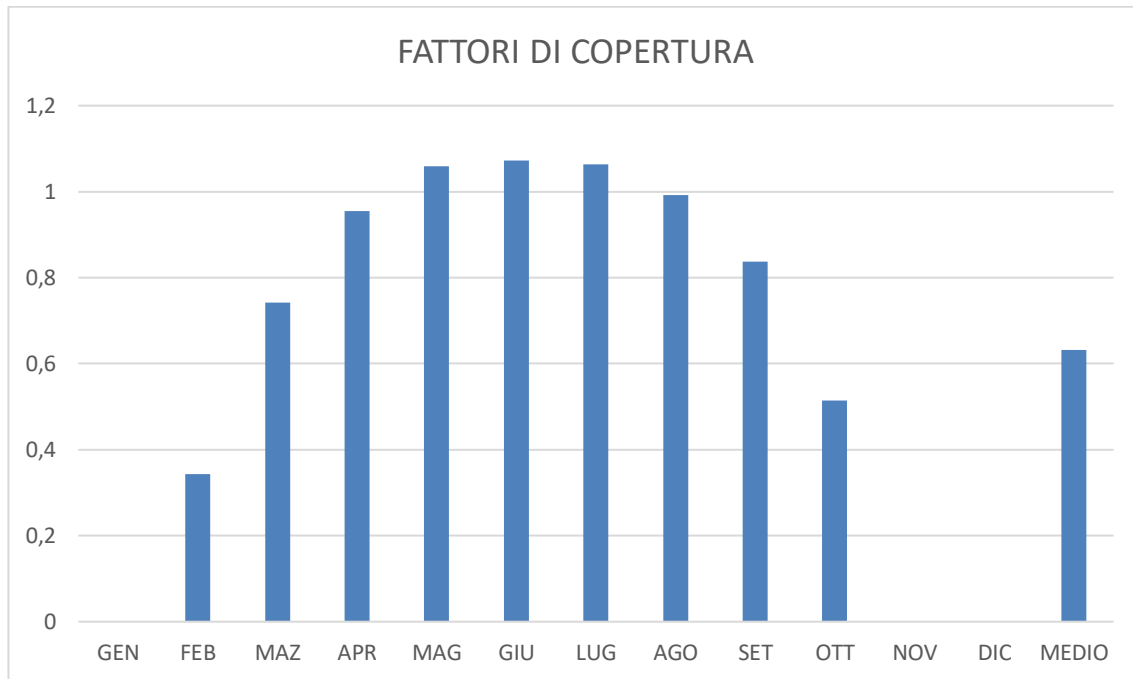


Figura 3.3.4 Confronto dei diversi fattori di copertura mensili per la città di Ostersund

La città di Ostersund a causa della sua collocazione differisce sostanzialmente dalle altre, i bassissimi valori di radiazione solare durante l'inverno sommati alle rigide temperature rendono sconveniente avere un impianto solare termico. Come si può vedere in Tabella 3.3.4 il fattore di copertura assume un valore negativo, poiché l'impianto a causa della mancanza dei raggi del sole invece di scaldare l'acqua tende a raffreddarla. Questo è un grave problema, per evitare che l'acqua geli all'interno dei tubi di circolazione è necessario disciogliere una percentuale maggiore di glicole, per abbassare ulteriormente la temperatura di congelamento, tuttavia ciò va a discapito delle perdite di carico.

Sarebbe opportuno quindi nel caso di installazione di un impianto solare di provvedere al suo svuotamento quantomeno durante i mesi di novembre, dicembre e gennaio, poiché come si può vedere dal grafico sopra negli altri mesi risulta comunque utile disporre di questi dispositivi che nei mesi estivi arrivano addirittura a coprire al 100% il fabbisogno di ACS. L'orientazione ottimale infatti in questo caso non aveva l'obiettivo di massimizzare la radiazione incidente nei mesi invernali in quanto il sole rimane solo per poche ore sopra l'orizzonte, quindi si è cercato di sfruttare al massimo la radiazione che invece è disponibile per molto più tempo durante il periodo estivo.

valori di input		GEN	FEB	MAZ	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	MEDIO
radiazione mensile		15,98	17,60	20,05	19,26	18,86	19,84	21,24	21,89	20,77	17,39	15,01	14,04	
T media mensile		10,7	11,9	14	16	19,6	23,4	26,9	26,8	24,4	21,2	14,3	11,1	
giorni del mese		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	14,3	31	
valori di output														
fabbisogno ACS [l]		7471	6748	7471	7230	7471	7230	7471	7471	7230	7471	3446	7471	
θref [C°]		90,56	88,97	86,20	83,56	78,81	73,79	69,17	69,30	72,47	76,70	85,80	90,03	
θref - θavg [C°]		79,86	77,07	72,20	67,56	59,21	50,39	42,27	42,50	48,07	55,50	71,50	78,93	
Q sol,us,m energia mensile richiesta [kWh]		255,40	230,68	255,40	247,16	255,40	247,16	255,40	255,40	247,16	255,40	247,16	255,40	3007,1
U loop,p [coeff dispersione globale dispersioni]		7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
U loop [coeff dispersione termica circ collettori]		5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	
η loop rendimento loop		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
coefficiente X		4,48	3,37	3,16	2,96	2,59	2,21	1,85	1,86	2,10	2,43	3,13	3,46	
coefficiente Y		1,46	1,61	1,83	1,76	1,72	1,81	1,94	2,00	1,90	1,59	1,37	1,28	
frazione mensile di copertura dell'impianto		0,79	0,91	1,01	0,99	1,00	1,05	1,12	1,13	1,09	0,95	0,82	0,76	0,97
Osol,out,m calore ricavato [kwh]		202,08	210,20	257,18	245,20	255,08	260,23	285,18	289,78	268,90	243,82	202,53	193,71	2913,89
Osol,out,m calore ricavato effettivo [kwh]		202,08	210,2	257,2	245,2	255,1	247,2	255,4	255,4	247,2	243,8	202,5	193,7	2814,93
numero moduli utilizzati		2												
inclinazione dei moduli		verticali												

Tabella 3.3.5 Specifiche tecniche dell'impianto solare termico per la città di Siviglia

Numero moduli: 2
Inclinazione moduli: 52°

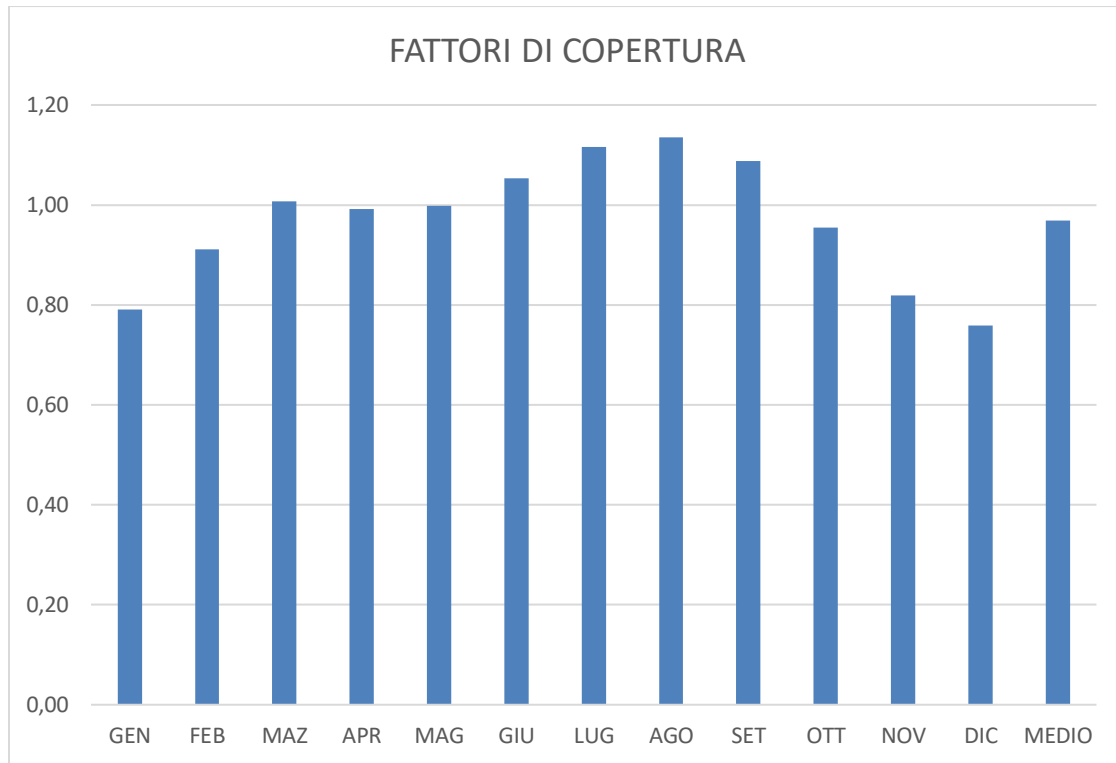


Figura 3.3.5 Confronto dei diversi fattori di copertura mensili per la città di Siviglia

L'inclinazione ottimale utilizzata a Siviglia, considerando la sua posizione notevolmente più a sud rispetto alle altre città precedentemente analizzate tende maggiormente all'orizzontale, con 52° di inclinazione. Andando così a massimizzare la radiazione che arriva sulla superficie dei moduli si può ridurre il loro numero a 2, uno in meno anche rispetto a Catania che si trova ad una latitudine simile, ma che aveva i pannelli verticali.

Nei mesi estivi l'impianto risulta leggermente sovradimensionato, è necessario quindi predisporre un sistema di dissipazione del calore in eccesso particolarmente efficiente, viste anche le elevate temperature di questo periodo, per evitare di incorrere in problemi più gravi.

Calgary

valori di input	GEN	FEB	MAZ	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	MEDIO
radiazione mensile	6,98	10,76	14,29	16,49	15,80	15,73	17,10	16,42	14,69	12,06	7,99	6,62	
T media mensile	-8,2	-6,4	-3,8	4,3	9,4	14,6	16,8	16	10,2	5,9	-3,6	-7,9	
giorni del mese	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	-3,6	31	
valori di output													
fabbisogno ACS [l]	7471	6748	7471	7230	7471	7230	7471	7471	7230	7471	-868	7471	
θref [C°]	115,50	113,13	109,70	99,00	92,27	85,41	82,50	83,56	91,22	96,89	109,43	115,11	
θref - θavg [C°]	123,70	119,53	113,50	94,70	82,87	70,81	65,70	67,56	81,02	90,99	113,03	123,01	
Q sol,us,m energia mensile richiesta [kWh]	255,40	230,68	255,40	247,16	255,40	247,16	255,40	255,40	247,16	255,40	247,16	255,40	3007,14
U loop,p [coeff dispersione globale dispersioni]	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
U loop [coeff dispersione tecnica circ collettori]	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	
η loop rendimento loop	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
coefficiente X	9,59	8,00	7,59	6,34	5,55	4,74	4,40	4,52	5,42	6,09	7,56	8,23	
coefficiente Y	0,96	1,47	1,96	2,26	2,16	2,15	2,34	2,25	2,01	1,65	1,09	0,91	
frazione mensile di copertura dell'impianto	0,32	0,65	0,85	0,98	0,99	1,03	1,09	1,06	0,95	0,80	0,47	0,33	0,79
Qsol,out,m calore ricavato [kwh]	81,94	149,59	216,24	242,73	253,40	253,84	278,67	271,28	235,76	204,03	116,69	85,48	2389,64
Qsol,out,m calore ricavato effettivo [kwh]	81,94	149,6	216,2	242,7	253,4	247,2	255,4	255,4	235,8	204	116,7	85,48	2343,82
numero moduli utilizzati	3												
inclinazione dei moduli	verticali												

Tabella 3.3.6 Specifiche tecniche dell'impianto solare termico per la città di Calgary

Numero moduli: 3
Inclinazione moduli: 66°

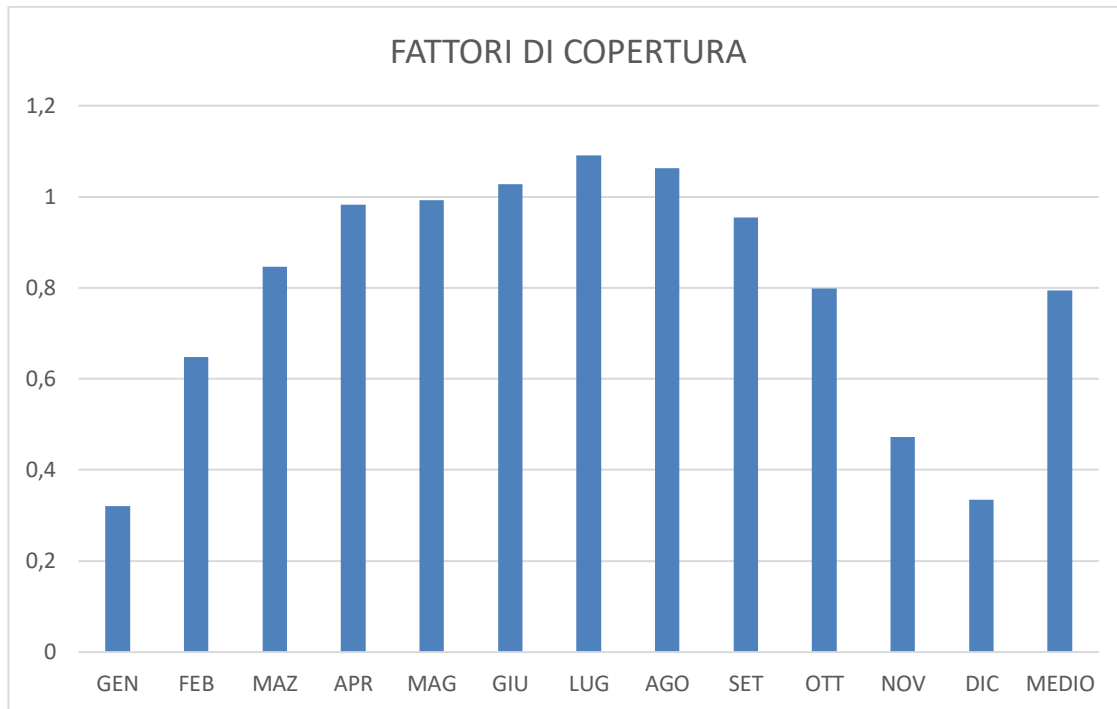


Figura 3.3.6 Confronto dei diversi fattori di copertura mensili per la città di Calgary

Per quanto riguarda i fattori di copertura per la città di Calgary valgono pressoché le stesse osservazioni fatte in precedenza per Tarvisio, con la sola differenza che le temperature invernali sono decisamente più fredde e questo influisce leggermente sulle percentuali che si raggiungono nei mesi di novembre dicembre e gennaio.

Si evidenzia inoltre come l'inclinazione dei moduli sia superiore a quella che avevamo impostato per la città di Ostersund, 66° contro 63°, nonostante la città canadese si trovi ad una latitudine decisamente inferiore, ciò come detto in precedenza avviene perché nella città svedese l'inclinazione dei moduli non era stata ottimizzata per il periodo invernale, in quanto la quasi assenza di radiazione solare rendeva il processo non conveniente.

A Calgary la radiazione invernale è comunque presente e nonostante le basse temperature è possibile lasciare l'impianto in funzione. Si raccomanda come fatto per Tarvisio un'ottima coibentazione dei tubi di alimento e dell'acqua calda in uscita che non potendo contenere percentuali di glicole potrebbero essere soggetti a congelamento.

Numero moduli: 2
Inclinazione moduli: 45°

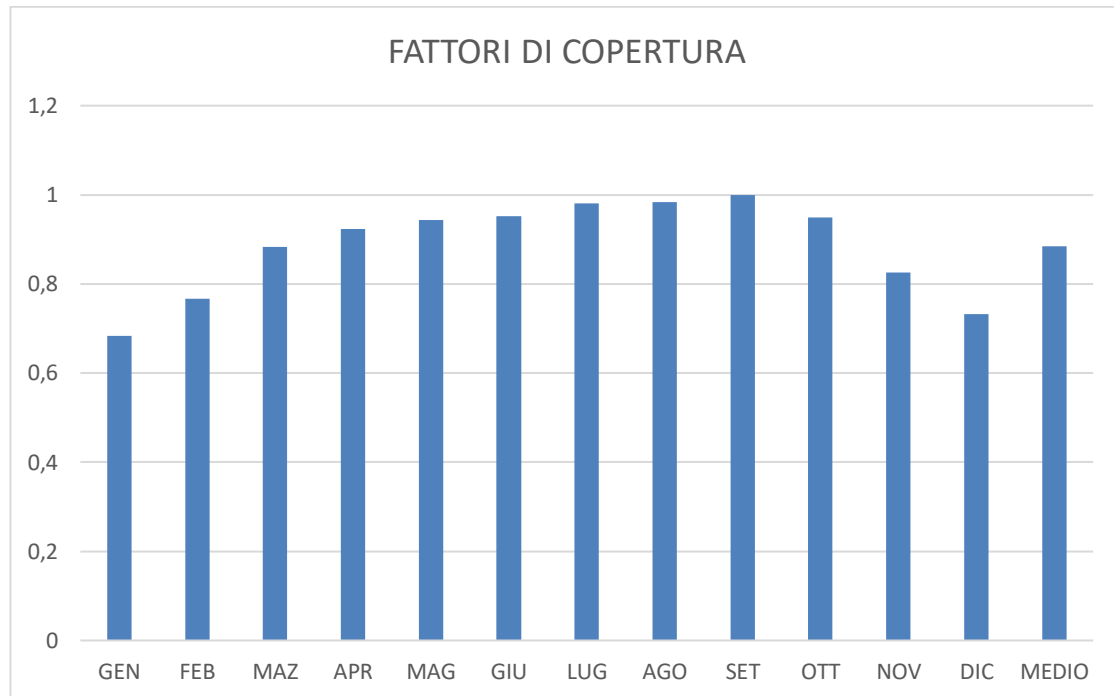


Figura 3.3.7 Confronto dei diversi fattori di copertura mensili per la città di Houston

A Houston come per la città di Siviglia sono sufficienti due moduli per coprire il fabbisogno richiesto. L'inclinazione di 45° inoltre garantisce un discreto livello delle radiazioni solari che raggiungono il modulo e di evitare problemi di eccessivo sovradimensionamento dell'impianto, che in una località così calda potrebbero essere pericolosi.

3.4 Analisi risultati

Il fabbisogno di energia per la produzione di acqua calda sanitaria è di 3007 kWh/anno, per tutte le località prese in considerazione. Abbiamo ipotizzato di non avere differenti condizioni di erogazione dell'acqua dagli acquedotti, in modo che il ΔT di temperatura da applicare fosse lo stesso. L'energia utile fornita dall'impianto solare per coprire il fabbisogno di ACS varia da 1854kWh/anno per Ostersund, ai 2814kWh/anno di Siviglia. L'energia che deve essere fornita dall'impianto termico varia di conseguenza dai 192 kWh/anno ai 1153 kWh/anno. Assumendo un valore del rendimento di produzione medio stagionale della pompa di calore $\eta_{p_s}=3,02$, il prelievo di energia elettrica dalla rete per la produzione di ACS risulta variare dai 96,91 kWh/anno di Catania, ai 381,76 kWh/anno di Ostersund. Nella tabella riportata di seguito è possibile osservare nel dettaglio il fabbisogno di tutte le altre località.

	Energia ricavato effettivo [kWh]	Percentuale copertura	Energia ausiliaria richiesta [kWh]	energia elettrica necessaria [kWh]
PADOVA	2430,23	0,81	576,77	190,98
TARVISO	2437,32	0,81	569,68	188,64
CATANIA	2714,34	0,90	292,66	96,91
OSTERSUND	1854,08	0,62	1152,92	381,76
SIVIGLIA	2814,93	0,94	192,07	63,60
CALGARY	2343,82	0,78	663,18	219,60
HOUSTON	2663,03	0,89	343,97	113,90

Tabella 3.4.1 Copertura impianto solare per ACS e prelievi elettrici dalla rete

Riporto ora in Figura 3.4.1 i fabbisogni di energia elettrica prelevata dalla rete.

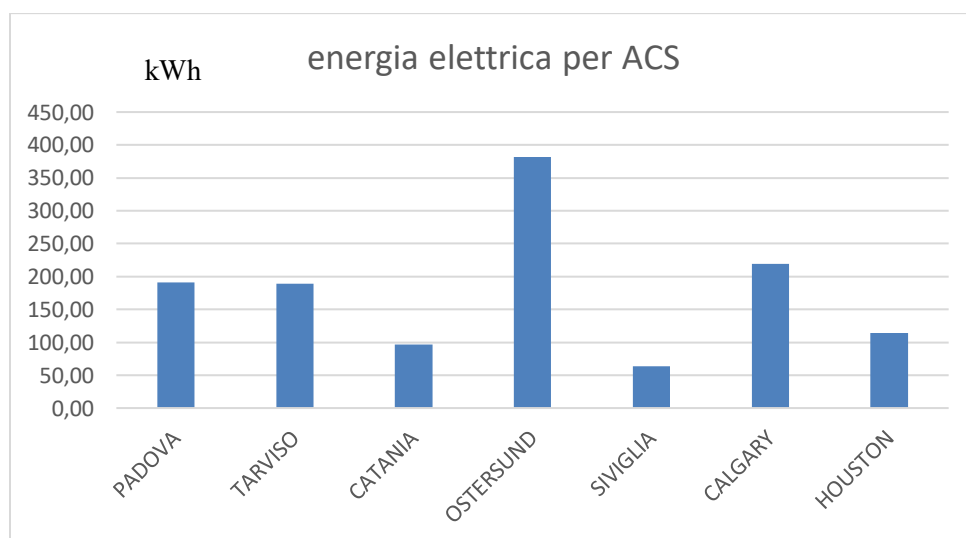


Figura 3.4.1 Confronto diverse quantità di energia elettrica prelevata dalla rete per integrare i pannelli solari

CAPITOLO 4 - Consumi elettrici abitazione

Nel modello dell'edificio vengono considerati altri fabbisogni energetici legati all'occupazione dell'abitazione, nello specifico ho analizzato:

- fabbisogno di energia per riscaldamento
- fabbisogno di energia per condizionamento (che già abbiamo analizzato)
- consumo di energia per ventilazione meccanica controllata
- fabbisogno di energia per la produzione di acqua calda sanitaria
- usi elettrici obbligati
- fabbisogno di energia per uso cucina.

Tutti i consumi sono stati riportati nel modello con riferimento alla vita utile ipotizzata per l'edificio (70 anni).

Tutti gli impianti considerati sono mirati per raggiungere un elevato comfort all'interno dell'abitazione, sono applicate tecnologie di ultima generazione, con prestazioni energetiche notevoli. Le dispersioni termiche sono ridotte al minimo, l'impianto di ventilazione estrae aria dai bagni e dalla cucina per scambiare l'aria con l'esterno attraverso un condotto interrato di 30cm di diametro che attua un preriscaldamento nel periodo invernale e un raffrescamento durante la stagione estiva.

4.1 Consumi impianti

➤ ventilazione meccanica controllata

Per la stima dei consumi elettrici dell'impianto di ventilazione meccanica controllata consideriamo un funzionamento continuativo (24 h al giorno) durante tutto l'anno, con un assorbimento pari a 32 W. Risulta un consumo annuo di energia elettrica per la ventilazione pari a 280 kWh/anno.

➤ Usi elettrici obbligati

Per gli usi elettrici obbligati considerati nel modello dell'edificio sono stati ricavati in letteratura, nello specifico dal report del progetto "MICENE" [10], basato su misure dei consumi di energia elettrica in 110 abitazioni italiane. Considerando che i dati della campagna di rilevazione si riferiscono al periodo 2000-2002, ho ipotizzato una maggiore efficienza energetica che caratterizza le attuali apparecchiature domestiche, con degli opportuni fattori di scala ricavati in letteratura [11].

USI ELETTRICI OBBLIGATI					
	Consumo medio annuo da progetto Micene [kWh/anno]	fattore di scala	Consumo medio annuo effettivo [kWh/anno]	consumo percentuale	
frigo/congelatore	637	0,65	414,1	35%	
lavabiancheria	112	0,918	102,8	9%	
lavastoviglie	185	0,873	161,5	14%	
illuminazione	375	0,502	188,3	16%	
apparecchi audiovisivi	355	0,782	277,6	23%	
computer	132	0,364	48,0	4%	
TOTALE	1796		1192,3	100%	

Tabella 4.1.1 Dettaglio degli usi elettrici obbligati dell'abitazione

➤ Consumi cucina

I consumi dovuti alla cottura dei cibi sono stati ricavati da letteratura [12] ipotizzando uno scenario di 10 pasti a settimana con un piano cottura a induzione (il sistema più diffuso in abitazioni a basso consumo energetico) e una famiglia italiana composta da 4 persone. Si è ricavato un valore pari a 232,9 kWh/anno di energia elettrica prelevata al contatore.

4.2 Analisi finale consumi

In sintesi i consumi di energia elettrica prelevata dalla rete nelle diverse località sono riportati in tabella 4.2.2, i valori di riscaldamento e condizionamento sono stati divisi per il COP corrispondente di ogni località, che viene riportato per completezza nella Tabella 4.2.1

	RENDIMENTO INVERNALE	RENDIMENTO ESTIVO
PADOVA	2,62	3,00
TARVISO	2,55	3,10
CATANIA	2,80	2,95
OSTERSUND	2,50	3,10
SIVIGLIA	2,90	2,92
CALGARY	2,45	3,05
HOUSTON	3,00	2,90

Tabella 4.2.1 Rendimento complessivo della pompa di calore durante i diversi periodi dell'anno

I valori dei rendimenti utilizzati, già comprensivi dei rendimenti di regolazione, di distribuzione e di emissione variano sia per le diverse caratteristiche delle reti nazionali che per le diverse condizioni ambientali che si hanno nelle diverse località considerate [23], [24]

	RISCALDAMENTO	CONDIZIONAMENTO	VENTILAZIONE MECCANICA	ACS	USI ELETTRICI OBBLIGATI	USO CUCINA	TOTALE	TOTALE DEFINITIVA
PADOVA	1010,97	2764,39	280,00	190,98	1192,30	232,90	5671,55	5671,55
TARVISO	2595,09	1121,43	280,00	188,64	1192,30	232,90	4488,93	5610,36
CATANIA	23,73	2805,35	280,00	96,91	1192,30	232,90	4631,19	4631,19
OSTERSUND	4052,58	1353,68	280,00	381,76	1192,30	232,90	6139,54	7493,22
SIVIGLIA	1,37	3597,84	280,00	63,60	1192,30	232,90	5368,01	5368,01
CALGARY	2044,43	1865,97	280,00	219,60	1192,30	232,90	3969,23	5835,20
HOUSTON	3,04	5424,03	280,00	113,90	1192,30	232,90	7246,16	7246,16

Tabella 4.2.2 Resoconto valori dei consumi di energia elettrica, tutti i valori riportati sono espressi in kWh/anno.

Per fare un'analisi il più possibile realistica non ho tenuto conto dell'impianto di condizionamento nelle località considerate "fredde", nella colonna denominata TOTALE DEFINITIVA, in quanto come analizzato in precedenza si può sopperire a quel fabbisogno con un'opportuna ventilazione nelle ore più fredde della giornata annullando i consumi elettrici. Nella colonna TOTALE era invece incluso il condizionamento per tutte le località

Come si può vedere la città con il consumo più elevato di energia elettrica è Houston a causa dell'elevato valore del condizionamento necessario, seguita da Ostersund che ha un elevato dispendio per riscaldamento. Le altre località poi si equivalgono senza evidenti differenze, fino ad arrivare a Catania che dal punto di vista del consumo di energia elettrica è la più conveniente.

4.3 Fotovoltaico

Oltre all'impianto solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria si predispone per l'abitazione la costruzione di un impianto fotovoltaico, cercando di ottimizzare l'orientamento e l'inclinazione dei pannelli per ogni località. Dal software Pv-gis ho ricavato il valore della radiazione solare media annuale sul piano dei moduli fotovoltaici.

	RADIAZIONE SOLARE CUMULATA [kwh/m ²]	INCLINAZIONE MODULI
PADOVA	1420	37°
TARVISO	1440	38°
CATANIA	1950	28°
OSTERSUND	1060	48°
CALGARY	1340	40°
HOUSTON	2200	19°
SIVIGLIA	2000	27°

Tabella 4.3.1 Dettagli per il dimensionamento dell'impianto fotovoltaico

Si è scelto di installare un impianto da 3 kW_p, una potenza che ben si addice ai consumi di una casa progettata per 4 persone.

Ho implemento in Excel un foglio che mi permetta di ricavare dai dati di partenza, la producibilità dell'impianto.

Considerando che la potenza di un pannello è di 310W, ne vengono utilizzati 10, con una superficie complessiva di poco superiore ai 16m². I pannelli scelti sono tra i più efficienti sul mercato con un rendimento complessivo che supera il 19%, il rendimento η_{BOS} considerato è dello 0,8. Riporto la scheda tecnica del pannello utilizzato, un Peimar SG310M (BF)

CARATTERISTICHE ELETTRICHE (STC*)	
Potenza di picco (Pmax)	310 W
Tolleranza di potenza	0/+5 W
Tensione a Pmax (Vmp)	32.6 V
Corrente a Pmax (Imp)	9.51 A
Tensione di circuito aperto (Voc)	40.7 V
Corrente di corto circuito (Isc)	9.8 A
Tensione massima di sistema	1500 V
Massimo valore nominale del fusibile	15 A
Efficienza Modulo	19.05%

Figura 4.3.1 Specifiche tecniche dei moduli fotovoltaici

Della totale energia elettrica prodotta dai pannelli consideriamo il 40% di essa usata in autoconsumo, una percentuale che si può raggiungere abbastanza agevolmente programmando l'utilizzo degli elettrodomestici nelle ore di massima produttività dell'impianto fotovoltaico. Tale percentuale potrebbe essere anche superiore nelle città dove la richiesta del condizionamento è preponderante sul computo generale delle spese elettriche. Riporto ora di seguito il foglio Excel implementato che raffigura in modo evidente i valori ottenuti per le diverse località.

Per quanto riguarda un impianto con l'accumulo le percentuali che si possono raggiungere sono anche superiori all'80%, la tipologia di batteria che abbiamo scelto permette di immagazzinare circa 5kWh, sufficienti per lo scopo desiderato, di seguito riporto i dati tecnici di una delle batterie con un miglior rapporto qualità prezzo reperite sul mercato.

SOLARWATT MYRESERVE 800

- Dimensioni (A_xL_xP): 98,4 x 73,4 x 31 cm;
- Peso: 78 kg (max 25 kg per componente);
- Capacità di accumulo: 4,4 kWh, ampliabile in parallelo fino a 8,8 kWh;
- Profondità di scarica: 100%;
- Efficienza complessiva massima (ciclo di carica/scarica round trip): 96 %;
- Tempo di reazione inserimento del carico < 1 s.

Riporto ora di seguito il file Excel implementato che mi permette di ricavare direttamente la producibilità dell'impianto fotovoltaico, in modo da poter facilmente confrontare tra loro le varie località.

DIMENSIONAMENTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO					
3	Potenza impianto [kW]				
CARATTERISTICHE MODULI		RADIAZIONE E RENDIMENTI		PROCEDIMENTO	
0,19	Rendimento modulo	2000	energia radiante sui moduli [kWh/m2a]	16,2559	Area totale netta [m2]
310,0	Potenza modulo [W]	30	gradi inclinazione moduli	2000	Erad,mod radiazione sui moduli [kWh/m2a]
9,7	numero moduli	1	coeff di trasposizione rispetto orizzontale	6200	Eel,id energia elettrica ideale [kWh]
10,0	Numero moduli considerato				
3,1	Potenza picco considerata [kW]			4960	energia effettiva prodotta [kWh/a]
		0,8	Rendimento BOS	1984	percentuale consumata [40%] [kWh/a]
				3968	percentuale consumata [80%] [kWh/a]

Tabella 4.3.2 Procedura per il dimensionamento fotovoltaico

Il caso in Tabella 4.3.2 si riferisce alla città di Padova, riporto di seguito i risultati ottenuti per le altre località:

	Energia effettiva prodotta [kWh/anno]	Percentuale utilizzata [40%]	percentuale utilizzata [80%]
PADOVA	3521,6	1408,6	2817,3
TARVISO	3571,2	1428,5	2857,0
CATANIA	4836,0	1934,4	3868,8
OSTERSUND	2628,8	1051,5	2103,0
SIVIGLIA	4960,0	1984,0	3968,0
CALGARY	3323,2	1329,3	2658,6
HOUSTON	5456,0	2182,4	4364,8

Tabella 4.3.3 Valori di utilizzo dell'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico

Come ci si poteva aspettare le città con una maggior producibilità del fotovoltaico sono quelle con clima "caldo" dato che si trovano ad una latitudine dove la radiazione solare rende disponibile una quantità di energia superiore. La più sfavorita da questo punto di vista è sicuramente Ostersund trovandosi alla latitudine più elevata, avendo inoltre un picco di consumi nel periodo invernale per il riscaldamento dell'edificio con l'impianto fotovoltaico che registra invece la sua producibilità minima.

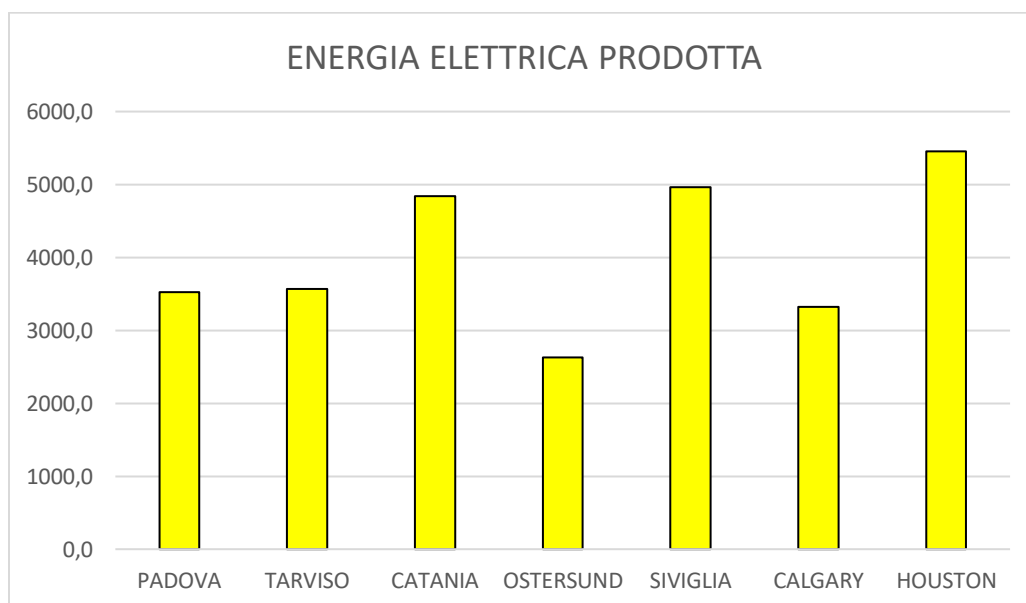


Figura 4.3.2 confronto dei valori dell'energia elettrica prodotta

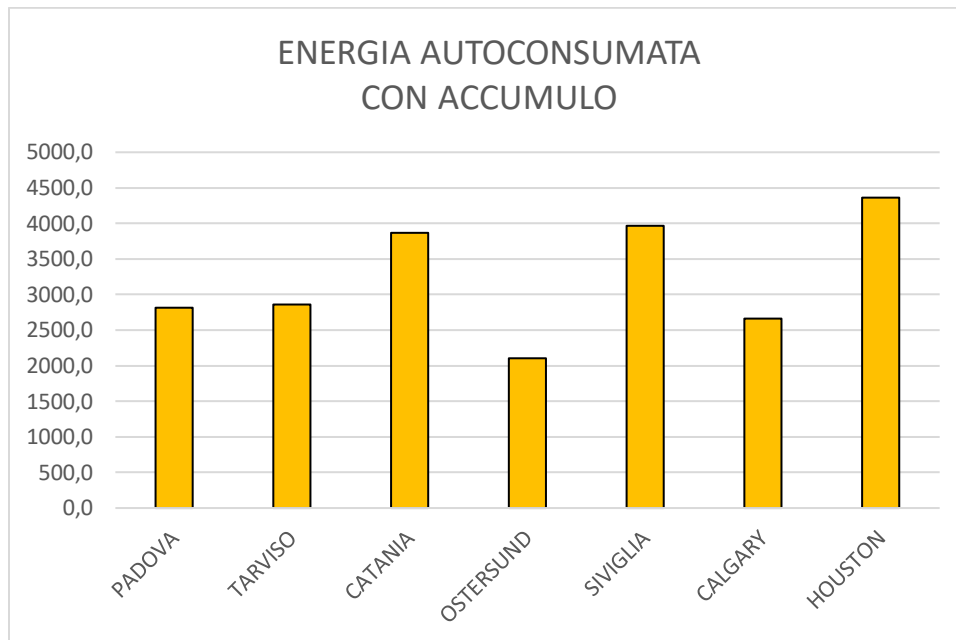


Figura 4.3.3 confronto dei valori dell'energia consumata con le batterie di accumulo

4.4 Compendio finale consumi

Molto più interessante è andare ad evidenziare quanto l'impianto fotovoltaico riesca a coprire il fabbisogno annuale di energia elettrica. Le città con una percentuale maggiore sono Catania e Calgary, con valori che superano abbondantemente il 75%, mentre Ostersund che si trova ultima in questa classifica arriva appena al 50%.

	CONSUMO ELETTRICO ANNUALE [kWh]	PRODUCIBILITA' FOTOVOLTAICO [kWh]	PERCENTUALE COPERTURA FOTOVOLTAICO	ENERGIA PRELEVATA DALLA RETE
PADOVA	5671,5	2817,3	50%	2854,3
TARVISO	4488,9	2857,0	64%	1632,0
CATANIA	4631,2	3868,8	84%	762,4
OSTERSUND	4113,2	2103,0	51%	2010,2
SIVIGLIA	5368,0	3968,0	74%	1400,0
CALGARY	3969,2	2658,6	67%	1310,7
HOUSTON	7246,2	4364,8	60%	2881,4

Tabella 4.4.1 Copertura impianto fotovoltaico e prelievi dalla rete

Mi preme tuttavia specificare che queste percentuali non sono del tutto riscontrabili nella realtà, per diversi aspetti che ora introdurrò brevemente.

Per prima cosa vi sono grosse differenze dato che i maggiori carichi da soddisfare sono di tipo stagionale, i picchi di richiesta energetica dovuti al condizionamento hanno una maggior probabilità di essere soddisfatti, dato che avvengono in concomitanza con i picchi di radiazione solare. Discorso opposto fa fatto invece per il riscaldamento, che è predominante nel periodo invernale quando la radiazione solare registra i valori più bassi. Vi sarebbe quindi una grossa disparità nel confrontare tra loro climi differenti, per questo motivo i valori che utilizzerò in seguito come input in SimaPro non sono comprensivi dell'apporto del fotovoltaico, ma verranno integrati con dei commenti per sfruttare al meglio i dati ottenuti dal dimensionamento svolto.

In conclusione possiamo terminare questo tipo di analisi definendo in modo preciso la quantità di energia elettrica che deve essere prelevata dalla rete nazionale, valore che poi implementato successivamente in SimaPro ci permetterà di confrontare la fase d'uso dell'edificio al variare del mix energetico delle rispettive nazioni.

	ENERGIA PRELEVATA DALLA RETE
PADOVA	2854,3
TARVISO	1632,0
CATANIA	762,4
OSTERSUND	2010,2
SIVIGLIA	1400,0
CALGARY	1310,7
HOUSTON	2881,4

Tabella 4.4.2 energia prelevata dalla rete

CAPITOLO 5 - Analisi con SimaPro

5.1 Software

Per la specifica analisi LCA, si è utilizzato il software SimaPro 8.3.0.14: sviluppato dalla società olandese Pré Products Ecology Consultants e largamente impiegato nella pratica industriale ed internazionale: si stima che sia il software più diffuso al mondo e che sia utilizzato in ben 80 paesi. SimaPro consente l'analisi interattiva dei risultati, con database di grandi dimensioni in grado di esaminare la maggior parte dei processi industriali. Il software permette di valutare, monitorare e analizzare le prestazioni ambientali di prodotti e servizi analizzando in modo ordinato e chiaro anche cicli di vita complessi seguendo le linee guida della norma ISO 14040 e 14044. Di notevole importanza è la possibilità di ottenere dati o tabelle in compatibilità con Excel o ASP, e quella di inserire nuovi processi, materiali, metodi di valutazione degli impatti o di modificare quelli già implementati adattandoli al caso studio, con la possibilità di eseguire analisi di incertezza tramite il metodo di Monte Carlo. È possibile la valutazione degli impatti a diversi livelli e si possono visualizzare i processi tramite grafici ad albero che permettono una rapida interpretazione delle dinamiche del prodotto per migliorare la facilità di lettura e individuare i punti deboli del sistema.

Il software presenta un'interfaccia grafica semplice, la finestra che compare all'apertura è quella di Explorer, che è possibile suddividere in 3 parti: la parte di gestione dell'LCA, la parte dei processi e la parte della descrizione di tali processi. La parte di sinistra ci segue nello sviluppo dell'LCA e propone la classica suddivisione dello studio in:

- Obiettivi e ambito: dove è possibile descrivere lo studio e i processi aggiungendo inoltre tutta la parte degli obiettivi e limitazioni dell'analisi.
- Inventario: dove vengono impostate, modificate e valutate tutte le componenti dello studio;
- Valutazione dell'impatto: dove il programma fornisce i risultati dell'elaborazione con i relativi impatti;
- Interpretazione: dove è possibile gestire i criteri per l'interpretazione dello studio. Nella parte centrale della finestra si trova tutto l'elenco dei processi e materiali che comprendono quasi la totalità delle materie che è possibile trovare in natura.

Le categorie principali sono 7 e sono così suddivise: materiali, energia, trasporto, elaborazioni, uso, scenario di smaltimento e processo di smaltimento. Con queste categorie, e le innumerevoli sottocategorie, è possibile, con le dovute accortezze, schematizzare qualsiasi processo.

Le banche dati già implementate all'interno del software SimaPro 8.3.0.14 sono le seguenti: Agri-footprint (economic allocation, gross energy allocation, mass allocation), Ecoinvent 3 allocation (system, unit), Ecoinvent 3 consequential (system, unit), ELCD, EU & DK Input Output Database, Industry data 2.0, LCA Food DK, Swiss Input Output Database, USA Input Output Database, USA Input Output Database System Expansion, USLCI.

Le fasi che portano alla definizione del prodotto, come si può vedere in figura 5.1.1 sono suddivise in:

- Assemblaggio (assembly): contiene la lista di tutte le materie prime o materiali semilavorati che possono essere utilizzati per la realizzazione di un'unità di prodotto finale.
- Ciclo di vita: contiene un collegamento con l'assembly definito in precedenza ovvero al prodotto oggetto dell'analisi, ai processi relativi all'uso del prodotto (ad esempio consumi energetici), ad uno scenario di fine vita e ad eventuali altri cicli di vita, qualora il sistema analizzato sia particolarmente articolato.
- Scenario di smaltimento: contiene il collegamento ad una serie di processi che descrivono il fine vita del sistema analizzato e le rispettive percentuali di prodotto che sono ad essi destinate.
- Disassemblaggio: vengono elencate le frazioni in cui viene suddiviso il prodotto a fine vita con i relativi scenari di smaltimento e i trattamenti dei rifiuti residui.
- Riuso: contiene un elenco di processi che descrivono il carico ambientale relativo all'operazione di riuso e un riferimento all'assembly (o subassembly) oggetto del riuso.

Nome	Progetto	Stato
Trasporti	LCA Edificio	Nessuno
Terrazzo	LCA Edificio	Nessuno
Strutture portanti	LCA Edificio	Nessuno
Solai e scala interna	LCA Edificio	Nessuno
Rivestimenti ed isolamenti	LCA Edificio	Nessuno
Piano interrato	LCA Edificio	Nessuno
Pavimentazione	LCA Edificio	Nessuno
Muri divisorii	LCA Edificio	Nessuno
Involucro	LCA Edificio	Nessuno
Infissi	LCA Edificio	Nessuno
Impianto VMC	LCA Edificio	Nessuno
Impianto termico	LCA Edificio	Nessuno
Impianto idrico-sanitario	LCA Edificio	Nessuno
Impianto elettrico	LCA Edificio	Nessuno
Impianti	LCA Edificio	Nessuno
Fondazioni	LCA Edificio	Nessuno
FASE DI PRE USO	LCA Edificio	Nessuno
Edificio	LCA Edificio	Nessuno
Copertura	LCA Edificio	Nessuno
Cantierare	LCA Edificio	Nessuno

Figura 5.1.1 schermata a video delle fasi del prodotto in SimaPro

I metodi implementati in SimaPro 8.0.3.14 sono: Eco-indicator 99 (E, H, I), Ecological Scarcity 2006, Boulay et al 2011, Hoekstra et al 2012, Motoshita et al 2010, Pfister et al 2009 e 2010, Ecopoints 97 EDIP/UMIP 97, EDP (2007 e 2008), IPCC 2013 GWP, Cumulative Energy Demand, TRACI, USEtox Recommended, BEES, CML, Eco-indicator 95, Ecological footprint, Ecosystem Damage Potential, Greenhouse Gas Protocol, Selected LCI results.

SimaPro offre inoltre la possibilità di analizzare il processo intero o suddividere la valutazione degli impatti per categorie d'impatto e per sotto-processi. In questo modo si può fornire un'interpretazione dei dati in maniera molto più semplice e rapida. Il programma oltre a consentire la valutazione degli impatti del processo è in grado di comparare due processi diversi al fine di realizzare un confronto degli impatti ambientali. Un'utile funzionalità del programma è la possibilità di estrapolare i dati in un foglio Excel dando così la possibilità all'utente di una gestione personalizzata e quindi aiutandolo nell'interpretazione dei risultati.

5.1.1 Metodo Cumulative Energy Demand (CED)

Il metodo di caratterizzazione Cumulative Energy Demand (CED) permette di effettuare la valutazione energetica di un processo utilizzando la metodologia LCA. Il metodo CED è focalizzato sul consumo di risorse energetiche e ha come obiettivo quello di analizzare l'uso di energia attraverso l'intero ciclo di vita di un prodotto o di un servizio. Ciò significa che considera sia gli usi diretti di energia che quelli indiretti dovuti all'uso di materiali da costruzione o di materie prime. Permette di individuare nell'intero sistema analizzato le fasi più energivore e di fare un bilancio ambientale. Il metodo CED, implementato nel software utilizzato, è un sistema di valutazione di tipo midpoint approach, che si focalizza sull'analisi dell'impiego delle risorse energetiche che in questo sistema sono distinte in cinque categorie d'impatto (risorse rinnovabili e non rinnovabili) suddivise in cinque sottocategorie (fossili e nucleari, biomassa, vento solare e geotermia, acqua) ciascuna con fattori di caratterizzazione diversi. Il metodo CED non prevede una fase di normalizzazione e per ottenere un totale dell'energia consumata ad ogni categoria di impatto viene associato un fattore peso pari a 1.

5.1.2 Metodo ECO-INDICATOR 99

Sviluppato da Prè Consultants in collaborazione con il VROM - The Dutch Ministry of Housing Spatial Planning and Environment (NL). Il primo sistema è stato elaborato nel 1995 e poi aggiornato nel 1999. La sua peculiarità sta nel fatto che consente di delineare dei risultati di endpoint, cioè espressi in relazione a tre categorie di danno, nello specifico: danni alla salute umana, agli ecosistemi e uso delle risorse. Le valutazioni dei danni in relazione alle tre aree di salvaguardia, sono equiparabili e quindi sommabili tra loro in un singolo punteggio, l'Eco-indicator espresso in Point (Pt) o MilliPoint (MPt), che rappresenta le prestazioni complessive del sistema indagato in termini energetico-ambientali. Per questo con tale sistema sono forniti oltre che valori di caratterizzazione relativi alle diverse categorie d'impatto, anche valori di normalizzazione adottabili in un sistema di valutazione con i relativi fattori di conversione. I valori di normalizzazione sono ricavati per ogni categoria di danno e sono calcolati a livello europeo.

Il metodo è stato strutturato in tre diverse tipologie a seconda del punto di vista dal quale si intende approfondire l'analisi LCA:

- egualitaria: si considerano tutti i possibili impatti e i loro effetti più catastrofici a lungo termine;
- individualista: si considerano gli impatti più scientificamente provati, potenzialmente risolvibili dalla tecnologia nel breve termine;
- gerarchica: rappresenta una visione intermedia tra le due precedenti e comprende anche categorie d'impatto selezionate in maniera da bilanciare gli effetti a lungo e breve termine.

I progettisti del metodo raccomandano di usare la versione gerarchica come predefinita per la valutazione all'interno dei codici di calcolo. Tale prospettiva è infatti quella che trova un maggiore accordo con tutti gli altri modelli. Le altre due prospettive possono essere usate per conferire più forza e sensibilità all'analisi. Eco-indicator 99 necessita di alcune specificazioni per la definizione dell'inventario, sono prese in considerazione emissioni in aria, acqua e suolo.

Il metodo valuta esclusivamente tre tipi di danno ambientale:

- Human Health (Salute Umana)
- Ecosystem Quality (Qualità dell'Ecosistema)
- Resources (Esaurimento delle Risorse)

Ogni categoria di danno è a sua volta suddivisa in categorie d'impatto, la categoria di danno Human Health (Salute Umana) comprende le seguenti categorie di impatto:

- Danni causati da sostanze cancerogene
- Danni causati da sostanze organiche alle vie respiratorie
- Danni causati da sostanze inorganiche alle vie respiratorie
- Danni causati dai cambiamenti climatici
- Danni causati dalle radiazioni ionizzanti
- Danni causati dall'assottigliamento dello strato d'ozono

Il metodo utilizza differenti procedure per collegare l'inventario alle tre categorie di danno principali, tali collegamenti permettono di individuare e pesare all'interno di una singola categoria il tipo di danno relativo alla sostanza emessa

o alla risorsa usata. Vengono in questo modo determinati dei fattori specifici da moltiplicare per la quantità della sostanza emessa o consumata.

Per la categoria Ecosystem Quality vengono considerati due tipi di impatto: le emissioni tossiche (ecotoxicity) e quelle che modificano l'acidità e i livelli nutritivi (acidification e eutrophication).

L'uso e la trasformazione del territorio (land use), per le quali l'analisi si basa su dati empirici relativi alla qualità degli ecosistemi, funzione del tipo di uso del territorio e della sua area.

Per la categoria Resources vengono seguite due fasi:

- Analisi delle risorse - Resource analysis, che lega l'estrazione di una risorsa alla riduzione della sua concentrazione.
- Analisi del danno
- Damage analysis, che lega la minore concentrazione di risorse all'aumento dell'energia spesa per la loro estrazione in futuro.

Nel damage assessment i danni dovuti alle categorie di impatto vengono moltiplicate per il fattore 1 per essere inseriti nelle rispettive categorie di danno, escluso quello dovuto a Ecotoxicity che viene moltiplicato per il fattore 0.1.

La normalizzazione rende omogenei i danni trovati nella fase della caratterizzazione. Per la valutazione del danno occorre confrontare fra di loro i valori ottenuti per le tre categorie. Poiché essi sono caratterizzati da tre differenti unità di misura (DALY, PDF, MJ Surplus), si rende necessaria la fase di normalizzazione, nella quale i risultati ottenuti saranno rapportati ad un valore di riferimento. L'obiettivo è quello di rendere le diverse categorie di danno confrontabili fra di loro.

PROSPETTIVA	Human Health	Ecosystem Quality	Resources
Gerarchica	40%	40%	20%
Ugualitaria	30%	50%	20%
Individualista	55%	25%	20%

Tabella 5.1.2.1 Valori percentuali di come sono pesate le diverse categorie di impatto

5.1.3 EDIP '97 - 2003 - Environmental Design of Industrial Product

Sviluppato da Danish Environmental Protection Agency, nel 1997, la versione è stata poi aggiornata nel 2003. È un sistema di valutazione detto di midpoint, ampiamente documentato ed esaustivo che copre le principali categorie d'impatto e i correlati effetti ambientali, l'uso delle risorse e gli impatti che si verificano negli ambienti di lavoro. La fase di valutazione consiste in un confronto tra impatti potenziali calcolati e un valore di riferimento rispetto al quale sono note le conseguenze ambientali. Le categorie sono: Global Warming Potential in gCO₂ equivalenti; Stratospheric Ozone Depletion Potential in g CFC₁₁ equivalenti; Acidification Potential in g SO₂ equivalenti; Eutrophication Potential in g NO₃ equivalenti; Ecotoxicity water chronic in m³ di acqua inquinata; Ecotoxicity water acute in m³ di acqua inquinata; Ecotoxicity soil chronic in m³ di suolo inquinato; Human toxicity air, in m³ di aria inquinata; Human toxicity water, in m³ di acqua inquinata; Human toxicity soil, in m³ di suolo inquinato; Bulk waste in kg; Hazardous waste in kg; Radioactive waste in kg; Slags\ashes in kg; Resources in kg; Ozone formation (human) in pers ppm all'ora; Ozone formation (vegetation) in m² ppm all'ora.

L'impatto potenziale calcolato viene assunto normalizzato in persone-equivalenti, mentre il valore di riferimento è dato dall'ammontare degli impatti e dal consumo di risorse generati in un anno e attribuibile ad una persona equivalente. Per esempio per l'effetto serra si prende in considerazione il valore di concentrazione di CO₂ equivalente causato dal sistema indagato e lo si divide per la media annua delle emissioni di CO₂ per abitante della Terra.

5.2 differenti mix energetici

Altro aspetto caratterizzante di questo studio è il differente mix energetico che caratterizza le diverse località scelte come riferimento, ovvero come lo stato o la regione dove sono collocate produce l'energia elettrica che viene distribuita dalla rete. Nel caso di Italia, Spagna e Svezia sono dati che si riferiscono all'intera nazione, mentre per Calgary e Houston si fa riferimento al mix della regione di appartenenza, l'Alberta per il Canada il Texas per gli Stati Uniti, poiché a causa della grande estensione territoriale vi sono notevoli differenze nella provenienza dell'energia elettrica, con differenti indicatori per le categorie di impatto.

Va considerato inoltre che in Italia e Spagna, non tutta l'energia resa disponibile in bassa tensione è quella convertita dalle sottostazioni di trasformazione dall'alta tensione, ma vi è una parte che proviene dall'integrazione con gli impianti fotovoltaici che producono la corrente direttamente in media o bassa tensione. Tuttavia tale valore risulta irrilevante per il nostro tipo di analisi, poiché inferiore allo 0,1%.

Tutti i dettagli fanno riferimento ai database presenti nel software SimaPro.

Italia

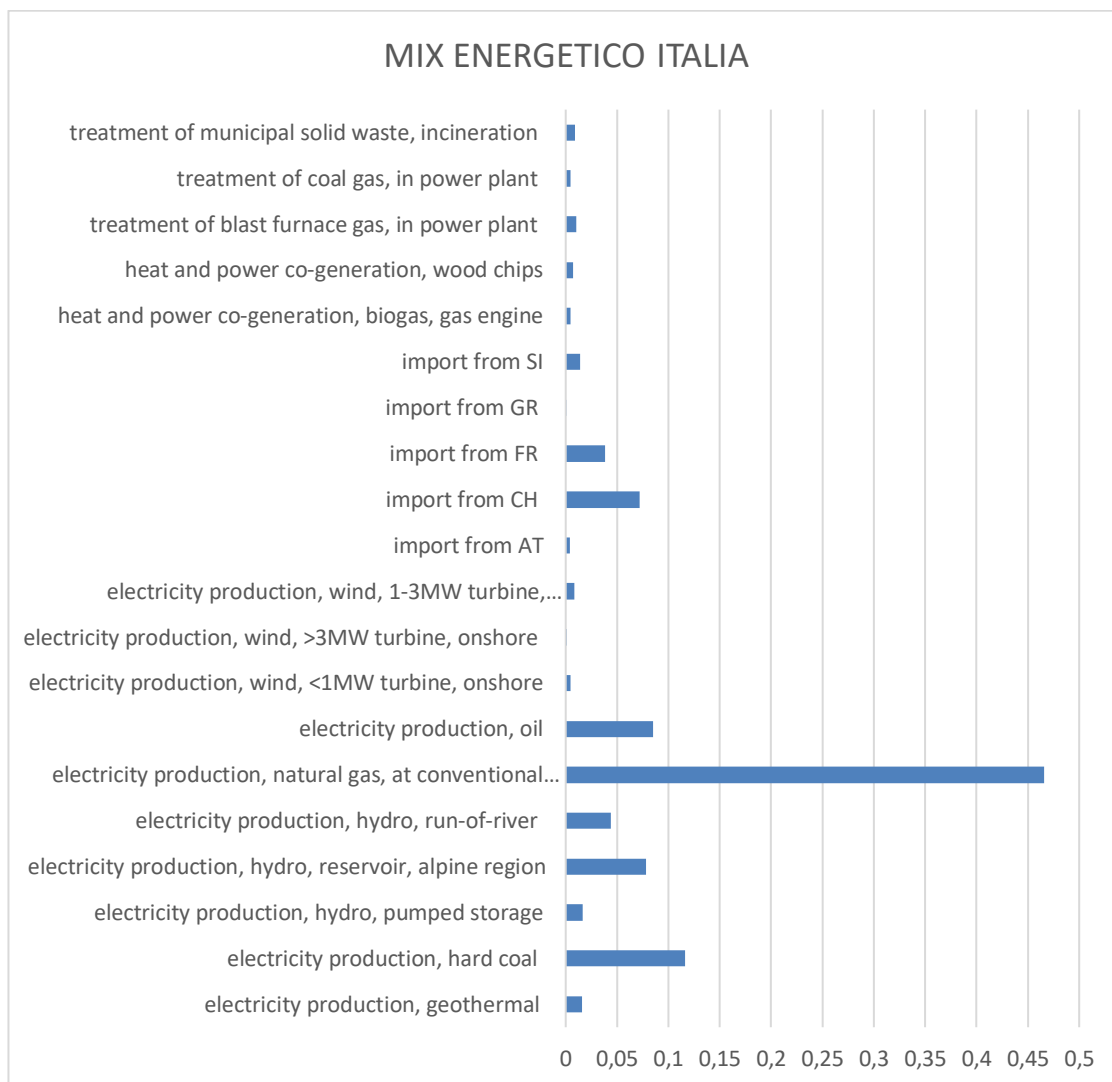


Tabella 5.2.1 Istogramma dettagliato del mix energetico per l'Italia

Come si può vedere in Tabella 5.2.1, in Italia, si produce l'87% del fabbisogno, mentre si importa il 13% da stati confinanti, Francia e Svizzera in primis.

Dell'energia prodotta entro i nostri confini vi è una netta predominanza nell'utilizzo di fonti fossili (47% gas, 12% carbone e 8% gasolio). L'idroelettrico complessivamente arriva al 14%, vi sono poi via via valori minori, facilmente visibili in Tabella.

Svezia

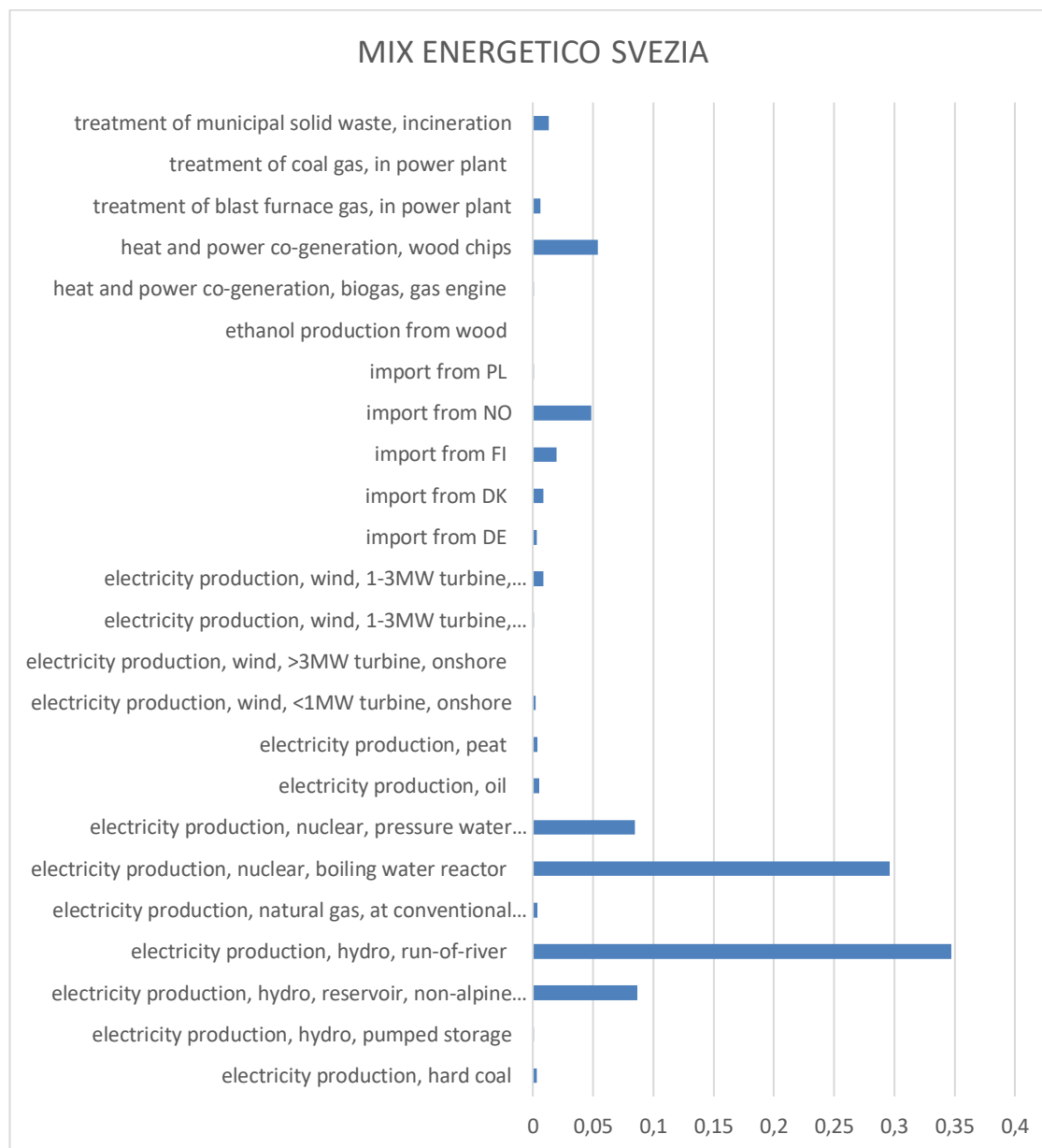


Tabella 5.2.2 Istogramma dettagliato del mix energetico per la Svezia

Come si può vedere la Svezia importa solo l'8% da stati confinanti, principalmente dalla Norvegia. La maggior parte dell'energia prodotta deriva dall'idroelettrico con il 43,5% e dal nucleare con il 38%, il restante 10% si suddivide in fonti minori, come lo sfruttamento del cippato o l'eolico.

Spagna

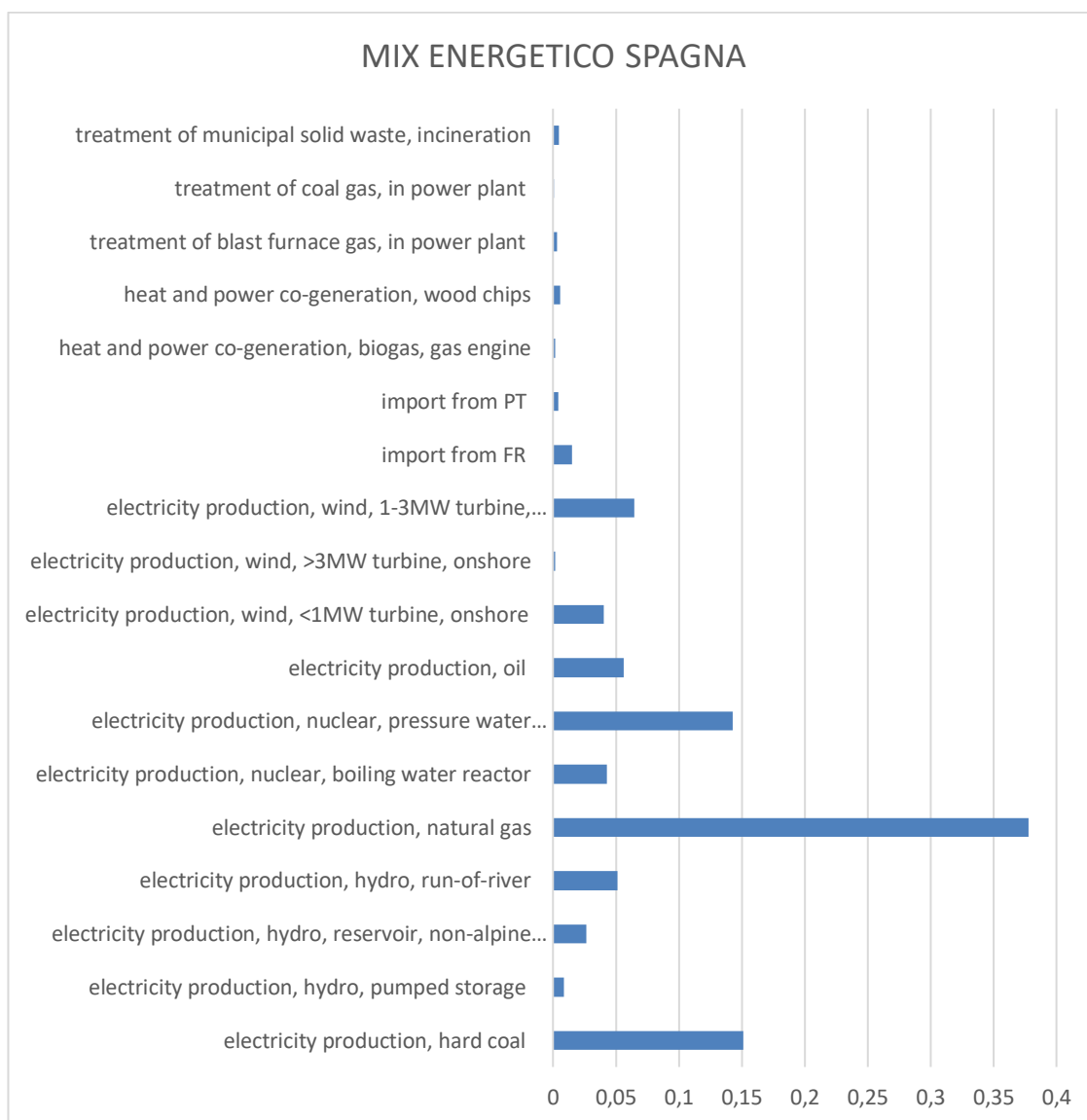


Tabella 5.2.3 Istogramma dettagliato del mix energetico per la Spagna

La Spagna importa da altre nazioni meno del 2% del suo fabbisogno, anche qui i combustibili fossili la fanno da padroni, il gas naturale è il principale combustibile utilizzato con quasi il 38%, seguito dal carbone che arriva al 15% e dal gasolio poco superiore al 5%. Si sfrutta poi il nucleare con quasi un 19%, seguito dalle fonti rinnovabili come l'eolico che supera di poco il 10% e l'idroelettrico con il 9%.

Alberta

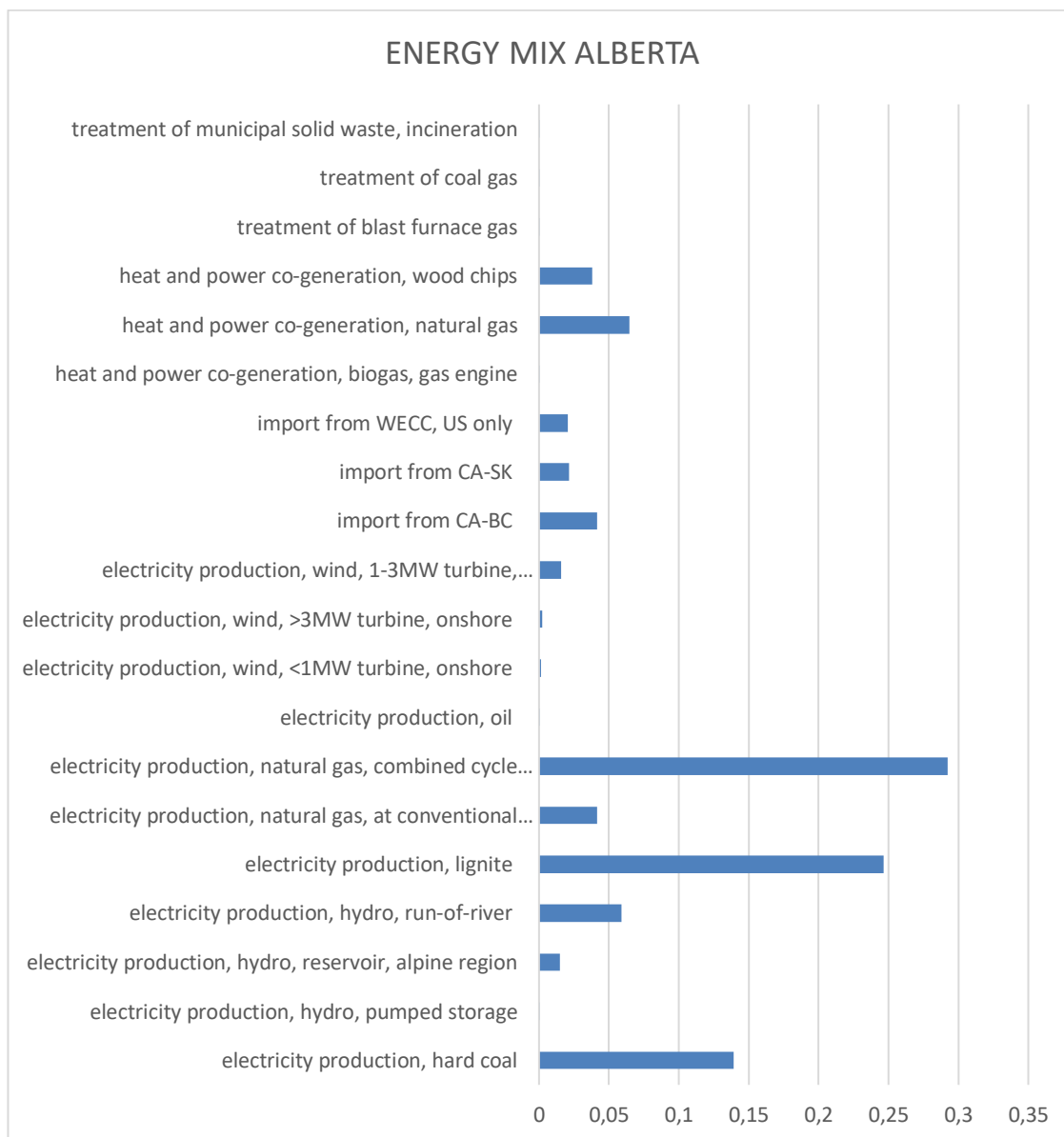


Tabella 5.2.4 Istogramma dettagliato del mix energetico per l'Alberta

Nella regione dell'Alberta il fabbisogno elettrico è principalmente soddisfatto dal gas naturale che supera complessivamente il 33%, seguito dalla lignite con il 25% e carbone con il 14%.

Questa regione del Canada sfrutta l'idroelettrico per meno del 7% e importa una discreta quantità da regioni confinanti e dagli Stati Uniti, per un valore complessivo superiore all'8%.

Texas

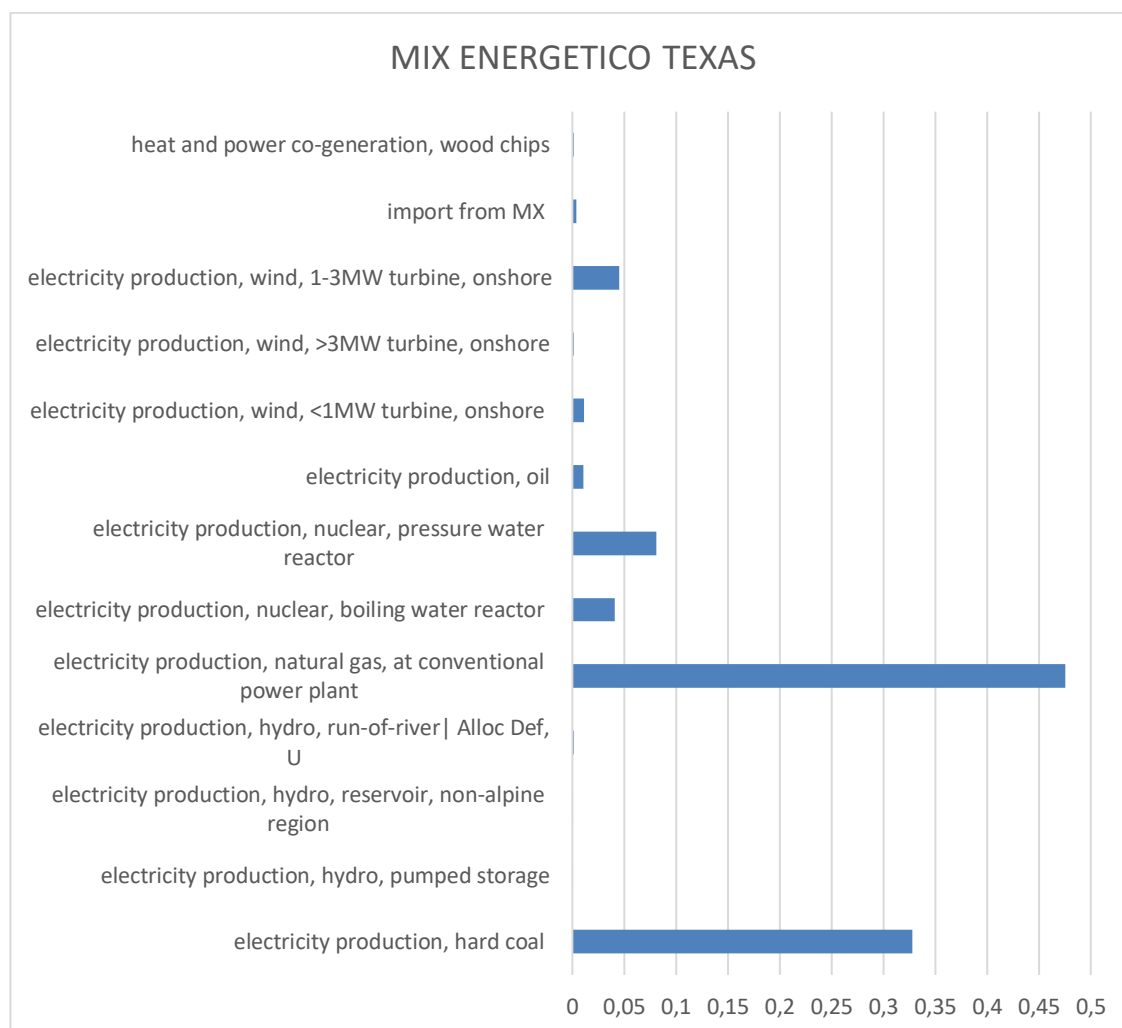


Tabella 5.2.5 Istogramma dettagliato del mix energetico per il Texas

Il Mix energetico del Texas è uno dei meno vari di quelli che abbiamo analizzato, è costituito per il 47,5% del fabbisogno dal gas naturale, seguito dal 33% del carbone e il 12,3% dal nucleare, tutte le altre fonti energetiche sommate tra loro non raggiungono l'8% del fabbisogno complessivo.

5.2.1 Valori finali di input in SimaPro

Prima di entrare nel dettaglio dell'analisi con il software per il calcolo degli impatti si riportano i valori dei consumi elettrici previsti per la fase d'uso dell'edificio. Abbiamo considerato 70 anni il periodo di vita dell'abitazione, quindi tutti i valori annuali sono stati moltiplicati per questo fattore e successivamente rapportati all'unità funzionale della superficie complessiva calpestabile (367 metri quadri). I risultati ottenuti sono riportati qui sotto in Tabella 5.2.1.1 divisi per categorie.

TABELLA CONSUMI ELETTRICI FASE D'USO						
	RISCALDAMENTO	CONDIZIONAMENTO	VENTILAZIONE MECCANICA	ACS	USI ELETTRICI OBBLIGATI	USO CUCINA
PADOVA	694,18	1898,17	192,26	131,14	818,69	159,92
TARVISO	1781,91	0,00	192,26	129,53	818,69	159,92
CATANIA	16,29	1926,29	192,26	66,54	818,69	159,92
OSTERSUND	2782,69	0,00	192,26	262,14	818,69	159,92
SIVIGLIA	0,94	2470,45	192,26	43,67	818,69	159,92
CALGARY	1403,81	0,00	192,26	150,79	818,69	159,92
HOUSTON	2,08	3724,40	192,26	78,21	818,69	159,92

Tabella 5.2.1.1 Consumi previsti per la fase d'uso dell'edificio inseriti in SimaPro

È importante specificare come i valori di input non includano i benefici ed il risparmio nel prelievo di energia elettrica dalla rete legati alla presenza di un impianto fotovoltaico poiché non sarebbe (come anticipato già in precedenza) corretto utilizzare i valori relativi all'80% dell'energia prodotta dai moduli fotovoltaici. Inoltre se così facessimo sarebbe assai più complicato andare a confrontare i diversi impatti causati dai diversi mix energetici presi in considerazione, poiché tutti gli usi elettrici ed eccezione di riscaldamento e condizionamento varierebbero a seconda delle percentuali individuate per la copertura del fotovoltaico. Svilupperò quindi di volta in volta un'analisi mirata alla sola fase d'uso, per commentare i vantaggi nell'integrazione con l'impianto fotovoltaico.

Per la valutazione degli impatti sono stati utilizzati il metodo Cumulative Energy Demand (CED) nella versione 1.08, il metodo Eco-indicator 99 nella versione "Hierarchist perspective" (H) ed il metodo EDIP 2003 nella versione 1.04.

5.3 Anlisi degli impatti

Procedo ora con l'analisi per le diverse località per entrare nel dettaglio dell'analisi degli impatti, partendo dall'intero ciclo vita dell'edificio ed addentrandomi poi nella suddivisione dei vari componenti dell'edificio, considerando le differenze che si ottengono. Nell'analisi per la città di Tarvisio, essendo il primo caso studio, mi soffermerò anche nel dettaglio delle strutture portanti, degli impianti e del fine vita, senza poi ripetere questa analisi per ogni località poichè tale processo non comporta differenze in base alla collocazione geografica. Quello che invece sarà considerato con la massima attenzione sarà il peso della fase d'uso in relazione a quella di pre uso, in base a quanta energia elettrica viene prelevata dalla rete. Sostanziali differenze si evidenzieranno in base al mix energetico delle diverse nazioni, che andranno a modificare i valori nelle diverse categorie d'impatto.

5.3.1 Tarvisio

5.3.1.1 Metodo Cumulative Energy Demand (CED)

Inizio riportando subito il grafico ad albero dell'intero processo di vita dell'edificio, come si può vedere la fase di pre uso incide per il 50,4%, poco meno della fase d'uso che invece impatta con il 54,3% del totale. Il processo di fine vita ha un segno negativo in quanto questo processo va ad evitare un impatto che ci sarebbe stato senza sfruttare i vantaggi di una demolizione selettiva e del riuso di buona parte dei materiali costituenti l'edificio studiato.

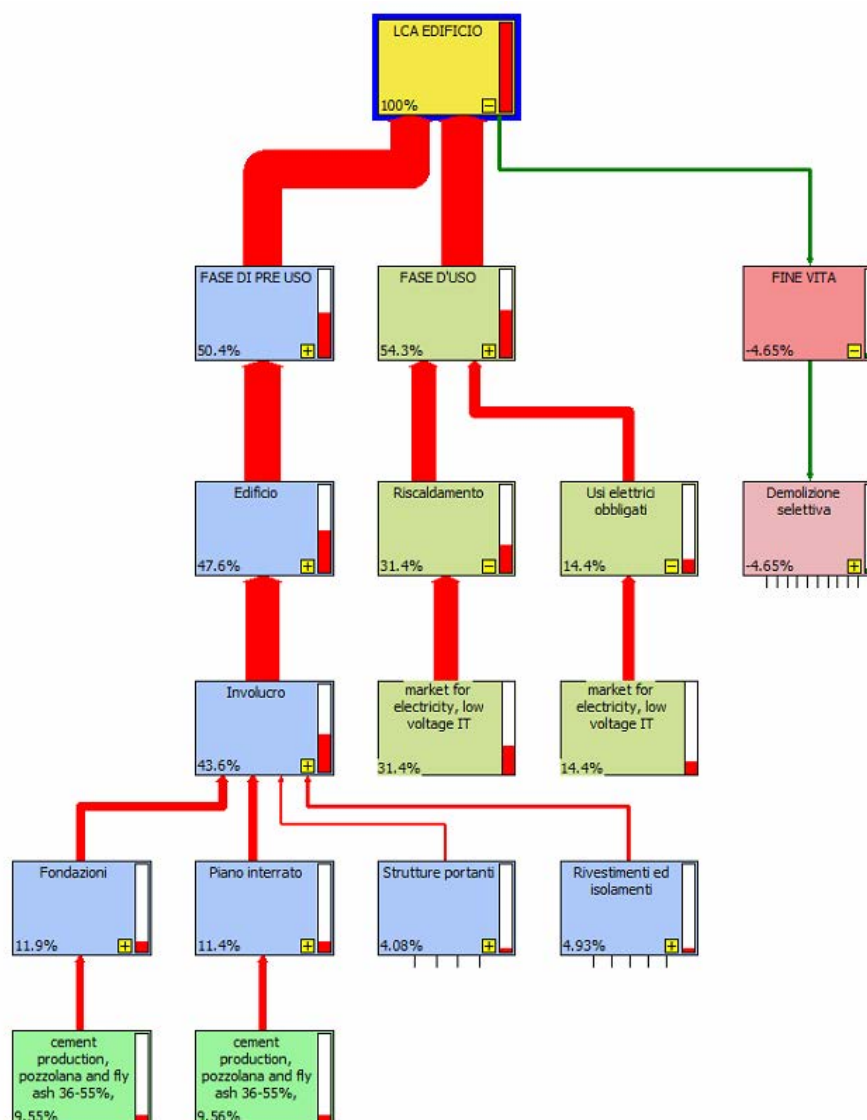


Figura 5.3.1.1 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 4%, Tarvisio

È importante evidenziare come nonostante ci si trovi in una località con un clima invernale abbastanza rigido, la fase d'uso dell'abitazione, grazie all'elevata efficienza degli impianti, incida all'incirca come il processo di edificazione. In termini di energia primaria alla fase di pre uso è associato un consumo di energia primaria pari a 113,28 MJ/m²a, alla fase d'uso un consumo energetico pari a 122,14 MJ/m²a e alla fase di fine vita un consumo energetico pari a -10,46 MJ/m²a. Per ricavare questi valori è stato sufficiente dividere per 70 il risultato emesso dal software, per riportarlo ad un valore annuale, in quanto tutto il modello dell'edificio è stato implementato basandosi sull'unità funzionale del m².

Seguendo ora in ordine logico il processo vediamo il grafico ad albero della fase di pre uso, in modo da quantificare l'impatto dell'edificio in sé rispetto al cantiere e successivamente dei singoli componenti dell'edificio.

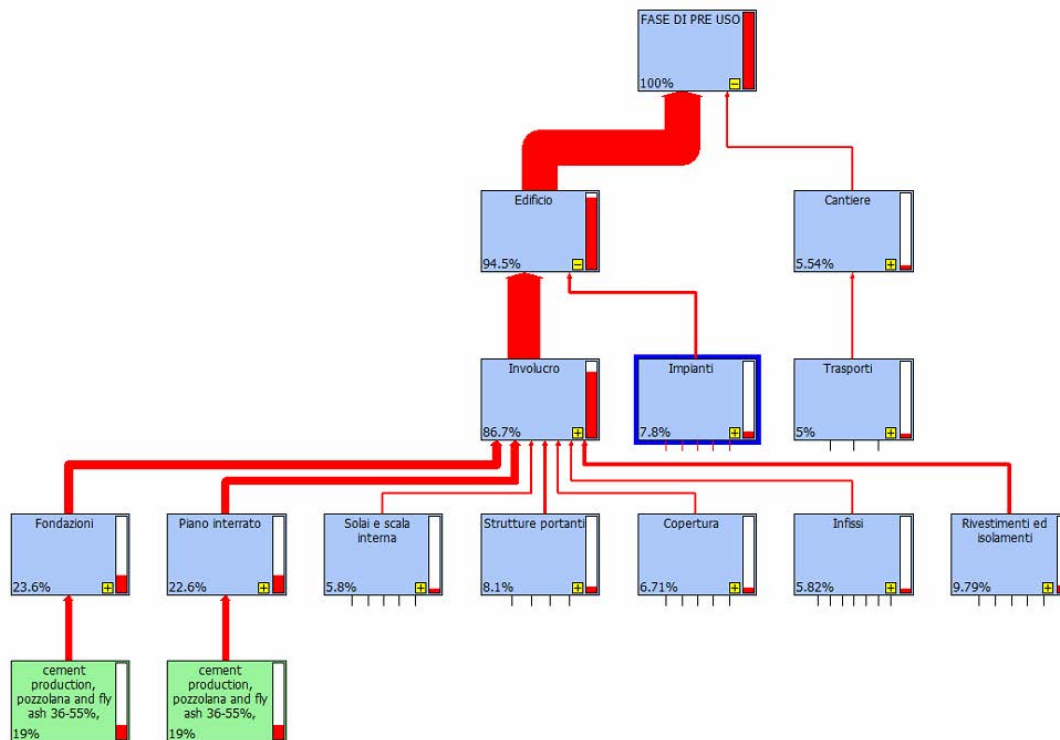


Figura 5.3.1.2 Rappresentazione ad albero della fase di pre uso analizzata con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 5%, Tarvisio

Come si può vedere il cantiere incide solo per il 5,54%, tutto il resto è a carico dell'edificio che ricopre il 94,5% del fabbisogno di energia primaria. L'edificio a sua volta è suddiviso in involucro ed impianti, analizzeremo ora nel dettaglio quanto impattano questi componenti.

L'involucro è l'elemento più impattante dell'abitazione, questo poiché le quantità di materiali utilizzate sono molto elevate rispetto quelle utilizzate per gli impianti, questo spiega la grande differenza del peso dell'involucro 91,7%, rispetto a quella degli impianti che è solo dell'8,25%.

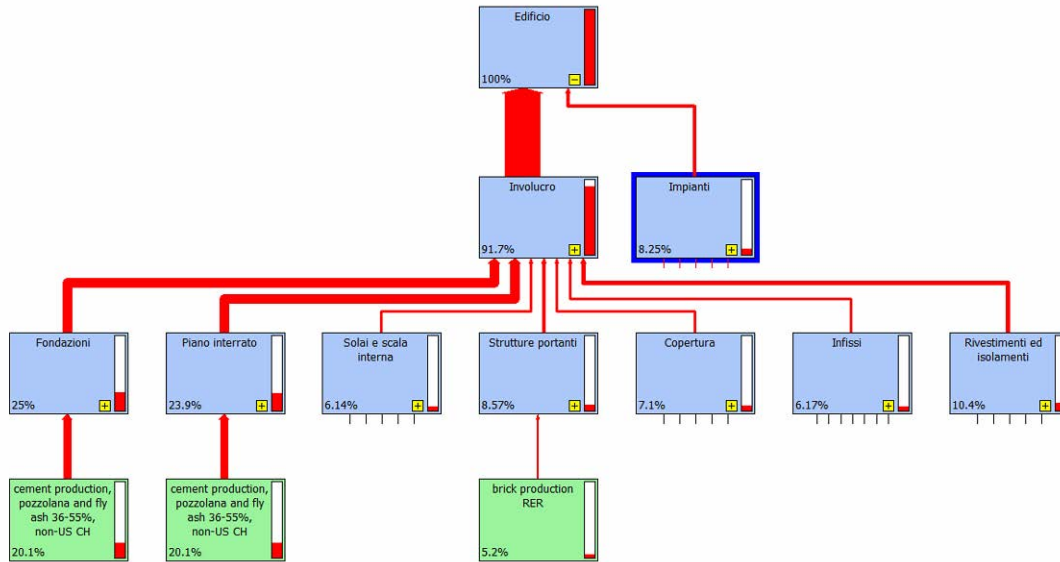


Figura 5.3.1.3 Rappresentazione ad albero dell'edificio con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 5%, Tarvisio

Questo è facilmente intuibile poiché notiamo subito scendendo verso il basso come le fondazioni e il piano interrato essendo costituiti principalmente da cemento siano altamente impattanti, combinando questi due componenti si raggiunge il 53% dell'intera struttura, mentre poi gli altri componenti si equivalgono tra loro.

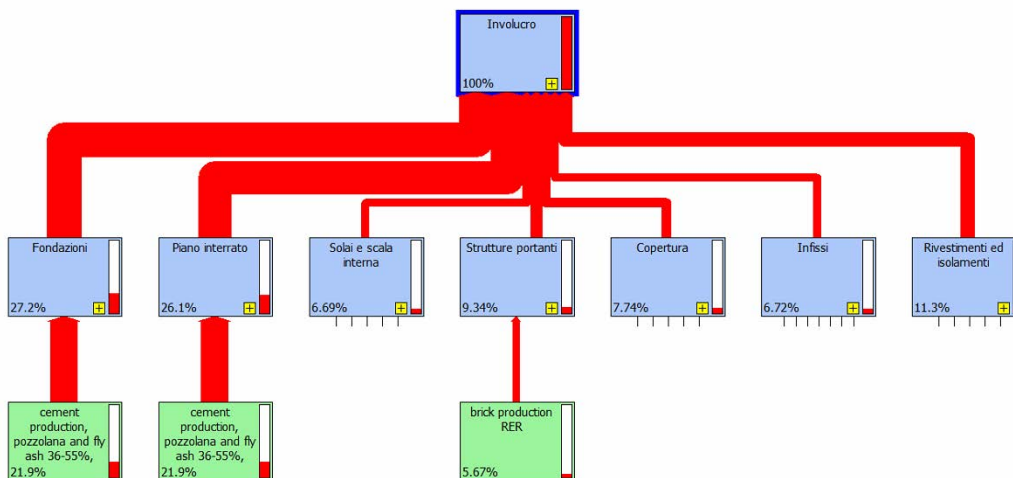
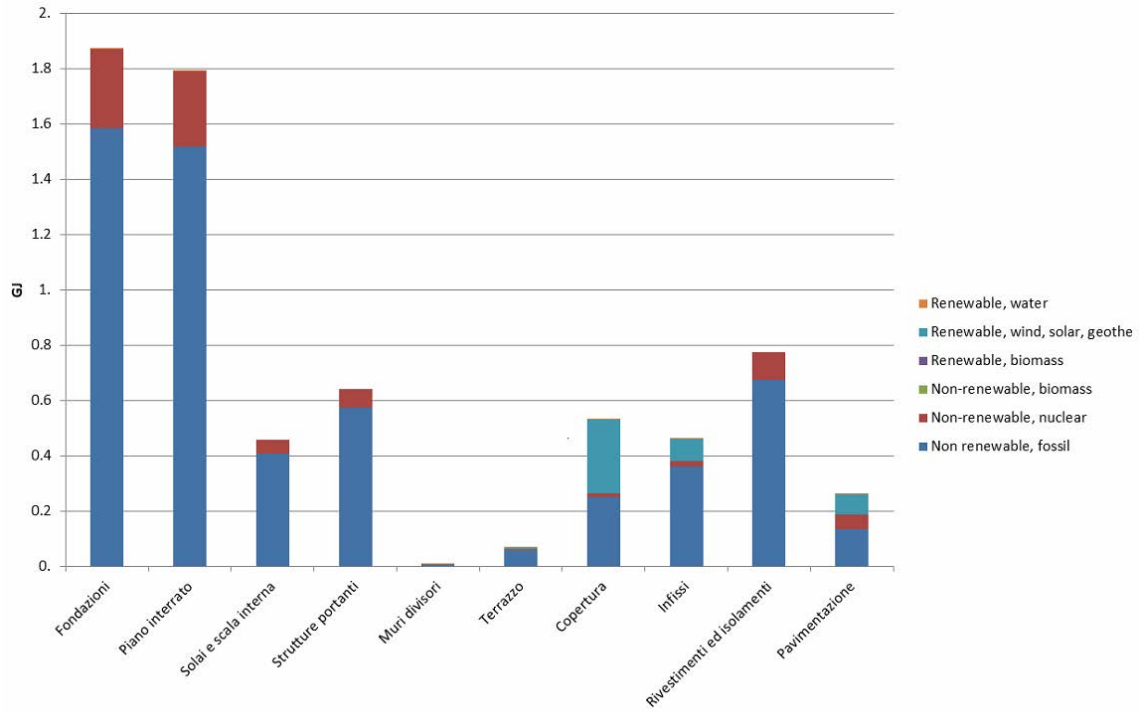


Figura 5.3.1.4 Rappresentazione ad albero dell'involucro con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 5%, Tarvisio

Evidenzio ora le quantità di energia primaria necessarie, espresse in GJ, in aggiunta all'interno di ogni colonna è possibile notare a quale fonte energetica sono attribuiti i consumi; questo dipende infatti dal processo che viene considerato dal software per la produzione dei rispettivi materiali.



Analizzando 1 p 'Involucro'; Metodo: Cumulative Energy Demand V1.08 / Cumulative energy demand / Punteggio singolo

Fig. 5.3.1.5 Analisi di contributo assembly "Involucro", metodo Cumulative Energy Demand, Tarvisio

Evidenzio ora quanto impattano i singoli materiali in termini di energia primaria, al primo posto c'è il cemento, con 3,4MJ/m², seguito dai mattoni, che necessitano solo di 0,6MJ/m², seguiti a loro volta dall'acciaio, dal rivestimento di sughero e poi dall'alluminio.

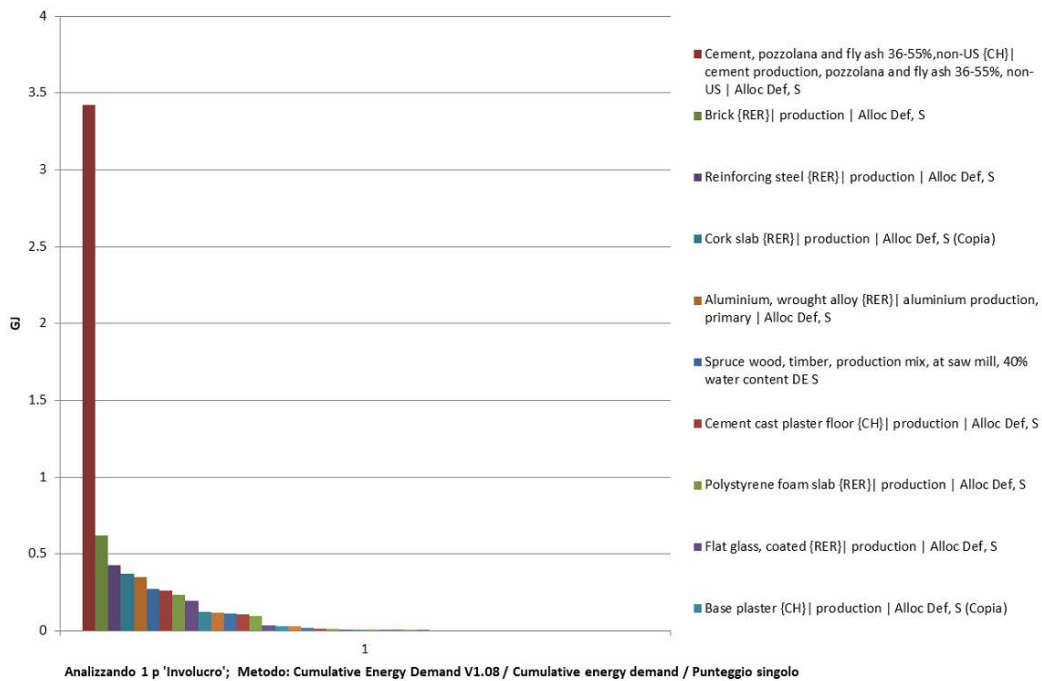


Figura 5.3.1.6 Analisi di contributo materiali involucro con metodo Cumulative Energy Demand, Tarvisio

Per terminare questa parte di analisi riporto con un grafico a torta le percentuali in massa dei singoli materiali che compongono l'intero edificio. Balza subito agli occhi la predominanza di cemento, laterizi e massetto cementizio, a riprova del motivo per il quale tali materiali sono quelli che in precedenza hanno caratterizzato maggiormente l'analisi nell'utilizzo di energia primaria.

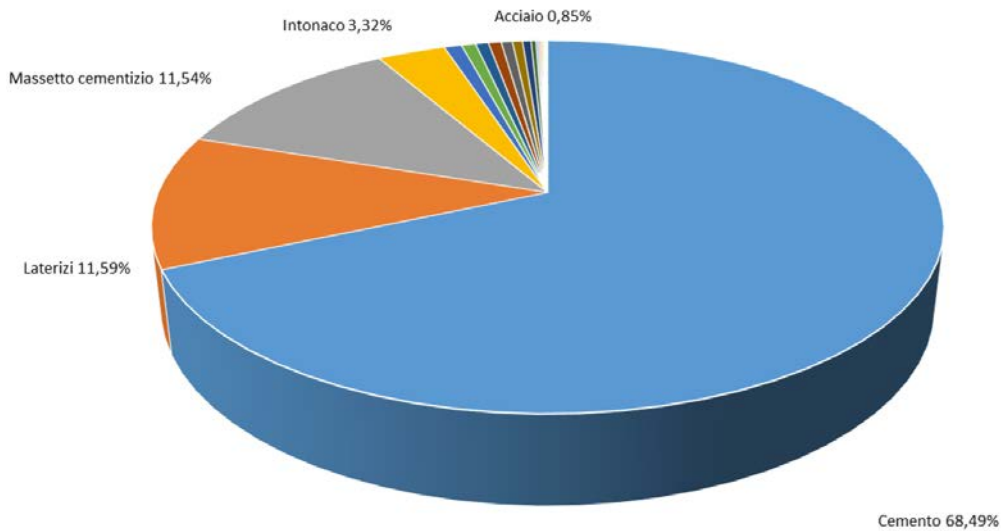


Figura 5.3.1.7 Composizione percentuale in massa dell'involucro edilizio

Per quanto riguarda gli impianti, quello fotovoltaico impatta per oltre il 50% del totale, seguito da quello idrico sanitario e dall'impianto di ventilazione. A fare la differenza è la grande energia necessaria per la realizzazione dei moduli in silicio, che richiedono specifici trattamenti altamente energivori.

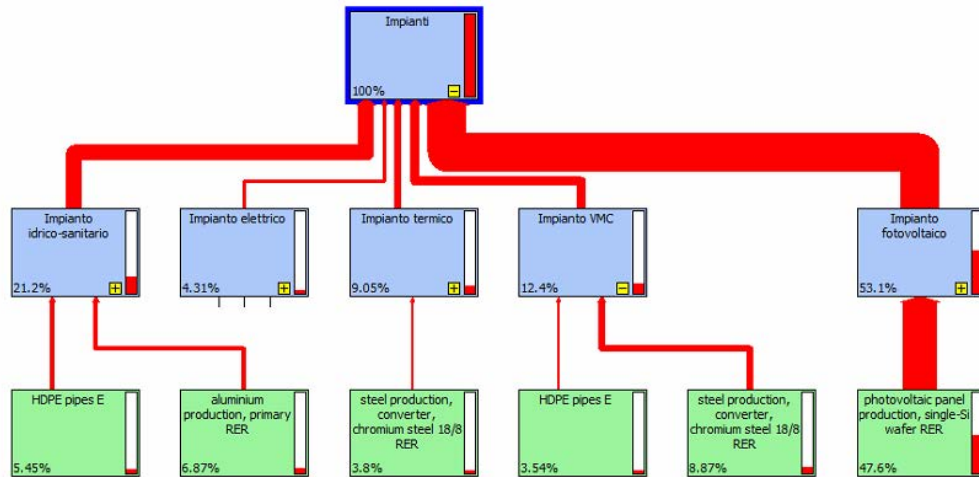


Figura 5.3.1.8 Analisi di contributo assembly "impianti" con metodo Cumulative Energy Demand, cut off 3.5%, Tarvisio

Riporto ora per completezza anche per gli impianti i grafici che suddividono le categorie di impatto dell'energia primaria e il contributo dei singoli materiali che costituiscono gli impianti.

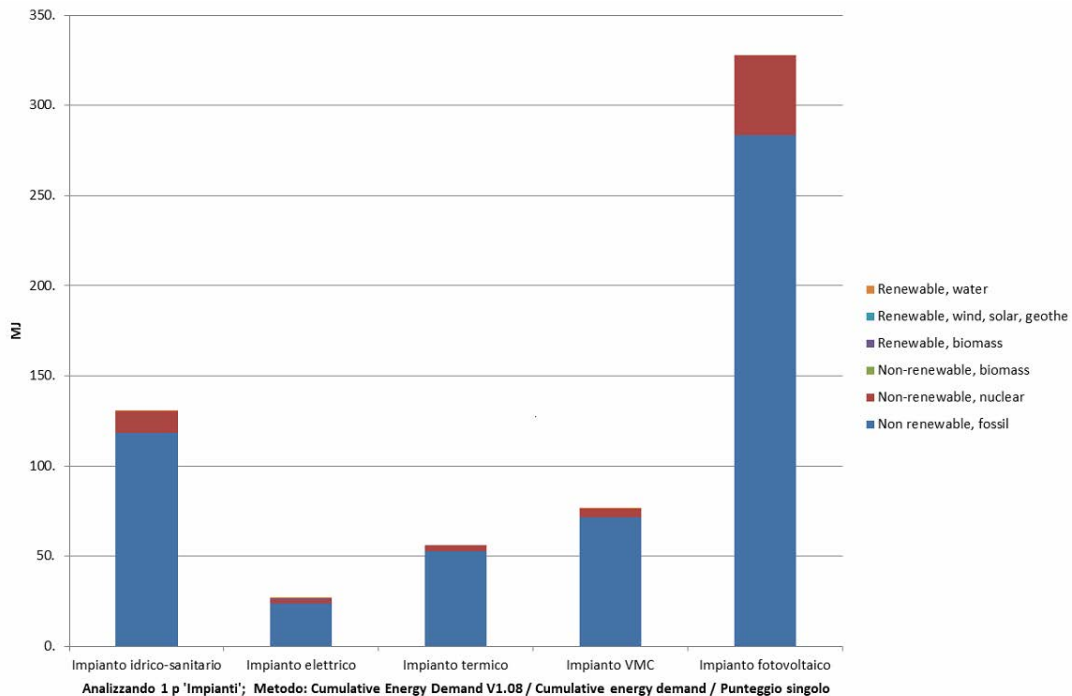


Figura 5.3.1.9 Analisi di contributo Involucro, metodo Cumulative Energy Demand, Tarvisio

Come anticipato prima sono proprio i pannelli fotovoltaici l'elemento che richiede il maggior dispendio energetico, seguiti da acciaio, HDPE, alluminio e dalle batterie dell'impianto fotovoltaico.

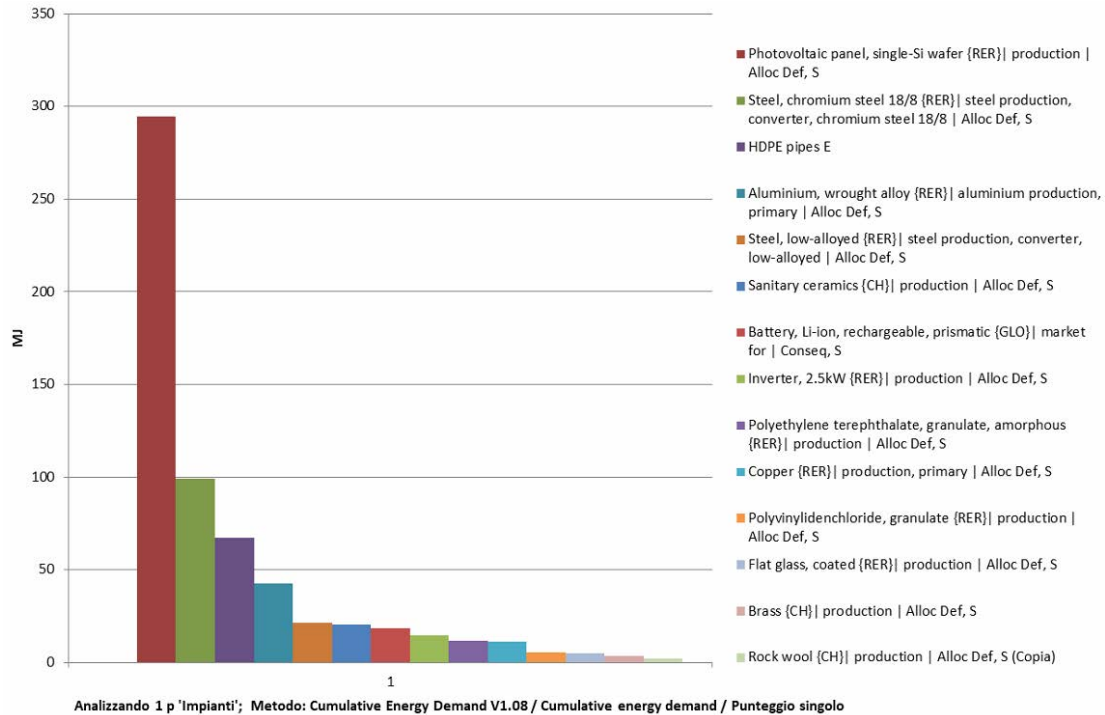


Figura 5.3.1.10 Analisi di contributo materiali involucro con metodo Cumulative Energy Demand, Tarvisio

Concludo l'analisi col metodo CED evidenziando le percentuali dei consumi della sola fase d'uso. Trovandoci in un contesto alpino, nella fase d'uso il principale utilizzo di energia elettrica (unico input della fase d'uso) è per il riscaldamento, seguito dagli usi elettrici obbligati e dalla ventilazione.

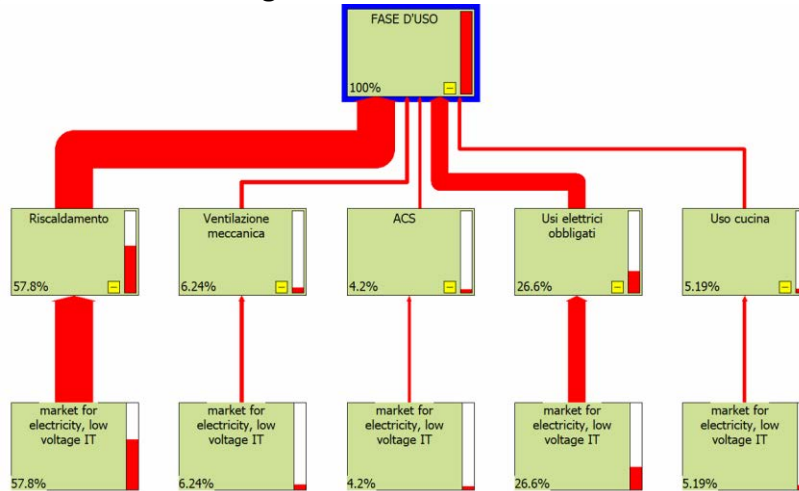


Figura 5.3.1.11 Rappresentazione ad albero della fase d'uso analizzata con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 4%, Tarvisio

Prima di passare all'analisi del fine vita mi preme analizzare quale sarebbe stata la situazione considerando l'apporto dell'energia elettrica ottenuta dall'impianto fotovoltaico, che inizialmente non ho considerato per poter analizzare nel dettaglio le differenze a carico del mix energetico di riferimento. La percentuale di copertura dell'impianto fotovoltaico per la città di Tarvisio era stimata del 64% circa, considerando che il riscaldamento nel mese invernale è il principale responsabile dei consumi, in questa stagione l'apporto ridotto della radiazione solare non è in grado di soddisfare i picchi di richiesta, tanto più che si verificano durante le ore notturne. Ho considerato quindi il fattore di copertura ridotto del 20% circa, con un valore finale del 45%, inserendo per la fase d'uso tutti i consumi rapportati a questo coefficiente. Con il metodo CED, rispetto ai risultati ottenuti si è registrato un aumento del peso della fase di pre uso dal 50,4% al 66,7%, con la fase d'uso che è scesa al 39,5% dal 54,3%. Di conseguenza i benefici del fine vita con la demolizione selettiva hanno acquisito importanza in termini percentuali dal 4,65% al 6,16%, dato il calo dell'energia primaria complessivamente necessaria.

Come si può vedere Figura 5.3.1.12 per la prima volta troviamo una predominanza di frecce verdi nella rappresentazione ad albero, questo perché sono evidenziati dei processi che evitano l'uso di energia primaria grazie alla demolizione selettiva.

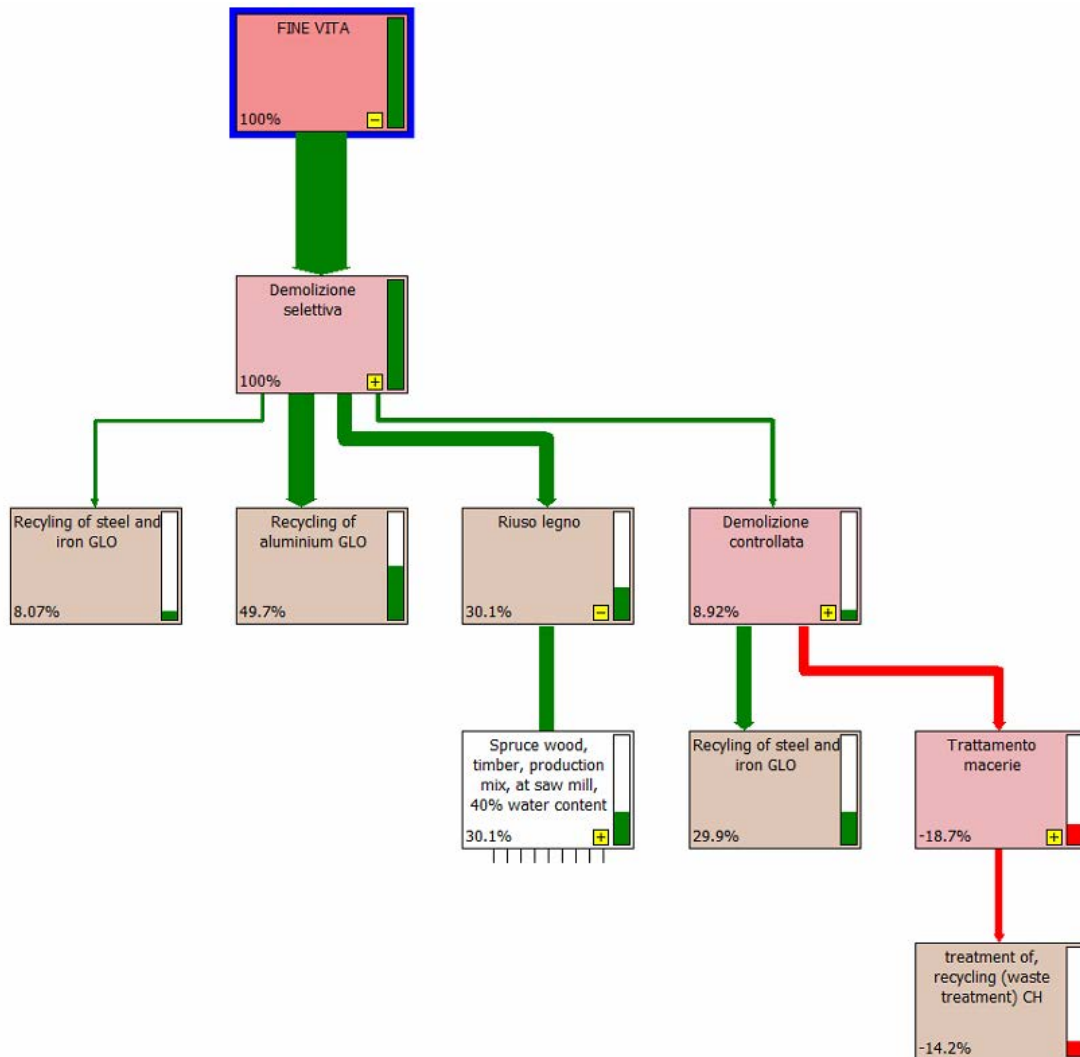


Figura 5.3.1.12 Rappresentazione ad albero della fase di fine vita analizzata con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 8%, Tarvisio

5.3.1.2 Metodo Eco-indicator 99 (H)

La fase di pre uso contribuisce per il 63,7% al danno complessivo, la fase d'uso per il 37,4% e la fase di fine vita per il -1,05%. Nella fase d'uso gli impatti maggiori sul ciclo di vita sono associati al riscaldamento, seguito dai consumi elettrici che però incidono meno della metà.

Con riferimento all'intero ciclo di vita, nella fase di pre uso l'impatto maggiore è causato dall'edificio (60.8%) ed in particolare dall'involucro (50%). La fase di costruzione (che comprende anche il trasporto dei materiali) incide solo per il 5% sul danno complessivo.

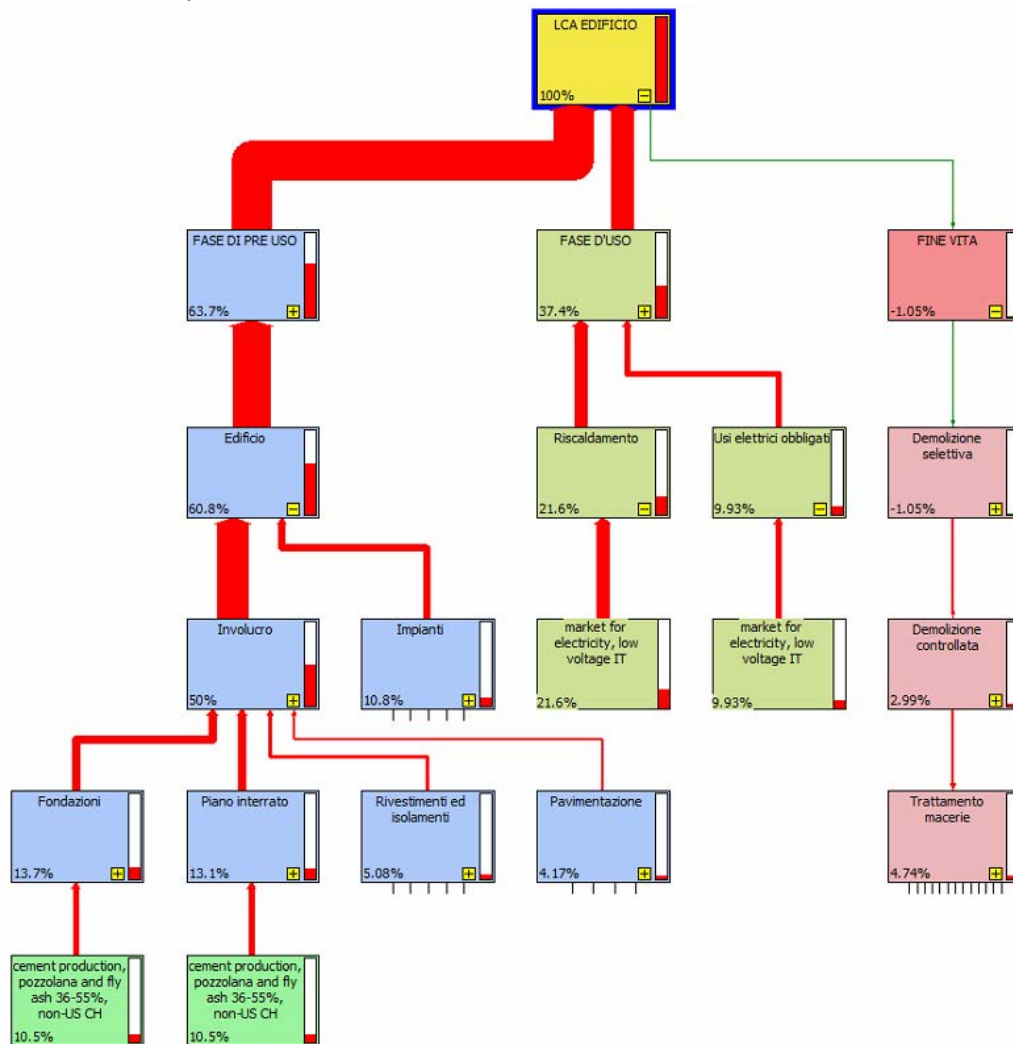


Figura 5.3.1.13 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Eco-indicator 99; Cut-off 4%, Tarvisio

Si riportano di seguito i risultati relativi alla fase di caratterizzazione, suddivisi per categoria di impatto, espressi sia nelle rispettive unità di misura che, nella seconda tabella, in termini percentuali. In figura 5.1.1.13 i risultati percentuali sono riportati in un istogramma che rende immediata la lettura. Come si può notare in tutte le categorie predomina la fase di pre uso, ad eccezione di “fossil fuels”, che è più impattante nella fase d’uso, dato il suo alto utilizzo per produzione di energia elettrica. La fase di pre uso è nettamente più impattante nelle categorie “minerals” con il 95.4% e in “land use” con l’85,9%. La fase di fine vita permette di avere un maggior risparmio in termini di “minerals”, “land use” e “resp organics” tutte con valori di circa il 6%.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	FASE DI PRE USO	FASE D'USO	FINE VITA
Carcinogens	DALY	0,0003	0,0002	9,61E-05	4,60E-06
Resp. organics	DALY	9,69E-07	7,34E-07	2,96E-07	-6,10E-08
Resp. inorganics	DALY	0,000935	0,0007	0,000256	-1,96E-05
Climate change	DALY	0,000321	0,000218	1,12E-04	-8,06E-06
Radiation	DALY	3,75E-06	1,96E-06	1,82E-06	-2,65E-08
Ozone layer	DALY	1,03E-07	6,95E-08	6,06E-08	-8,90E-10
Ecotoxicity	PAF*m2yr	541	383	114	43,9
Acidification-Eutrophication	PDF*m2yr	23,1	16,7	6,9	-0,57
Land use	PDF*m2yr	15,9	13,7	5,15	-0,912
Minerals	MJ surplus	107	102	11,5	-6,59
Fossil fuels	MJ surplus	1430	613	829	-8,81

Tabella 5.3.1.1 Analisi ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; Caratterizzazione, Tarvisio

Categoria d'impatto	FASE DI PRE USO %	FASE D'USO %	FINE VITA %
Carcinogens	70,7	28	1,34
Resp. organics	75,7	30,6	-6,29
Resp. inorganics	74,7	27,4	-2,1
Climate change	67,7	34,8	-2,51
Radiation	52,3	48,4	-0,706
Ozone layer	53,8	46,9	-0,689
Ecotoxicity	70,8	21,1	8,11
Acidification-Eutrophication	72,6	29,9	-2,49
Land use	85,9	19,8	-5,72
Minerals	95,4	10,7	-6,16
Fossil fuels	42,8	57,9	-0,615

Tabella 5.3.1.2 Analisi ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; Percentuali, Tarvisio

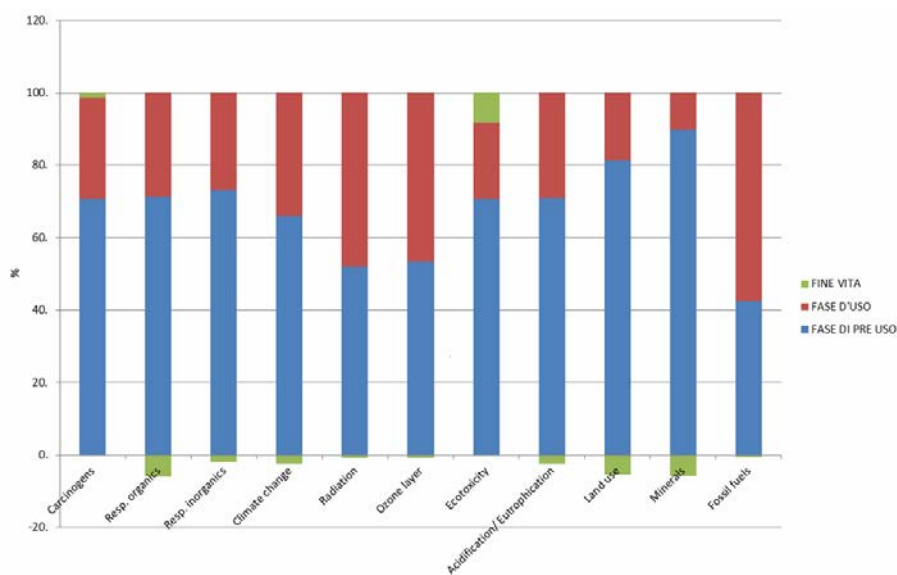


Figura 5.3.1.13 Analisi intero ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; Tarvisio

Sfruttando i punteggi che questo metodo restituisce come output, è possibile valutare in modo quantitativo sia gli apporti globali che quelli nelle rispettive categorie di impatto: appare subito evidente che la fase di pre uso con 76,8 punti supera di oltre 30 punti la fase d’uso. La maggior parte dei danni ricadono nella categoria “Human health” e in “resources” sia per quanto riguarda la fase di pre uso che quella d’uso.

Categoria di danno	Unità	Totale	FASE DI PRE USO	FASE D'USO	FINE VITA
Totale	Pt	121	76,8	45,1	-1,26
Human Health	Pt	73,2	53	21,3	-1,06
Ecosystem Quality	Pt	6,51	4,81	1,5	0,203
Resources	Pt	40,8	18,9	22,3	-0,408

Tabella 5.3.1.3 Analisi ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Tarvisio

Riporto ora tutti i risultati in un istogramma per rendere visivamente più chiara la situazione appena descritta

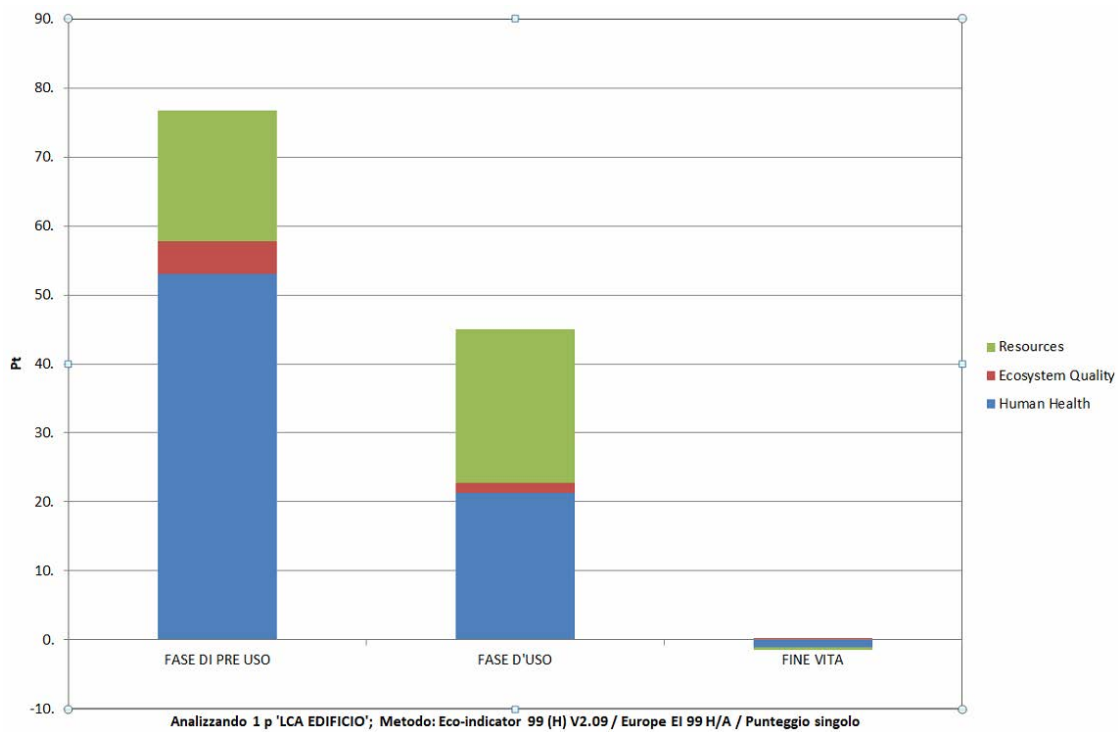
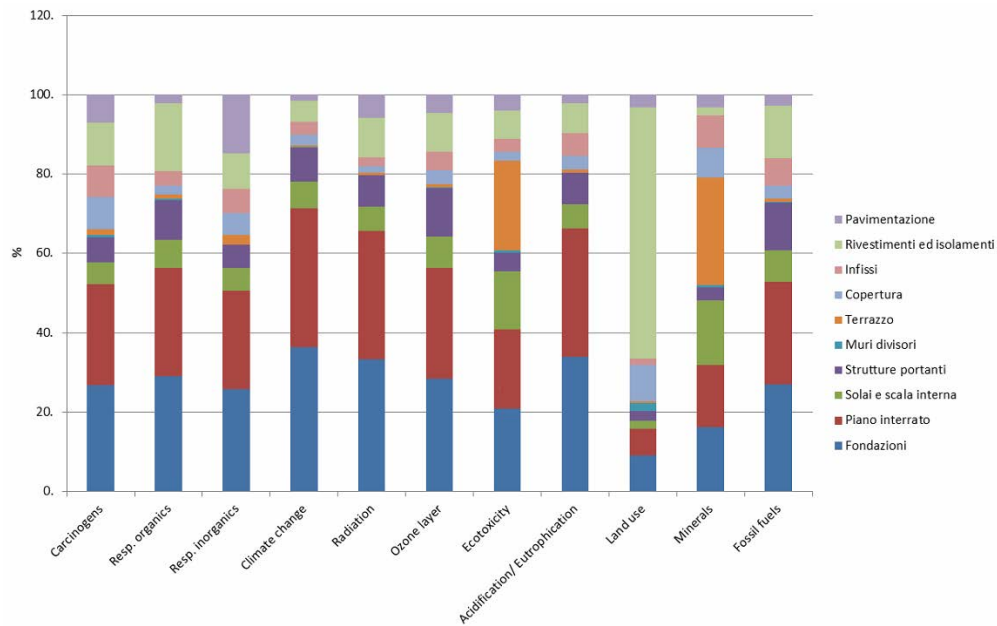


Figura 5.3.1.14 Analisi intero ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Tarvisio

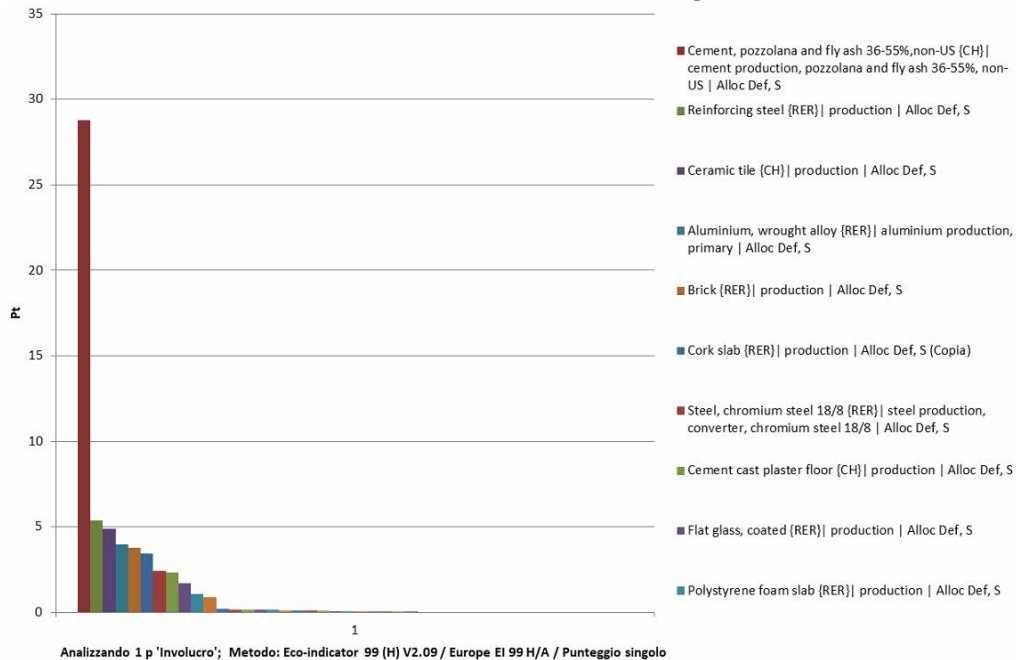
Dopo aver analizzato il processo dal punto di vista globale mi addentro nei dettagli sia per l'involucro che per gli impianti. Per quanto riguarda l'involucro vale lo stesso discorso fatto per il metodo Cumulative Energy Demand, fondazioni e piano interrato sono gli elementi che impattano maggiormente in quasi tutte le categorie, con valori che combinati raggiungono spesso il 50% del totale. Controtendenza invece è la categoria "Land use", si può notare un peso rilevante (63,3% dell'impatto totale) dei rivestimenti ed isolamenti. Altro aspetto interessante è come il terrazzo abbia generalmente un impatto trascurabile, inferiore al 3-4%, mentre nelle categorie ecotoxicity e minerals questo valore supera il 20%.



Analizzando 1 p 'Involucro'; Metodo: Eco-indicator 99 (H) V2.09 / Europe EI 99 H/A / Caratterizzazione

Figura 5.3.1.15 Analisi di contributo assembly "Involucro" con metodo Eco-indicator 99; Caratterizzazione, Tarvisio

Analizzando poi nel dettaglio i singoli materiali, anche qui con quasi 30 punti, l'elemento più impattante è il cemento, mentre qualsiasi altro materiale non influisce per più del 5% nel computo generale, tra questi troviamo, l'acciaio, la ceramica, l'alluminio, i mattoni e il rivestimento in sughero.



Analizzando 1 p 'Involucro'; Metodo: Eco-indicator 99 (H) V2.09 / Europe EI 99 H/A / Punteggio singolo

Figura 5.3.1.16 Analisi di contributo materiali involucro con metodo Eco-indicator 99, Tarvisio

Analizzando invece l'impiantistica, come per il metodo Cumulative Energy Demand prevale l'impianto fotovoltaico, che però raggiunge solo il 33,1% e risulta quindi molto meno predominante rispetto a quanto visto in precedenza. Molto più elevati sono gli apporti dati dall'impianto elettrico e quelli idro-sanitario, che superano entrambi il 20%.

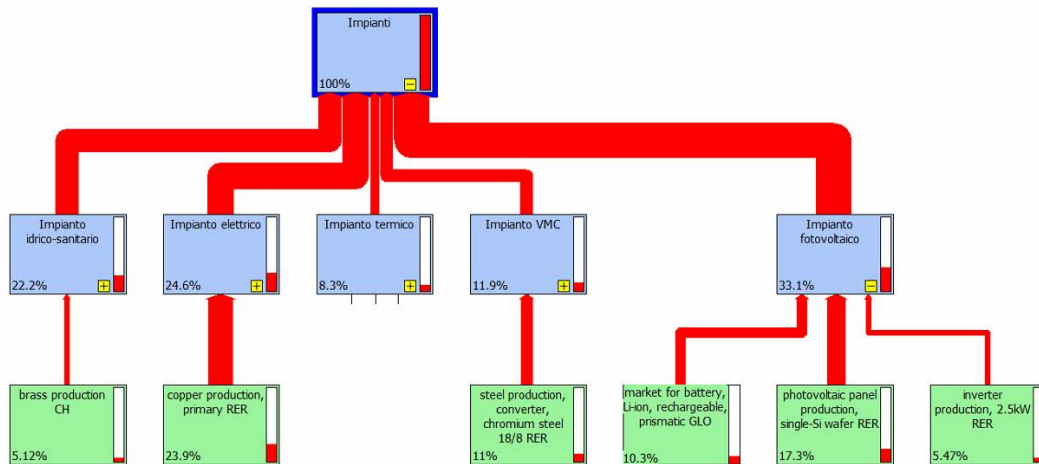


Figura 5.3.1.17 Rappresentazione ad albero dell'assembly "Impianti" analizzata con il metodo Eco-indicator 99; Cut-off 5%, Tarvisio

L'elevato incremento dell'impatto degli impianti elettrico e idro-sanitario è dovuto principalmente all'elevato impatto che ha la produzione del rame, che risulta l'elemento più impattante con quasi 3,7 punti, seguono l'acciaio e i dispositivi dell'impianto fotovoltaico.

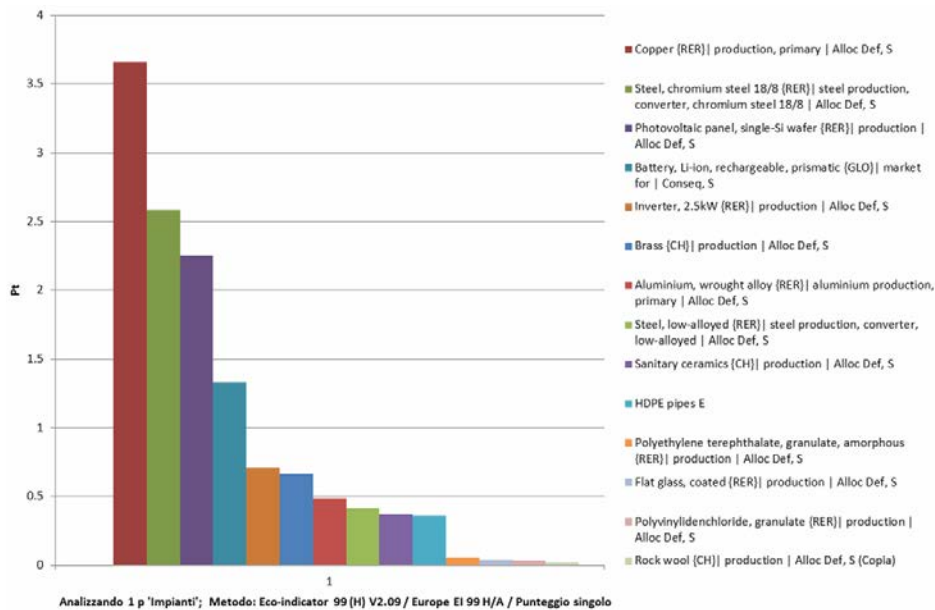


Figura 5.3.1.18 Analisi di contributo materiali impianti con metodo Eco-indicator 99, Tarvisio

Come si può vedere in tutti gli impianti la categoria su cui si impatta maggiormente è Human Health, seguita con valori molto più bassi da Resources ed Ecosystem Quality. Da questo grafico si può leggere inoltre anche l'apporto complessivo in punti dei singoli impianti: quello fotovoltaico si attesta a 4,3 punti, seguito da quello elettrico a 3,2 e quello idro sanitario a 2,9.

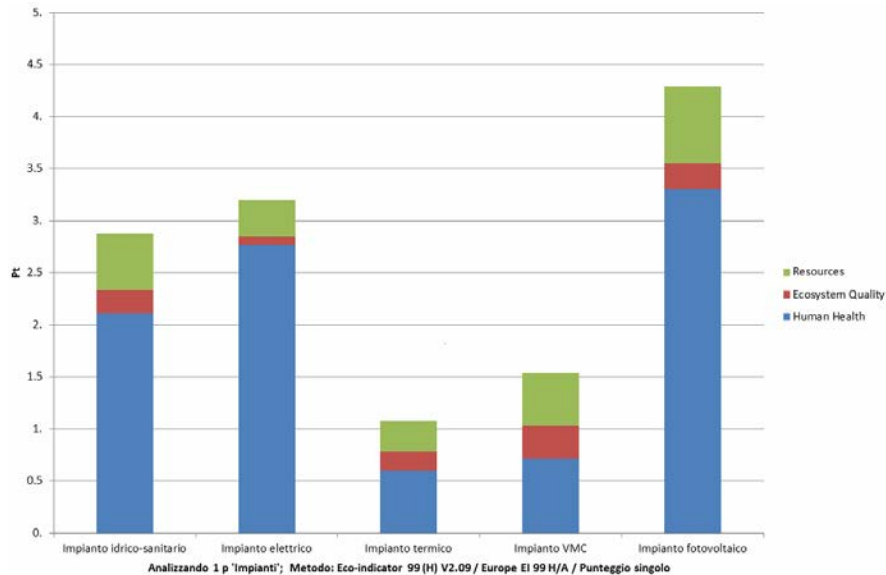


Figura 5.3.1.19 Analisi impianti con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Tarvisio

Analizzando infine la fase d'uso, evidenziamo prima il quantitativo complessivo risultante da ogni tipologia di consumo, con il riscaldamento nettamente predominante a 26 punti, seguito da usi elettrici a 12,5 e i rimanenti servizi che si equivalgono a circa 3-4 punti. Tali valori sono direttamente proporzionali al consumo elettrico inserito nel software per ogni categoria, in quanto tutti fanno riferimento allo stesso tipo di energia elettrica in bassa tensione prelevata dalla rete. Quello che sarà molto interessante è evidenziare le differenze che vi saranno quando cambierà la nazione di riferimento e di conseguenza il mix energetico, mettendo in chiaro come un diverso mix energetico possa andare ad impattare in modo diverso sulle diverse categorie fornite da questo metodo di analisi.

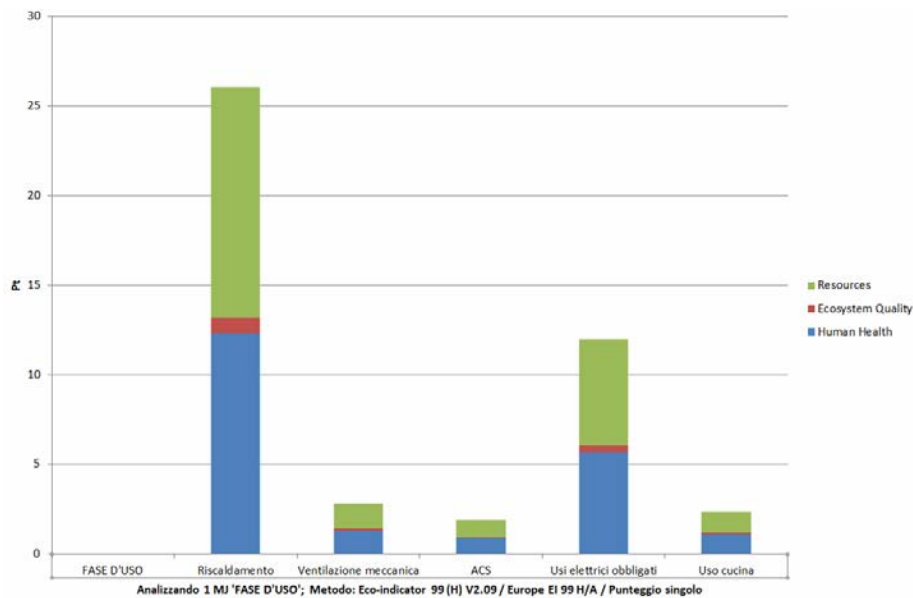


Figura 5.3.1.20 Analisi fase d'uso con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Tarvisio

Analizzando i benefici dell'impianto fotovoltaico con il metodo Eco indicator 99, si nota anche qui l'effetto positivo in termini di impatti evitati durante la fase d'uso, che passa dal 37,4% al 24,7%, mentre il peso della fase di pre uso aumenta considerevolmente dal 63,7% al 76,6%. Il fine vita in modo analogo al precedente metodo aumenta il suo beneficio, ma di solo 0,2 punti percentuali.

5.3.1.3 Metodo EDIP 2003

Introducendo la rappresentazione ad albero del ciclo di vita si può notare che a differenza degli altri metodi utilizzati fino ad ora, la fase di fine vita non incide più in modo favorevole sul bilancio ambientale complessivo. Questo è dovuto al maggior peso assegnato ai processi del fine vita come lo smaltimento in discarica, i consumi energetici e la movimentazione e il trasporto materiali. Tale fase pesa infatti per l'1,5% del danno complessivo, mentre il processo più impattante risulta essere la fase di pre uso con il 64,4%, con la fase d'uso che si ferma al 34,4%.

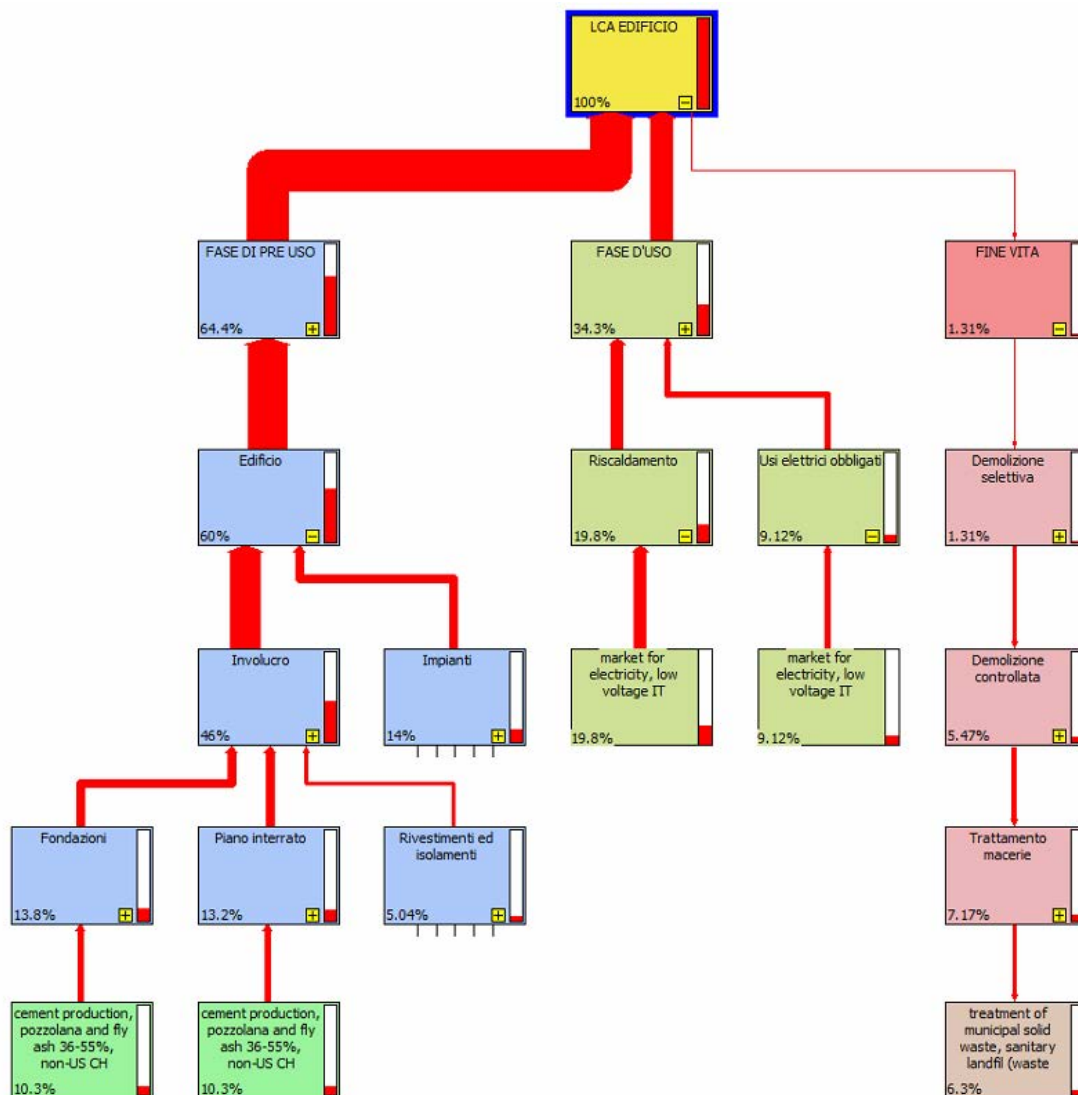


Figura 5.3.1.21 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo EDIP 2003; Cut-Off 5%, Tarvisio

Riporto ora come le diverse fasi del ciclo di vita influiscono sulle diverse categorie di impatto che vengono presentate dal modello; come si può vedere in figura 5.3.1.22 la fase di pre uso causa il maggior apporto in termini di inquinamento, eccetto che per la categoria Ecotoxicity Soil Chronic, dove predomina la fase d'uso.

Da notare come la fase di fine vita influisca in modo molto positivo per la categoria Ecotoxicity Water Chronic, per più del 20%, mentre in altre categorie ha addirittura un impatto negativo.

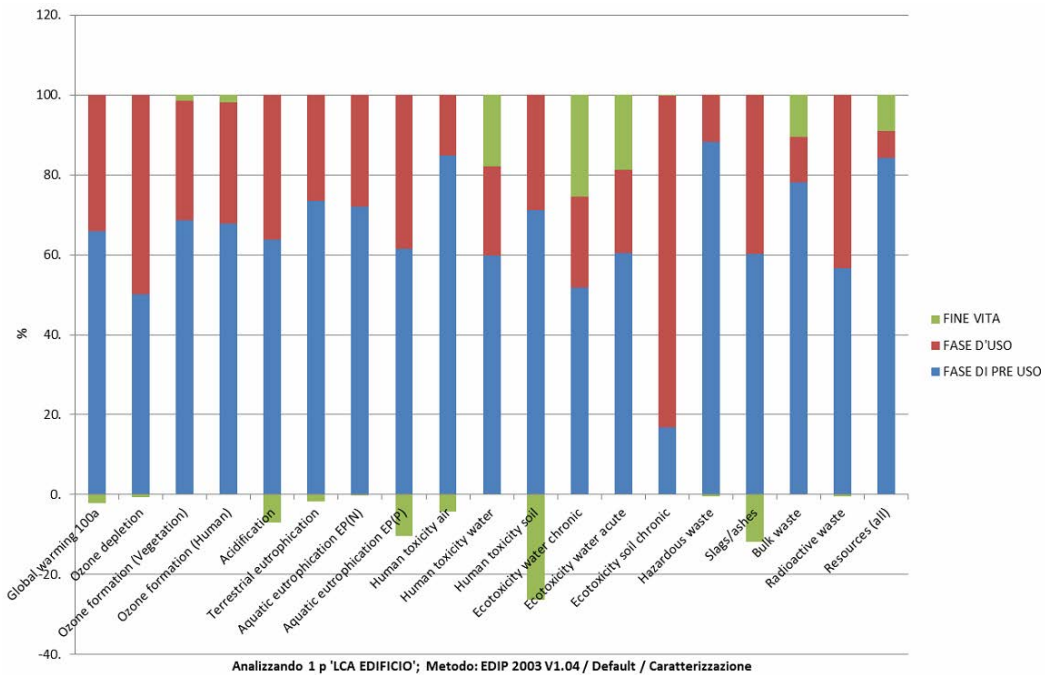


Figura 5.3.1.22 Analisi intero ciclo di vita con metodo EDIP 2003; Caratterizzazione, Tarvisio

Vado ora a pesare le singole categorie, in modo da poterle confrontare anche tra loro secondo la scala in millipunti fornita dal metodo, come si può vedere in figura 5.1.1.22 vi sono evidenti differenze. Le categorie più impattanti sono due, aquatic eutrophication e Human Toxicity Water, seguite da Ozone Depletion e Radioactive Waste. Come si può notare anche da qui è evidente che è sempre la fase di pre uso a determinare la maggior parte di questi impatti.

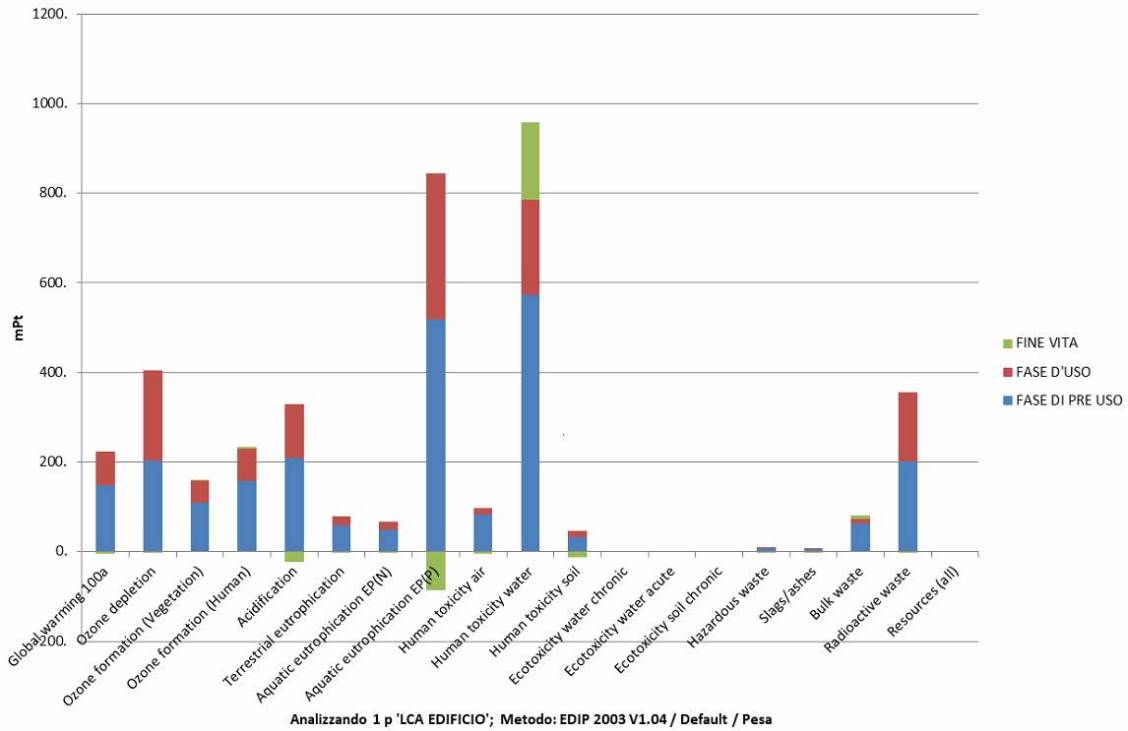


Figura 5.3.1.23 Analisi intero ciclo di vita con metodo EDIP 2003; peso, Tarvisio

Analizzando quali processi impattino di più sul ciclo vita si nota subito che, con 1,3 punti, è la produzione dell'elettricità che causa i maggiori danni, seguita dal cemento e dallo smaltimento nei processi del fine vita, che come detto in precedenza in questo metodo sono molto impattanti. Interessante notare che i dispositivi dell'impianto fotovoltaico che in precedenza erano tra i più impattanti sono in fondo alla lista.

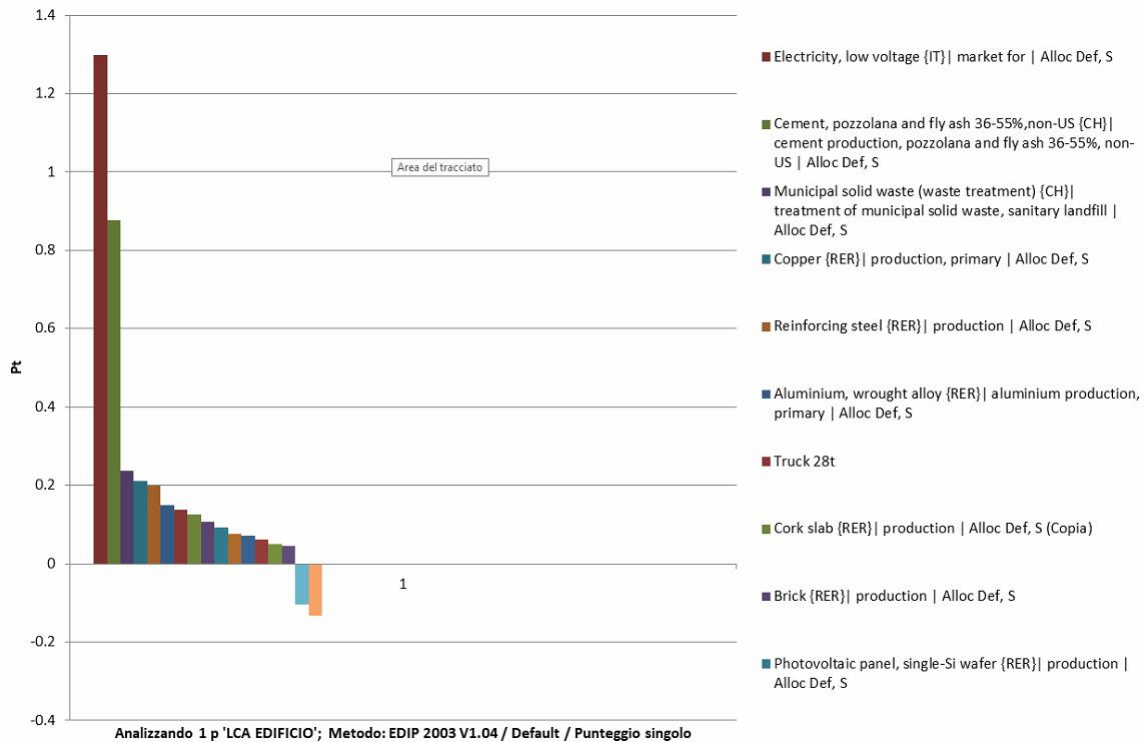


Figura 5.3.1.24 Analisi di contributo materiali intero ciclo vita con metodo EDIP 2003; Tarvisio

Andando a considerare la fase d'uso, come fatto in precedenza è interessante notare come il mix energetico influisca sulle varie categorie di impatto, dato che in questa analisi influisce solo l'energia elettrica, ovviamente è proporzionale per tutti e direttamente legato a quanto si consuma, ma noteremo come al variare del mix energetico vi saranno differenti categorie di impatto a prevalere. Per il mix energetico italiano le più impattanti sono Aquatic Eutrophication, Ozone Depletion, Human Toxicity Water e Radioactive Waste.

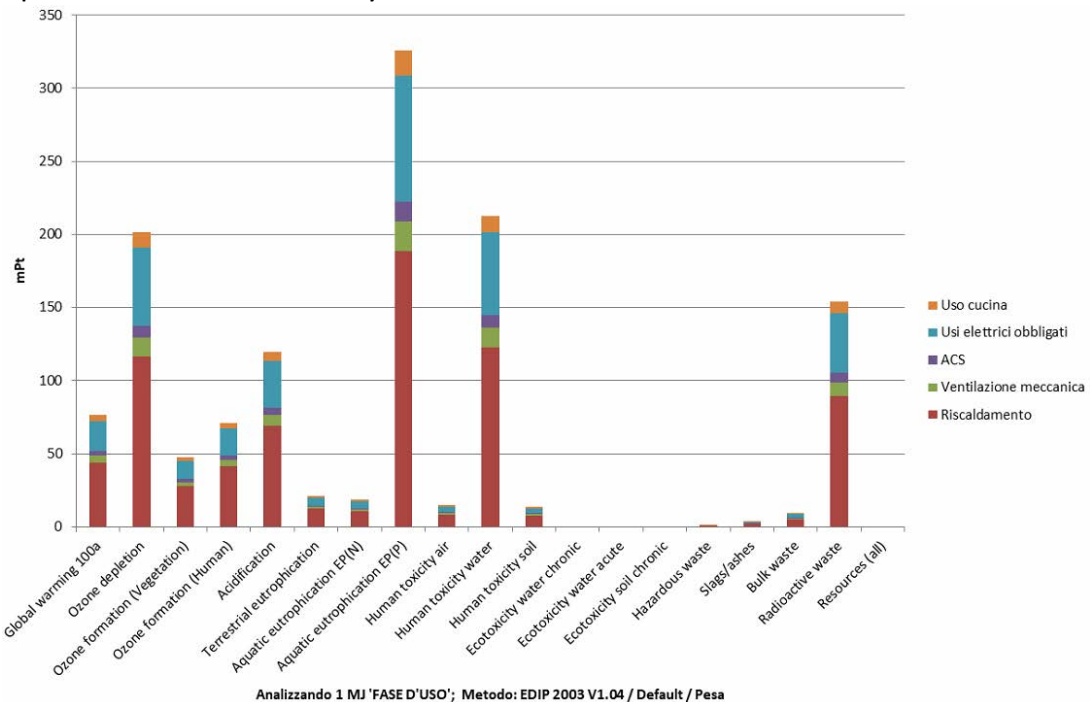


Figura 5.3.1.25 Analisi fase d'uso con metodo EDIP 2003; peso, Tarvisio

Con il metodo EDIP, l'impianto fotovoltaico fa aumentare il peso della fase di pre uso di oltre 10 punti percentuali, dal 64,4% al 76,1%, mentre la fase d'uso risulta meno impattante scendendo dal 34,4% al 22,3%. Il fine vita non venendo di fatto influenzato dalla presenza del fotovoltaico aumenta il suo impatto negativo che passa dall'1,31% al 1,54% sul valore complessivo.

5.3.2 Catania

5.3.2.1 Metodo Cumulative Energy Demand (CED)

Introducendo il grafico ad albero dell'intero processo di vita dell'edificio, come si può vedere la fase d'uso incide per il 55,1%, 6 punti percentuali più della fase di pre uso che si ferma al 49,5%. Per quanto riguarda i processi di fine vita non vi sono sostanziali differenze con quello visto per la città di Tarvisio.

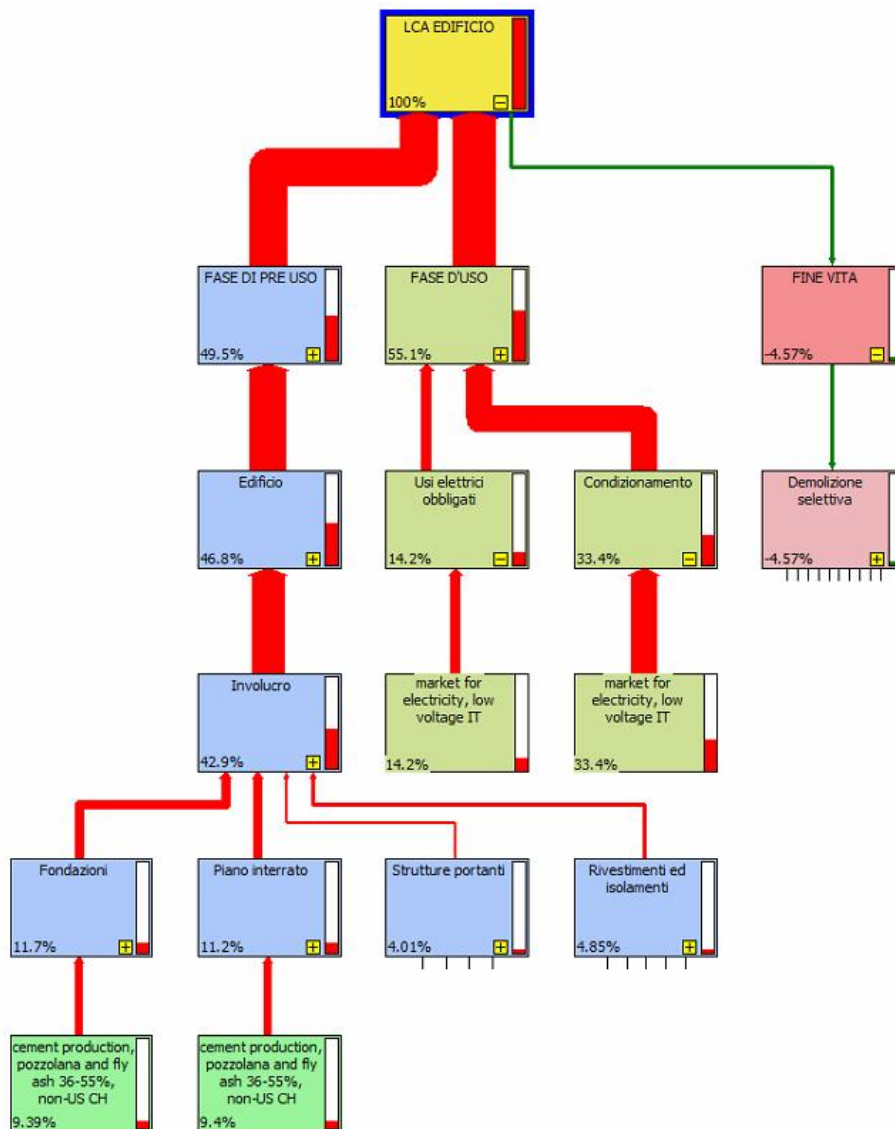


Figura 5.3.2.1 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 4%, Catania

Non riporto ulteriori specifiche per la fase di pre uso in quanto i processi sono analoghi a quelli visti per la città di Tarvisio, mentre analizzo le differenze che si presentano nella fase d'uso, essendovi delle condizioni climatiche completamente differenti.

Come si può notare subito in figura 5.3.2.2 in questo contesto il consumo principale durante la fase d'uso è dovuto al condizionamento, che impatta per il 60,6% del totale della fase di utilizzo dell'abitazione, seguito dagli usi elettrici obbligati con il 25,8%. Tutti gli altri prelievi di energia elettrica non superano il 5%. Ciò è dovuto alle temperature elevate durante i mesi invernali che rendono quasi superfluo il riscaldamento e agli elevati apporti della radiazione solare che coprono quasi il totale fabbisogno di acqua calda sanitaria.

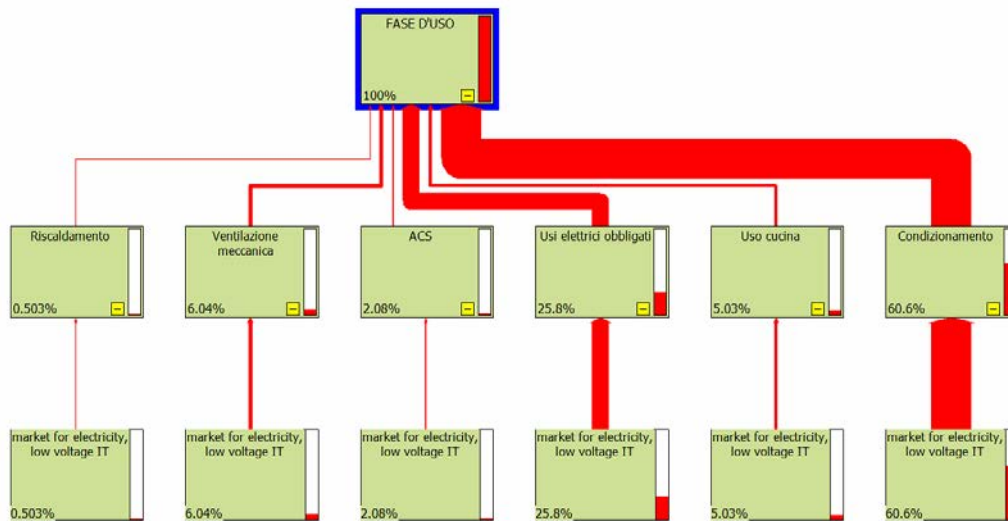


Figura 5.3.2.2 Rappresentazione ad albero della fase d'uso analizzata con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 4%, Catania

Per quanto riguarda le categorie a cui si attribuisce l'impatto il mix energetico dell'Italia caratterizza l'impatto per l'88,5% a non renewable, fossil e solo per il 11,5% a non renewable, nuclear.

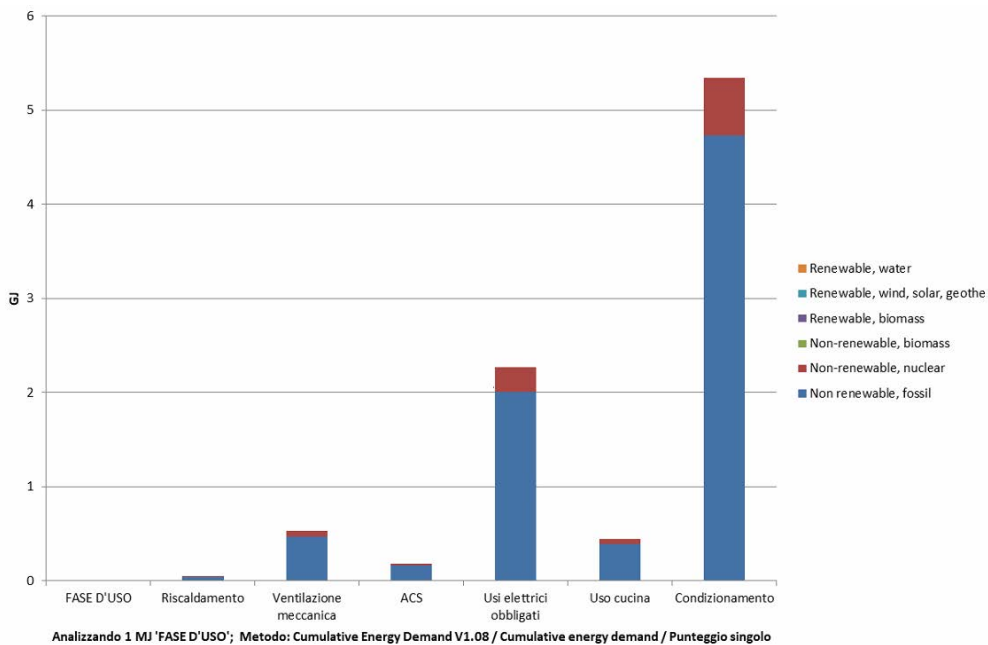


Figura 5.3.2.3 Analisi di contributo fase d'uso, metodo Cumulative Energy Demand, Catania

Tenendo in considerazione in questa località l'impianto fotovoltaico precedentemente dimensionato, il fattore di copertura rilevato era superiore all'80%. Per rendere veritiera l'analisi ho comunque deciso di diminuire di qualche punto percentuale tale coefficiente, nonostante i picchi di condizionamento (che sono i principali responsabili dei consumi nella città di Catania) avvengano durante le ore centrali della giornata nella stagione estiva, in concomitanza con i valori maggiori della radiazione solare. Il fattore finale tenuto in considerazione è del 75%, in rapporto a tale valore sono stati ridotti i consumi relativi alla fase d'uso dell'edificio. Con il metodo CED, in questo caso si è registrato un aumento del peso della fase di pre uso dal 49,5% al 80,5%, con la fase d'uso che è scesa al 29,6% dal 55,1%. Di conseguenza i benefici del fine vita con la demolizione selettiva hanno acquisito importanza in termini percentuali dal 4,57% al 7,44%, dato il calo dell'energia primaria complessivamente necessaria.

5.3.2.2 Metodo Eco-indicator 99 (H)

Analizzando l'intero ciclo di vita come era successo per Tarvisio ad impattare di più è la fase pre uso con il 62,9%, mentre la fase d'uso si ferma il 38,1%. Il percorso di fine vita incide in modo positivo per l'1,04%, come si può vedere infatti le frecce che lo caratterizzano sono di colore verde. Al di là di queste differenze iniziali tutti i dettagli dell'edificio (involucro ed impianti) sono analoghi a quelli precedenti, mentre varia come visto per il metodo Cumulative Energy Demand la fase d'uso.

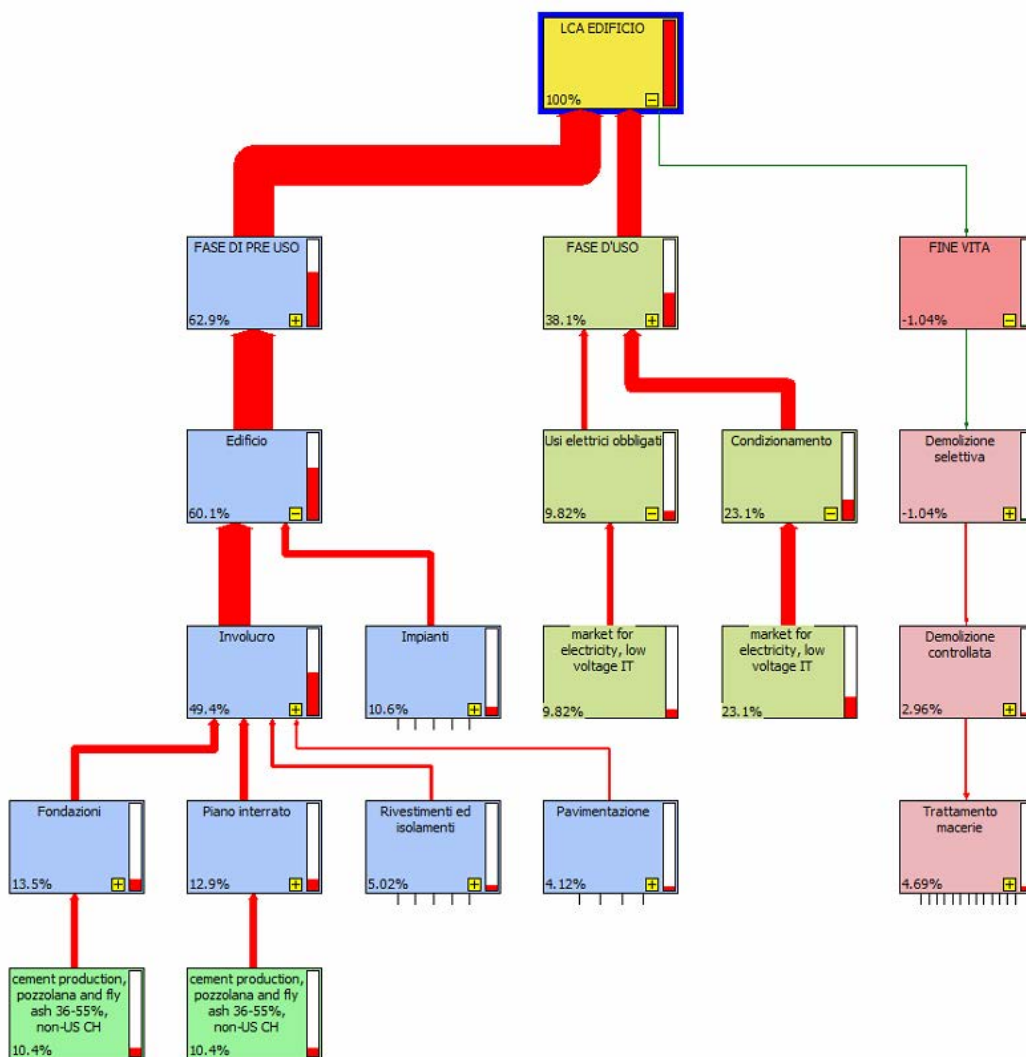


Figura 5.3.2.4 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Eco indicator 99; Cut-off 4%, Catania

Valutando coi punteggi forniti dal metodo le tre fasi di vita dell'edificio notiamo subito che la più impattante con 76,8 punti è quella di pre uso, soprattutto per l'elevato punteggio della categoria Human Health, superiore a 50 punti, seguita da Resources con quasi 19 punti. Alla fase d'uso sono invece attribuiti 46,5 punti, qui a predominare è l'impatto sulla categoria Resources, seguito a poca distanza da quella Human Health. Il processo di fine vita ha un punteggio negativo di circa un punto che indica l'utilità di tale processo nell'evitare delle emissioni dannose per l'ambiente.

Categoria di danno	Unità	Totale	FASE DI PRE USO	FASE D'USO	FINE VITA
Totale	Pt	122	76,8	46,5	-1,26
Human Health	Pt	73,9	53	21,9	-1,06
Ecosystem Quality	Pt	6,56	4,81	1,55	0,203
Resources	Pt	41,5	18,9	23	-0,408

Tabella 5.3.2.1 Analisi ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Catania

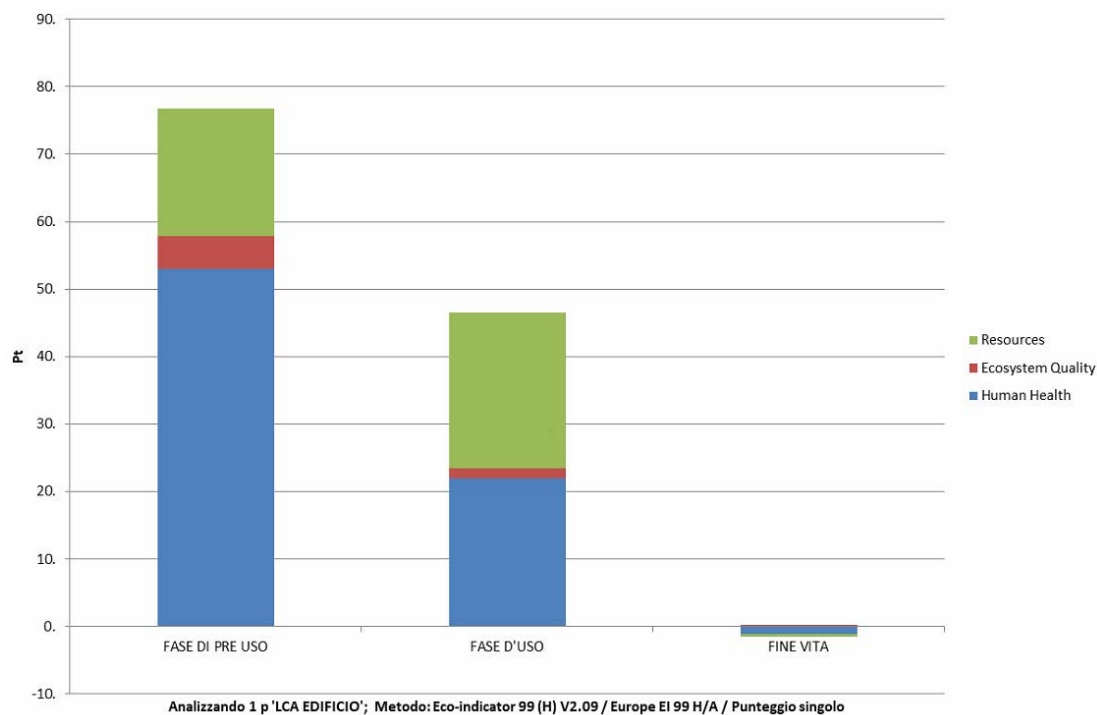


Figura 5.3.2.5 Analisi intero ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Catania

Come si può vedere per la fase d'uso è predominante l'impatto del condizionamento con oltre 28 punti, seguito dagli usi elettrici con 17 punti, gli altri consumi elettrici invece influiscono con meno di 3 punti.

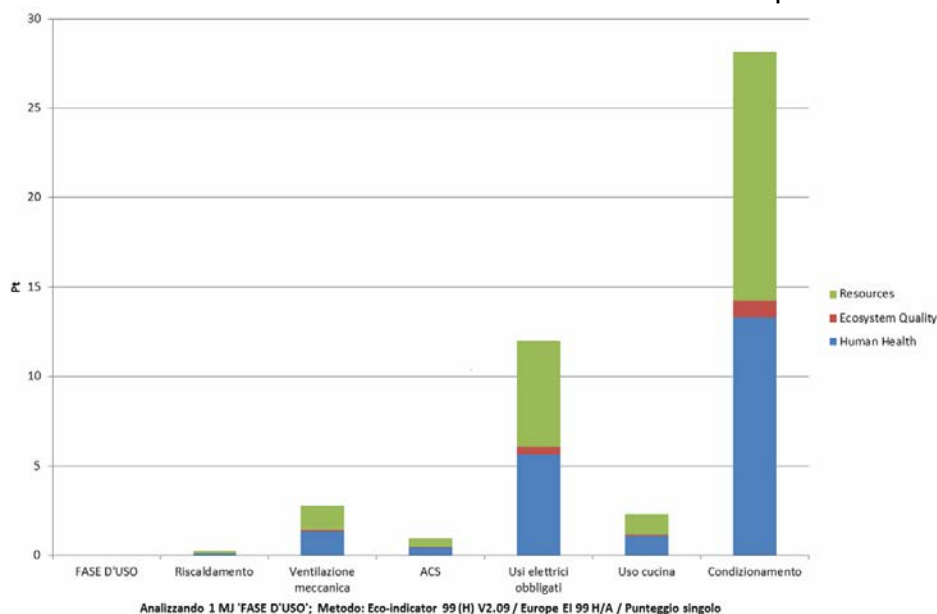


Figura 5.3.2.6 Analisi fase d'uso con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Catania

Per quanto riguarda la suddivisione interna di ogni singola colonna notiamo che la categoria Human Health e Resources hanno circa la stessa importanza, mentre Ecosystem Quality ha un valore nettamente minore. Queste proporzioni sono le stesse che avevamo riscontrato per la città di Tarvisio in quanto dipendendo univocamente dal mix energetico di riferimento, in entrambi i casi quello italiano.

Categoria di danno	Unità	Totale	VENTILAZIONE MECCANICA	ACS	USI ELETTRICI OBBLIGATI	USO CUCINA	CONDIZIONAMNETO
Totale	Pt	46,5	2,8	1,0	12,0	2,3	28,2
Human Health	Pt	21,9	1,3	0,5	5,7	1,1	13,3
Ecosystem Quality	Pt	1,6	0,1	0,0	0,4	0,1	0,9
Resources	Pt	23,0	1,4	0,5	5,9	1,2	13,9

Tabella 5.3.2.2 Valori dei punteggi di impatto della fase d'uso.

Categoria di danno	Totale	VALORE PERCENTUALE
Totale	46,5	100%
Human Health	21,9	47%
Ecosystem Quality	1,55	3%
Resources	23	49%

Tabella 5.3.2.3 Percentuali dei punteggi di impatto della fase d'uso dovute dal mix energetico di riferimento, Italia.

Analizzando i benefici dell'impianto fotovoltaico con il metodo Eco indicator 99, si nota anche qui l'effetto positivo in termini di impatti evitati durante la fase d'uso, che passa dal 38,1% al 15,6%, mentre il peso della fase di pre uso aumenta considerevolmente dal 62,9% al 85,8%. Il fine vita in modo analogo al precedente metodo aumenta dall'1% all'1,4%.

5.3.2.3 Metodo EDIP 2003

Anche in questo caso la fase di pre uso è la più impattante con il 63,7%, contro il 35% della fase d'uso, mentre il fine vita come per Tarvisio con questo metodo, impatta in modo negativo per l'alto dispendio energetico nei processi di demolizione selettiva. Interessante evidenziare come condizionamento impatti per oltre il 20% di tutto il ciclo vita dell'edificio

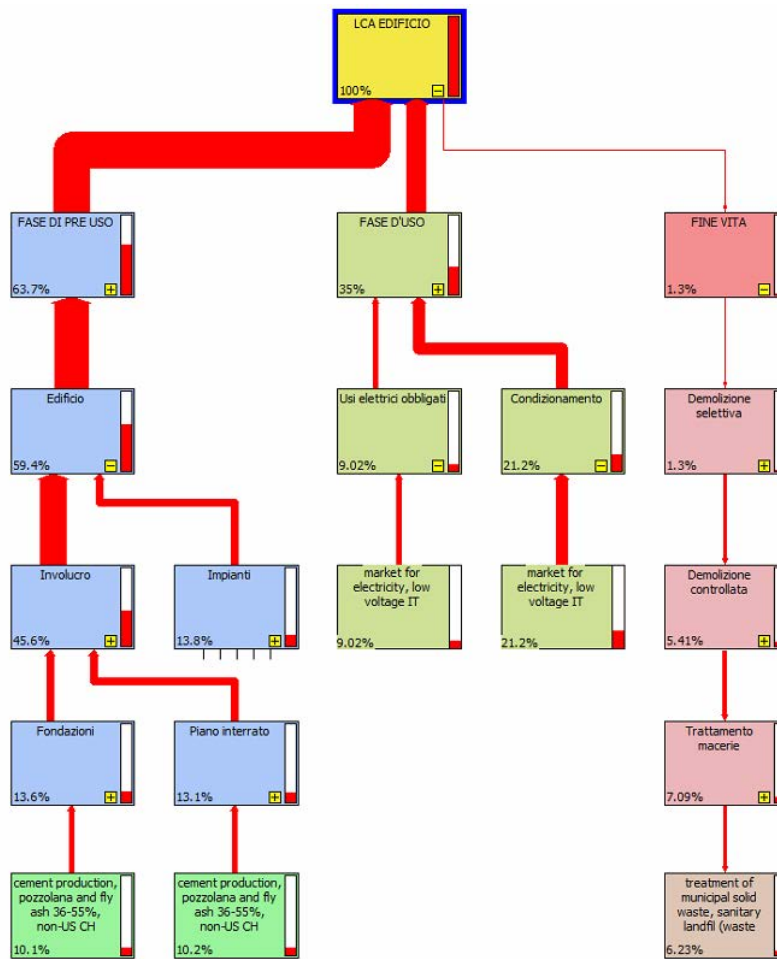


Figura 5.3.2.7 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo EDIP 2003; Cut-Off 5%, Catania

Vado ora ad analizzare come l'impatto venga distribuito nelle rispettive categorie prese in considerazione da questo metodo, come si può vedere l'apporto è analogo a quanto avevamo riscontrato per la città di Tarvisio, dato che il mix energetico di riferimento è il medesimo.

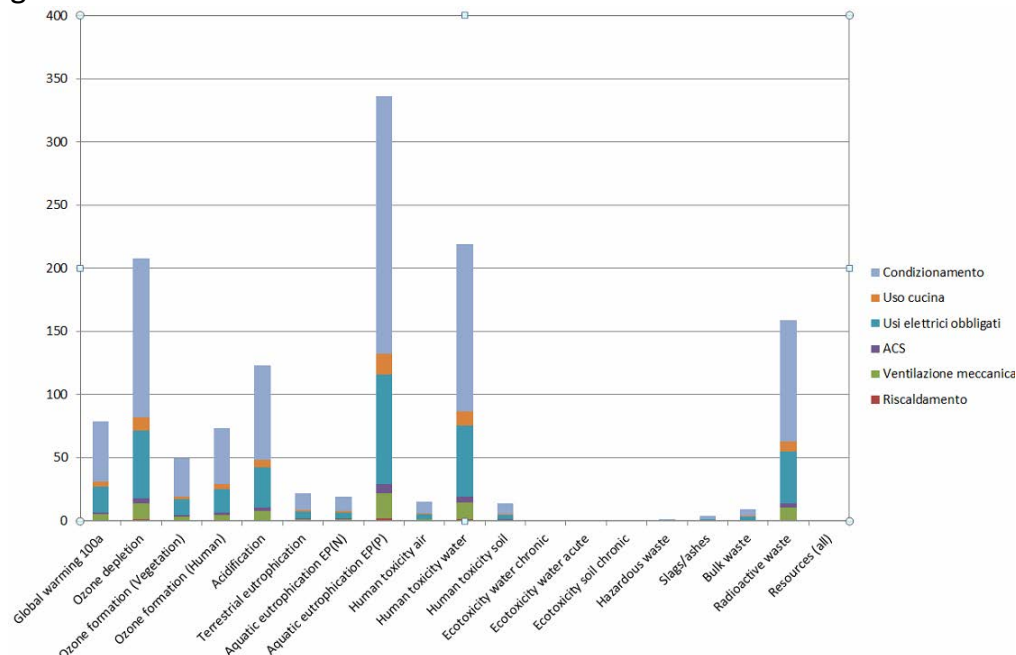


Figura 5.3.2.8 Analisi fase d'uso con metodo EDIP 2003; peso, Catania

Riporto per completezza anche i valori percentuali di quanto impattano le singole categorie nel mix energetico, dato che non sarebbe possibile stabilirlo dall'istogramma di figura 5.3.2.7.

CATEGORIA DI IMPATTO	PERCENTUALE		
Global warming 100a	5,91	Houman toxicity water	16,5
Ozone depletion	15,6	Houman toxicity soil	1,05
Ozone formation (vegetation)	3,71	Ecotoxicity water chronic	0
Ozone formation (Human)	5,51	Ecotoxicity water acute	0
Acidification	9,25	Ecotoxicity water soil chronic	0
Terrestrial eutrophicstion	1,63	Hazardous waste	0,09
Aquatic eutrophication EP (N)	1,45	Slags/shes	0,27
Aquatic eutrophication EP (p)	25,2	Bulk waste	0,7
Houman toxicity air	1,13	Radioactive waste	12
		Totale	100

Tabella 5.3.2.4 Valori percentuali di impatto per ogni categoria considerata dal metodo EDIP, Catania

Con il metodo EDIP, l'impianto fotovoltaico fa aumentare il peso della fase di pre uso di oltre 20 punti percentuali, dal 63,7% al 84,3%, mentre la fase d'uso risulta meno impattante scendendo dal 35% al 14%. Il fine vita non venendo di fatto influenzato dalla presenza del fotovoltaico aumenta il suo impatto negativo che passa dall'1,31% al 1,54% sul valore complessivo.

5.3.3 Ostersund

5.3.3.1 Metodo Cumulative Energy Demand (CED)

Analizzando attraverso il grafico ad albero dell'intero processo di vita dell'edificio si può vedere che la fase di pre uso incide per il 54,8%, risulta essere quindi la più impattante. Ciò è in controtendenza a quanto ci aspettavamo, in quanto i consumi elettrici a causa dell'elevata necessità di utilizzare il riscaldamento, sono superiori del 40% rispetto a quelli che avevamo per la città di Catania, ma nonostante ciò la fase d'uso incide solo per il 50,5% del complessivo. Questa riduzione dell'energia primaria richiesta va imputata a processi più efficienti nel sistema di produzione dell'energia elettrica in Svezia rispetto a quelli che utilizziamo in Italia. Essendo diminuita quindi l'energia complessiva queste due fasi del ciclo di vita in proporzione sono aumentati i benefici del fine vita, con la demolizione selettiva che permette di salvaguardare più del 5% dell'energia primaria richiesta.

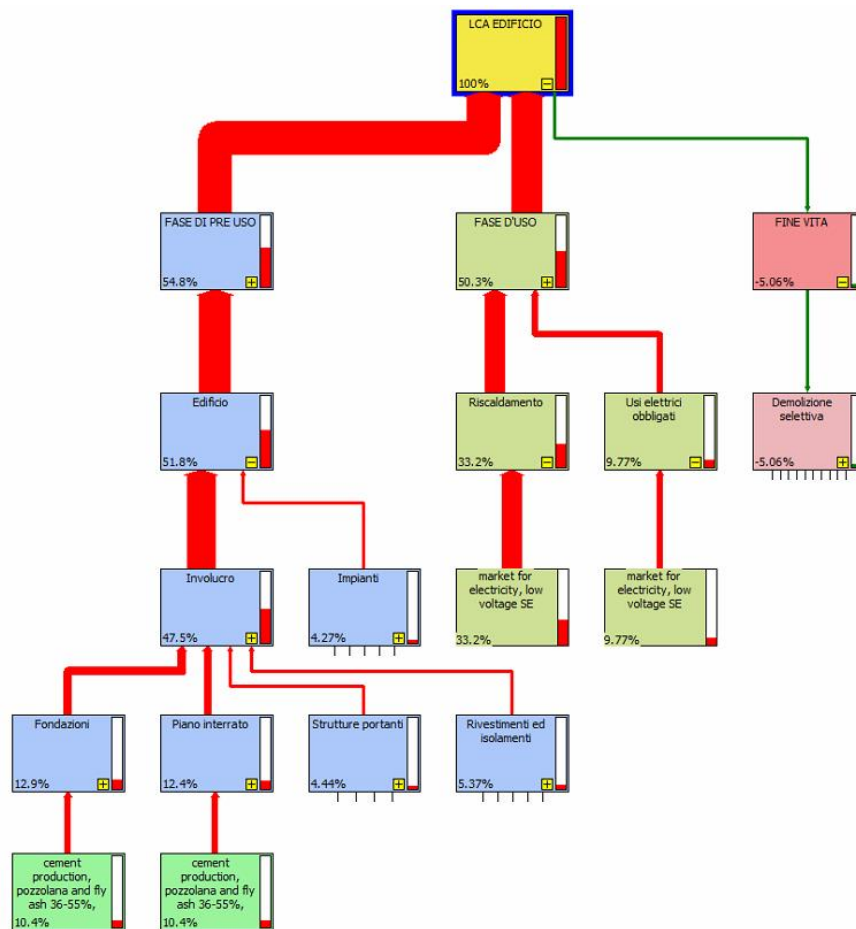


Figura 5.3.3.1 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 5%, Ostersund

Anche in questo caso non mi addentro nei dettagli dell'involucro dell'edificio, poiché sarebbero analoghi a quelli già visti in precedenza dato che non sono legati alla tipologia di mix energetico di riferimento. L'unica differenza presente che possiamo riscontrare già dal grafico ad albero è quanto incida il cantiere (poiché qui vi è utilizzo di energia elettrica). Ad Ostersund il cantiere impatta per il 3%, contro il 2,7% che avevamo in precedenza per Tarvisio e Catania, questo aumento è legato al fatto che è diminuita l'energia complessiva necessaria, come si vede dalla Figura 5.3.3.3.

Come si può notare in Figura 5.3.3.2 in questo contesto il consumo principale durante la fase d'uso è dovuto al riscaldamento, che impatta per il 66% del totale della fase di utilizzo dell'abitazione, seguito dagli usi elettrici obbligati con il 19,4%. Tutti gli altri prelievi di energia elettrica si attestano attorno al 5%. Ciò è dovuto alle temperature molto rigide durante i mesi invernali e alla bassa radiazione solare che raggiunge i dispositivi ausiliari.

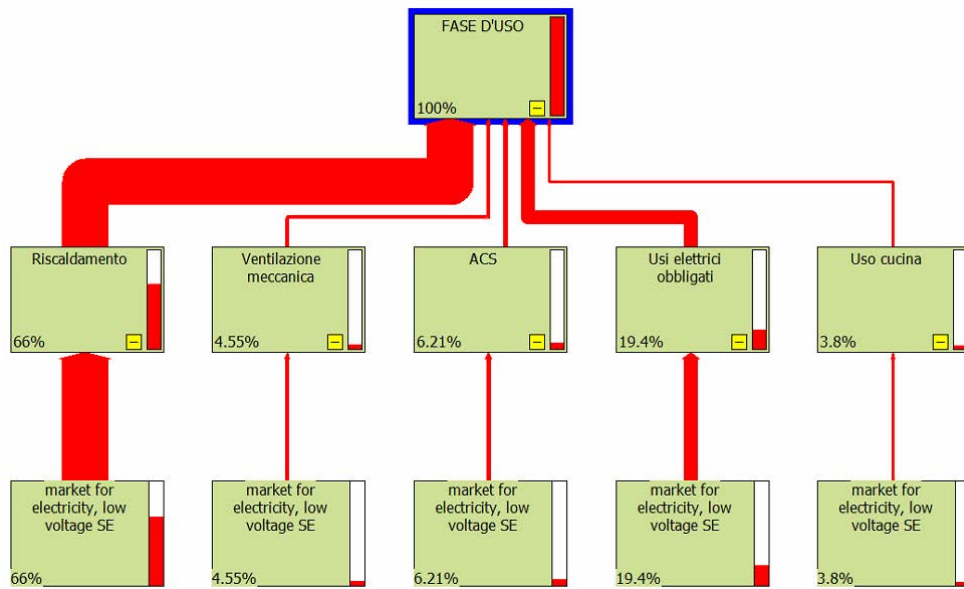


Figura 5.3.3.2 Rappresentazione ad albero della fase d'uso analizzata con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 4%, Ostersund

Per quanto riguarda le categorie a cui si attribuisce l'impatto, il mix energetico della Svezia caratterizza l'impatto per l'88,6% a non renewable, nuclear e solo per il 11,4% a non renewable, fossil.

È interessante notare, come detto in precedenza, che nonostante il fabbisogno di riscaldamento sia del 40% superiore a quello di condizionamento a Catania (facendo riferimento direttamente all'energia prelevata dalla rete), ad Ostersund siano necessari solo 4,85GJ di energia primaria, contro i 5,3GJ che invece erano necessari a Catania. Vi è quindi nonostante tutto una riduzione del 10% complessivo per mantenere costante la temperatura all'interno dell'abitazione.

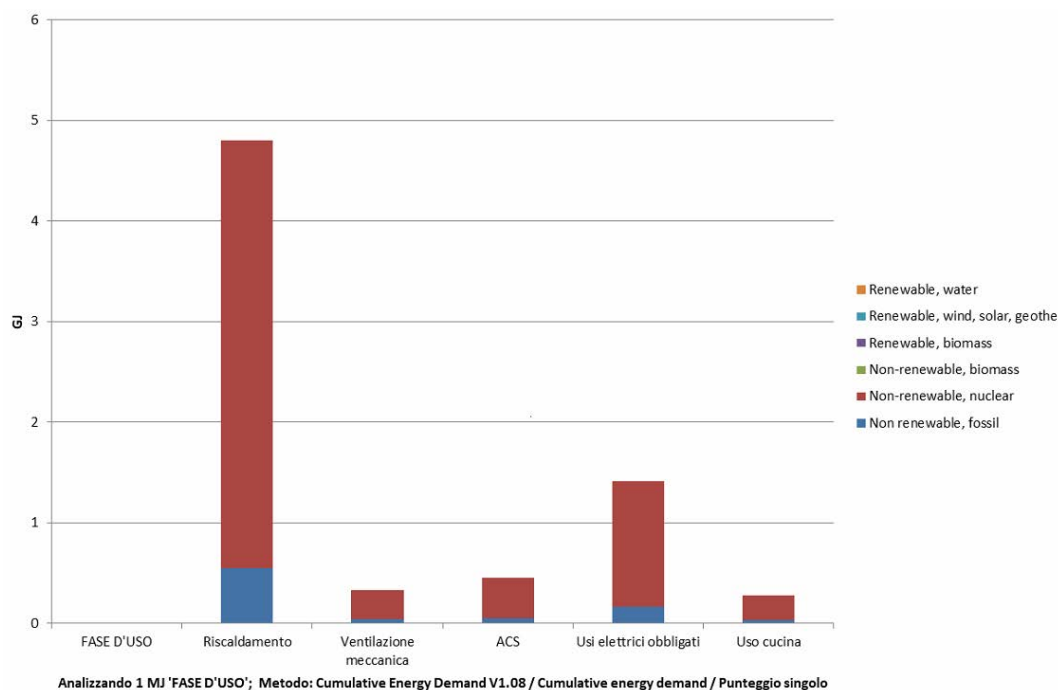


Figura 5.3.3.3 Analisi di contributo fase d'uso, metodo Cumulative Energy Demand, Ostersund

Per quanto riguarda l'integrazione con l'impianto fotovoltaico nella città di Ostersund, data la latitudine molto elevata, l'apporto della radiazione solare che può contribuire per il riscaldamento è sicuramente inferiore al valore del 50% ottenuto dal dimensionamento, come fatto per Tarvisio ho tenuto un margine cautelativo riducendolo al 30%. Dopo aver adattato tutti i valori dei consumi elettrici si rileva con il metodo CED un aumento del peso della fase di pre uso dal 54,8% al 64,5%, con la fase d'uso che è scesa al 41,5% dal 50,3%. Di conseguenza i benefici del fine vita con la demolizione selettiva hanno acquisito importanza in termini percentuali dal 5,06% al 5,96%, dato il calo dell'energia primaria complessivamente necessaria.

5.3.3.2 Metodo Eco-indicator 99 (H)

Analizzando subito l'intero ciclo di vita con questo metodo è evidente ancor più quanto avevamo rilevato con il metodo Cumulative Energy Demand. La fase di pre uso, che sia a Catania che a Tarvisio contribuiva per il 63% ora contribuisce per oltre l'85%. Questo è da imputare alla drastica riduzione degli impatti della fase d'uso (nonostante un aumento complessivo dell'energia prelevata dalla rete come spiegato in precedenza) resi possibili da un mix energetico molto più "green". La fase d'uso impatta solamente per il 15,6% e di conseguenza ne beneficia anche il processo di fine vita che migliora gli impatti evitati di mezzo punto percentuale portandosi all'1,4%.

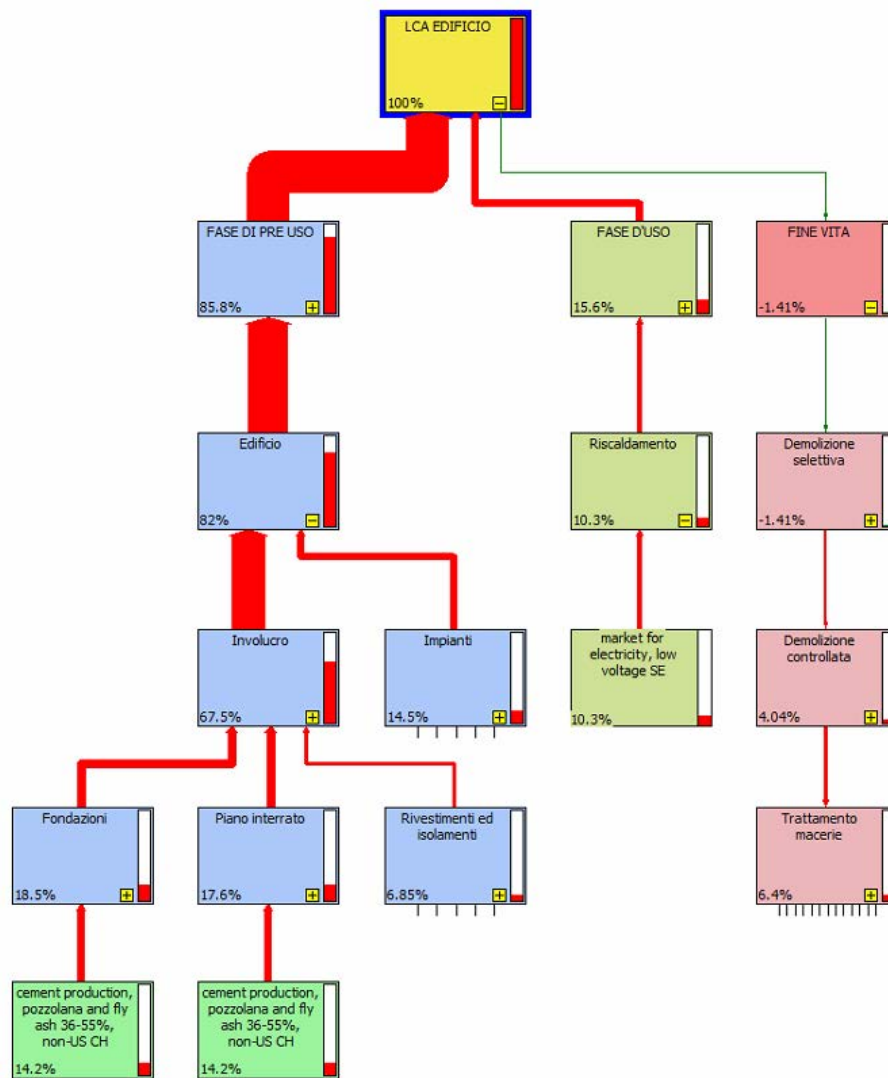


Figura 5.3.3.4 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Eco indicator 99; Cut-off 4%, Ostersund

Valutando coi punteggi forniti dal metodo le tre fasi di vita dell'edificio notiamo subito che la più impattante con 76,7 punti è quella di pre uso, risultati analoghi a quelli avuti per Tarvisio e Catania. Alla fase d'uso sono invece attribuiti solo 13,9punti, l'impatto sulla categoria Human Health è il più elevato, con 10,8 punti seguito da Resources ed Ecosystem Quality rispettivamente con 2 e 1,07 punti. Il processo di fine vita è analogo a quanto visto per gli altri casi studio.

Categoria di danno	Unità	Totale	FASE DI PRE USO	FASE D'USO	FINE VITA
Totale	Pt	89,3	76,7	13,9	-1,26
Human Health	Pt	62,7	53	10,8	-1,06
Ecosystem Quality	Pt	6,08	4,8	1,07	0,203
Resources	Pt	20,5	18,9	2	-0,408

Tabella 5.3.3.1 Analisi ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Ostersund

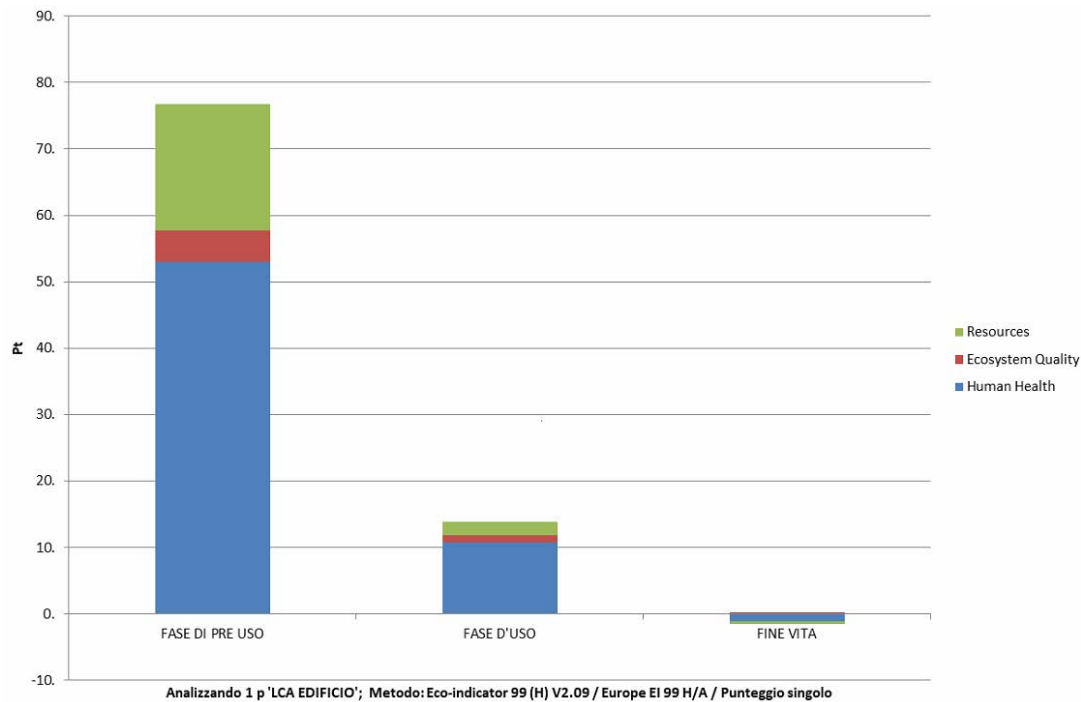


Figura 5.3.3.5 Analisi intero ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Ostersund

Come si può vedere per la fase d'uso è predominante l'impatto del riscaldamento, che però contribuisce per un valore relativamente basso, poco più di 9 punti contro i 26 e 28 punti, che avevamo riscontrato rispettivamente per il riscaldamento a Tarvisio e per il condizionamento a Catania. Anche gli altri consumi elettrici dell'abitazione sono più bassi, con gli usi elettrici obbligati che impattano per quasi 3 punti e le altre categorie invece non raggiungono 1 punto.

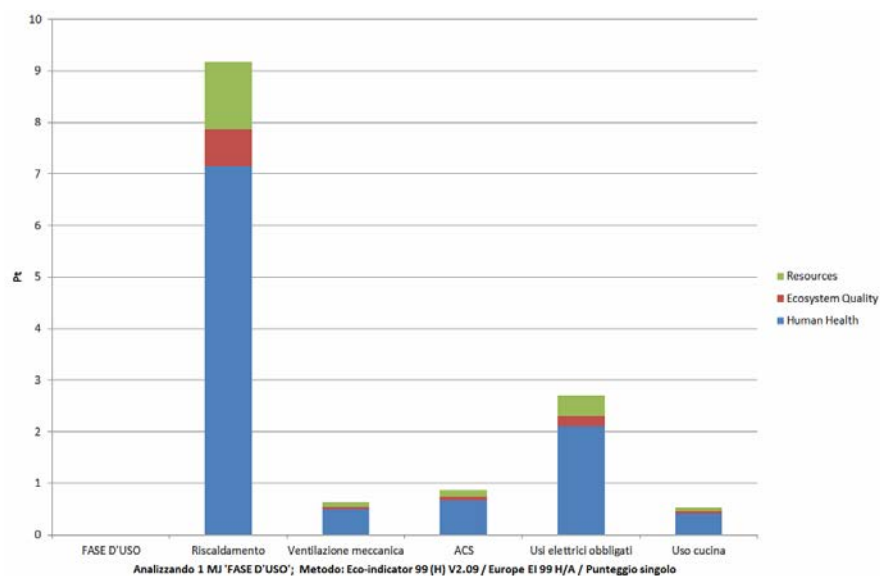


Figura 5.3.3.6 Analisi fase d'uso con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Ostersund

Per quanto riguarda la suddivisione interna di ogni singola colonna notiamo che la categoria Human health è quella predominante con il 78% del valore complessivo, mentre Ecosystem Quality e Resources hanno rispettivamente un valore del 14% e dell'8%, questo si spiega poiché il nucleare ha un'alta incidenza con lo smaltimento delle scorie sulla categoria della salute per l'uomo.

Categoria di danno	Unità	Totale	VENTILAZIONE MECCANICA	ACS	USI ELETTRICI OBBLIGATI	USO CUCINA	RISCALDAMENTO
Totale	Pt	13,9	0,6	0,9	2,7	0,5	9,2
Human Health	Pt	10,8	0,5	0,7	2,1	0,4	7,2
Ecosystem Quality	Pt	1,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,7
Resources	Pt	2,0	0,1	0,1	0,4	0,1	1,3

Tabella 5.3.3.2 Valori dei punteggi di impatto della fase d'uso, Ostersund

Categoria di danno	Totale	VALORE PERCENTUALE
Totale	13,9	100%
Human Health	10,8	78%
Ecosystem Quality	1,1	8%
Resources	2,0	14%

Tabella 5.3.3.3 Percentuali dei punteggi di impatto della fase d'uso dovute dal mix energetico di riferimento, Svezia.

Analizzando i benefici dell'impianto fotovoltaico con il metodo Eco indicator 99, si nota anche qui l'effetto positivo in termini di impatti evitati durante la fase d'uso, che passa dal 15,6% all'11,4%, mentre il peso della fase di pre uso aumenta dal 80,8% al 90%. Il fine vita non ha variazioni evidenti, varia di meno di un decimo percentuale.

5.3.3.3 Metodo EDIP 2003

Anche utilizzando questo metodo la fase di pre uso è la più impattante con il 62,2%, contro il 36,5% della fase d'uso, tuttavia questo risultato è in controtendenza con quello visto fino ad ora per la città di Ostersund. Rispetto a Catania e Tarvisio, per il metodo EDIP Ostersund è più impattante come collocazione; questa differenza rispetto agli altri metodi si spiega a causa dell'elevata presenza del nucleare nel mix energetico, come vedremo ha un alto impatto. Il fine vita non ha sostanziali differenze rispetto a quelli analizzati in precedenza.

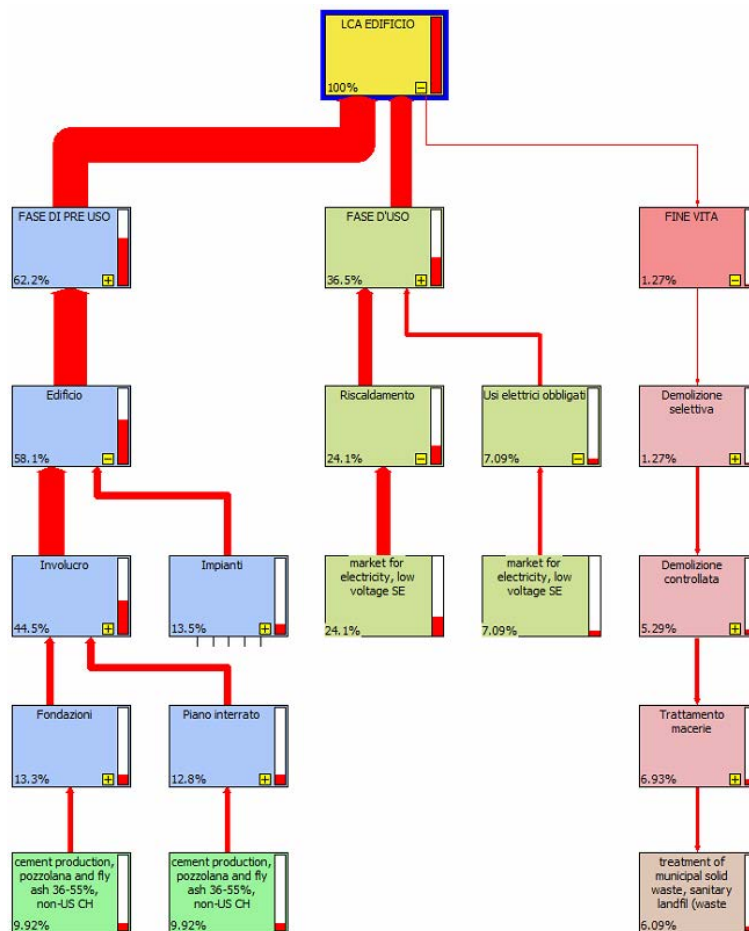


Figura 5.3.3.7 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo EDIP 2003; Cut-Off 5%, Ostersund

Vado ora ad analizzare come l'impatto venga distribuito nelle rispettive categorie, come anticipato vi è una netta predominanza della categoria Radioactive Waste, con un valore di quasi 800 millipunti, valore incredibilmente elevato basti pensare che il più alto trovato fino ad ora si attestava a poco meno di 350 millipunti. Seguono poi valori abbastanza analoghi tra loro per le categorie Ozone Depletion, Aquatic Eutrophication e Human Toxicity Water.

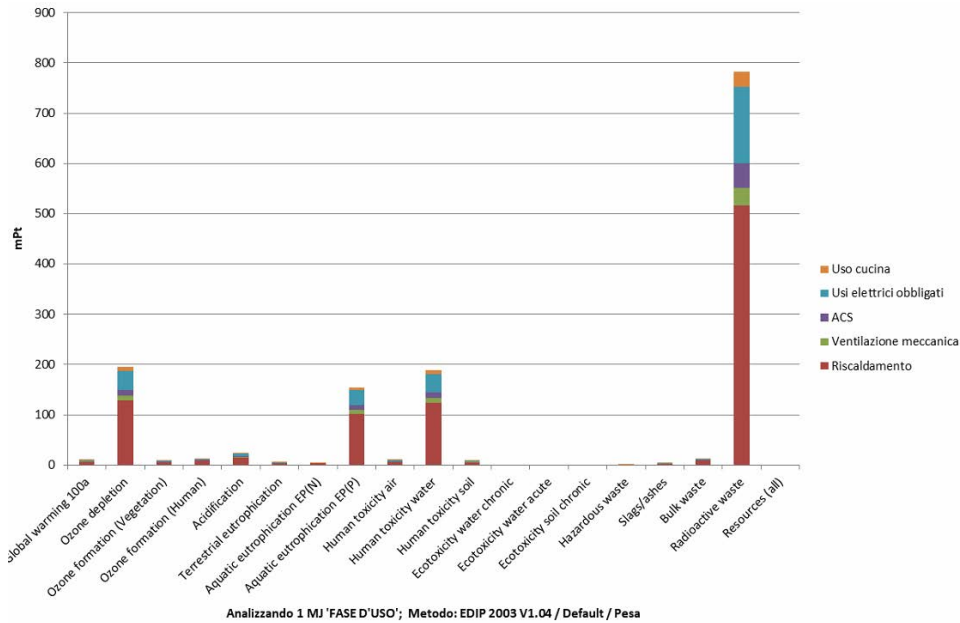


Figura 5.3.3.8 Analisi fase d'uso con metodo EDIP 2003; peso, Ostersund

Riporto per completezza anche i valori percentuali di quanto impattano le singole categorie nel mix energetico, come fatto per i precedenti casi studio.

Global warming 100a	0,784	Houman toxicity water	13,3
Ozone depletion	13,7	Houman toxicity soil	0,615
Ozone formation (vegetation)	0,59	Ecotoxicity water chronic	0
Ozone formation (Human)	0,87	Ecotoxicity water acute	0
Acidification	1,65	Ecotoxicity water soil chronic	0
Terrestrial eutrophicstion	0,334	Hazardous waste	0,04
Aquatic eutrophication EP (N)	0,31	Slags/shes	0,248
Aquatic eutrophication EP (p)	10,9	Bulk waste	0,845
Houman toxicity air	0,688	Radioactive waste	55,1

Tabella 5.3.3.4 Valori percentuali di impatto per ogni categoria considerata dal metodo EDIP, Ostersund

Con il metodo EDIP, l'impianto fotovoltaico fa aumentare il peso della fase di pre uso dal 62,2% al 69,9%, mentre la fase d'uso risulta meno impattante scendendo dal 36,5% al 28,7%. Il fine vita aumenta invece il suo impatto che passa dall'1,27% al 1,43% sul valore complessivo.

5.3.4 Siviglia

5.3.4.1 Metodo Cumulative Energy Demand (CED)

Analizzando l'intero ciclo di vita con il grafico ad albero si nota che la fase d'uso in questa località torna predominante con il 57,4%, quasi 10 punti percentuali più della fase di pre uso che si ferma al 46,9%. Per quanto riguarda i processi di fine vita non vi sono sostanziali differenze con quello visto per la città di Catania, località con un clima simile, anche al differire del mix energetico.

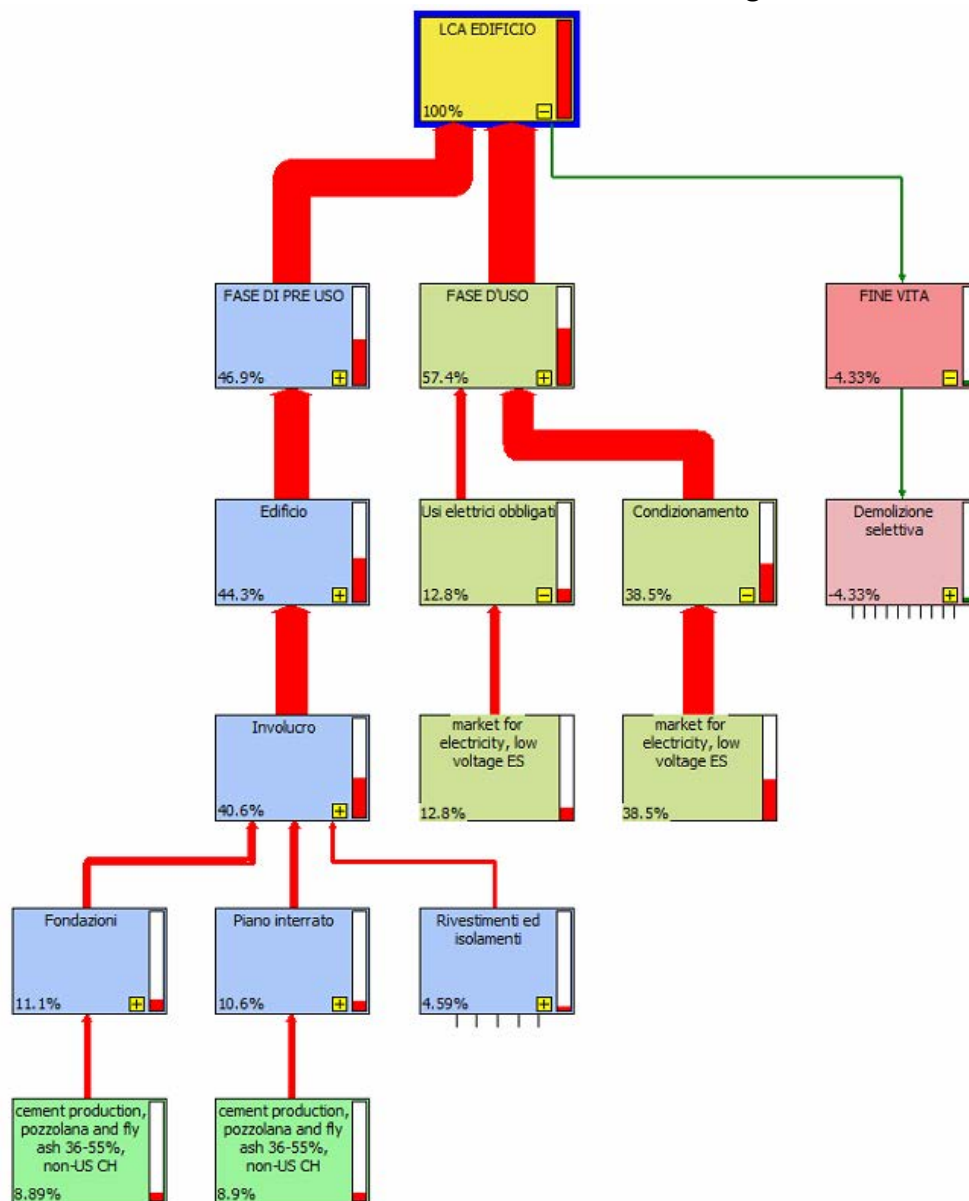


Figura 5.3.4.1 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 4%, Siviglia

Essendo aumentata la richiesta di energia primaria complessiva, a causa dell'aumento di quella per la fase d'uso, in rapporto il cantiere incide per una percentuale minore sull'intero ciclo di vita, precisamente per il 2,6%.

Come si può notare in Figura 5.3.4.2 in questo contesto il consumo principale durante la fase d'uso è dovuto, come era accaduto a Catania al condizionamento, che impatta per il 67 % del totale della fase di utilizzo dell'abitazione, seguito dagli usi elettrici obbligati con il 22,2%. Tutti gli altri prelievi di energia elettrica non superano il 5%, vorrei evidenziare come attraverso l'ottimizzazione dell'impianto solare termico il fabbisogno elettrico per ACS è quasi nullo. Ciò è dovuto sia alle temperature elevate durante i mesi invernali che agli elevati apporti della radiazione solare.

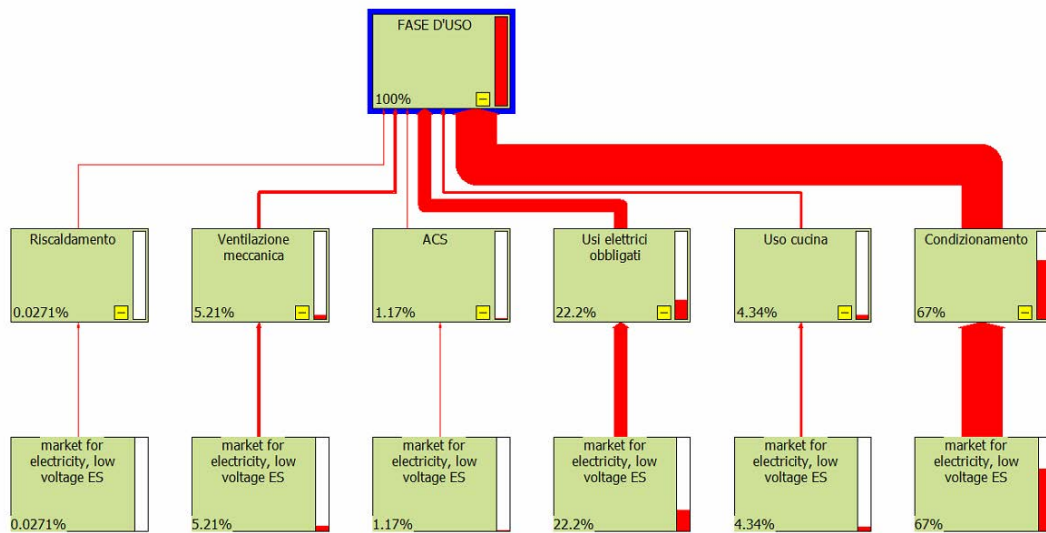


Figura 5.3.4.2 Rappresentazione ad albero della fase d'uso analizzata con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 4%, Siviglia

Per quanto riguarda le categorie a cui si attribuisce l'impatto il mix energetico della Spagna caratterizza l'impatto per il 71,5% a non renewable, fossil e per il 28,5% a non renewable, nuclear.

Vorrei inoltre evidenziare come la necessità di energia primaria sia nuovamente aumentata, con un valore di circa 6,5GJ per il condizionamento, valore più alto trovato fino ad ora, ma ciò è dovuto principalmente all'aumento di energia prelevata dalla rete che è stimato attorno al 40% rispetto a Catania, mentre l'energia primaria aumenta solo di poco più del 20 %. Ciò si evidenzia anche osservando l'apporto necessario per gli usi elettrici obbligati (che rimanendo

costanti in entrambe le località sono un ottimo indicatore di come il mix energetico considerato influisca sull'energia primaria richiesta), che mentre a Catania richiedevano 2,3GJ ora ne richiedono 2,15. Possiamo quindi dedurre che il mix energetico spagnolo sia più virtuoso sotto il punto di vista del consumo di energia primaria, grazie anche alla presenza del nucleare che contribuisce a quasi il 20% del suo mix energetico.

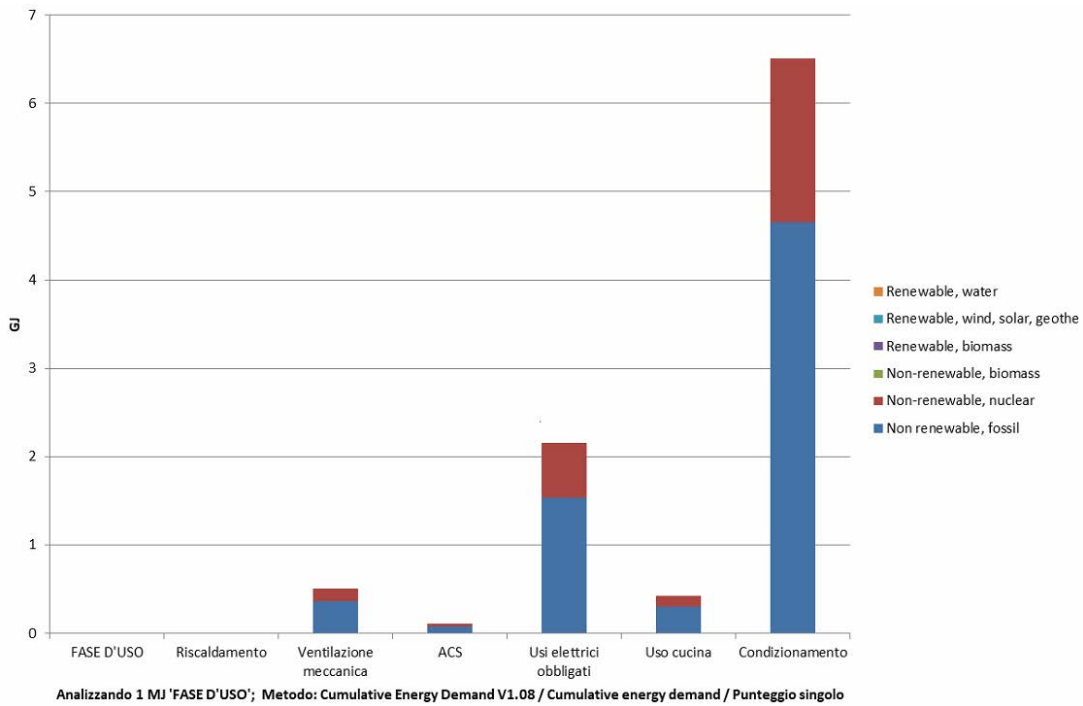


Figura 5.3.4.3 Analisi di contributo fase d'uso, metodo Cumulative Energy Demand, Siviglia

Per Siviglia l'integrazione con l'impianto fotovoltaico è analoga a quella fatta per Catania, con il fattore che viene ridotto di qualche punto percentuale ma rimane comunque elevato, nello specifico del 70%. Con il metodo CED, in questo caso si è registrato un aumento del peso della fase di pre uso dal 46,9% al 79,4%, con la fase d'uso che è scesa al 28,8% dal 57,4% di partenza. Il fine vita in modo analogo ha acquisito importanza dal 4,33% al 7,24%, dato il calo dell'energia primaria complessivamente necessaria.

5.3.4.2 Metodo Eco-indicator 99 (H)

Analizzando l'intero ciclo di vita la situazione che si presenta è molto simile a quella ottenuta per le città di Tarvisio e Catania, con la fase di pre uso che impatta per il 63,7% del totale, mentre la fase d'uso si ferma il 37,4%. Il percorso di fine vita incide in modo positivo per l'1,05%. Interessante notare come il solo condizionamento incida per il 25% di tutto il ciclo vita dell'edificio.

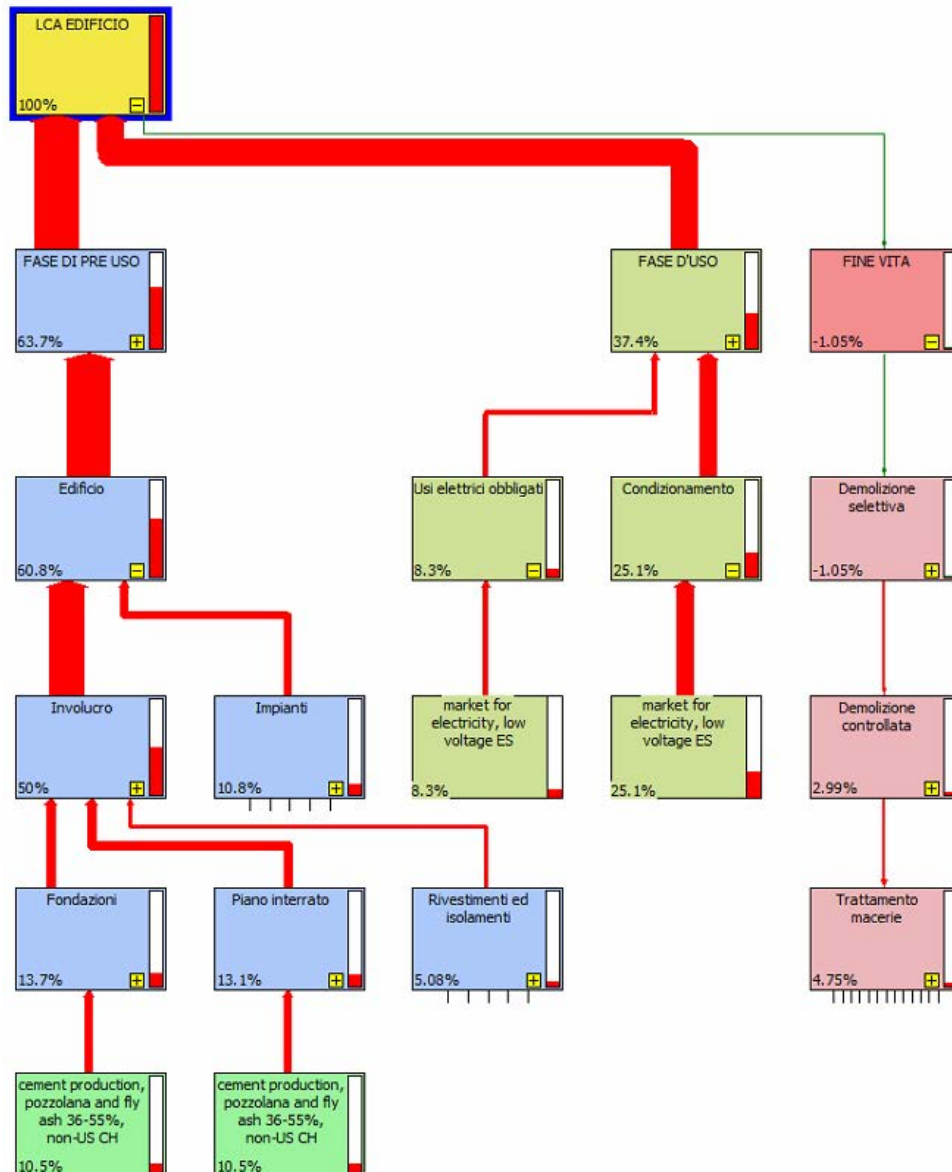


Figura 5.3.4.4 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Eco indicator 99; Cut-off 8%, Siviglia

Valutando coi punteggi forniti dal metodo le tre fasi di vita dell'edificio notiamo subito che la più impattante con 76,7 punti è quella di pre uso, come in tutti le altre località studiate. Tuttavia anche la fase d'uso con 45 punti, ha un peso abbastanza elevato, con 34,5 punti attribuiti alla categoria Human Health, 18,9 punti a quella Resources e un valore di 1,66 punti per Ecosystem Quality. Il processo di fine vita è analogo a quelli visti in precedenza.

Categoria di danno	Unità	Totale	FASE DI PRE USO	FASE D'USO	FINE VITA
Totale	Pt	120	76,7	45	-1,26
Human Health	Pt	76,4	53	34,5	-1,06
Ecosystem Quality	Pt	6,67	4,81	1,66	0,203
Resources	Pt	37,4	18,9	18,9	-0,408

Tabella 5.3.4.1 Analisi ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Siviglia

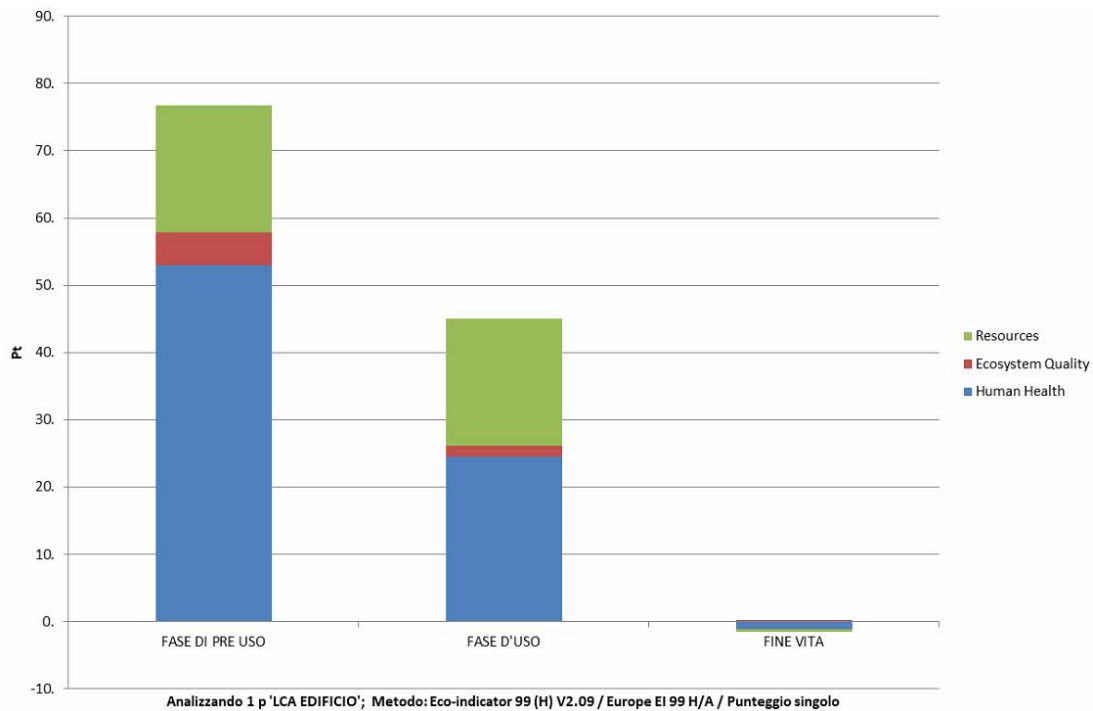


Figura 5.3.4.5 Analisi intero ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Siviglia

Come si può vedere per la fase d'uso è predominante l'impatto del condizionamento, con oltre 30 punti, seguito dagli usi elettrici con 10 punti, gli altri consumi elettrici invece influiscono con meno di 3 punti.

È interessante notare come gli usi elettrici obbligati che con il mix energetico italiano impattavano con 12 punti ora in Spagna impattino esattamente con 10 punti, ciò indica una riduzione di quasi il 20% in termini di impatto a parità di energia elettrica prelevata dalla rete.

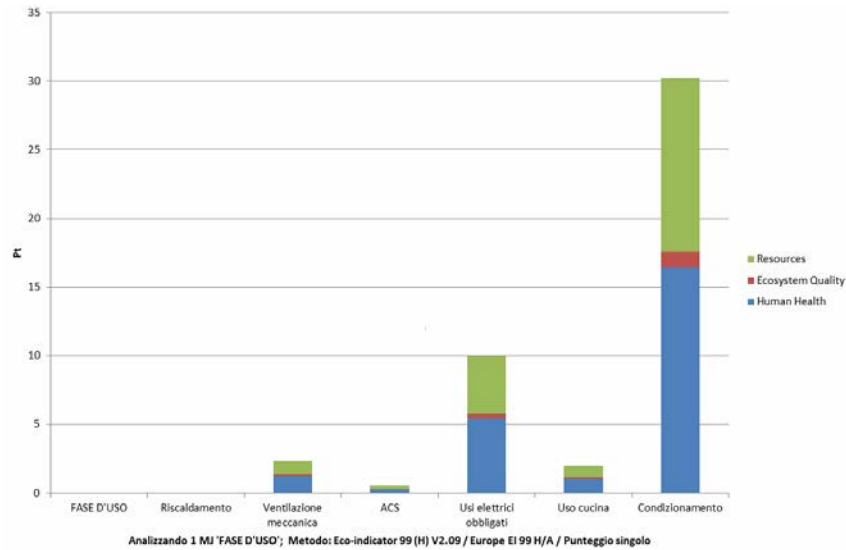


Figura 5.3.4.6 Analisi fase d'uso con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Siviglia

Per quanto riguarda la suddivisione interna di ogni singola colonna notiamo che la categoria Human Health e Resources hanno circa la stessa importanza, mentre Ecosystem Quality ha un valore nettamente minore.

Categoria di danno	Unità	Totale	VENTILAZIONE MECCANICA	ACS	USI ELETTRICI OBBLIGATI	USO CUCINA	CONDIZIONAMNETO
Totale	Pt	45,0	2,4	0,6	10,0	2,0	30,2
Human Health	Pt	24,5	1,3	0,3	5,4	1,1	16,4
Ecosystem Quality	Pt	1,7	0,1	0,0	0,4	0,1	1,1
Resources	Pt	18,9	1,0	0,2	4,2	0,8	12,6

Tabella 5.3.4.2 Valori dei punteggi di impatto della fase d'uso.

Categoria di danno	Totale	VALORE PERCENTUALE
Totale	45,0	100%
Human Health	24,5	54%
Ecosystem Quality	1,7	4%
Resources	18,9	42%

Tabella 5.3.4.3 Percentuali dei punteggi di impatto della fase d'uso dovute dal mix energetico di riferimento, Spagna.

Analizzando i benefici dell'impianto fotovoltaico con il metodo Eco indicator 99, si nota anche qui l'effetto positivo in termini di impatti evitati durante la fase d'uso, che passa dal 37,4% al 15,2%, mentre il peso della fase di pre uso aumenta considerevolmente dal 63,7% al 86,2%. Il fine vita in modo analogo a Catania aumenta dall'1% all'1,42%.

5.3.4.3 Metodo EDIP 2003

Con il metodo EDIP già analizzando lo schema ad albero di tutta la fase di vita dell'edificio si evidenzia il maggior fabbisogno di energia elettrica per condizionare gli ambienti, la fase d'uso infatti impatta per il 38,6% del totale, qualche punto in più rispetto ai casi analizzati in precedenza. La fase di pre uso risulta comunque la più impattante con il 60,1%, mentre il fine vita risulta analogo a quelli visti in precedenza anche per questo metodo. Interessante è evidenziare come anche con questo metodo il condizionamento impatti per oltre il 25% di tutto il ciclo vita dell'edificio.

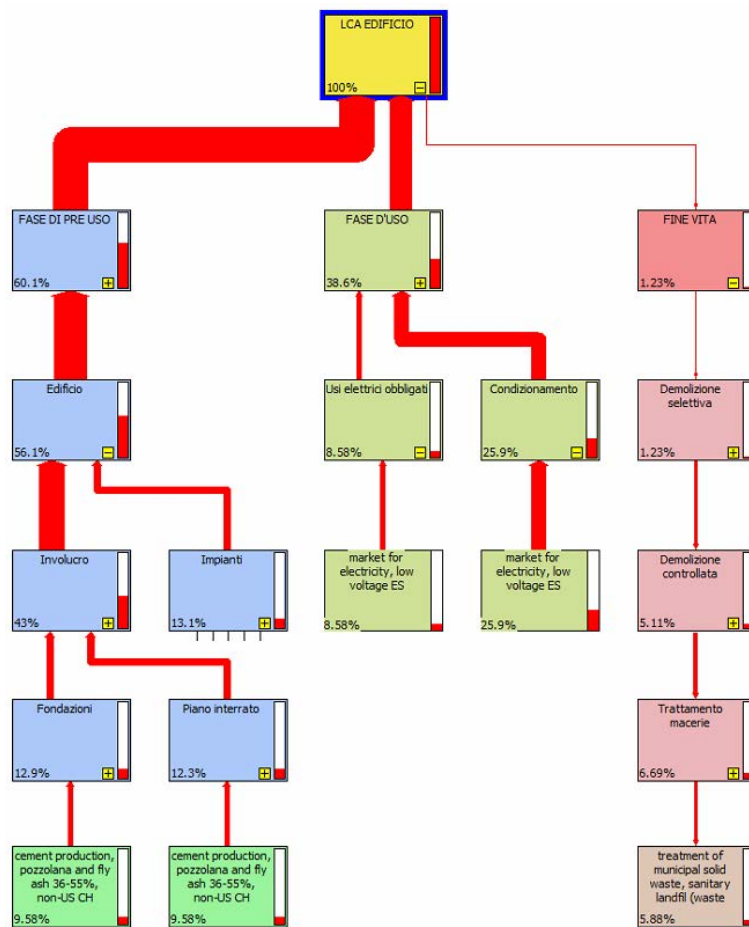


Figura 5.3.4.7 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo EDIP 2003; Cut-Off 5%, Siviglia

Vado ora ad analizzare come l'impatto venga distribuito nelle rispettive categorie prese in considerazione da questo metodo, come si può vedere l'apporto per la categoria Radioactive Waste supera i 330 millipunti, così come Aquatic Eutrophication, ciò è dovuto alla combinazione di nucleare e risorse fossili nel mix energetico, un considerevole valore si ottiene inoltre nelle categorie Human Toxicity Water, Ozone Depletion e Acidification. Riporto poi in Tabella 5.3.4.4 quanto impattano le singole categorie nel mix energetico.

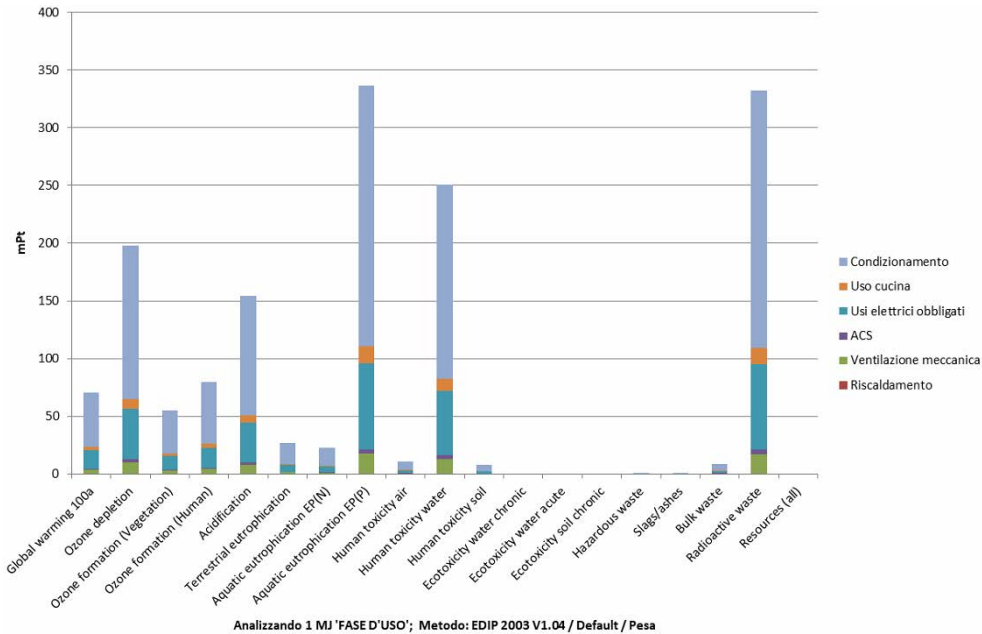


Figura 5.3.4.8 Analisi fase d'uso con metodo EDIP 2003; peso, Siviglia

Global warming 100a	4,55	Houman toxicity water	16,1
Ozone depletion	12,7	Houman toxicity soil	0,509
Ozone formation (vegetation)	3,52	Ecotoxicity water chronic	0
Ozone formation (Human)	5,13	Ecotoxicity water acute	0
Acidification	9,94	Ecotoxicity water soil chronic	0
Terrestrial eutrophicstion	1,75	Hazardous waste	0,03
Aquatic eutrophication EP (N)	1,46	Slags/shes	0,07
Aquatic eutrophication EP (p)	21,6	Bulk waste	0,56
Houman toxicity air	0,678	Radioactive waste	21,4

Tabella 5.3.4.4 Valori percentuali di impatto per ogni categoria considerata dal metodo EDIP, Siviglia

Con il metodo EDIP, l'impianto fotovoltaico fa aumentare il peso della fase di pre uso di oltre 20 punti percentuali, dal 60,1% al 82,4%, mentre la fase d'uso risulta meno impattante scendendo dal 38,6% al 15,9%. Il fine vita non venendo di fatto influenzato dalla presenza del fotovoltaico aumenta il suo impatto negativo che passa dall'1,23% al 1,68% sul valore complessivo.

5.3.5 Calgary

5.3.5.1 Metodo Cumulative Energy Demand (CED)

Per la città canadese come si può notare dal grafico ad albero dell'intero processo di vita dell'edificio, torna ad essere predominante la fase di pre uso, con il 56,4% della richiesta complessiva di energia primaria. Questo significa una riduzione degli impatti per fase d'uso al 48,8%, dovuta principalmente ad una diminuzione nel prelievo di energia elettrica dalla rete, -27% rispetto a Catania e -50% rispetto ad Ostersund, non ad un mix energetico migliore. Il fine vita torna quindi a generare un maggior risparmio di energia, superiore al 5%, maggiore anche a quello che avevamo per Ostersund, che al momento era la città più virtuosa sotto questo punto di vista.

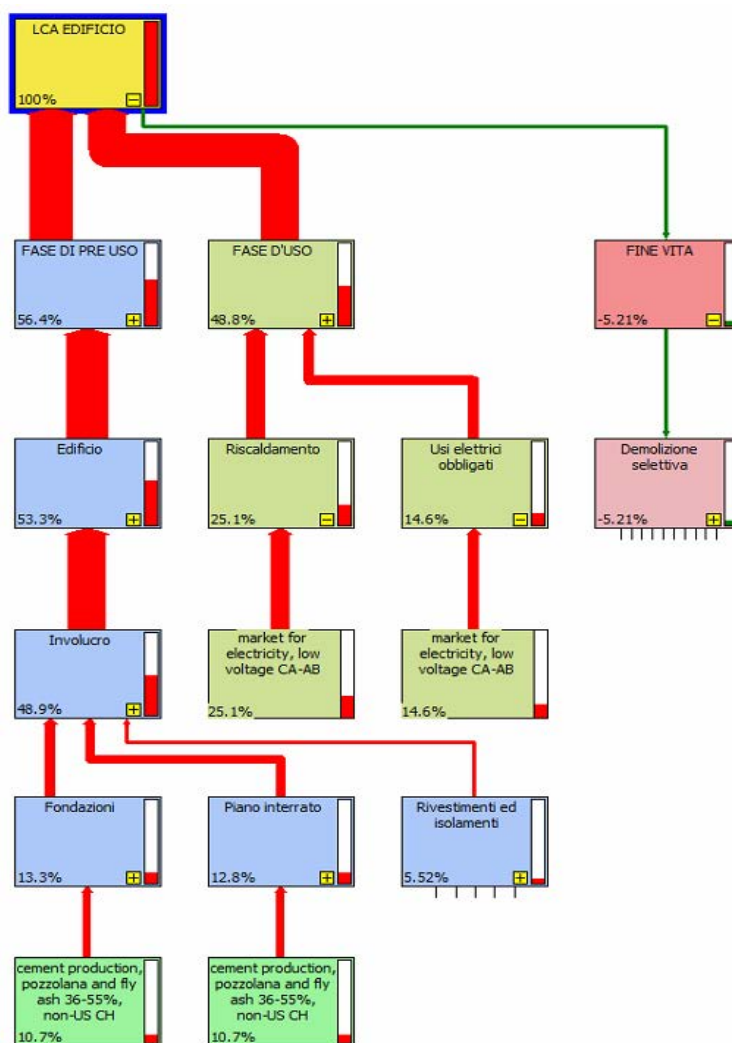


Figura 5.3.5.1 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 5%, Calgary

Come si può notare in figura 5.3.5.2, anche in questo clima “freddo” predominano i consumi elettrici per il riscaldamento, che impatta per il 51,5% del totale della fase di utilizzo dell’abitazione, seguito dagli usi elettrici obbligati con il 30%. Tutti gli altri prelievi di energia elettrica si attestano attorno al 6%.

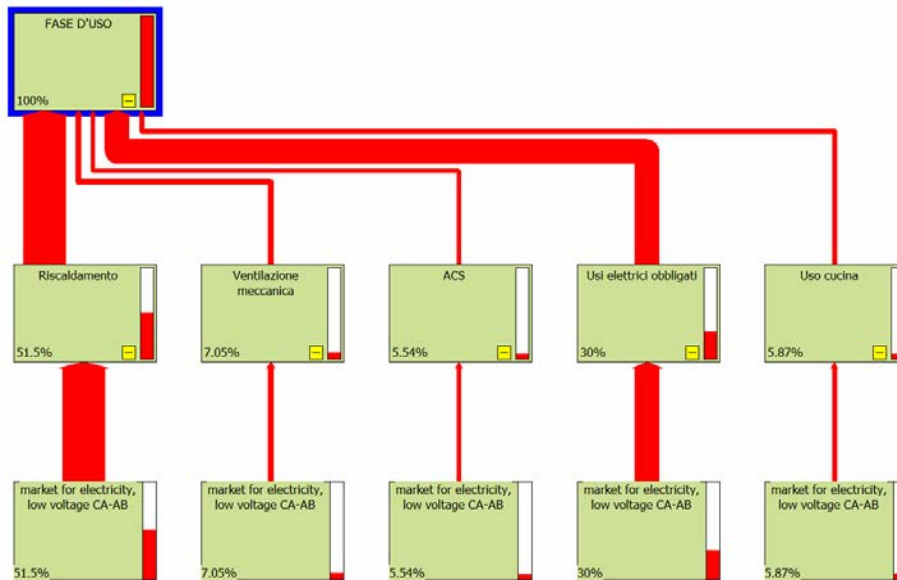
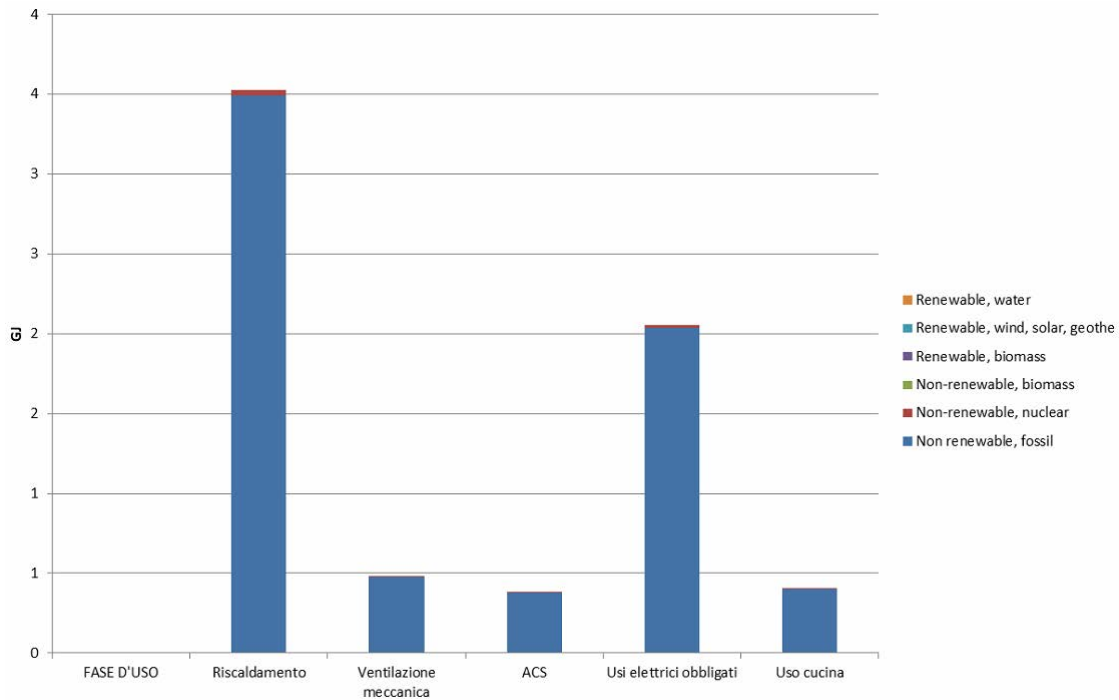


Figura 5.3.5.2 Rappresentazione ad albero della fase d’uso analizzata con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 5%, Calgary

Per quanto riguarda le categorie a cui si attribuisce l’impatto il mix energetico dell’Alberta caratterizza l’impatto per il 98,9 % a Non renewable, fossil e solo per il 1,1% a Non renewable, nuclear.

Come si può evidenziare da figura 5.3.5.3, il riscaldamento comporta un utilizzo di energia primaria di 4GJ, seguito dagli usi elettrici obbligati con 2,1GJ. Tale valore è molto simile, anche se leggermente inferiore a quello riscontrato per l’Italia e la Spagna, indice che come anticipato sopra, la riduzione complessiva della richiesta di energia primaria non era dovuta ad un mix energetico particolarmente virtuoso bensì ad un netto calo dei prelievi di energia elettrica dalla rete che in questa categoria è l’unico input.



Analizzando 1 MJ 'FASE D'USO'; Metodo: Cumulative Energy Demand V1.08 / Cumulative energy demand / Punteggio singolo

Figura 5.3.5.3 Analisi di contributo fase d'uso, metodo Cumulative Energy Demand, Calgary

Per Calgary l'integrazione dell'impianto fotovoltaico viene considerata analoga a quella operata per Tarvisio, con il fattore finale di copertura che viene fissato al 47%. Dopo aver opportunamente modificato i valori dei consumi elettrici, con il metodo CED, si è registrato un aumento del peso della fase di pre uso dal 56,4% al 73,2%, con la fase d'uso che invece scende dal 48,8% al 33,5%. I benefici del fine vita con la demolizione selettiva hanno invece acquisito importanza in termini percentuali dal 5,21% al 6,77%, dato il calo dell'energia primaria complessivamente necessaria.

5.3.5.2 Metodo Eco-indicator 99 (H)

Analizzando l'intero ciclo di vita impattare di più è la fase pre uso con il 63,9%, risultati in linea con quelli ottenuti per le città di Siviglia, Tarvisio e Catania mentre la fase d'uso si ferma il 37,2%. Il percorso di fine vita incide in modo positivo per l'1,05%, come si può vedere infatti le frecce che lo caratterizzano sono di colore verde.

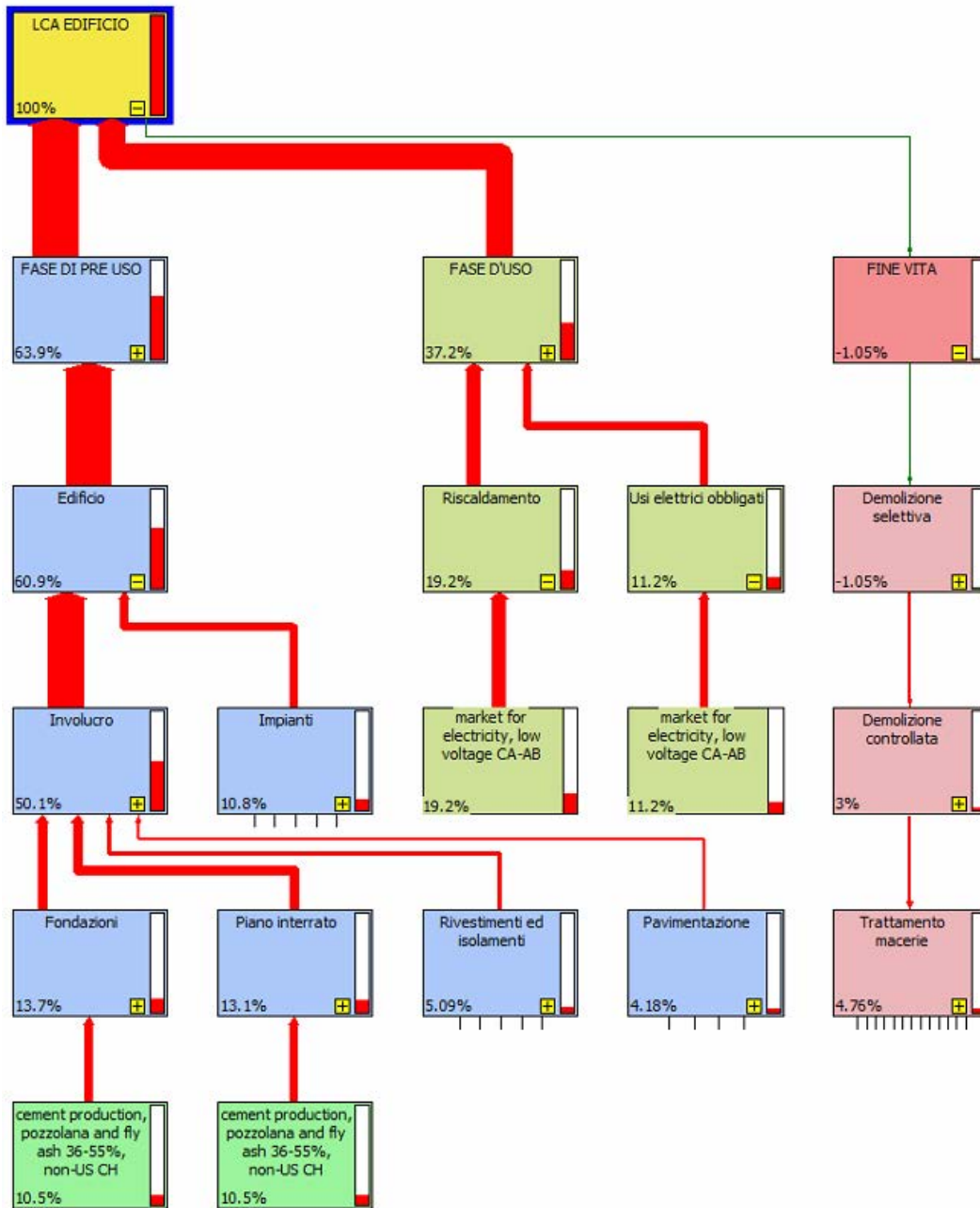


Figura 5.3.5.4 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Eco indicator 99; Cut-off 4%, Calgary

Valutando coi punteggi forniti dal metodo le tre fasi di vita notiamo subito che la più impattante con 76,8 punti è sempre quella di pre uso. Alla fase d'uso sono invece attribuiti 45 punti, qui a predominare è l'impatto sulla categoria Human Health, seguito con valore che però è quasi la metà da Resources. Il processo di fine vita è analogo a quelli ottenuti in precedenza.

Categoria di danno	Unità	Totale	FASE DI PRE USO	FASE D'USO	FINE VITA
Totale	Pt	120	76,7	45	-1,26
Human Health	Pt	82,5	53	34,5	-1,06
Ecosystem Quality	Pt	7,01	4,81	1,66	0,203
Resources	Pt	30,7	18,9	18,9	-0,408

Tabella 5.3.5.1 Analisi ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Calgary

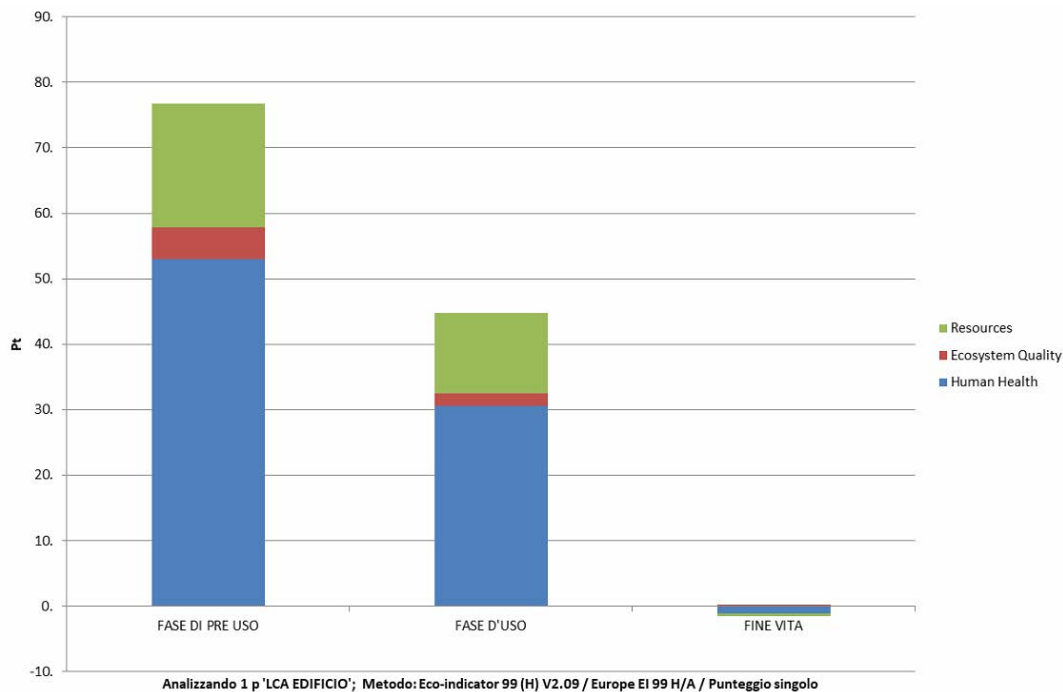


Figura 5.3.5.5 Analisi intero ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Calgary

Come si può vedere per la fase d'uso è predominante l'impatto del riscaldamento con 23 punti, seguito dagli usi elettrici con 13 punti, gli altri consumi elettrici invece influiscono con meno di 3 punti. Voglio evidenziare come il punteggio di 13 punti per gli usi elettrici sia il più alto ottenuto fino ad ora, contro i 12 punti per l'Italia e i 10 della Spagna, secondo questo metodo quindi l'Alberta ha il peggior mix energetico, comportando il valore più alto di impatto.

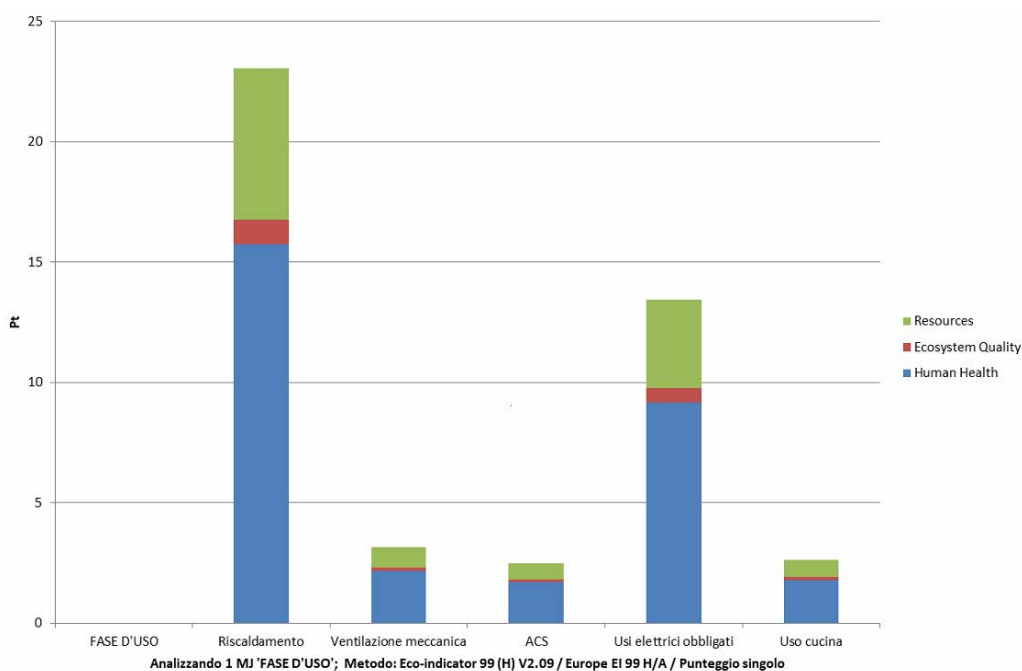


Figura 5.3.5.6 Analisi fase d'uso con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Calgary

Per quanto riguarda la suddivisione interna di ogni singola colonna notiamo che la categoria Human Health ha il valore più elevato, più del doppio rispetto alla categoria Resources, mentre Ecosystem Quality ha un valore nettamente minore.

Categoria di danno	Unità	Totale	VENTILAZIONE MECCANICA	ACS	USI ELETTRICI OBBLIGATI	USO CUCINA	RISCALDAMENTO
Totale	Pt	44,7	3,2	2,5	13,4	2,6	23,0
Human Health	Pt	30,5	2,2	1,7	9,2	1,8	15,7
Ecosystem Quality	Pt	2,0	0,1	0,1	0,6	0,1	1,0
Resources	Pt	12,2	0,9	0,7	3,7	0,7	6,3

Tabella 5.3.5.2 Valori dei punteggi di impatto della fase d'uso.

Categoria di danno	Totale	VALORE PERCENTUALE
Totale	44,7	100%
Human Health	30,5	68%
Ecosystem Quality	2,0	4%
Resources	12,2	27%

Tabella 5.3.5.3 Percentuali dei punteggi di impatto della fase d'uso dovute dal mix energetico di riferimento, Alberta.

Analizzando i benefici dell'impianto fotovoltaico con il metodo Eco indicator 99, si nota anche qui l'effetto positivo in termini di impatti evitati durante la fase d'uso, che passa dal 37,2% al 23,9%, mentre il peso della fase di pre uso aumenta dal 63,9% al 77,4%. Il fine vita risulta analogo a quello analizzato per Tarvisio.

5.3.5.3 Metodo EDIP 2003

Utilizzando il metodo EDIP per la prima volta dal grafico ad albero notiamo che la fase più impattante è quella d'uso, con il 55,8% del totale, mentre in tutte le località analizzate precedentemente era sempre risultata meno impattante della fase di pre uso, che in questo caso influisce invece per il 43,3%. Ciò conferma nuovamente che il mix energetico dell'Alberta sia il meno "green" secondo questi metodi. La fase di fine vita ha sempre un valore positivo, come negli altri casi, ma con una percentuale minore dato l'aumento del peso della fase d'uso sul totale.

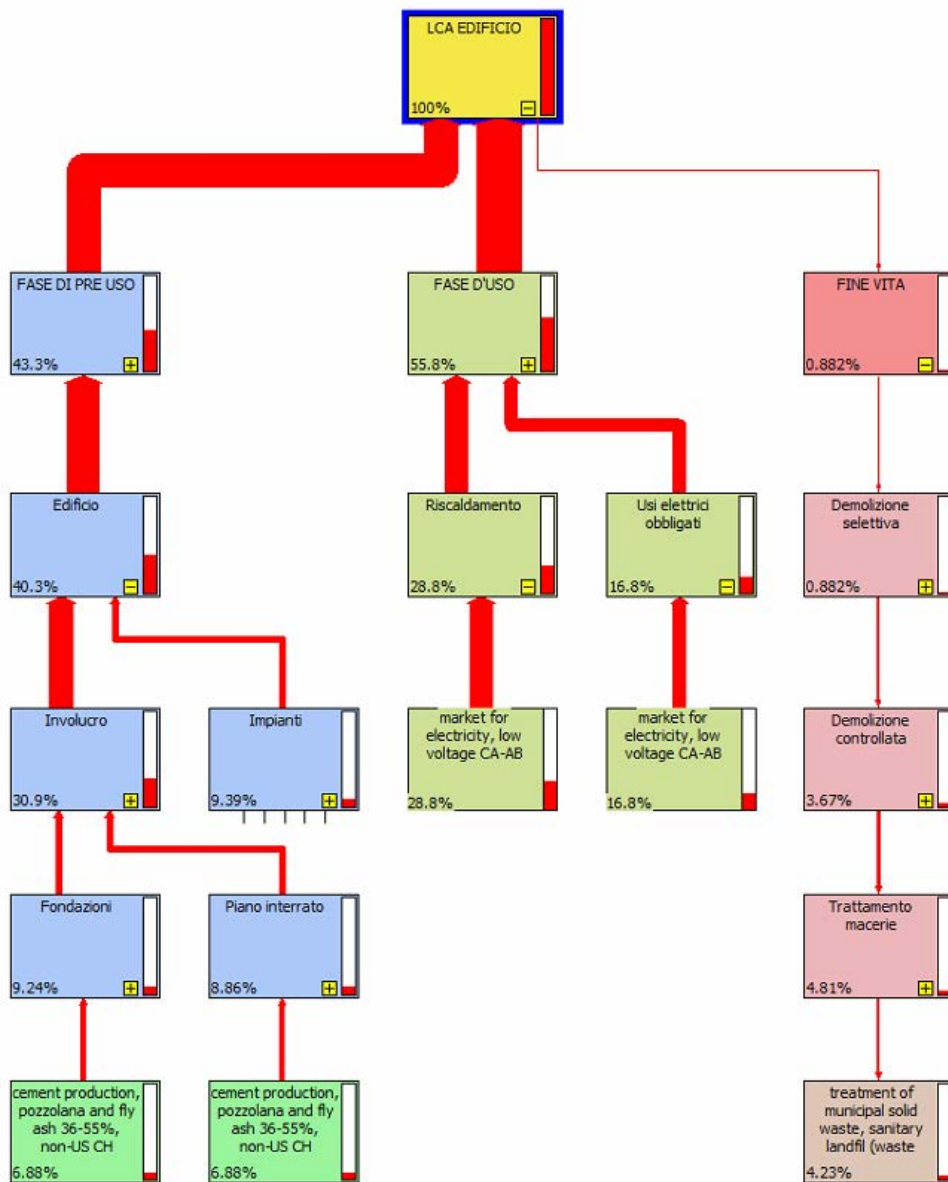


Figura 5.3.5.7 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo EDIP 2003; Cut-Off 4%, Calgary

Vado ora ad analizzare come l'impatto venga distribuito nelle rispettive categorie prese in considerazione da questo metodo, come si può vedere predomina nettamente la categoria Aquatic Eutrophication, con un punteggio superiore a 1,8 punti, il valore in assoluto più alto ottenuto fino ad ora, maggiore di più del doppio rispetto a Radioactive Waste per Ostersund che era fino ad ora il più elevato. Ciò è dovuto all'elevata presenza nel mix energetico del carbone con il 14% e della lignite con il 25%.

Tutte le altre categorie di impatto risultano irrilevanti se confrontate con questa, ed eccezione di Human Toxicity Water che totalizza 0,7 punti.

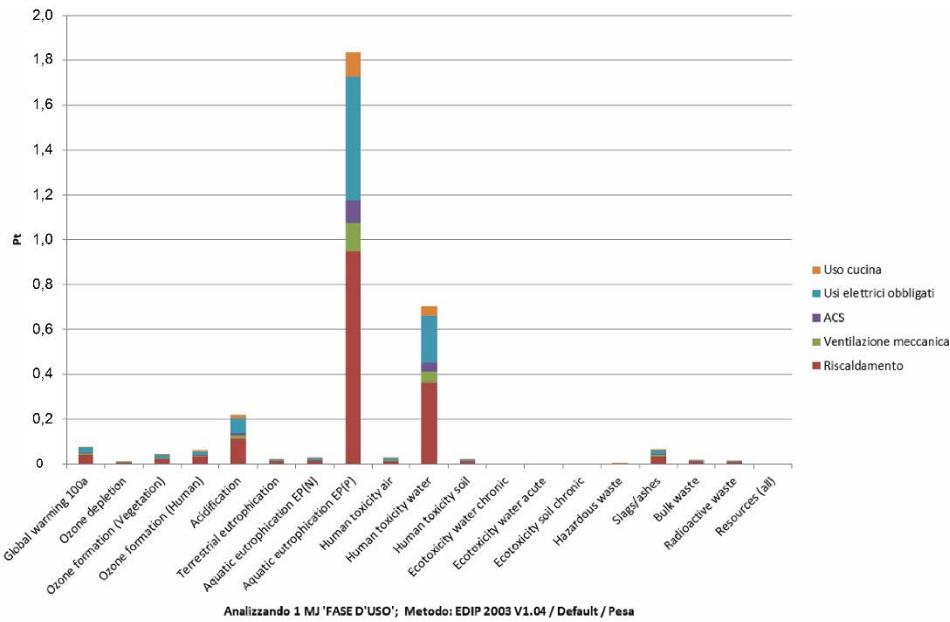


Figura 5.3.5.8 Analisi fase d'uso con metodo EDIP 2003; peso, Calgary

Global warming 100a	2,52	Human toxicity water	22,5
Ozone depletion	0,23	Human toxicity soil	0,6
Ozone formation (vegetation)	1,3	Ecotoxicity water chronic	0
Ozone formation (Human)	1,9	Ecotoxicity water acute	0
Acidification	6,97	Ecotoxicity water soil chronic	0
Terrestrial eutrophication	0,6	Hazardous waste	0,01
Aquatic eutrophication EP (N)	0,8	Slags/shes	2,1
Aquatic eutrophication EP (p)	58,6	Bulk waste	0,5
Human toxicity air	0,8	Radioactive waste	0,4

Tabella 5.3.5.4 Valori percentuali di impatto per ogni categoria considerata dal metodo EDIP, Calgary

Con il metodo EDIP, l'impianto fotovoltaico fa aumentare il peso della fase di pre uso dal 43,3% al 58,7%, mentre la fase d'uso risulta meno impattante scendendo dal 55,8% al 40,1%. Il fine vita aumenta il suo impatto negativo che passa dallo 0,88% al 1,2% sul valore complessivo.

5.3.6 Houston

5.3.6.1 Metodo Cumulative Energy Demand (CED)

Introducendo il grafico ad albero dell'intero processo di vita dell'edificio, appare subito evidente come la fase d'uso in questo contesto sia nettamente predominante. Ciò è dovuto principalmente al clima molto caldo durante un lungo periodo dell'anno, con l'impianto di condizionamento attivo per oltre 9 mesi l'anno. Il prelievo dalla rete è superiore di circa il 50% rispetto a Siviglia, di conseguenza la fase d'uso contribuisce per il 71,2% del totale, mentre la fase di pre uso solo per il 31,7%. Cala quindi anche il peso del fine vita, che evita dispendio di energia primaria per meno del 3%.

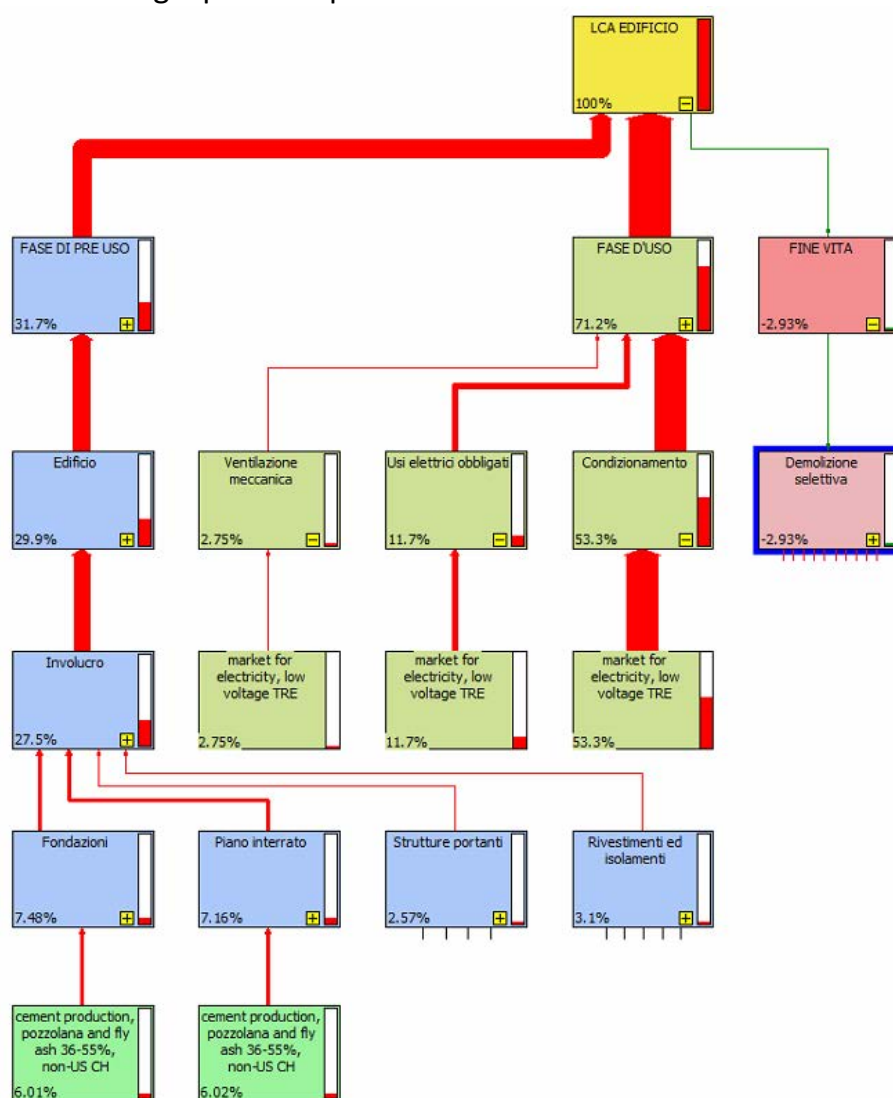


Figura 5.3.6.1 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 4%, Houston

Come si vede dalla figura 5.3.6.2 in questo contesto il condizionamento diventa completamente predominante rispetto agli altri usi elettrici, impattando per il 75% del totale della fase d'utilizzo. Gli usi elettrici contribuiscono per il 16,6%, circa la metà del valore che avevamo per Calgary del totale della fase di utilizzo dell'abitazione, seguito dagli usi elettrici obbligati con il 25,8%. Tutti gli altri prelievi di energia elettrica non superano il 4%.

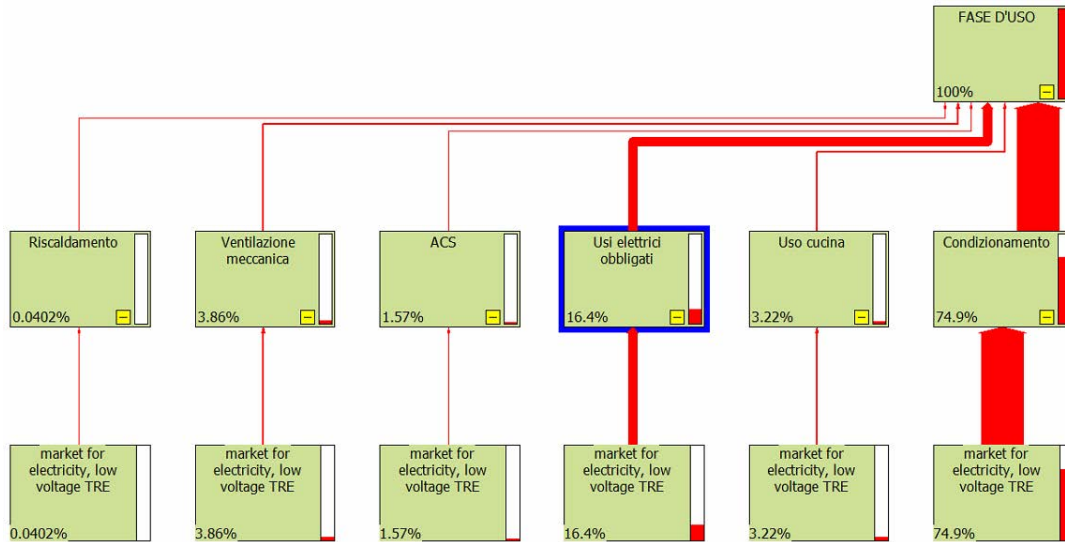


Figura 5.3.6.2 Rappresentazione ad albero della fase d'uso analizzata con il metodo Cumulative Energy Demand con cut-off 4%, Houston

Per quanto riguarda le categorie a cui si attribuisce l'impatto il mix energetico del Texas caratterizza l'impatto per l'86,9% a non renewable, fossil e solo per il 13,1% a non renewable, nuclear.

Il valore complessivo di energia necessaria per il riscaldamento è di circa 13,2GJ ed è decisamente il più elevato tra quelli ottenuti fino ad ora, a causa degli elevati prelievi dalla rete, tuttavia anche il valore degli usi elettrici obbligati, prossimo a 3GJ è il più alto, indice che il mix energetico del Texas non è per nulla efficiente da questo punto di vista.

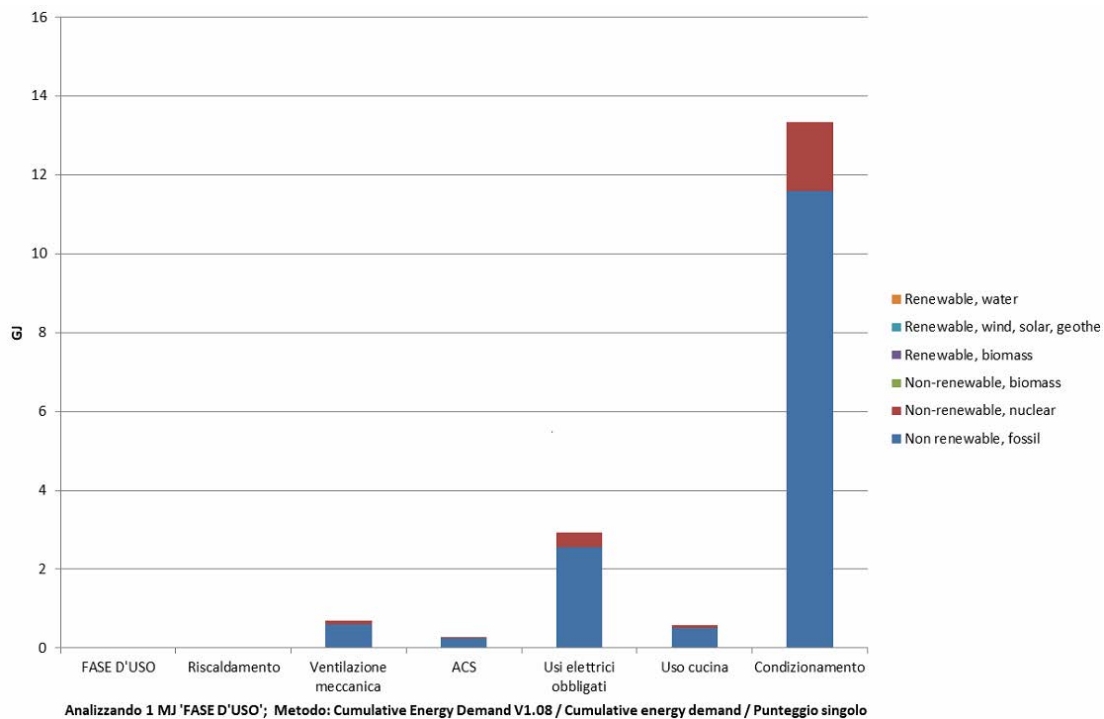


Figura 5.3.6.3 Analisi di contributo fase d'uso, metodo Cumulative Energy Demand, Houston

L'integrazione dell'impianto fotovoltaico nella città di Houston aveva rilevato il più basso fattore di copertura tra le città con un clima caldo, dato l'elevatissimo apporto per il condizionamento. Dopo un opportuno aggiustamento cautelativo ho deciso di fissarlo al 50%, ho quindi modificato in modo opportuno i consumi relativi alla fase d'uso dell'edificio. Con il metodo CED, in questo caso si è registrato un aumento del peso della fase di pre uso dal 31,7% al 49,2%, con la fase d'uso che è scesa al 55,3% dal 71,2% di partenza. Di conseguenza i benefici del fine vita con la demolizione selettiva hanno acquisito importanza in termini percentuali dal 2,93% al 4,54%, dato il calo dell'energia primaria complessivamente necessaria.

5.3.6.2 Metodo Eco-indicator 99 (H)

Secondo il metodo Eco indicator, la fase di pre uso e quella d'uso sono pressoché analoghe e differiscono solo di mezzo punto percentuale, rispettivamente 50,8% e 50,1%. Il percorso di fine vita incide in modo positivo per lo 0,84%.

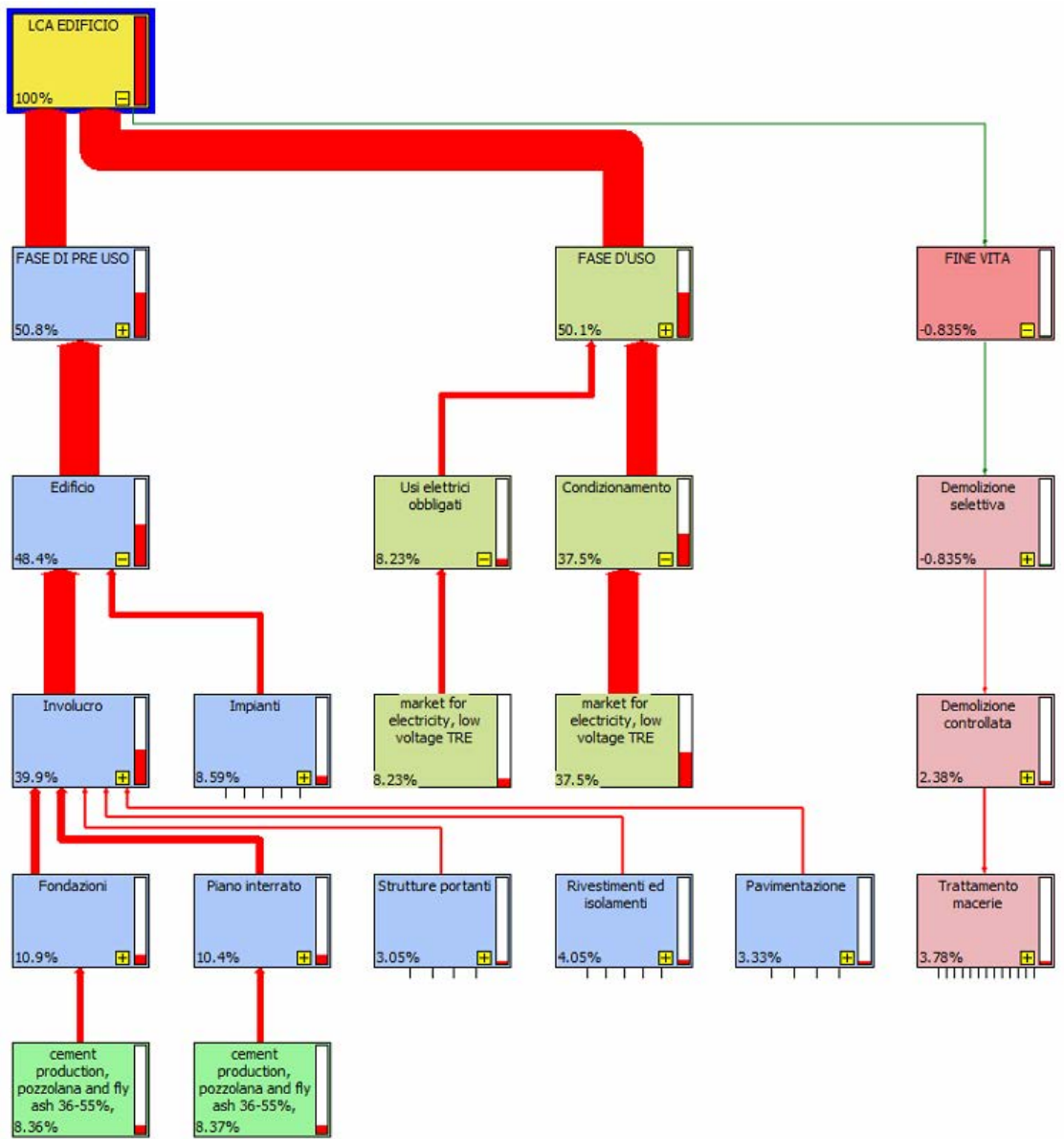


Figura 5.3.6.4 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo Eco indicator 99; Cut-off 4%, Houston

Valutando coi punteggi forniti dal metodo notiamo subito quanto detto in precedenza, con le due colonne che sono molto simili tra loro come valore assoluto. Differiscono invece nella composizione interna, con la fase di pre uso che si caratterizza per l'elevato punteggio della categoria Human Health, superiore a 50 punti, seguita da Resources con quasi 19 punti. Nella fase d'uso predomina sempre la stessa categoria ma con un divario minore, 41,5 punti contro 31,6. Il processo di fine vita è analogo agli altri analizzati.

Categoria di danno	Unità	Totale	FASE DI PRE USO	FASE D'USO	FINE VITA
Totale	Pt	151	76,7	75,5	-1,26
Human Health	Pt	93,4	53	41,5	-1,06
Ecosystem Quality	Pt	7,63	4,81	2,62	0,203
Resources	Pt	50,1	18,9	31,6	-0,408

Tabella 5.3.6.1 Analisi ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Houston

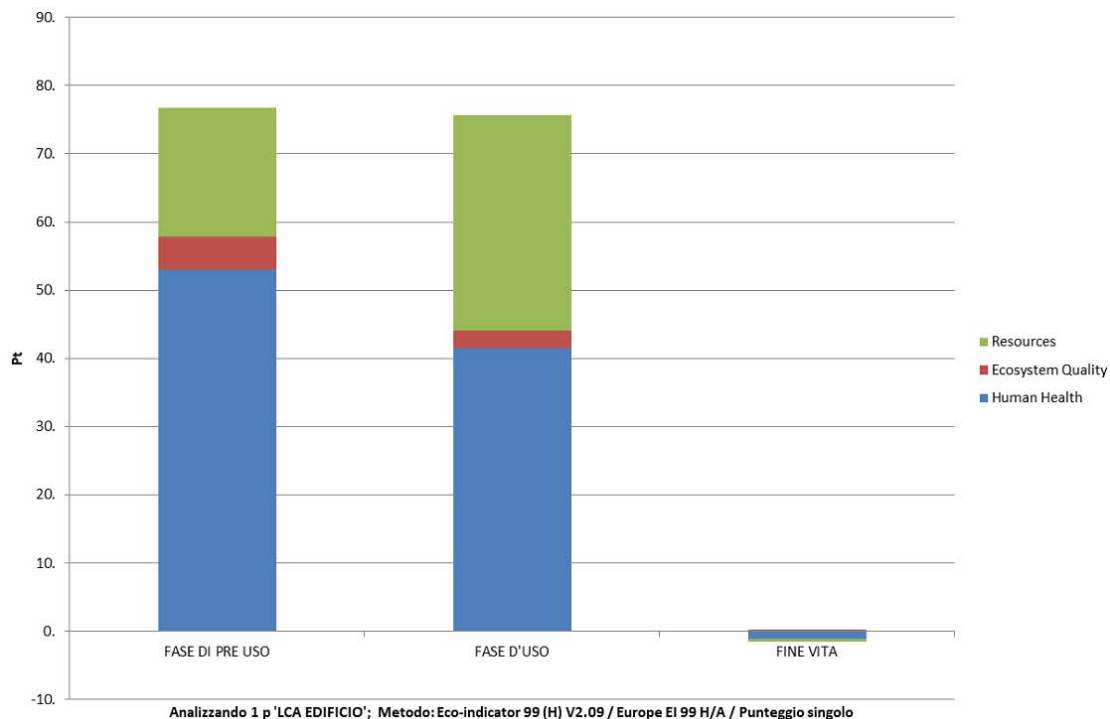


Figura 5.3.6.5 Analisi intero ciclo di vita con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Houston

Come si può vedere per la fase d'uso è predominante l'impatto del condizionamento che impatta con più di 56 punti, valore elevatissimo, se confrontato con quelli ottenuti fino ad ora, che non avevano mai superato i 30

punti. Ciò è dovuto sia all'elevatissimo prelievo dalla rete, che al mix energetico che non è particolarmente virtuoso in termini di emissioni, come già visto anche dal precedente metodo riguardo il consumo di energia primaria.

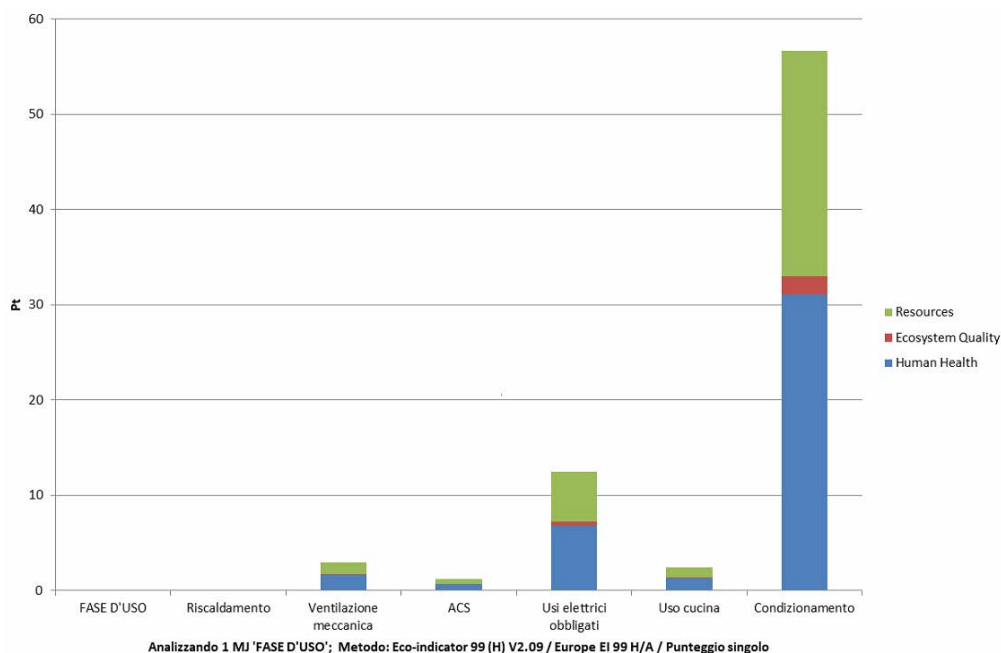


Figura 5.3.6.6 Analisi fase d'uso con metodo Eco-indicator 99; punteggio singolo, Houston

Per quanto riguarda la suddivisione interna di ogni singola colonna notiamo che la categoria Human health e resources hanno circa la stessa importanza, mentre Ecosystem Quality un valore nettamente minore. Queste proporzioni sono le stesse che avevamo riscontrato per la città di Tarvisio in quanto dipendendo univocamente dal mix energetico di riferimento, in entrambi i casi quello italiano.

Categoria di danno	Unità	Totale	VENTILAZIONE MECCANICA	ACS	USI ELETTRICI OBBLIGATI	USO CUCINA	CONDIZIONAMNETO
Totale	Pt	46,5	2,8	1,0	12,0	2,3	28,2
Human Health	Pt	21,9	1,3	0,5	5,7	1,1	13,3
Ecosystem Quality	Pt	1,6	0,1	0,0	0,4	0,1	0,9
Resources	Pt	23,0	1,4	0,5	5,9	1,2	13,9

Tabella 5.3.6.2 Valori dei punteggi di impatto della fase d'uso.

Categoria di danno	Totale	VALORE PERCENTUALE
Totale	75,5	100%
Human Health	41,5	55%
Ecosystem Quality	2,6	3%
Resources	31,6	42%

Tabella 5.3.6.3 Percentuali dei punteggi di impatto della fase d'uso dovute dal mix energetico di riferimento, Texas.

Analizzando i benefici dell'impianto fotovoltaico con il metodo Eco indicator 99, si nota anche qui l'effetto positivo in termini di impatti evitati durante la fase d'uso, che passa dal 50,1 al 33,4%, mentre il peso della fase di pre uso aumenta considerevolmente dal 50,8% al 67,7%. Il fine vita in modo analogo al precedente metodo aumenta il beneficio dallo 0,84% all'1,1%.

5.3.6.3 Metodo EDIP 2003

Anche secondo questo metodo in controtendenza con le altre località analizzate la fase d'uso è la più impattante con il 55,3%, contro il 43,8% della fase di pre uso, mentre il fine vita essendo aumentato l'impatto in generale a causa della fase d'uso, impatta, in modo negativo, ma per meno dell'1%. Incredibile notare come il condizionamento da solo impatti per il 41,4% del totale.

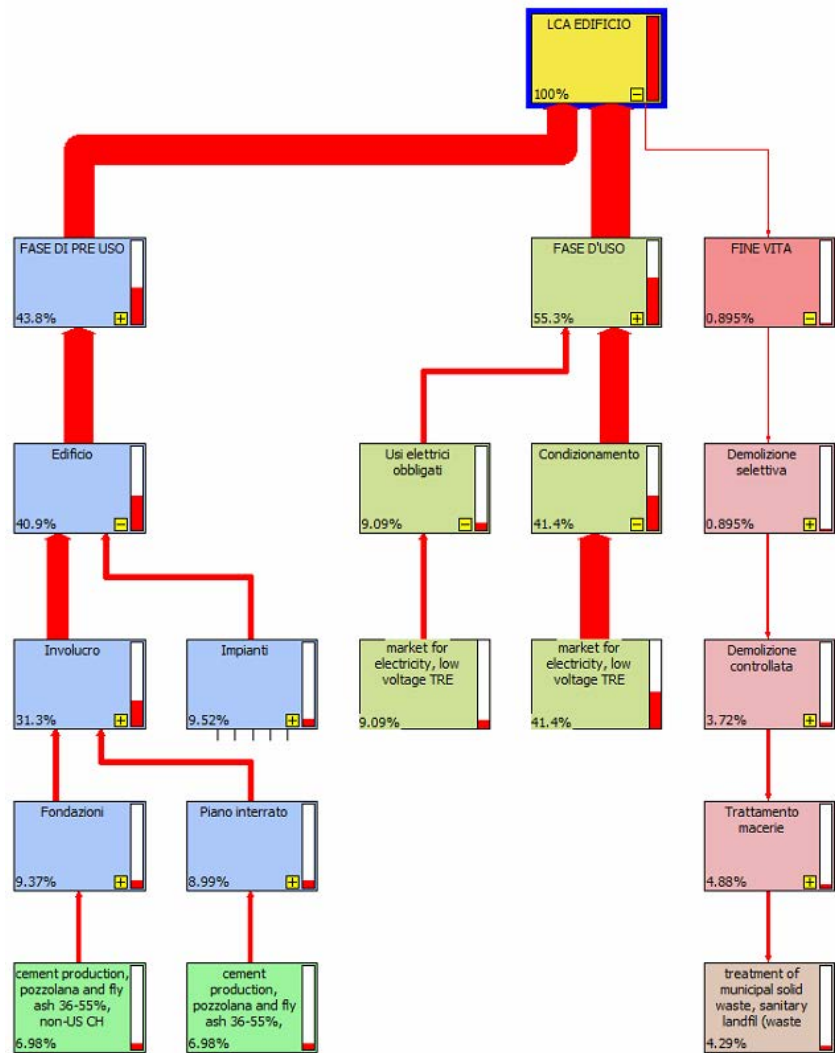


Figura 5.3.6.7 Rappresentazione ad albero dell'intero ciclo di vita analizzato con il metodo EDIP 2003; Cut-Off 4%, Houston

Vado ora ad analizzare come l'impatto venga distribuito nelle rispettive categorie prese in considerazione da questo metodo, come si può vedere l'apporto maggiore è dato dalla categoria Aquatic Eutrophication con un valore superiore a 1,2 punti, seguito da Human Toxicity Water con 0,6 punti e poi Acidification con 0,4, cito inoltre la categoria Radioactive Waste dovuta all'apporto del nucleare.

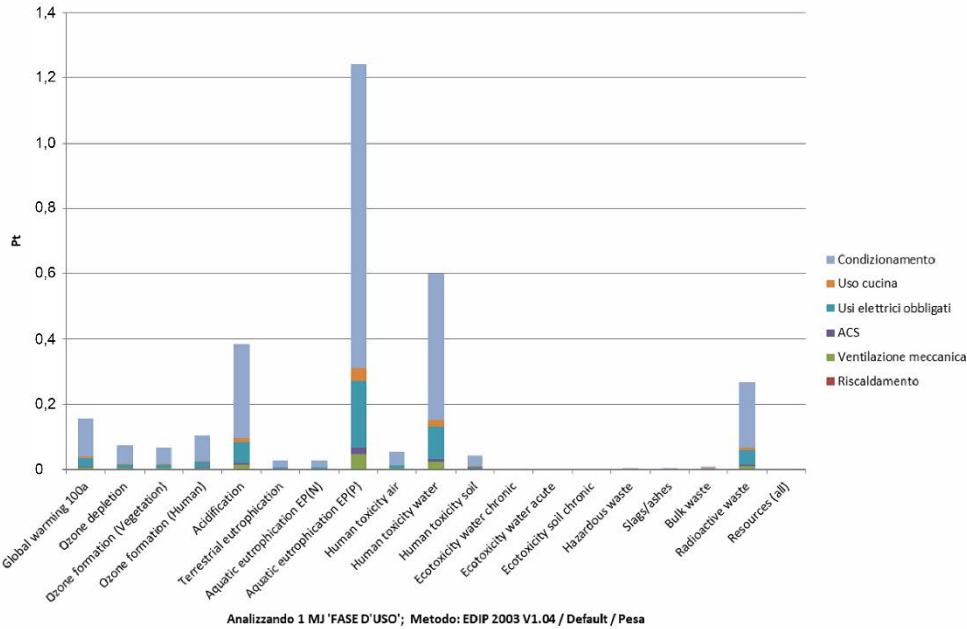


Figura 5.3.6.8 Analisi fase d'uso con metodo EDIP 2003; peso, Houston

Riporto per completezza anche i valori percentuali di quanto impattano le singole categorie nel mix energetico, come fatto per gli altri casi studio

Global warming 100a	5,1	Houman toxicity water	19,6
Ozone depletion	2,4	Houman toxicity soil	1,37
Ozone formation (vegetation)	2,2	Ecotoxicity water chronic	0
Ozone formation (Human)	3,38	Ecotoxicity water acute	0
Acidification	12,6	Ecotoxicity water soil chronic	0
Terrestrial eutrophicstion	0,88	Hazardous waste	0,05
Aquatic eutrophication EP (N)	0,88	Slags/shes	0,02
Aquatic eutrophication EP (p)	40,7	Bulk waste	0,276
Houman toxicity air	1,77	Radioactive waste	8,77

Tabella 5.3.6.4 Valori percentuali di impatto per ogni categoria considerata dal metodo EDIP, Houston

Con il metodo EDIP, l'impianto fotovoltaico fa aumentare il peso della fase di pre uso dal 43,8% al 60,5%, mentre la fase d'uso risulta meno impattante scendendo dal 55,3% al 38,2%. Il fine vita non venendo di fatto influenzato dalla presenza del fotovoltaico aumenta il suo impatto negativo che passa dallo 0,89% all'1,25% sul valore complessivo.

CAPITOLO 6 – Conclusioni

La metodologia LCA è stata molto utile per mettere a fuoco nuovi importanti aspetti che si presenteranno negli anni a venire, con i notevoli miglioramenti volti alla sostenibilità ambientale che pian piano verranno introdotti negli edifici sia pubblici che privati. In Primis vorrei far notare l'importanza di adattare la tipologia di edificio al luogo in cui viene realizzato. Per tradizione le case a basso consumo energetico sono state sviluppate soprattutto nei paesi del nord, sono quindi molto efficienti nel mantenere il calore interno, ma molto meno nello smaltire quello in eccesso. Integrando poi a questi edifici degli impianti ausiliari, come ad esempio il fotovoltaico ed il solare termico, si nota come la fase di pre uso vada a pesare in modo superiore nell'intero ciclo di vita dell'edificio, attribuendo molta importanza ai materiali che vengono utilizzati e ai processi necessari per produrli.

Con l'analisi di sensibilità svolta al variare del mix energetico di riferimento, è stato possibile capire come differenti metodi per produrre l'energia elettrica condizionino gli impatti ambientali finali, a volte in modo superiore alla quantità di energia prelevata dalla rete a seconda dei fabbisogni termici delle varie città esaminate.

Riepilogo ora i risultati più rilevanti ottenuti, partendo dal metodo Cumulative Energy Demand senza considerare l'impianto fotovoltaico, in Figura 6.1. In un edificio convenzionale la fase d'uso rappresenta il 90-95% dei consumi totali, in un edificio a basso consumo energetico come quello esaminato invece le due fasi, ad eccezione di Houston (a causa del clima molto caldo per gran parte dell'anno e del conseguente elevatissimo consumo per il condizionamento), tendono ad equivalersi.

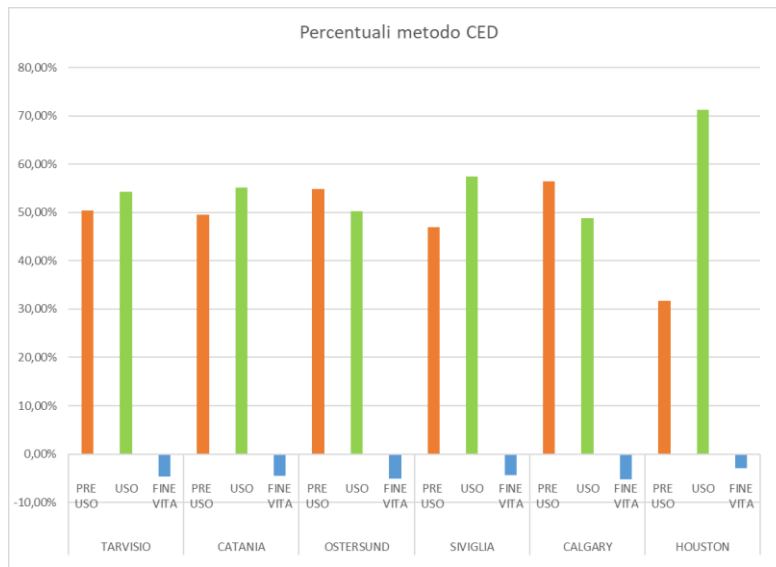


Figura 6.1 Percentuali ottenute col metodo CED senza considerare l'impianto fotovoltaico.

Se poi si considera l'apporto dell'energia elettrica autoprodotta allora le due fasi si ribaltano completamente, con la fase di pre uso che in termini di energia primaria richiesta pesa nettamente di più.

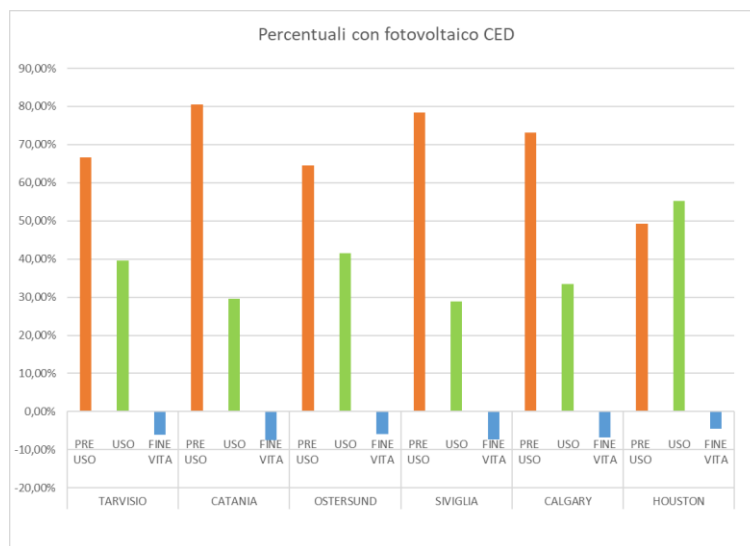


Figura 6.2 Percentuali ottenute col metodo CED considerando l'impianto fotovoltaico.

Anche con il metodo Eco indicator 99, dove già inizialmente la fase di pre uso determinava un impatto maggiore, l'aggiunta del fotovoltaico ha reso la fase d'uso quasi trascurabile in alcune località, con valori prossimi al 15%

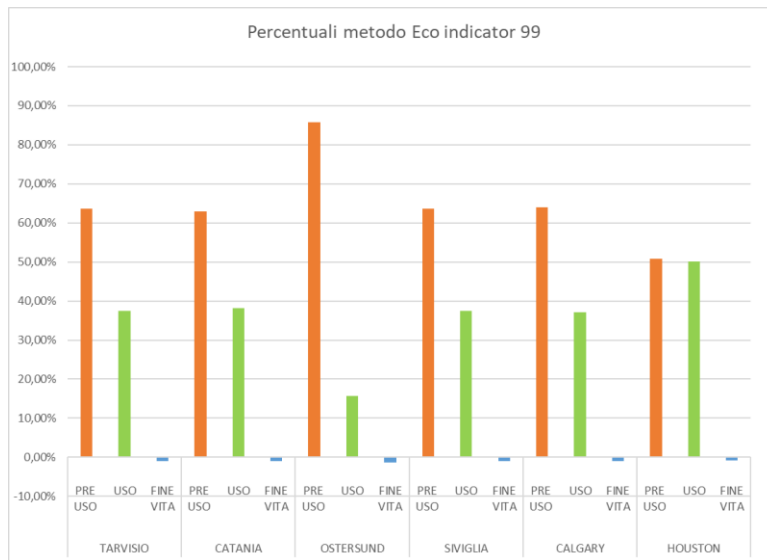


Figura 6.3 Percentuali ottenute col metodo Eco indicator 99, senza considerare l'impianto fotovoltaico.

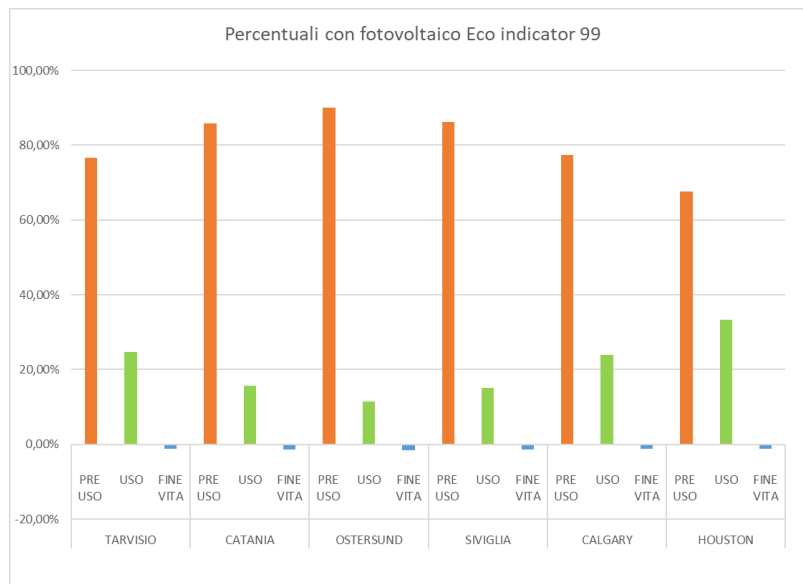


Figura 6.4 Percentuali ottenute col metodo Eco indicator 99, considerando l'impianto fotovoltaico.

Anche con il metodo EDIP ho ottenuto risultati che confermano quanto esposto in precedenza, tale metodo è servito inoltre per rafforzare l'aspetto dell'importanza del mix energetico, si vede come in Figura 6.5: Calgary nonostante abbia un consumo elettrico tra i più bassi dei nostri casi studio, si comporta come Houston che invece è la località che richiede il maggior dispendio di energia elettrica, proprio perché il suo mix energetico sfrutta carbone, lignite e altre fonti non rinnovabili molto impattanti.

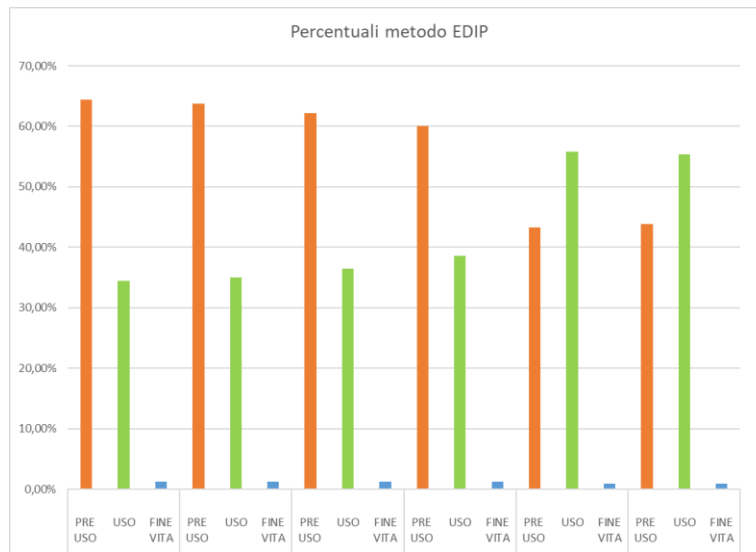


Figura 6.5 Percentuali ottenute col metodo EDIP senza considerare l'impianto fotovoltaico.

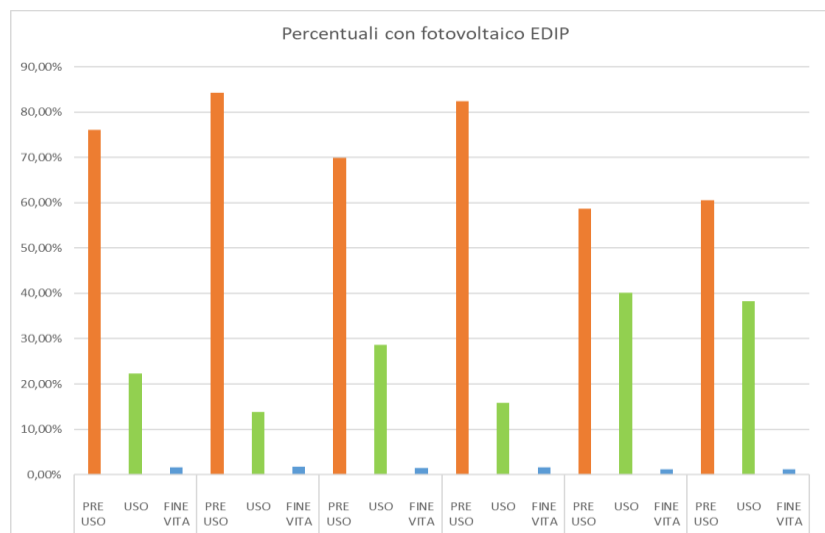


Figura 6.6 Percentuali ottenute col metodo EDIP considerando l'impianto fotovoltaico.

Tutti questi dati, analizzati in modo globale, ci fanno capire quanto sia importante quanto influiscano in termini di impatti ed emissioni le politiche energetiche dei singoli Stati, che con le loro scelte vanno a indirizzare e condizionare oltre che la salute dell'ecosistema, anche quella delle persone che lo abitano. È per questo motivo che l'analisi LCA sta prendendo sempre più piede, sempre più aziende e multinazionali analizzano nel dettaglio i loro processi per cercare di ridurre l'impatto. Tutto ciò contribuirà ad ampliare ulteriormente le banche dati disponibili e rendere ancora più approfondita questo tipo di analisi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Decreto del Presidente della Repubblica n. 412 del 26 agosto 1993 e successivi
- [2] Valutazione LCA ed EDP nel settore delle costruzioni
- [3] Cellura M. et al. (2017), Life Cycle Assessment applicata all'edificio, Editoriale Delfino.
- [4] Lavagna M. (2011), Life Cycle Assessment in edilizia: lo stato dell'arte in Italia, Enea.
- [5] Campioli A. et al. (2014), Sostenibilità in edilizia - Soluzioni tecniche a confronto, Ytong.
- [6] Ganassali S. et al. (2016), Valutazione LCA all'interno dei protocolli ambientali multicriteri per il settore edile delle costruzioni, Enea.
- [7] Neri P. (2008), Verso la valutazione ambientale degli edifici, Alinea Editrice.
- [8] Blengini G. et al. (2007), Valutazione della sostenibilità ambientale di una casa a basso consumo energetico con metodologia LCA, DITAG Politecnico di Torino.
- [9] Studio Roatta Architetti Associati, Buone pratiche in campo energetico finanziate dalla Regione Piemonte, Settore politiche energetiche Regione Piemonte.
- [10] Di Andrea F., Danese A. (2004), Misure dei consumi di energia elettrica nel settore domestico, eERG – Politecnico di Milano.
- [11] S. P. Borg, N. J. Kelly (2011), The effect of appliance energy efficiency improvements on domestic electric loads in European households, Energy and Buildings.
- [12] Favi C. et al. (2018), Comparative life cycle assessment of cooking appliances in Italian kitchens, Journal of Cleaner Production.
- [13] Commissione Europea (2007), A lead market initiative for Europe.
- [14] Commissione Europea, Sustainable construction final report.
- [15] Commissione Europea (2007), A lead market initiative for Europe. Explanatory Paper on the European Lead Market Approach: Methodology and Rationale.
- [16] Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (rifusione).
- [17] Direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica.
- [18] S. Demattè et al. (2013), BENIMPACT Suite: a tool for ZEB whole life cycle analysis, Atti IBPSA Italy conference.

[19] UNI (2006), Gestione ambientale – Valutazione del ciclo di vita – Principi e quadro di riferimento, Norma UNI EN ISO 14040, Ente Italiano di Normazione.

[20] UNI (1994), Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici, Norma UNI 10349, Ente Italiano di Normazione.

[21] Natural ventilation for cooling in mediterranean climate: A case study in vernacular architecture of Cyprus, Aimilios Michael, Despina Demosthenous MariaPhilokyprouc.

[22] Natural ventilation, engineering guide.

[23] Le pompe di calore I refrigeranti naturali nelle pompe di calore, Aspetti Legislativi: Dlgs 28/2011 e D.M. 28 dicembre 2012.

[24] Le nuove tecnologie per il risparmio energetico e le pompe di calore, Giuliano Cammarata.

[25] Dall'Eco-design all'architettura, Cristina Allione e Carla Lanzavecchia.

[26] Decreto del Presidente della Repubblica n. 412 del 26 agosto 1993 e successivi aggiornamenti fino al 31 ottobre 2009.